

**Edson Francisco Medeiros Silva**

nota final  
8,5  
(oitos pontos)  
HAM

## **Equipamento de Obtenção de Amostras do Metabolismo de Tecidos Vivos**

Monografia apresentada a Escola  
Politécnica da Universidade de  
São Paulo a obtenção do título de  
Engenheiro Mecatrônico

**São Paulo**

Ebson Francisco Medeiros Silva

Metabolismo de Tecidos Vivos  
Equipamento de Obtenção de Amostras de

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600011831

1514920

Tratado de Fisiologia  
do Homem  
Vol. 1  
1978

Vol. 1

2005

Dedico esta máquina a todos aqueles cuja persistência faz com que a ciência e a tecnologia caminhem juntas na direção de ajudar e melhorar o homem.

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Escola Politécnica, ao corpo docente e aos meus pais. E em especial ao meu orientador o Professor Doutor Julio Cezar Adamowski.

Agradeço também ao pessoal do Instituto Butantan e os meus colegas que me ajudaram em diversas fases desse projeto.

# Índice

|                                                         |     |
|---------------------------------------------------------|-----|
| Resumo.....                                             | 7   |
| 1 O Projeto.....                                        | 8   |
| 1.1 Introdução.....                                     | 8   |
| 1.2 Objetivos e Especificações.....                     | 10  |
| 1.2.1 Objetivo.....                                     | 10  |
| 1.2.2 Especificações.....                               | 10  |
| 1.2.3 Especificações de Controle.....                   | 15  |
| 2 Discussão de Soluções.....                            | 16  |
| 2.1 Módulo 1.....                                       | 16  |
| 2.1.1 Atuador.....                                      | 16  |
| 2.1.2 Transmissão.....                                  | 18  |
| 2.1.3 Seleção do Motor de Passo.....                    | 21  |
| 2.1.4 Plano Móvel.....                                  | 22  |
| 2.1.5 Guia Linear.....                                  | 23  |
| 2.1.6 Estrutura.....                                    | 25  |
| 2.1.7 Projeto Módulo 1.....                             | 25  |
| 2.2 Módulo 2.....                                       | 26  |
| 2.2.1 Movimento eixo Z.....                             | 27  |
| 2.2.2 Descrição da Solução para o Módulo 2.....         | 28  |
| 2.3 Peças de contenção e fluxo dos fluidos.....         | 34  |
| 2.3.1 Câmara.....                                       | 35  |
| 2.3.2 Trocador de Calor.....                            | 37  |
| 2.3.3 Sonda de Coleta.....                              | 39  |
| 3 Eletrônica.....                                       | 41  |
| 4 Controle.....                                         | 44  |
| 5 Construção.....                                       | 45  |
| 6 Discussão e Conclusões.....                           | 46  |
| 7 Anexo 1: Desenhos Técnicos.....                       | 47  |
| 8 Anexo 2: Código Fonte de Programação (Comentado)..... | 99  |
| 9 Referências.....                                      | 118 |

## Índice de figuras

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| figura 1.1: Foto da Máquina utilizada atualmente no Butantan .....     | 8  |
| figura 1.2:Esquema doDispositivo .....                                 | 9  |
| figura 1.3:foto módulo 1 .....                                         | 12 |
| figura 1.4:Esquema Módulo 1 .....                                      | 12 |
| figura 1.5:Espaço de projeto.....                                      | 13 |
| figura 1.6:Foto do Módulo 2 da máquina do butantan .....               | 14 |
| figura 1.7:Esquema Módulo 2 .....                                      | 14 |
| figura 1.8:Painel de comandos .....                                    | 16 |
| figura 2.1:Esquema com Atuador Linear .....                            | 17 |
| figura 2.2:Esquema transmissão.....                                    | 19 |
| figura 2.3:Modelo Simplificado .....                                   | 20 |
| figura 2.4:Dimensões do Motor de passo do módulo 1 .....               | 21 |
| figura 2.5:Análise estática da chapa bi-apoiada .....                  | 22 |
| figura 2.6:Dimensões do Mancal FBL27D-400L.....                        | 23 |
| figura 2.7: Desenho Módulo 1 .....                                     | 26 |
| figura 2.8:Sistema de Movimento para o eixo vertical no Módulo 2 ..... | 27 |
| figura 2.9:Estrutura Módulo 2 .....                                    | 28 |
| figura 2.10: Dimensões do mancal FBL27D250L .....                      | 30 |
| figura 2.11: Esquema Correia 290XL + polia 15XL.....                   | 31 |
| figura 2.12:Esquema Correia 174XL + Polia 15XL.....                    | 32 |
| figura 2.13:Desenho do Módulo 2.....                                   | 33 |
| figura 2.14: Layout parte mecânica do projeto.....                     | 34 |
| figura 2.15: Solução 1 para a Câmara .....                             | 35 |
| figura 2.16:Solução 2 para a Câmara .....                              | 36 |
| figura 2.17:Câmara com tampa .....                                     | 37 |
| figura 2.18: Trocador de Calor .....                                   | 38 |
| figura 2.19:Circuito equivalente para a troca de calor .....           | 39 |
| figura 2.20:Sonda de acrílico.....                                     | 40 |
| figura 2.21: Circuito equivalente canal .....                          | 40 |
| figura 3.1:Diagrama de Controle.....                                   | 42 |
| figura 4.1:Diagrama do experimento.....                                | 44 |

## Índice de tabelas

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 2-1: Escolha do atuador .....                               | 18 |
| Tabela 2-2: Especificações Polia .....                             | 18 |
| Tabela 2-3 : Especificações Correia .....                          | 19 |
| Tabela 2-4: Dimensões do Mancal Linear FBL27D+400L .....           | 24 |
| Tabela 2-5: Dados FBL27D 250L .....                                | 29 |
| Tabela 2-6: Correias da Transmissão do Movimentos Horizontal ..... | 30 |
| Tabela 2-7: Dados correia 174XL .....                              | 32 |
| Tabela 3-1: Saídas utilizadas para os motores .....                | 43 |
| Tabela 3-2: Entradas e saídas utilizadas para o controle .....     | 43 |
| Tabela 5-1: Tabela de materiais para a construção da máquina ..... | 46 |

## **Resumo**

Esse trabalho trata do projeto de um equipamento para automatizar um experimento realizado no Laboratório de Farmacologia do Instituto Butantan. Há no mercado internacional equipamentos com múltiplas funções capazes de realizar esse tipo de experimento porém, devido à sua multifuncionalidade apresenta custos proibitivos para a realização dos experimentos em questão. Dessa forma, optou-se pelo desenvolvimento de um equipamento específico para a realização desses experimentos e portanto mantendo os custos dentro de um patamar viável.

O equipamento consiste de um dispositivo mecânico formado por um plano móvel que tem um grau de liberdade, cujo movimento deve ser controlado automaticamente, de uma bomba peristáltica que também deve ser controlada automaticamente e de um dispositivo de coleta que deve ter dois graus de liberdade. Esse dispositivo é acionado por motores de passo e controlado através do microcontrolador "Rabbit 2000".

O controlador eletrônico do equipamento permite ao usuário a programação do experimento através de um microcomputador tipo PC conectado ao equipamento através de um canal serial tipo RS232.

O projeto foi executado e um protótipo foi construído e testado.

# 1 O Projeto

Atualmente os experimentos de obtenção de amostras de tecido vivo são realizados com um equipamento simplificado desenvolvido pelos técnicos do Laboratório de Farmacologia do Inst. Butantan. Esse equipamento não apresenta controle computadorizado, tem um conjunto mecânico pouco estável o que torna lenta a realização do experimento.

E ainda exige muita atenção por parte das pessoas que operam o experimento de pois parte de seu funcionamento é manual.



figura 1.1: Foto da Máquina utilizada atualmente no Butantan

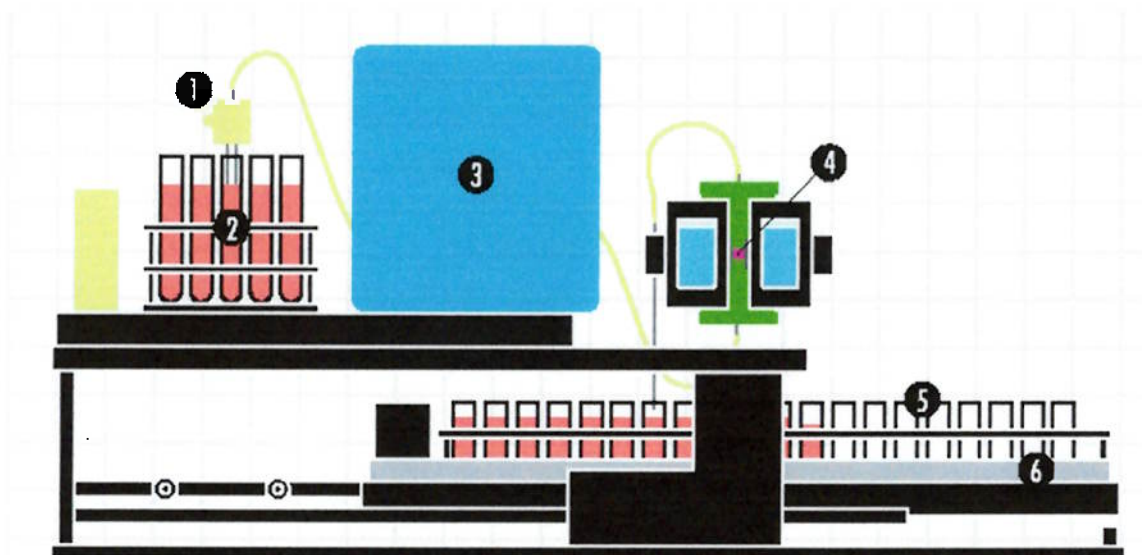
## 1.1 Introdução

A proposta desse trabalho de formatura refere-se ao projeto de um equipamento de obtenção de amostras do metabolismo de tecidos vivos.

A necessidade desse projeto surgiu a partir de uma necessidade do Laboratório de

Farmacologia do Instituto Butantan para automatizar um experimento de metabolismo de tecidos vivos. Há no mercado internacional equipamentos com múltiplas funções capazes de realizar esse tipo de experimento porém, devido à sua multifuncionalidade apresenta custos proibitivos para a realização dos experimentos em questão. Dessa forma, optou-se pelo desenvolvimento de um equipamento específico para a realização desses experimentos e portanto mantendo os custos dentro de um patamar viável.

Segue abaixo um esquema simplificado extraído e modificado da página da Brandel (um fabricante desse tipo de máquina) que ilustra bem o funcionamento da mesma:



**figura 1.2:Esquema modificado da Brandel**

- 1- Coletor de Líquido de Perfusão
- 2- Recipiente de Líquido de Perfusão
- 3- Bomba Peristáltica
- 4- Tecido Vivo
- 5- Recipientes de Coleta de Amostras
- 6- Bandeja

Primeiramente o tecido vivo é preparado e depois posicionado em 4 aonde passa a ser exposto a uma solução que é colhida do recipiente de líquido de perfusão através de um dispositivo em 1. Essa coleta é feita através da bomba peristáltica.

O tecido vivo em quatro funciona como uma espécie de filtro cuja saída se dá sobre os recipientes de coleta de amostra. Os recipientes estão sobre uma bandeja móvel que se movimenta em um sentido durante o experimento de modo que as amostras fiquem organizadas por um tempo previamente programado.

Depois de preparadas as amostras recebem uma dose uniforme de uma solução chamada de líquido de cintilação, que é muito importante para o levantamento da composição das amostras que posteriormente feita em um outro dispositivo.

A automação desse processo acrescenta ao experimento maior eficiência na medida em que diminuirá e bastante a incidência de erros e permitirá ao cientista obter mais amostras.

## **1.2 Objetivos e Especificações**

### **1.2.1 Objetivo**

O objetivo desse projeto é o desenvolvimento de um equipamento computadorizado para automatizar os experimentos de obtenção de amostras de tecido vivo, a um custo viável para o Laboratório de Farmacologia do Instituto Butantan.

### **1.2.2 Especificações**

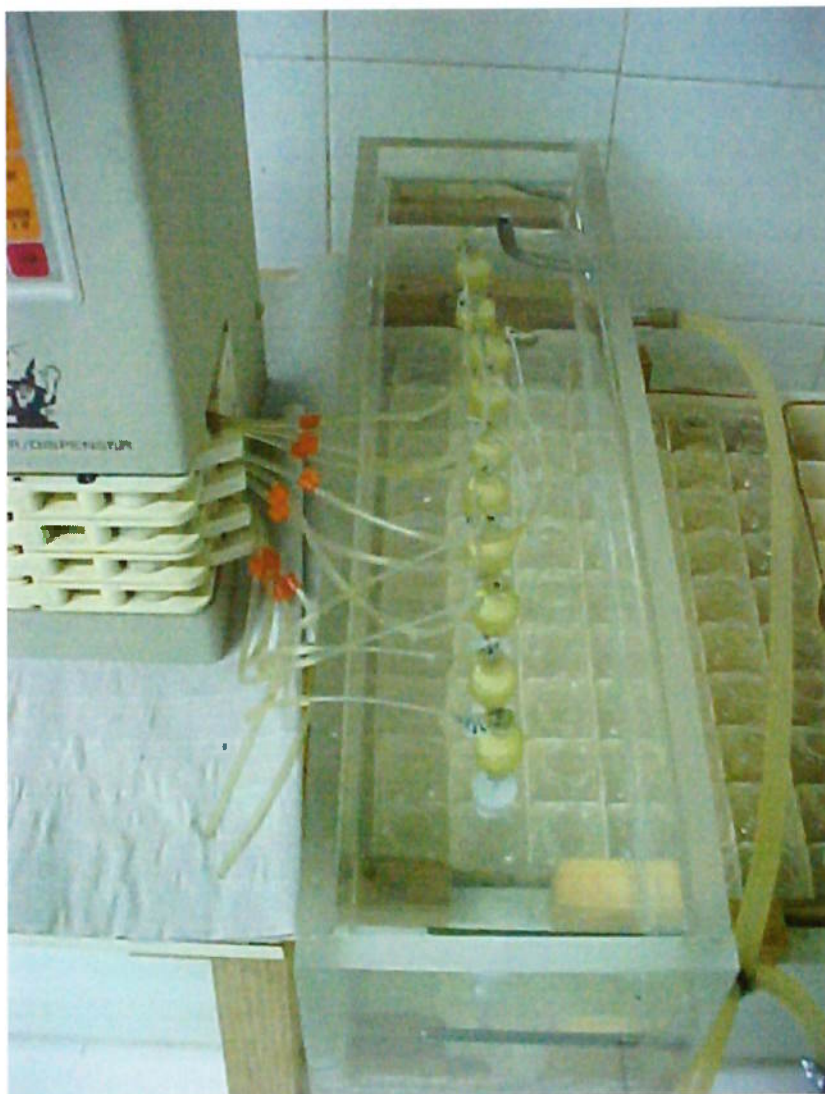
Para as várias especificações o projeto foi dividido em módulos para facilitar a concepção de soluções.

Seguem abaixo essas definições e suas especificações:

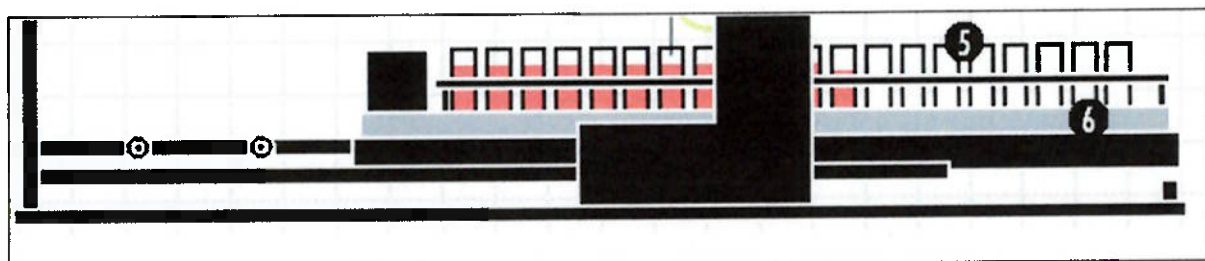
### 1.2.2.1 -Módulo 1: Suporte dos coletores de amostras

O Módulo 1 compreende os sistema de movimento dos recipientes de coleta de amostras como representado na figura 1.4.

No equipamento que está em funcionamento no laboratório essa função é exercida através de um atuador com sensor óptico que puxa uma bandeja aonde ficam os tubos de coleta como pode ser observado na fotografia abaixo:



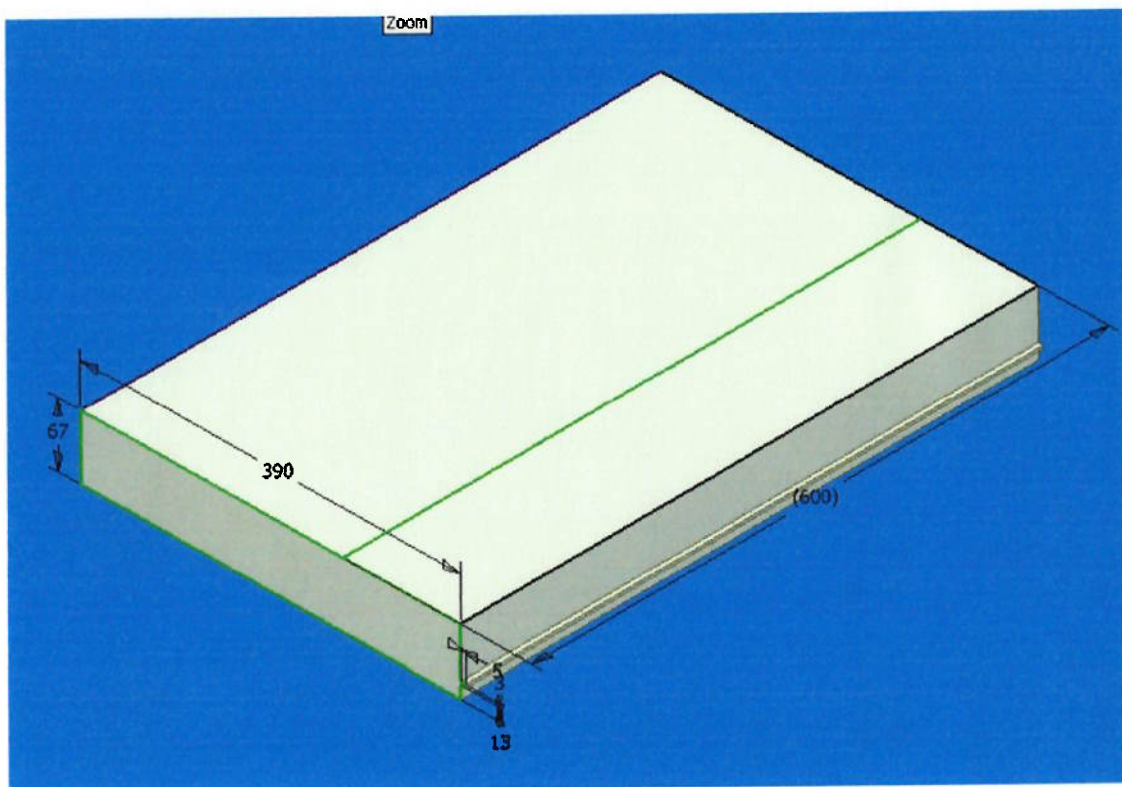
**figura 1.3:foto módulo 1**



**Módulo 1**

**figura 1.4:Esquema Módulo 1**

Os recipientes de coleta possuem um formato cilíndrico medindo 1,5cm de diâmetro por 5,4 cm de altura. Esses recipientes são acomodados em suportes cujas dimensões permitiram elaborar a figura 1.5 aonde se enxerga exatamente o espaço ocupado por esses recipientes:



**figura 1.5:Espaço de projeto**

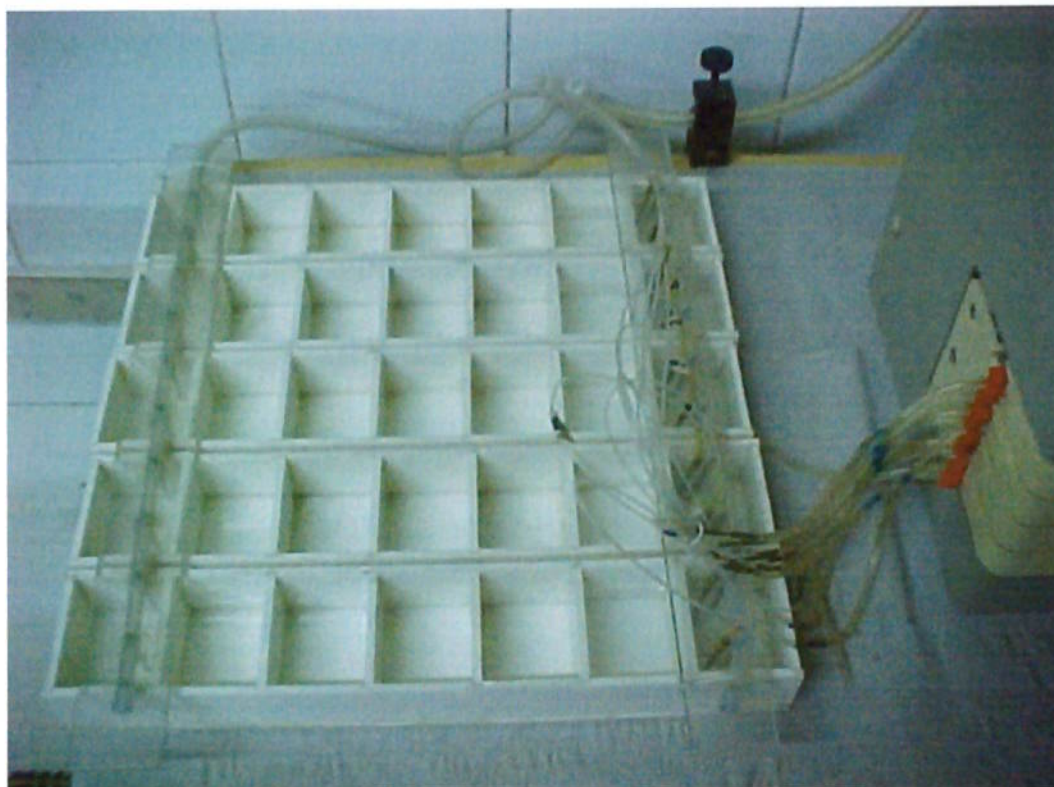
O equipamento deve mover os recipientes contidos nesse espaço pela direção do comprimento de 390 mm. A altura mínima do local de onde gotejam as amostras deve ser no mínimo de 67 mm em relação ao plano de movimentação do aparato. Também deve-se observar que os suportes contém uma pequena saliência que é usada para posicionar as amostras e que também está representada na figura. Essa saliência mede 5mm de comprimento por 3mm.

Para o módulo 1 o movimento é apenas em um eixo, a operação não terá grandes velocidades, podendo então se desconsiderar os efeitos de inércia do equipamento. Como podemos perceber através o curso máximo da bandeja contendo os recipientes de coleta deverá ser de até 390 mm mas na verdade ele deve dar dezessete passos de 20mm (340mm de curso total). Sendo que o tempo que deverá transcorrer entre um passo e outro é pré-programado ou determinado manualmente caso seja necessário.

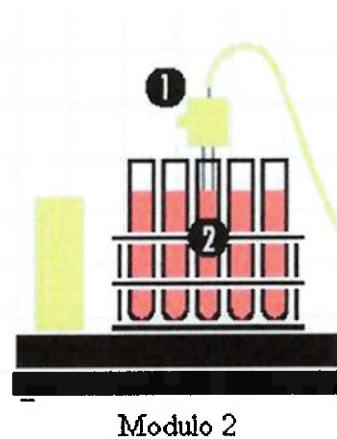
### **1.2.2.2 Módulo 2:Seletor de líquido de perfusão**

O módulo 2 compreende a parte da máquina que fará o abastecimento dos tecidos vivos com líquido de perfusão.

Como pode-se observar na foto abaixo essa parte da máquina é exercida manualmente pelo próprio operador do experimento:



**figura 1.6:Foto do Módulo 2 da máquina do butantan**



**figura 1.7:Esquema Módulo 2**

O módulo 2 compreende a parte da máquina que fará o abastecimento dos tecidos vivos com líquido de perfusão.

O conjunto de sondas coletoras de líquido de perfusão ligadas através mangueiras a bomba.

Os líquidos estarão contidos em recipientes 120mm de altura por 30mm de diâmetro

Os líquidos de perfusão devem serem também bem oxigenados durante a sucção para o tecido vivo, então deverá existir também um sistema de oxigenação da solução. Os recipientes desses líquidos podem variar então o projeto deverá ser flexível no sentido de permitir o uso de vários recipientes. Para tal o movimento na vertical da ponta da sonda deve ser de cerca de 120 mm.

O movimento do módulo dois é em dois eixos e assim como o módulo 1 as velocidades tornando os efeitos de inércia desprezíveis. Um dos movimentos é no eixo X (mesmo do módulo1) o outro em Z sendo que o movimento do eixo Z sempre deve acontecer antes e depois do movimento no eixo X.

### **1.2.3 Especificações de Controle**

Os movimentos do Módulo 1 e do Módulo 2 devem serem automáticos.

No módulo 1 será programado apenas um intervalo de tempo entre a troca de recipientes de coleta. Ligada a essa programação também estará o acionamento e controle da bomba peristáltica.

No módulo 2 poderão ser programados os intervalos e os recipientes dos quais serão bombeados os diferentes líquidos de perfusão. A programação entre os dois módulos deve ser independente o que aumenta a maleabilidade da máquina.

Por razões de segurança e por necessidade também será necessário que a máquina tenha controle manual de suas operações. Serão necessários os seguintes comandos manuais:

- Ligar e desligar bomba peristáltica-a própria bomba já tem seu controle manual.
- Ligar e Desligar Máquina-esse botão deve ligar a máquina e mantê-la em stand-by aguardando o início.
- Deve haver um botão de emergência aonde no caso de problemas durante a execução do programa ele automaticamente pára a máquina e desliga a bomba

peristáltica e faz a máquina voltar a posição inicial.

- Início ou Reset-esse comando primeiramente inicia a máquina, posicionando-a para o início da experiência.
- Iniciar Programa-esse comando inicia o programa armazenado na máquina.

