

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

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

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

Professora Orientadora:

Profa. Dra. Izabel Fernanda Machado

São Paulo

2008

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

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

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

Professora Orientadora:

Profa. Dra. Izabel Fernanda Machado

São Paulo

2008

FICHA CATALOGRÁFICA

Machado, Fabio de Alcantara

Avaliação de projeto de cadeira para remo adaptado e proposta de melhorias / F.A. Machado. – São Paulo, 2008. 50p.

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

1.Projeto mecânico I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de dedicar este espaço para agradecer a todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para a conclusão deste trabalho.

À Profa. Dra. Izabel Fernanda Machado pela valiosa orientação na condução deste trabalho.

Ao remador Josemar Sales por sua ajuda na realização da avaliação da cadeira.

Por fim, não poderia deixar de agradecer aos meus amigos, familiares e a todos aqueles que estiveram ao meu lado neste ano, por todo incentivo e compreensão.

RESUMO

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

ABSTRACT

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

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
	1.1 MOVIMENTO PARAOLÍMPICO.....	10
	1.2 REMO ADAPTADO.....	11
	1.3 PROJETO EXISTENTE.....	12
2	OBJETIVO.....	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
	3.1 TENSÕES E DEFORMAÇÕES.....	15
	3.2 TENSÃO DE CISLHAMENTO.....	16
	3.3 MOMENTO FLETOR.....	17
4	AValiação DE PROJETO EXISTENTE.....	19
	4.1 CRITÉRIOS ADOTADOS.....	19
	4.2 DESCRIÇÃO DA CADEIRA ATUAL.....	20
	4.2.1 <i>Fixação ao barco</i>	20
	4.2.2 <i>Assento e encosto</i>	21
	4.3 AVALIAÇÃO DA CADEIRA.....	22
	4.3.1 <i>Fixação ao barco</i>	22
	4.3.2 <i>Regulagens</i>	23
	4.3.3 <i>Conforto</i>	23
	4.3.4 <i>Peso</i>	23
	4.4 RESUMO DA AVALIAÇÃO.....	24
5	ASSENTO.....	25
6	ANÁLISE ESTRUTURAL DA BASE.....	27
7	REGULAGEM DO ENCOSTO.....	33
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
9	ANEXO A – PESQUISA COM USUÁRIO.....	35
10	ANEXO B – DESENHOS DE FABRICAÇÃO.....	36

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1. Foto 1 do projeto existente	13
Ilustração 2. Foto 2 do projeto existente	13
Ilustração 3. Barra prismática sob tração	15
Ilustração 4. Rebite sob cisalhamento.....	16
Ilustração 5. Viga em balanço.....	17
Ilustração 6. Sistema de fixação da cadeira ao trilho [4]	20
Ilustração 7. Imagem de um quick-release [4].....	21
Ilustração 8. Funcionamento do ajuste do encosto [4].....	21
Ilustração 9. Assento e encosto da cadeira [4]	22
Ilustração 10. Solução para o assento na posição aberta.....	25
Ilustração 11. Assento fechado	26
Ilustração 12. Distribuição das forças na estrutura da cadeira.....	27
Ilustração 13. Pontos de aplicação das forças na estrutura	27
Ilustração 14. Gráfico do momento fletor ao longo da base tubular da cadeira	29
Ilustração 15. Solução para regulagem do encosto	33

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Distribuição do peso do atleta	28
Tabela 2. Valores das distâncias da Ilustração 11	28
Tabela 3. Seleção de tubo para estrutura da cadeira	32

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde [1], cerca de 600 milhões de pessoas possuem algum tipo de deficiência devido a doenças crônicas, acidentes, violência, doenças sexualmente transmissíveis e outros fatores ligados à pobreza. Dentro deste cenário, é fundamental que as comunidades nas quais estas pessoas vivem se mobilizem para diminuir as dificuldades enfrentadas pelos deficientes. Os portadores de deficiência são pessoas com potencial produtivo e devem ser incluídas, seja pela atuação do Estado ou da iniciativa privada.

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

A escolha de um esporte depende em grande parte das oportunidades oferecidas, da condição econômica ou da falta de condição do próprio deficiente tendo em vista o grau de sua deficiência. Os esportes podem ser praticados pelos deficientes em quase sua totalidade considerando-se seu grau de deficiência e suas dificuldades, devido a estas são feitas algumas modificações de regras e adequações que facilitam a prática promovendo a participação de um maior número de deficientes.

1.1 Movimento Paraolímpico

A partir do momento em que uma série de pessoas pratica determinado esporte, naturalmente surgem competições. A primeira competição para atletas com deficiência foi lançada em Stoke Mandeville, no dia 29 de julho de 1948 – exatamente a data da Cerimônia de Abertura da Olimpíada de Londres. Quatro anos depois, atletas holandeses também passaram a competir nas disputas de Stoke Mandeville. Assim surgiu o movimento internacional, hoje chamado de Movimento

Paraolímpico [2]. A primeira Paraolimpíada foi em Roma, 1960, e a décima terceira será realizada em Pequim em Setembro de 2008.

O esporte paraolímpico brasileiro teve início em 1958 com a fundação do Clube do Otimismo no Rio de Janeiro. Em 28 de julho do mesmo ano, foi criado o Clube dos Paraplégicos de São Paulo. A data foi escolhida para homenagear os dez anos de Stoke Mandeville.

A primeira participação do Brasil em uma competição internacional foi em 1969, nos Jogos Parapanamericanos de Buenos Aires. Em 1972, o país iniciou sua participação em Paraolimpíadas em Heidelberg (Alemanha) e nos jogos seguintes (Toronto-76) os brasileiros ganharam suas primeiras medalhas: Robson Sampaio de Almeida e Luís Carlos Curtinho conquistaram medalha de prata na Bocha, colocando o País na 31ª colocação no quadro final de medalhas.

Em Pequim-2008, o Brasil levou mais que o dobro de atletas do que em Atenas-2004. Dentre as 17 modalidades nas quais o Brasil participou, está o Remo Adaptado que fez sua estréia já com medalha. Josiane Dias de Lima e Elton Santana conquistaram medalha de bronze no Double Skiff Misto.

1.2 Remo Adaptado

O Remo Adaptado teve início no Brasil nos anos 80, quando a Superintendência de Desportos do Rio de Janeiro iniciou um programa de reabilitação e lazer através do remo [3]. O programa chegou a ser extinto, mas em 2005 a Confederação Brasileira de Remo o reativou.

Em 2001, a Federação Internacional de remo (FISA) solicitou a inclusão do remo nos Jogos Paraolímpicos de 2008 e em 2002 realizou o primeiro campeonato mundial da categoria em Sevilha (Espanha). Em 2007, no Campeonato Mundial da Alemanha, o Brasil obteve duas conquistas: Claudia Santos conquistou o ouro no Single Skiff e a dupla Lucas Pagani e Josiane Dias de Lima, no Double Skiff Misto.

O remo adaptado é dividido nas classes abaixo para permitir que atletas com diferentes tipos de deficiência compitam em condições de igualdade:

- **Classe somente braços (A):** usa acento fixo e com encosto e mãos possivelmente amarradas ao punho do remo
Categoria de barco: Single Skiff (A 1x)
Tripulação: masculina e feminina
- **Classe tronco e braços (TA):** usa acentos fixos
Categoria de barco: Double Skiff (TA 2x)
Tripulação: mista (1 homem e 1 mulher)
- **Classe pernas, tronco e braços (LTA):** usa o carrinho
Categoria de barco: 4 com timoneiro (LTA 4+)
Tripulação: mista (2 homens e 2 mulheres)

1.3 Projeto Existente

Em 2007, foi projetada e construída na Escola Politécnica uma cadeira para atender as necessidades dos atletas da classe A de remo adaptado. Este trabalho foi realizado pelo então aluno Gustavo de Andrade Poletto sob a orientação da Profa. Dra. Izabel Fernanda Machado [4]. A Ilustração 1 e a Ilustração 2 mostram o protótipo construído. Durante a realização deste trabalho, o protótipo estava sendo utilizado por atletas da Seleção Brasileira de remo adaptado que treinavam nas instalações do Clube de Regatas Bandeirantes na raia da Universidade de São Paulo.



Ilustração 1. Foto 1 do projeto existente



Ilustração 2. Foto 2 do projeto existente

2 OBJETIVO

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

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste item será revisada a teoria que será utilizada para analisar as tensões às quais a estrutura da cadeira estará submetida.

3.1 Tensões e Deformações

Os conceitos de tensão e deformação podem ser ilustrados, considerando-se o alongamento de uma barra prismática [6]. Uma barra prismática tem seção constante em todo o comprimento e eixo reto. A Ilustração 3 abaixo mostra uma barra carregada nas extremidades por forças axiais, P , que produzem alongamento uniforme. Fazendo um corte imaginário na barra, normal a seu eixo, é possível isolar parte dela como corpo livre. A força P aplicada em uma extremidade deve ser equilibrada pela reação por unidade de área na outra extremidade, representada pela tensão σ no item (b) da Ilustração 3.

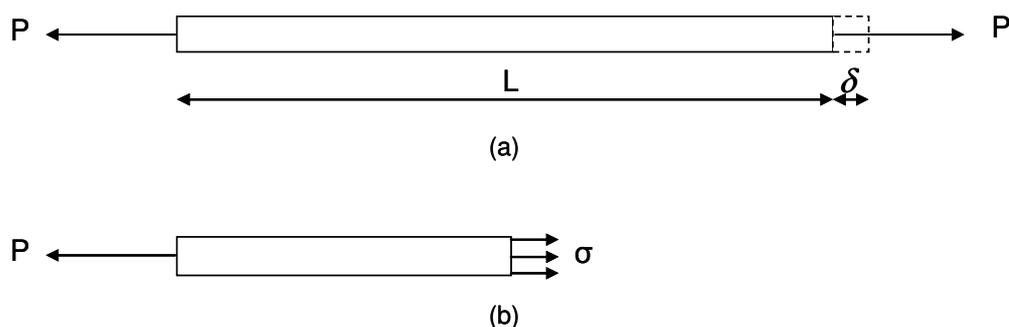


Ilustração 3. Barra prismática sob tração

Assim temos que:

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

Onde A é a área da seção transversal da barra

3.2 Tensão de Cisalhamento

A tensão de cisalhamento age tangencialmente à superfície do material. A Ilustração 4 mostra a união de duas chapas utilizando-se um rebite:

