

FILIPE REGATIERI DESSEN
PAULO HENRIQUE VISCHI CARVALHO

*Nota final 7,0
(sete)*
100%
22/04/04

MÁQUINA PARA USINAGEM DE SHAPES
ESTUDO DO SISTEMA DE USINAGEM

Trabalho apresentado a Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a
conclusão do curso de graduação em
Engenharia Mecatrônica.

São Paulo
2003

FILIPE REGATTIERI DESSEN
PAULO HENRIQUE VISCHI CARVALHO

MÁQUINA PARA USINAGEM DE SHAPES
ESTUDO DO SISTEMA DE USINAGEM

Trabalho apresentado a Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a
conclusão do curso de graduação em
Engenharia Mecatrônica.

Área de concentração:
Engenharia Mecatrônica

Orientador:
Julio Cezar Adamowski

São Paulo
2003

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos nossos familiares e amigos, que são as pessoas mais importantes em nossas vidas, pelo incentivo diário ao longo destes difíceis, porém prazerosos, anos de estudo na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Agradecemos, em especial, a todos os envolvidos neste trabalho de formatura, que nos aconselharam e possibilitaram vencer as burocracias inerentes às tarefas realizadas.

RESUMO

MÁQUINA PARA USINAGEM DE SHAPES

ESTUDO DO SISTEMA DE USINAGEM

Este trabalho de formatura consiste no projeto de uma máquina de ensaios para medição de forças de usinagem de espumas rígidas de poliuretano para altas velocidades de avanço.

A máquina foi projetada para que sejam conduzidos ensaios em diferentes velocidades de avanço, rotações, formatos de ferramentas, parâmetros de usinagem que se deseja correlacionar com as forças de usinagem.

Este estudo foi motivado pela existência de uma máquina de usinagem de shapes que apresenta problemas de acabamento superficial. A idéia é fazer um estudo prévio da usinabilidade do poliuretano, de modo a definir os parâmetros ótimos de usinagem, em que se obtenha um processo confiável e preciso. Portanto, os resultados deste trabalho ajudarão em um novo projeto para a máquina de usinagem de shapes. Porém, a utilização dos resultados obtidos com a máquina de ensaios pode ser estendida para diversas aplicações que utilizem espuma rígida de poliuretano. Na verdade, as espumas rígidas de poliuretano, por serem largamente utilizadas para isolamentos térmicos, têm apenas propriedades térmicas amplamente difundidas. Faz-se ainda necessário um estudo aprofundado das propriedades mecânicas, que são fundamentais na usinabilidade do material.

Para efetuar a medição de forças de usinagem utilizou-se células de carga, montadas em guias lineares, e instaladas nos 3 eixos de trabalho, possibilitando assim a determinação das forças de avanço, corte e penetração.

ABSTRACT

MILLING SURF SHAPE MACHINE STUDY OF MILLING PARAMETERS

This work presents the project of a testing machine to measure milling forces in poliurethane in high speed process.

The machine was projected to allow tests in different milling speeds, rotations and with different milling tools, parameters to be related with the milling forces.

This study was motivated due to problems with an existing milling surf shape machine, such as the superficial roughness. The aim is to previously study poliurethane milling, what will be able to choose the best conditions in which the machine must operate. Therefore, the results will help in a new project of the existing machine. However, these results can also be used in other applications of poliurethane. In fact, poliurethane is widely used in thermal isolation, so thermal properties are well known. It is still necessary to study mechanical properties, that are very important to material's machining.

To measure the milling forces were used strain gauge cells, installed in all 3 axes, allowing the measurement of forward, cut and penetration forces.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. MOTIVAÇÃO.....	4
4. METODOLOGIA DE TRABALHO.....	6
5. ESCOLHA DO LAYOUT PARA MÁQUINA DE ENSAIOS.....	7
5.1. PROPOSTAS DE LAYOUT	7
•1 ^a proposta- <i>LVDT</i>	7
•2 ^a proposta- <i>Células de carga</i>	7
•3 ^a Proposta- <i>Células de carga + mesa de mancais flexíveis</i>	8
•4 ^a proposta- <i>Células de carga + guias lineares</i>	8
5.2. CÁLCULOS PARA DETERMINAÇÃO DO MELHOR LAYOUT.....	11
•Cálculo dos mancais flexíveis.....	11
•Estimativa da força em função do torque máximo	11
•Cálculo da frequência de ressonância da mesa	12
•Cálculo da rigidez da placa.....	13
•Estimativa do torque da tupia.....	13
6. PROJETO DA MÁQUINA DE ENSAIOS.....	14
6.1. DETERMINAÇÃO DAS FERRAMENTAS.....	14
•Equacionamento da área de penetração e velocidade de corte	18
6.2. ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DA MÁQUINA DE ENSAIOS	19
•Dimensionamento das guias lineares.....	19
•Dimensionamento da célula de carga.....	19
7. DETALHAMENTO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE FORÇAS.....	25
7.1. INTRODUÇÃO.....	25
7.2. COMPONENTES DO SISTEMA DE MEDIÇÃO	26
7.2.1. Sensor: <i>Células de carga SV-50</i>	26
7.2.2. Tratamento do sinal: <i>placa amplificadora ACC1</i>	27
7.2.3. Conversão de pinagem: <i>placa DBK201</i>	27
7.2.4. Aquisição do sinal: <i>Placa DaqBoard 2000</i>	28
7.2.5. Levantamento de dados: <i>Programa “Sistema de Aquisição Shaper”</i>	29
7.2.6. Gerenciamento do sistema de aquisição: <i>PC</i>	30
7.3. MONTAGEM E CALIBRAÇÃO	30

7.4.MEDIÇÕES PRELIMINARES COM O SISTEMA DE AQUISIÇÃO	31
8.CONCLUSÕES	36
9.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
10.ANEXOS.....	38
10.1.ANEXO A- CÓDIGO FONTE DO PROGRAMA DE AQUISIÇÃO “SISTEMA DE AQUISIÇÃO SHAPER”	38
10.2.ANEXO B- ORÇAMENTOS.....	41
10.3.ANEXO C-LISTA DE MATERIAIS.....	43
10.4.ANEXO D-DESENHOS DE FABRICAÇÃO.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Forças de usinagem em um processo de fresamento	2
Figura 2- Máquina atual.....	4
Figura 3- Prancha em sua forma final.....	4
Figura 4- Irregularidades no acabamento	5
Figura 5- Fresa de topo de 34 mm	5
Figura 6- 1 ^a Proposta.....	9
Figura 7- 2 ^a Proposta.....	9
Figura 8- 3 ^a Proposta.....	10
Figura 9- 4 ^a Proposta.....	10
Figura 10- Mesa	12
Figura 11- Pico da irregularidade	15
Figura 12- Áreas de penetração da ferramenta	15
Figura 13- Simulações de corte com diversas ferramentas.....	17
Figura 14- Esquema da montagem do sistema de medição	20
Figura 15- Detalhe do sistema de avanço da mesa	20
Figura 16- Detalhe do sistema de movimentação da guia no eixo y	21
Figura 17- Detalhe do sistema de usinagem	22
Figura 18- Proposta alternativa.....	22
Figura 19- Sistema de transmissão	23
Figura 20- Vistas da mesa de fixação da amostra.....	23
Figura 21- Proposta final da máquina de ensaios	24
Figura 22-Esquema de ligação do sistema de medição	26
Figura 23- Célula de Carga.....	26
Figura 24- Placa conversora de pinagem DBK201.....	27
Figura 25- Detalhamento do conector P1	28
Figura 26- Placa de aquisição DaqBoard 2000.....	29
Figura 27- Tela do programa de aquisição	29
Figura 28- Curva de calibração da célula de carga	31
Figura 29- Medições das forças de usinagem na fresadora	35

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1- Comparativo entre as diversas ferramentas propostas e existente.....	17
Tabela 2- Dimensões da Célula de Carga.....	27
Tabela 3- Parâmetros de usinagem empregados nos testes de funcionamento.....	32
Tabela 4- Lista de materiais.....	43
Gráfico 1- Irregularidade máxima de usinagem 3D	16
Gráfico 2-Irregularidade máxima de usinagem para passos definidos.....	16

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição	Unidade
F_f	Força de Avanço	N
F_n	Força de Corte	N
F_R	Força Resultante	N
F_r	Força Radial	N
F_t	Força Tangencial	N
δ	Deslocamento	m
W	Carga	N
l	Comprimento	m
E	Módulo de Elasticidade	Pa
I	Momento de Inércia	m^4
h	Pico Máximo de Irregularidade	mm
R	Raio da Ferramenta	m
P	Passo da Ferramenta	m
V_c	Velocidade de Corte	m/s
n	Rotação	rpm
A	Área de Penetração da Ferramenta	m^2
α	Ângulo de Corte Efetivo da Ferramenta	Graus
ϕ	Diâmetro do Eixo da Guia	m
R	Raio do Eixo da Guia	m
T	Torque do Motor da Ferramenta	N.m
η	Rendimento	-
n	Taxa de Redução	-
ϕ	Diâmetro do Eixo do Motor	m
ρ	Densidade	kg/m^3
M	Massa	kg
V	Volume	m^3
h	Espessura da Placa	m
b	Largura da Placa	m
Pot	Potência do Motor	W

K	Rigidez	N/m
ω	Freqüência de Vibração	rad/s
f	Freqüência de Vibração	Hz

1. INTRODUÇÃO

A usinagem é a forma mais tradicional de manufatura de uma peça, processo pelo qual há remoção de material a fim de atingir as dimensões finais do produto acabado.

Há diversos parâmetros envolvidos na usinagem de uma peça:

- Tipo de usinagem
 - Torneamento
 - Fresamento
 - Retífica
 - Furação
 - Brunitamento
 - Alargamento
- Velocidade de corte
- Velocidade de avanço
- Rotação da ferramenta
- Acabamento superficial

As forças originadas em um processo de usinagem ocorrem nas 3 direções do espaço e podem ser diferenciadas em:

- Força de corte

Ocorre no plano de corte da peça, em uma direção perpendicular ao sentido de avanço da ferramenta e é responsável pelo corte do material.

- Força de avanço

Ocorre no plano de corte da peça, na direção de avanço da ferramenta, ou seja, representa a resistência imposta pela peça ao avanço da ferramenta durante o corte

- Força de penetração

Está relacionada à resistência imposta pela peça em um plano perpendicular ao de corte, representando a dificuldade da ferramenta de entrar no material.

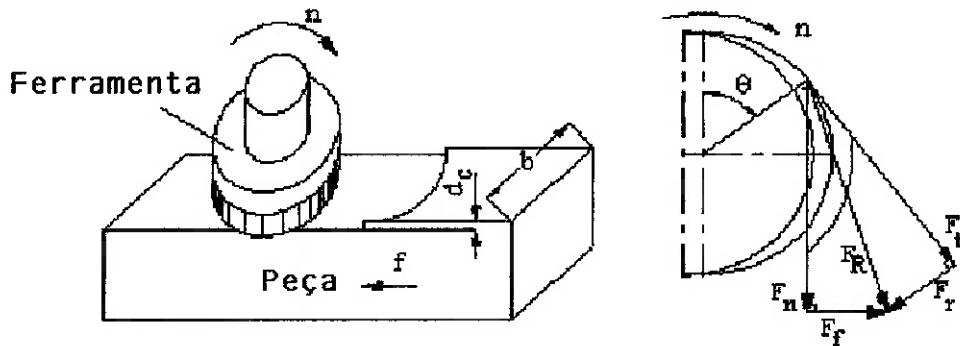


Figura 1- Forças de usinagem em um processo de fresamento

Na figura 1 estão representadas as forças de usinagem em uma operação de fresamento. F_f é a força de avanço e F_n é a força de corte. É possível decompor a força resultante(F_R) no plano de corte em uma direção radial à rotação da ferramenta (F_r) e em uma direção tangencial (F_t). A força de penetração não aparece na figura, pois encontra-se perpendicular ao plano da folha de papel, que coincide com o plano de corte da peça.

Estas forças de usinagem são função de todos os parâmetros envolvidos no processo e podem ser um indicador útil da correta definição destes parâmetros. Para os mais diversos tipos de materiais, o que se busca sempre é trabalhar com parâmetros que otimizem as forças de usinagem envolvidas, possibilitando assim a definição dos requisitos de projeto estrutural da máquina que fará a usinagem.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho de formatura é projetar uma máquina para determinação das forças envolvidas na usinagem de espumas rígidas de poliuretano para altas velocidades de avanço. A fim de limitar o escopo do trabalho, o projeto irá inicialmente ater-se apenas no projeto do sistema de usinagem, ou seja, na determinação dos parâmetros e ferramentas do processo de fresamento. Os parâmetros de interesse serão tolerância dimensional, acabamento superficial, forças, torques e potências envolvidas.

O projeto do sistema de movimentação e seu controle é parte de um outro trabalho de formatura denominado “Maquina para usinagem de shapes- Estudo do sistema de movimentação”

Para tanto, a máquina será projetada para que sejam conduzidos ensaios em diferentes velocidades de avanço, rotações, formatos de ferramentas.

3. MOTIVAÇÃO

Atualmente, existe uma máquina para usinagem de shapes, comercializada mundialmente e que apresenta resultados satisfatórios. O material empregado é espuma rígida de poliuretano e o processo é um fresamento de topo. Uma foto da máquina pode ser vista na figura 2. Uma prancha é usinada em torno de 20 min, período após o qual ela já possui sua forma final (fig. 3). Entretanto, o acabamento superficial obtido não é satisfatório, exigindo que o shape designer lixe a prancha manualmente, processo que consome aproximadamente 30 min. As irregularidades remanescentes na prancha estão ilustradas na figura 4. Logo, torna-se bastante interessante estudar as razões pelas quais a prancha apresenta tantas irregularidades após a usinagem. A ferramenta atual é uma fresa de topo de 34 mm de diâmetro e uma das causas possíveis para o problema encontrado seria seu pequeno diâmetro. Uma foto da ferramenta atual encontra-se na figura 5. Outra hipótese a ser levantada seriam problemas de rigidez estrutural da máquina. A primeira hipótese será contemplada no escopo deste trabalho, visto que ferramentas de diferentes tamanhos poderão ser experimentadas na máquina, atingindo-se um valor ótimo que gere as menores forças de usinagem.



Figura 2- Máquina atual



Figura 3- Prancha em sua forma final



Figura 4- Irregularidades no acabamento

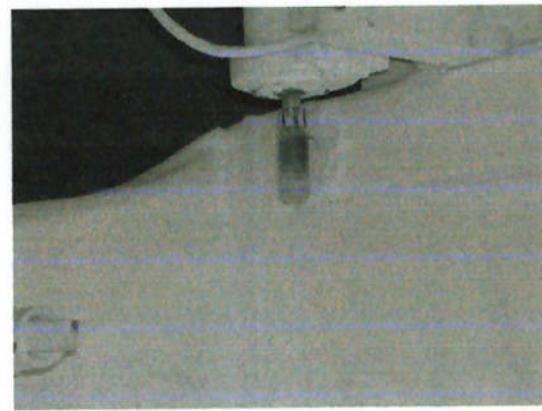


Figura 5- Fresa de topo de 34 mm

4. METODOLOGIA DE TRABALHO

Inicialmente, fez-se um levantamento bibliográfico, a fim de tomar contato com trabalhos anteriores envolvendo espumas rígidas de poliuretano e trabalhos de medição de forças de usinagem. As espumas rígidas de poliuretano têm boas propriedades térmicas e são, por isso, usadas como isolantes térmicos. Deste modo, existem diversos estudos baseados na determinação das propriedades térmicas deste material. Entretanto, não existem estudos específicos para determinação de propriedades mecânicas, que são parâmetros importantes na usinabilidade do material. Quanto à medição de forças de usinagem, existe grande quantidade de material, porém o foco maior é o estudo do torneamento.

Após tomar contato com os estudos já feitos, percebeu-se a necessidade de correlacionar as forças de usinagem no fresamento do poliuretano com os diversos parâmetros envolvidos no processo, em especial velocidade de avanço e rotação da ferramenta. Portanto, foi proposta a construção de uma máquina capaz de medir as forças de avanço, corte e penetração na operação de usinagem. Em um primeiro momento, julgou-se interessante somente variar a velocidade de avanço da ferramenta. Porém, a máquina foi pensada de modo a permitir também adaptações futuras para variar velocidade de rotação e o tipo de ferramenta.

Em seguida, foi proposto o aparato experimental a ser utilizado no levantamento dos dados. A definição da montagem e posicionamento de células de carga para medição das forças foi crucial e é discutida ao longo deste relatório.

Como continuação do trabalho, será possível realizar os ensaios com amostras de poliuretano e levantar as características de usinagem, compilando-as para as diversas variáveis envolvidas (ferramenta, rotação, velocidade de avanço).

5. ESCOLHA DO LAYOUT PARA MÁQUINA DE ENSAIOS

5.1. Propostas de layout

- 1^a proposta- LVDT

Uma das alternativas para efetuar a medição das forças de usinagem seria fixar a amostra de poliuretano sobre uma mesa de mancais flexíveis. Empregando-se mancais com rigidez conhecida estes sofreriam um deslocamento facilmente medido com o uso de sensores LVDT. O esboço do arranjo proposto encontra-se na fig. 6. Aplicando-se forças conhecidas e medindo-se os deslocamentos é possível calibrar o sistema de instrumentação, que é regido pela equação abaixo.

$$\delta = \frac{Wl^3}{12EI}$$

Percebe-se do dimensionamento apresentado nesta seção, que a rigidez de uma mesa de mancais flexíveis só seria adequada para o sistema de medição proposto se fossem utilizadas colunas de diâmetro elevado. Logo, esta proposta foi descartada pela baixa rigidez. Além disso, a freqüência de ressonância da mesa seria próxima à freqüência de excitação do motor que gira a ferramenta.

- 2^a proposta- Células de carga

A fim de conferir maior rigidez ao sistema de instrumentação pode-se empregar células de carga para medição das forças de usinagem. Inicialmente, pensou-se em não se utilizar mancais na sustentação da amostra, ou seja, deixá-la diretamente em contato com a mesa deslizante. A idéia seria apenas restringir o movimento da amostra através das células de carga. Essa proposta, entretanto, sofre grande influência do atrito entre a amostra e a mesa na medição. Como esta

influência é não linear, a medição da força de usinagem ficaria comprometida. O arranjo proposto encontra-se na figura 7.

- **3^a Proposta- Células de carga + mesa de mancais flexíveis**

Esta proposta é uma evolução da proposta anterior, em que a influência do atrito seria eliminada com o uso de mancais flexíveis na sustentação da amostra sobre a mesa. Diferentemente da proposta 1, em que o sistema não apresentava elevada rigidez, neste sistema a rigidez seria garantida pelas células de carga e não pela mesa. Entretanto, a rigidez na direção z, normal a mesa, exigiria um mancal flexível com colunas espessas demais. O arranjo proposto encontra-se na figura 8.

- **4^a proposta- Células de carga + guias lineares**

Esta proposta é a evolução das propostas 2 e 3. Propõe-se usar guias lineares para fixar a amostra à mesa, o que eliminaria a influência do atrito. Além disto, a rigidez do sistema seria consideravelmente maior do que com mancais flexíveis.

Esta proposta tem como grande desvantagem o custo de aquisição das guias, mas mostrou-se a mais adequada ao sistema de medição, pois garante a precisão na determinação das forças de usinagem. O esquema proposto pode ser visto na figura 9.

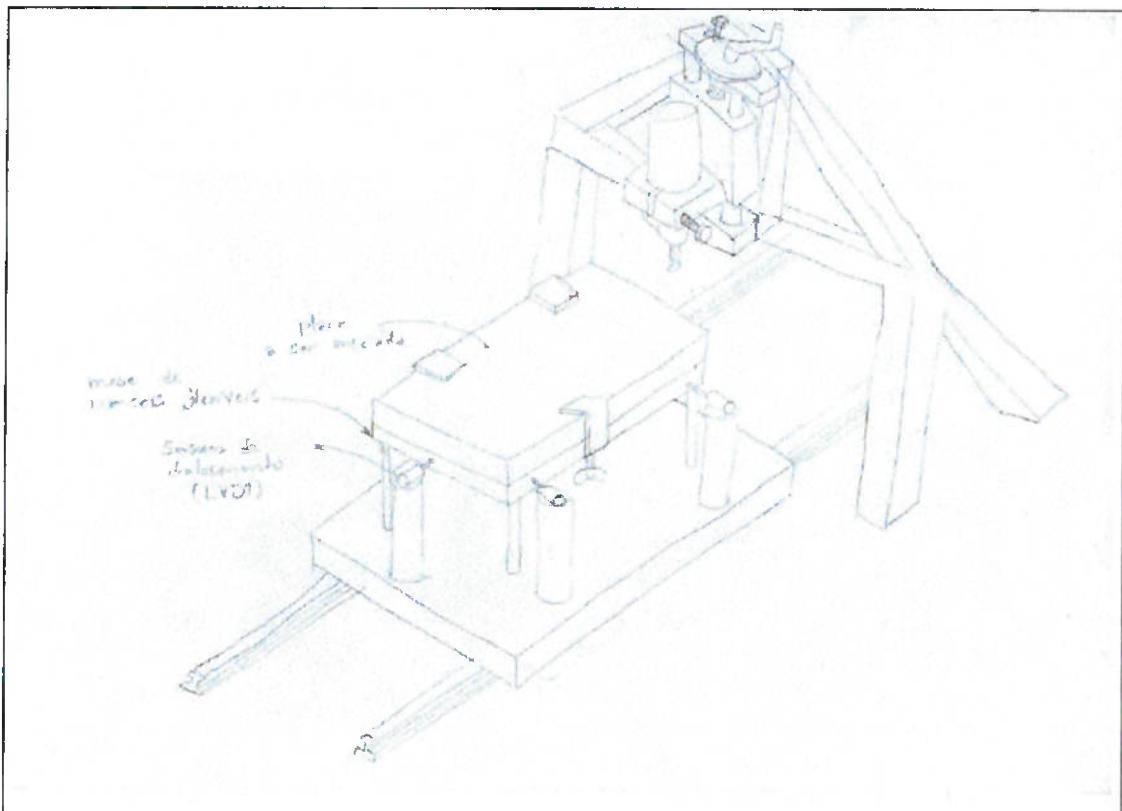


Figura 6- 1^aProposta

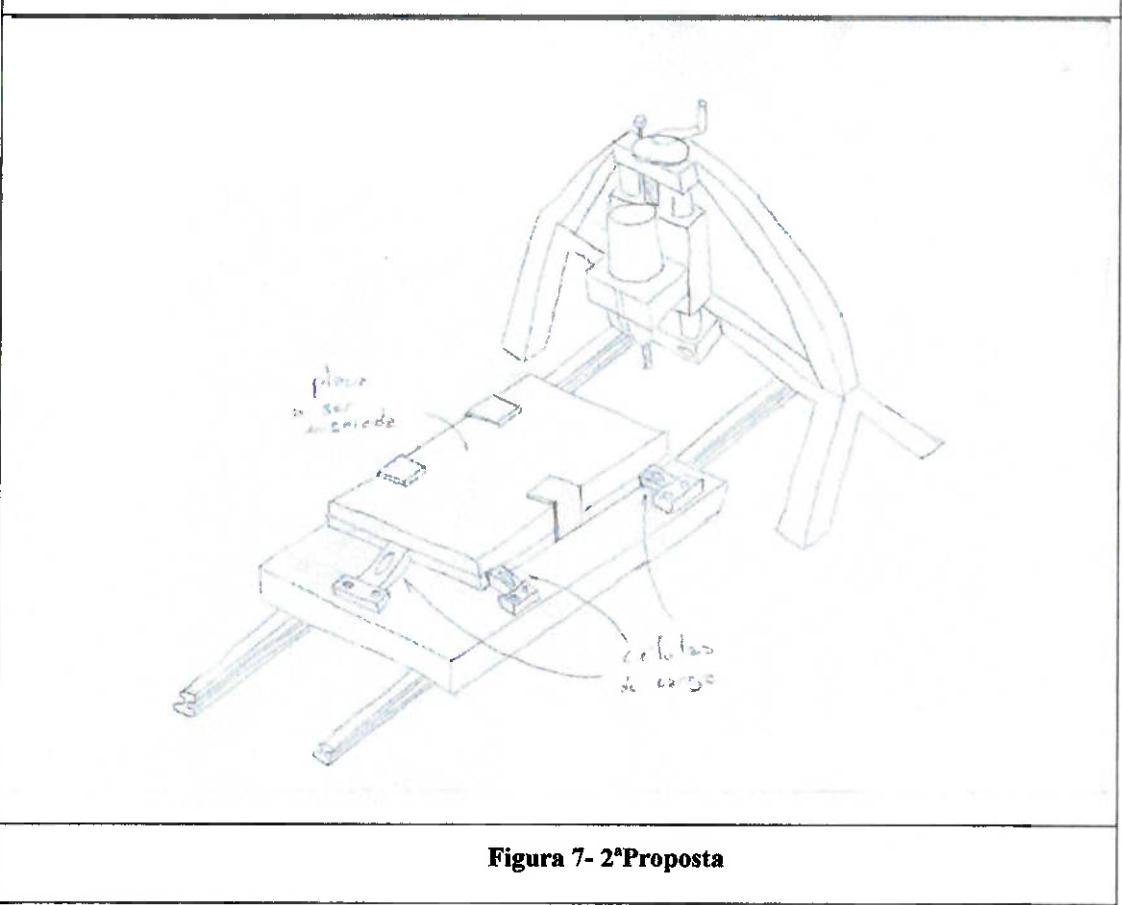


Figura 7- 2^aProposta

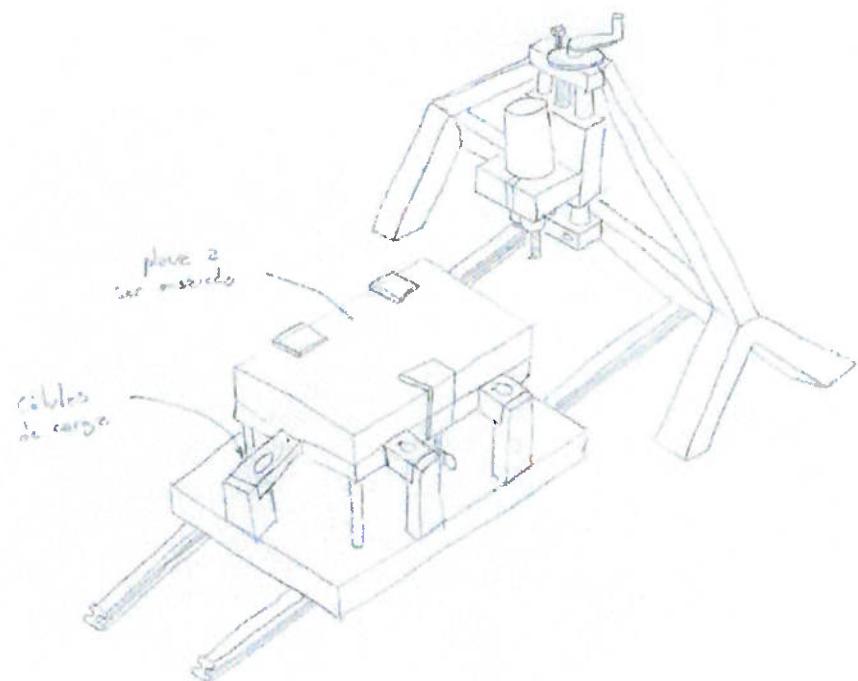


Figura 8- 3^aProposta

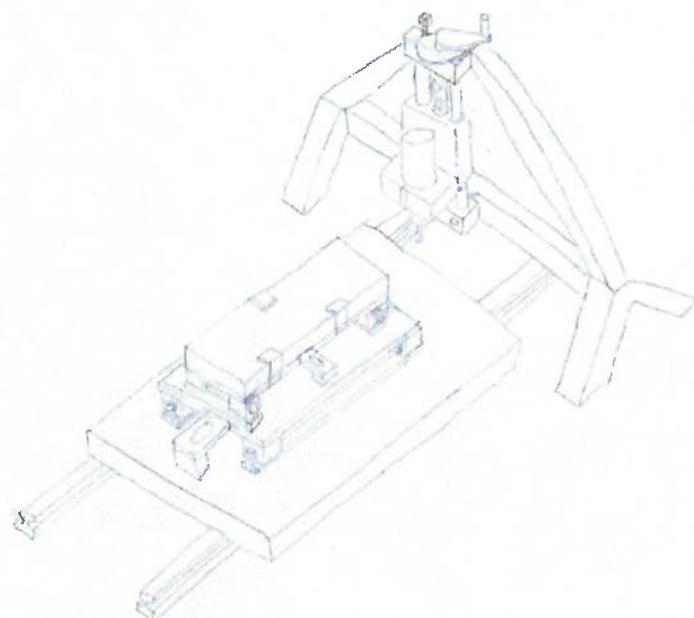


Figura 9- 4^aProposta

5.2. Cálculos para determinação do melhor layout

- Cálculo dos mancais flexíveis

$$\delta = \frac{Wl^3}{12EI}$$

Impondo um deslocamento de $5\mu\text{m}$ e usando mancais flexíveis com colunas circulares de diâmetro 20mm e 100mm de comprimento,

$$5 \times 10^{-6} = \frac{W(0,1)^3}{12 \times 2,1 \times 10^{11} \times \frac{(0,01)^4 \pi}{4}} \Rightarrow W = 99N$$

- Estimativa da força em função do torque máximo

Supondo que o motor que realiza o avanço da mesa tenha as seguintes características

$$T = 3 \text{ N.m}$$

$$\eta = 0,9$$

$$n = 10$$

$$\phi = 130 \text{ mm}$$

$$F_n = \frac{Tn\eta}{\frac{\phi}{2}} \Rightarrow F = 415N$$

Logo, percebe-se que as dimensões da coluna começam a ficar elevadas demais, a fim de garantir uma rigidez adequada ao sistema de instrumentação, o que inviabiliza a utilização de mancais flexíveis.