A máquina deve apresentar também algumas indicações de operação, para tal será necessária a instalação de um display. Segue abaixo um layout do painel da máquina:

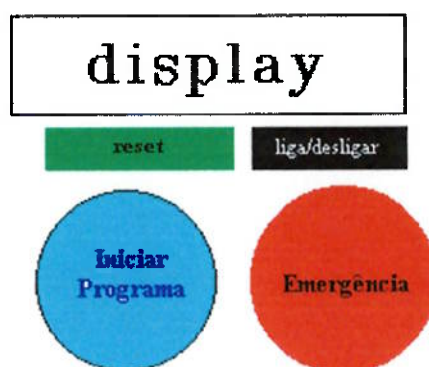


figura 1.8:Painel de comandos

## 2 Discussão de Soluções

### 2.1 Módulo 1

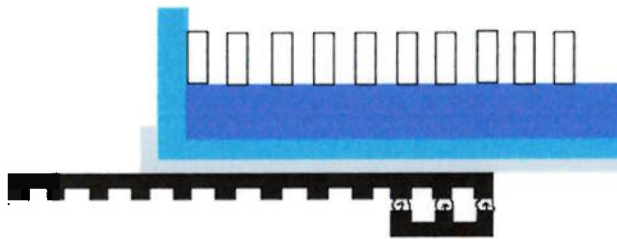
#### 2.1.1 Atuador

Para esse pedaço da máquina surgiram várias possibilidades para possíveis atuadores. Quanto a viabilidade de cada um deles eu considereei os seguintes aspectos:

- Simplicidade
- Custo
- Implantação

- Confiabilidade
- Controle

Primeiramente considere a aplicação de um motor linear. Os motores lineares destinam-se, como os motores rotativos, a transformar a energia elétrica em energia mecânica. Concebidos segundo o mesmo princípio destes, eles produzem uma força eletromagnética (F.E.M.) idêntica à que provoca a rotação da armadura de um motor elétrico clássico. Sua principal vantagem é o fato o uso desse tipo de atuador implica em uma montagem mais simples, na medida em que dispensaria mais peças. Esta particularidade, ou antes característica, dos motores lineares, é determinante para máquinas complexas de precisão que necessitam de uma resolução muito fina e interpolações.



**figura 2.1:Esquema com Atuador Linear**

A utilização de motores CC simples também é interessante. Na máquina construída pelo professor Lanfranco ele se utiliza de um motor CC ligado a um temporizador cuja única função é ligar o motor e seu desligamento acontece através de um sensor ótico.

Uma outra solução é a utilização de Motores de Passo. Motores de passo existem em duas variedades relutância permanente e de relutância variável. Em geral os motores de passo

possuem uma diversas resoluções podendo ser encontrados desde modelos com 90° por passo até 0,72° por passo O princípio de funcionamento é simples.

O rotor tem quatro dentes e o estator tem seis pólos. Para fazer a rotação basta que se energize os pólos sucessivamente.

Com as três possibilidades em mente fiz a minha escolha quantificada na tabela abaixo:

|                | Custo(3) | Simplicidade (2) | Confiabilidade(3) | Total |
|----------------|----------|------------------|-------------------|-------|
| Motor de Passo | 8        | 6                | 8                 | 60    |
| Motor CC       | 9        | 5                | 6                 | 55    |
| Motor Linear   | 4        | 8                | 9                 | 55    |

**Tabela 2-1:Escolha do atuador**

Assim o atuador que será empregado nesse trabalho é o motor de passo.

### 2.1.2 Transmissão

A especificação da transmissão deve ser que ela deve suportar uma tração de até 10 N e velocidades da ordem de 0,05m/s. O que me fornece uma potência de 5W.

Com essa escolha do atuador o tipo de transmissão ao qual pôde ser considerada viável foi através de correia sincronizadora.

Para a seleção da correia e da polia foram feitas as seguintes considerações:

A correia deve permitir um deslocamento de 400mm.Nesse caso será empregada uma correia sincronizadora XL (passo 5,08mm).

- **Polias:**15XL diâmetro = 30,1mm, diâmetro furo máx = 10mm

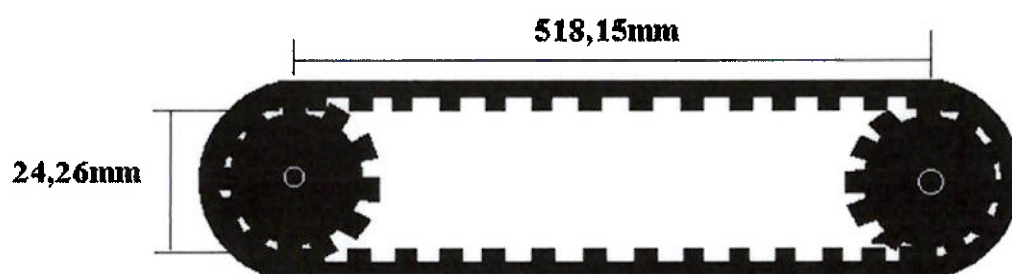
| Código | Núm. Dentes | Tipo Polia | Diâm. Prim. | Diâm. sobre Flanges | Furo Mín. | Furo Máx. | Cubo | L1   | L2   |
|--------|-------------|------------|-------------|---------------------|-----------|-----------|------|------|------|
| 15 XL  | 15          | 6F         | 24,26       | 30,1                | 6         | 10        | 15,9 | 14,3 | 19,8 |

**Tabela 2-2:Especificações Polia**

- **Correia: 405L**

| Código de Comprimento | Comprimento<br>Primitivo<br>Circunf.(pol.) | Comprimento<br>Primitivo<br>Circunf.(mm) | Número<br>de dentes |
|-----------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------|
| 438 XL                | 43,80                                      | 1112,52                                  | 219                 |

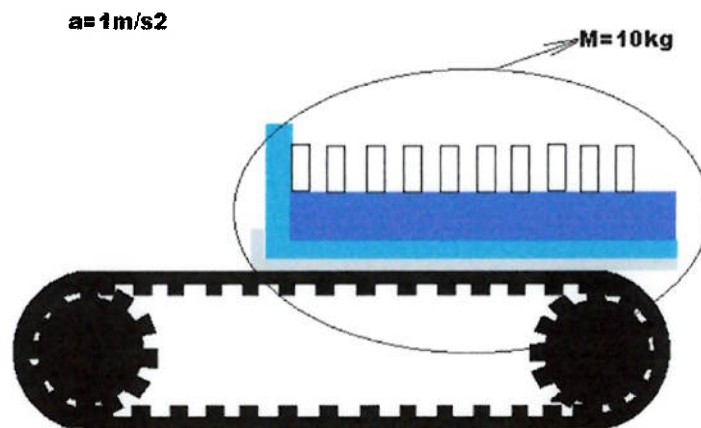
**Tabela 2-3 : Especificações Correia**



**figura 2.2:Esquema transmissão**

Assim sendo uma base móvel será fixa a essa correia e a algum mancal linear para garantir o movimento.

A tolerância de instalação é de 2,8 mm e a de tensionamento é de 0,8mm. Quanto à largura da correia considera-se o seguinte modelo:



**figura 2.3:Modelo Simplificado**

A partir do modelo da fig. 2.4, podem-se extrair os parâmetros  $T_e$  e  $T_f$  das equações:

$$T_e = \frac{144,067 \times Pot}{DP \times RPM}$$

$$T_f = \frac{18,008 \times Pot}{DP \times RPM}$$

**Equação 1**

Aonde os dados superestimados são:

$T_e$  = tração da parte esticada, no eixo(lbf)

$T_f$  = tração da parte frouxa no eixo(lbf)

Pot= potência da carga(6,7E-4hp) multiplicada pelo fator de serviço(1)

DP = Diâmetro da polia(1,1941pol)

RPM = rotação(31,48rpm)

Assim  $T_e = 2,56E-3$  lbf e  $T_f = 3,21E-4$  lbf isso no SI dá respectivamente  $1,14E-2$  N e  $1,42E-3$  N que são de magnitudes pequenas mesmo superestimadas. O mesmo modelo fornece também o torque no eixo do motor que é de 0,15 N.m .

Desse modo considere que deve ser de 3/8 pol para dar maior firmeza na fixação da base móvel com a correia. Nessa configuração ela pode agüentar até 68,25N de tração.



#### 2.1.4 Plano Móvel

Para esse pedaço da máquina foi considerado a princípio um modelo simples de chapa apoiada com uma força de 100N distribuída por sua superfície. A partir daí foi determinada através de uma simulação a deflexão da chapa.

De início foi feito um teste com uma chapa de aço-carbono com espessura de 2mm. E com essa espessura se obteve uma deformação máxima de 1,73mm.



figura 2.5:Análise estática da chapa bi-apoiada

Sendo assim essa foi a espessura escolhida para a chapa que se moverá com os tubos de coleta de amostra.

O Seu desenho de fabricação se encontra em anexo ao fim deste relatório

### 2.1.5 Guia Linear

A escolha de um guia deve levar em conta diversos fatores ligados a sua aplicação. Os esforços aos quais ele pode estar submetido, a rigidez do mancal, o atrito e o atuador são alguns exemplos. Os fabricantes fornecem os esforços admissíveis e entre outras coisas.

Assim sendo o guia linear deve atender as seguintes especificações:

- Curso de 400mm
- Força Cortante Admissível de 50N
- Baixo Atrito

Tendo isso em vista juntamente com a facilidade de instalação, foi escolhido a guia do fabricante THK modelo nº FBL27D+400L :

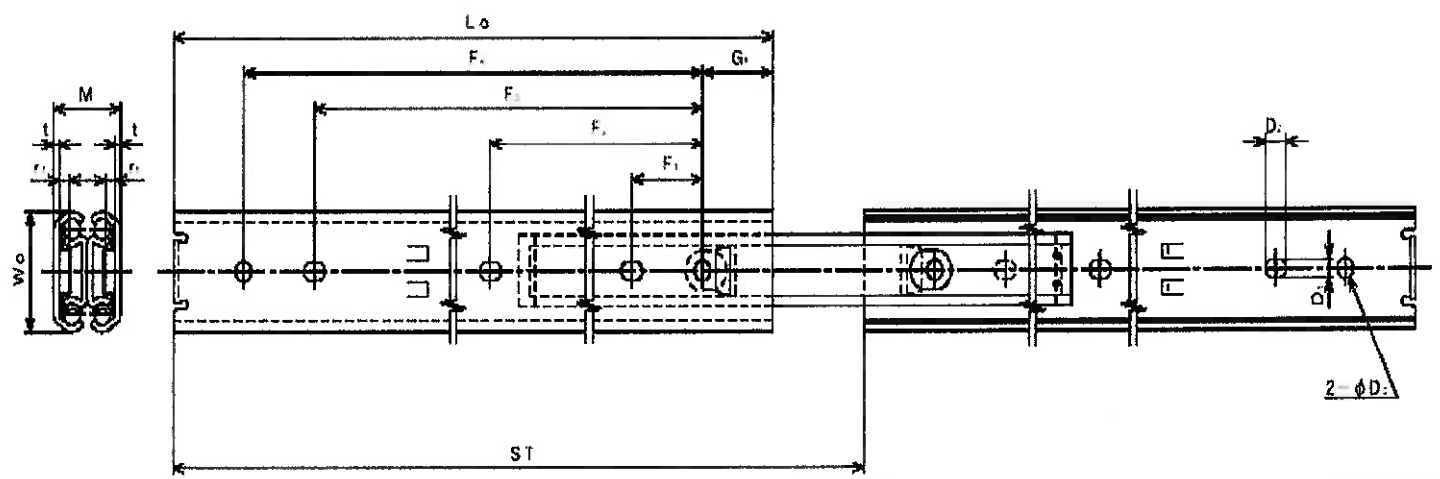


figura 2.6:Dimensões do Mancal FBL27D-400L

As dimensões são dadas na tabela:

| Major dimensions |                     | Permissible load |
|------------------|---------------------|------------------|
| Height<br>M      | Stroke length<br>ST | N/set            |
| mm               | Mm                  | N                |
| 19.1             | 426                 | 310              |

| Rail dimensions      |  |
|----------------------|--|
| Rail length<br>$L_0$ |  |
| mm                   |  |
| 400                  |  |

| Outer rail dimensions |       |       |       |       |       | Mounting hole dimension |       |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|
| $W_0$                 | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ | $F_4$ | $G_1$ | $D_1$                   | $D_2$ | $D_3$ |
| mm                    | mm    | mm    | mm    | mm    | mm    | mm                      | mm    | mm    |
| 27                    | 20    | 100   | 340   | 360   | 20    | 4.2                     | 6     | 4.5   |

**Tabela 2-4:Dimensões do Mancal Linear FBL27D+400L**

O vetor cortante admissível para esse modelo é de 310N por unidade. Na máquina serão empregados dois mancais desse tipo. O curso total é de 426mm. Sua fixação será aparafusada diretamente a estrutura

### 2.1.6 Estrutura

Para a estrutura da máquina eu optei por utilizar tubos retangulares de aço carbono 20mm x 20mm com 2mm de espessura. A estrutura será unida por pontos de solda .

Para modelar a estrutura foi necessário calcular a inércia que é de  $4,6E-9 m^4$  nos eixos cortantes dessa barra. Através de um modelo bem simples de viga engastada em balanço verifiquei que esse tipo de tubo tem rigidez mais do que suficiente para a aplicação:

$$F = \frac{3E \cdot I}{L^3} \cdot \delta$$

Aonde;  $F=100N$  ,  $L= 900mm$  e  $E=210GPa$

A deformação calculada dessa maneira dá aproximadamente vinte milímetros. Vale lembrar que esse caso o esforço vai muito além do que seria conveniente considerar.

Segue se nos anexos os desenhos técnicos de parte das peças que compõem essa estrutura.

As tolerâncias das peças da estrutura estão ligadas aos mecanismos da máquina.

A estrutura será montada através de pontos de solda de 5mm de diâmetro em arestas de 20 mm (2 pontos de solda a aproximadamente 7mm um do outro).

### 2.1.7 Projeto Módulo 1

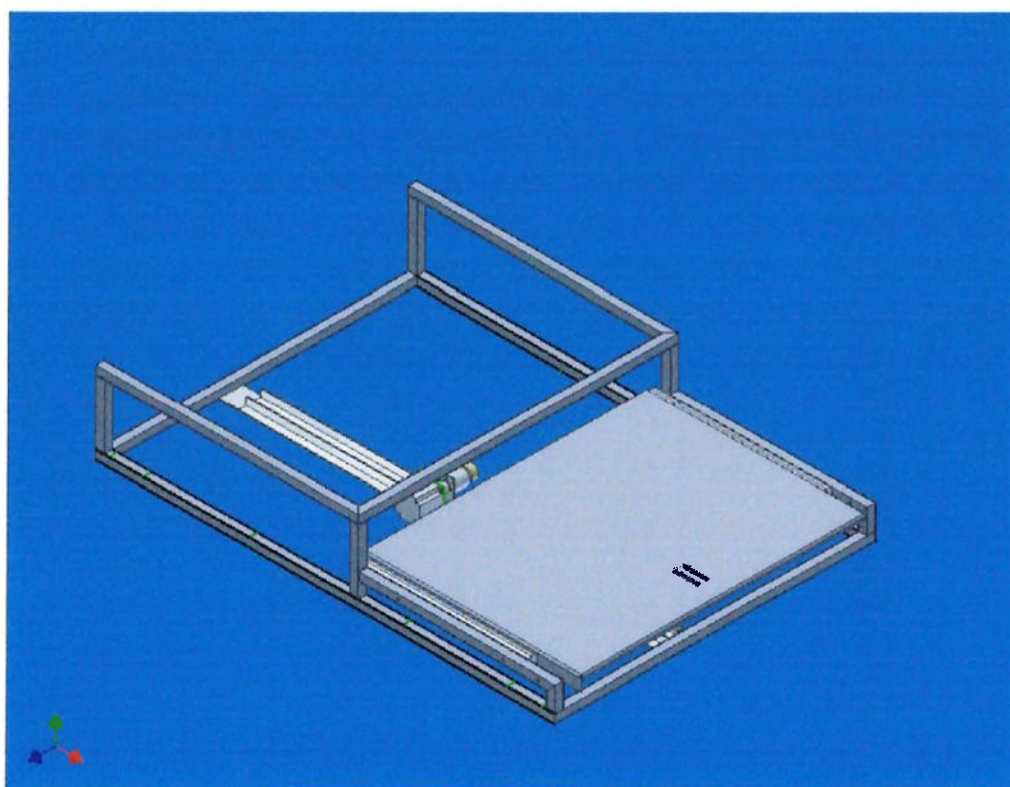
A partir dos cálculos e considerações anteriores para essa primeira parte projetei uma estrutura toda tubular para suportar o Módulo 1 e o 2 que pode ser visto na figura 2.8.

Para suportar as polias foram necessários cubos cuja construção se dá a partir de tarugos cilíndricos, ou seja, tem o formato tubular simplificado. Os desenhos de fabricação e de conjunto seguem em anexo no fim desse trabalho.

Os mancais de rolamento escolhidos foram o de nº 6900 (Catálogo da NSK)cujas dimensões são 6mm de largura com furo de diâmetro de 10mm e diâmetro externo de

22mm. Esses rolamentos se enquadram nos micro-rolamentos e sua procedência geralmente são de fora do país. O cubo tem formato cilíndrico de diâmetro 35 e comprimento de 36mm e é preso a estrutura.

A partir da concepção desse módulo todo o resto da máquina segue utilizando peças similares para facilitar a implementação.



**figura 2.7: Desenho Módulo 1**

## **2.2 Módulo 2**

Para o Módulo 2 as soluções pensadas compreendem duas partes distintas o Movimento horizontal e o movimentos vertical.

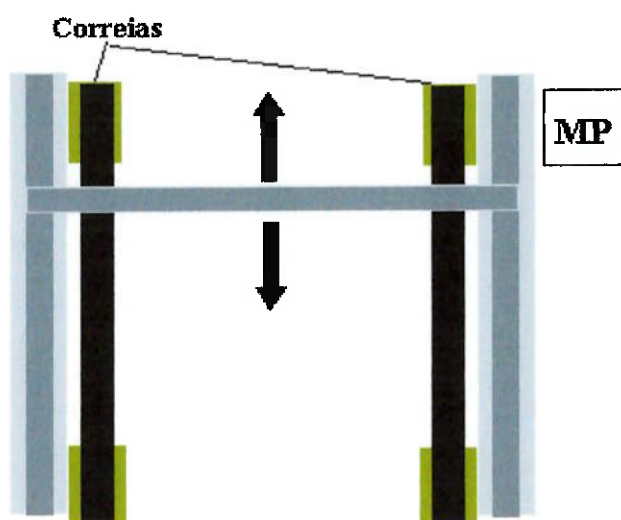
Para os atuadores a melhor opção continua sendo motores de passo, pelas vantagens do previamente apontadas neste relatório. A solução encontrada para a parte móvel também

pode ser utilizado um mancal do tipo FBL fabricado pela THK. Desse modo foi necessário bolar uma maneira de se obter o movimento vertical.

### 2.2.1 Movimento eixo Z

A sonda deve apresentar apenas duas posições distintas; imersa em líquido ou não. O curso total da sonda é de 120mm sem posição intermediária. Sendo assim era importante adotar uma opção barata e eficiente. Não havia muitas opções baratas e viáveis de modo que foi necessário bolar uma opção que pudesse cumprir com o que fosse necessário.

Sendo assim a idéia que foi desenvolvida envolvia uma barra que deslizava sobre vigas. Aonde se colocaria em contato aço Inox com náilon reduzindo-se o atrito.



**figura 2.8: Sistema de Movimento para o eixo vertical no Módulo 2**

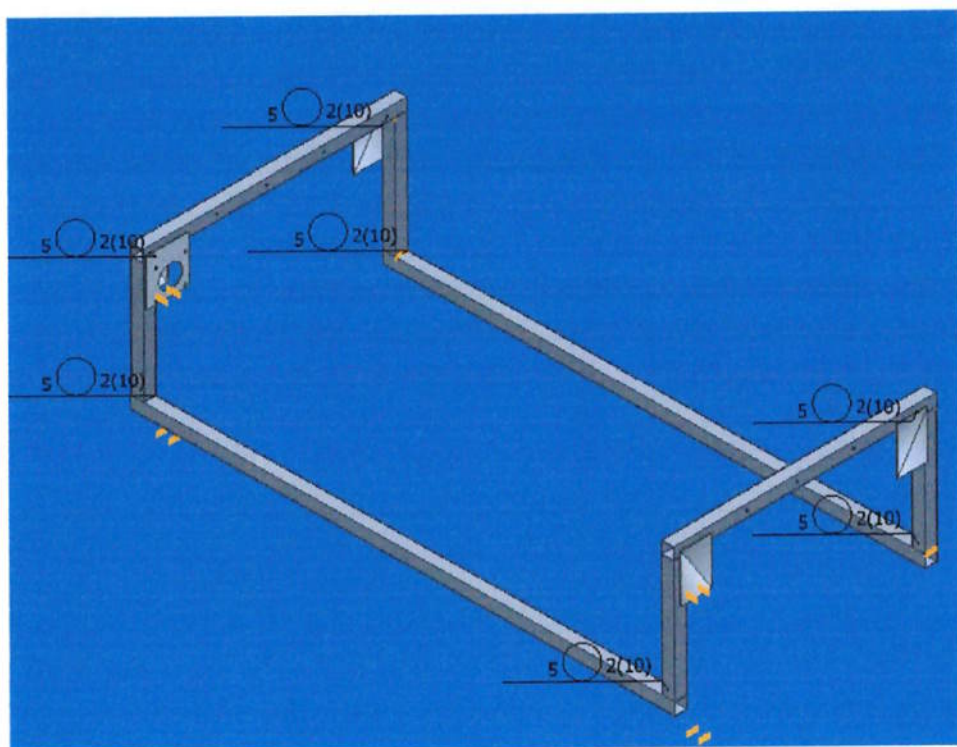
Um problema de uma solução desse tipo é talvez a vibração mas que pode ser contornada com simples princípios.

As correias XL bem como as polias 15 XL puderam ser aplicadas nessa solução, a repetição

de componentes semelhantes ajuda na construção e na compra de materiais da máquina.

### 2.2.2 Descrição da Solução para o Módulo 2

Para o Módulo 2 foi necessário desenhar toda uma nova estrutura para comportar a solução e ser adicionada a máquina posteriormente.



**figura 2.9:Estrutura Módulo 2**

A essa estrutura serão montados duas guias THK FBL27D250L. Essas guias estão dispostas em cantos opostos da estrutura 2 facilitando o movimento. Essas guias tem as seguintes características dimensionais e mecânicas:

| Major dimensions      |                | Permissible load |                |                |                |                         |                |                |
|-----------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|----------------|----------------|
| Height                | Stroke length  | N/set            |                |                |                |                         |                |                |
| M                     | ST             |                  |                |                |                |                         |                |                |
| Mm                    | Mm             | N                |                |                |                |                         |                |                |
| 19.1                  | 276            | 360              |                |                |                |                         |                |                |
| Rail dimensions       |                |                  |                |                |                |                         |                |                |
| Rail                  | length         |                  |                |                |                |                         |                |                |
| L <sub>0</sub>        |                |                  |                |                |                |                         |                |                |
| mm                    |                |                  |                |                |                |                         |                |                |
| 250                   |                |                  |                |                |                |                         |                |                |
| Outer rail dimensions |                |                  |                |                |                | Mounting hole dimension |                |                |
| W <sub>0</sub>        | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub>   | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | G <sub>1</sub> | D <sub>1</sub>          | D <sub>2</sub> | D <sub>3</sub> |
| mm                    | mm             | mm               | mm             | mm             | mm             | mm                      | mm             | mm             |
| 27                    | 20             | 100              | 190            | 210            | 20             | 4.2                     | 6              | 4.5            |

**Tabela 2-5: Dados FBL27D 250L**

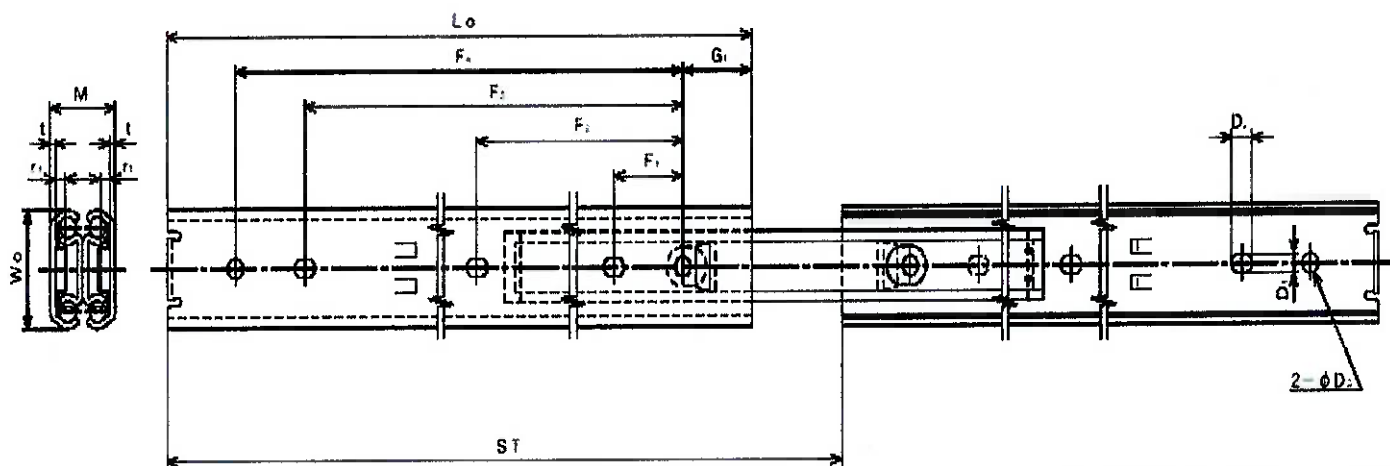


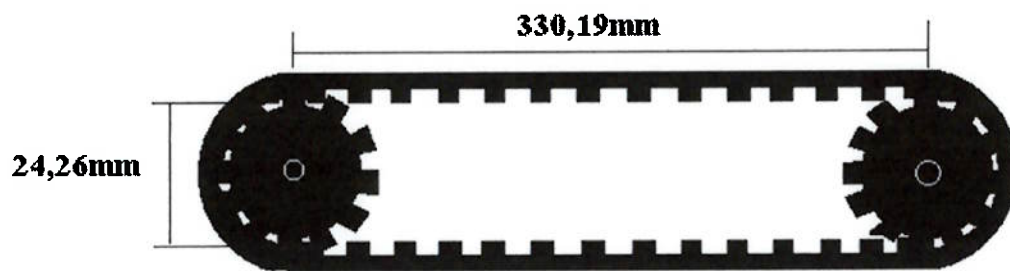
figura 2.10: Dimensões do mancal FBL27D250L

Essas guias servem a aplicação do movimento na horizontal. A transmissão desse movimento foi projetada para minimizar a vibração do sistema. A transmissão é feita perto das pontas e é presa direto nas vigas aonde serão feitos os movimentos verticais.