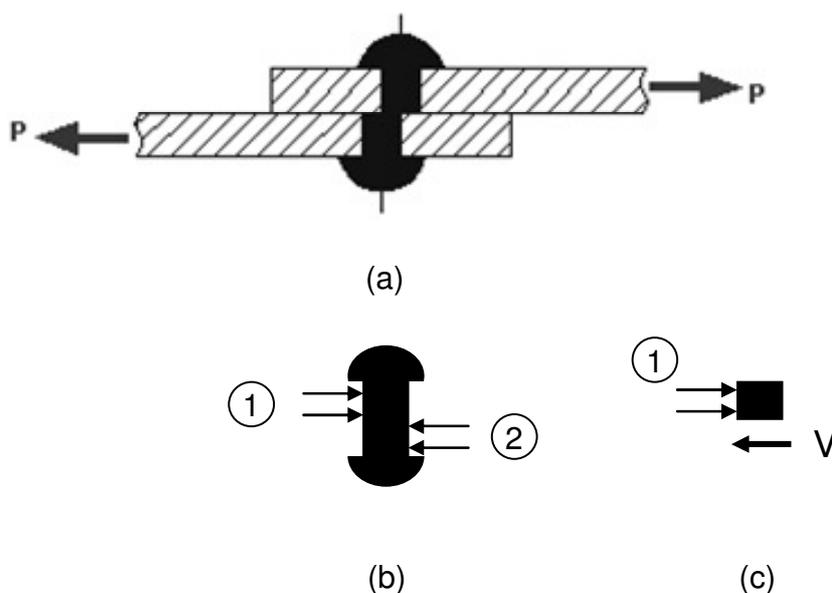


Ilustração 4. Rebite sob cisalhamento

O item (b) da Ilustração 4 mostra o diagrama de corpo livre do rebite. As tensões cortantes exercidas pela chapas superior e inferior aparecem do lado esquerdo e direito, respectivamente (indicadas na figura como 1 e 2). É difícil determinar a distribuição das tensões, por isso é comum assumir que as tensões são uniformemente distribuídas. O item (c) da Ilustração 4 mostra o diagrama de corpo livre de uma porção do rebite, onde se verifica que existe uma força de cisalhamento V agindo sobre a superfície cortante do rebite. A tensão de cisalhamento média na área de seção transversal de um rebite é obtida dividindo-se a força de cisalhamento total V pela área A da seção transversal na qual ela age:

$$\tau_{med} = \frac{V}{A} \quad (2)$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

No exemplo mostrado, a força V é igual à carga P , e a área A é a área da seção transversal do rebite.

3.3 Momento Fletor

Quando uma viga sofre a ação de forças ou momentos, são criadas tensões e deformações em seu interior. Para determinar essas tensões e deformações, primeiro devemos encontrar as forças e os momentos internos que atuam nas seções transversais da viga.

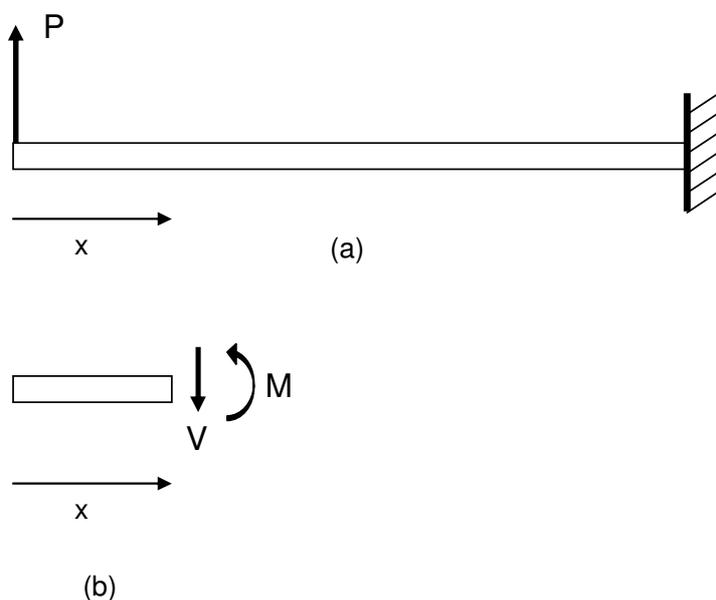


Ilustração 5. Viga em balanço

A Ilustração 5 mostra uma viga em balanço que sofre a ação de uma força P na sua extremidade livre. O item (b) da Ilustração 1 mostra um corte na seção transversal a uma distância x da extremidade livre. Consideremos este corte como um corpo livre e para que haja o equilíbrio atuam nele a força P e as tensões na seção

transversal de corte. Para se resolver este tipo de problema, devemos considerar as equações de equilíbrio:

$$\sum F_{vert} = 0 \quad (4)$$

$$\sum M = 0 \quad (5)$$

Portanto neste caso temos:

$$P - V = 0$$

$$M - Px = 0$$

Onde x é a distância da extremidade livre da viga até a seção transversal em que V e M serão determinados.

4 AVALIAÇÃO DE PROJETO EXISTENTE

4.1 Critérios adotados

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

- **Fixação ao Barco:**

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

- **Regulagens**

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

- **Conforto**

Este critério avalia como o atleta se sente ao utilizar a cadeira. Será avaliado se o encosto não limita o movimento de seus braços durante a remada ou se o assento ou outra parte da cadeira o incomoda. Outro fator a ser consideração é a sustentação dada pelo assento ao atleta, avaliando-se a capacidade do assento de mantê-lo em posição estável durante os treinos ou competições.

- **Peso**

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

4.2 Descrição da cadeira atual

4.2.1 Fixação ao barco

A cadeira é fixada ao barco por meio de um trilho em U que encobre o trilho do barco e, com ação de parafusos trava o trilho por atrito na posição desejada.

Observa-se o funcionamento deste sistema na Ilustração 6. A regulação da posição da cadeira sobre o trilho em U é feita por meio de um quick release, mostrado na Ilustração 7. A distância entre o par de trilhos em U é variável.

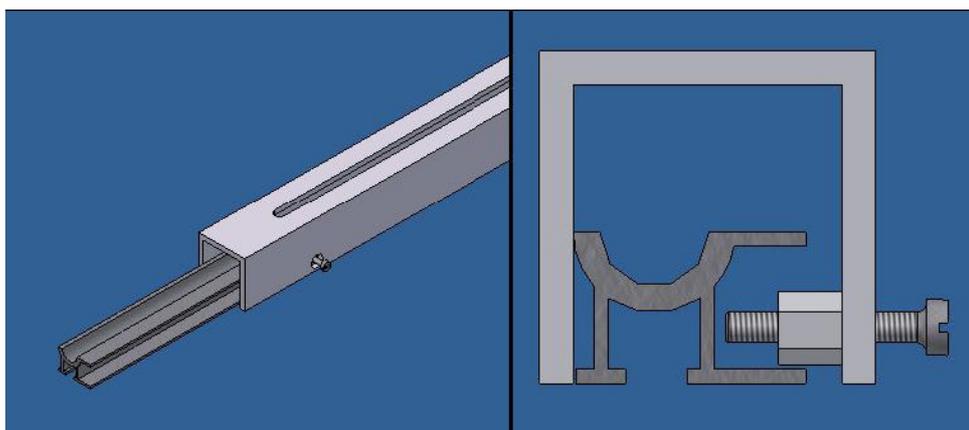


Ilustração 6. Sistema de fixação da cadeira ao trilho [4]



Ilustração 7. Imagem de um quick-release [4]

4.2.2 Assento e encosto

As estruturas do assento e do encosto são encaixadas e articuladas para possibilitar a regulagem da inclinação do encosto. Esta união é feita por dois tarugos faceados cujo funcionamento é mostrado na Ilustração 8.

O assento e o encosto são feitos de couro marítimo, estofados e com fixação à estrutura feita apenas por tiras de velcro. Não há apoio para o assento. Na Ilustração 9 é possível observar o assento e o encosto fixados à estrutura da cadeira.

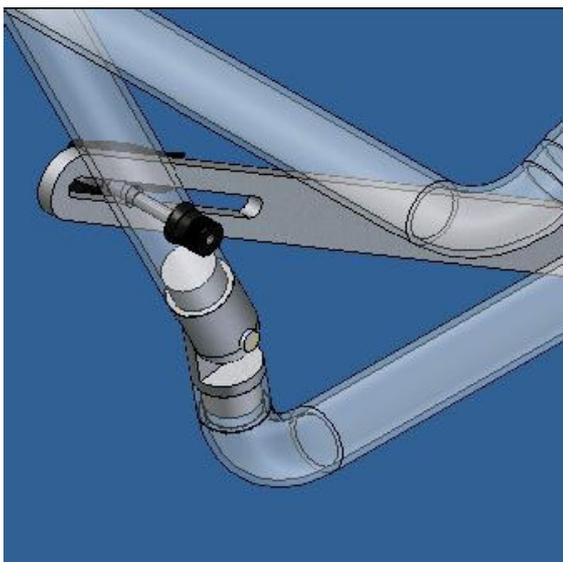


Ilustração 8. Funcionamento do ajuste do encosto [4]



Ilustração 9. Assento e encosto da cadeira [4]

4.3 Avaliação da cadeira

Para avaliar o projeto, foi realizada uma pesquisa junto ao remador Josemar Sales, principal usuário da cadeira (ver Anexo A – Pesquisa com usuário). A partir das repostas e comentários do atleta foi possível identificar quais as necessidades foram atendidas e o que poderá ser feito para atender as que não o foram.

4.3.1 Fixação ao barco

O sistema de fixação atende às necessidades do usuário. Uma vez instalado o par de trilhos em U, processo que exige o uso de chave de fenda, é possível regular a distância entre a cadeira e o apoio dos pés com facilidade usando o quick release. Uma vez que não há barcos exclusivos para os remadores adaptados nos treinamentos e que existem variações da distância entre os trilhos nos quais a cadeira

é fixada, outra vantagem deste sistema é a possibilidade de se fixar em qualquer uma destas variações.

4.3.2 Regulagens

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

4.3.3 Conforto

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

4.3.4 Peso

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

4.4 Resumo da Avaliação

A partir da avaliação da cadeira utilizando os critérios acima, é possível verificar que os pontos críticos a serem melhorados neste projeto serão a adequação em quantidade e qualidade das regulagens fornecidas ao atleta e a melhora no conforto e na mobilidade permitida ao remador. Além disso, do ponto de vista do projeto, percebe-se que existe a possibilidade de se melhorar a estrutura da base da cadeira, o que será feito a seguir.

5 ASSENTO

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

A base é feita em polipropileno, material leve, resistente e barato e é fixada por meio de uma chapa dobrada em L. A fixação entre a chapa e a base de polipropileno é feita por meio de 6 rebites em cada lateral. O assento na posição aberta é mostrado na Ilustração 10 e na Ilustração 11 mostra-se o assento fechado.