- Cálculo da freqüência de ressonância da mesa

Supondo uma mesa com dimensões 600x200x2mm, conforme a figura 10.

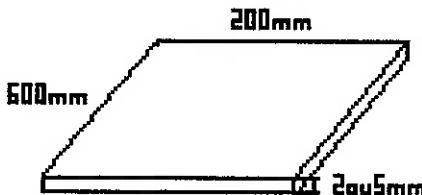


Figura 10- Mesa

A rigidez e a freqüência de ressonância dos mancais podem ser calculadas com segue:

$$\rho = 7920 \frac{kg}{m^3} = \frac{M}{V}$$

$$p/ 5mm \quad V=0,006m^3 \quad e \quad M=1,9008kg$$

$$p/ 2mm \quad V=0,00024m^3 \quad e \quad M=4,752kg$$

$$K = \frac{W}{\delta} \Rightarrow K = 2 \times 10^7$$

Para uma espessura de 2mm,

$$w = \sqrt{\frac{K}{M}} \Rightarrow w = \sqrt{\frac{2 \times 10^7}{1,9008}} \Rightarrow f = 516Hz$$

Aumentando a espessura da chapa para 5mm,

$$w = \sqrt{\frac{K}{M}} \Rightarrow w = \sqrt{\frac{2 \times 10^7}{4,752}} \Rightarrow f = 326Hz$$

- **Cálculo da rigidez da placa**

$$\delta = \frac{W \cdot l^3}{48 \cdot EI} \Rightarrow K = \frac{48 \cdot EI}{l^3} \Rightarrow K = \frac{48 \cdot Ebh^3}{12 \cdot l^3}$$

Primeiramente, supondo a chapa com espessura de 2mm:

$$K = 6222 \text{ N/m}$$

Supondo a mesma chapa, agora com espessura de 5mm:

$$K = 97222 \text{ N/m}$$

- **Estimativa do torque da tupia**

$$P_{OT} = T \cdot W$$

$$1500 = \frac{T \cdot 30000}{60} \Rightarrow T = 0,3 \text{ Nm}$$

6. PROJETO DA MÁQUINA DE ENSAIOS

6.1. Determinação das ferramentas

O sistema de usinagem da máquina de shape atual, motivação deste trabalho, emprega fresamento de topo e, embora deixe a prancha em sua dimensão final, não confere um bom acabamento superficial, deixando ressaltos nas bordas de cada passe da ferramenta. Algumas possíveis explicações para o fenômeno são o uso de uma ferramenta de diâmetro inadequado ou insuficiência da rigidez da estrutura da máquina e do sistema de movimentação.

Atualmente, o processo de usinagem emprega uma fresa de topo com diâmetro de 34mm e raio de arredondamento de 10mm, como pode ser visto na figura 5. Propõe-se, inicialmente, levantar as forças de usinagem para esta ferramenta e utilizar os valores obtidos como parâmetro de avaliação das novas propostas.

A primeira proposta de ferramenta seria também uma fresa de topo, porém com um diâmetro e raio de arredondamento maior, a fim de minimizar a ocorrência de sulcos ao longo da prancha. O diâmetro utilizado seria 60mm e o raio de arredondamento de 20mm.

Outra alternativa ao sistema de ferramenta seria a utilização de um disco, com eixo de rotação paralelo à superfície da prancha e à direção de avanço da ferramenta. Tal solução é viável, pois as forças de corte não são elevadas.

Simulou-se virtualmente a usinagem de uma seção da prancha, empregando as fresas de topo de 34 e 60mm e percebe-se melhoria significativa no acabamento. A fim de determinar o diâmetro do disco a ser ensaiado, simulou-se virtualmente a usinagem com discos de 4,5, 6,0, 7,5 e 9,0 polegadas. As simulações estão compiladas na figura 13. Nota-se da tabela 1 que para um disco de 6 polegadas há uma diminuição em torno de 80% no valor do pico do ressalto de acabamento. Portanto, propõe-se ensaiar um disco com este diâmetro, a fim de confirmar o perfil

de acabamento obtido virtualmente e verificar a variação das forças de usinagem. Espera-se um aumento da força de usinagem, pois como se percebe da figura 12, a área de penetração do disco é maior do que a fresa de topo tradicional.

Para análise dos discos foram elaborados os gráficos 1 e 2, que relacionam o pico máximo (eixo z) da irregularidade, com o diâmetro (eixo x) e o passo do disco (eixo y) para a usinagem de uma superfície plana.

O pico máximo da irregularidade está destacado na figura 11 e pode ser equacionado como segue:

$$h = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{P}{2}\right)^2} \quad \text{onde :}$$

h – pico máximo da irregularidade

R – raio da ferramenta

P – passo da ferramenta

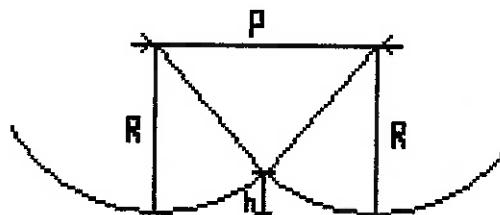


Figura 11- Pico da irregularidade

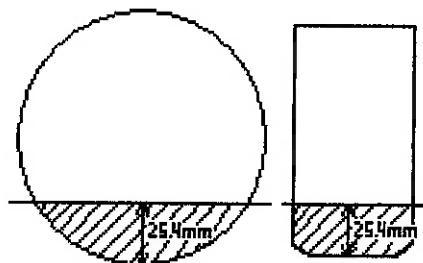


Figura 12- Áreas de penetração da ferramenta

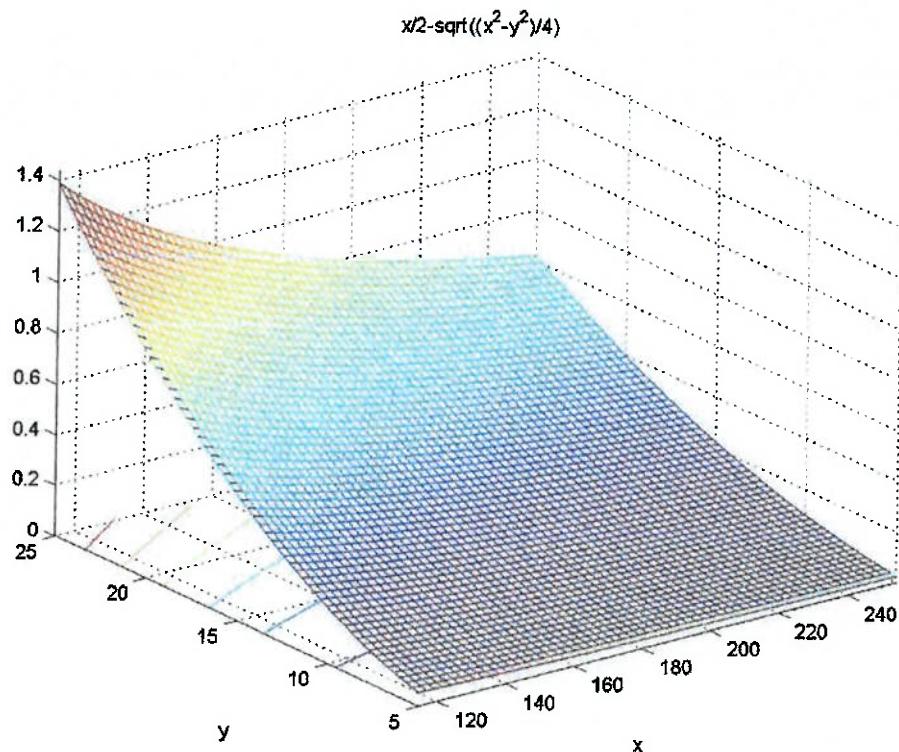


Gráfico 1- Irregularidade máxima de usinagem 3D

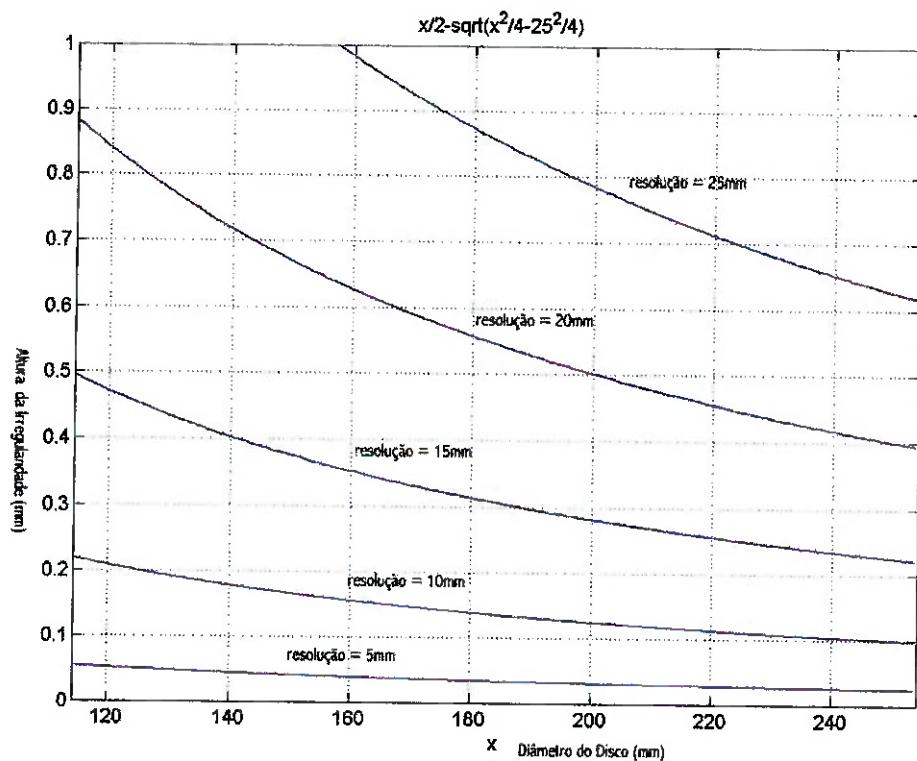


Gráfico 2-Irregularidade máxima de usinagem para passos definidos

Análise do desvio máximo do shape de surf para diferentes ferramentas

Pontos	Ferramentas					
	fresa	fresa	disco	disco	disco	disco
1	30 r10	60 r 20	4.5in	6 in	7.5 in	9 in
2	1,2169	0,6828	0,8023	0,5878	0,4264	0,3566
3	2,0867	1,3113	0,8257	0,5405	0,4516	0,3404
4	5,4900	2,7789	0,5622	0,3927	0,2746	0,1909
5	2,2828	1,6921	0,8530	0,4428	0,3330	0,1957
Média	2,7691	1,6163	0,6086	0,5359	0,2971	0,2915
Melhora(%)						
em relação a						
fresa 30 r10		41,6	78,0	80,6	89,3	89,5

Tabela 1- Comparativo entre as diversas ferramentas propostas e existente

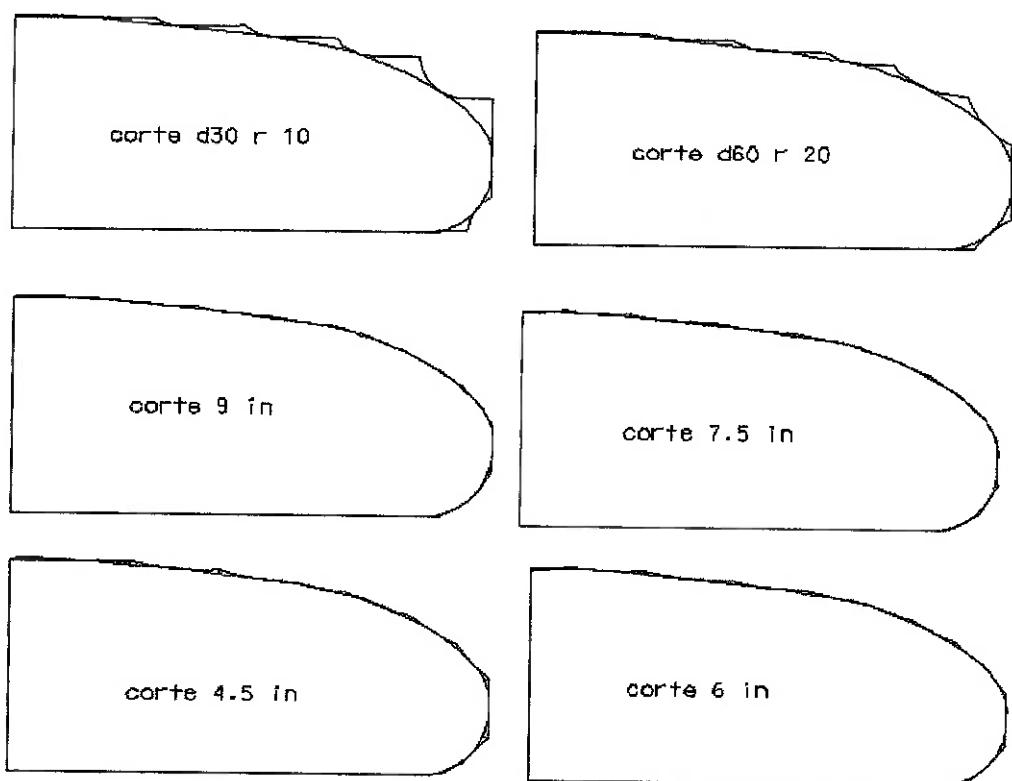


Figura 13- Simulações de corte com diversas ferramentas

- **Equacionamento da área de penetração e velocidade de corte**

A velocidade de corte pode ser calculada como segue:

Disco de 6 polegadas:

$$V_C = \frac{2\pi n R}{60} = \frac{3,1415 \cdot 5000 \cdot (152,4 \cdot 10^{-3})}{60} = 40 \text{ m/s}$$

Fresa de topo de 34 mm:

$$V_C = \frac{2\pi n R}{60} = \frac{3,1415 \cdot 5000 \cdot (34 \cdot 10^{-3})}{60} = 9 \text{ m/s}$$

As áreas de penetração são calculadas como segue:

Disco de 6 polegadas:

$$A = \frac{\pi R^2 \cdot 2\alpha}{360} - 50,8 \cdot x$$

$$x = \sqrt{R^2 - (R - 25,4)^2} = 56,796$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{50,8}{76,2} \right) = 96,3794^\circ$$

$$A = \frac{\pi R^2 \cdot 2 \cdot 96,3794}{360} - 50,8 \cdot 56,796 = 1998,23 \text{ mm}^2$$

Fresa de topo de 34 mm:

$$A = \phi \cdot 25,4 = 863,2 \text{ mm}^2$$

Percebe-se que a área de penetração do disco será 2,3 vezes maior que a da fresa de topo.

6.2. Especificação do sistema de medição da máquina de ensaios

- **Dimensionamento das guias lineares**

Optou-se por utilizar uma guia deslizante sem fuso e com eixos. Embora este modelo de guia apresente uma rigidez menor que guias com trilho, consegue-se obter um deslocamento de $5\mu\text{m}$ e seu custo é menor, adequado à proposta de um aparato experimental de baixo custo.

Para um $W=500\text{N}$

$$I = \frac{W \cdot l^3}{48 \cdot E \delta} = \frac{500 \cdot (0,1)^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 5 \cdot 10^{-6}} = 9,92 \cdot 10^{-9} = \frac{\pi R^4}{4}$$

$$R = 1,06 \cdot 10^{-2} \text{ m} \Rightarrow \phi = 20 \text{ mm} \Rightarrow W \approx 400\text{N}$$

Especificação: **BL20ALB240**

- **Dimensionamento da célula de carga**

A força de usinagem máxima proporcionada pelo motor, conforme calculado anteriormente é de 415N. Logo, necessita-se de uma célula de carga capaz de medir este valor. Células comerciais têm valores padrão de carga máxima e a primeira célula que abrange a faixa de esforços de interesse é capaz de medir 50 Kgf, ou seja, aproximadamente 490N.

Especificação: **SV-50**

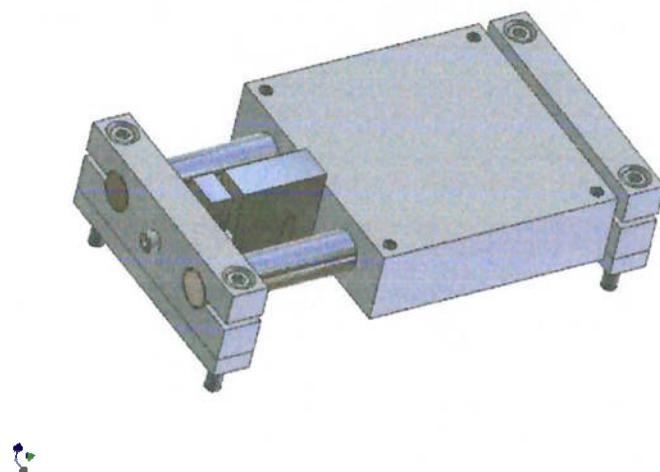


Figura 14- Esquema da montagem do sistema de medição

- **Sistema de movimentação**

Embora, o sistema de movimentação da máquina não seja o escopo deste trabalho, ele encontra-se aqui apresentado por ser fundamental ao seu funcionamento e necessário para explicação do modo de operação.

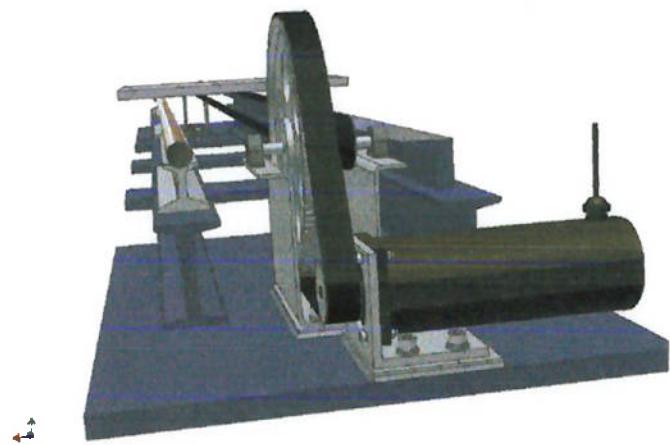


Figura 15- Detalhe do sistema de avanço da mesa

O sistema de avanço da máquina deve propiciar alta velocidade de movimentação, pois este é um dos parâmetros que se deseja correlacionar com a usinabilidade da poliuretano, tanto em relação às forças de usinagem quanto ao acabamento superficial. Portanto, decidiu-se utilizar um trilho, movido por um servo motor e utilizando uma correia dentada para fazer a transmissão. Uma representação do trilho encontra-se na figura 15.

A movimentação no eixo Y era desnecessária para o escopo deste trabalho, visto que se desejava medir as forças de avanço, corte e penetração para uma usinagem unidirecional. Porém, de modo a permitir a integração deste trabalho com o outro estudo já mencionado (“Máquina de usinagem de shapes- Estudo do sistema de movimentação”), focado no projeto e controle do sistema de movimentação, optou-se por instalar uma guia linear na direção perpendicular ao avanço.

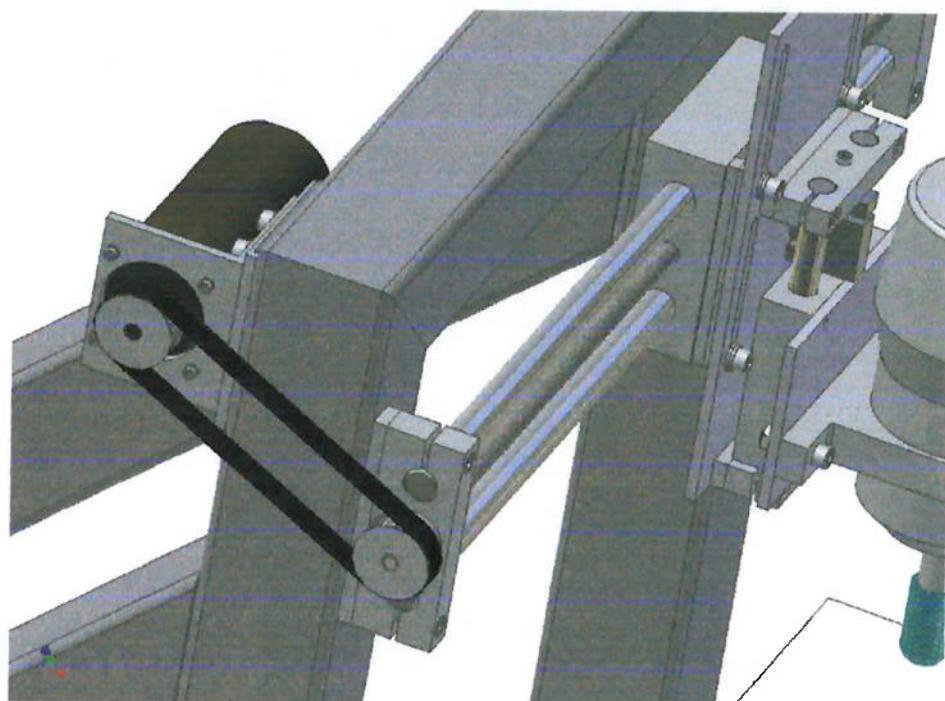


Figura 16- Detalhe do sistema de movimentação da guia no eixo y

- **Sistema de usinagem**

Inicialmente, deseja-se levantar as forças de usinagem apenas para um fresamento de topo e com a rotação igual à propiciada pelo motor. Não se pretende

também variar a profundidade de corte durante a usinagem, mas sim realizar diversas medições com diferentes profundidades de corte. Portanto, não há guias lineares no sentido de penetração da ferramenta na amostra a ser ensaiada (eixo z), mas apenas um ajuste manual de altura.

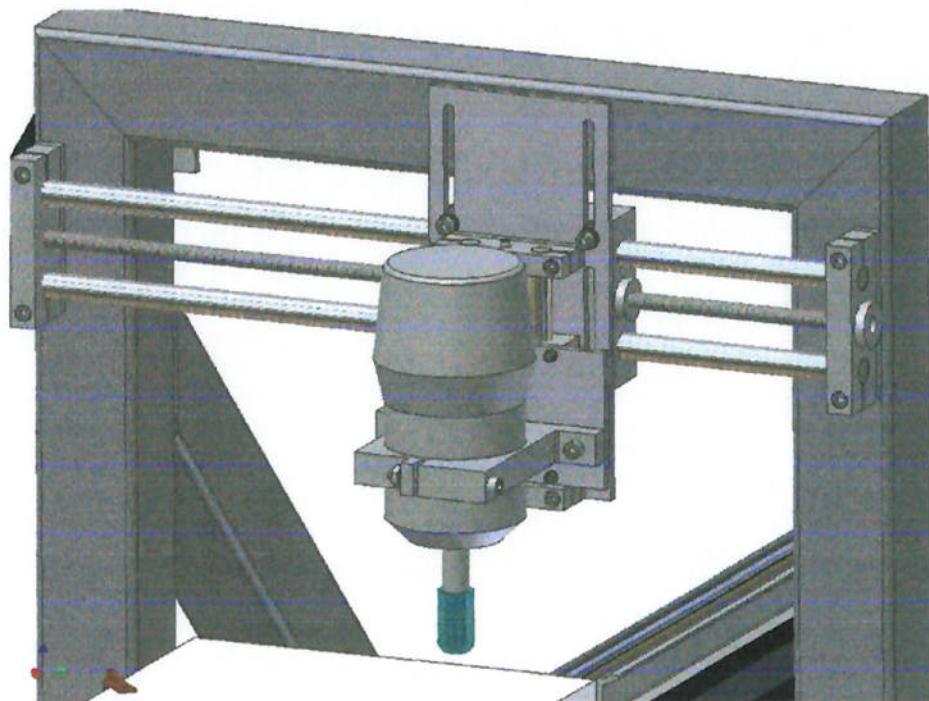


Figura 17- Detalhe do sistema de usinagem

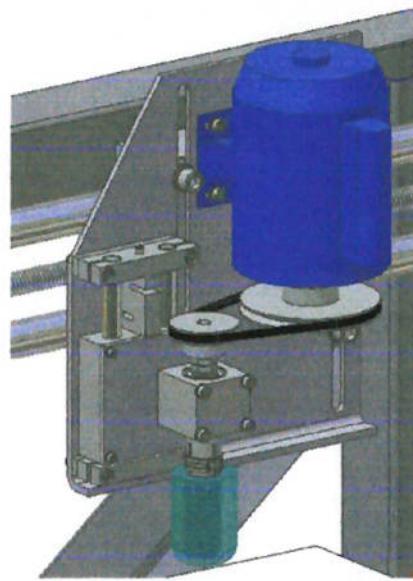


Figura 18- Proposta alternativa

Alternativamente, propõe-se um sistema de transmissão para a tupia, o que permitiria futuras variações na velocidade de rotação da ferramenta. Tal alteração

exigiria apenas a alteração da placa de suporte da tupia na guia linear e a construção da transmissão apresentada na figura 19. As diversas velocidades de rotação dependeriam dos diâmetros das polias utilizadas para fazer a transmissão de movimento pela correia dentada.