Essa transmissão é composta por quatro polias 15 XL e por duas correias 290 XL caracterizadas logo abaixo:

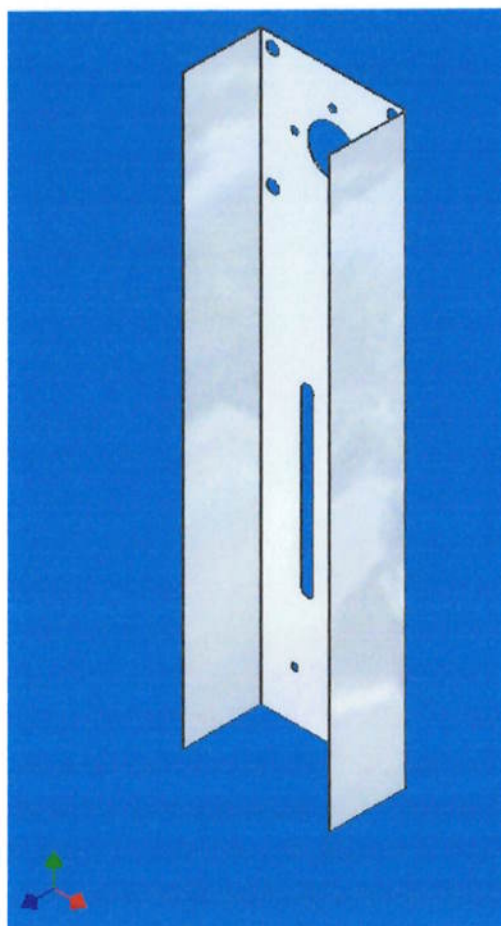
| Código de Comprimento | Comprimento<br>Primitivo<br>Circunf.(pol.) | Comprimento<br>Primitivo<br>Circunf.(mm) | Número<br>de dentes |
|-----------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------|
| 290 XL *              | 29,00                                      | 736,60                                   | 145                 |

Tabela 2-6:Correias da Transmissão do Movimentos Horizontal



**figura 2.11: Esquema Correia 290XL + polia 15XL**

Para comportar as peças do sistema de movimento para o eixo vertical optem por vigas em aço no formato U com 60mm de largura e flanges de 30mm com 230mm de comprimento nele estão os atuadores bem como a transmissão e os cubos.



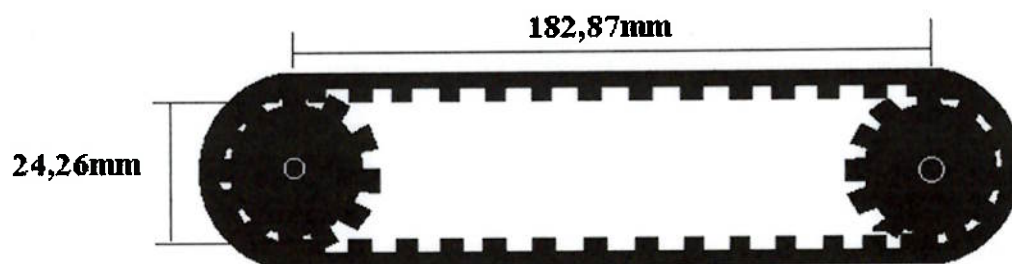
**figura 2.13:Viga U**

Nesse pedaço da máquina foi necessária a aplicação de dois motores de passo para reduzir as vibrações. Esses motores devem receber os mesmos comandos atuando como se fossem apenas um atuador.

Os motores de passo estão ligados a uma transmissão semelhantes as utilizadas até agora correias 174 XL e polia 15 XL esses são os dados:

| Código de Comprimento | Comprimento<br>Primitivo<br>Circunf.(pol.) | Comprimento<br>Primitivo<br>Circunf.(mm) | Número<br>de dentes |
|-----------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------|
| 174 XL                | 17,40                                      | 441,96                                   | 87                  |

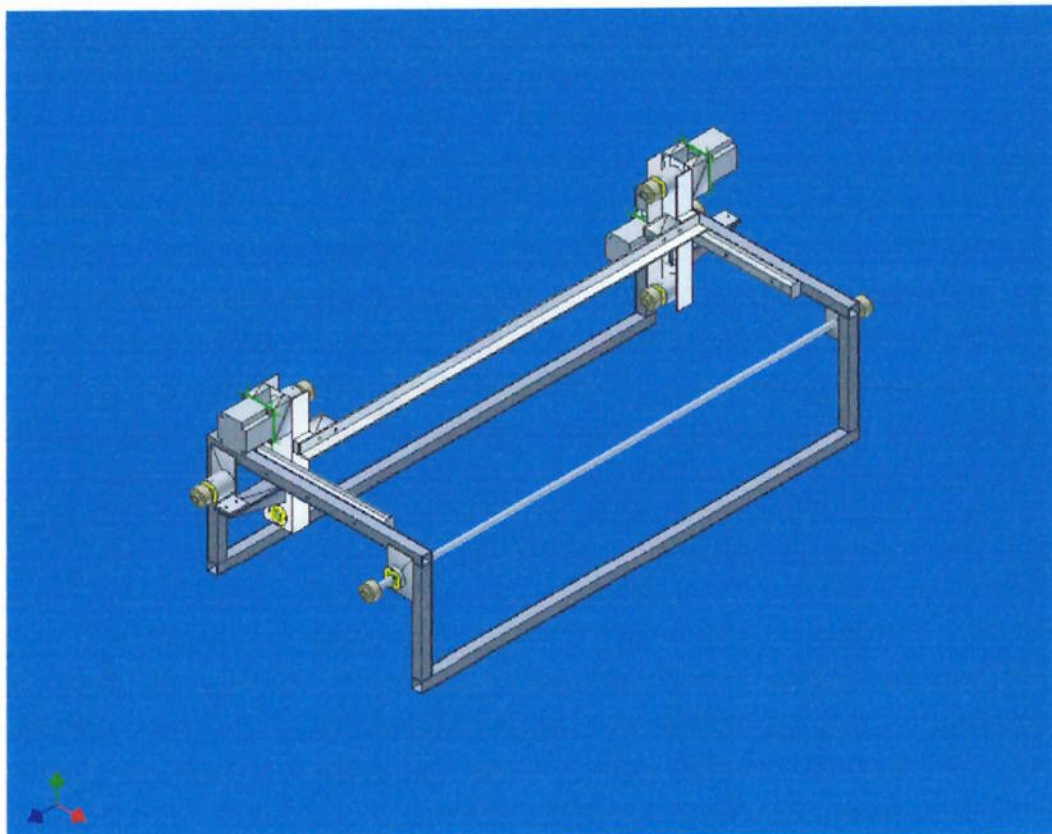
**Tabela 2-7:Dados correia 174XL**



**figura 2.12:Esquema Correia 174XL + Polia 15XL**

As tolerâncias construtivas para essa configuração de correias são as mesmas mostradas para o módulo 1 deste projeto mecânico.

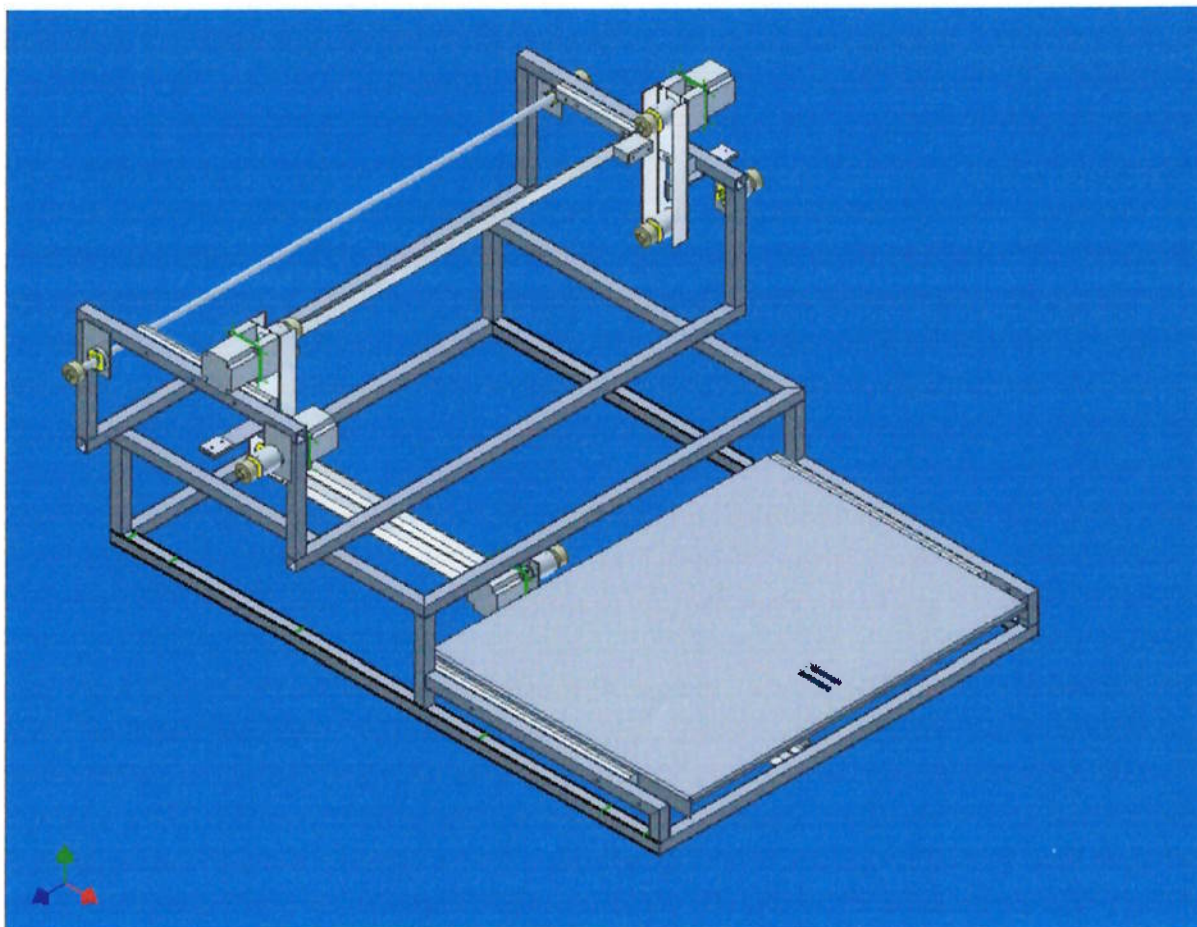
Segue abaixo uma figura mostrando o conjunto que forma o Módulo 2:



**figura 2.13:Desenho do Módulo 2**

Os cubos projetados para o Módulo 2 são os mesmos para o Módulo 1 exceto pelo cubo que contém um eixo que transmite o torque do atuador da direção horizontal. Os cubos possuem dimensões bastantes pequenas de modo que não comprometam o curso das partes móveis e garantindo que a máquina caiba no espaço devido.

Sendo assim pode-se chegar em um ayout completo do sistema mecânico do equipamento que é mostrado na figura abaixo:



**figura 2.14: Layout parte mecânica do projeto**

### ***2.3 Peças de contenção e fluxo dos fluidos***

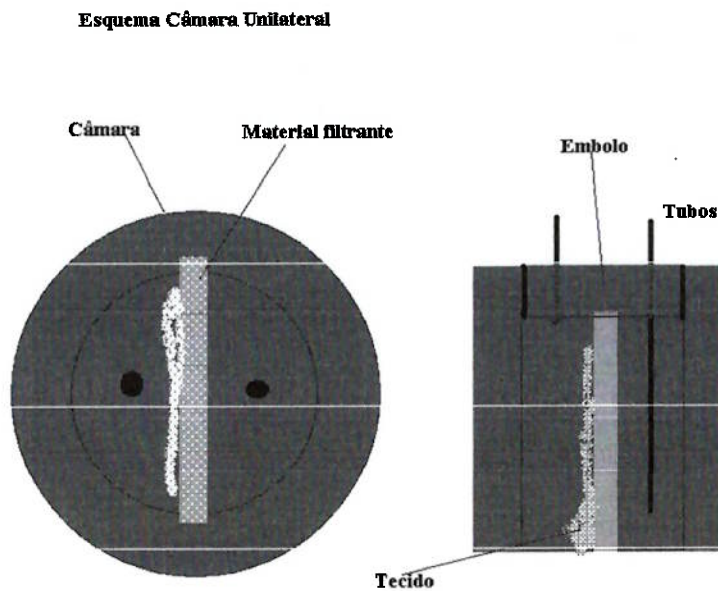
Para essa etapa do projeto foi importante o auxílio técnico fornecido pelas pessoas do laboratório de modo a determinar os aspectos técnicos envolvidos nessas peças que devem corresponder a uma dinâmica bastante específica para o experimento de obtenção de amostras de tecidos vivos.

São peças que envolvem o controle de temperatura e devem conter os fluidos envolvidos no experimento. Todos os desenhos técnicos dessas peças se encontram também em anexo ao final deste relatório.

### 2.3.1 Câmara

É a parte onde fica alojado o tecido vivo que será exposta as substâncias que compõem o experimento. O material deve ser inerte e o formato deve permitir que o líquido escoe através do tecido para a posteriori ser coletado nos tubos de coleta. Pensando nisso foram consideradas as seguintes configurações:

1. Câmara com Septo ou unilateral:

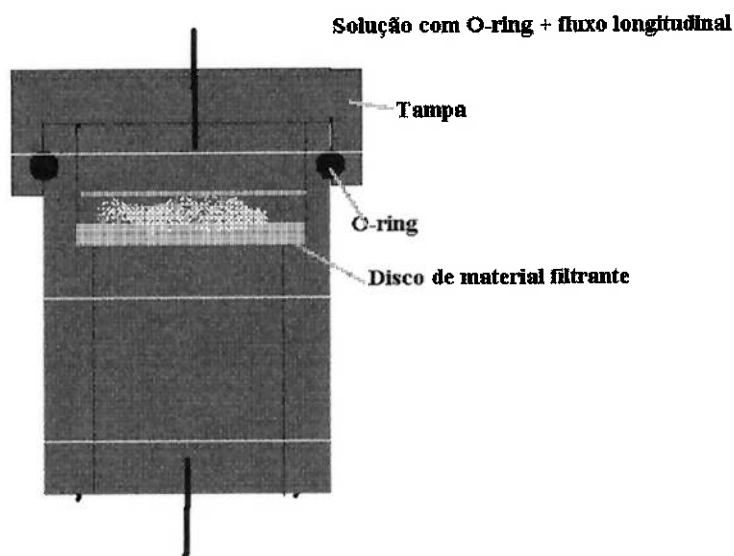


**figura 2.15: Solução 1 para a Câmara**

Para esse tipo de configuração foram apontadas as seguintes falhas:

- É construtivamente complexa
- Os volumes não ficam muito pequenos.
- As amostras se diluem com o líquido de perfusão.

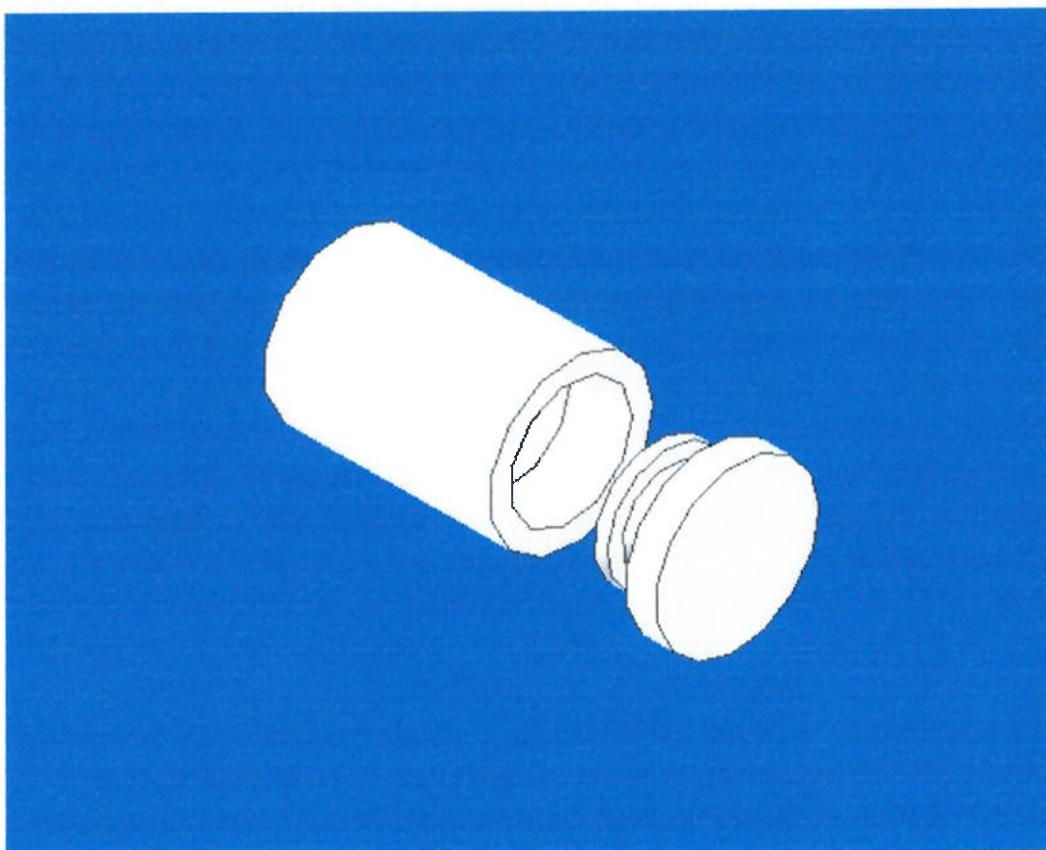
2. Câmara com fluxo Longitudinal:



**figura 2.16: Solução 2 para a Câmara**

Nessa câmara o fluxo se dá de baixo para cima e o líquido atravessa o tecido vivo. A tampa é fixa e vedada através de um O-ring. É importante frisar que nesse modelo é mais fácil de se controlar os volumes necessários que acabam sendo bastantes reduzidos em vista do tipo de resultado que se busca.

A solução escolhida foi essa mas com alterações tanto no aspecto de experimento como construtivo.



**figura 2.17: Câmara com tampa**

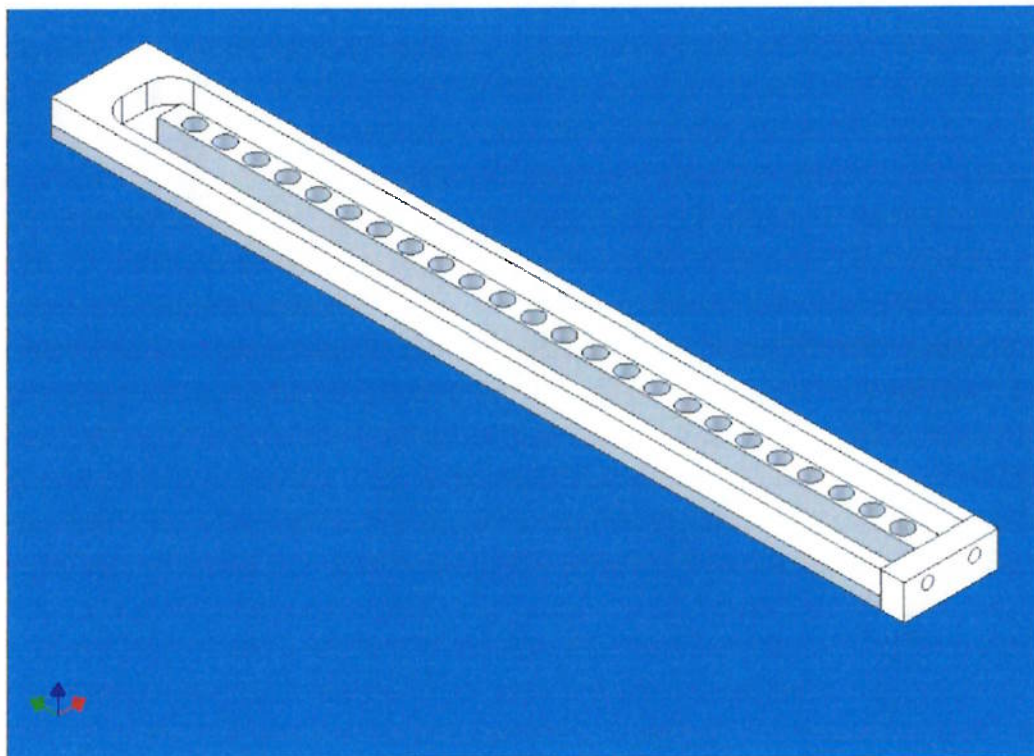
O fundo da Câmara é cônico e o espaço entre tampa e o final do cone mede apenas 3mm garantindo um volume menor na saída para melhor controle daquilo que deve ser observado no experimento.

### **2.3.2 Trocador de Calor**

As Câmaras devem serem mantidas a uma temperatura constante para assegurar a sobrevivência do tecido que está lá dentro. O aquecimento se dá através do contato com água mantida a temperatura constante em uma espécie de banho-maria aonde a água recircula por um aparelho que puxa 1500W de potência para tal.

Na máquina atual esse processo se dá através de uma cuba (ver figura 1.3). Para cumprir esse papel foi projetado um invólucro que tem por característica principal facilitar a manipulação das Câmaras antes e após o experimento diminuindo o tempo de preparo do mesmo.

Utilizando o acrílico chegou-se na seguinte configuração:



**figura 2.18: Trocador de Calor**

O trocador de Calor é constituído de quatro peças obtidas a partir de chapas de 10 e 20mm de espessura respectivamente. Suas dimensões foram obtidas a partir do seguinte modelo matemático:

$$\frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi Lk} \Rightarrow (1)$$

$$\frac{1}{2\pi r Lh} \Rightarrow (2)$$

$$\frac{1}{Sk} \Rightarrow (3)$$

$$S = Ml / N \Rightarrow (4)$$

Aonde 1 corresponde a condução 2 a convecção e 3 a um fator de forma que foi calculado através da elaboração de um modelo das linhas isotérmicas do perfil de acrílico:

O circuito equivalente fica:

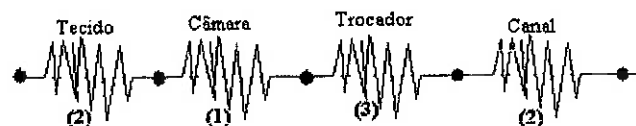


figura 2.19:Circuito equivalente para a troca de calor

Sendo que o fluxo de calor se dá na direção do canal para o tecido. Calculando-se com o fator de forma igual a 0,18 temos que o a taxa de transferência de calor para as 24 câmaras será de 0,52W para uma diferença de 3°C entre a água que circula no canal e o tecido (nesse caso tratado com água). As condutividades do Teflon e do acrílico são respectivamente 0,35W/m.k e 0,19W/m.K.

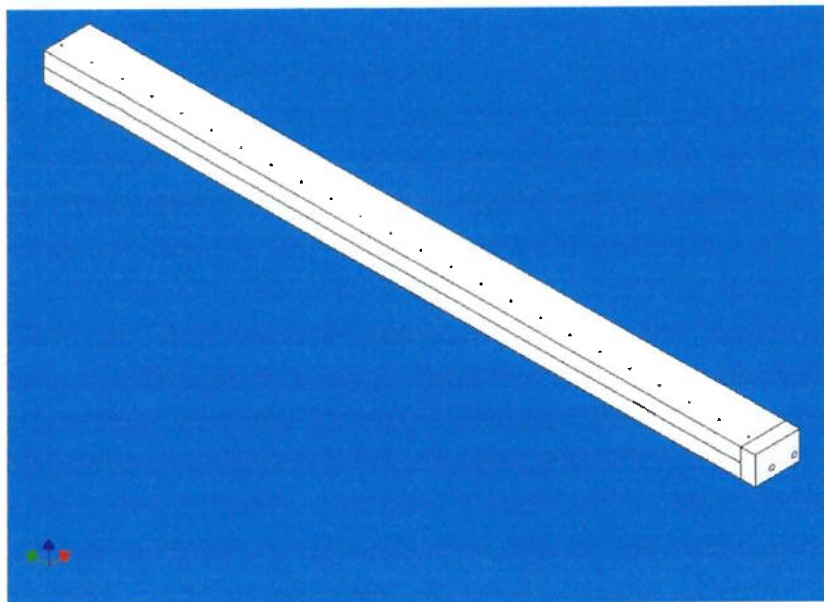
Isso significa que demoraríamos exatamente 9 min para aquecer todos os 24 câmaras se estiverem a 15°C. O tempo de lavagem destinado ao aquecimento das câmaras dura cerca de 1 hora.

### 2.3.3 Sonda de Coleta

A sonda de coleta se trata de uma cortina de microtubos por onde são sugados os líquidos dos frascos e aonde é possível se fazer o gaseamento para que o líquido esteja também rico em oxigênio. (ver figura 1.6)

A princípio foi imaginado que a peça teria de ter uma geometria complexa para que a distribuição dos gases fosse completamente uniforme entre os tubos.

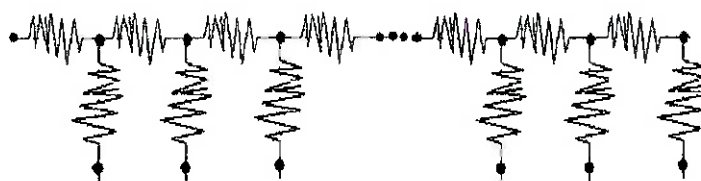
Mas depois como poderá ser observado mais abaixo pode-se projetar a peça considerando se como um modelo de reservatório de ar.



**figura 2.20: Sonda de acrílico**

O ar comprimido entra pelos dois orifícios preenchendo um espaço fechado donde saem os pequenos orifícios essa sonda carrega também os tubos de sucção do equipamento. Como a área do canal corresponde a pelo menos quarenta vezes a área do microtubo podemos considerar o canal como um reservatório.

Nessa configuração pode-se representar o problema através de um circuito equivalente:



**figura 2.21: Circuito equivalente canal**

Aonde os resistores no sentido vertical representam as perdas nos microtubos e os resistores

horizontais representam as perdas no canal. Através pode-se perceber um perda muitas vezes maior nos microtubos que no canal.