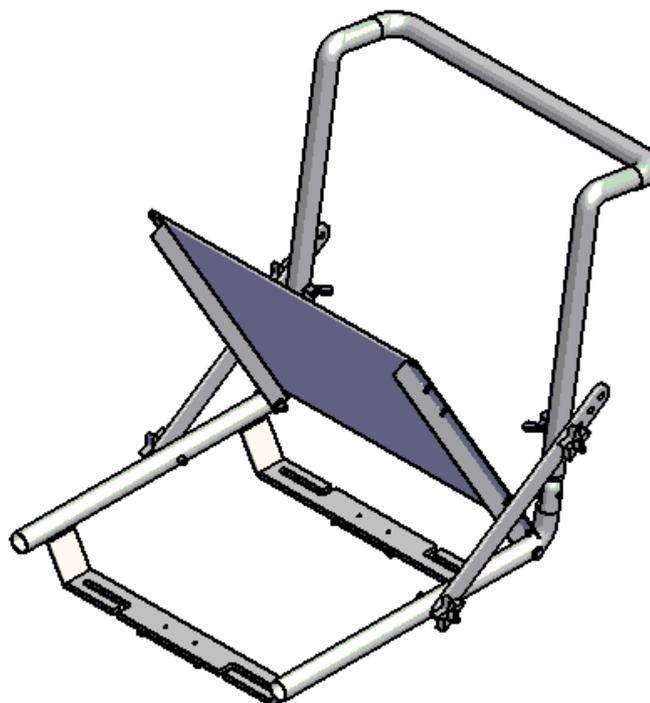


Ilustração 10. Solução para o assento na posição aberta

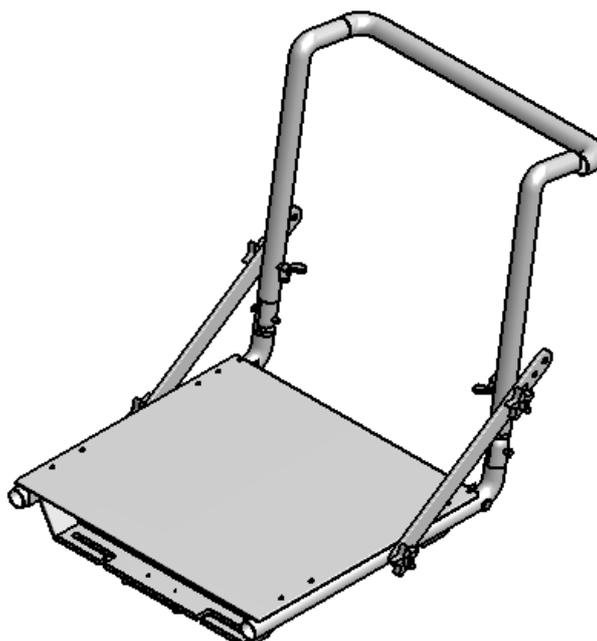


Ilustração 11. Assento fechado

6 ANÁLISE ESTRUTURAL DA BASE

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

Como premissa, será considerada a distribuição das forças na estrutura da cadeira conforme Ilustração 12, Ilustração 13, Tabela 1 e Tabela 2. A distribuição do peso do atleta ao longo do tubo da cadeira (P1, P2, P3, P4, P5 e P6) tenta representar aproximadamente o que seria a distribuição real do peso do remador, uma vez que grande parte do peso estará na parte de trás da cadeira. Para os pontos de aplicação da força resultante da massa do atleta, foram escolhidos os pontos onde os rebites de fixação da placa de polipropileno à chapa dobrada entram em contato com a estrutura tubular. Tal hipótese é a favor da segurança.

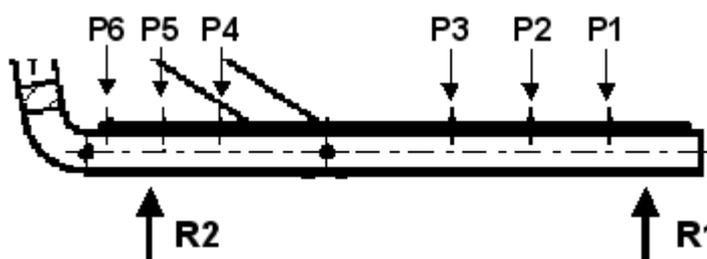


Ilustração 12. Distribuição das forças na estrutura da cadeira

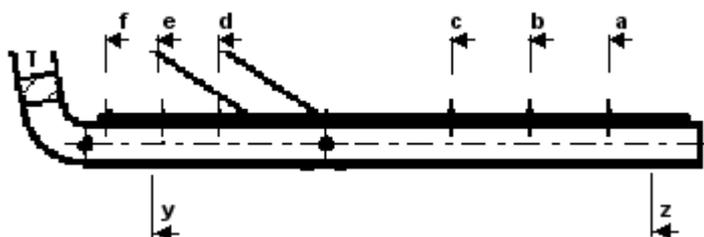


Ilustração 13. Pontos de aplicação das forças na estrutura

Tabela 1. Distribuição do peso do atleta

Força	%
P1	5%
P2	10%
P3	25%
P4	25%
P5	20%
P6	15%
P _{total}	100%

Tabela 2. Valores das distâncias da Ilustração 11

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

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

Portanto, levando-se em consideração que:

$$P_{total} = \frac{m \cdot g}{2} \quad (6)$$

Onde,

$$m=120 \text{ Kg e } g=9,8 \text{ m/s}^2$$

Temos que:

$$P_{total} = 588 \text{ N}$$

Assim, através das equações de equilíbrio das forças verticais e do momento em relação ao ponto z, podemos facilmente achar as reações de apoio R1 e R2:

$$\sum F_{vert} = 0, \text{ portanto:}$$

$$R2 = P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6 - R1 \quad (7)$$

$$\sum M_z = 0, \text{ portanto:}$$

$$R1 = \frac{P1(z-a) + P2(z-b) + P3(z-c) + P4(z-d) + P5(z-e) - P6(f-z)}{(z-y)} \quad (8)$$

Assim,

$$R1 = 150,1 \text{ N}$$

$$R2 = 437,9 \text{ N}$$

Com esses valores, é possível traçar o diagrama do momento fletor ao longo do tubo:

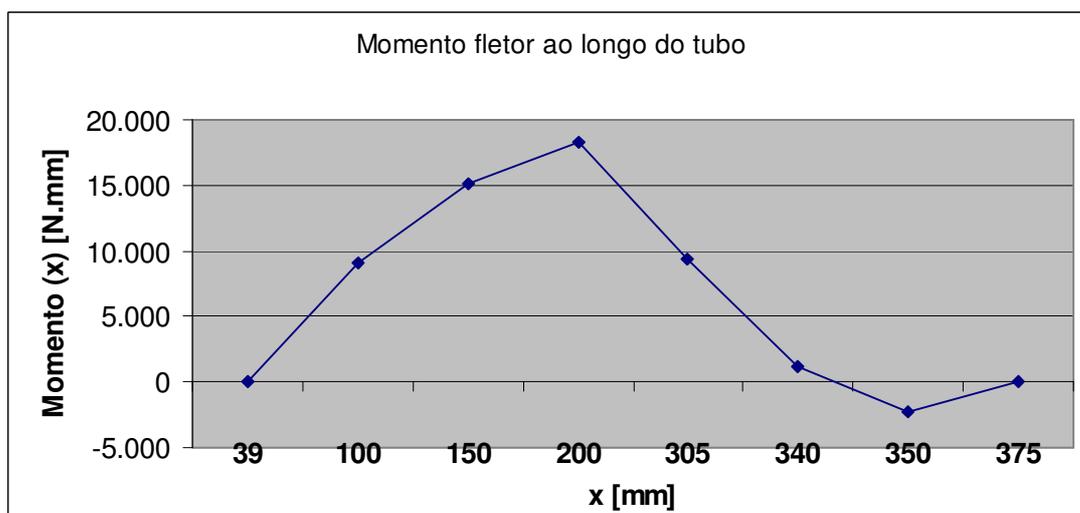


Ilustração 14. Gráfico do momento fletor ao longo da base tubular da cadeira

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

O próximo passo é determinar as tensões às quais a estrutura está sujeita. Sabemos que:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \quad (9)$$

e

$$I = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64} \quad (10)$$

Onde,

D = diâmetro externo do tubo

d = diâmetro interno do tubo

I = momento de inércia da seção transversal do tubo

O valor máximo de σ ocorrerá no ponto onde $y=D$. Porém, existe um furo na estrutura onde a barra de regulação do encosto está fixada. É preciso avaliar a concentração de tensão neste ponto. Segundo Norton [5], o fator de concentração de tensão para este caso é:

$$K = 1,5899 - 0,6355 \cdot \log\left(\frac{d_f}{D}\right) \quad (11)$$

Onde d_f é o diâmetro do furo.

O furo possui diâmetro de 8mm e está localizado a 236mm da extremidade livre do tubo. Podemos encontrar o momento fletor neste ponto através da equação abaixo:

$$M_f = -P1(236 - a) - P2(236 - b) - P3(236 - c) - P4(236 - d) + R1(236 - y) \quad (12)$$

Logo,

$$M_f = 15.219 \text{ N.mm}$$

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

Com estas informações e percebendo que de acordo com o tubo selecionado, variamos a tensão e o fator de concentração no furo, é possível construir uma tabela com algumas opções de tubo que podem ser utilizadas na fabricação da estrutura, utilizando as equações 9, 10 e 11. Os tubos são caracterizados na Tabela 3 por seu diâmetro externo (D), diâmetro interno (d) e espessura.

Tabela 3. Seleção de tubo para estrutura da cadeira

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

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

É importante mencionar que o ponto onde a articulação da cadeira é fixada ao tubo ($x=386$ mm) apresenta momento nulo, calculado a partir da Eq. 13. Desta forma não há necessidade da análise acima para este ponto.

$$M_{f2} = -P1(386 - a) - P2(386 - b) - P3(386 - c) - P4(386 - d) - P5(386 - e) - P6(386 - f) + R1(386 - y) + R2(386 - z) \quad (13)$$

7 REGULAGEM DO ENCOSTO

Um dos problemas notados na avaliação do projeto foi a regulagem do encosto. Por ser feita de um tarugo com um rasgo para ajustar a inclinação do encosto, notou-se que o quick-release deslizava e não mantinha a posição desejada pelo remador. A Ilustração 15 mostra a solução obtida. A solução proposta consiste de quatro furos no tarugo de forma que seja possível regular a inclinação do encosto (em quatro posições), ao mesmo tempo em que assegura que uma vez selecionada tal inclinação ela se mantenha constante durante o treino ou competição. Outra alteração feita foi trocar o quick-release por parafuso com porca borboleta para facilitar a regulagem.

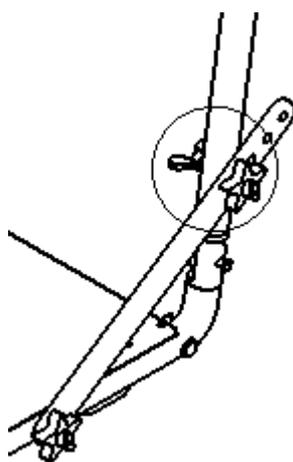


Ilustração 15. Solução para regulagem do encosto

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] OMS – Organização Mundial da Saúde. Disponível em:

<www.who.int> Acesso: 20/04/2008

[2] CPB – Comitê Paraolímpico Brasileiro. Disponível em:

<www.cpb.org.br> Acesso: 20/11/2008

[3] CBR – Confederação Brasileira de Remo. Disponível em:

<www.cbr-remo.com.br> Acesso: 20/04/2008

[4] Poletto, Gustavo de Andrade; Projeto e construção de uma cadeira fixa para remo adaptável – Trabalho de Formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – 2000

[5] Norton, L. Robert, Projeto de Máquinas, São Paulo, Artmed Editora, 2000.