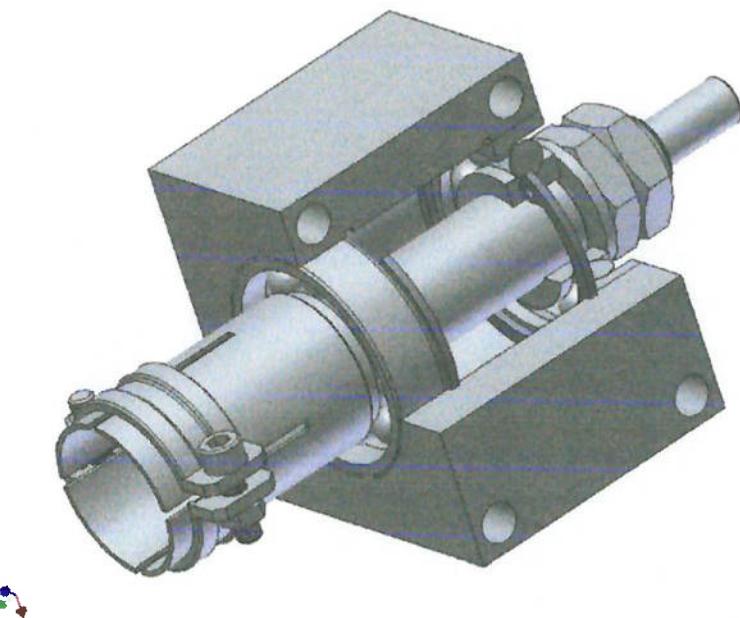


Figura 19- Sistema de transmissão

- **Sistema de fixação da amostra**

A mesa para fixação da amostra deve ser leve e ao mesmo tempo apresentar elevada rigidez para resistir aos esforços provenientes das forças de usinagem. Tal mesa é instalada sobre as guias lineares com células de carga acopladas (sistema de medição). A mesa de fixação de amostras proposta é apresentada na figura 20.

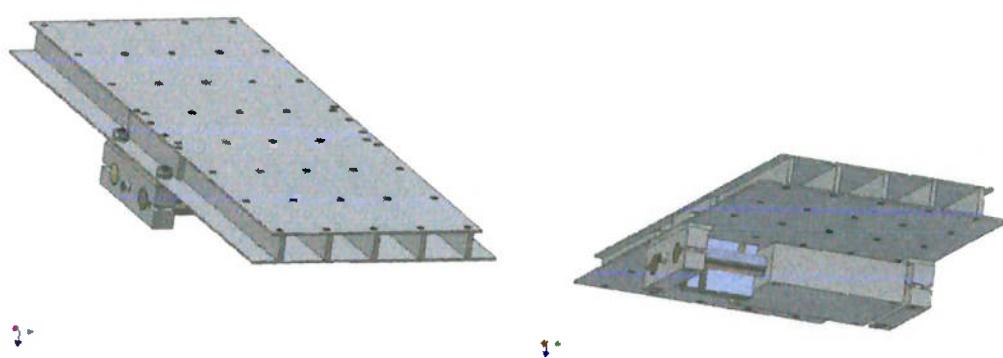


Figura 20- Vistas da mesa de fixação da amostra

- **Layout final da máquina de ensaios**

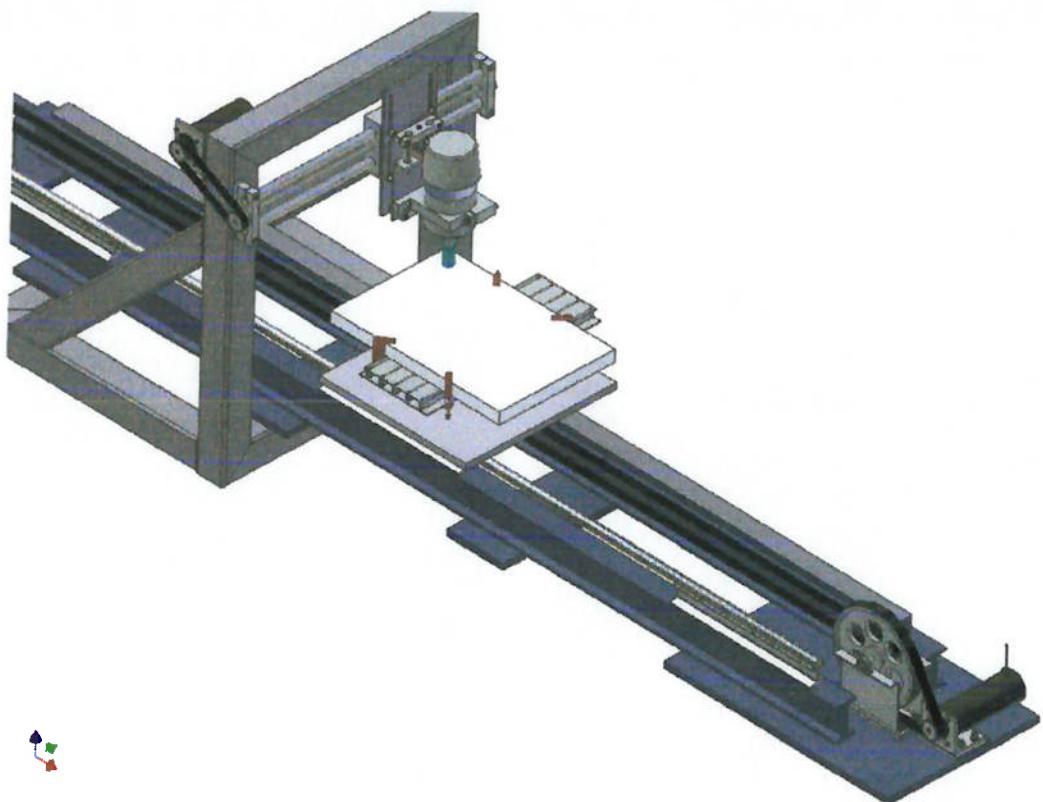


Figura 21- Proposta final da máquina de ensaios

A proposta final de layout da máquina de ensaios pode ser vista na figura 21. Os desenhos de fabricação de todos os subsistemas apresentados nesta seção, bem como os orçamentos para a construção encontram-se nos anexos deste relatório.

7. DETALHAMENTO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE FORÇAS

7.1. Introdução

Um sistema de aquisição de sinais pode se configurar de várias formas. A mais simples seria a aquisição de dados com um osciloscópio e coleta manual dos dados. Neste contexto estariam presentes as incertezas do osciloscópio e do ser humano, além de se tratar de um processo lento e trabalhoso, uma vez que se deseja aquisitar muitos pontos no ensaio proposto. Para aumentar a performance do sistema de aquisição, pode-se acoplá-lo a um PC, eliminando a subjetividade do ser humano e aumentando significativamente a taxa de amostragem dos dados.

Atualmente, pelas claras vantagens apresentadas, nota-se o crescimento da utilização de computadores dotados de placas de aquisição de sinais nas bancadas de laboratório. Estes mesmos computadores são utilizados para o tratamento e compilação dos dados obtidos, o que simplifica o processo de medição de alguma grandeza (no caso deste trabalho, as forças de usinagem).

O funcionamento de um sistema de aquisição consiste, em geral, da coleta, adequação e digitalização do sinal de interesse, para posterior manipulação matemática e compilação dos resultados. Para tanto, um sistema de aquisição é composto de diversos componentes, cuja montagem é apresentada na figura 22. Os componentes do sistema de aquisição também serão descritos a seguir.

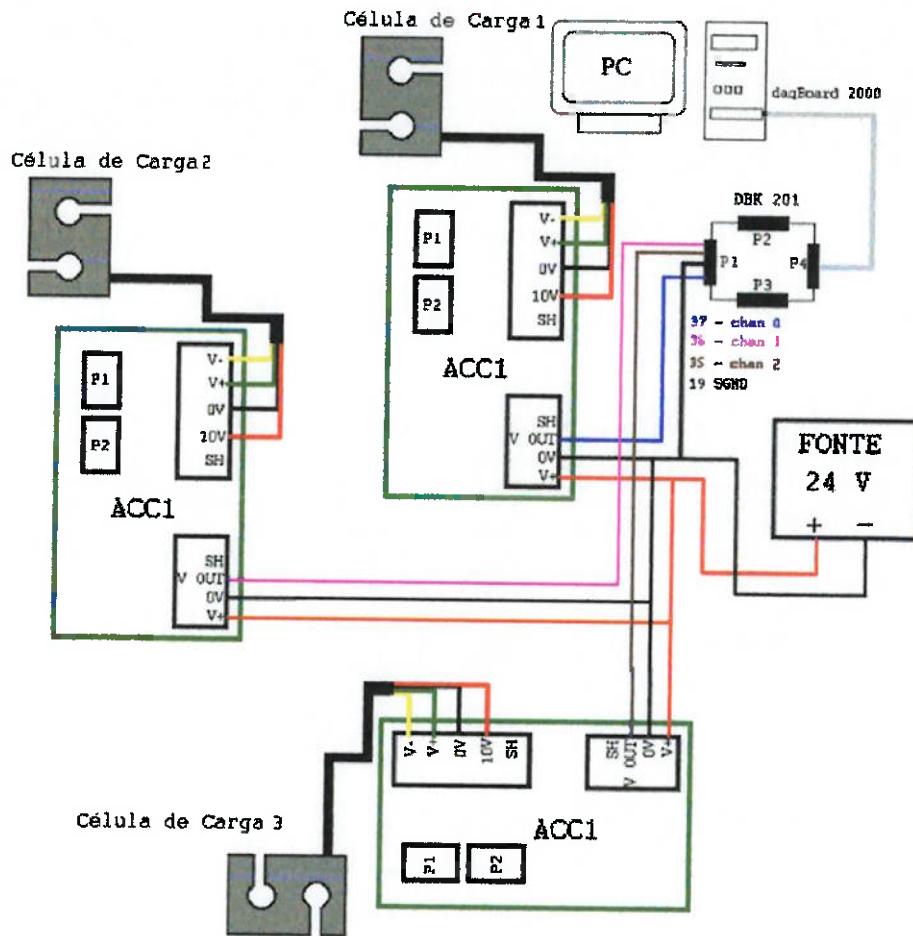


Figura 22-Esquema de ligação do sistema de medição

7.2. Componentes do sistema de medição

7.2.1. Sensor: Células de carga SV-50

A célula de carga utilizada é uma célula tração-compressão, com capacidade de medição de até 50 kgf e é apresentada na figura 23.

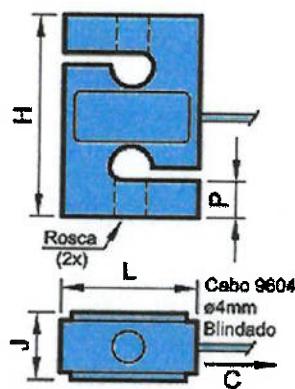


Figura 23- Célula de Carga

Modelo	C	H	J	L	P	ROSCA
SV- 50	1.0 m	64 mm	19 mm	50 mm	12 mm	M6X1

Tabela 2- Dimensões da Célula de Carga

7.2.2. Tratamento do sinal: placa amplificadora ACC1

Para adequação do sinal proveniente da célula de carga, que é da ordem de mV, utilizou-se uma placa de amplificação, que permite, através de potênciometros, ajustar a inclinação e o offset deste sinal. Desta maneira é possível calibrar o sistema de aquisição e levantar as constantes que relacionam a tensão medida com a grandeza física de interesse (força), além de utilizar melhor a capacidade da célula, que é de 50 kgf tanto em tração quanto em compressão.

7.2.3. Conversão de pinagem: placa DBK201

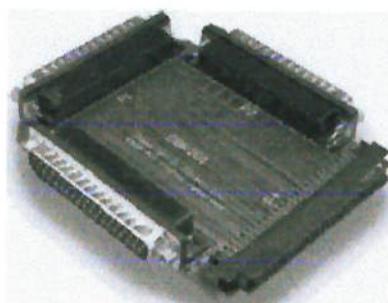
A placa DBK201(fig.24) é utilizada para a conversão dos sinais do conector P1, cujo detalhamento dos pinos encontra-se na figura 25, para o conector P4, que alimenta a placa de aquisição instalada no PC.

DBK201 is suitable for both analog and digital expansion.

This adapter includes:

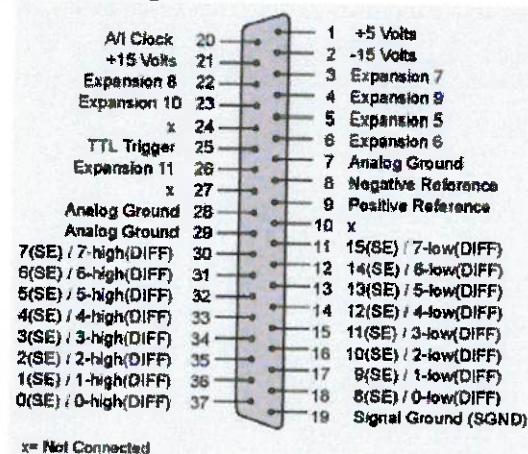
- P1 – for Analog I/O
- P2 – for Digital I/O
- P3 – for Pulse Frequency Digital I/O

Connects to DaqBoard 2000 Series P4 connector via a CA-195 cable.



DBK201, P4-to-P1/P2/P3 Adapter

Figura 24- Placa conversora de pinagem DBK201

P1 – Analog I/O**Figura 25- Detalhamento do conector P1**

7.2.4. Aquisição do sinal: Placa DaqBoard 2000

A DaqBoard/2000 é uma placa de alta velocidade, multifuncional para instalação em barramentos PCI de PCs. Ela dispõe de um conversor A/D de 16 bits, 200 kHz, com calibração digital e 2 conversores D/A, 100 kHz, além de 40 I/O digitais, 4 contadores e 2 timers. Podem ser instaladas até 4 placas DaqBoard 2000 em um mesmo PC.

Um conector de 100 pinos provém o acesso na DaqBoard 2000 a todas as entradas e saídas digitais. Todos os I/O são acomodados com um cabo em um slot PCI. O conector de I/Os de 100 pinos, P4, está logicamente dividido em 3 portas:

- **P1**- Porta analógica para 16 canais de entrada simples ou 8 canais de entrada diferenciais com 13 faixas de programação por software (± 10 V to ± 156 mV escala total).
- **P2**- Porta I/O digital de propósito geral com 24 linhas
- **P3**- Porta I/O digital, contadores, timers e saídas digitais. O sequenciador de aquisição da placa permite selecionar até 512 canais e varre todos os canais em 5 \times cs or 10 \times cs por canal.

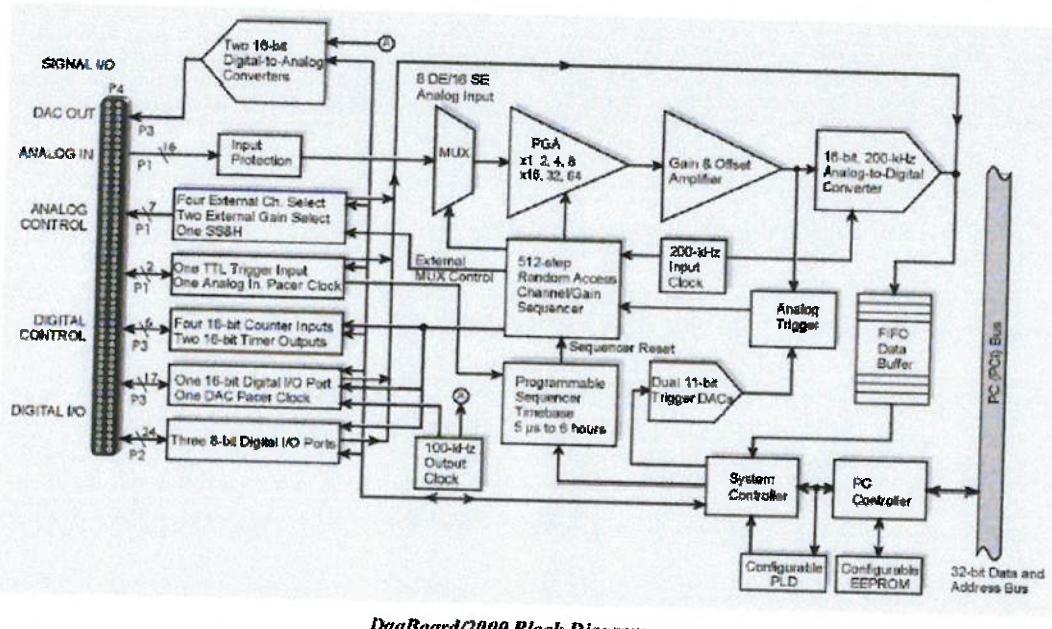


Figura 26- Placa de aquisição DaqBoard 2000

7.2.5. Levantamento de dados: Programa “Sistema de Aquisição Shaper”

Os dados foram aquisitados usando um programa desenvolvido em C++, que converte os sinais de tensão emitidos pela célula de carga em um valor de força (unidade:N). O código fonte deste programa encontra-se nos anexos deste relatório.

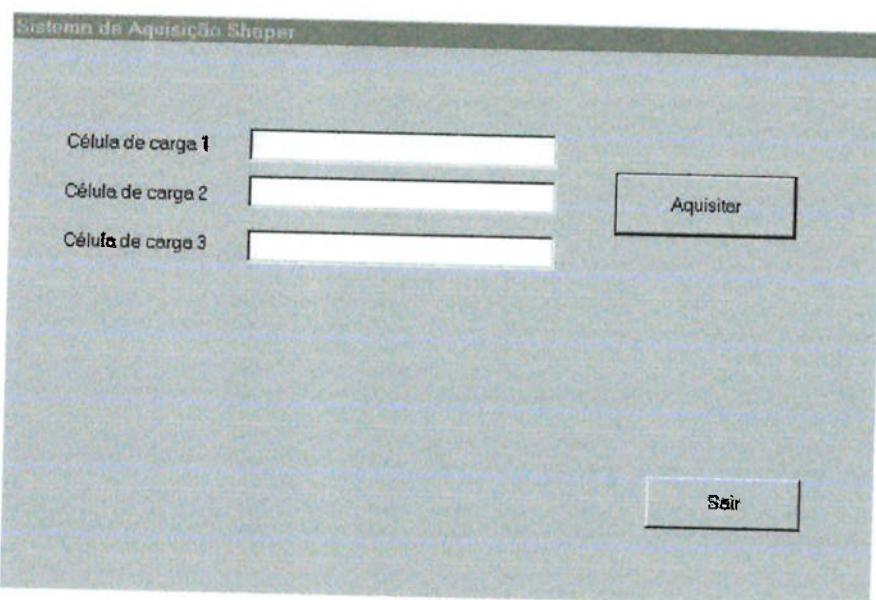


Figura 27- Tela do programa de aquisição

7.2.6. Gerenciamento do sistema de aquisição: PC

O gerenciamento do sistema de aquisição foi feito em um PC com um slot PCI disponível, onde foi instalada a placa de aquisição. O programa de aquisição de dados roda neste PC.

7.3. Montagem e Calibração

Para medir as forças de usinagem propõe-se utilizar células de carga unidirecionais, montadas em guias lineares a fim de reduzir o atrito que existe entre o bloco a ser usinado e a mesa de suporte. O movimento da guia é então restrito pela célula de carga, que registra as forças de corte, avanço e penetração durante o fresamento.

Para determinar as constantes de calibração da célula de carga, foram levantadas curvas *carga X tensão*, como a representada na fig. 28 para a célula de carga 1, podendo-se levantar a inclinação e offset. Estes parâmetros foram escolhidos de maneira a permitir abranger toda a capacidade de medição da célula (50Kgf em tração ou compressão). As demais células de carga empregadas na medição das forças de usinagem apresentam curva de calibração semelhante à apresentada para célula de carga 1, variando levemente o coeficiente de calibração. Como é possível ajustar o ganho e o offset através dos potenciômetros da placa ACC1, a equação que rege a relação entre a tensão medida e a massa de calibração que se deseja medir para as 3 células de carga é:

$$Massa = -10 \cdot Tensão + 50$$

Para obter a força de usinagem, multiplica-se o valor obtido por $g=9,81 \text{ m/s}^2$.

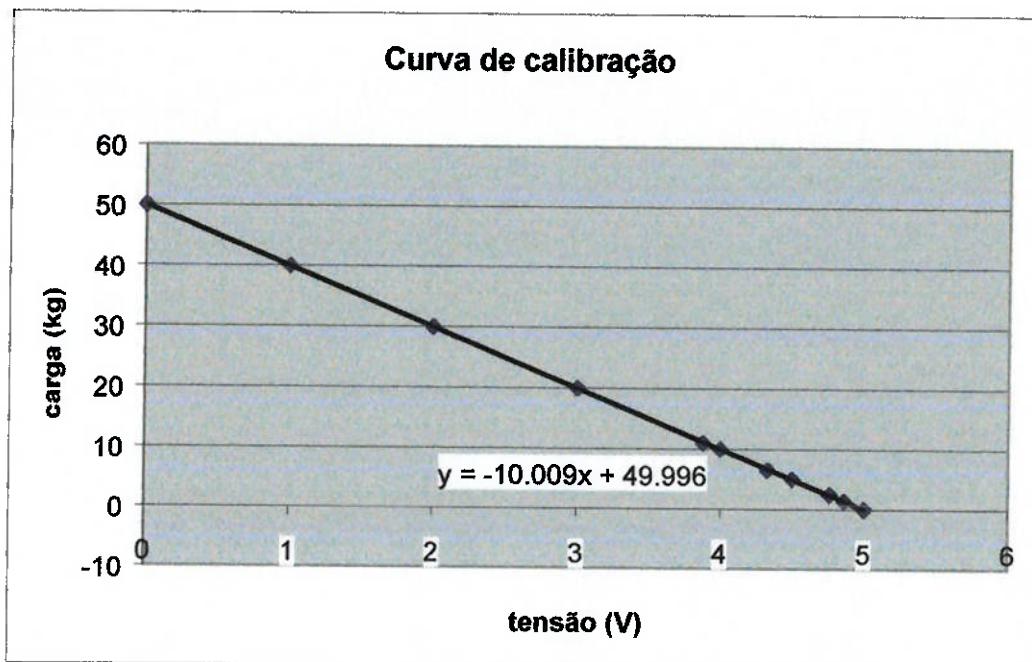


Figura 28- Curva de calibração da célula de carga

7.4. Medições preliminares com o sistema de aquisição

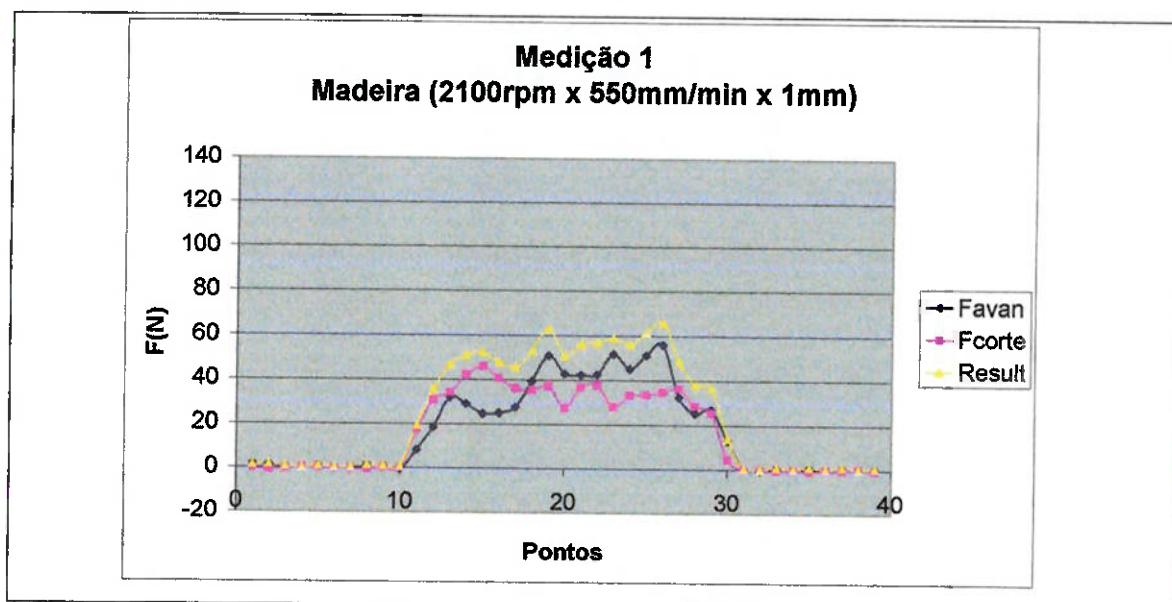
A fim de avaliar o desempenho do sistema de medição proposto, as células de carga para medição de força de avanço e de corte foram montadas na mesa de uma fresadora. Alguns ensaios foram conduzidos para poliuretano, variando velocidade de avanço e rotação. Optou-se por manter a profundidade de corte constante e igual ao máximo tamanho da ferramenta. Embora não seja possível obter altas velocidades de avanço na fresadora, o que resultou em forças de usinagem baixas para a capacidade de medição da célula (50 kgf), os resultados mostram que o sistema consegue captar as variações nas forças de usinagem em função da variação dos parâmetros de usinagem. Também foram conduzidos ensaios em madeira, que é utilizada na longarina da prancha de surf. Para a madeira, foram observadas forças de magnitude mais elevada, em uma faixa mais confiável de operação da célula de carga. Os parâmetros de usinagem utilizados nas medições de teste conduzidas na fresadora encontram-se compilados na tabela 3. Cabe ressaltar, que para madeira a profundidade de corte também foi variada, sendo observada correlação entre o aumento da profundidade de corte e o aumento das forças envolvidas.