### 3 Eletrônica

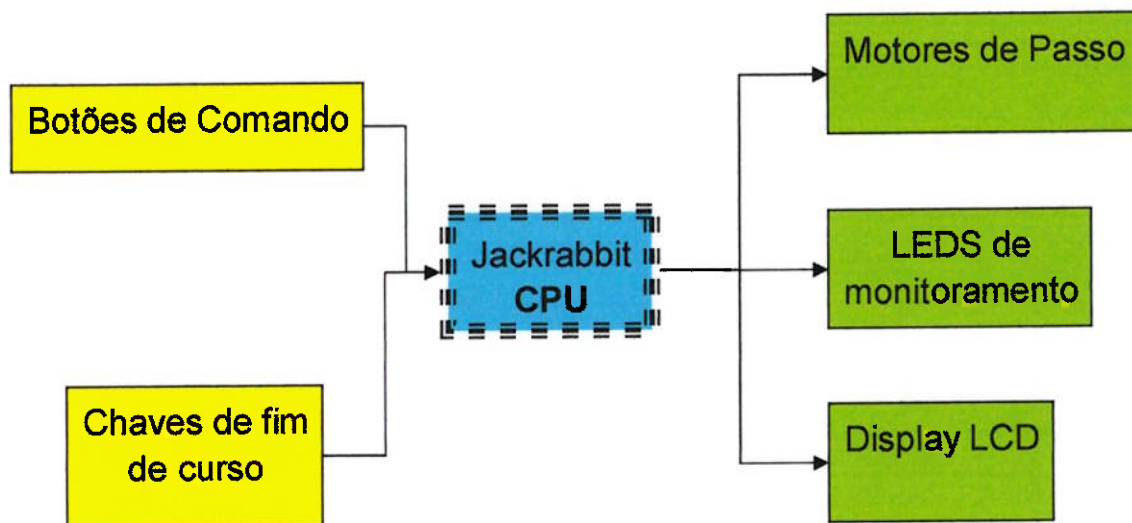
A eletrônica desse projeto deve ser capaz de controlar tre motores de passo de modo a operarem automaticamente e em malha aberta recebendo sinais apenas de sensores de final de curso.

Um problema notado em todos os microcontroladores era que havia muito pouca memória ROM para que pudesse se armazenar os comandos da máquina. Desse modo foi escolhida a configuração ao qual está esquematizada abaixo:

Desse modo foi adotado para este trabalho o Kit de desenvolvimento Jackrabbitt da Zworld. O Kit é formado pelo microcontrolador BL1810 que opera a 30MHz e cujas características principais são:

- 24 portas compatíveis cmos
- 3 canais analógicos(1 conversor A/D e conversores PWM D/A)
- 4 saídas de alta tensão.
- 4 portas seriais
- 6 timers
- 128K SRAM, 256K flash EPROM
- Relógio de tempo real
- Supervisor Watchdog
- Regulador de voltagem
- Bateria de Backup

Para o controle do equipamento segue abaixo o seguinte diagrama:



**figura 3.1:Diagrama de Controle**

Sendo assim dado o projeto obtém-se as seguintes especificações:

- Módulo 1; três saídas para o motor e um entrada para a chave de fim de curso.
- Módulo 2; seis saídas para os motores e duas entradas para as chaves de fim de curso.
- Entradas de comando; são dois botões mais o reset que já vem incorporado ao Kit.
- LEDs- três saídas pertencentes a placa de prototipagem.

Para as chaves de fim de curso foram separadas portas as quais já tinham incorporadas a si o resistor para fazer o pull-up. E no caso dos motores foi privilegiado o aspecto construtivo do circuito e o fato de que as saídas A posteriormente serão usadas para a programação do Display.

Sendo assim seguem abaixo as tabelas com as entradas e saídas utilizadas para o protótipo.

| Motores | Módulo 1 | Módulo 2 (H) | Módulo 2 (V) |
|---------|----------|--------------|--------------|
| Enable  | PD0      | PD0          | PD0          |
| Sentido | PD2      | PD4          | PD6          |
| Clock   | PD3      | PD5          | PD7          |

**Tabela 3-1: Saídas utilizadas para os motores**

| Botão Iniciar     | PB2 |
|-------------------|-----|
| Botão Emergência  | PB3 |
| Chave Módulo      | PB0 |
| Chave Módulo 2(H) | PB1 |
| Chave Módulo 2(V) | PC1 |
| LED DS1           | PA0 |
| LED DS2           | PA1 |
| LED DS3           | PA2 |

**Tabela 3-2: Entradas e saídas utilizadas para o controle**

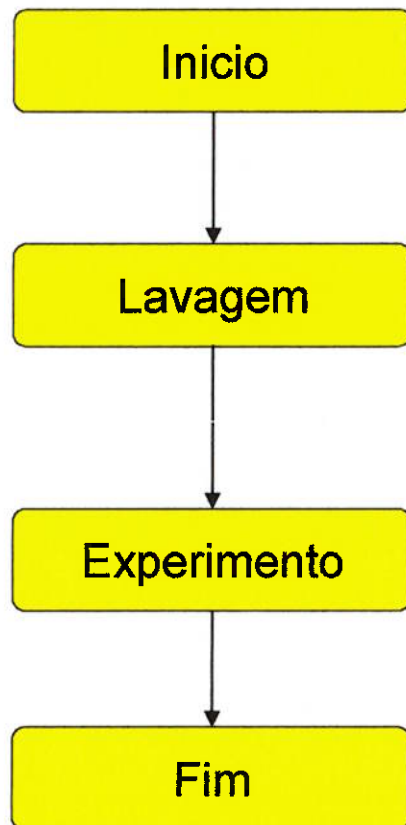
Vale lembrar que a máquina deve possuir pelo menos três fontes de alimentação diferentes uma para os motores, uma para a bomba peristáltica e uma para o microcontrolador.

Em uma próxima etapa de projeto será possível sincronizar o funcionamento da bomba com o funcionamento da sonda.

## 4 Controle

Para se entender como foi elaborado o algoritmo de controle deve se entender como funcionará o experimento a ser automatizado pelo dispositivo.

O Experimento segue o seguinte diagrama:



**figura 4.1:Diagrama do experimento**

- **Início:** Prepara-se as câmaras e posiciona-se os frascos de líquidos nutritivos bem como os tubos de coleta no equipamento, que uma vez acionado busca as referências para dar início as atividades.
- **Lavagem:** Nesse estágio a sonda entra na primeira fileira de frascos e bombeia deles o líquido de perfusão por através das células de modo dar o tempo ideal para o início da coleta de amostras.
- **Experimento:** No experimento inicia-se a coleta das amostras cada fileira em um

determinado intervalo de tempo constante e a sonda deve se comportar conforme seja programado pelas seis fileiras de frascos.

- Fim: Etapa adicional aonde a máquina volta a posição original e aonde a mesma pode ser em uma outra etapa elaborar um dispositivo de enchimento dos tubos de coleta com líquido de cintilação.

Assim em uma primeira abordagem foi estudada a possibilidade de se elaborar um algoritmo utilizando-se o conceito de máquina de estados. Sendo que cada etapa correspondia a um estágio diferente do experimento. Mas devido a algumas dificuldades que foram encontradas nesse tipo de modelo foi adotada uma programação baseada em uma lógica, genérica de como o equipamento deve se comportar. Não foi elaborada nenhuma subrotina o que fez com que o código fonte ficasse demasiado longo, mas mesmo assim muito eficaz a respeito de cumprir o experimento.

Os parâmetros tanto mecânicos como os de experimento são pré-definidos no começo do programa permitindo que possam serem executadas quaisquer configurações e até mesmo alterações drásticas de dimensões tanto de frascos com também de cursos.

O Código fonte encontra-se em anexo no fim deste relatório.

## **5 Construção**

A primeira parte do processo de construção da máquina consiste em reunir em uma lista a matéria prima e componentes necessários para a construção da máquina. A partir das medidas obtidas dos desenhos tem-se a seguinte tabela:

| Matéria Prima         | Comprimento   | Dimensões          | quantidade | custo   |
|-----------------------|---------------|--------------------|------------|---------|
| tubos quadrados       | 10,437 m      | 20x20x1,5mm        |            | 30      |
| tarugo alumínio       | 144mm         | 39mm Ø             | 473,05g    | 8,3     |
| tarugo aço            | 161,4mm       | 40mm Ø             | 1582g      | 0       |
| chapa aço             |               | 800x800x2mm        | 9986g      | 0       |
| Motor de passo        |               |                    | 4          | 0       |
| Polias                |               |                    | 10         | 600     |
| Correias 438XL        |               |                    | 1          |         |
| Correias 290XL        |               |                    | 2          |         |
| Correias 174XL        |               |                    | 2          | 243     |
| Chapas Acrílico       |               | 1mx0,2m            | 2          | 200     |
| Tarugos Teflon        | 0,3m          | 22mm diâmetro      | 4          | 63      |
| Development Kit       |               |                    | 1          | 549     |
| Parafusos e Porcas    |               |                    |            | 20      |
| Mancais Lineares      | 250mm e 500mm |                    |            | 700     |
| Microtubos Inox       | 2m            | 1mm diâmetro (ext) | 12m        | 70      |
| Rolamentos 6900ZZ     |               |                    |            | 70      |
| Nailon                |               | 20 x 10 x 5        | 1          | 10      |
| fios/cabos            |               |                    |            | 12,77   |
| Chave de fim de curso |               |                    |            | 15      |
| conectores            |               |                    |            | 39,89   |
| TOTAL                 |               |                    |            | 1992,66 |

Tabela 5-1: Tabela de materiais para a construção da máquina.

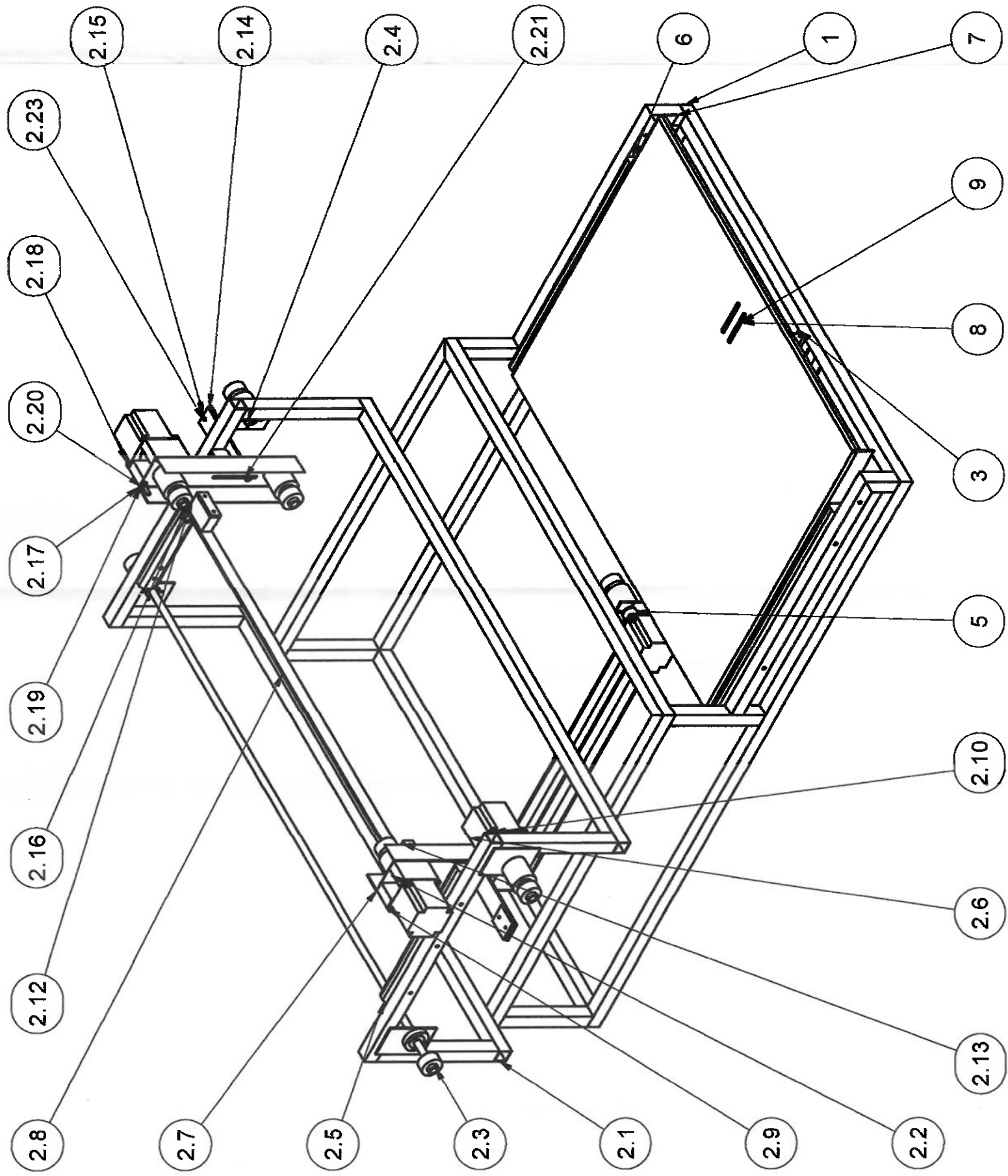
## 6 Discussão e Conclusões

Um protótipo mecânico foi construído podendo-se então verificar que o projeto é viável, porém algumas considerações bastante importantes devem serem feitas:

- Construtivamente uma estrutura cuja montagem fosse feita sem soldas, nessa aplicação seria muito interessante por poder sanar alguns problemas de alinhamento das partes de maneira muito mais eficiente.
- No aspecto de rigidez a estrutura se comportou de maneira ótima para o módulo 1 mas para o módulo 2 será necessário aumentar a altura da estrutura para trazer os motores do movimento vertical mais para perto da mesma.
- As peças feitas em acrílico apresentam um nível de fragilidade um pouco alta e sua construção é de um grau de dificuldade muito alto para que possa ser feita por um técnico inexperiente.
- No programa deve ser incluída a implementação de uma curva de aceleração de modo a suavizar o movimento da máquina.

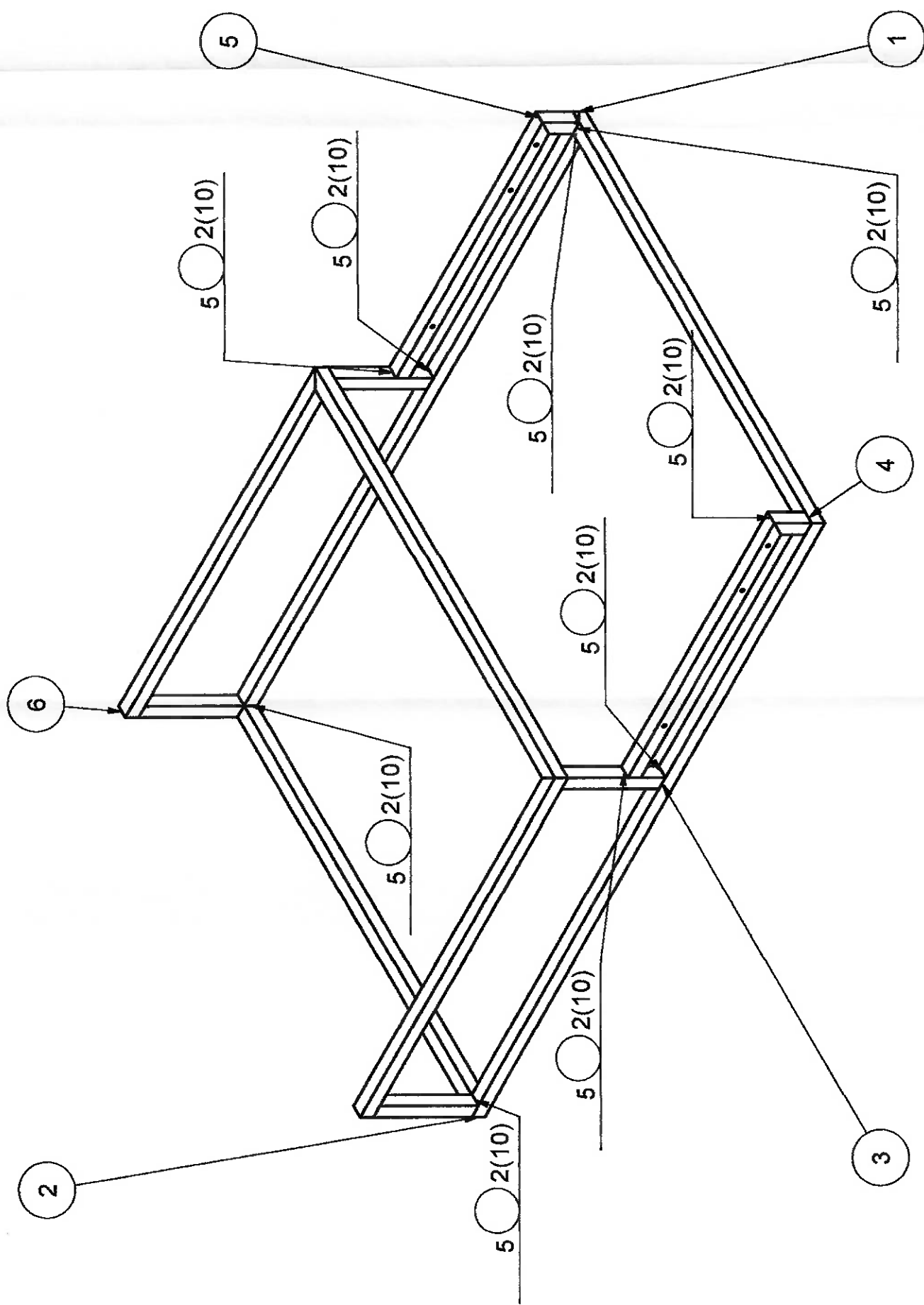
Com isso em mente e com as considerações acima em breve o equipamento entrará em uso no laboratório de Farmacologia do Instituto Butantan.

## **7 Anexo 1: Desenhos Técnicos**



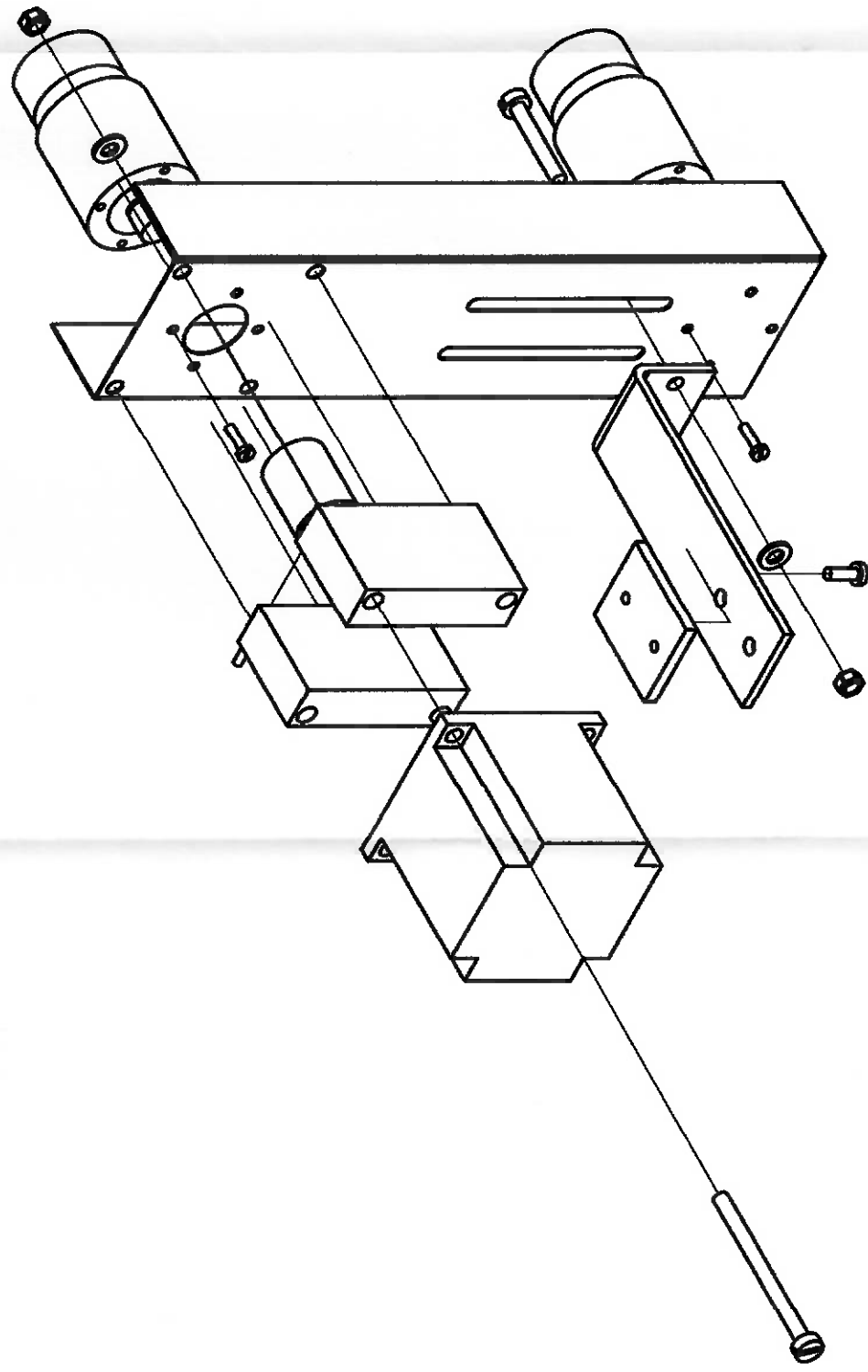
| Parts List |     |                            |
|------------|-----|----------------------------|
| ITEM       | QTY | PART NUMBER                |
| 1          | 1   | estrutura                  |
| 2.1        | 1   | estr2                      |
| 2.2        | 3   | montcubonew                |
| 2.3        | 1   | monteixogrande             |
| 2.4        | 3   | montcubonew1               |
| 2.5        | 2   | fbl27D250L                 |
| 2.6        | 3   | Mpasso                     |
| 2.7        | 2   | sond1                      |
| 2.8        | 1   | sond2                      |
| 2.9        | 4   | espaçador                  |
| 2.10       | 2   | espaçador2                 |
| 2.11       | 3   | acoplamento                |
| 2.12       | 2   | prendedorsonda2            |
| 2.13       | 2   | prendedorsonda3            |
| 2.14       | 2   | prendedorhorizont1         |
| 2.15       | 2   | prendedorhorizont2         |
| 2.16       | 2   | nailon                     |
| 2.17       | 2   | chapa_inox                 |
| 2.18       | 1   | parafusoM5x60              |
| 2.19       | 2   | arruelaM5                  |
| 2.20       | 2   | porcaM5                    |
| 2.21       | 1   | parafusoM5x30              |
| 2.22       | 2   | parafusoM3x10              |
| 2.23       | 1   | parafusoM4x10              |
| 2.24       | 1   | parafusoM3x10allen         |
| 3          | 1   | locbandeja                 |
| 4          | 1   | trocadordecalor            |
| 5          | 1   | acoplamento                |
| 6          | 2   | fbl27D400L                 |
| 7          | 1   | Planomovel1                |
| 8          | 1   | prendedorplano             |
| 9          | 1   | <del>prendedorplano2</del> |

|                                   |                     |   |   |                   |
|-----------------------------------|---------------------|---|---|-------------------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                     | 9 | 1 | preliminar plano2 |
| Máquina para controle de amostras | Desenho de Conjunto |   |   |                   |
|                                   |                     |   |   | 15:100            |
| 3                                 |                     | 2 | 1 | 1                 |

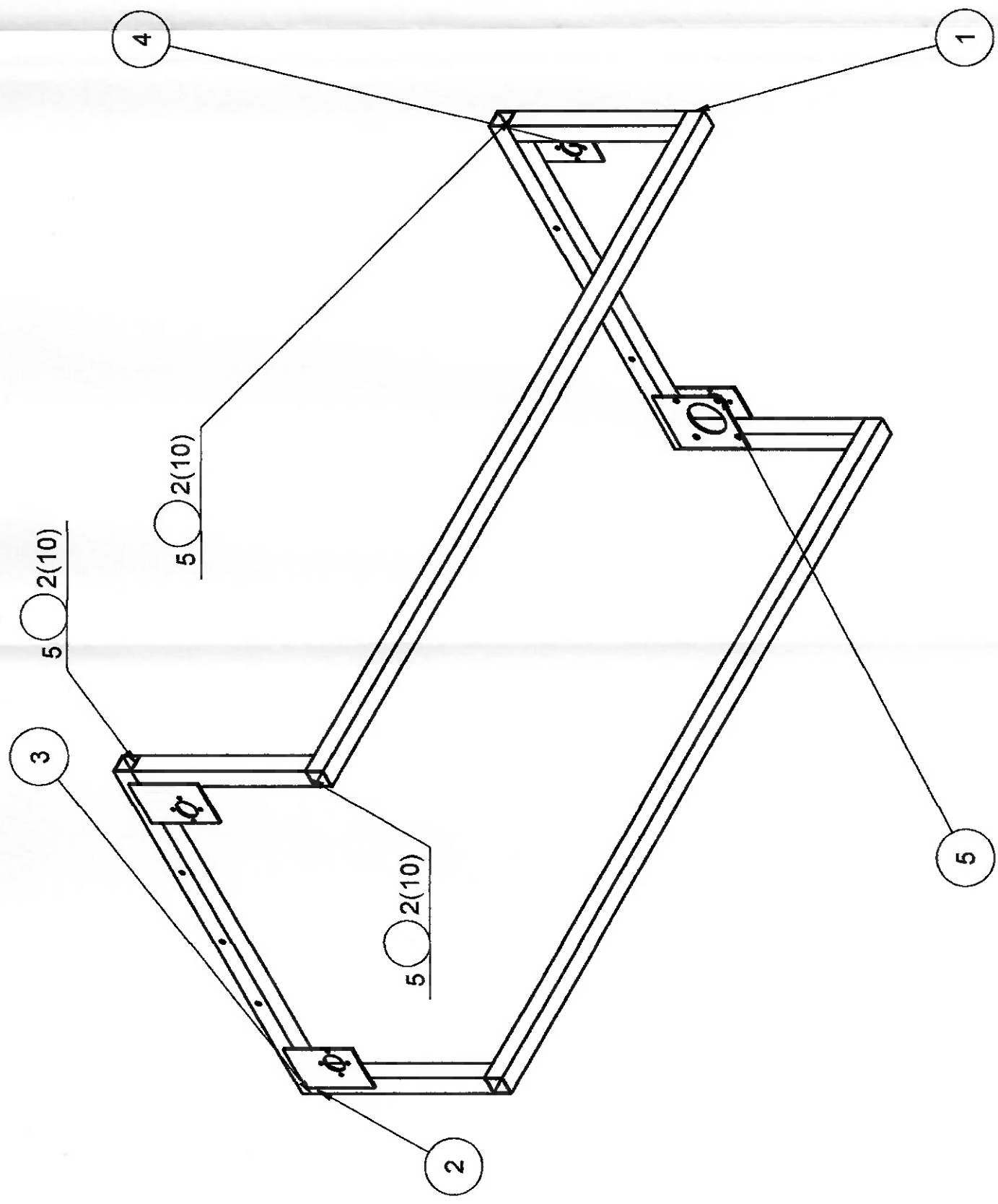


| Parts List |     |                |
|------------|-----|----------------|
| ITEM       | QTY | PART NUMBER    |
| 1          | 3   | peçaestrutura1 |
| 2          | 2   | peçaestrutura2 |
| 3          | 4   | peçaestrutura5 |
| 4          | 2   | peçaestrutura4 |
| 5          | 2   | peçaestrutura9 |
| 6          | 2   | peçaestrutura6 |

|                                   |                          |            |
|-----------------------------------|--------------------------|------------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                          | 29/05/2005 |
| Máquina para controle de amostras | Des.Conjunto Estrutura 1 |            |
|                                   |                          | 15:100     |