[6] Gere, James M., Mecânica dos Materiais, 5ª edição, São Paulo, Pioneira Thomson Learning Ltda., 2001

9 ANEXO A – PESQUISA COM USUÁRIO

Pesquisa realizada com Josemar Sales em abril de 2008.

1- Como você avalia a cadeira sob os seguintes critérios (nota de 0-5)?

Critério	Nota
Regulagens	4
Fixação ao barco	4
Conforto	3
Peso	4

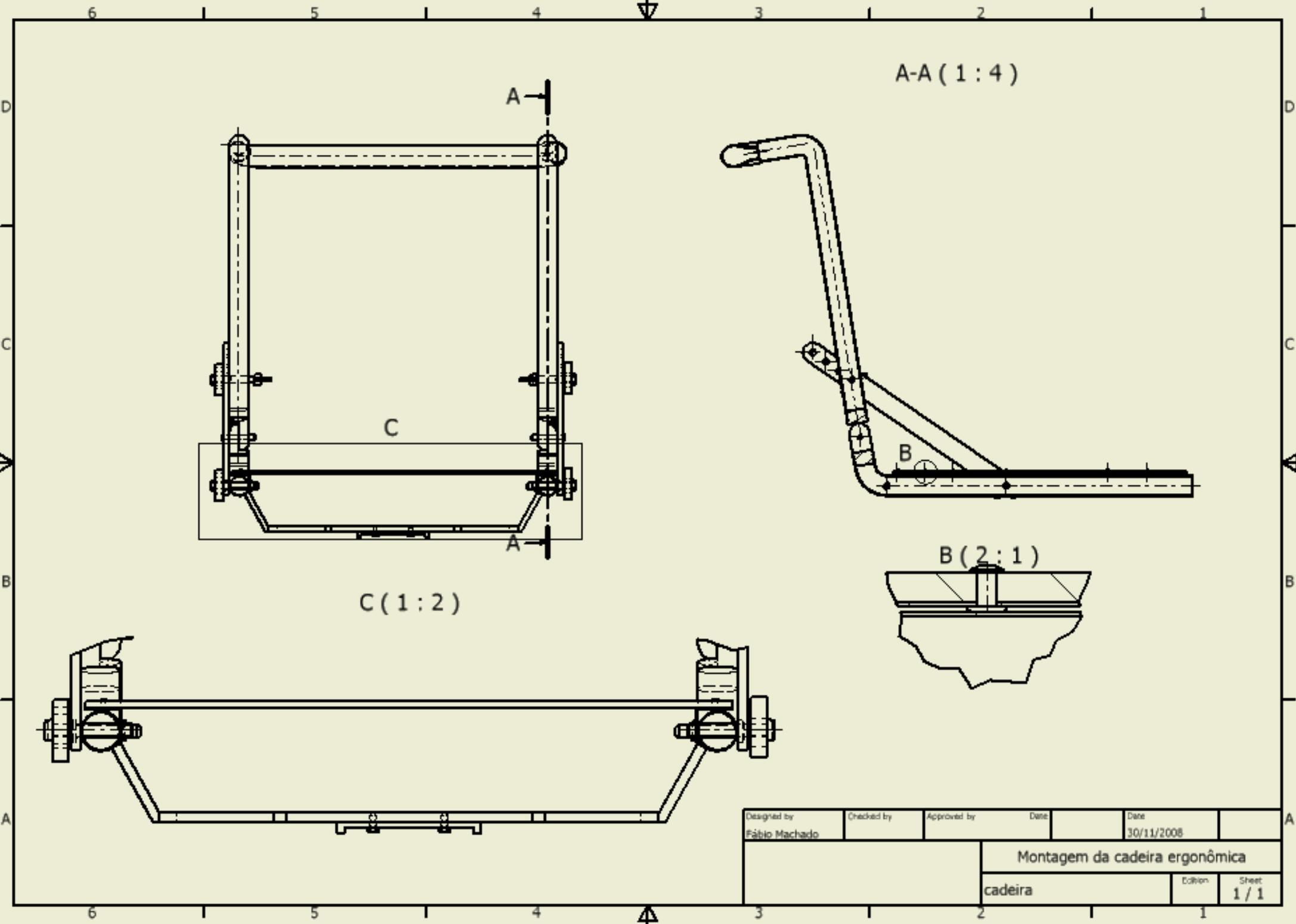
2- Qual a ordem de importância dos critérios (ordenado em ordem decrescente de importância):

- Conforto
- Regulagens
- Peso
- Fixação ao barco

3- Sugestões feitas pelo usuário:

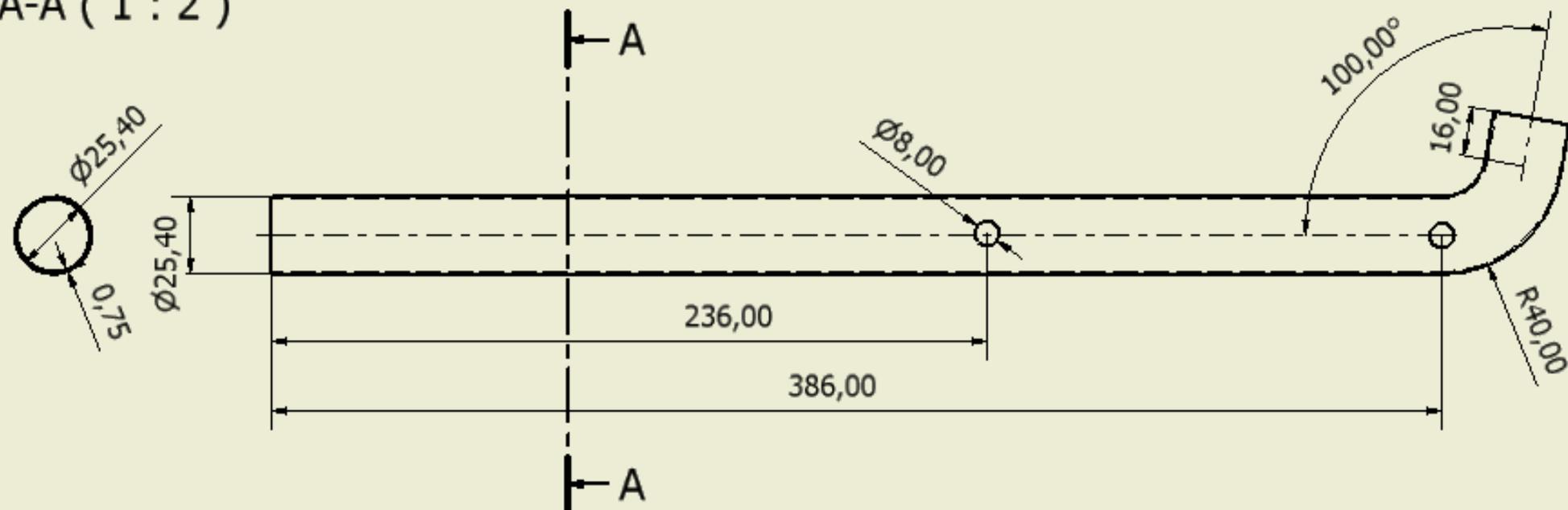
- Altura do encosto poderia ser 5 cm menor para facilitar movimento dos braços durante a remada
- Assento afunda durante a utilização. Falta base de apoio.
- Regulagem do encosto deveria manter posição durante a utilização

10 ANEXO B – DESENHOS DE FABRICAÇÃO

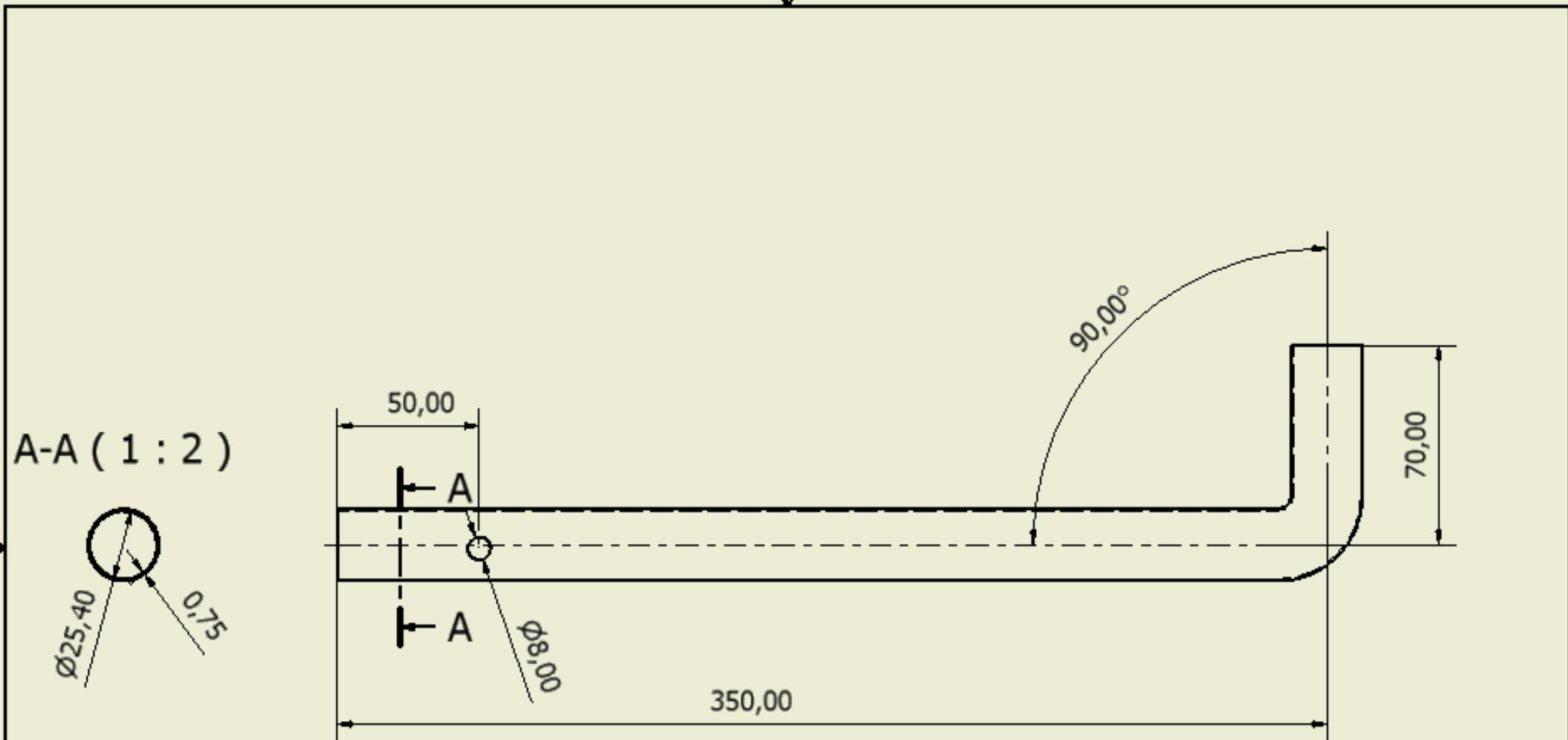


Designed by	Checked by	Approved by	Date	Date	
Fábio Machado				30/11/2008	
			Montagem da cadeira ergonômica		
			cadeira	Edition	Sheet
					1 / 1