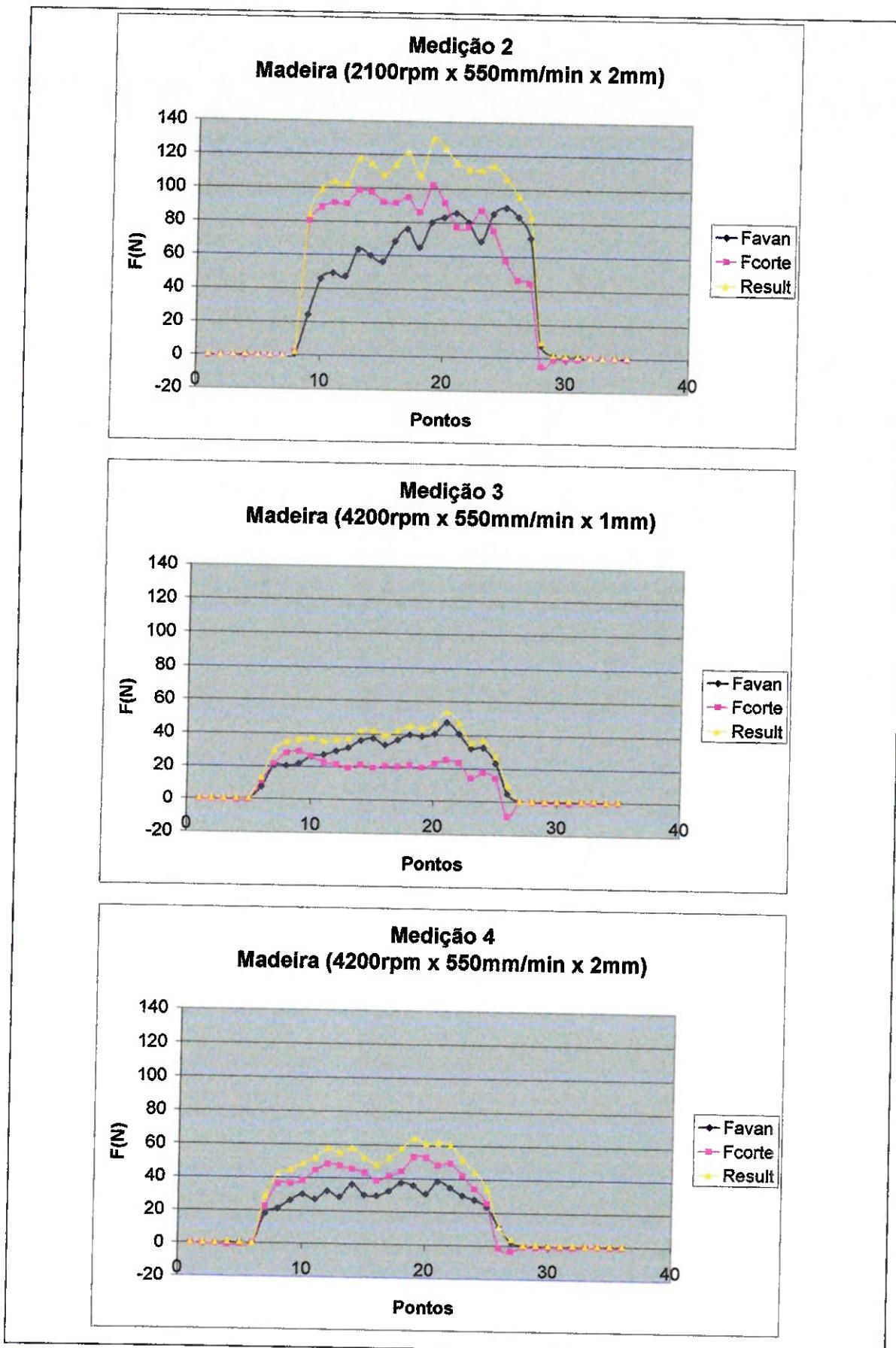
Medição	Material	Rotação (rpm)	Velocidade de avanço (mm/min)	Profundidade de corte (mm)
1	Madeira	2100	550	1
2	Madeira	2100	550	2
3	Madeira	4200	550	1
4	Madeira	4200	550	2
5	Madeira	4200	220	1
6	Poliuretano	2100	550	24
7	Poliuretano	2100	220	24
8	Poliuretano	4200	550	24
9	Poliuretano	1200	550	24

Obs: Para o poliuretano usou-se toda a profundidade da ferramenta

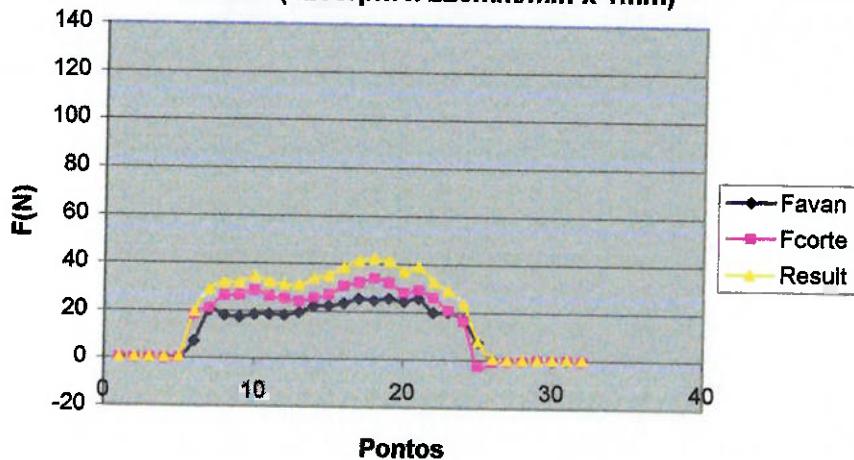
Tabela 3- Parâmetros de usinagem empregados nos testes de funcionamento

Os resultados obtidos com as medições encontram-se compilados na figura 29.

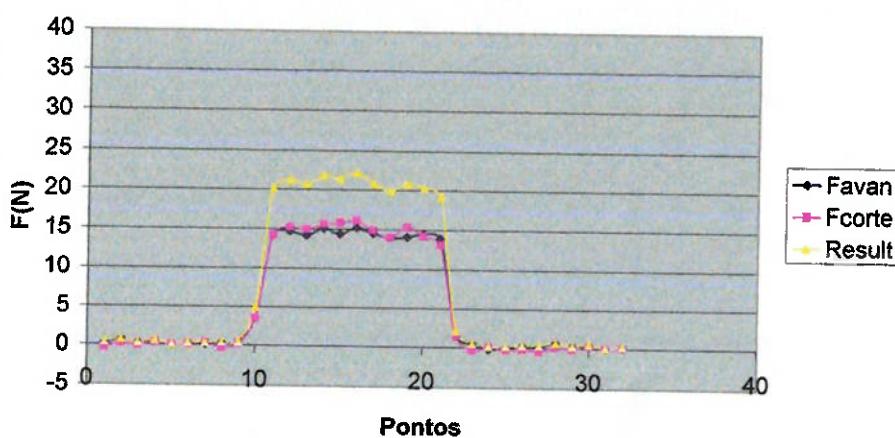




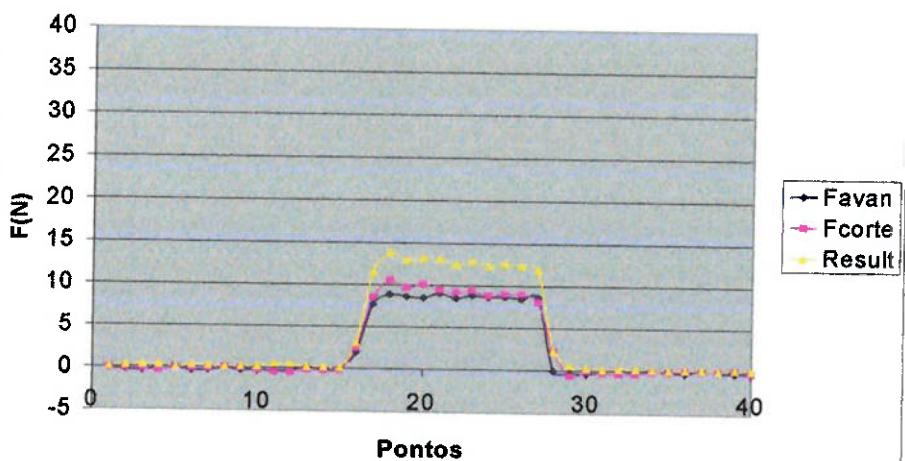
Medição 5
Madeira (4200rpm x 220mm/min x 1mm)



Medição 6
Políuretano (2100rpm x 550mm/min x 24mm)



Medição 7
Políuretano (2100rpm x 220mm/min x 24mm)



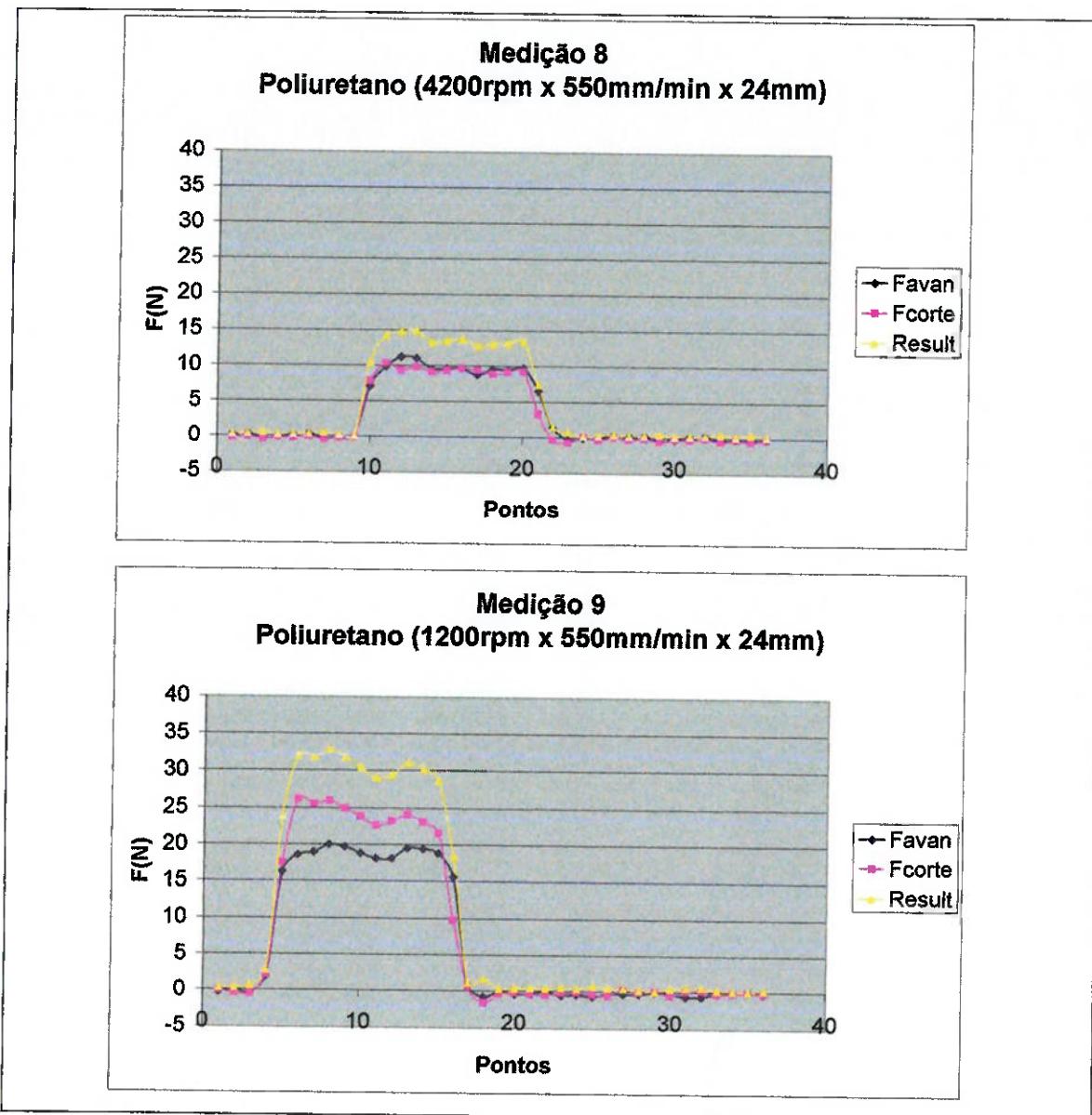


Figura 29- Medições das forças de usinagem na fresadora

Nota-se das figuras acima que as forças de usinagem aumentam com o aumento da velocidade de avanço e da profundidade de corte e diminuem com o aumento da rotação. Os resultados obtidos são significativos e, a fim de levantar uma correlação entre as variações dos parâmetros de usinagem e as forças medidas, é necessária a repetição das medições para uma gama elevada de parâmetros, bem como a repetição das medições para as mesmas condições, avaliando a repetibilidade dos dados obtidos.

8. CONCLUSÕES

Foi proposto nesse trabalho uma máquina de ensaios capaz de correlacionar os diversos parâmetros de usinagem (velocidades de avanço, corte, rotação da ferramenta) com os parâmetros de força e acabamento superficial.

Utilizaram-se conceitos de projeto de máquinas para os dimensionamentos pertinentes ao projeto. Foi necessário também o conhecimento de sistemas de instrumentação, para projetar o sistema de aquisição de forças.

Para a continuidade do trabalho, propõe-se efetuar as medições das forças com o uso da máquina proposta, para a condição inicial de projeto, que supõe apenas a variação da velocidade de avanço. Além disso, pretende-se analisar a influência de altas velocidades de avanço sobre o comportamento do sistema, condição que levará, certamente, a forças de usinagem maiores e maior solicitação da máquina. É necessário, portanto, a realização de testes para verificar a calibração das células de carga, realizada em condições estáticas. Os resultados obtidos poderão auxiliar na melhora da máquina de usinagem de shape, motivação deste trabalho. Havendo resultados satisfatórios, é possível também efetuar as alterações na máquina de ensaios de modo a permitir ampliar a gama de parâmetros a serem variados e correlacionados com as forças de usinagem.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- _____, Catálogo de guias lineares Mitay, São Paulo, 2003
- _____, Catálogo células de carga Alfainstrumentos, São Paulo, 2003
- KALPAKJINAN, S.; Manufacturing engineering and technology, 4^a edição, Prentice Hall, 2001
- ROARK, RAYMOND J.; Formulas for stress and strain, New York : McGraw-Hill, 1975
- Química e tecnologia de polímeros. Disponível em:
<http://www.poliuretanos.com.br>. Acessado em: 12/06/2003.

10. ANEXOS

10.1. Anexo A- Código fonte do programa de aquisição “Sistema de Aquisição Shaper”

```

// sist_aquis_shaperDlg.cpp : implementation file

#include "stdafx.h"
#include "sist_aquis_shaper.h"
#include "sist_aquis_shaperDlg.h"
#include "stdio.h"

#define CHANCOUNT 3

#ifndef _DEBUG
#define new DEBUG_NEW
#undef THIS_FILE
static char THIS_FILE[] = __FILE__;
#endif

///////////
// CSist_aquis_shaperDlg dialog

CSist_aquis_shaperDlg::CSist_aquis_shaperDlg(CWnd* pParent /*=NULL*/)
    : CDialog(CSist_aquis_shaperDlg::IDD, pParent)
{
    //{{AFX_DATA_INIT(CSist_aquis_shaperDlg)
    //}}AFX_DATA_INIT
    // Note that LoadIcon does not require a subsequent DestroyIcon in Win32
    m_hIcon = AfxGetApp()->LoadIcon(IDR_MAINFRAME);
}

void CSist_aquis_shaperDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
    CDialog::DoDataExchange(pDX);
    //{{AFX_DATA_MAP(CSist_aquis_shaperDlg)
    DDX_Control(pDX, IDCANCEL, m_iniciar);
    DDX_Control(pDX, IDC_EDIT3, m_peso2);
    DDX_Control(pDX, IDC_EDIT2, m_peso1);
    DDX_Control(pDX, IDC_EDIT1, m_peso);
    //}}AFX_DATA_MAP
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CSist_aquis_shaperDlg, CDialog)
    //{{AFX_MSG_MAP(CSist_aquis_shaperDlg)
    ON_WM_PAINT()
    ON_WM_QUERYDRAGICON()
    ON_BN_CLICKED(IDCANCEL, OnAquisitar)
    ON_WM_TIMER()
    //}}AFX_MSG_MAP
END_MESSAGE_MAP()

///////////
// CSist_aquis_shaperDlg message handlers

BOOL CSist_aquis_shaperDlg::OnInitDialog()
{
    CDialog::OnInitDialog();

    // Set the icon for this dialog. The framework does this automatically
    // when the application's main window is not a dialog
    SetIcon(m_hIcon, TRUE);           // Set big icon
    SetIcon(m_hIcon, FALSE);          // Set small icon

    executando=0;
}

```



```

        //a aquisicao comeca depois de ser armada

        daqSetTriggerEvent(handle,DatsImmedate,DetsRisingEdge,channels[0],gains[0],flags[0],
DaqTypeAnalogLocal,0,0, DaqStartEvent);

        //seleciona buffer circular
        daqAdcTransferSetBuffer(handle, buffer, 330, DatmCycleOn);

        //arma a aquisição
        daqAdcArm(handle);
        daqAdcTransferStart(handle);

        //Timer
        SetTimer(1,500,NULL);
    }
}
else
{
    m_iniciar.SetWindowText("Iniciar");
    executando=0;

    KillTimer(1);
    daqAdcDisarm(handle);
    daqClose(handle);
}
}

void CSist_aquis_shaperDig::OnTimer(UINT nIDEvent)
{
    char texto[20];
    char texto1[20];
    char texto2[20];
    double media;
    double media1;
    double media2;
    double tensao;
    double tensao1;
    double tensao2;
    double massa;
    double massa1;
    double massa2;
    FILE *arquivo;
    media=0;
    media1=0;
    media2=0;
    massa=0;
    massa1=0;
    massa2=0;
    arquivo=fopen("teste.txt","at");
    for (int i=0;i<=400;i=i+3)
    {
        media=media+(double)buffer[i];
        media1=media1+(double)buffer[i+1];
        media2=media2+(double)buffer[i+2];
    }

    tensao=(3*media/400-32768)/3276.8;
    tensao1=(3*media1/400-32768)/3276.8;
    tensao2=(3*media2/400-32768)/3276.8;

    massa=-10*tensao+50;
    massa1=-10*tensao1+50;
    massa2=-10*tensao2+50;

    sprintf(arquivo,"%lf %lf %lf\n",massa,massa1,massa2);
    _gcvf(massa, 5, texto);
    _gcvf(massa1, 5, texto1);
    _gcvf(massa2, 5, texto2);
    m_peso.SetWindowText(texto);
    m_peso1.SetWindowText(texto1);
    m_peso2.SetWindowText(texto2);

    fclose(arquivo);

    CDialog::OnTimer(nIDEvent);
}
}

```

10.2. Anexo B- Orçamentos

- Estrutura + Guia Y

Boa tarde, Srs

Conforme sua solicitação de orçamento: MÁQUINA DE USINAGEM DE "SHAPE" - SISTEMA DE USINAGEM

MONTAGEM DE SUPORTE CONF. DESENHO R\$ 1045,00 P/PC

MESA MDM 25- AL- B- 840 R\$ 2041,00 P/PC

(curso livre de 600mm)

Entrega: 15 dias úteis

Transp: FOB

Validade: 20 dias

Atenciosamente

Rogério F. Santos

Dept. Vendas

Mitay Mecânica Industrial de Precisão Ltda.

Tel. 011-4616-9295

FAX.011-4148-4086

Email: mitay@mitay.com.br

- Células de Carga

Prezado Paulo,

Agradecemos a consulta e interesse por produtos Alfa Instrumentos, abaixo seguem condições para o fornecimento.

1. Fornecimento

Qtde	Descrição	Valor Unitário
01	Célula de Carga Mod. SV-50	R\$ 388,00 + 5% IPI

2. Informações Técnicas: Consultar folheto anexo.

3. Prazo de Entrega: Até 10 dias, sujeito a confirmação posterior.

4. Preços

- Valores F.O.B. nossa fabrica São Paulo, com ICMS

5. Impostos: ICMS Incluso (Alíquota de 18%) - IPI Excluso. Alíquota de 5%

Para utilização em processo produtivo, estes impostos geram créditos na escrita fiscal.

6. Embalagem: Acrescer 2% aos preços supracitados.

7. Condições de Pagamento: 28 dias da data do faturamento com custo financeiro de 3%.

8. Condições Gerais de Fornecimento: Segue documento anexo.

9. Validade desta proposta: 10 dias.

Atenciosamente,

ALFA INSTRUMENTOS ELETRONICOS LTDA.

Eliane Leite

Vendas

Fone: (11) 3858-2299 r. 107

E-mail: comercial@alfainstrumentos.com.br

www.alfainstrumentos.com.br

• **Guia linear para sistema de medição**

Caro Sr. Paulo

Atendendo sua solicitação:

01 Mesa Deslizante MD20-AL-B-240 **R\$547,30 p/pç**

IPI + 15%

Entrega: 5 a 8 dias

Pagto: 28ddl

Validade 20 dias

Atenciosamente

Rogério F. Santos

Dept. Vendas

Mitay Mecânica Industrial de Precisão Ltda.

Tel. 011-4616-9295

FAX.011-4148-4086 Email m.wanderlei.vendas@mitay.com.br

10.3. Anexo C-Lista de materiais

A lista de matérias é apresentada a seguir:

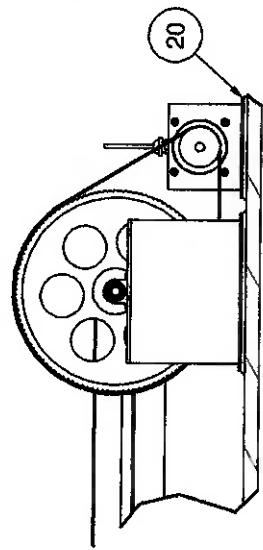
ITEM	QTDE	PART NUMBER	DESCRÍÇÃO	OBS
1	1	trilho	Estrutura do trilho de avanço	
2	2	base do motor principal	base do motor principal	
3	2	Cantoneira2	Suporte do motor principal	
4	2	eixo2	Eixo Polia	
5	4	DIN 625 T1 - 6001 - 12 x 28 x 8	Rolamento 6001 - 12 x 28 x 8	com suporte
6	2	suporte polia	Suporte das Polias	
7	8	DIN 125 - A 5.3	Arruela fisa de 5mm	
8	8	DIN 127 - A 5	Arruela de pressão 5mm	
9	8	DIN 555-5 - M5	Porca M5	
10	8	DIN 912 - M5 x 30	Parafuso Allen M5 x30	
11	2	chapab1	Chapa de base 1	
12	2	chapab2	Chapa da base 2	
13	19	DIN 127 - A 10	Arruela de Pressão 10mm	
14	20	Arruela lisa 10mm	Arruela lisa 10mm	
15	16	DIN 912 - M10 x 20	Parafuso Allen M10 x 20	
16	1	chapag1	Suporte Eixo Z	
17	3	guia móvel	Guia linear sistema de medição - BL20ALB240	
18	3	célula de carga	Célula de carga SV-50	
19	4	calço	Calço da base móvel	
20	8	DIN 912 - M8 x 60	Parafuso Allen M8 x 60	
21	3	DIN 912 - M6 x 35	Parafuso Allen M8 x 35	
22	3	parafuso allen M6x80	Parafuso Allen M8 x 80	
23	1	chapa do suporte do motor	Chapa do Suporte da Tupia	
24	1	motor	Tupia	
25	1	suporte do motor	Suporte do motor da Tupia	
26	1	ferramenta	Ferramenta de Corte	
27	1	DIN 912 - M10 x 100	Parafuso Allen M10 x 100	
28	3	DIN 555-5 - M10	Porca M10	
29	2	DIN 912 - M10 x 40	Parafuso Allen M10 x 40	
30	8	DIN 555-5 - M8	Porca M8	
31	8	DIN 127 - A 8	Arruela de Pressão 8mm	
32	4	chapag2	Calço Eixo Z	
33	4	DIN 912 - M6 x 16	Parafuso Allen M6 x 16	
34	4	DIN 127 - A 6	Arruela de Pressão 6mm	
35	4	DIN 912 - M8 x 45	Parafuso Allen M8 x 45	
36	1	cantoneira	Cantoneira de Suporte	
37	1	Cantoneira1	Cantoneira de Suporte 1	
38	1	chapap1	Chapa do suporte do poliuretano	
39	1	chapap2	Chapa de Suporte do Poliuretano 1	
40	5	estrut	Estrutura do suporte do Poliuretano	
41	88	DIN 7991 - M3 x 8	Parafuso cabeça escariada M3 x 8	
42	1	portico2	Estrutura da máquina	
43	1	guia móvel 2X	Guia linear eixo Y - MDM25ALB840	
44	4	ISO 4762 - M8 x 40	Parafuso Allen M8 x40	
45	4	DIN 912 - M8 x 50	Parafuso Allen M8 x 50	
46	4	DIN 912 - M10 x 80	Parafuso Allen M10 x80	
47	4	DIN 912 - M10 x 70	Parafuso Allen M10 x70	

Tabela 4- Lista de materiais

10.4. Anexo D-Desenhos de fabricação

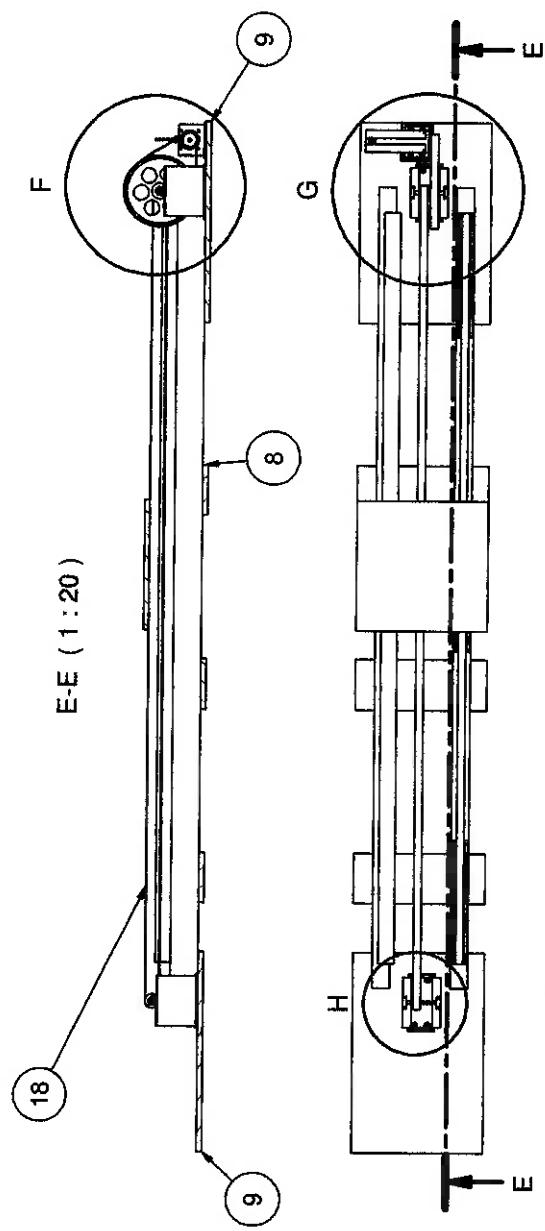
Os desenhos de fabricação de todos os componentes da máquina encontram-se a seguir.