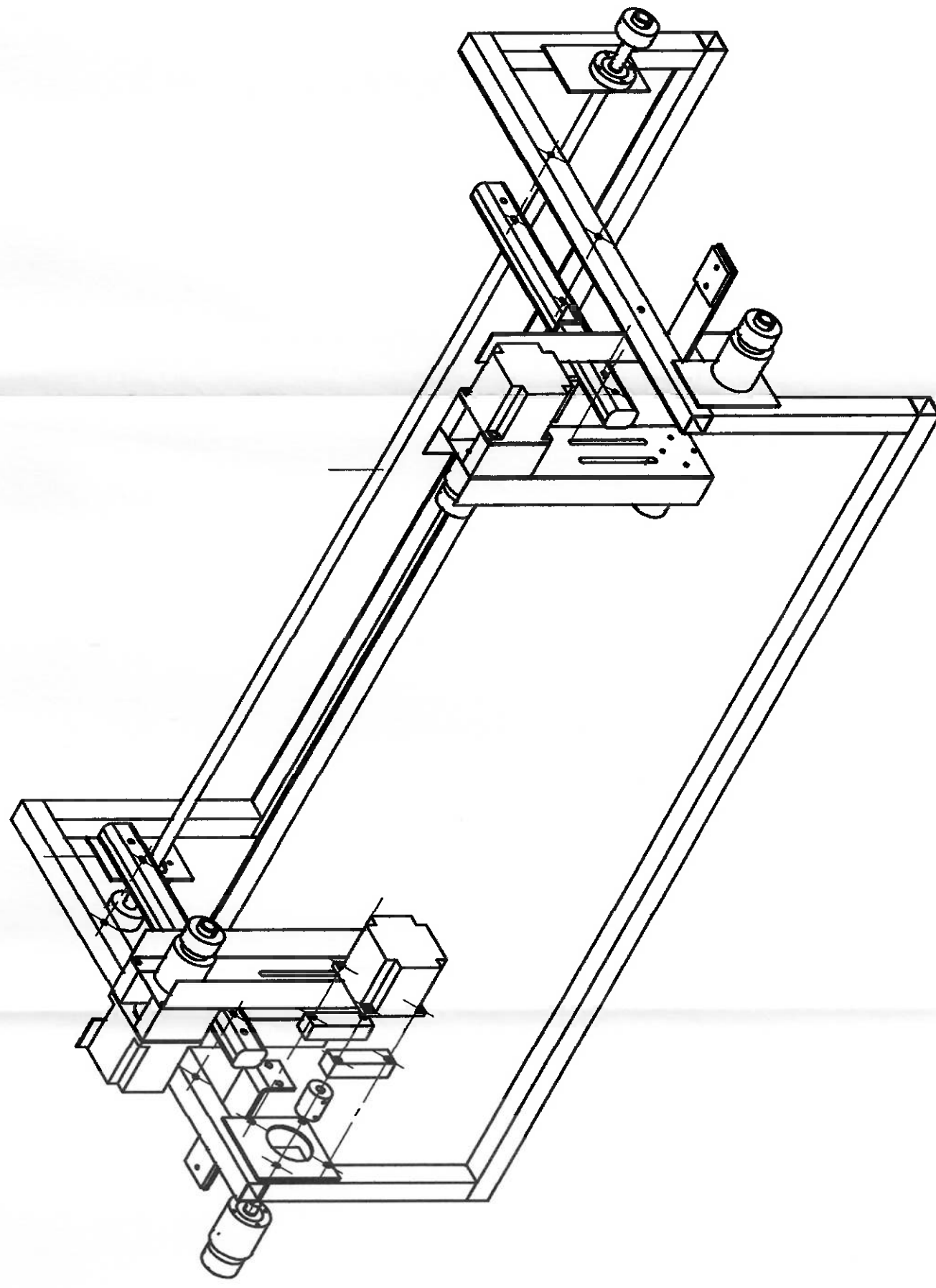


|                                   |  |                              |   |     |
|-----------------------------------|--|------------------------------|---|-----|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |  | 29/05/2005                   | 1 |     |
| Máquina para controle de amostras |  | Desenho de montagem da Sonda |   | 1:2 |
|                                   |  |                              |   | 1   |



| Parts List |     |                 |
|------------|-----|-----------------|
| ITEM       | QTY | PART NUMBER     |
| 1          | 2   | peçaestrutura10 |
| 2          | 4   | peçaestrutura11 |
| 3          | 2   | peçaestrutura12 |
| 4          | 4   | cubonew1        |
| 5          | 1   | peçaestrutura13 |

|                                   |  |                          |
|-----------------------------------|--|--------------------------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |  | 29/05/2005               |
| Máquina para controle de amostras |  | Des.Conjunto Estrutura 1 |
|                                   |  | 2:10                     |



Edson Francisco Medeiros Silva

10/12/2004

Máquina para controle de amostras

Montagem Módulo 2

6

5

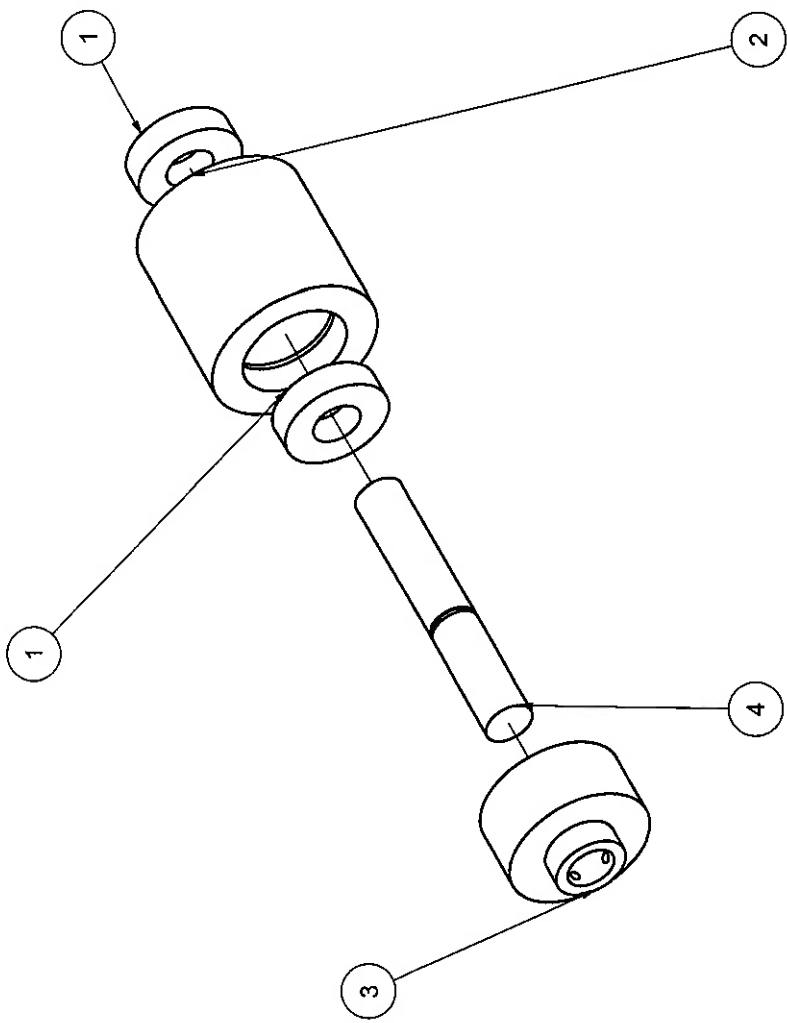
4

Δ

3

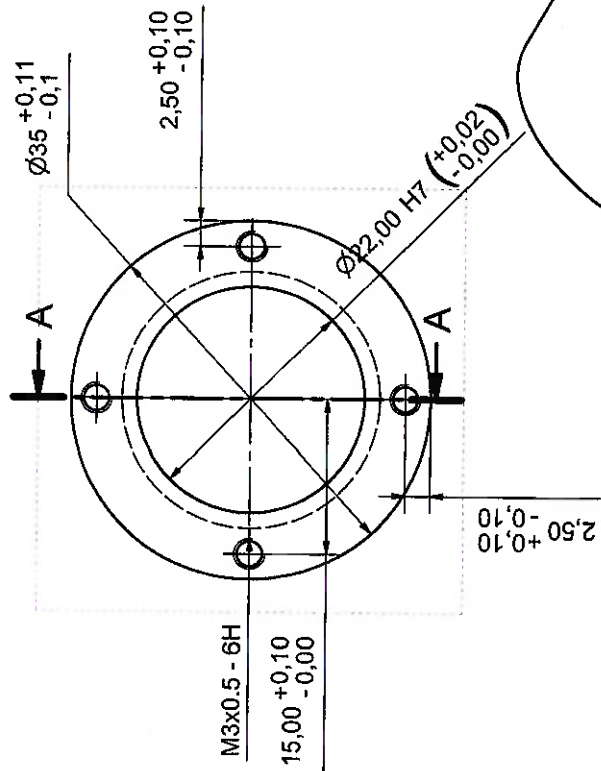
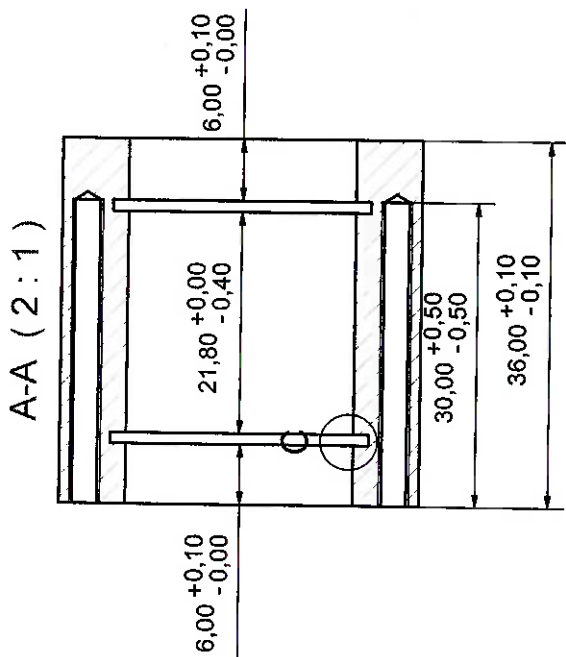
2

1

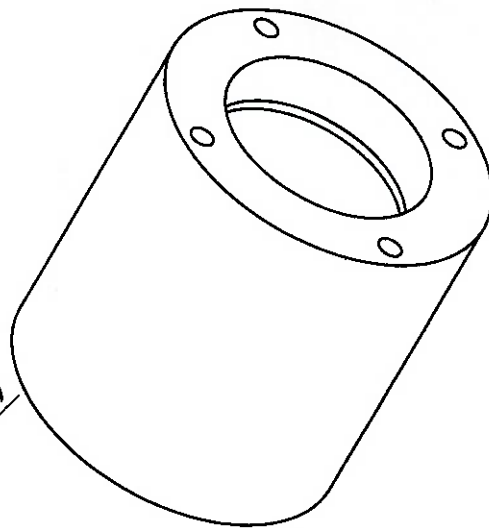
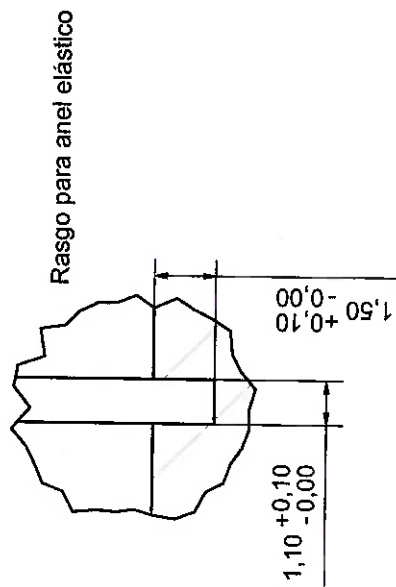


| Parts List |     |                    |
|------------|-----|--------------------|
| ITEM       | QTY | PART NUMBER        |
| 1          | 2   | rolamento(6900)    |
| 2          | 1   | Suporte mancais de |
|            |     | Rolamento          |
| 3          | 1   | polia 15XL         |
| 4          | 1   | eixo2              |

|                                   |  |                 |  |
|-----------------------------------|--|-----------------|--|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |  | 14/10/2004      |  |
| Máquina para controle de amostras |  | Montagem cubo 2 |  |
| Material                          |  | Alumínio        |  |
|                                   |  | Escala          |  |
|                                   |  | 2:1             |  |



**C (8:1)**



Edson Francisco Medeiros Silva

14/10/2004

Máquina para controle de amostras

Suporte dos mancais de rolamento

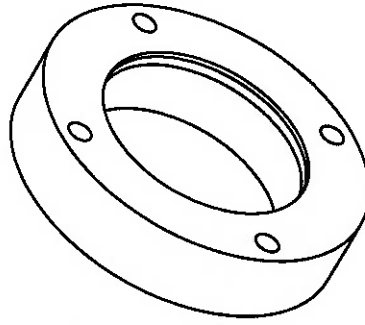
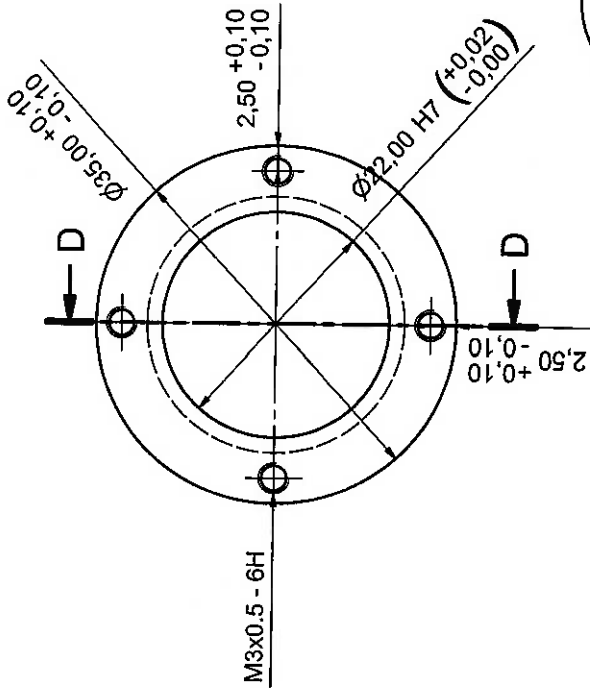
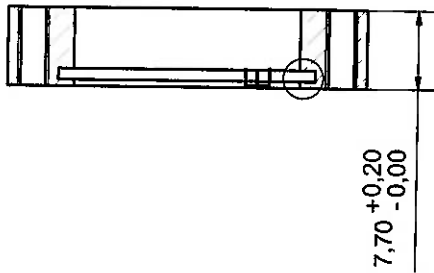
Material

Alumínio

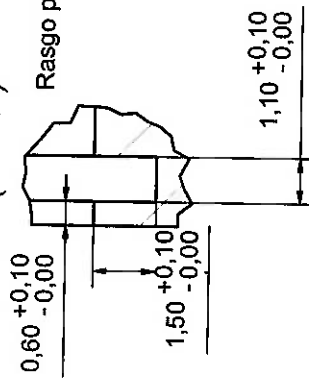
Escala

2:1

D-D (2:1)



E (8:1)



Edson Francisco Medeiros Silva

14/10/2004

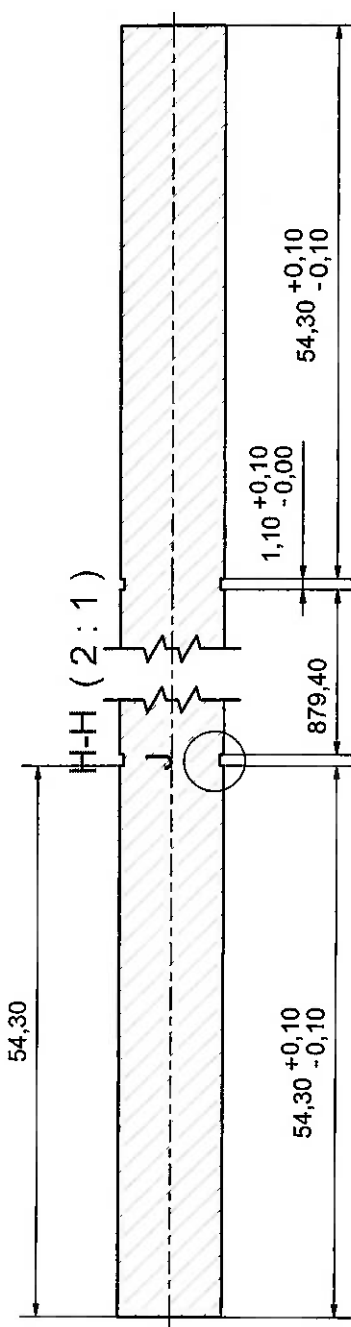
Máquina para controle de amostras

Suporte Mancel de Rolamento 2

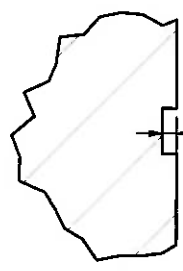
Escala

Alumínio

2:1

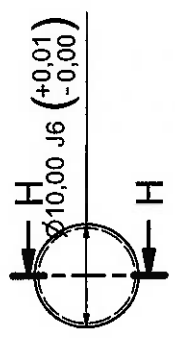


J ( 8 : 1 )



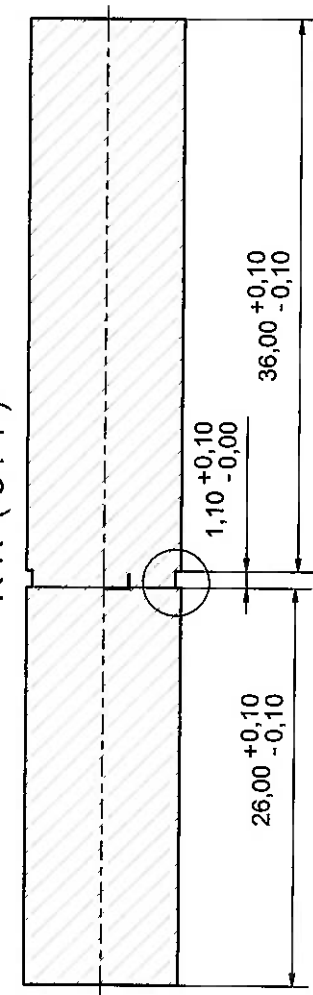
0,20 +0,10 / -0,00

Rasgo para anel elástico

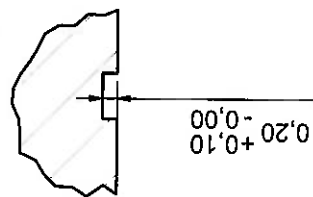


|                                   |          |            |     |
|-----------------------------------|----------|------------|-----|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |          | 14/10/2004 |     |
| Máquina para controle de amostras |          | Eixo 3     |     |
| Material                          | Alumínio | Escala     | 2:1 |

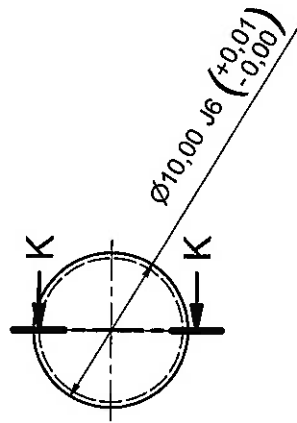
K-K (3 : 1)



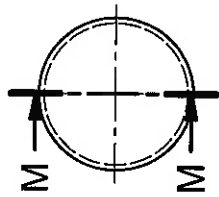
L (8 : 1)



Rasgo para anel elástico



|                                   |  |            |  |
|-----------------------------------|--|------------|--|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |  | 14/10/2004 |  |
| Máquina para controle de amostras |  | Eixo 2     |  |
| Material                          |  | Alumínio   |  |
| 3                                 |  | 2          |  |
|                                   |  | Escala     |  |
|                                   |  | 2:1        |  |



10,00  $\begin{matrix} +0,01 \\ -0,00 \end{matrix}$

M-M (3 : 1)

10,00

1,10

1,10

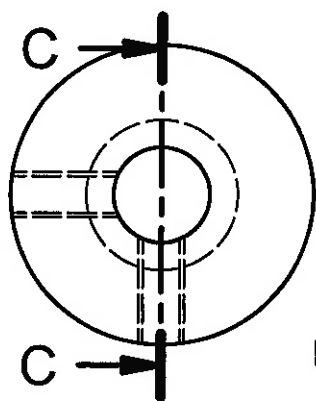
36,00

26,00

72,80

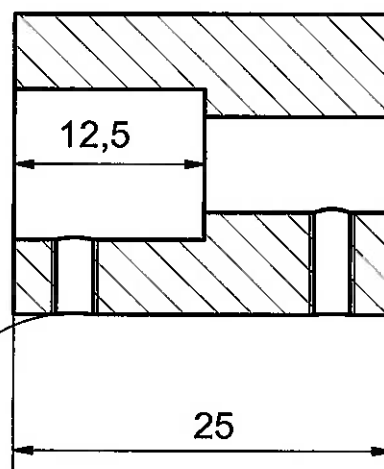
tolerância geral: 0,1mm

|                                   |  |                  |     |
|-----------------------------------|--|------------------|-----|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |  | 14/10/2004       |     |
| Máquina para controle de amostras |  | Eixo- cubo motor |     |
|                                   |  | Material         | Aço |
|                                   |  | Escala           | 3:1 |

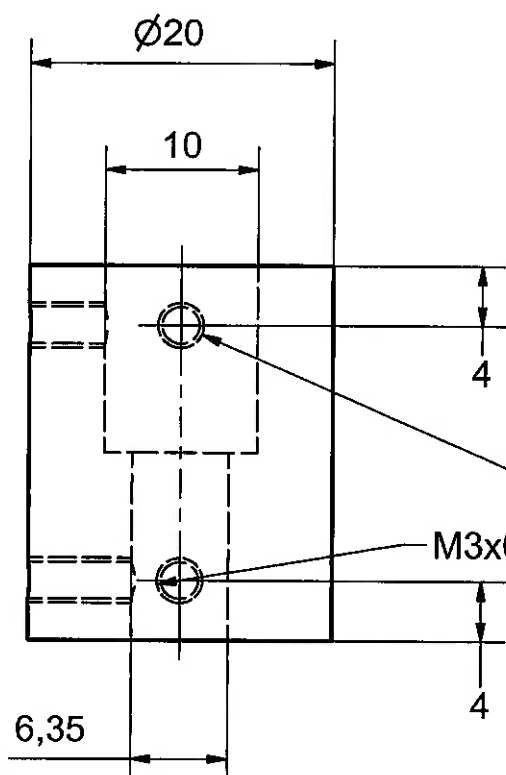


M3x0.5 - 6H

C-C ( 2 : 1 )



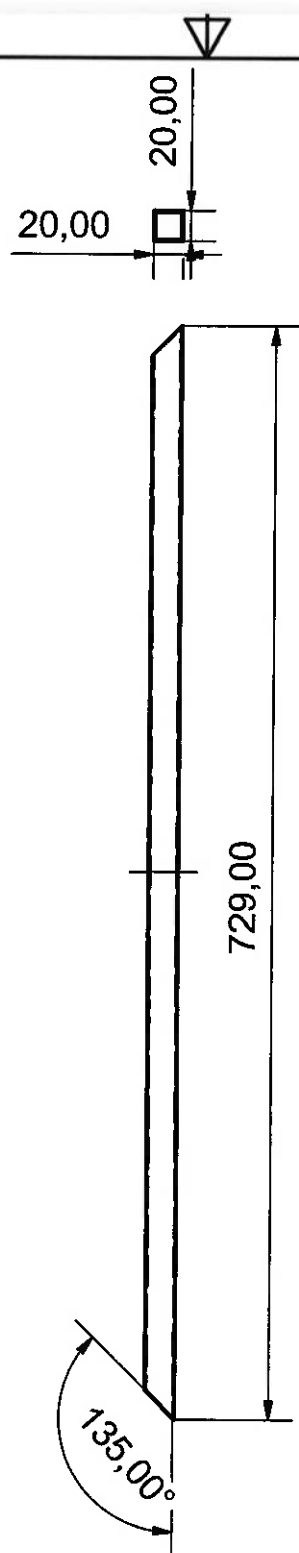
Tolerância geral:0,1mm



M3x0.5 - 6H

M3x0.5 - 6H

|                                   |  |             |       |
|-----------------------------------|--|-------------|-------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |  | 10/12/2004  |       |
| Máquina para controle de amostras |  | Acoplamento |       |
|                                   |  | Alumínio    | 1 : 1 |



espessura 2mm

|                                   |                  |            |                |
|-----------------------------------|------------------|------------|----------------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                  | 14/10/2004 |                |
| Máquina para controle de amostras | Peça estrutura 1 |            |                |
|                                   | Material         | Ferro      | Escala<br>2:10 |

135,00°

1050,00

Edson Francisco Medeiros Silva

29/11/04

Máquina para controle de amostras

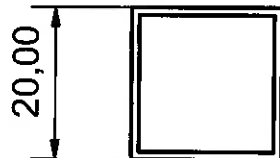
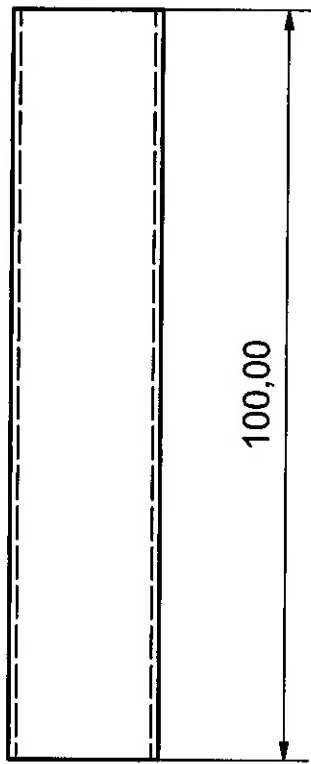
Peça estrutura 2