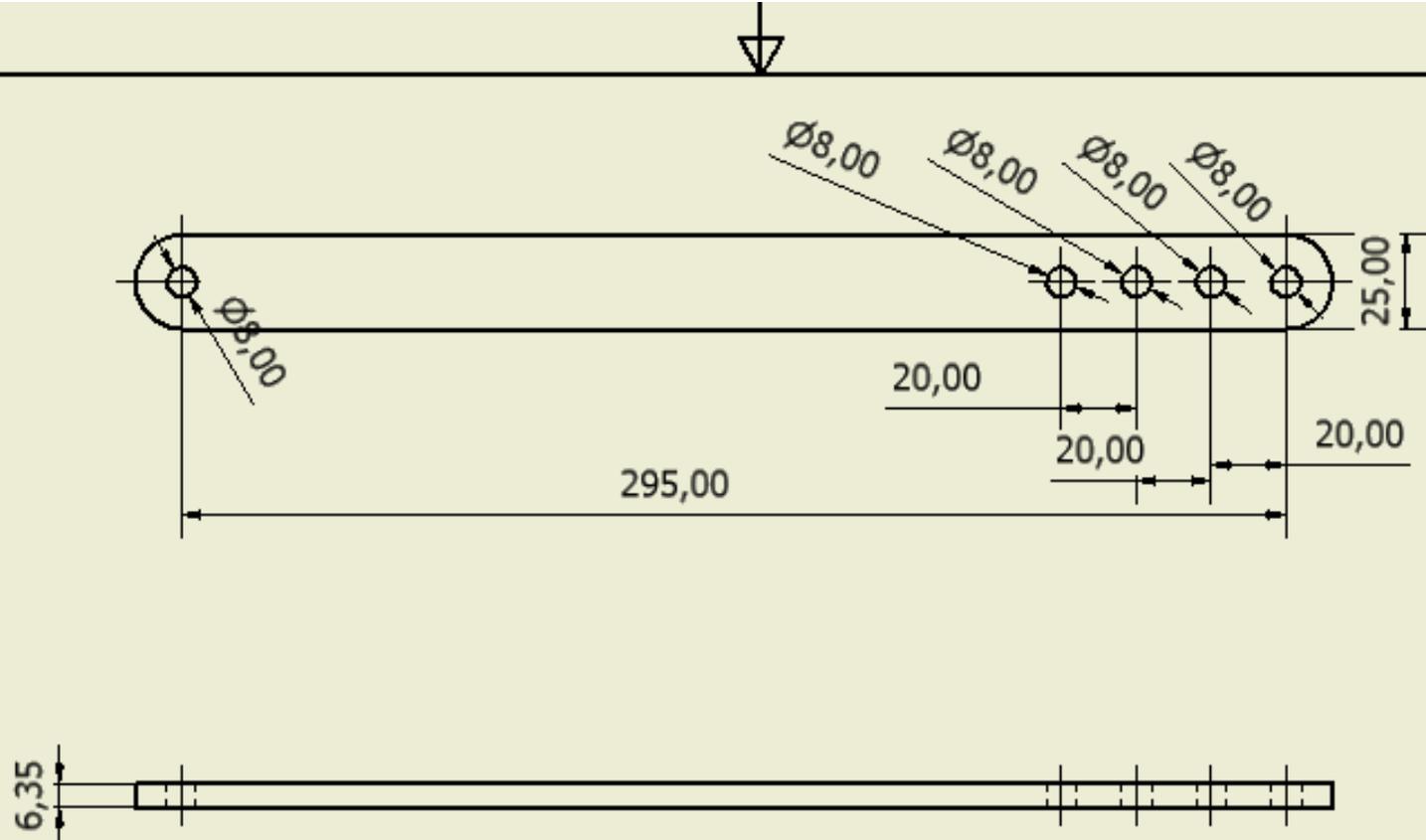
A-A (1 : 2)



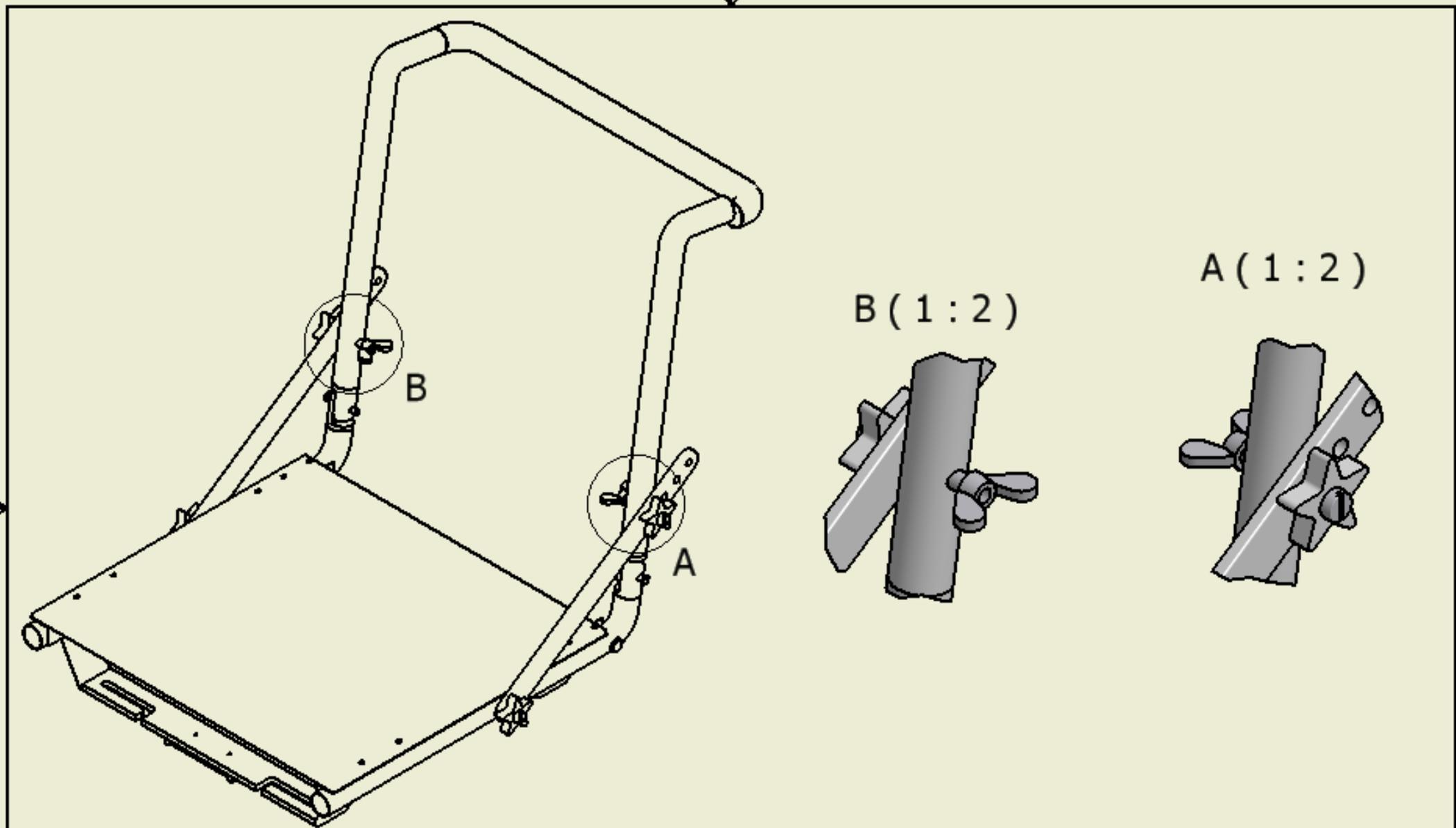
Designed by Fábio Machado	Checked by	Approved by	Date	Date 26/11/2008	
			ABNT 1020 - ϕ 1 x 3/32		
tubo			Edition	Sheet 1 / 1	



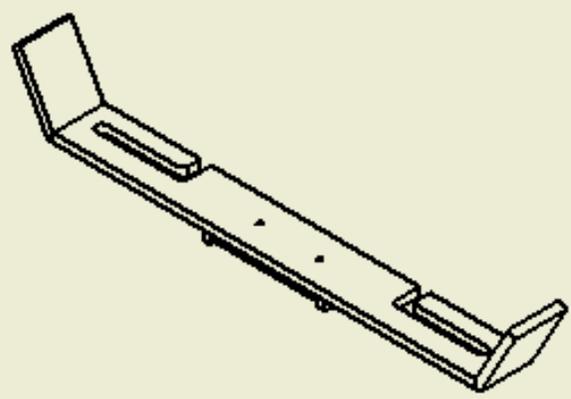
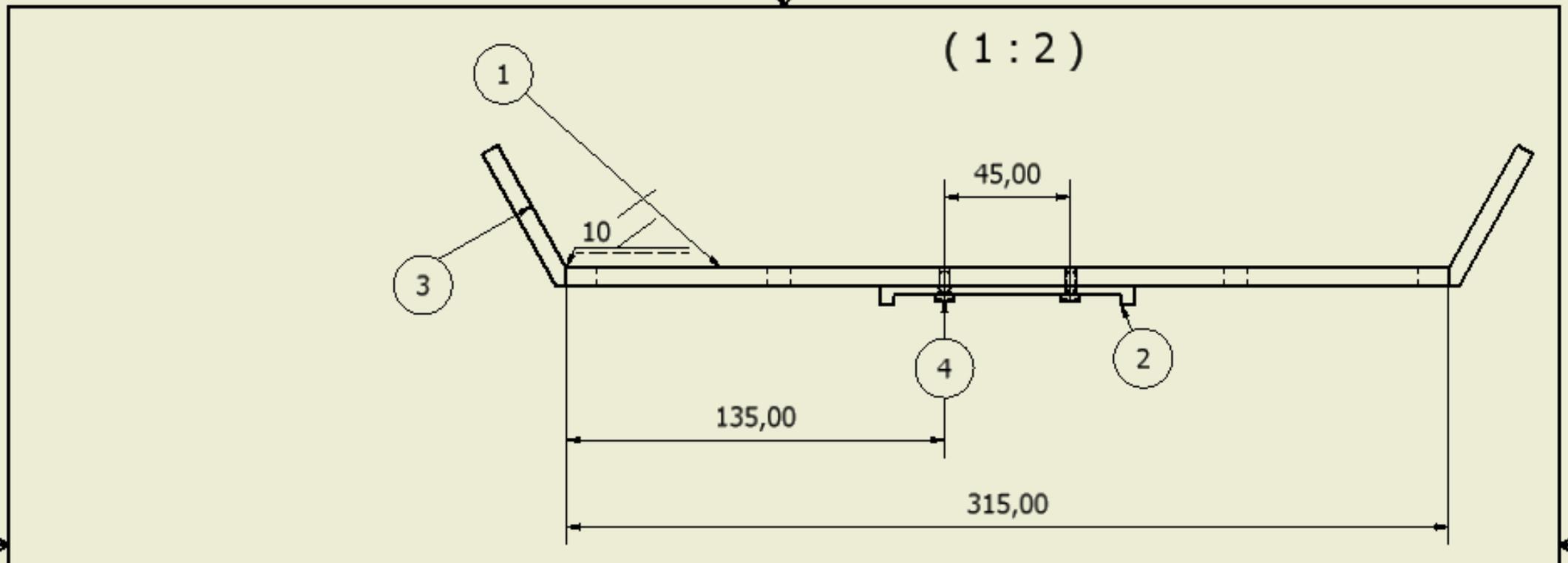
Designed by Fábio Machado	Checked by	Approved by	Date	Date 26/11/2008	
			ABNT 1020 - $\phi 1 \times 3/32$		
encosto			Edition	Sheet 1 / 1	