F (1:7)

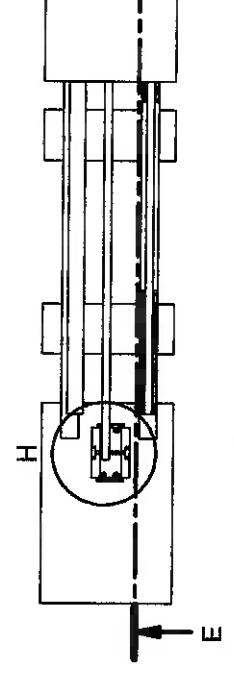


F

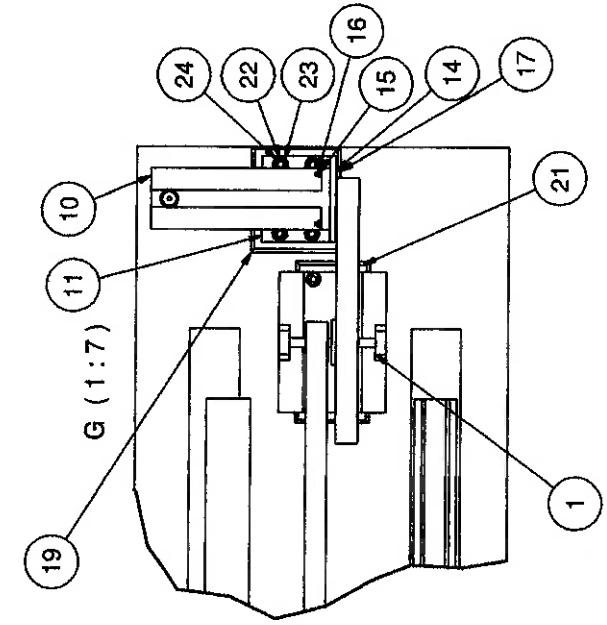
E-E (1:20)



G (1:7)



H (1:7)



ITEM	QTY	DESCRIPTION
1	1	Conjunto de Polia do Eixo Principal
2	1	Conjunto de Polia do Eixo Principal 1
3	2	Viga 1
4	1	Supor te da guia principal
5	1	Trilho da guia principal
6	3	Supor te da guia principal A
7	1	Base Móvel Principal
8	3	Chapa de base
9	2	base do motor principal
10	1	Servo Motor Principal
11	1	Supor te do motor principal
12	1	Polia dentada 22 x30
13	1	Correia 1080 x 30
14	4	Arruela lisa de 5mm
15	4	Arruela de pressão 5mm
16	4	Porca M5
17	4	Parafuso Allen M5 x30
18	1	Correia de 8m
20	1	Chapa de base 1
21	2	Chapa da base 2
22	12	Arruela de Pressão 10mm
23	12	Arruela lisa 10mm
24	12	Parafuso de cabeça cilíndrica e oco hexagonal

Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

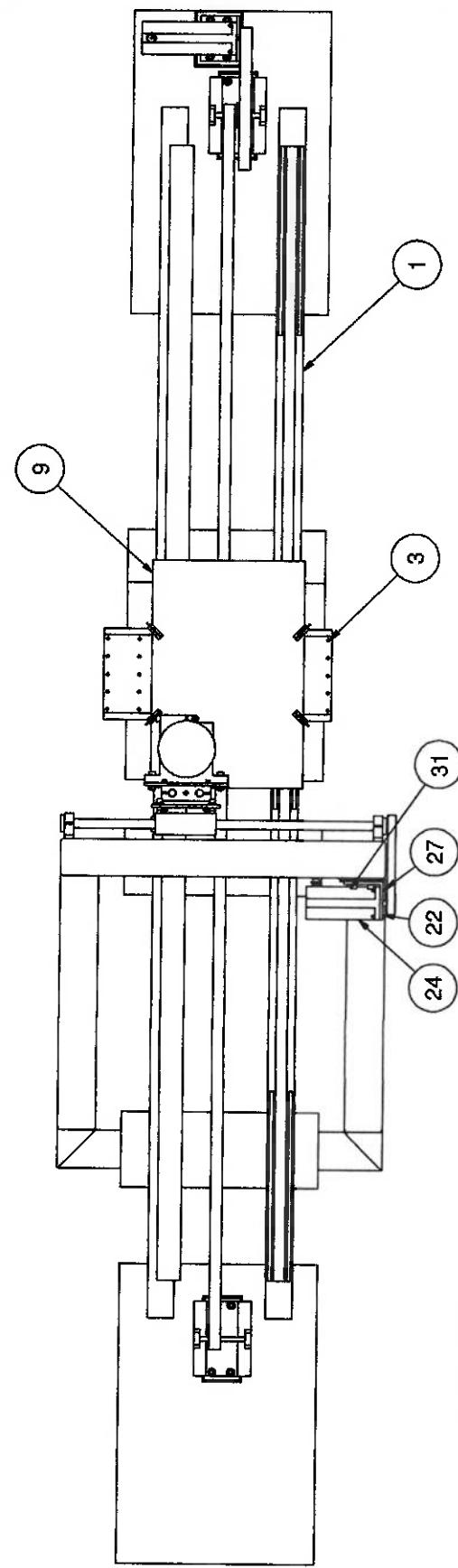
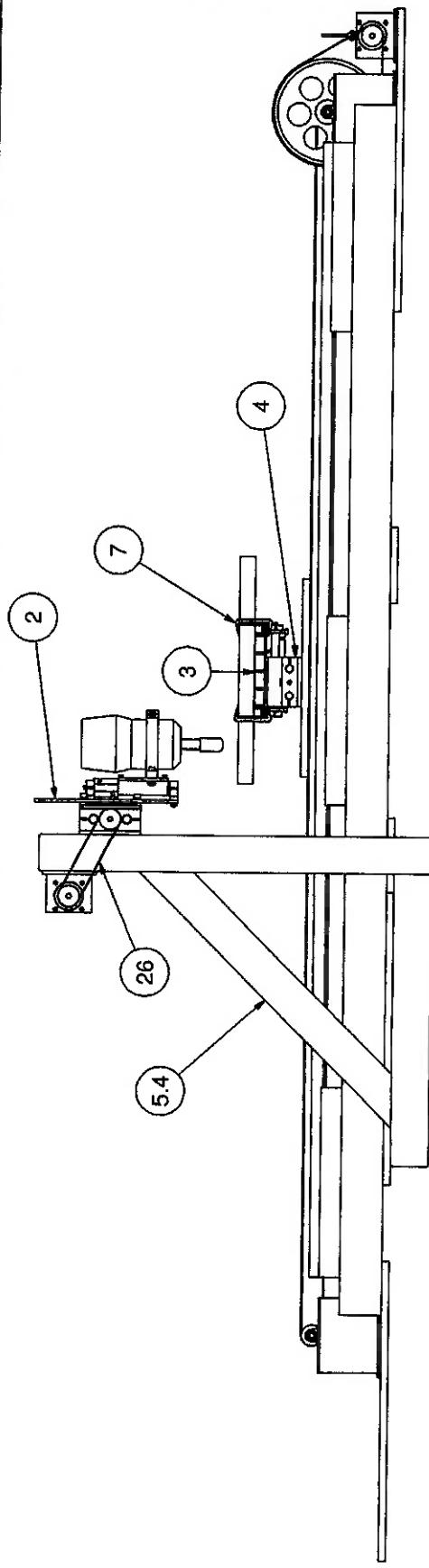
Descrição: Guia Principal de Movimentação

ESC: 1:20
Data: 22/11/03

Autores Filipe R. Dessen
Paulo H. V. Carvalho

Folha: 2

Prof. Orientador: Julio Adamowski



Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Máquina de medição de forças de corte

ESC: 1:12
Data: 22/11/03
Prof. Orientador: Julio Adamowski

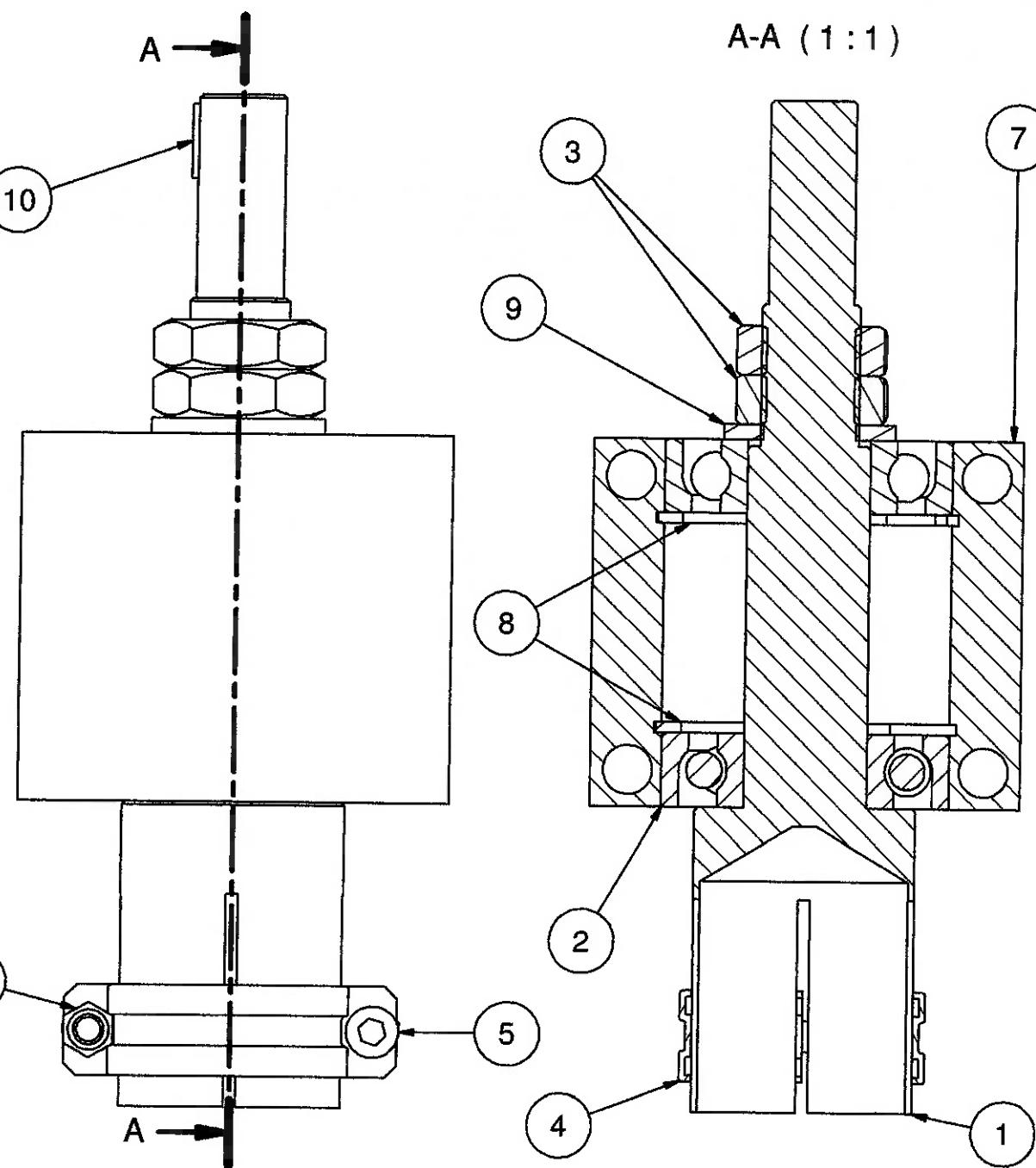
Folha: 1

Lista de Material			
ITEM	QTY	DESCRIPTION	ITEM
20	4	Parafuso Allen M10 x70	1
22	1	Supornte do motor principal	2
23	1	Chapa de base 1	3
24	1	Servo Motor	4
25	2	Polla 22 x 20	5
26	1	Correia	7
27	4	Parafuso Allen M5x30	16
28	4	Armela lisa de 5mm	8
29	4	Porca M5	9
30	4	Armela de pressão 5mm	17
31	4	Parafuso de cabeça cilíndrica e oco hexagonal	18
			19
			8

Autores

Filipe R. Dessen
Paulo H. V. Carvalho

Folha: 1



Lista de Material

ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	eixo da tupia
2	2	DIN 615 - E 20 - 20 x 47 x 12
3	2	DIN 439 - M16 x 1.5
4	2	abraçadeira
5	2	DIN 912 - M5 x 16

Lista de Material

ITEM	QTY	PART NUMBER
6	2	DIN 555-5 - M5
7	1	base tupia
8	2	DIN 472 - 47 x 1.75
9	1	DIN 125 - A 15
10	1	DIN 6885 - A 2 x 2 x 12

Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Transmissão da Tupia

ESC: 1:1

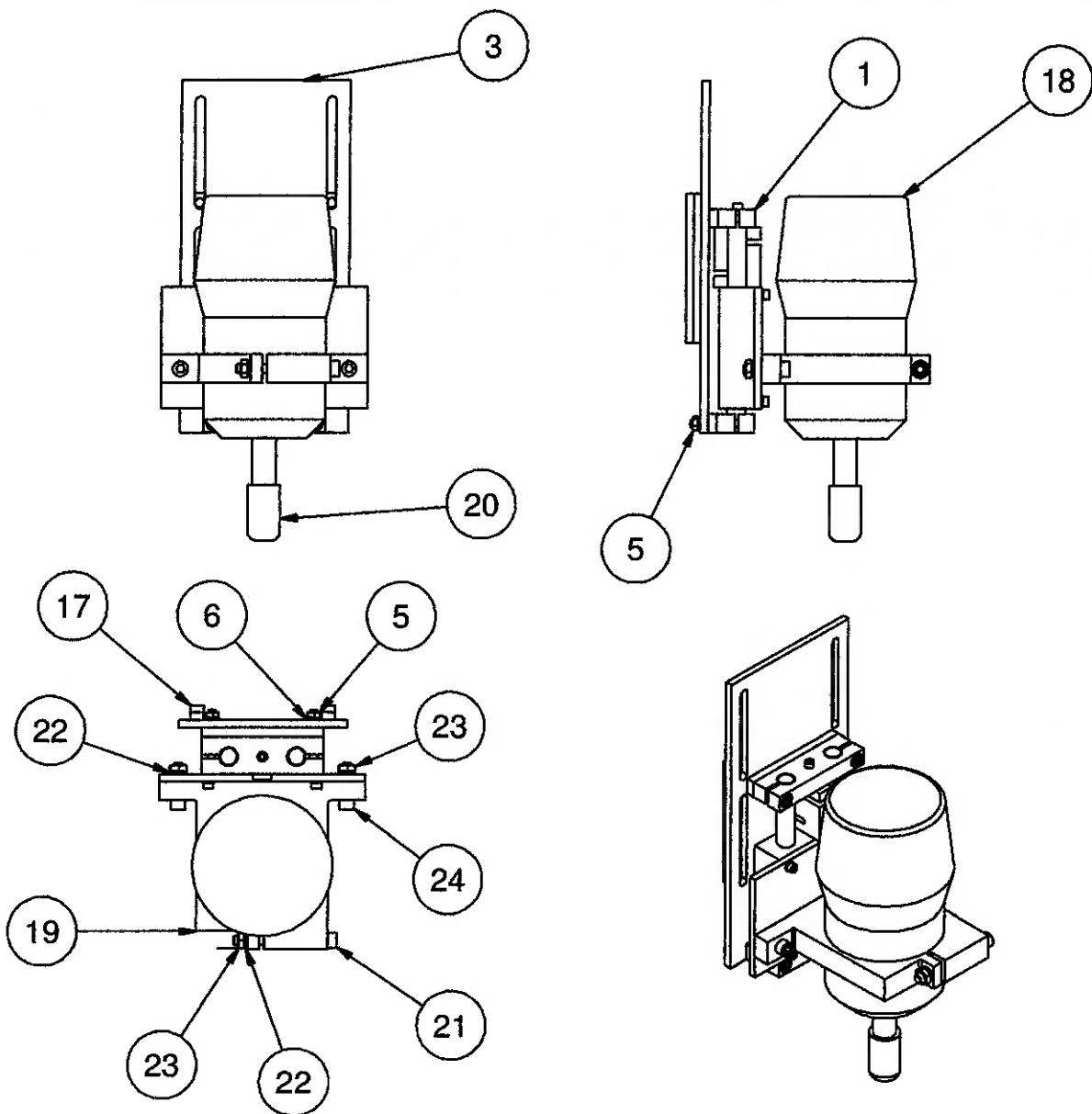
Data: 21/11/03

Autores

Filipe R. Dessen
Paulo H. V. Carvalho

Folha: 1

Prof. Orientador: Julio Adamowski



Lista de Material			Lista de Material		
ITEM	QTY	DESCRIPTION	ITEM	QTY	DESCRIPTION
18	1	Tupia	1	1	Guia de medição de Forças
19	1	Suporte do motor da Tupia	3	1	Suporte Eixo Z
20	1	Ferramenta de Corte	4	1	Chapa do Suporte da Tupia
21	1	Parafuso Allen M10 x 100	5	4	Porca M8
22	3	Arruela de Pressão 10mm	6	4	Arruela de Pressão 8mm
23	3	Porca M10	11	4	Parafuso Allen M6 x 16
24	2	Parafuso Allen M10 x 40	12	4	Arruela de Pressão 6mm
			17	4	Calço Eixo Z

Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Guia de medição de força em Z

ESC: 1:14

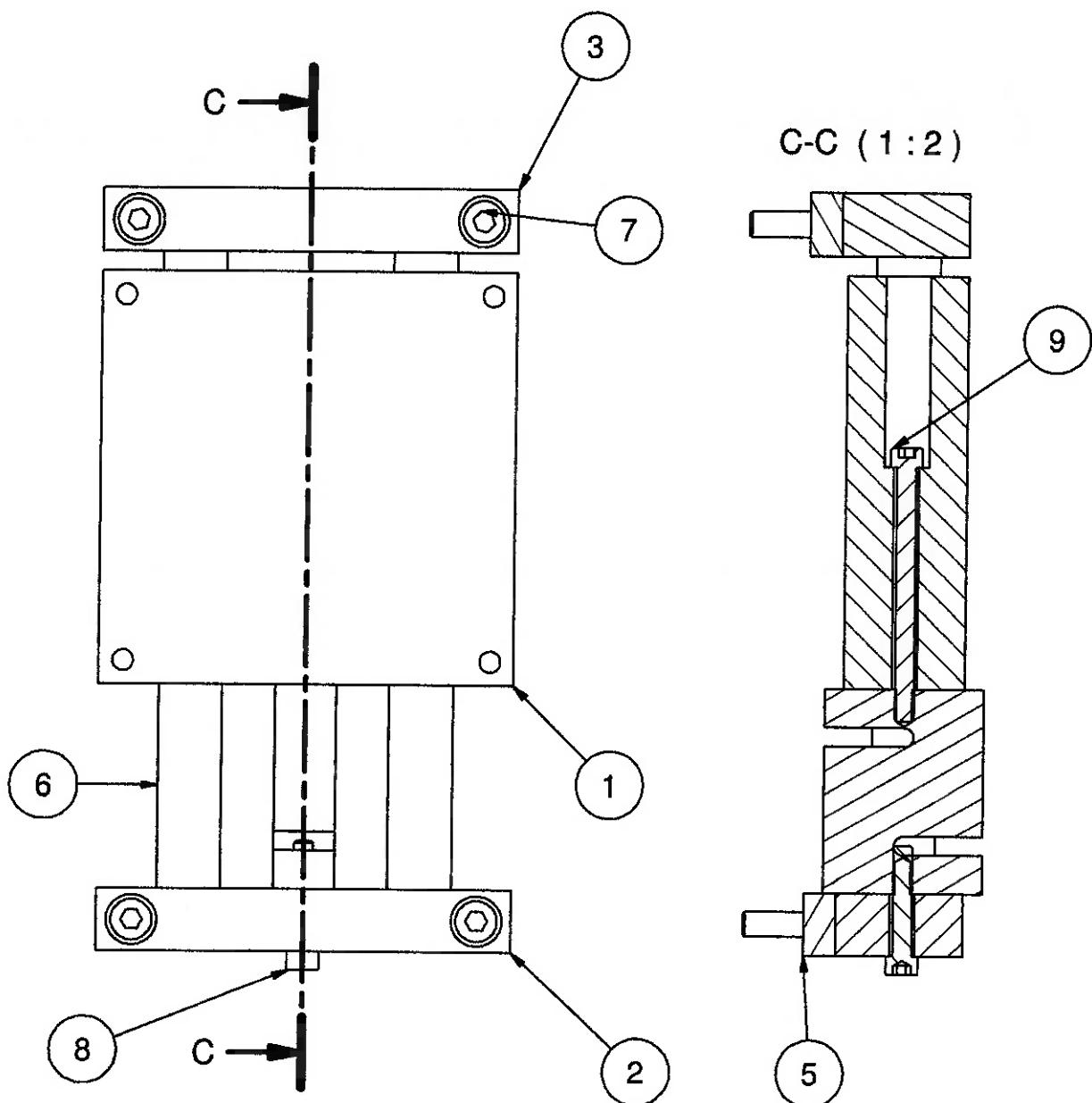
Data: 21/11/03

Autores

Filipe R. Dessen
Paulo H. V. Carvalho

Folha: 2

Prof. Orientador: Julio Adamowski



Lista de Material			Lista de Material		
ITEM	QTY	DESCRIPTION	ITEM	QTY	DESCRIPTION
6	2	Eixo da guia	1	1	Bloco
7	4	Parafuso Allen M8 x 60	2	1	Suporte da guia
8	1	Parafuso Allen M8 x 35	3	1	Supporte da guia
9	1	Parafuso Allen M8 x 80	4	1	Célula de carga
			5	2	Calço da base móvel

Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Guia de medição de Forças

ESC: 1:2

Data: 21/11/03

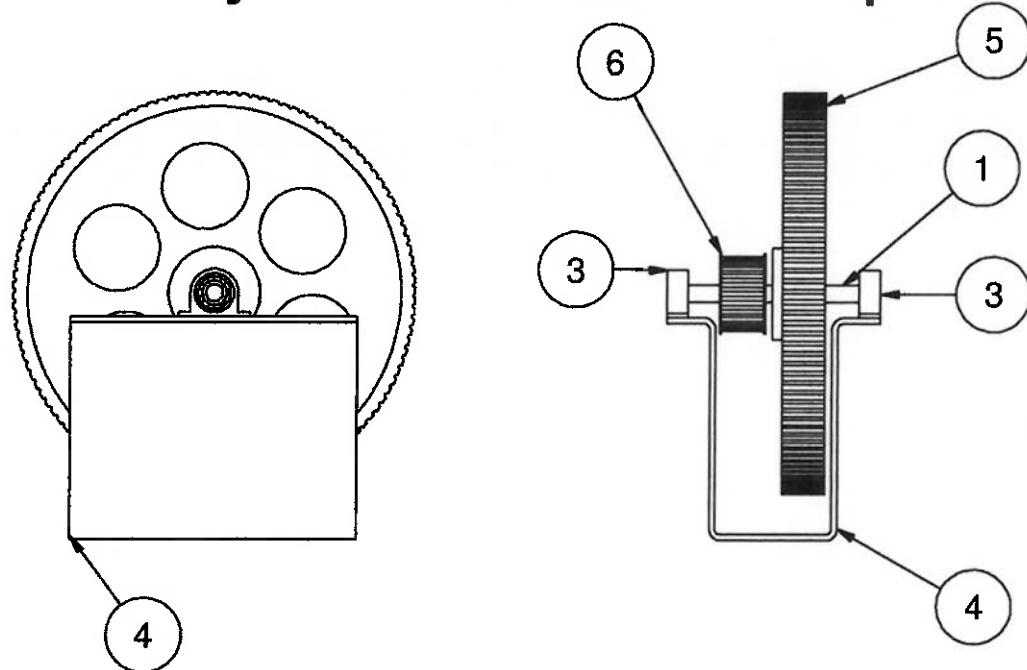
Autores

Filipe R. Dessen
Paulo H. V. Carvalho

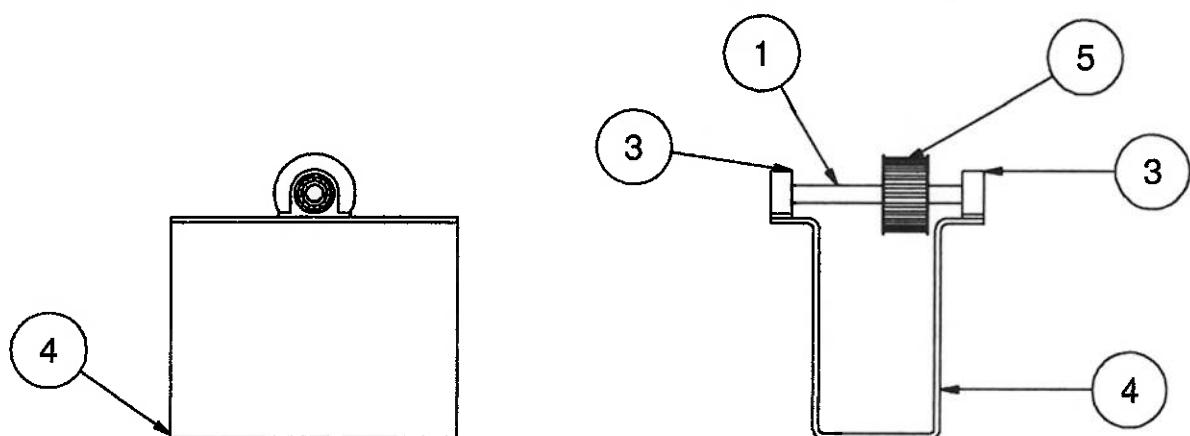
Folha: 3

Prof. Orientador: Julio Adamowski

Conjunto Polias Principais



Conjunto Polias Principais 1



Lista de Material			Lista de Material		
ITEM	QTY	DESCRIPTION	ITEM	QTY	DESCRIPTION
4	1	Suporte das Polias	1	1	Eixo Polia
5	1	Polia Dentada 220 x 30	2	2	Rolamento 6001 - 12 x 28 x 8
6	1	Polia dentada 22 x30	3	2	Supporte do rolamento

Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Conjunto de Polia do Eixo Principal

ESC: 1:5

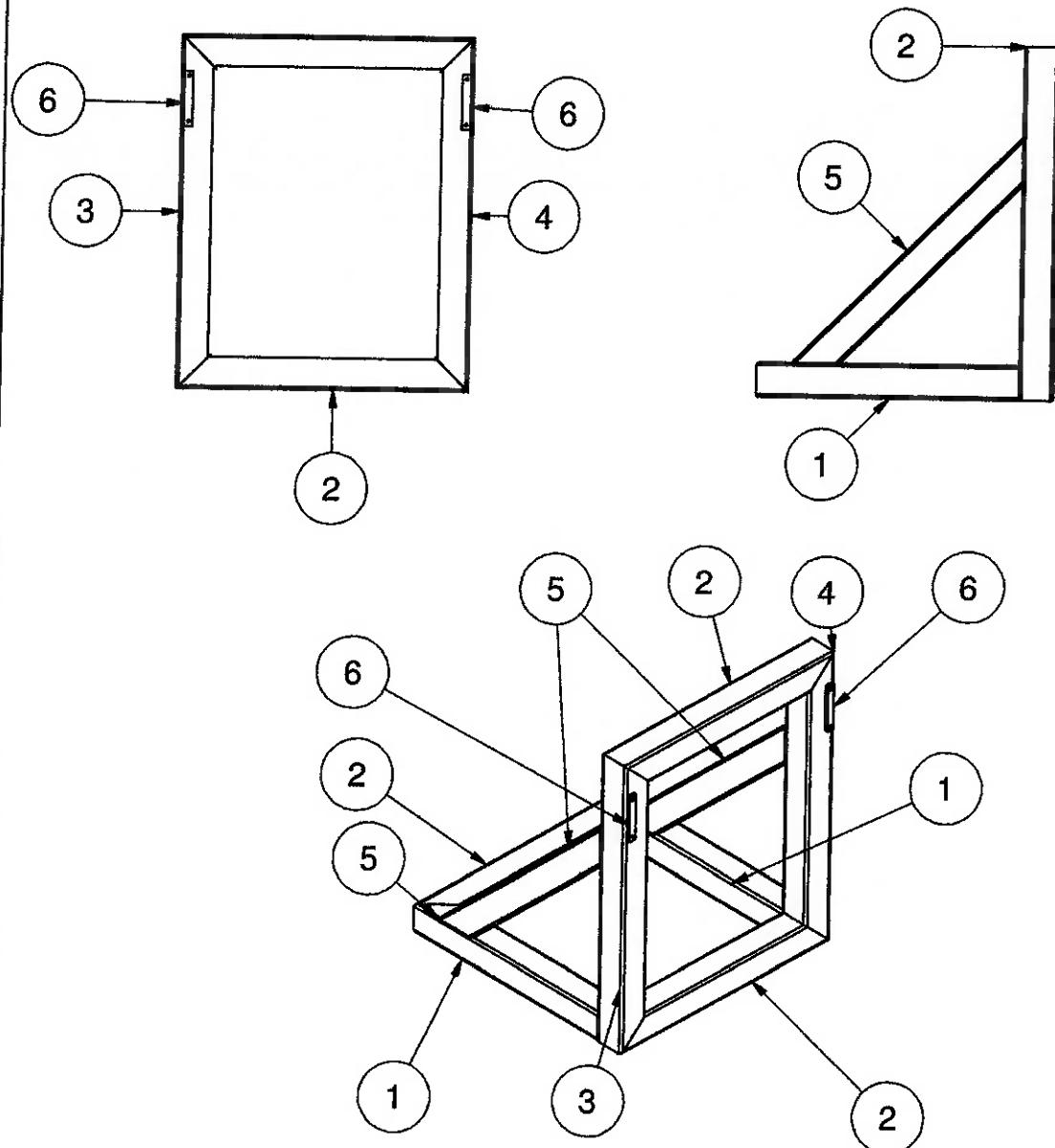
Data: 21/11/03

Autores

Filipe R. Dessen
Paulo H. V. Carvalho

Folha: 4

Prof. Orientador: Julio Adamowski



Lista de Peças

Lista de Peças

ITEM	QTY	PART NUMBER	ITEM	QTY	PART NUMBER
1	2	tubo5aX	4	1	tubo6aX
2	3	tubo1aX	5	2	tubo7aX
3	1	tubo6aX1	6	2	calçoX

Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Estrutura

ESC: 1:20

Data: 28/10/03

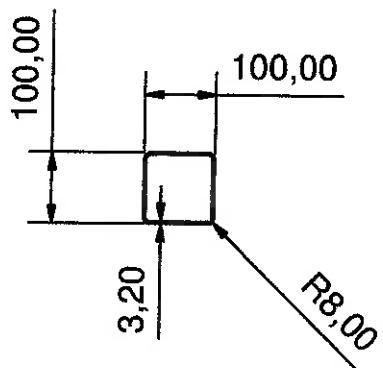
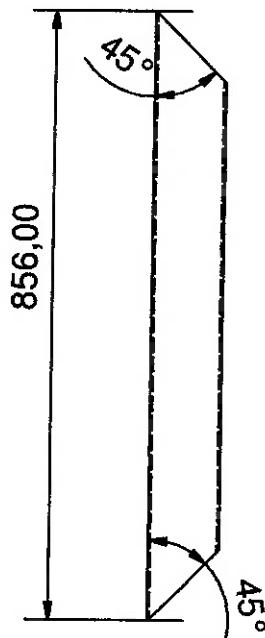
Autores

Filipe R. Dessen
Paulo H. V. Carvalho

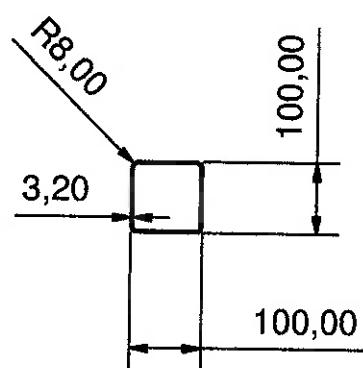
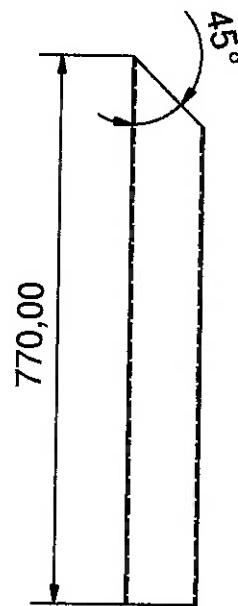
Folha: 1

Prof. Orientador: Julio Adamowski

Tubo1aX



Tubo 5aX



Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Tubo1X

ESC: 1:10

Data: 28/10/03

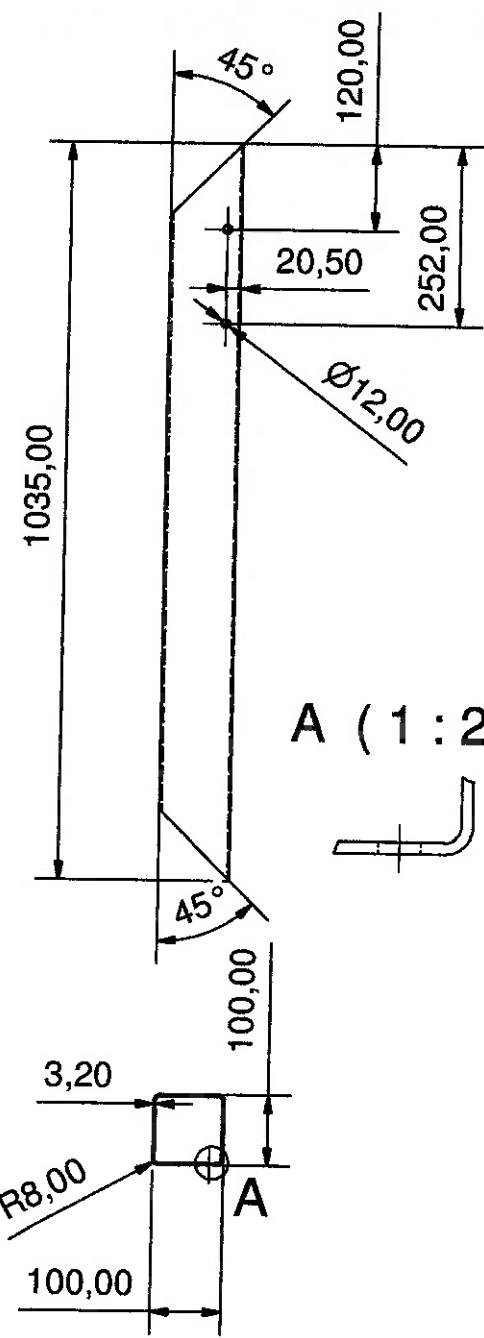
Autores

Filipe R. Dessen
Paulo H. V. Carvalho

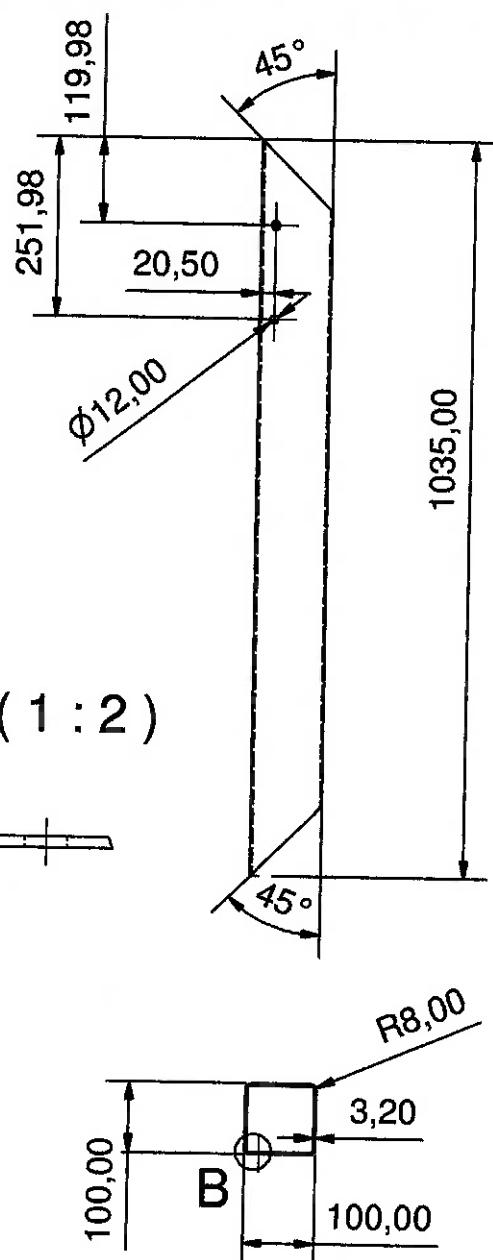
Folha: 2

Prof. Orientador: Julio Adamowski

Tubo 6aX



Tubo 6aX1



Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Tubo6X

ESC: 1:10

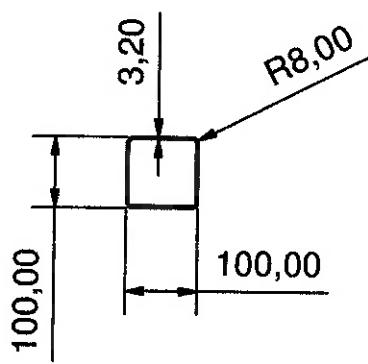
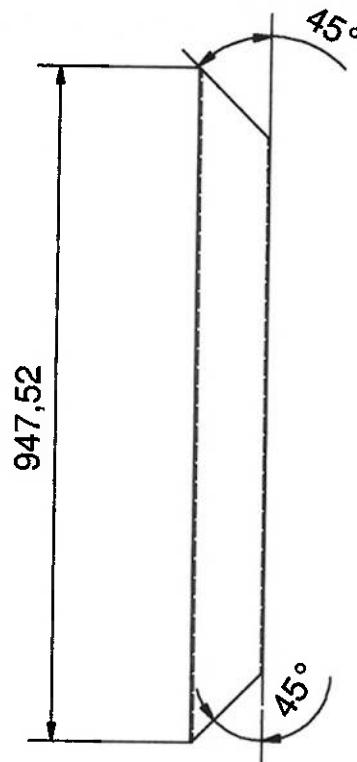
Data: 28/10/03

Autores

Filipe R. Dessen
Paulo H. V. Carvalho

Folha: 3

Prof. Orientador: Julio Adamowski



Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Tubo7X

ESC: 1:10

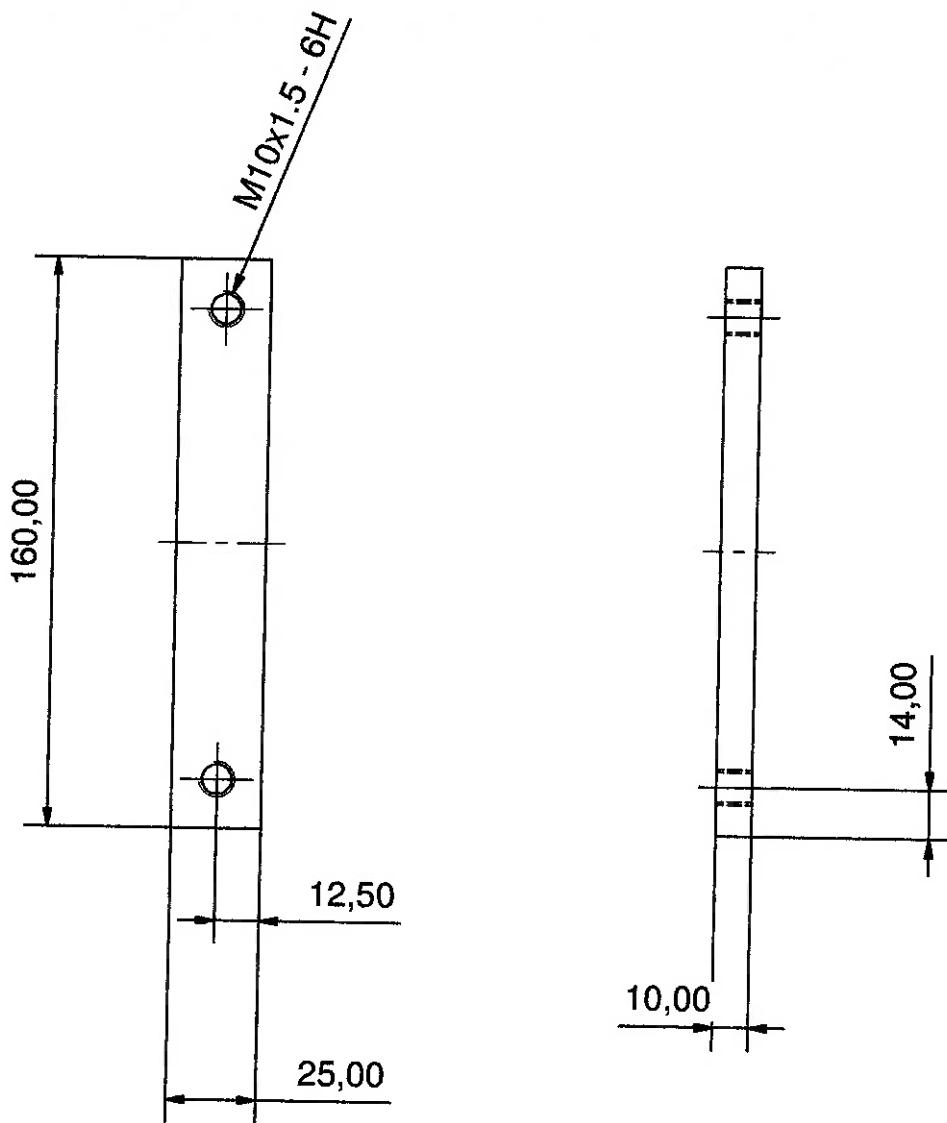
Data: 28/10/03

Autores

Filipe R. Dessen
Paulo H. V. Carvalho

Folha: 4

Prof. Orientador: Julio Adamowski



Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: CalçoX

ESC: 1:2

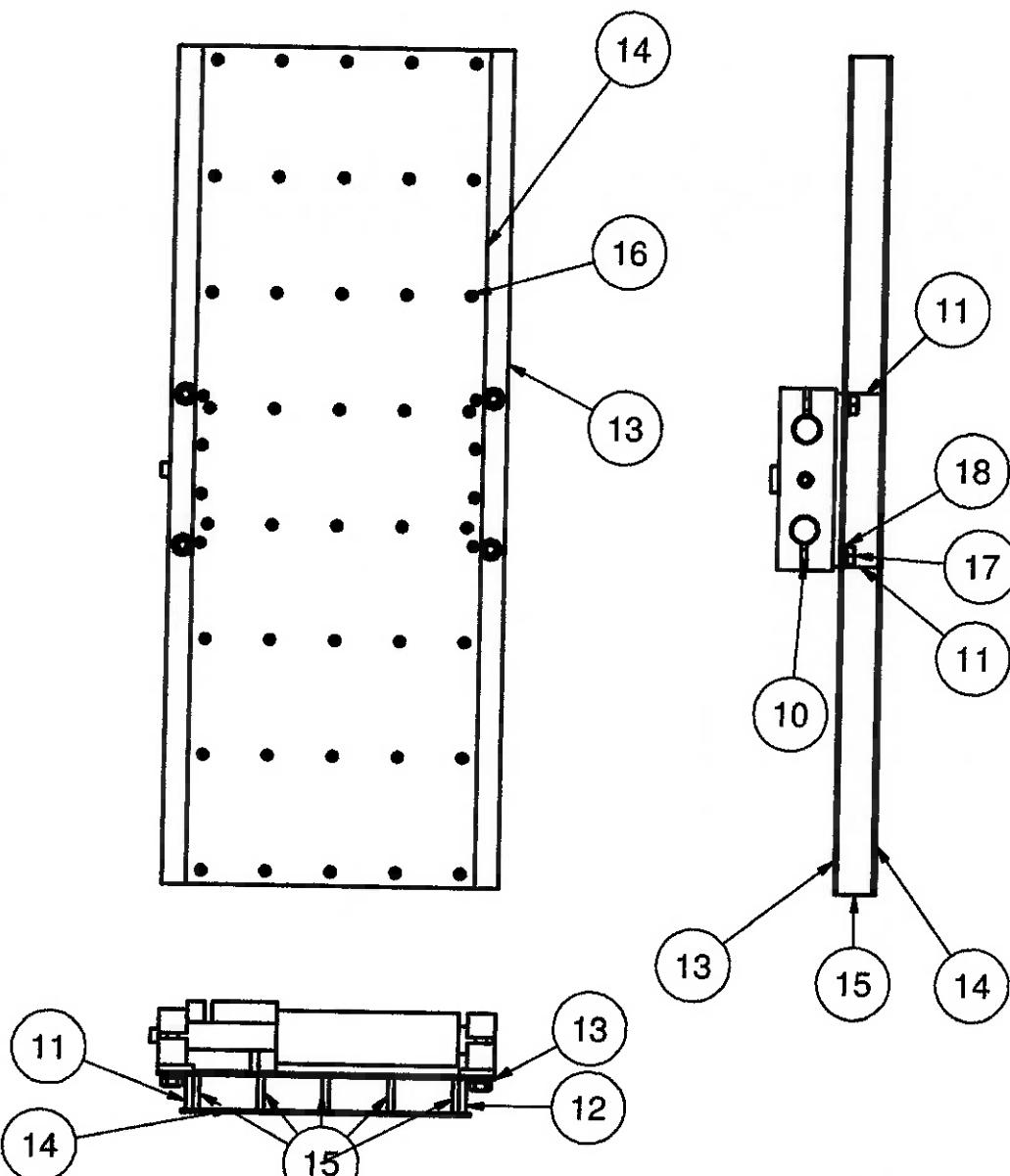
Data: 28/10/03

Autores

Filipe R. Dessen
Paulo H. V. Carvalho

Folha: 5

Prof. Orientador: Julio Adamowski



Lista de Material			Lista de Material		
ITEM	QTY	DESCRIPTION	ITEM	QTY	DESCRIPTION
11	1	Cantoneira de Suporte	1	1	Bloco
12	1	Cantoneira de Suporte 1	2	1	Suporte da guia
13	1	Chapa do suporte do poliuretano	3	1	Suporte da guia
14	1	Chapa de Suporte do Poliuretano 1	4	1	Célula de Carga
15	5	Estrutura do suporte do Poliuretano	5	2	Eixo da guia
16	88	Parafuso cabeça escariada M3 x 8	6	1	Parafuso Allen M8 x 35
17	4	Porca M8	7	1	Parafuso Allen M8 x 80
18	4	Arruela de Pressão 8mm	10	4	Parafuso Allen M8 x 45

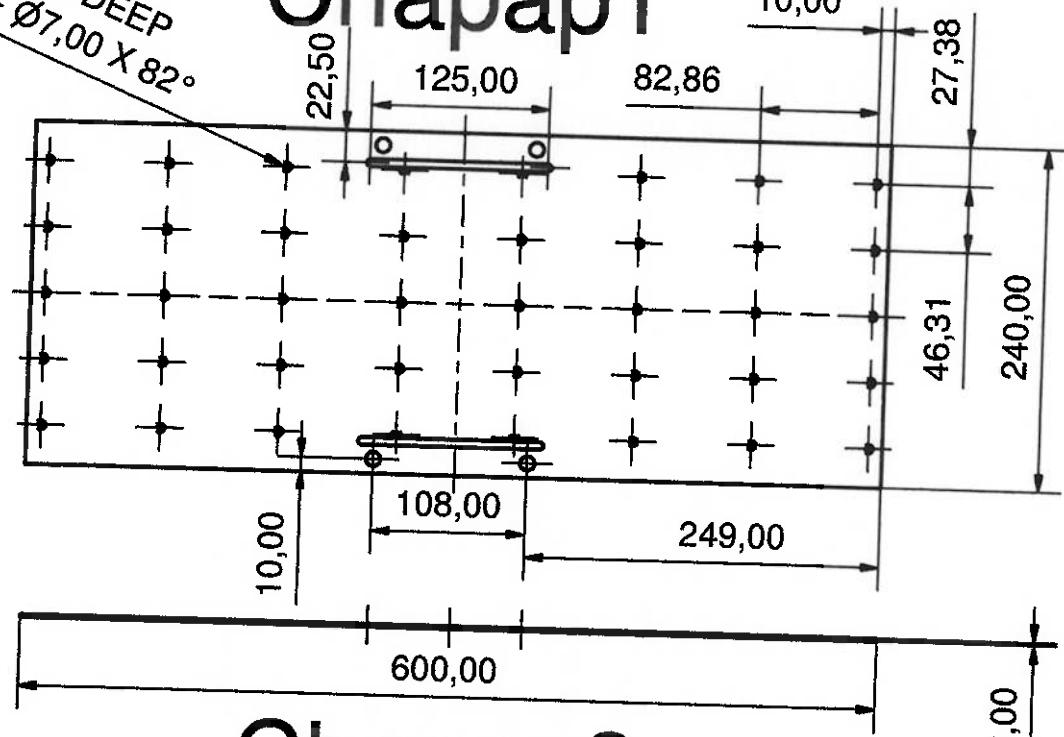
Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Suporte Poliuretano mais guia

ESC:	Autores	Filipe R. Dessen Paulo H. V. Carvalho	Folha:
Data:			1
Prof. Orientador: Julio Adamowski		Material: Alumínio	

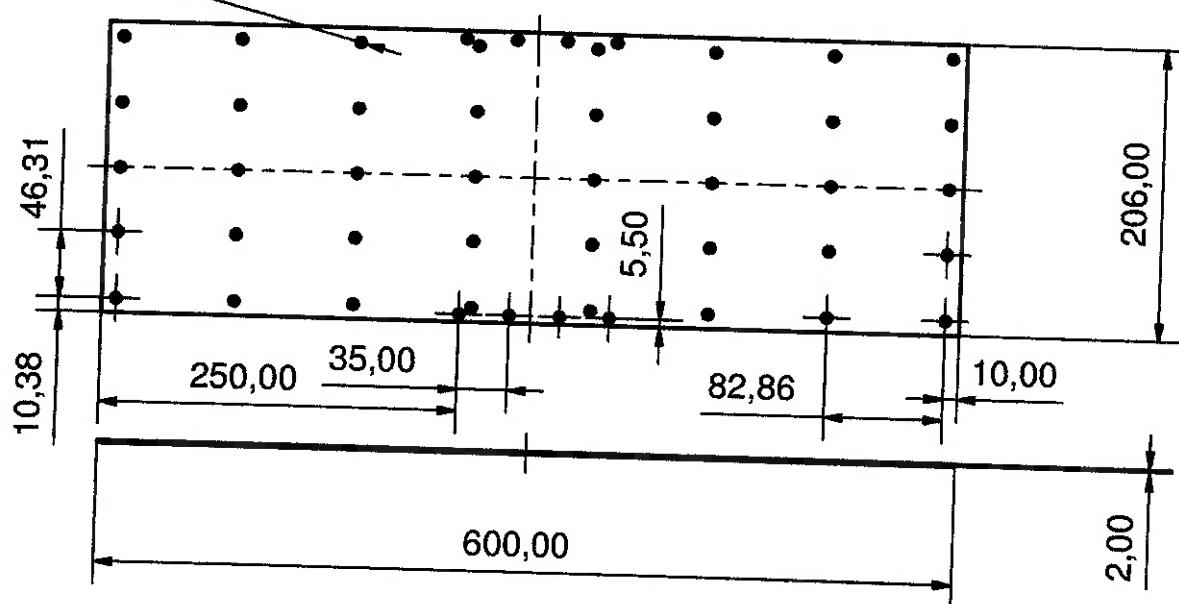
$\varnothing 3,50$ - 8,00 DEEP
DIN 74 - $\varnothing 7,00 \times 82^\circ$

Chapap1



$\varnothing 3,50$ - 8,00 DEEP
DIN 74 - $\varnothing 7,00 \times 82^\circ$

Chapap2

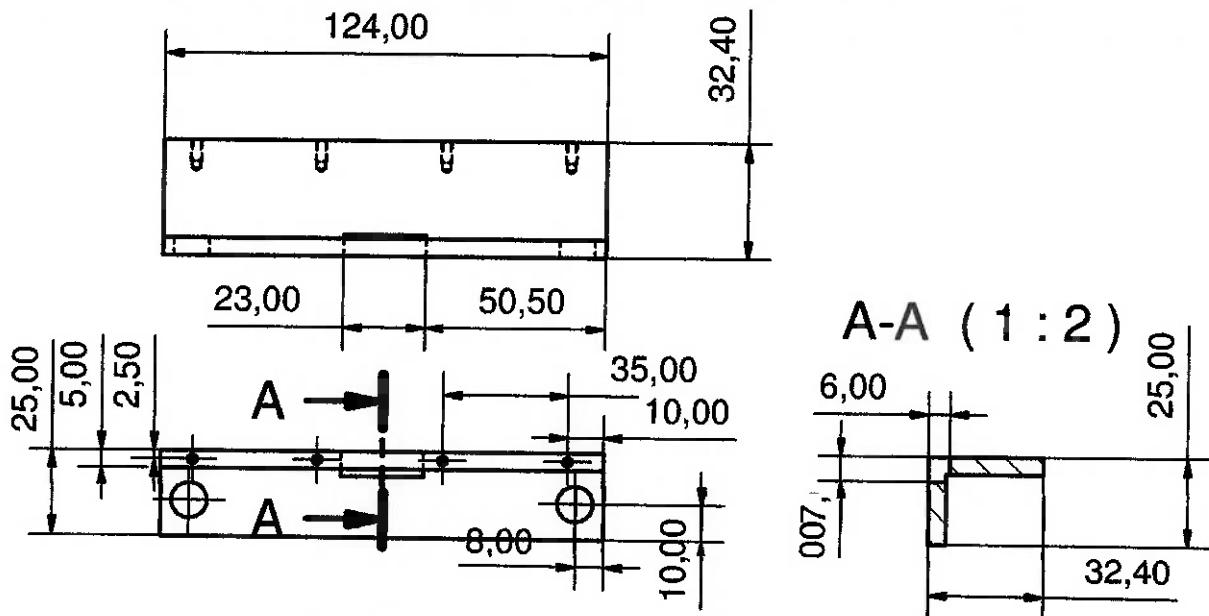


Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

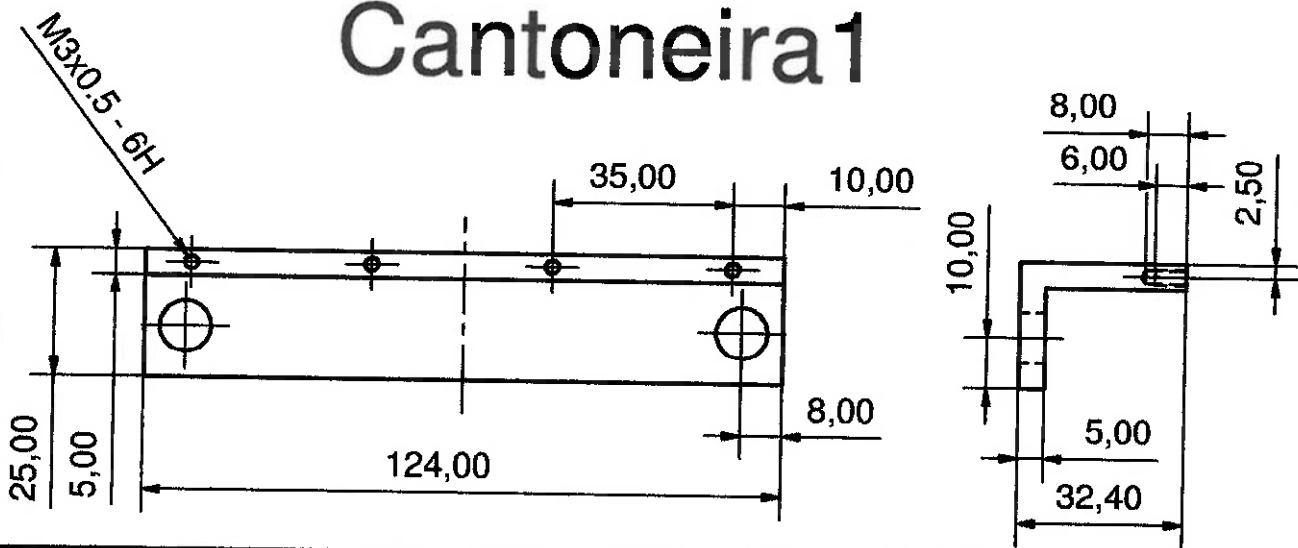
Descrição: Chapa do suporte do poliuretano

ESC:	Autores	Filipe R. Dessen Paulo H. V. Carvalho	Folha:	2
Data:	Porf. Orientador:	Julio Adamowski	Material:	Alumínio