Material

Ferro

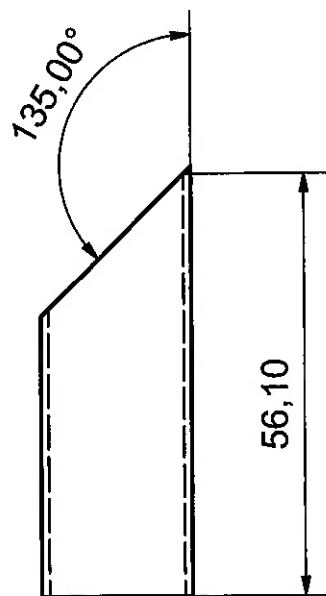
Escala

2:10

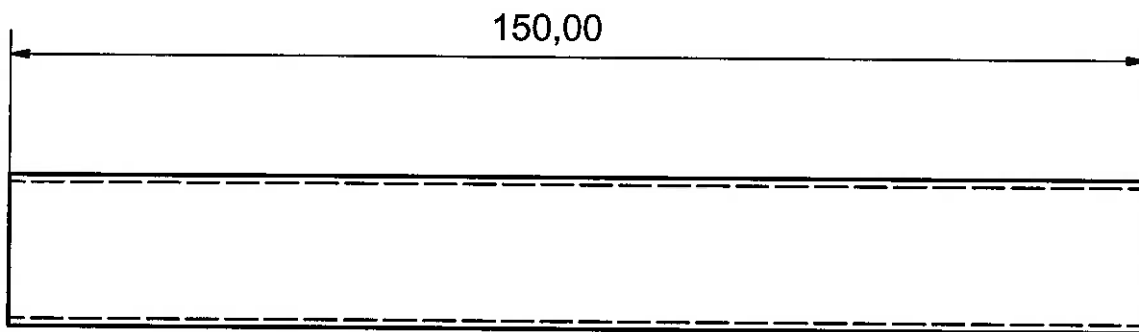


|                                   |                  |          |            |
|-----------------------------------|------------------|----------|------------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                  | 29/11/04 |            |
| Máquina para controle de amostras | Peça Estrutura 3 |          |            |
|                                   | Material         | Ferro    | Escala 1:1 |



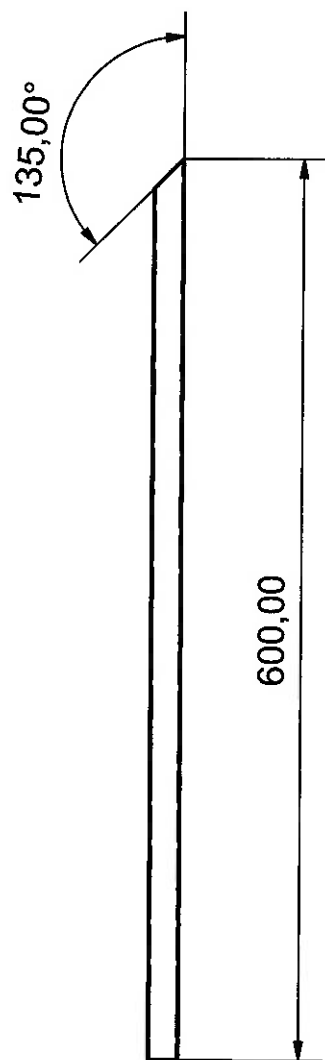


|                                   |                  |          |               |
|-----------------------------------|------------------|----------|---------------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                  | 29/11/04 |               |
| Máquina para controle de amostras | Peça estrutura 4 |          |               |
|                                   | Material         | Ferro    | Escala<br>1:1 |

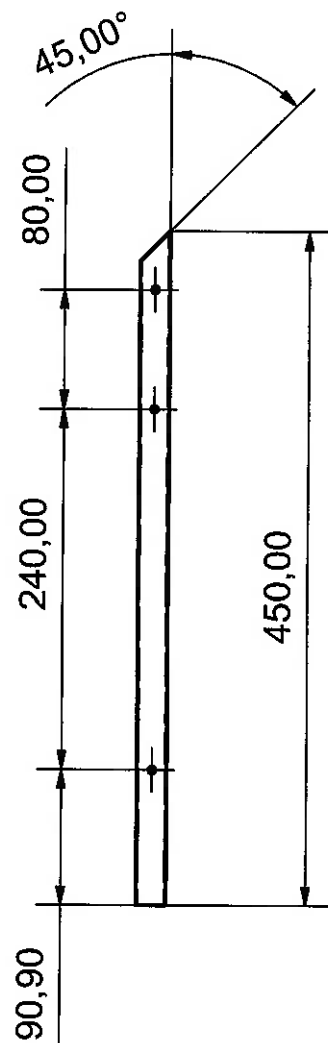


|                                   |                  |          |               |
|-----------------------------------|------------------|----------|---------------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                  | 29/11/04 |               |
| Máquina para controle de amostras | Peça estrutura 5 |          |               |
|                                   | Material         | Ferro    | Escala<br>1:1 |

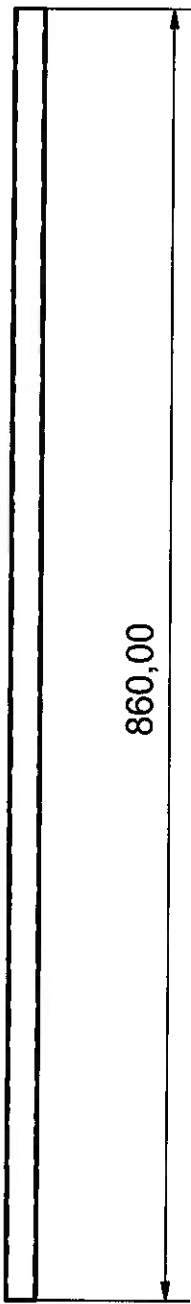




|                                   |                   |          |                |
|-----------------------------------|-------------------|----------|----------------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                   | 29/11/04 |                |
| Máquina para controle de amostras | Peça estrutura 6  |          |                |
|                                   | Material<br>Ferro |          | Escala<br>2:10 |

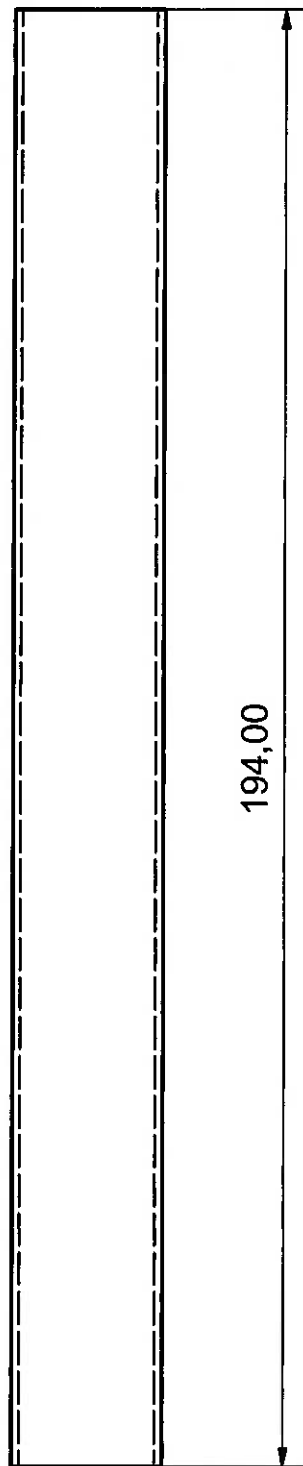


|                                   |                  |          |                |
|-----------------------------------|------------------|----------|----------------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                  | 29/11/04 |                |
| Máquina para controle de amostras | Peça estrutura 9 |          |                |
|                                   | Material         | Ferro    | Escala<br>2:10 |



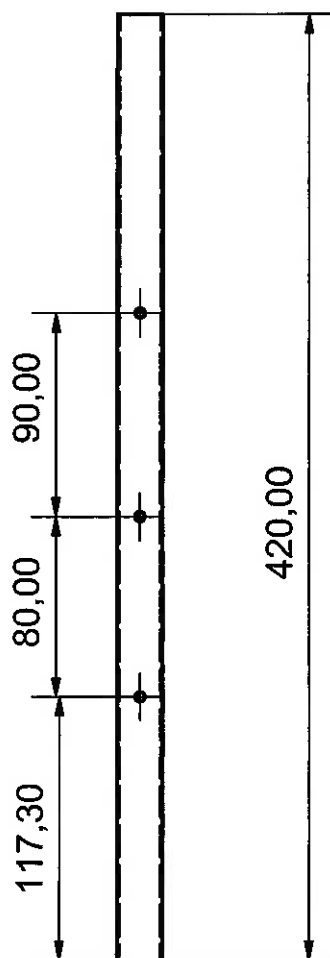
|                                   |                   |          |                |
|-----------------------------------|-------------------|----------|----------------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                   | 29/11/04 |                |
| Máquina para controle de amostras | Peça estrutura 10 |          |                |
|                                   | Material          | Ferro    | Escala<br>2:10 |



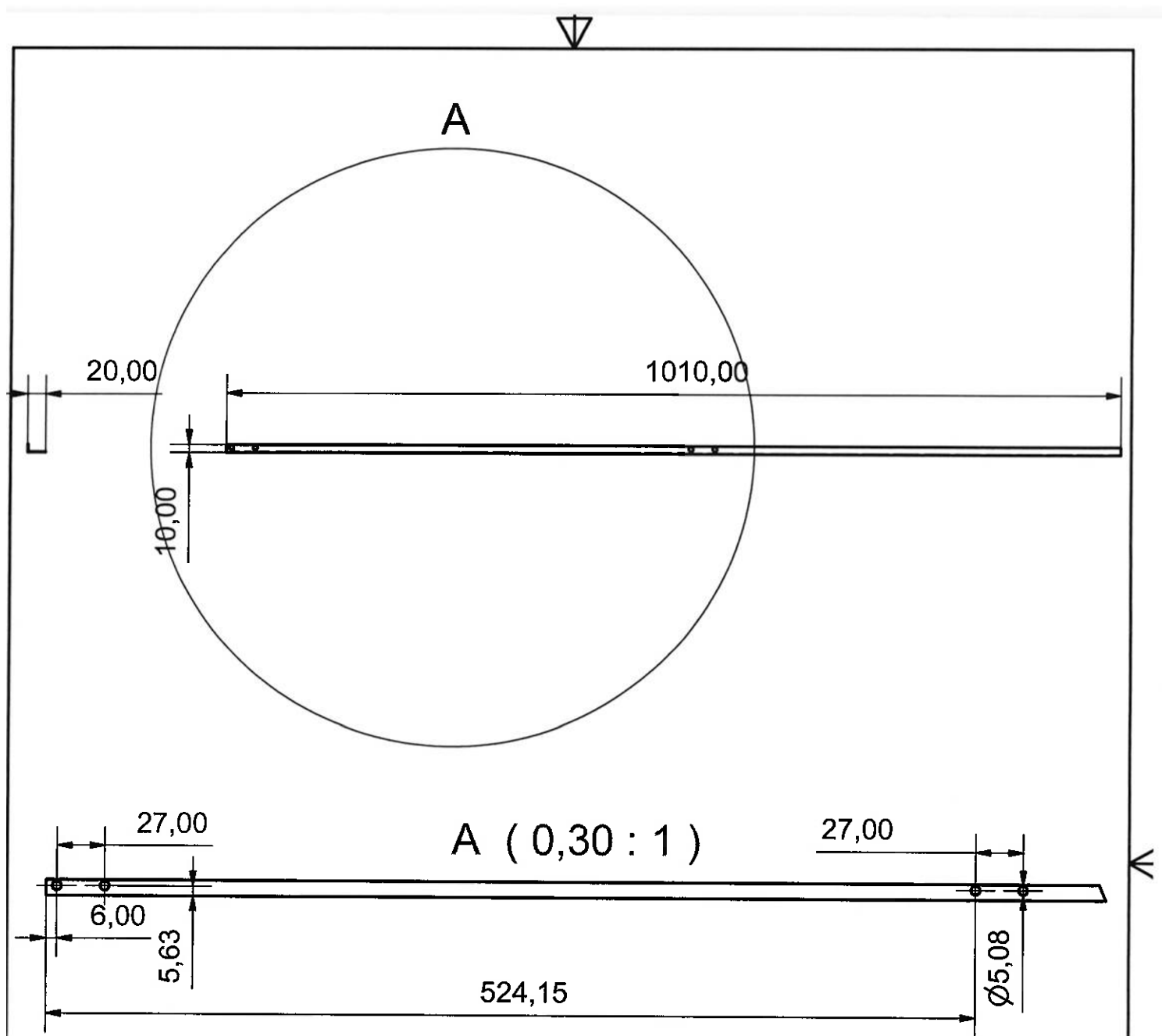


|                                   |                   |          |               |
|-----------------------------------|-------------------|----------|---------------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                   | 29/11/04 |               |
| Máquina para controle de amostras | Peça estrutura 11 |          |               |
|                                   | Material<br>Ferro |          | Escala<br>1:1 |





|                                   |                   |          |             |
|-----------------------------------|-------------------|----------|-------------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                   | 29/11/04 |             |
| Máquina para controle de amostras | Peça estrutura 12 |          |             |
|                                   | Material          | Ferro    | Escala 3:10 |



Edson Francisco Medeiros Silva

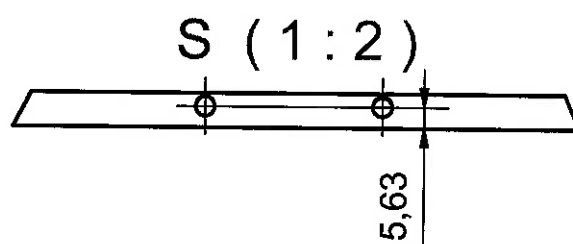
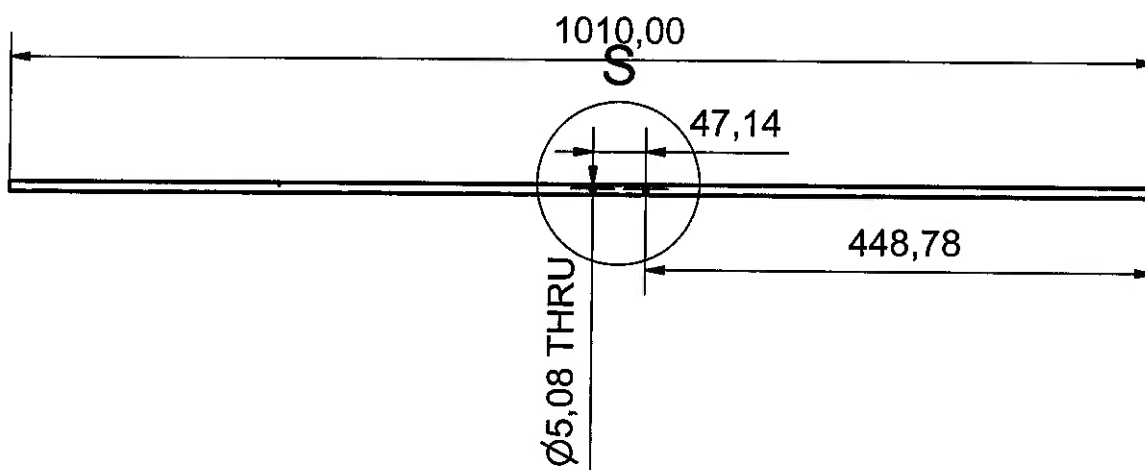
10/12/2004

Máquina para controle de amostras

Peça estrutura 7

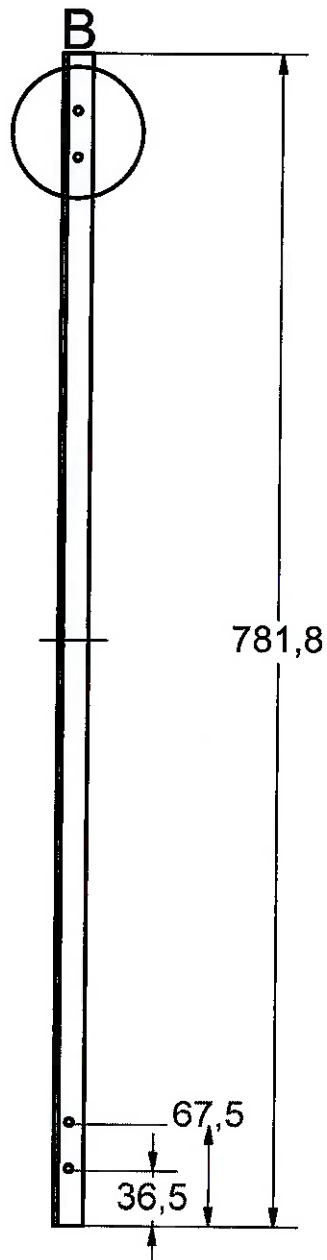
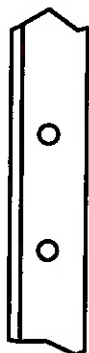
Cantoneira 10 x 20mm de aço  
espessura 2mm

3:20



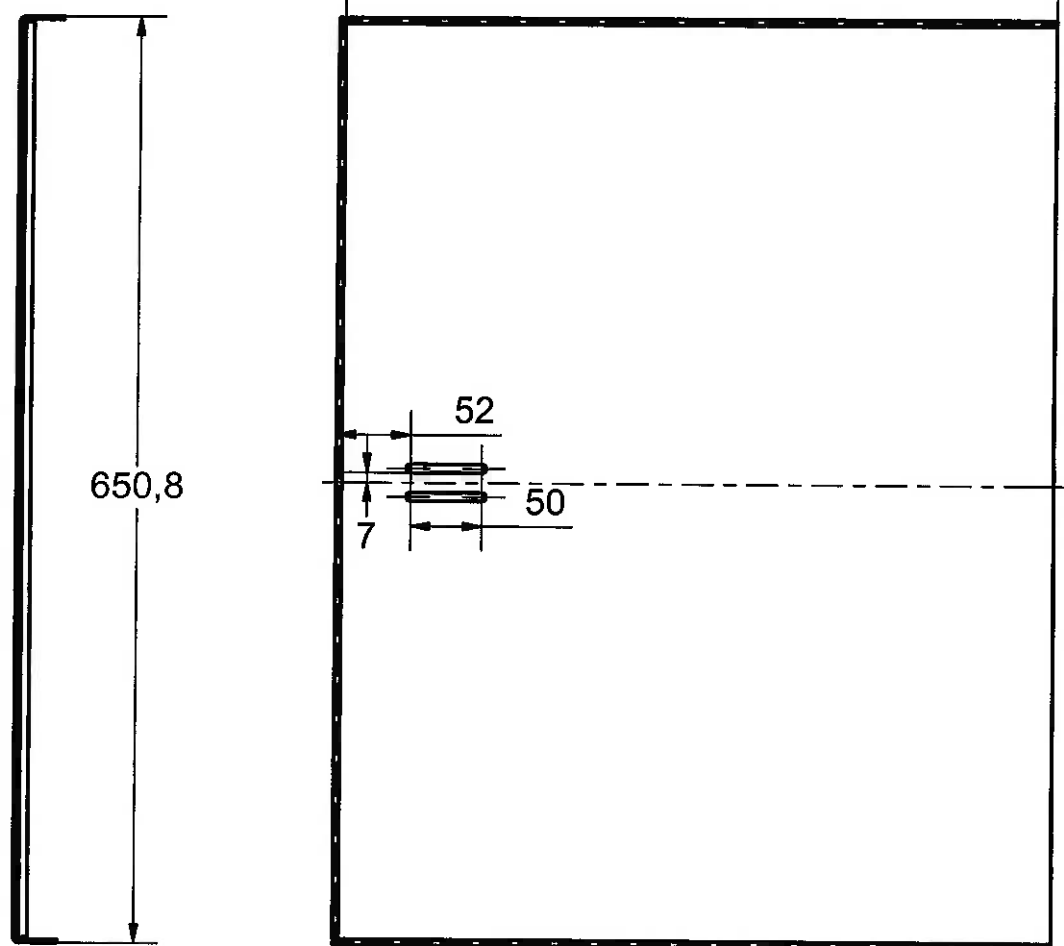
|                                   |                                           |            |
|-----------------------------------|-------------------------------------------|------------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                                           | 10/12/2004 |
| Máquina para controle de amostras | Peça estrutura 8                          |            |
|                                   | Cantoneira 10 x 20mm de aço espessura 2mm | 3:20       |

B ( 1 : 2 )

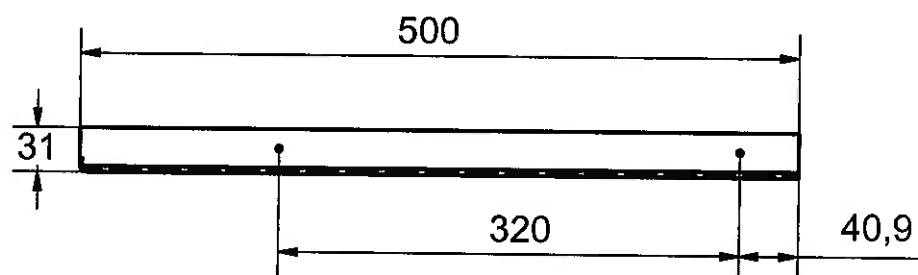


r

|                                   |                        |            |     |
|-----------------------------------|------------------------|------------|-----|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                        | 10/12/2004 |     |
| Máquina para controle de amostras | Sonda 2                |            |     |
|                                   | cantoneira aço 20x20mm |            | 1:5 |

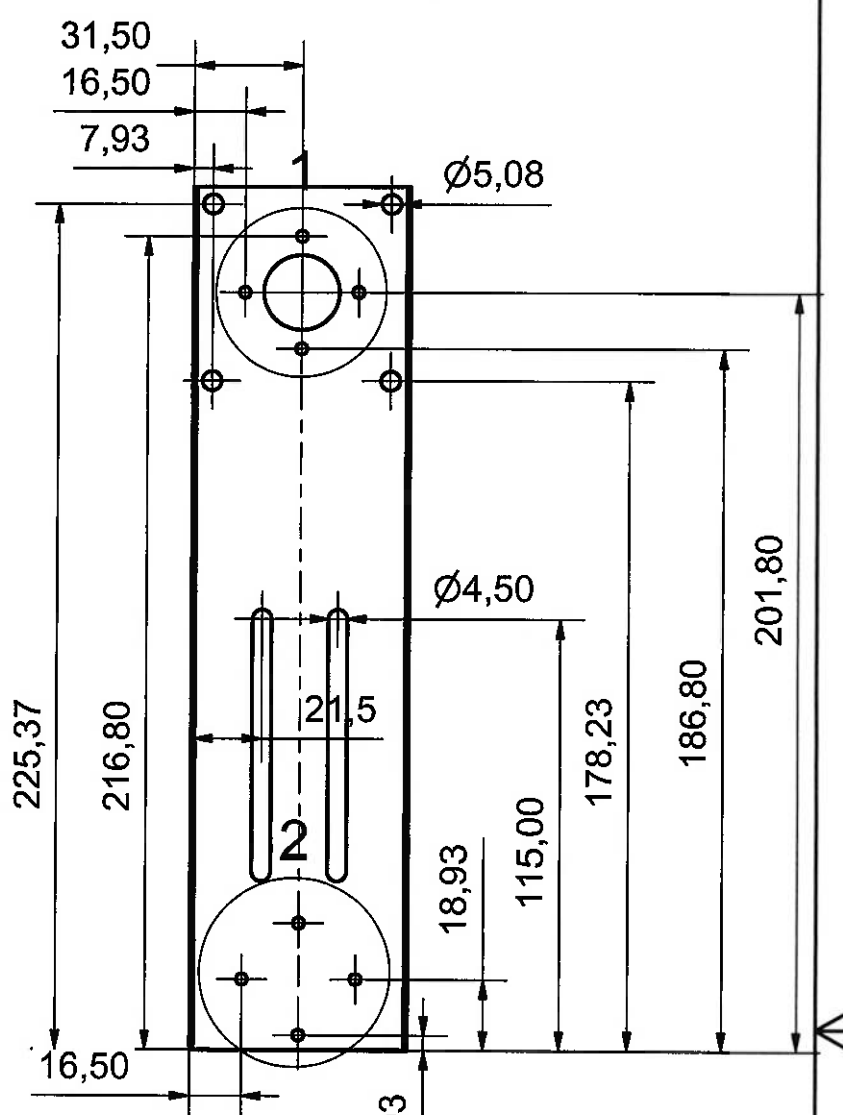


raio de dobras: 4mm

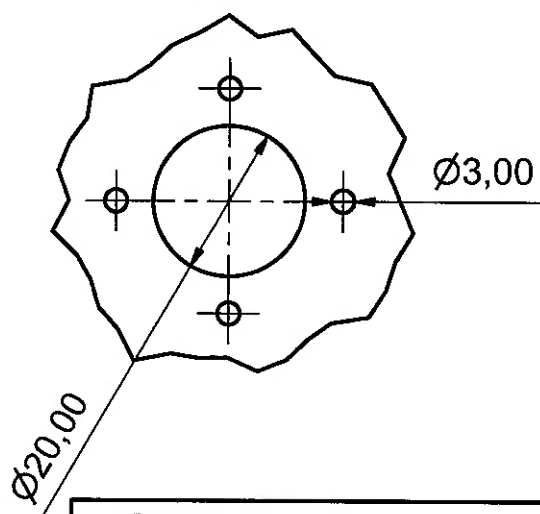


|                                   |             |            |     |
|-----------------------------------|-------------|------------|-----|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |             | 10/12/2004 |     |
| Máquina para controle de amostras | Plano-Móvel |            |     |
|                                   | aço esp.2mm |            | 1:5 |

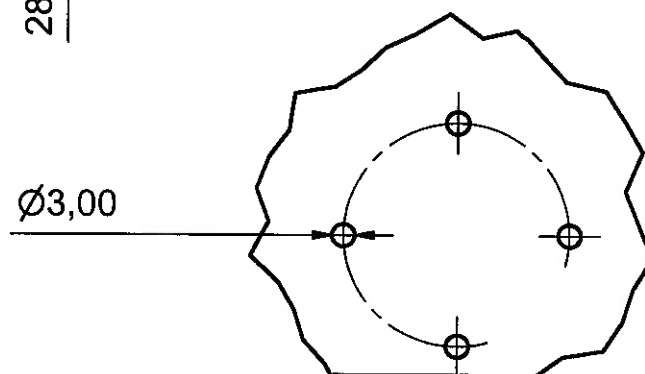
230,00



1 (1:1)



2 (1:1)