Designed by Fábio Machado	Checked by	Approved by	Date	Date 26/11/2008	
			Alumínio		
			barra_regulagem	Edition	Sheet 1 / 1



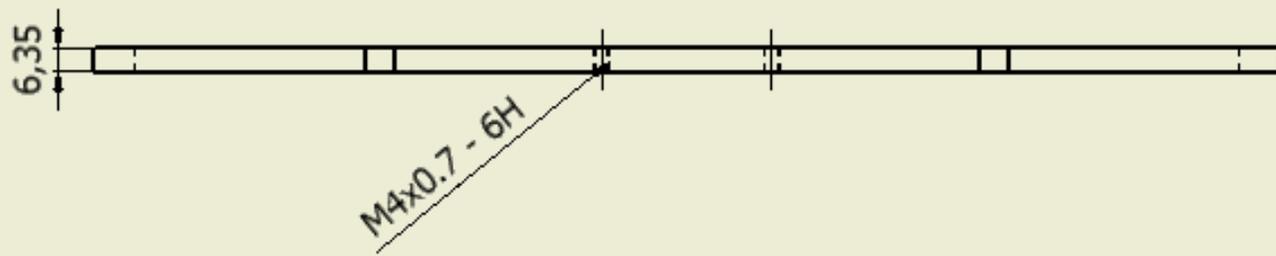
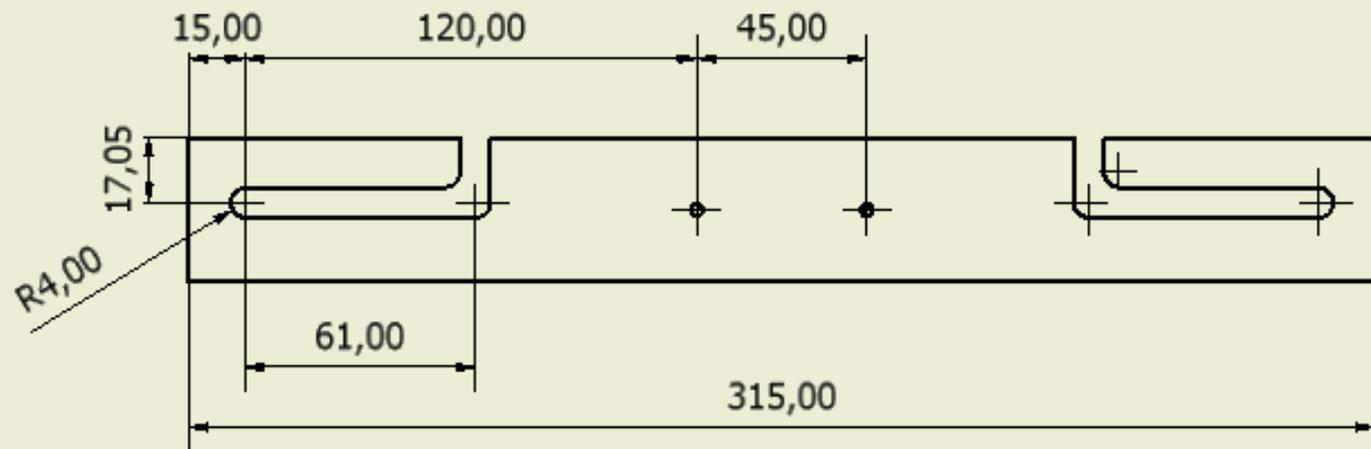
Designed by Fábio Machado	Checked by	Approved by	Date	Date 30/11/2008	
			Regulagem do encosto		
			regulagem	Edition	Sheet 1 / 1



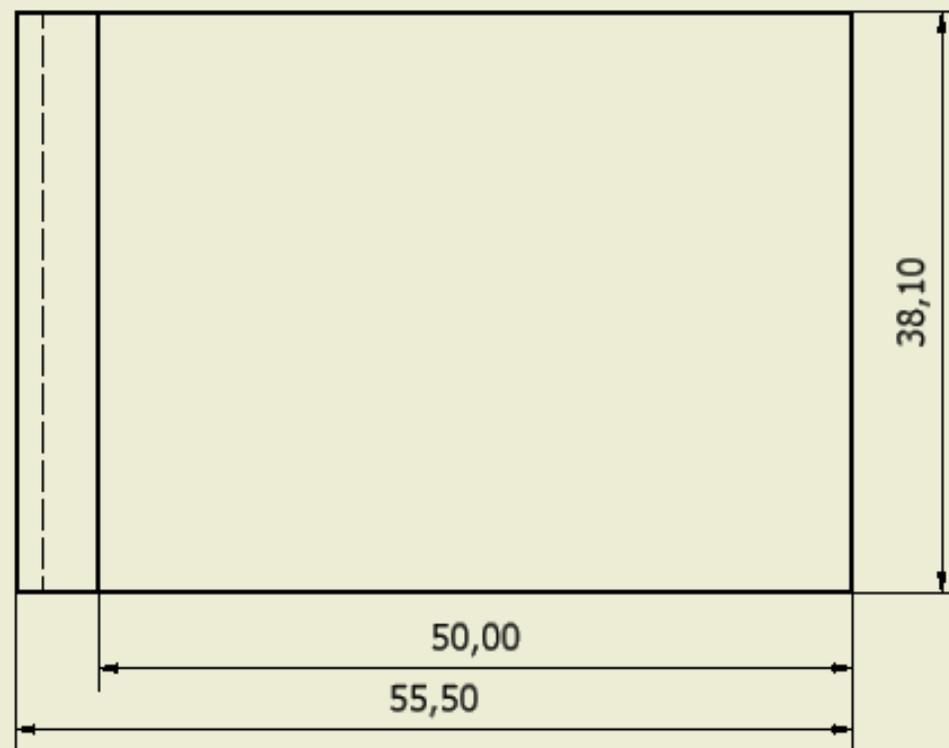
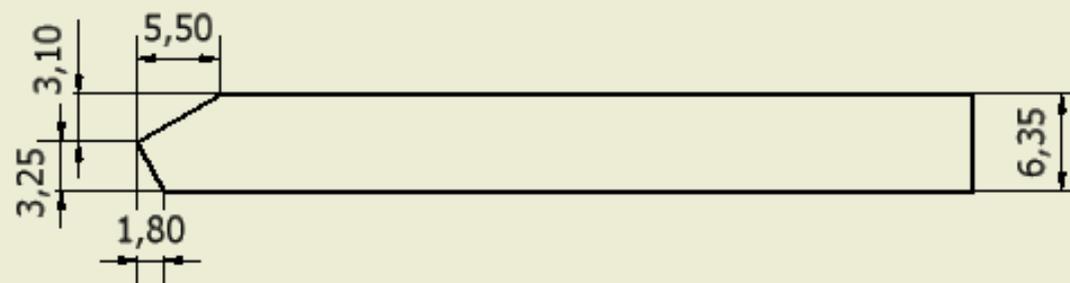
Lista de peças		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Base-1
2	1	Base-4ipt
3	2	Base-3ipt
4	2	M4 x 8

Designed by Andre	Checked by	Approved by	Date	Date 25/11/2008
			Edition	
			Sheet 1 / 1	

base

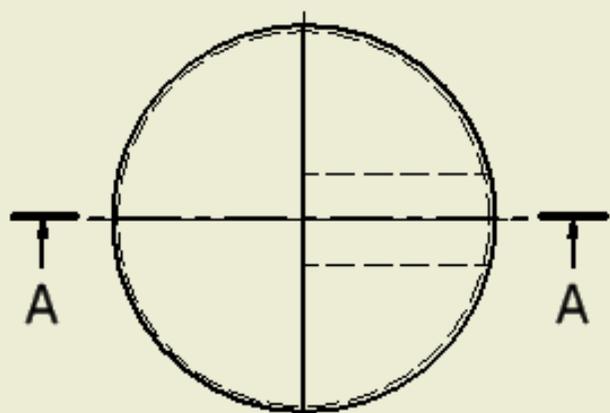
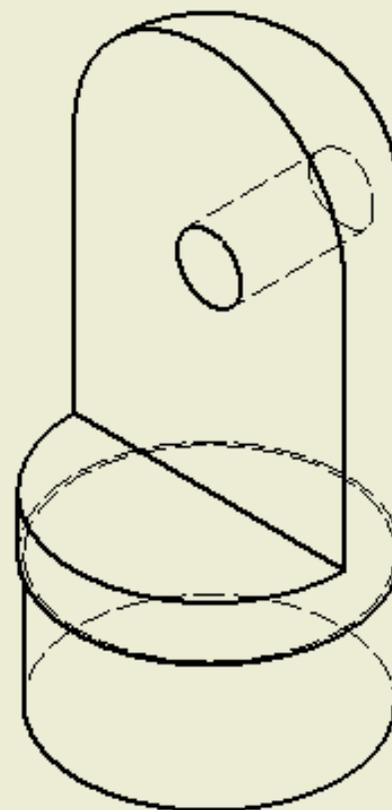
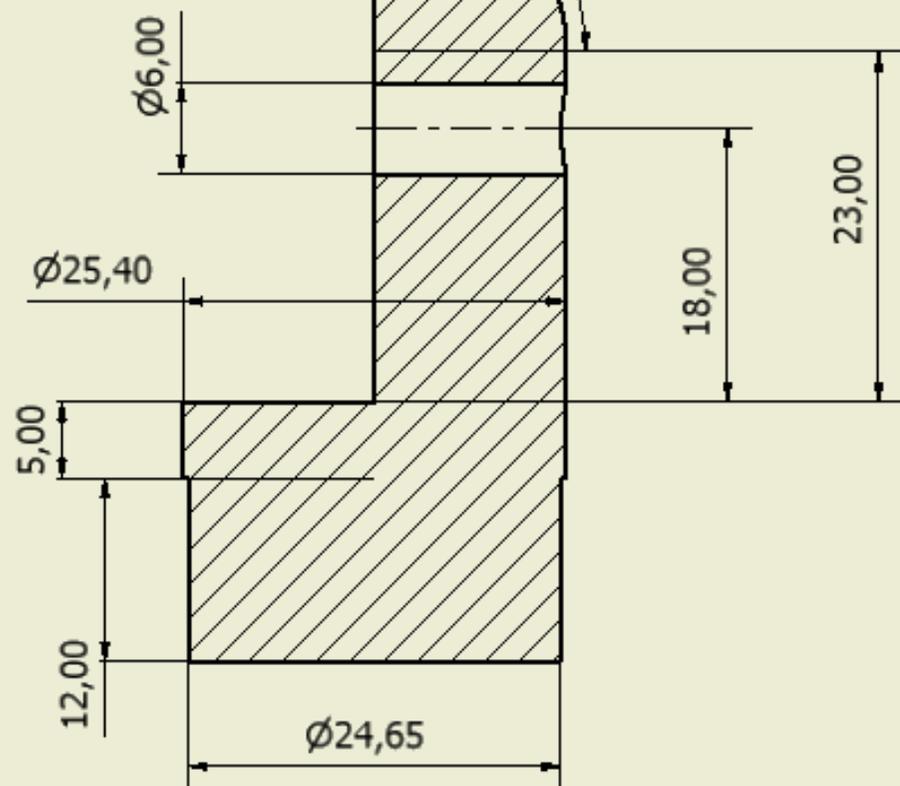