Cantoneira



Cantoneira 1

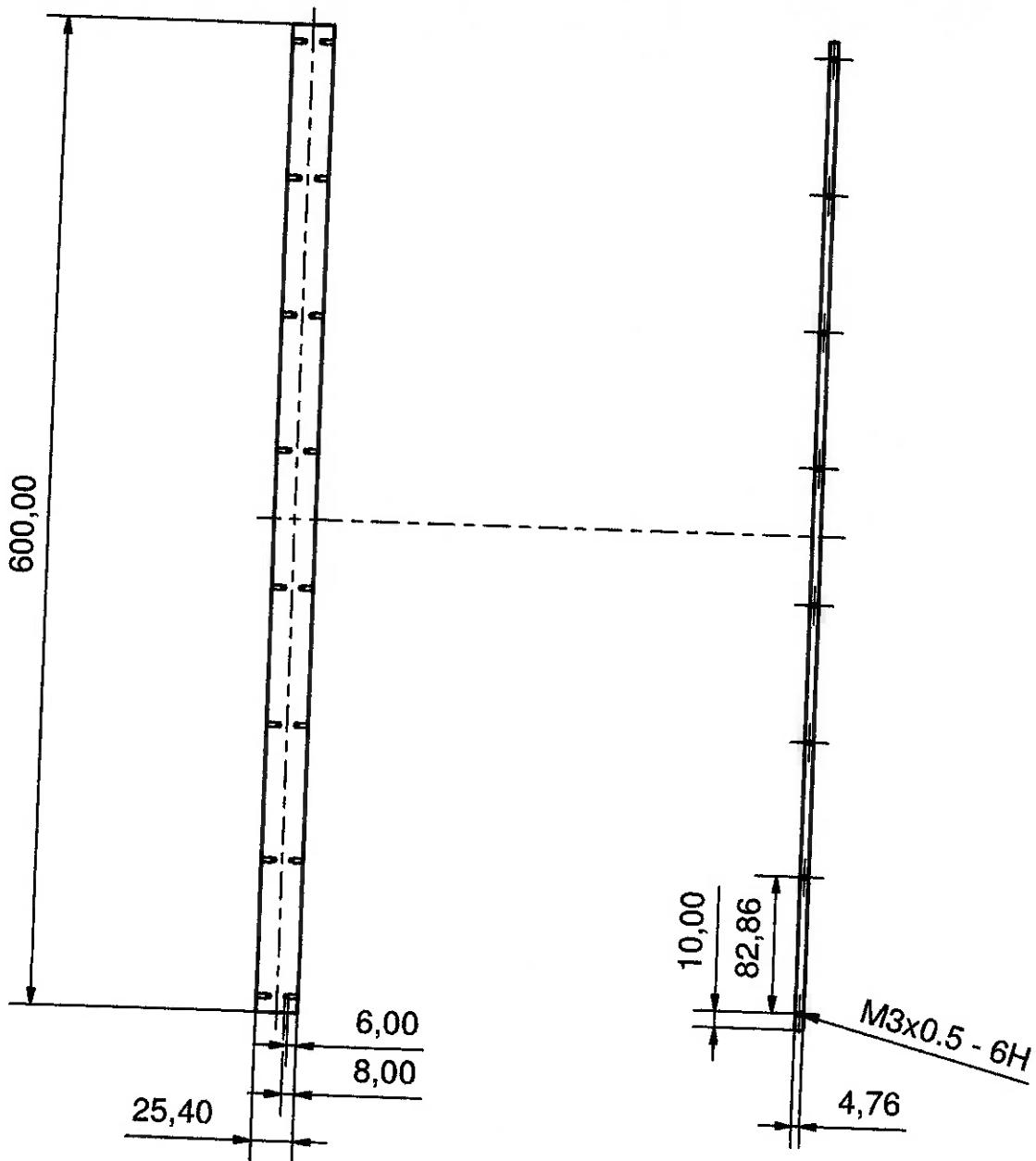


Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Cantoneira de Suporte

ESC:	Autores	Filipe R. Dessen	Folha:
Data:		Paulo H. V. Carvalho	3
Prof. Orientador: Julio Adamowski		Material: Alumínio	

Estrut



Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Estrutura do suporte do Poluretano

ESC:

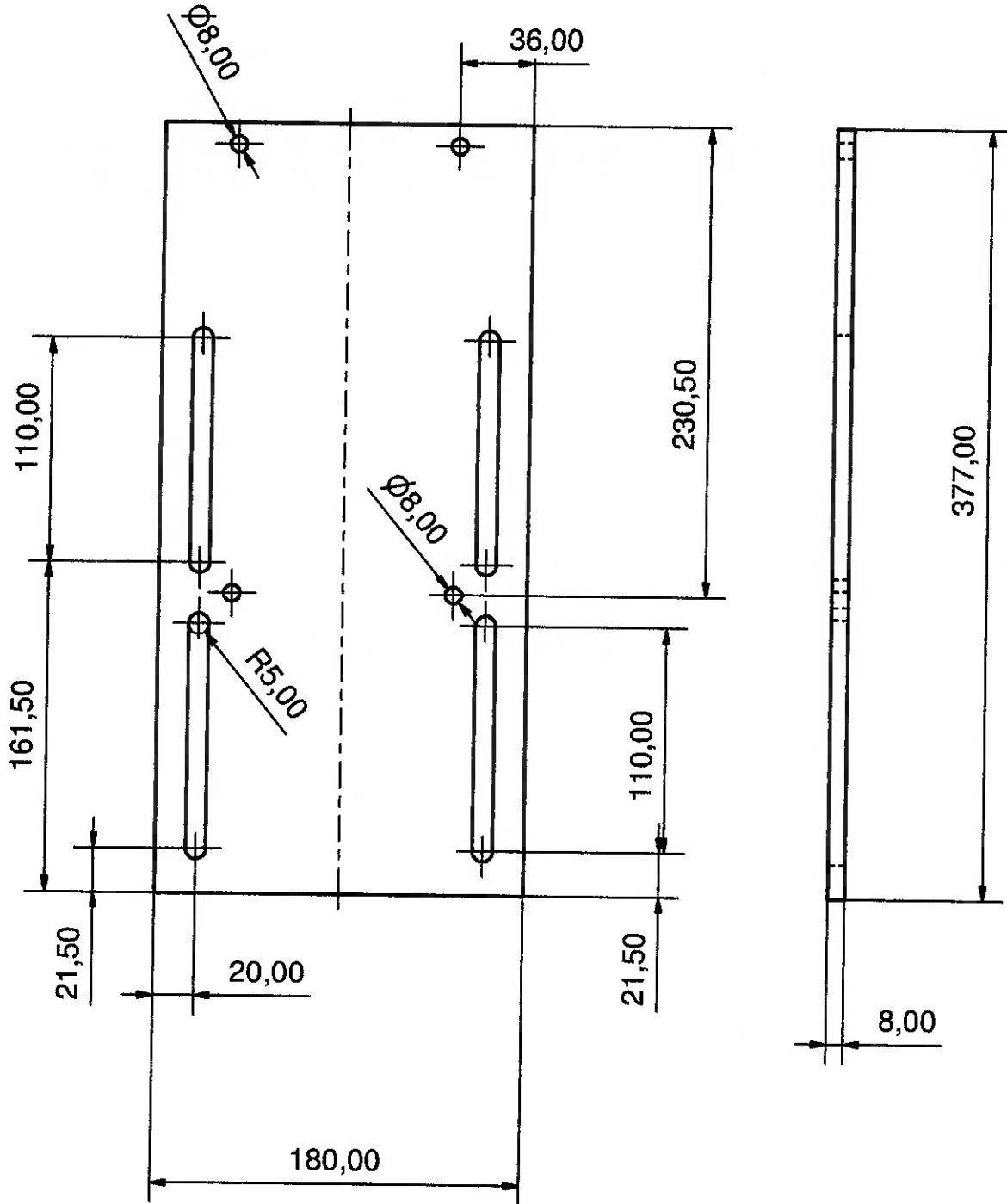
Autores

Filipe R. Dessen
Paulo H. V. Carvalho

Folha: 4

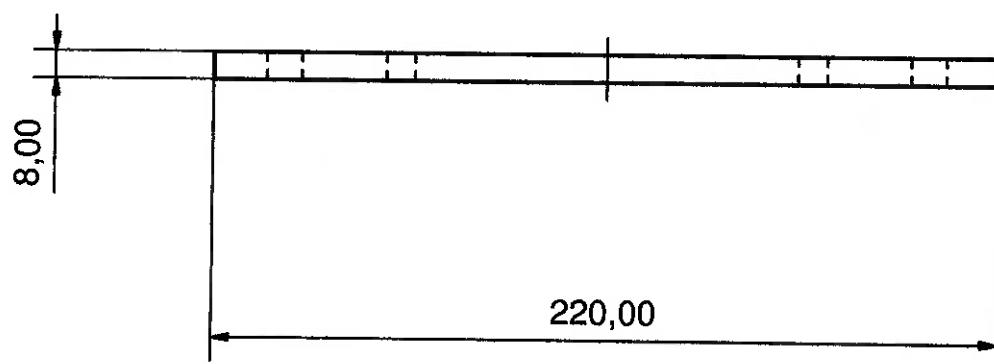
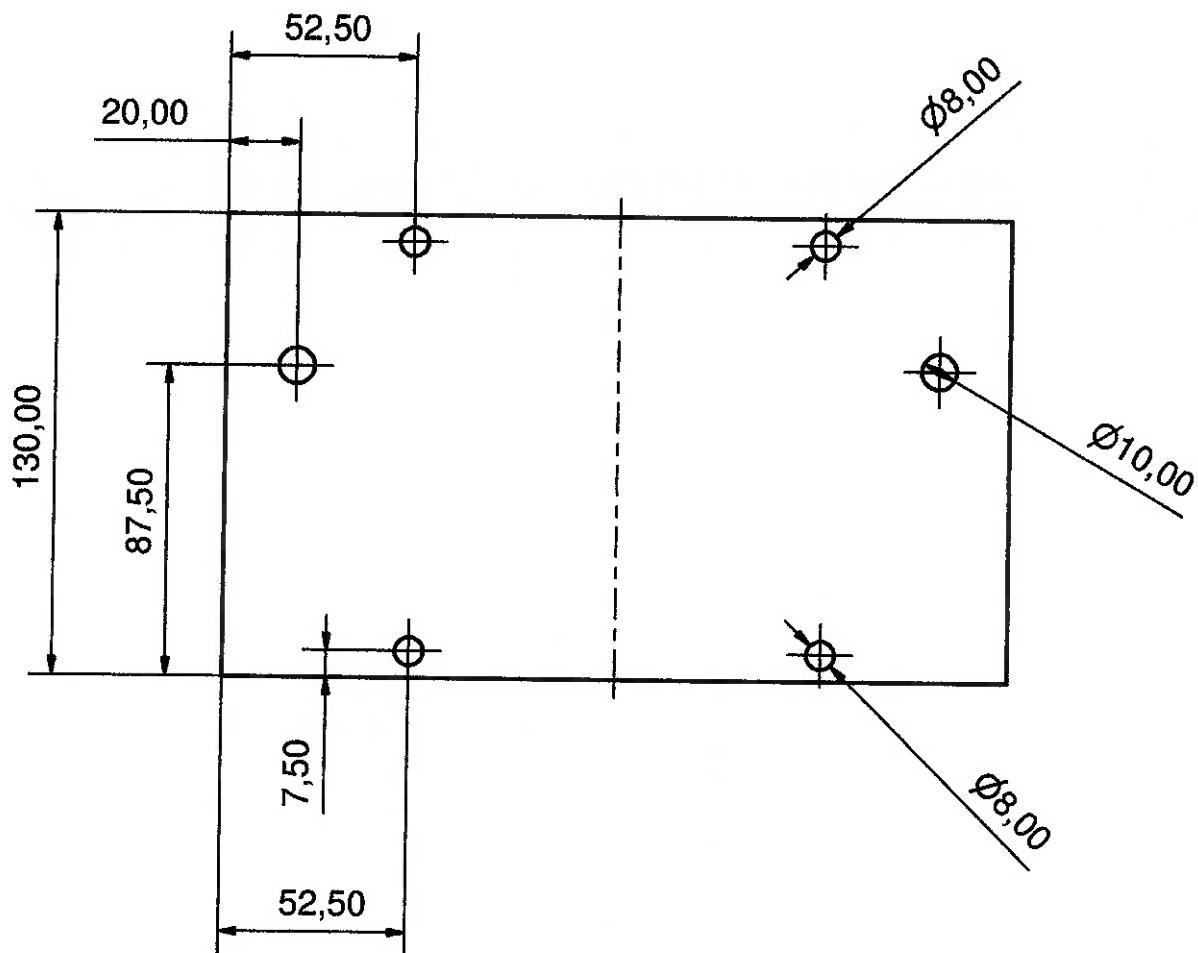
Porf. Orientador: **Julio Adamowski**

Material: Alumínio



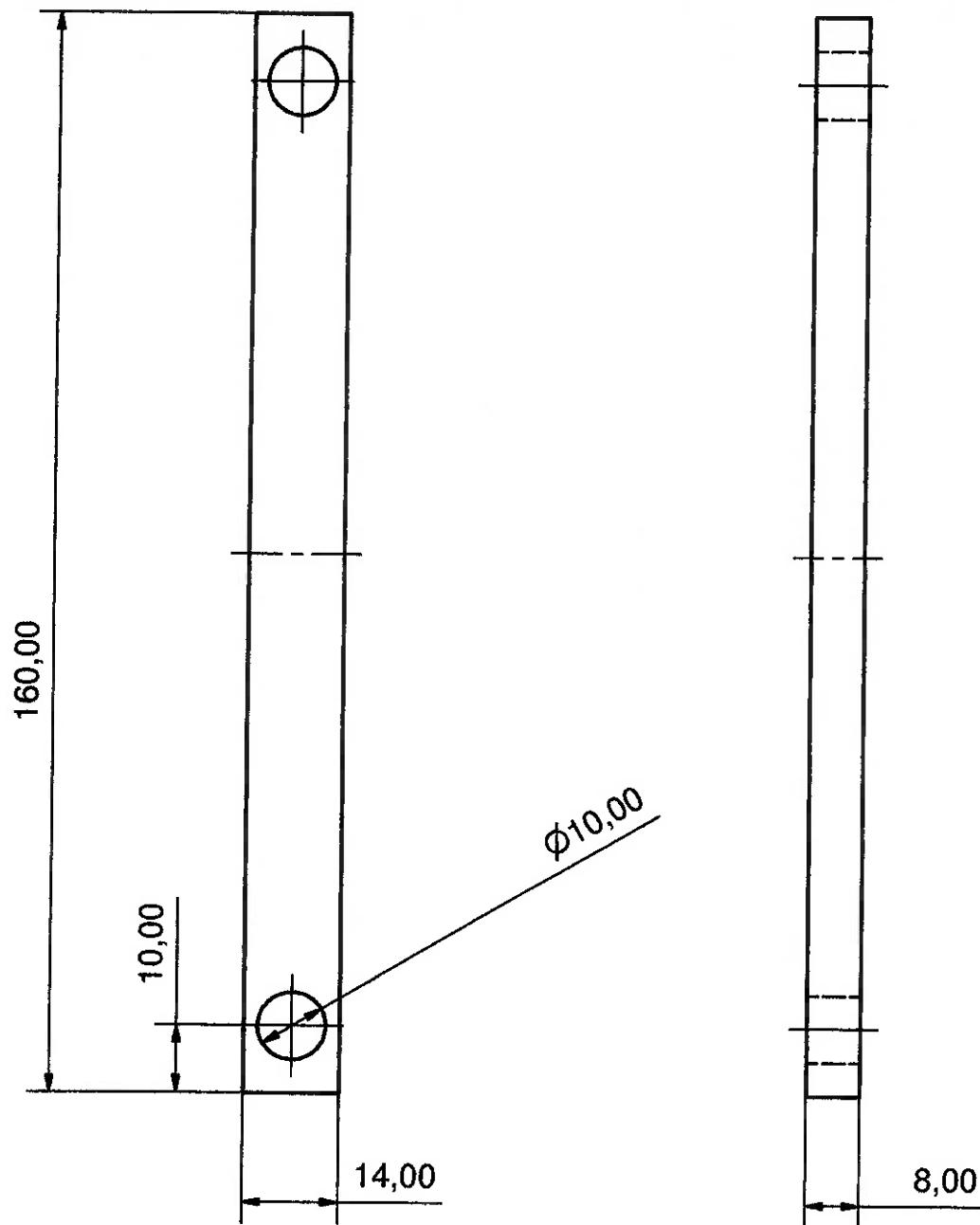
Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Suporte Eixo Z	Quantidade: 1
ESC: 1:3	Autores Filipe R. Dessen
Data: 22/11/03	Paulo H. V. Carvalho
Perf. Orientador: Julio Adamowski	Material: Alumínio



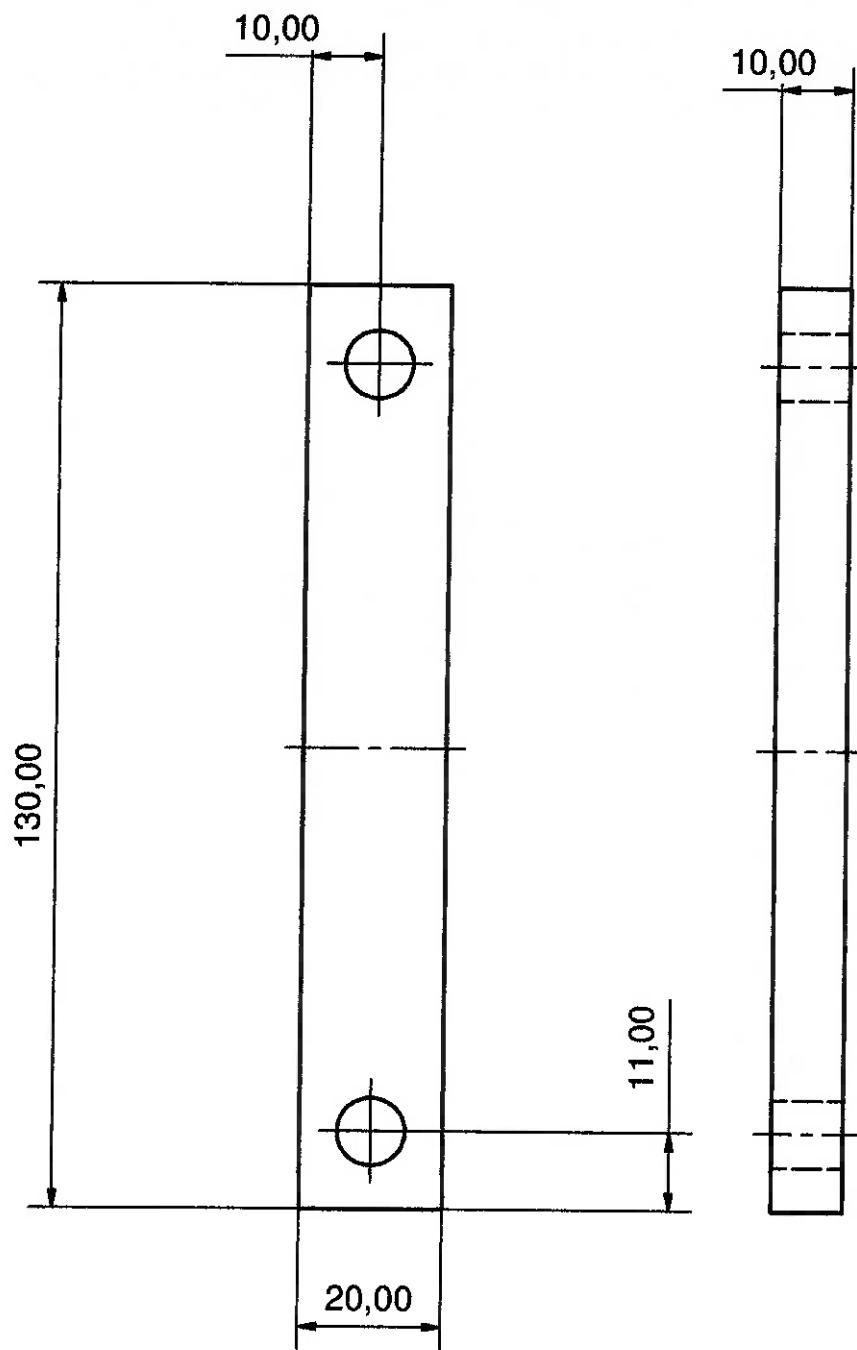
Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Chapa do Suporte da Tupia		Quantidade: 1
ESC: 1:2	Autores	Folha: 2
Data: 22/11/03	Filipe R. Dessen Paulo H. V. Carvalho	
Prof. Orientador: Julio Adamowski		Material: Aluminio



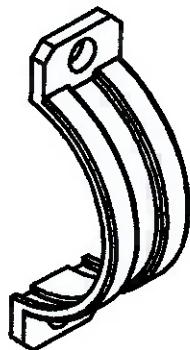
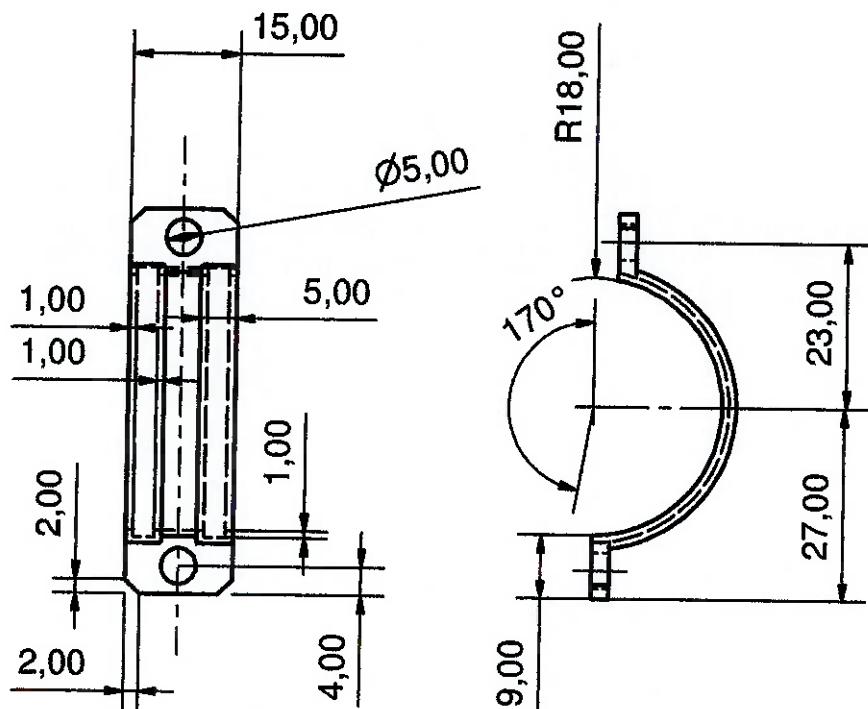
Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Calço Eixo Z	Quantidade: 4
ESC: 1:1	Autores Filipe R. Dessen
Data: 22/11/03	Paulo H. V. Carvalho
Porf. Orientador: Julio Adamowski	Material: Aluminio



Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

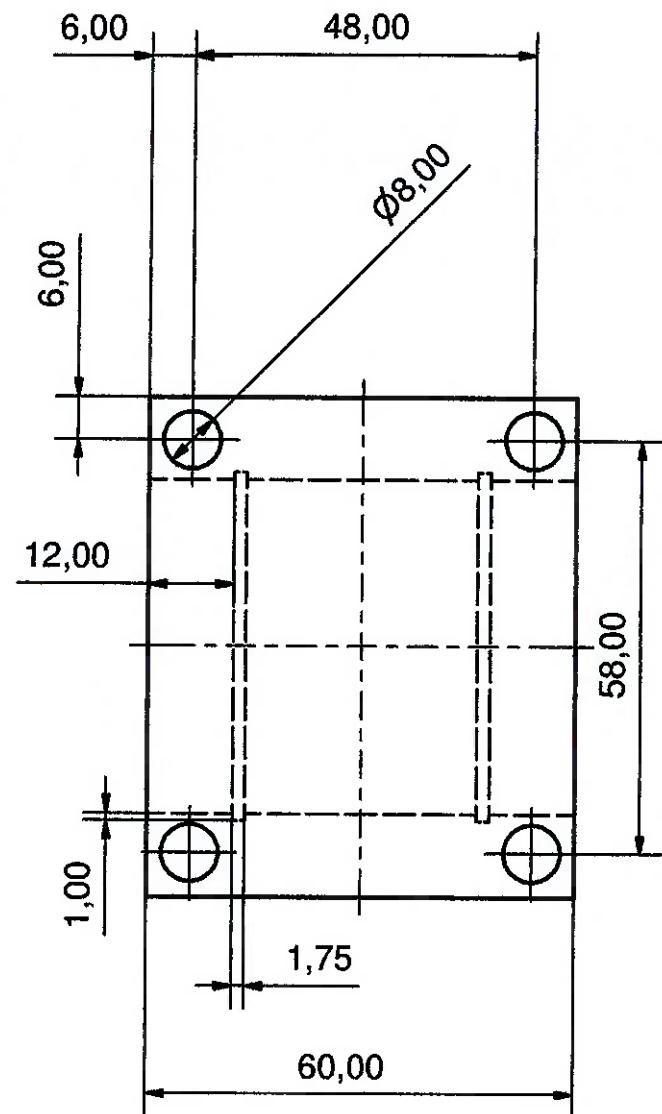
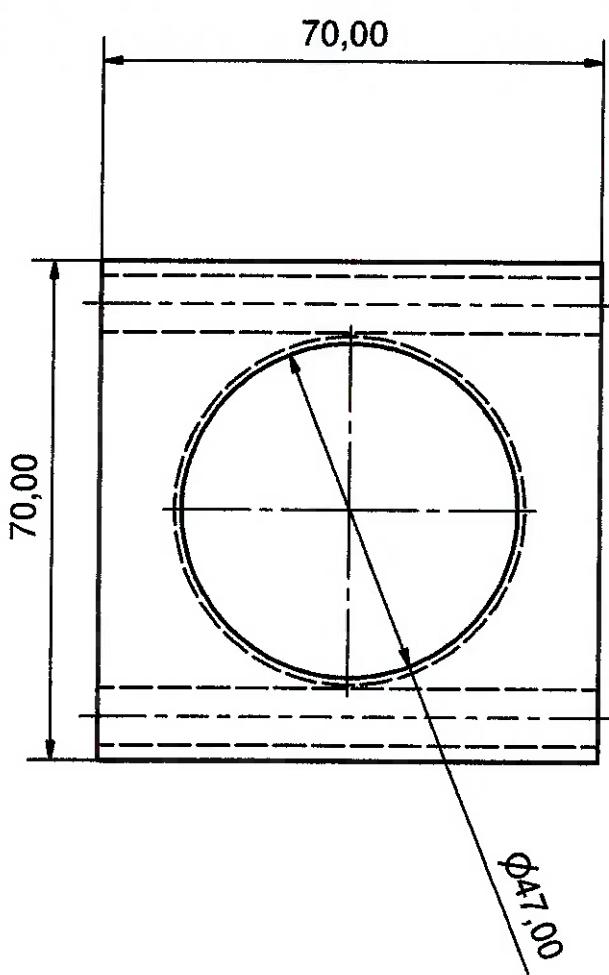
Descrição: Calço da base móvel		Quantidade: 6
ESC: 1:1	Autores	Folha: 4
Data: 22/11/03	Filipe R. Dessen Paulo H. V. Carvalho	
Prof. Orientador: Julio Adamowski		Material: Aluminio