Edson Francisco Medeiros Silva

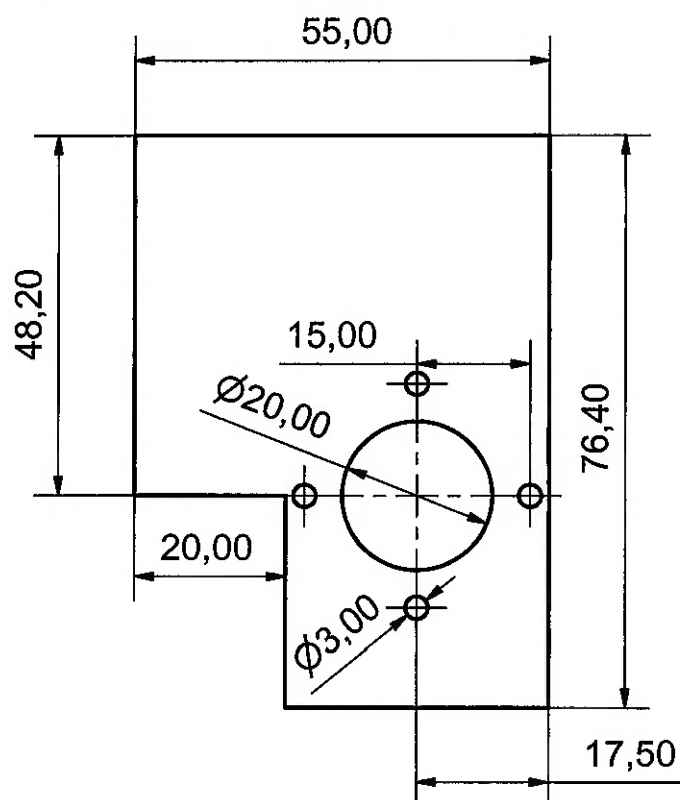
10/12/2004

Máquina para controle de amostras

Suporte Sonda

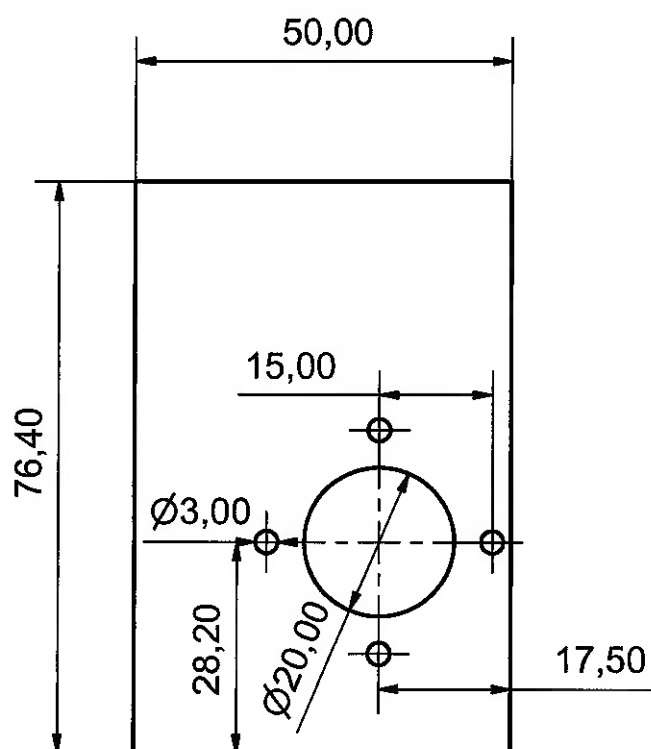
Alumínio 3mm

1:2



|                                   |                          |            |     |
|-----------------------------------|--------------------------|------------|-----|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                          | 10/12/2004 |     |
| Máquina para controle de amostras | Fixação cubo estrutura 1 |            |     |
|                                   | Aço                      |            | 1:1 |





Edson Francisco Medeiros Silva

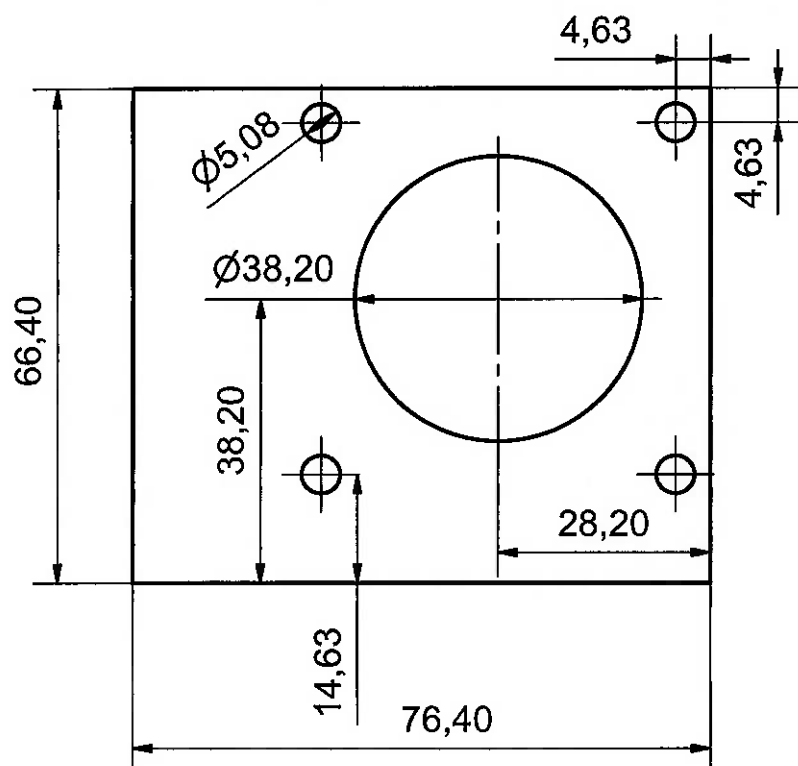
10/12/2004

Máquina para controle de amostras

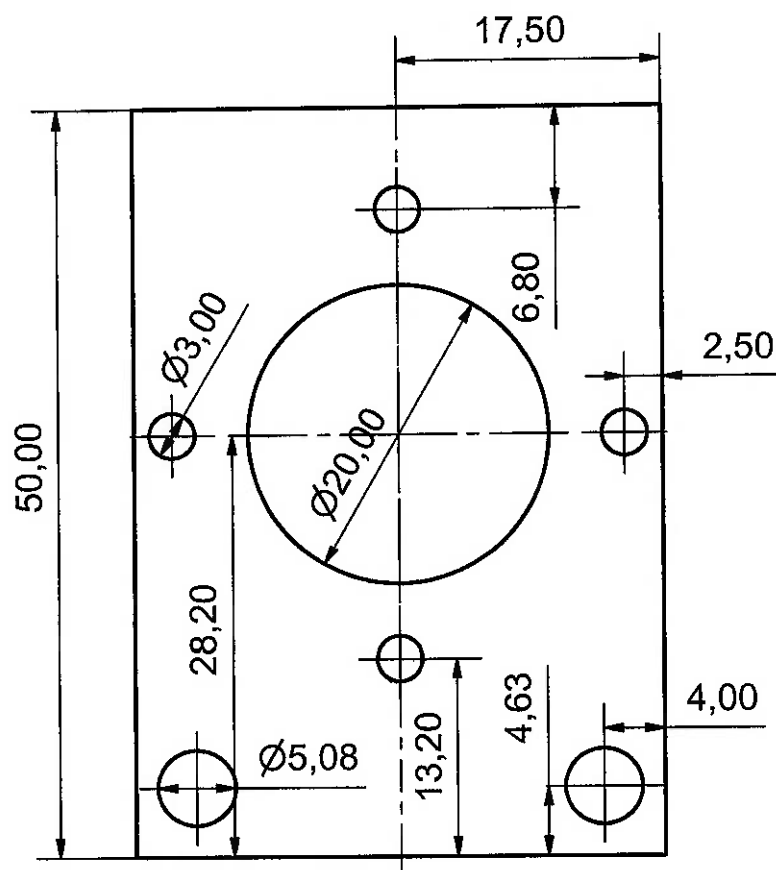
Fixação cubo-estrutura 2

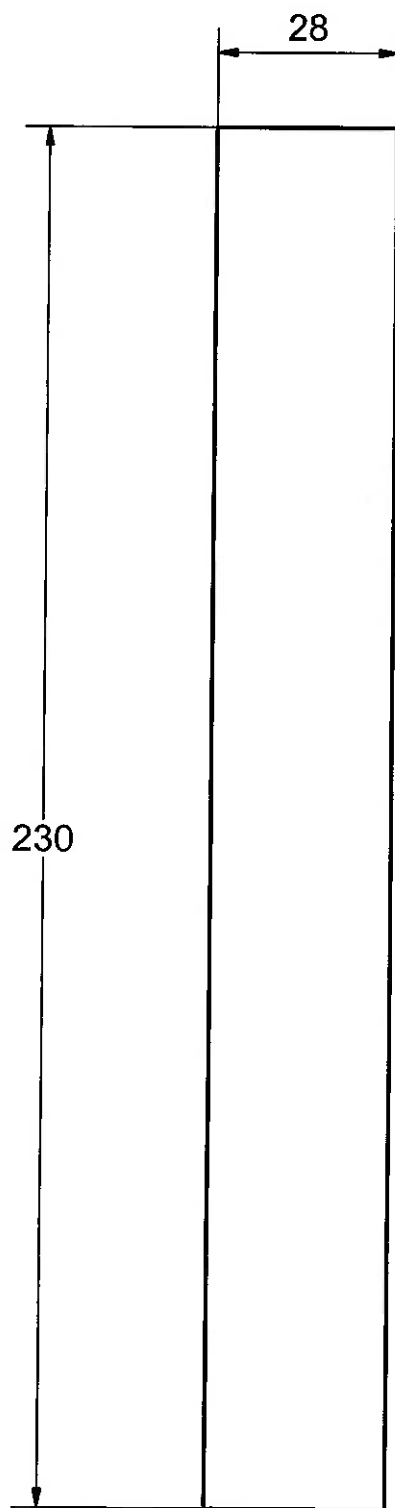
Aço

1:1



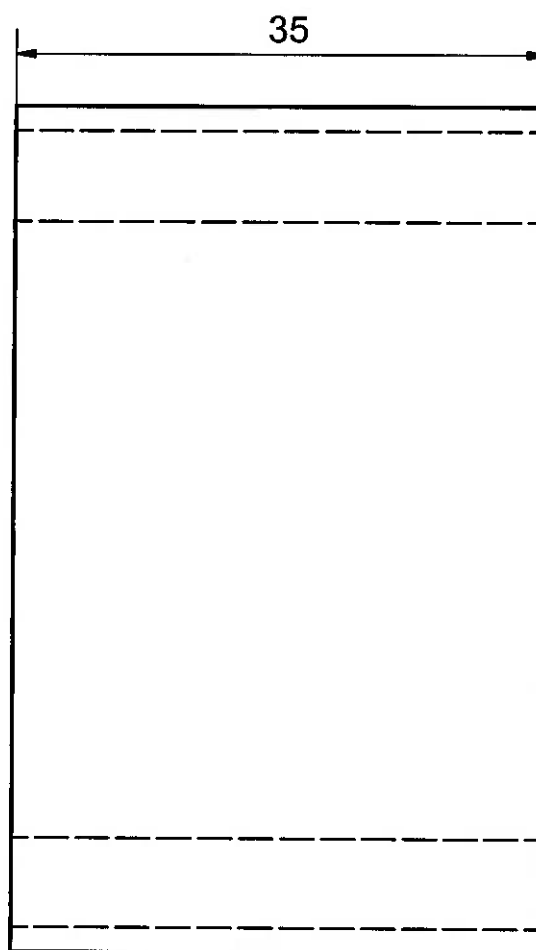
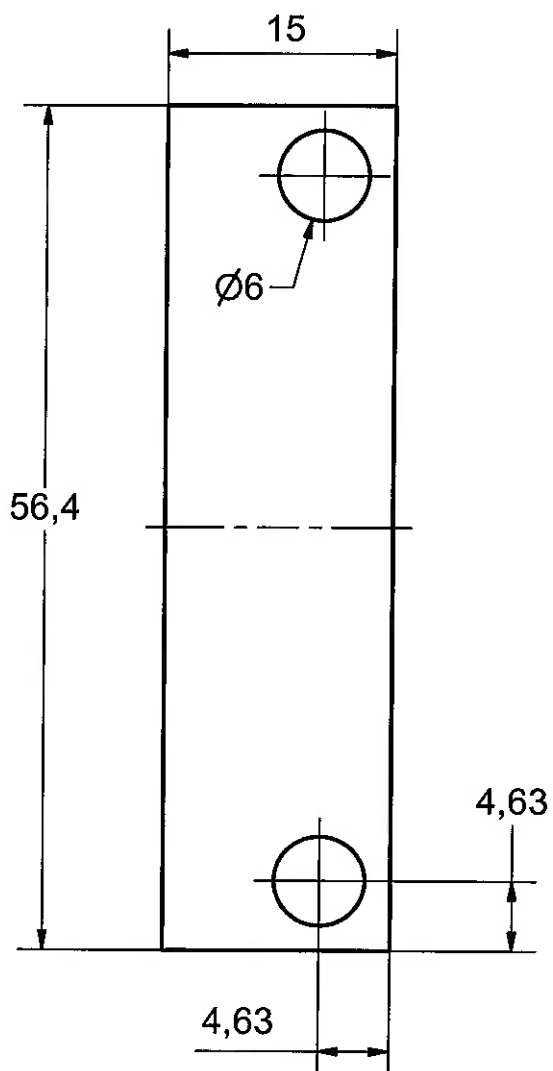
|                                   |                          |            |     |
|-----------------------------------|--------------------------|------------|-----|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                          | 10/12/2004 |     |
| Máquina para controle de amostras | Fixação cubo-estrutura 2 |            |     |
|                                   | Aço                      |            | 1:1 |



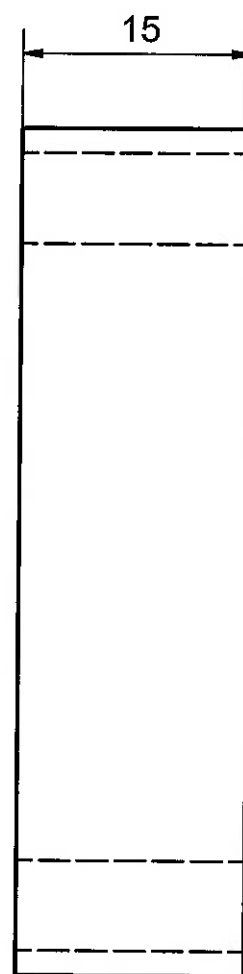
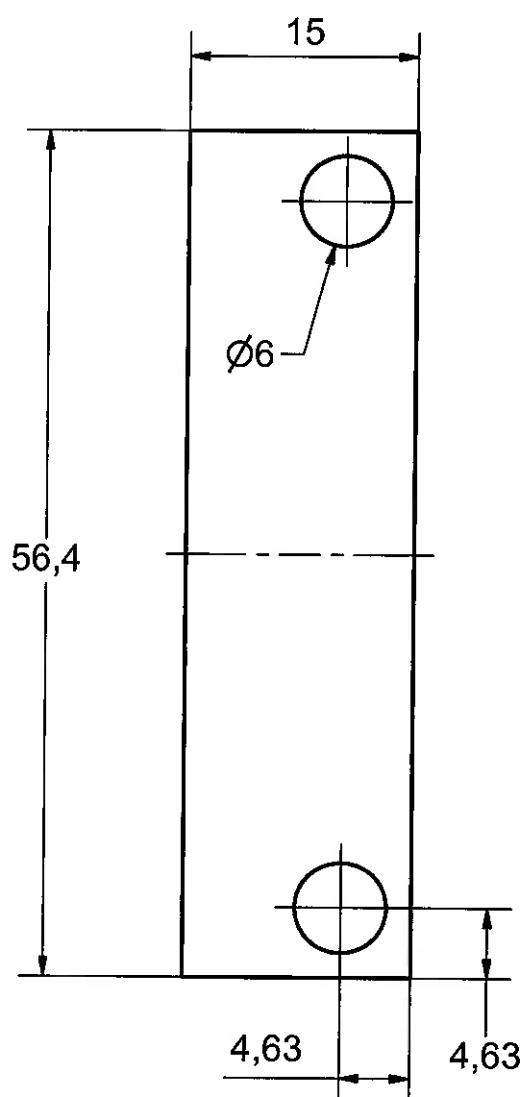


espessura: 1,3mm

|                                   |                      |            |     |
|-----------------------------------|----------------------|------------|-----|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                      | 10/12/2004 |     |
| Máquina para controle de amostras | Chapa Inox           |            |     |
|                                   | chapa aço inox 1,3mm |            | 1:5 |

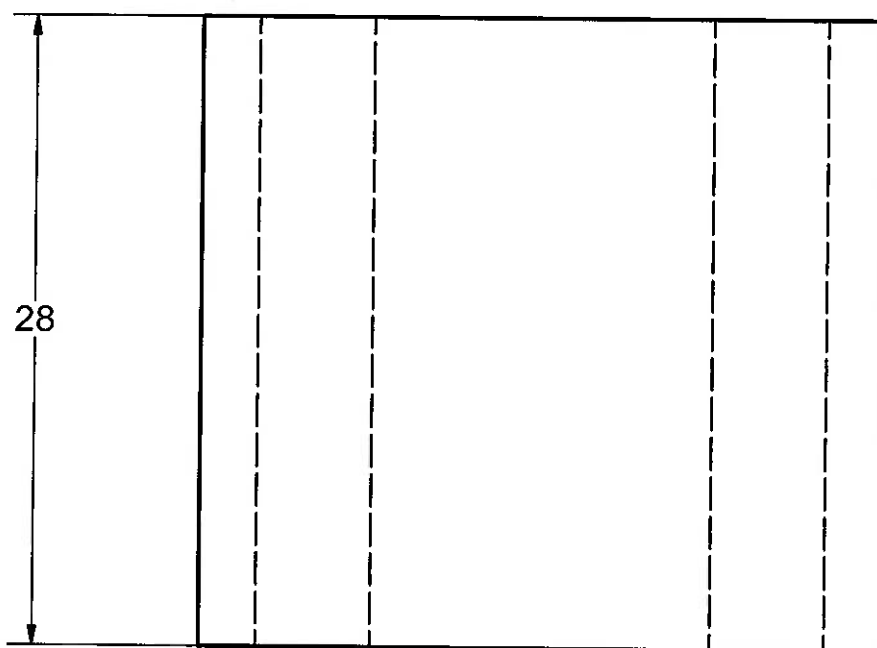
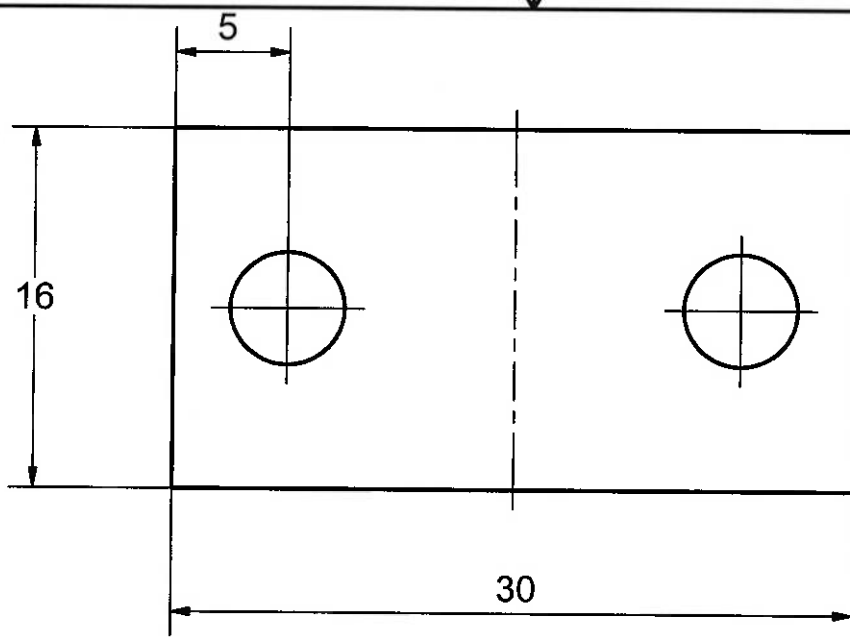


|                                   |           |            |       |
|-----------------------------------|-----------|------------|-------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |           | 10/12/2004 |       |
| Máquina para controle de amostras | Espaçador |            |       |
|                                   | Alumínio  |            | 1 : 1 |

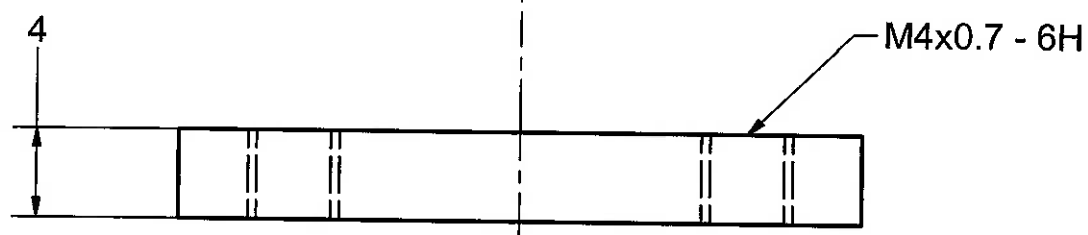
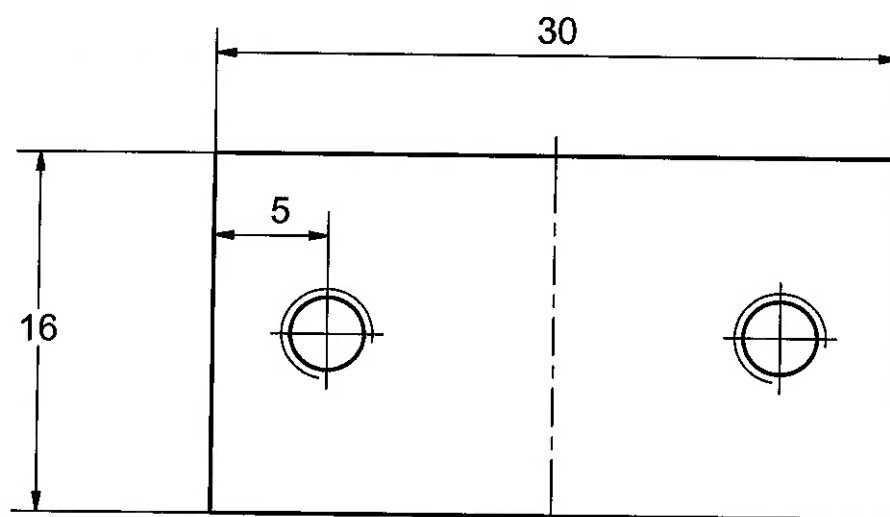


|                                   |            |            |       |
|-----------------------------------|------------|------------|-------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |            | 10/12/2004 |       |
| Máquina para controle de amostras | Espaçador2 |            |       |
|                                   | Alumínio   |            | 1 : 1 |

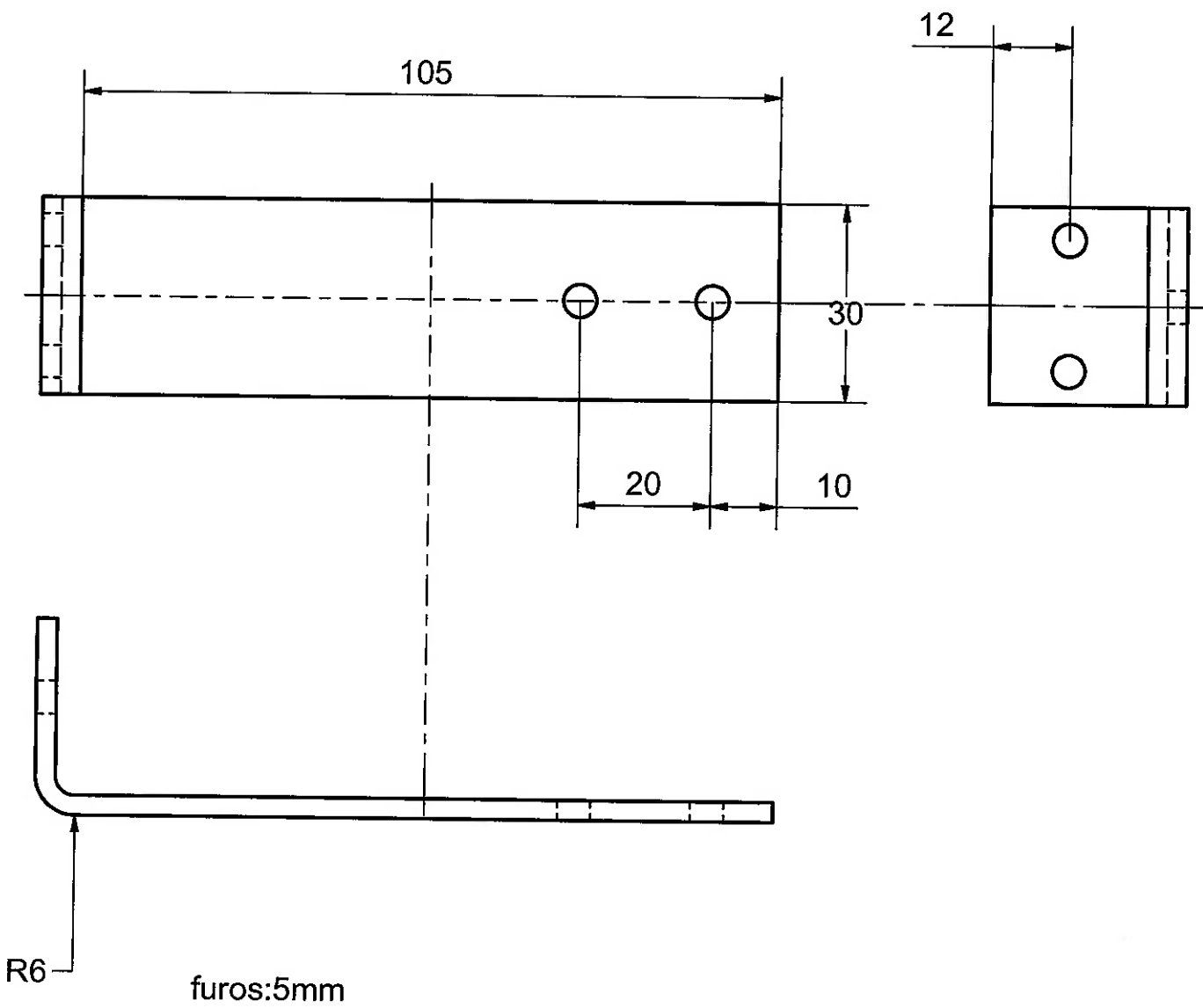




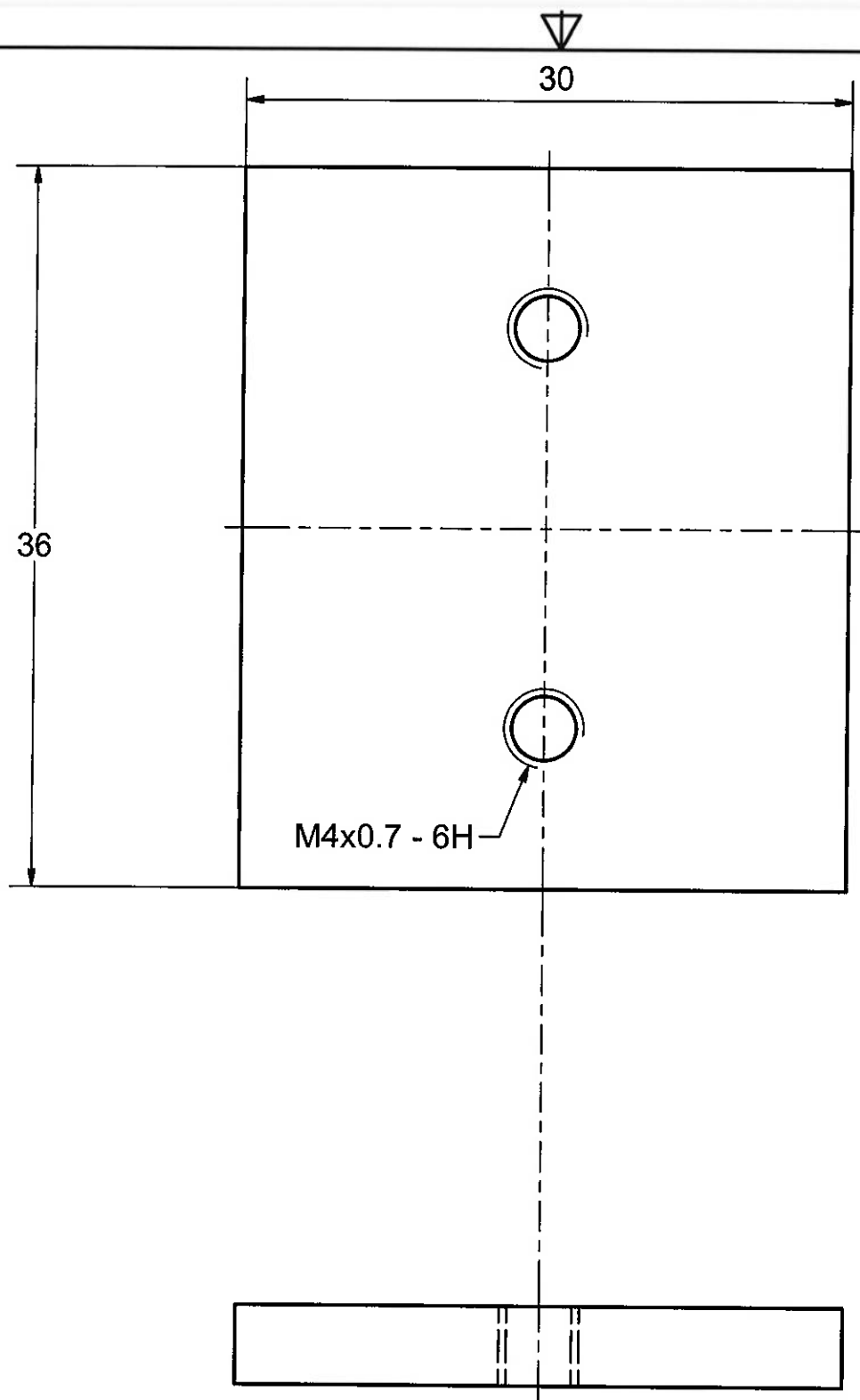
|                                   |                 |            |     |
|-----------------------------------|-----------------|------------|-----|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                 | 10/12/2004 |     |
| Máquina para controle de amostras | Prededor_plano1 |            |     |
|                                   | Alumínio        |            | 3:1 |