Designed by Fábio Machado	Checked by	Approved by	Date	Date 25/11/2008	
			ABNT 1020 - 1/4 x 1 1/2		
Base-1			Edition	Sheet 1 / 1	

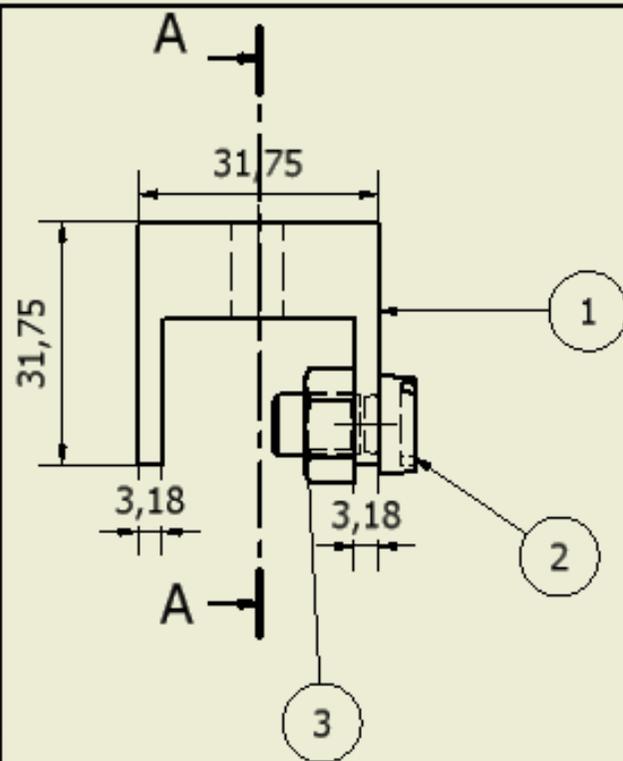


Designed by Fábio Machado	Checked by	Approved by	Date	Date 25/11/2008	
			ABNT 1020 - 1/4 x 1 1/2		
			Base-3ipt	Edition	Sheet 1 / 1

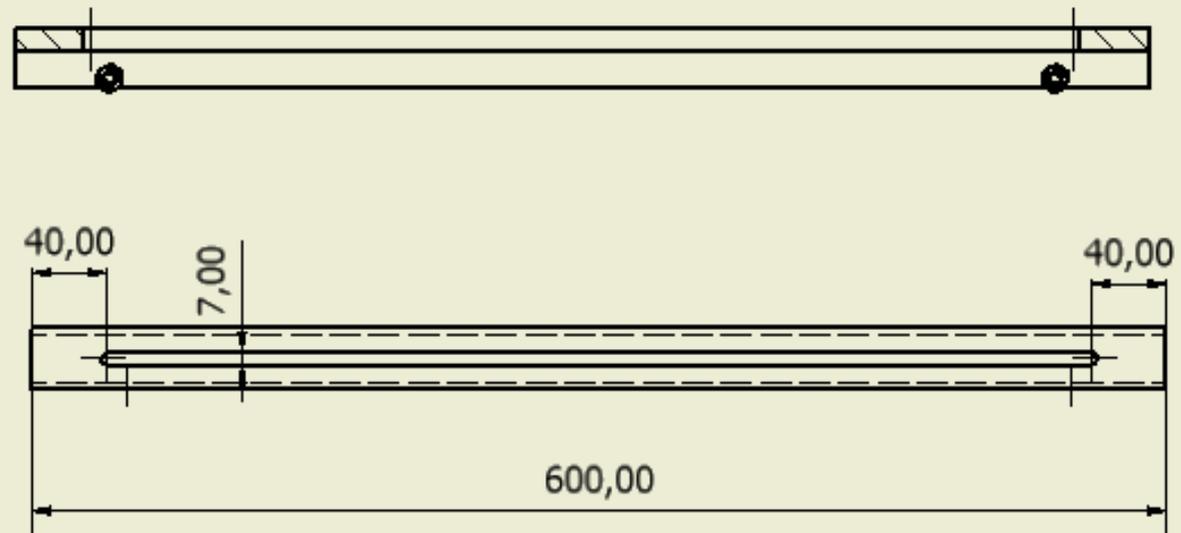
A-A (2:1)



Designed by Fábio Machado	Checked by	Approved by	Date	Date 26/11/2008	
			ABNT 1020		
ponta			Edition	Sheet 1 / 1	

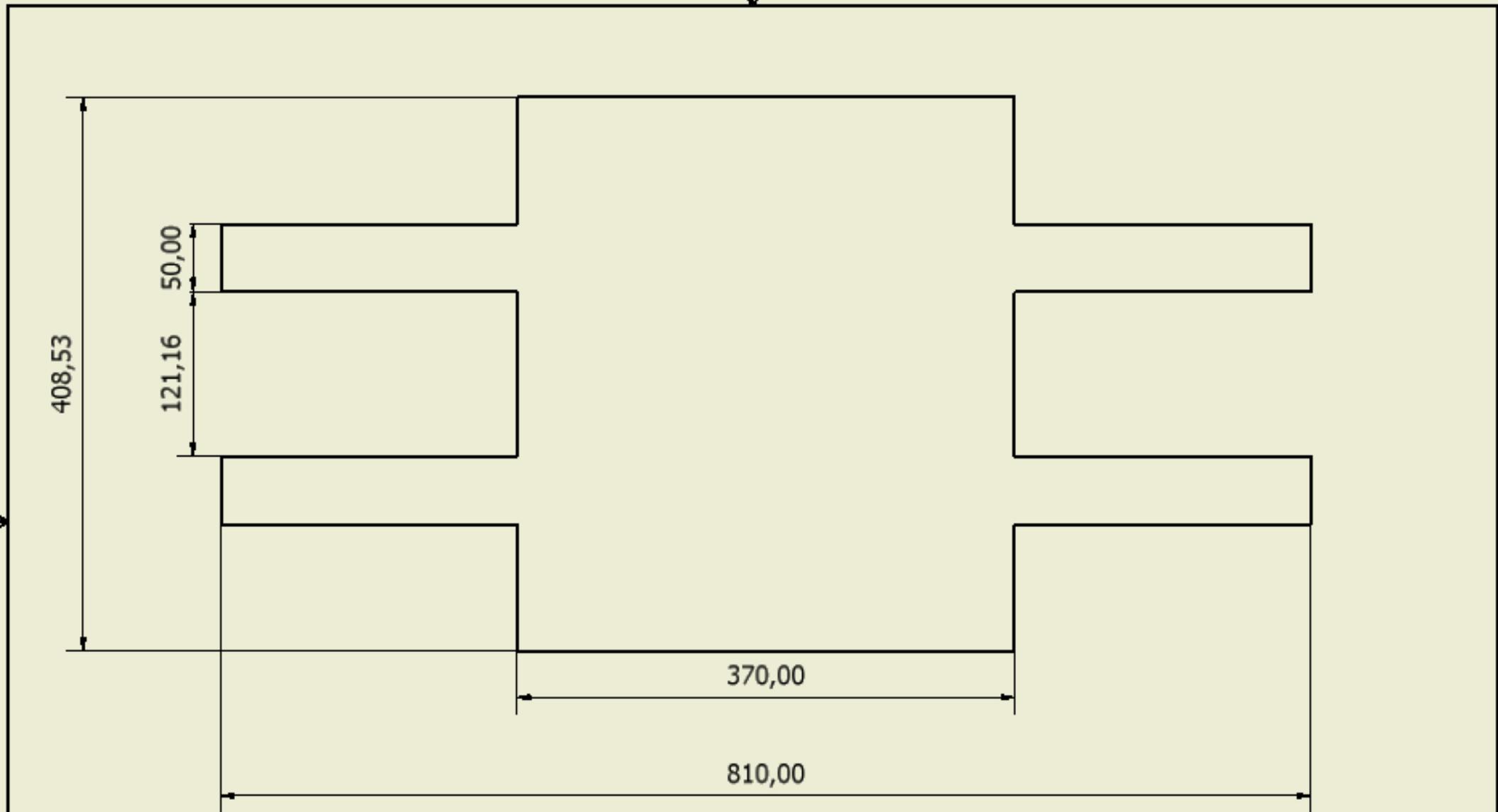


A-A (1 : 4)