Não construir
Projeto alternativo

Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

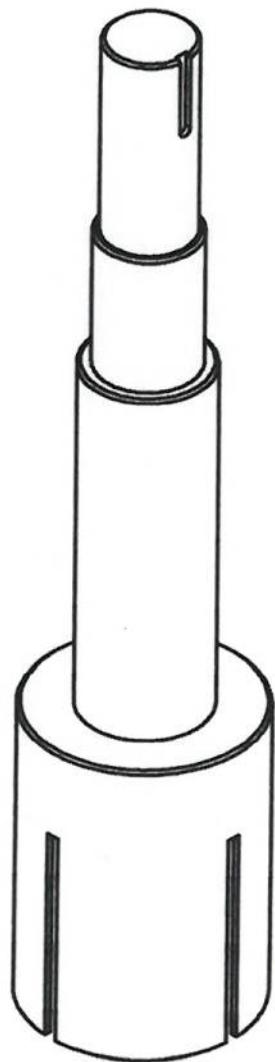
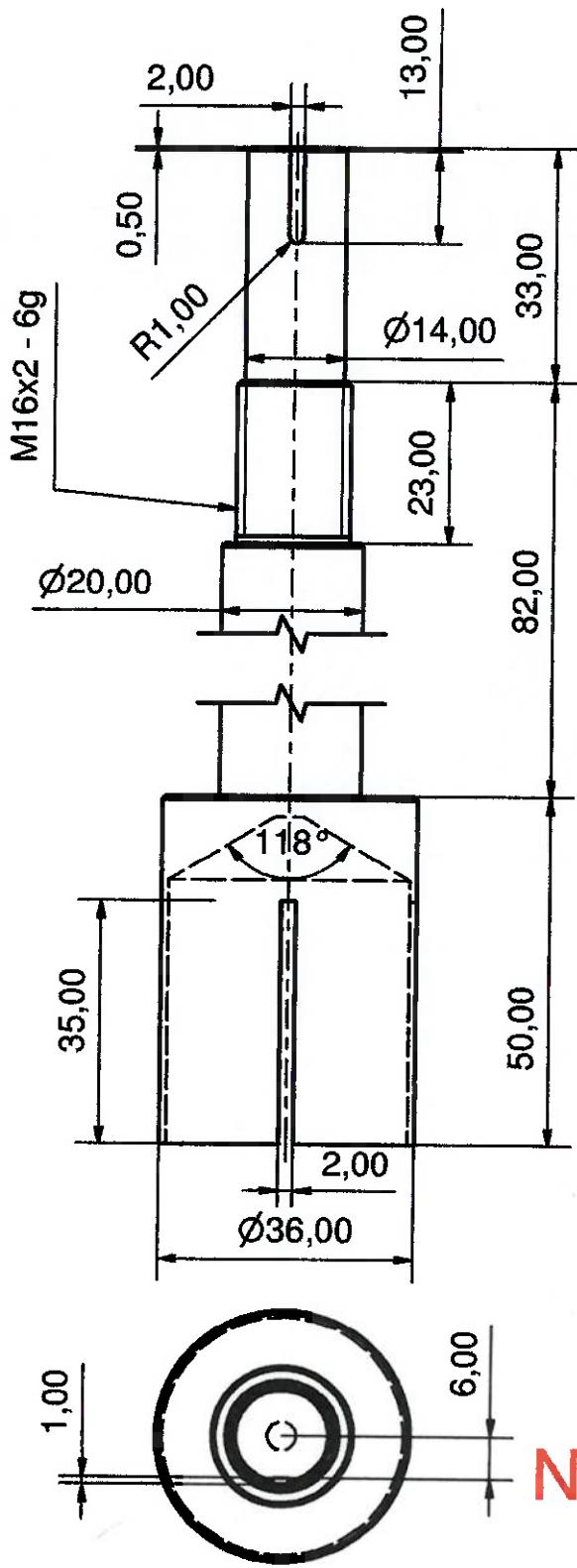
Descrição:		Quantidade: 2
ESC: 1:1	Autores	Folha: 5
Data: 22/11/03	Filipe R. Dessen Paulo H. V. Carvalho	
Prof. Orientador: Julio Adamowski		Material: Aço



**Não
Construir**

Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

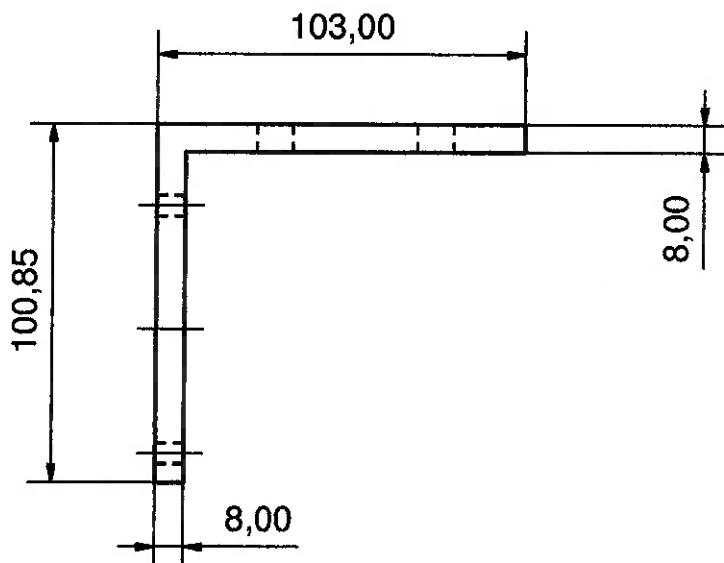
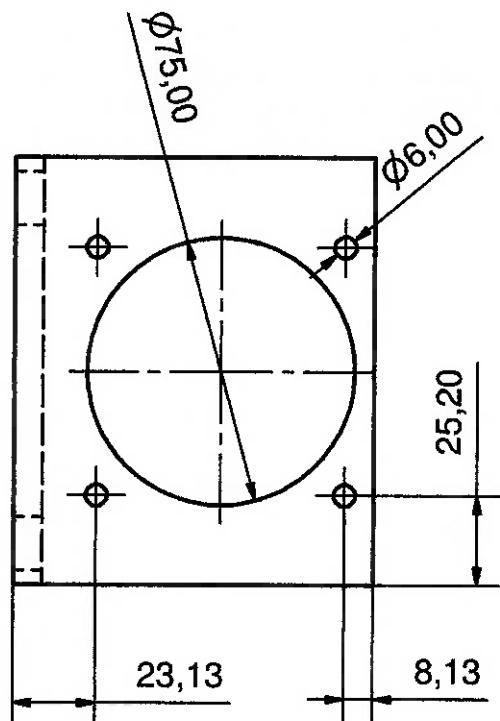
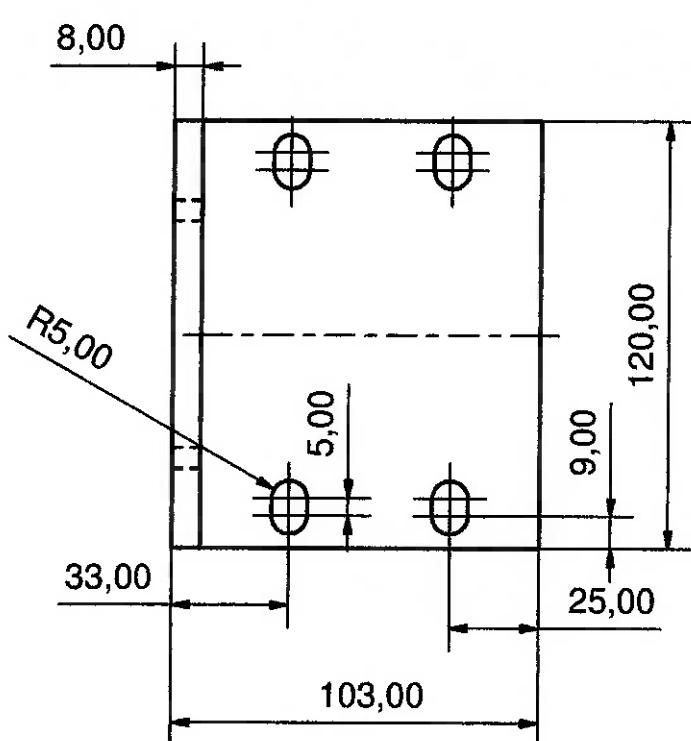
Descrição:		Quantidade: 1
ESC: 1:1 Data: 22/11/03	Autores Filipe R. Dessen Paulo H. V. Carvalho	Folha: 6
Porf. Orientador: Julio Adamowski	Material: Aluminio	



Não Construir

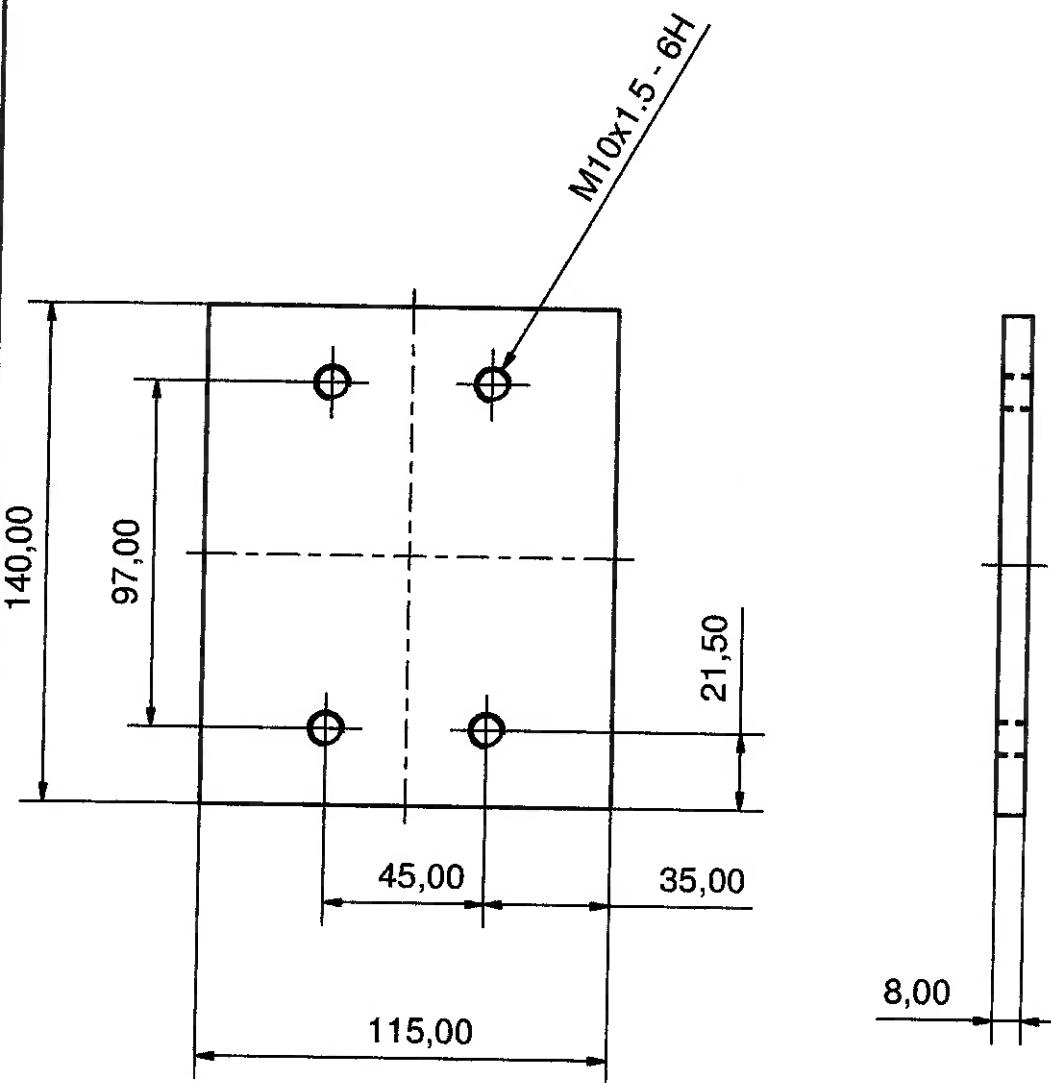
Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição:		Quantidade: 1
ESC: 1:1 Data: 22/11/03	Autores Filipe R. Dessen Paulo H. V. Carvalho	Folha: 7
Prof. Orientador: Julio Adamowski	Material: Aço ABNT 1045	



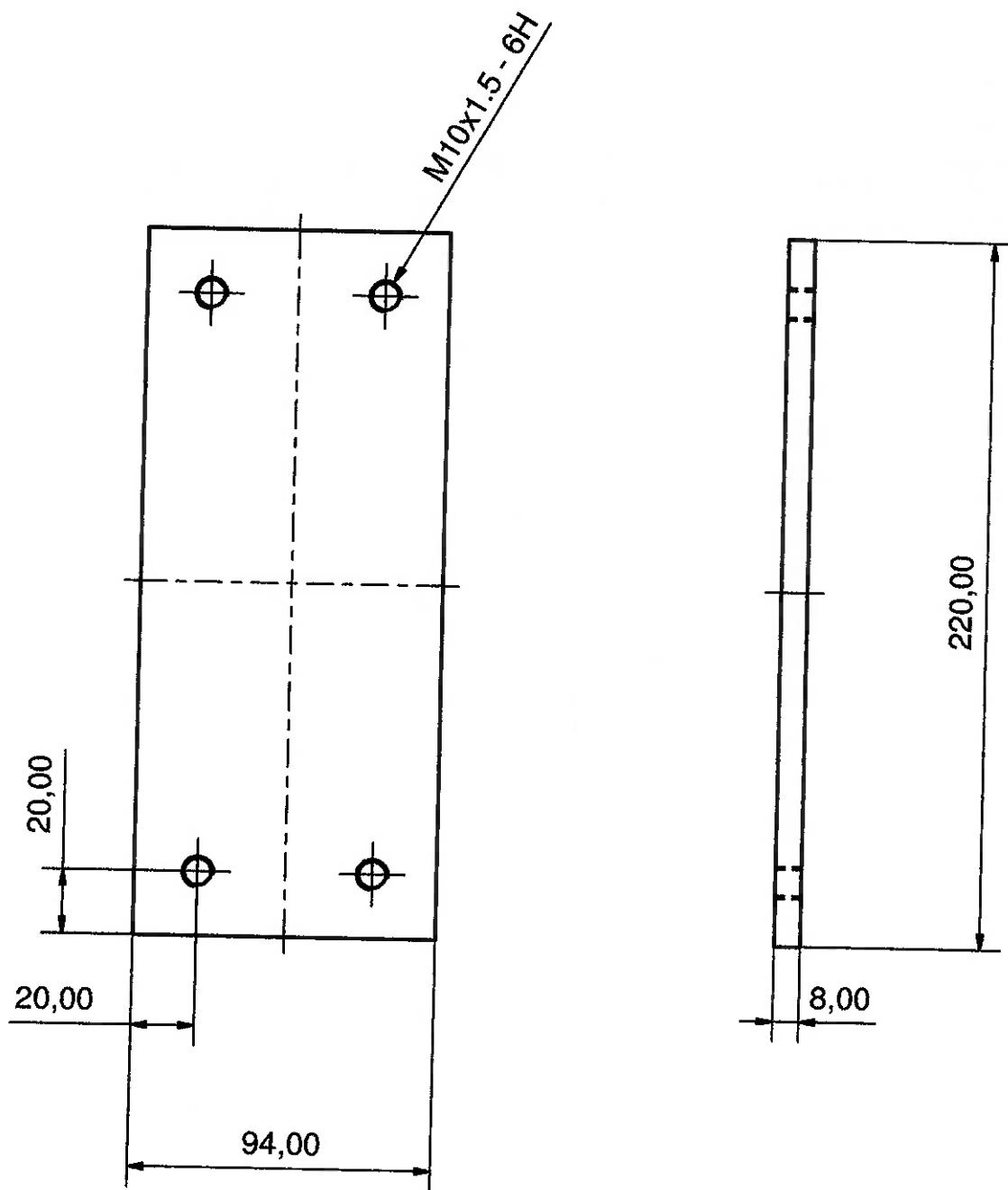
Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Suporte do motor principal		Quantidade: 2
ESC: 1:2	Autores Filipe R. Dessen Paulo H. V. Carvalho	Folha: 8
Data: 22/11/03		
Prof. Orientador: Julio Adamowski		Material: Aço ABNT 1020



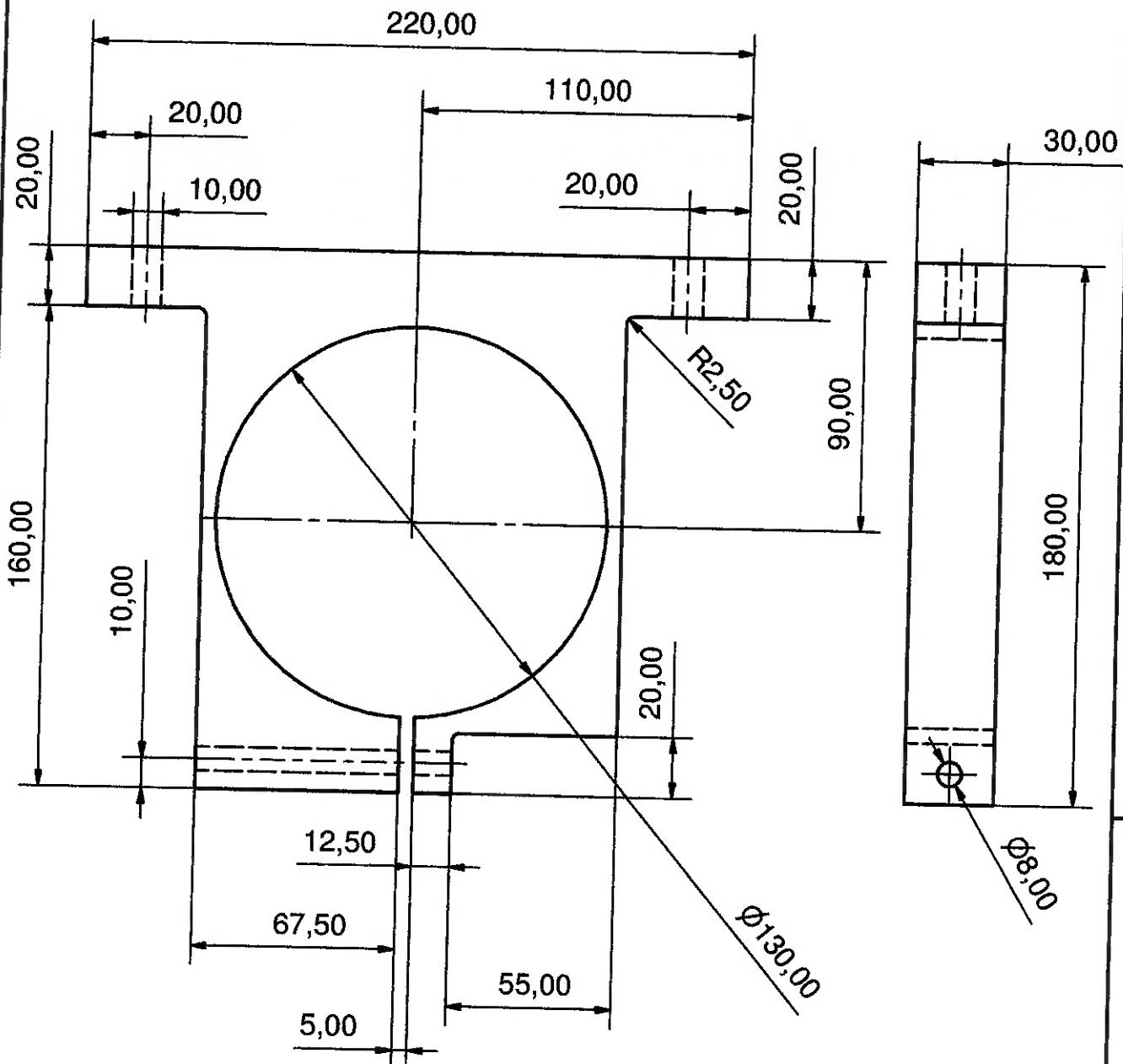
Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Chapa de base 1		Quantidade: 2
ESC: 1:2	Autores Filipe R. Dessen Paulo H. V. Carvalho	Folha: 9
Data: 22/11/03	Porf. Orientador: Julio Adamowski	Material: Aço ABNT 1020



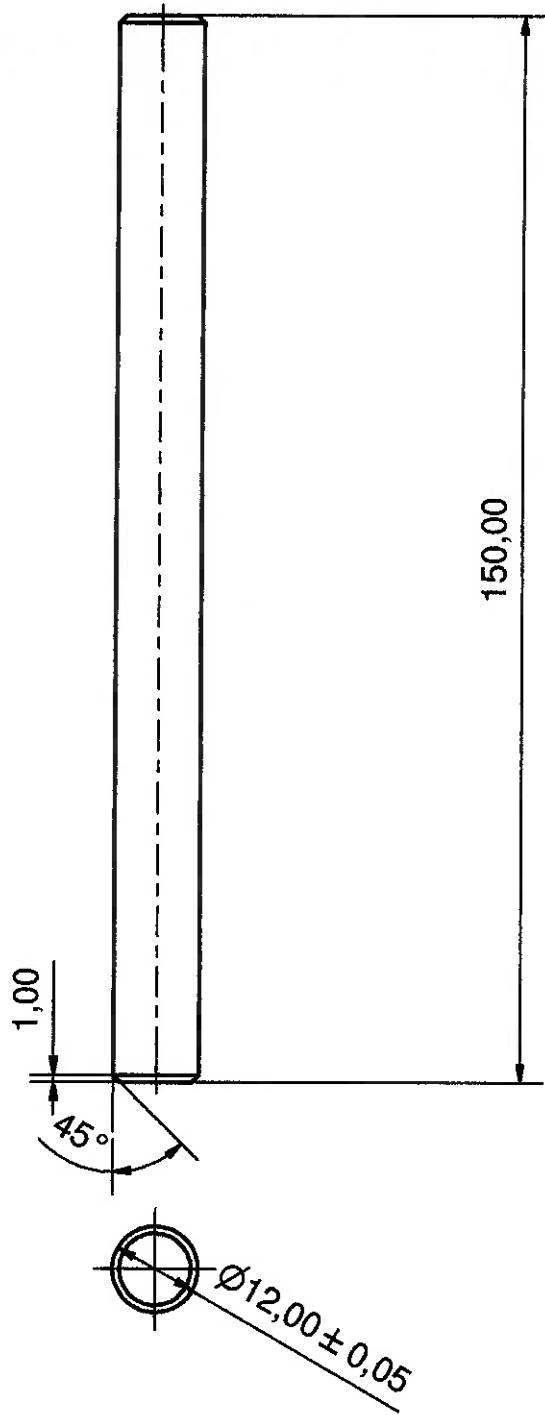
Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Chapa da base 2		Quantidade: 2
ESC: 1:2	Autores Filipe R. Dessen Paulo H. V. Carvalho	Folha: 10
Data: 22/11/03	Porf. Orientador: Julio Adamowski	Material: Aço 1020



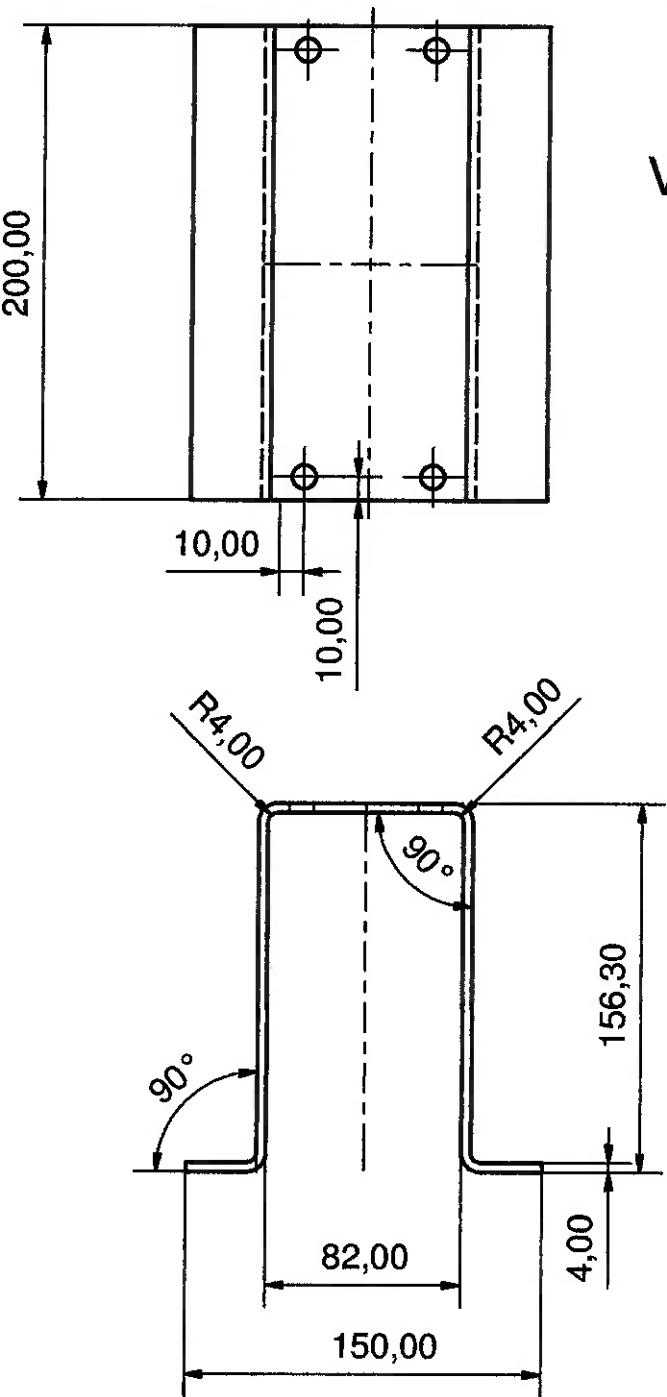
Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Suporte do motor da Tupia		Quantidade: 1
ESC: 1:2	Autores Filipe R. Dessen	Folha: 11
Data: 22/11/03	Paulo H. V. Carvalho	
Porf. Orientador: Julio Adamowski		Material: Aluminio

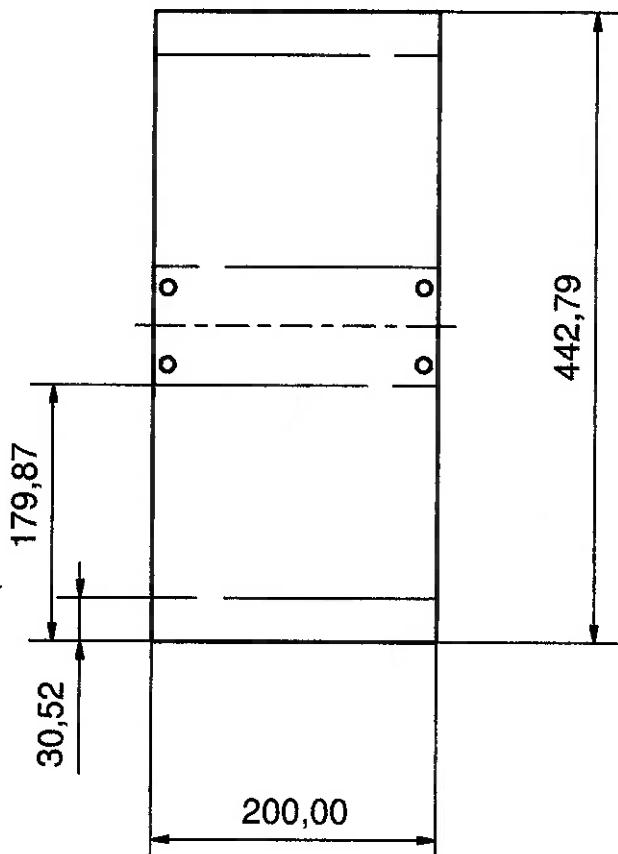


Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Eixo Polia		Quantidade: 2
ESC: 1:1 Data: 22/11/03	Autores Filipe R. Dessen Paulo H. V. Carvalho	Folha: 12
Porf. Orientador: Julio Adamowski		Material: Aço 1045



Vista desenvolvida (1 : 5)



Máquina de Usinagem de "Shape" - Sistema de Usinagem

Descrição: Suporte das Polias		Quantidade: 2
ESC: 1:3 Data: 22/11/03	Autores Filipe R. Dessen Paulo H. V. Carvalho	Folha: 13
Prof. Orientador: Julio Adamowski	Material: Aço ABNT 1020	