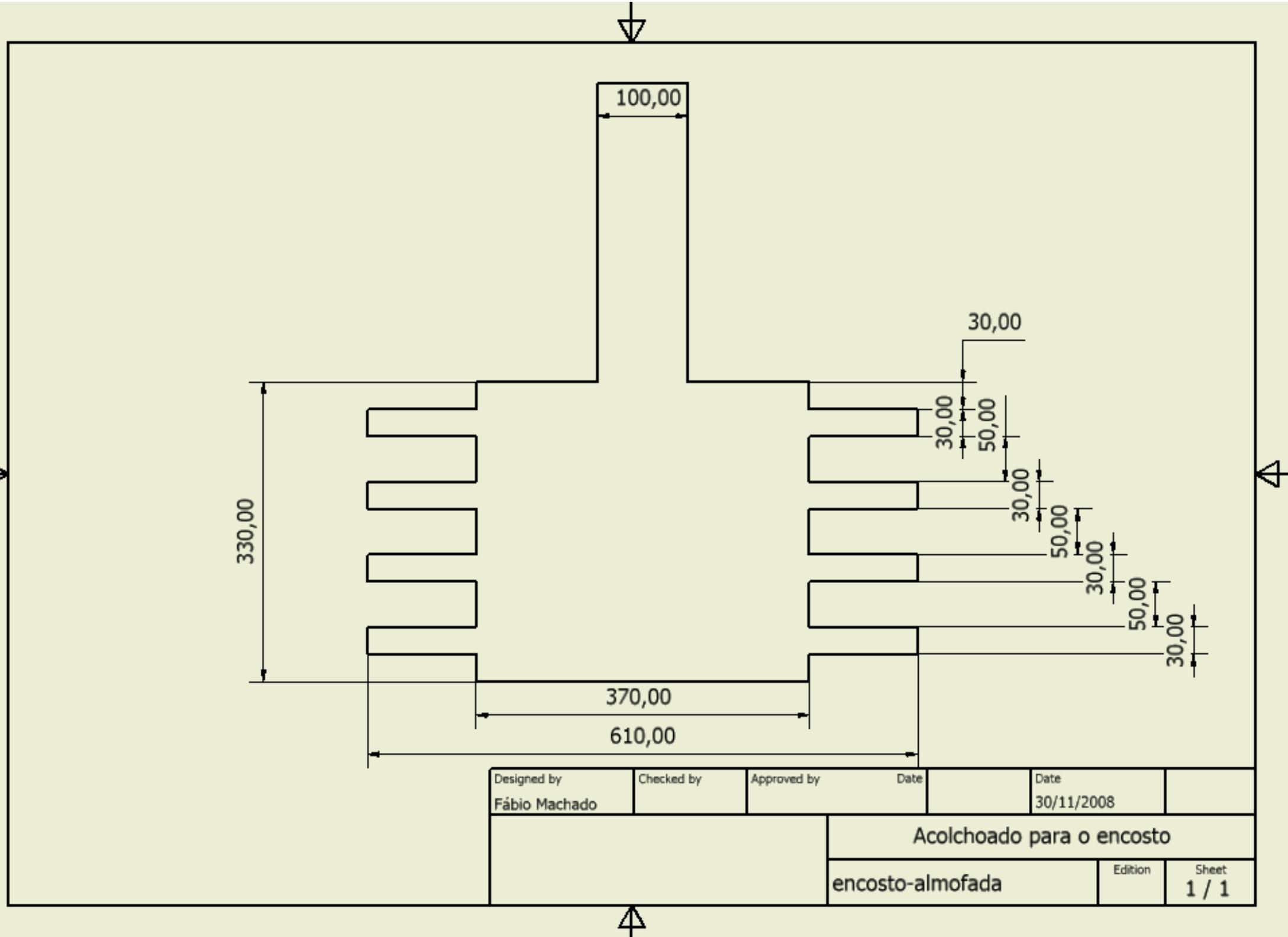


PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Trilho_U
2	2	JIS B 1101 - A M8 x 14
3	2	JIS B 1181 - HN - Class 1 Regular M8

Designed by Fábio Machado	Checked by	Approved by	Date	Date 25/11/2008
			ABNT 1020 - U 11/4x1 1/4 x 1/8	
			Trilho U	Edition Sheet 1 / 1



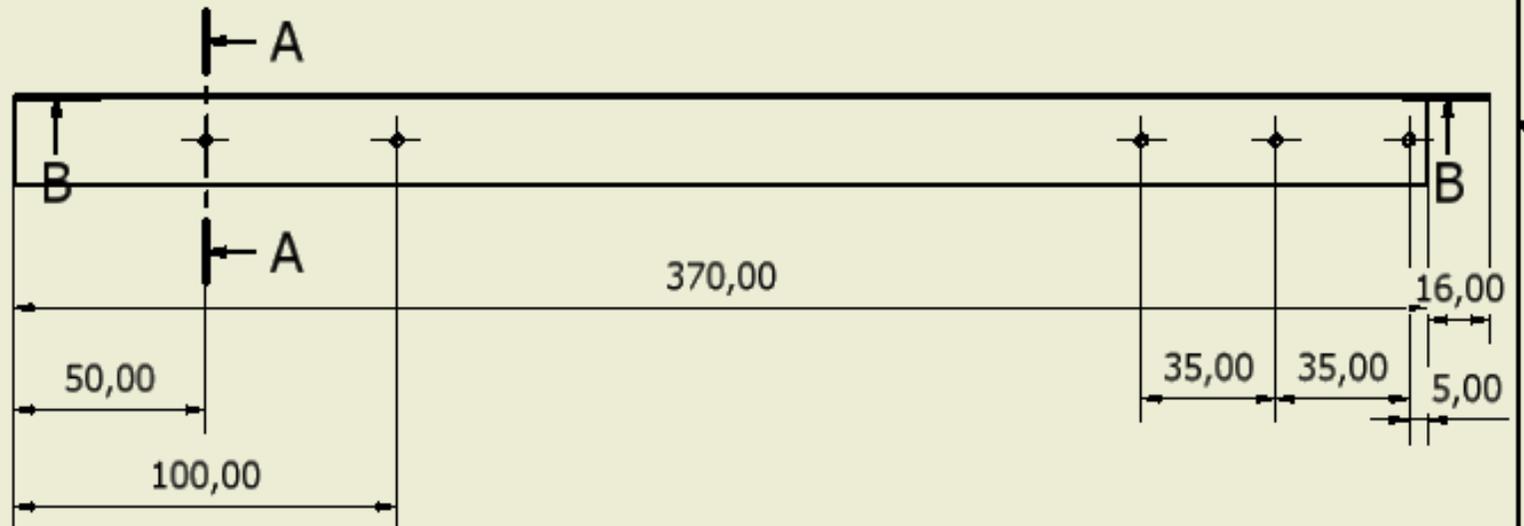
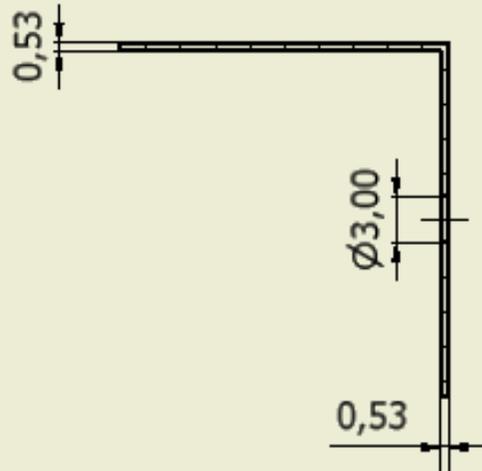
Designed by	Checked by	Approved by	Date	Date	
Fábio Machado				30/11/2008	
			Almofada do assento		
			assento-almofada		Edition Sheet 1 / 1



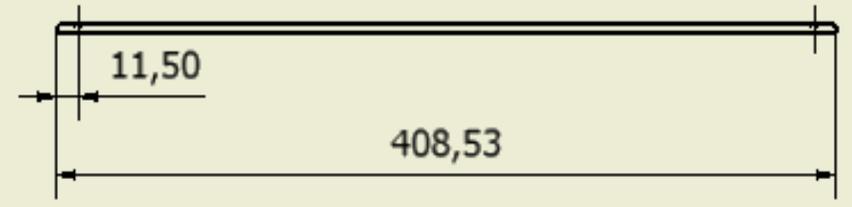
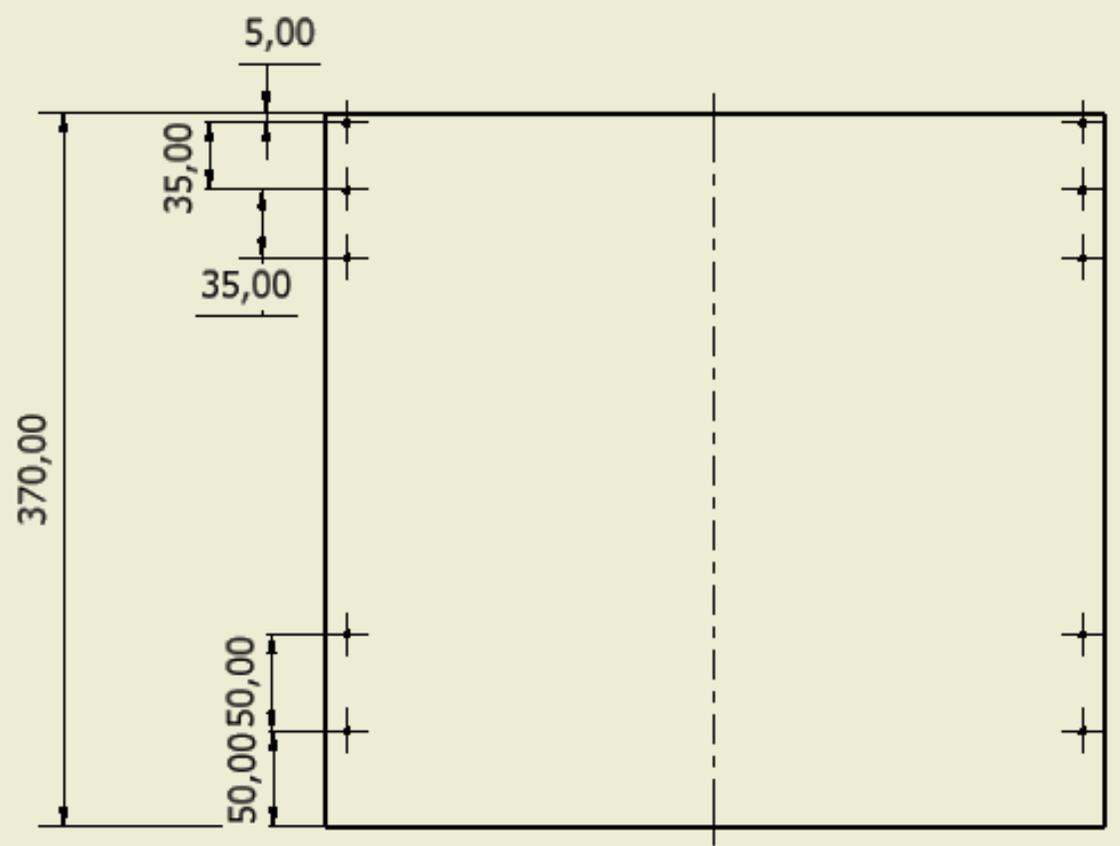
A-A (2 : 1)

B-B (1 : 2)

$\varnothing 8,00$



Designed by Fábio Machado	Checked by	Approved by	Date	Date 30/11/2008	
			ABNT 1020 0,53		
			apoio1	Edition	Sheet 1 / 1



Designed by Fábio Machado	Checked by	Approved by	Date	Date 30/11/2008
			Polipropileno	
			assento	Edition Sheet 1 / 1