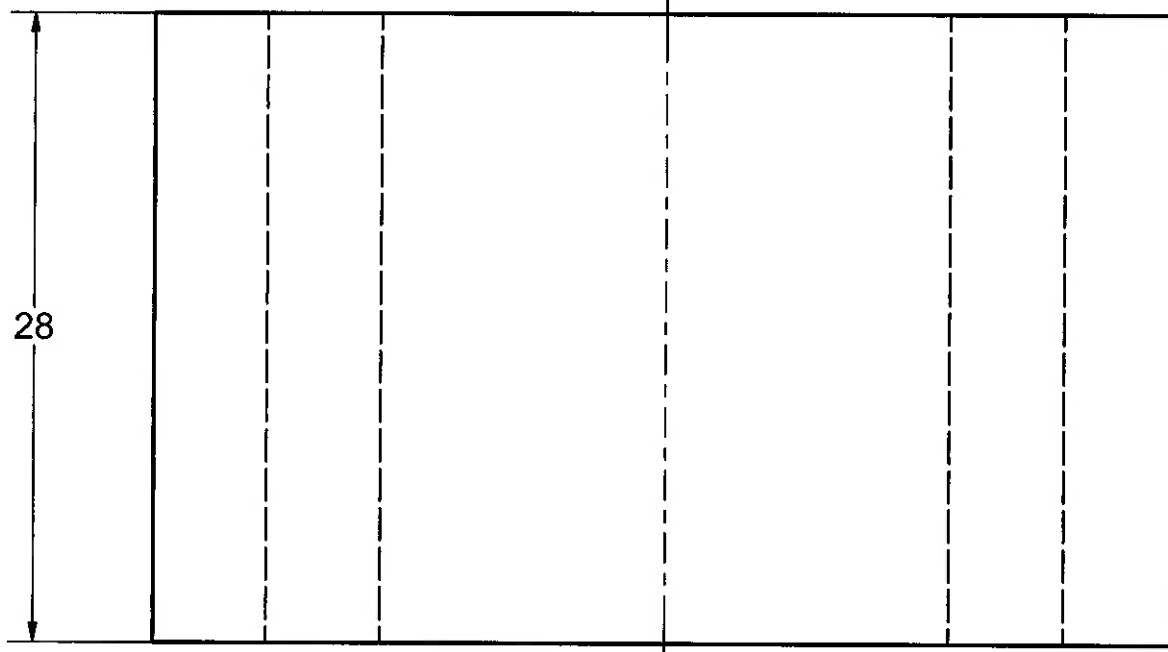
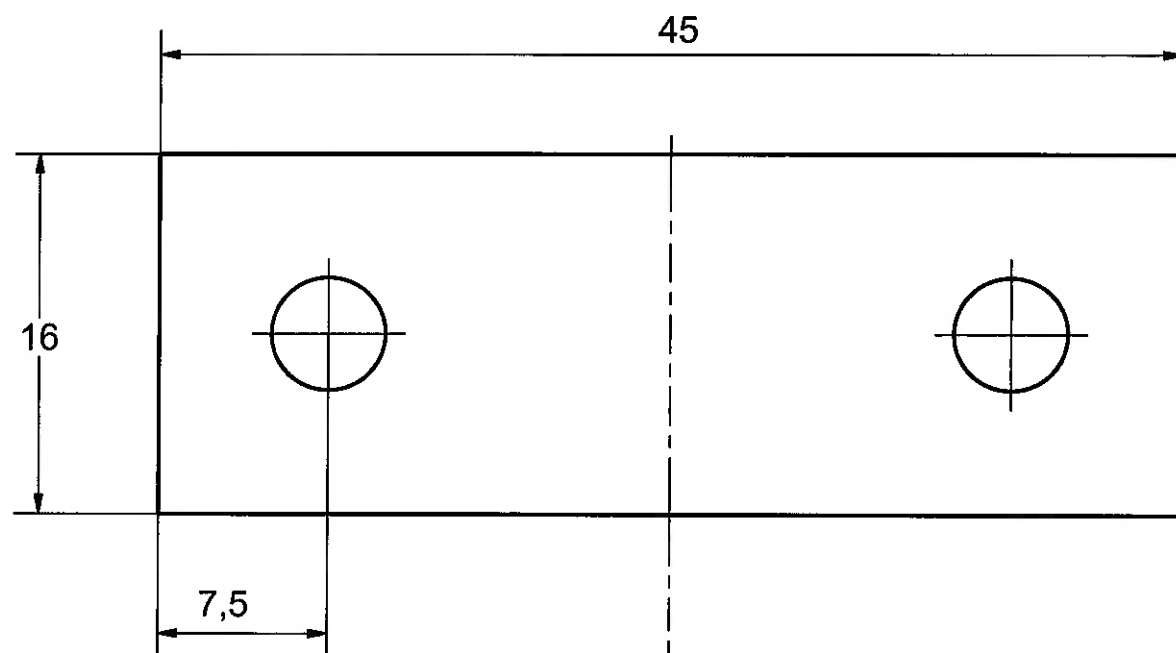
|                                   |                  |            |     |
|-----------------------------------|------------------|------------|-----|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                  | 10/12/2004 |     |
| Máquina para controle de amostras | Prendedor_plano2 |            |     |
|                                   | Alumínio         |            | 3:1 |



|                                   |                        |            |  |
|-----------------------------------|------------------------|------------|--|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                        | 10/12/2004 |  |
| Máquina para controle de amostras | prendedor horizontal 1 |            |  |
|                                   | chapa aço 3mm esp.     | 1:5        |  |



|                                   |  |                        |     |
|-----------------------------------|--|------------------------|-----|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |  | 10/12/2004             |     |
| Máquina para controle de amostras |  | Prendedor_horizontal 2 |     |
|                                   |  | chapa alumínio 4mm     | 1:5 |



|                                   |  |                   |     |
|-----------------------------------|--|-------------------|-----|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |  | 10/12/2004        |     |
| Máquina para controle de amostras |  | Prendedor sonda 1 |     |
|                                   |  | alumínio          | 3:1 |

45

16

7,5

M4x0.7 - 6H

4

Edson Francisco Medeiros Silva

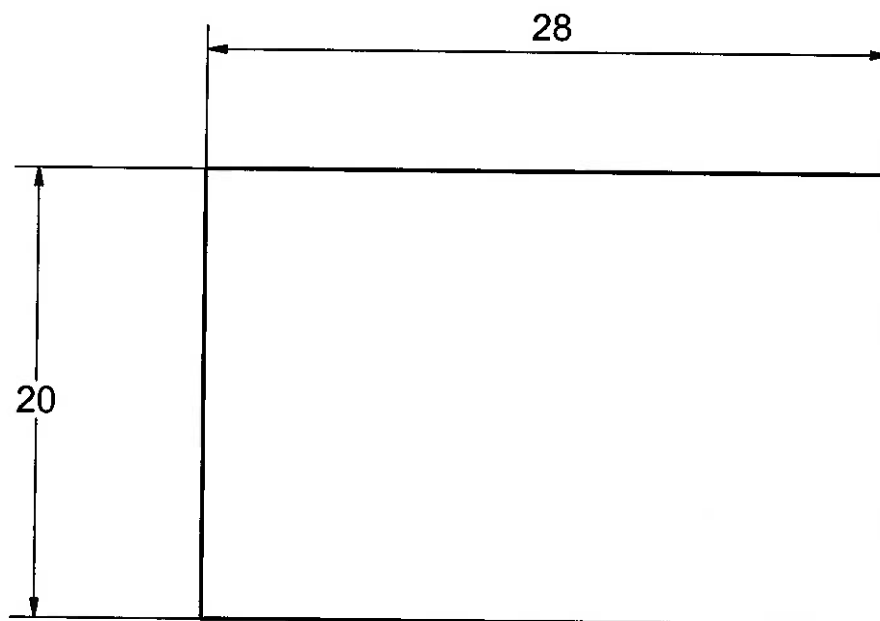
10/12/2004

Máquina para controle de amostras

Prendedor sonda 2

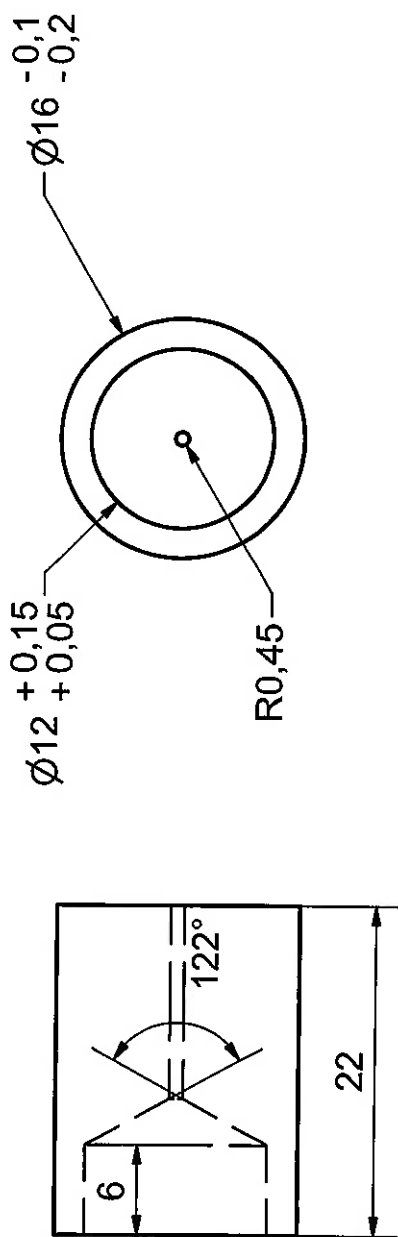
chapa Alumínio 4mm

3:1



espessura:6mm

|                                   |                   |            |     |
|-----------------------------------|-------------------|------------|-----|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                   | 10/12/2004 |     |
| Máquina para controle de amostras | tablete de náilon |            |     |
|                                   | náilon            |            | 3:1 |

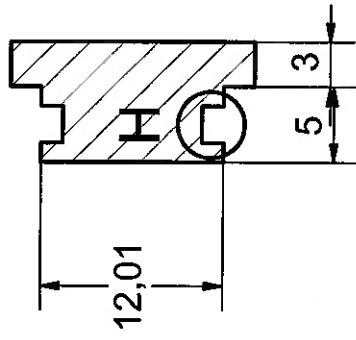


Tolerância geral:  $\pm 0,1$  mm

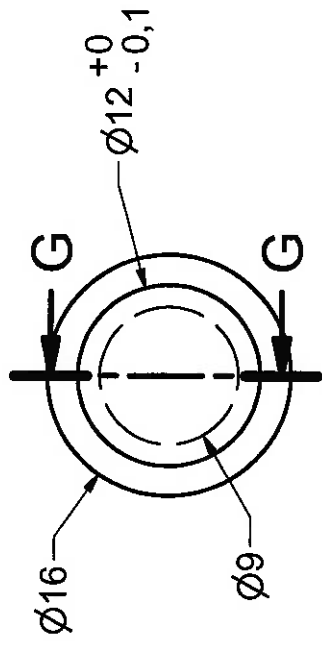
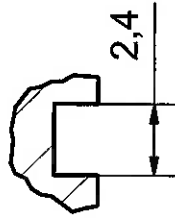
|                                   |  |              |
|-----------------------------------|--|--------------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |  | 20/04/2005   |
| Máquina para controle de amostras |  | Camara 1     |
|                                   |  | teflon (tfe) |
|                                   |  | 2:1          |



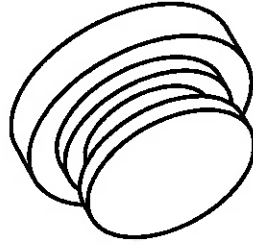
G-G ( 2 : 1 )



H ( 4 : 1 )

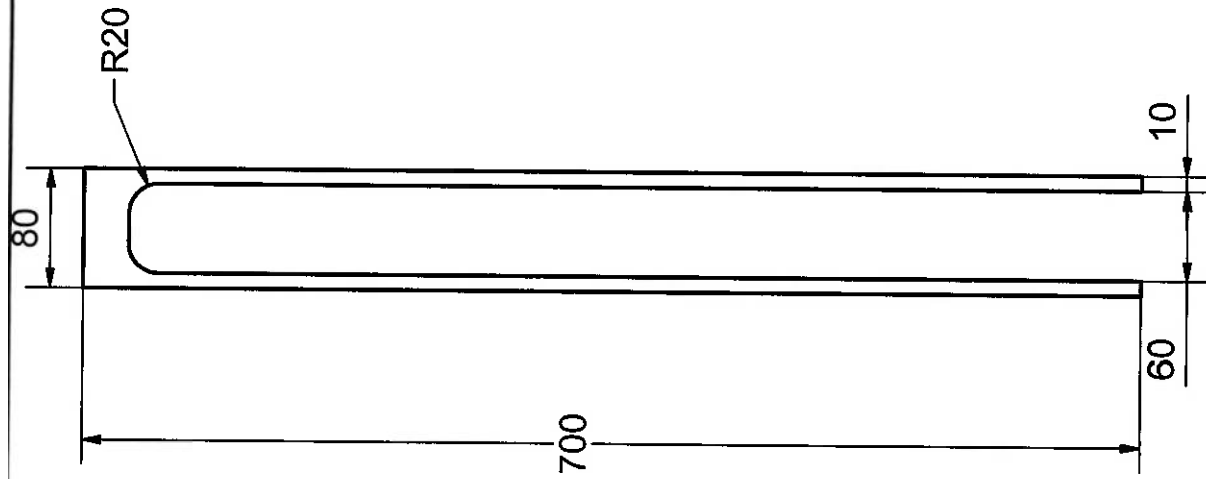
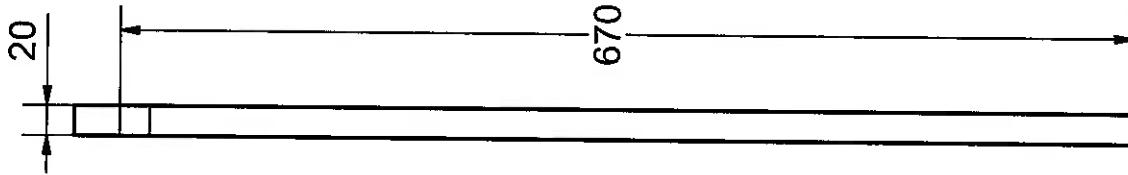


tolerância geral:  $\pm 0,1$  mm



|                                   |  |              |     |
|-----------------------------------|--|--------------|-----|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |  | 20/04/2005   |     |
| Máquina para controle de amostras |  | Camara 1     |     |
|                                   |  | teflon (tfe) |     |
|                                   |  |              | 2:1 |

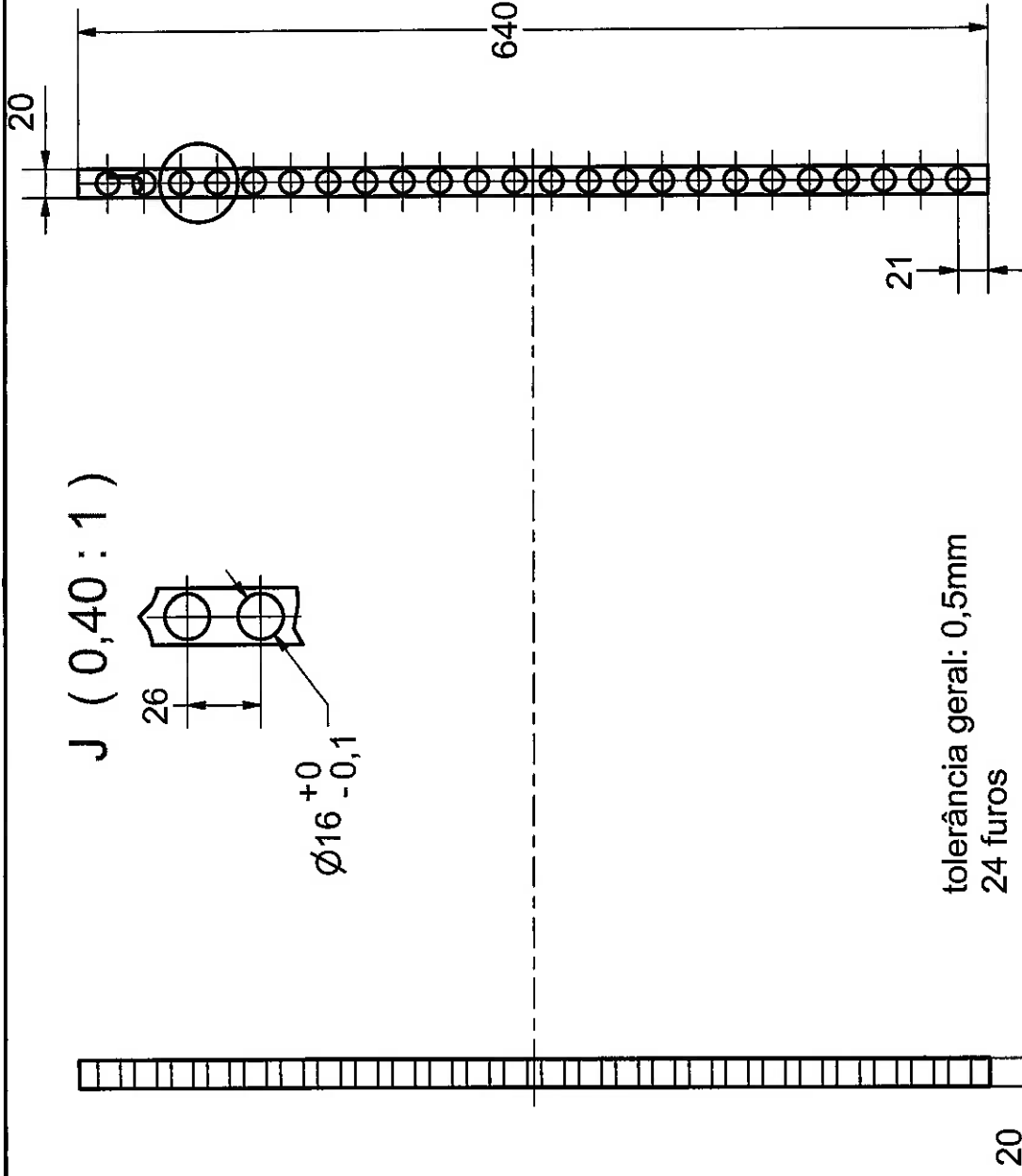
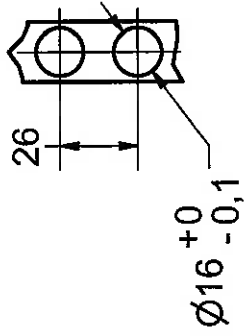




|                                   |                     |            |     |
|-----------------------------------|---------------------|------------|-----|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                     | 20/04/2005 |     |
| Máquina para controle de amostras | Trocador de calor 2 |            |     |
|                                   | chapa acrílico 20mm |            | 1:5 |
|                                   |                     |            |     |



J ( 0,40 : 1 )



tolerância geral: 0,5mm  
24 furos

20

Edson Francisco Medeiros Silva

20/04/2005

Máquina para controle de amostras

trocador de calor 3

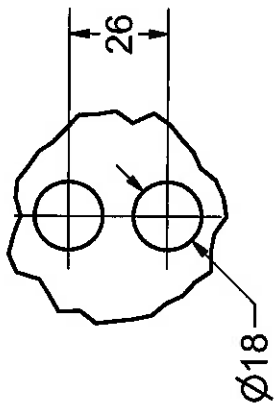
chapa acrílico 20mm

1:5

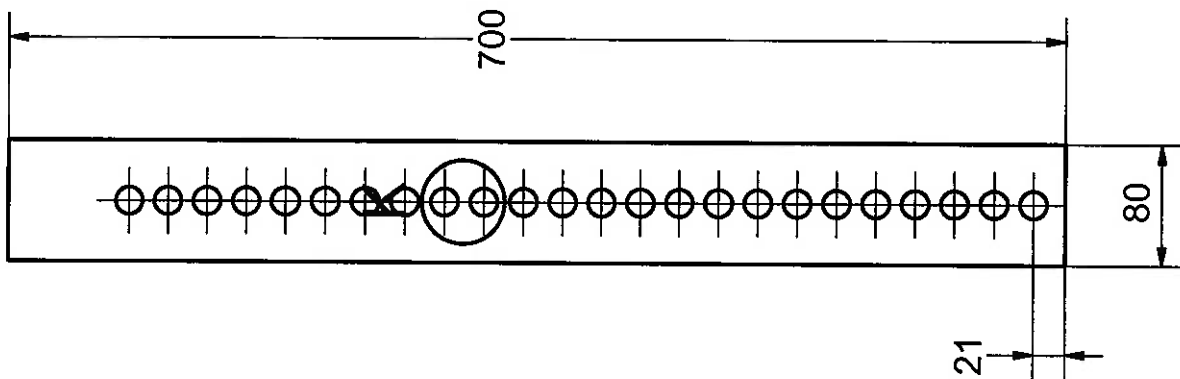


10

K ( 1 : 2 )



tolerância geral: 0,5mm



Edson Francisco Medeiros Silva

20/04/2005

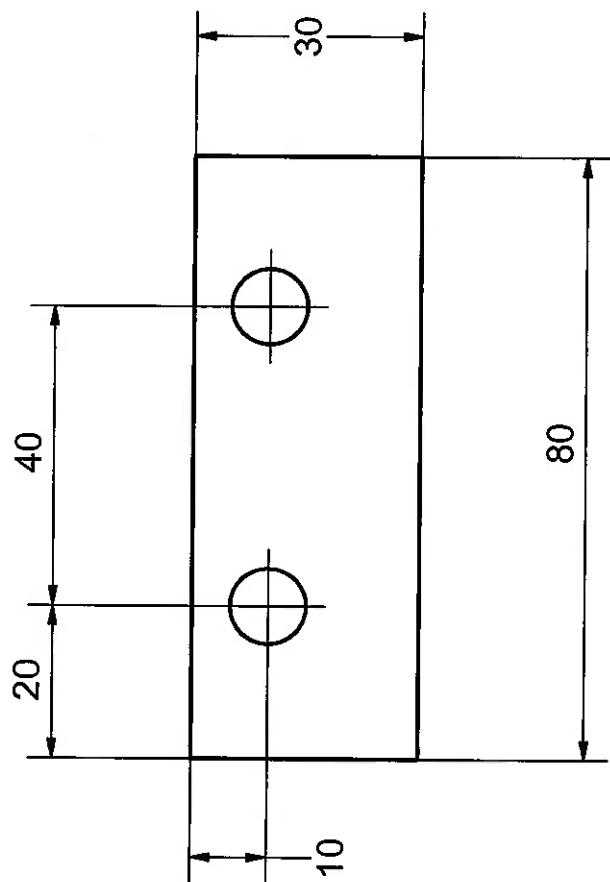
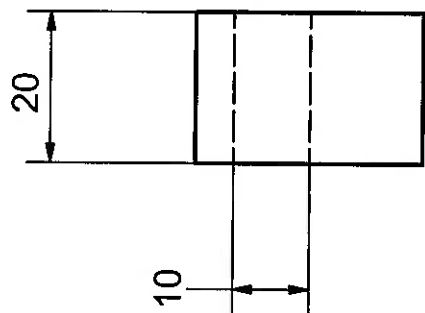
Máquina para controle de amostras

Trocador de calor 1

Chapa acrílico 10mm

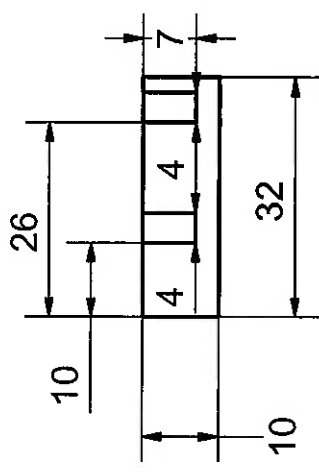
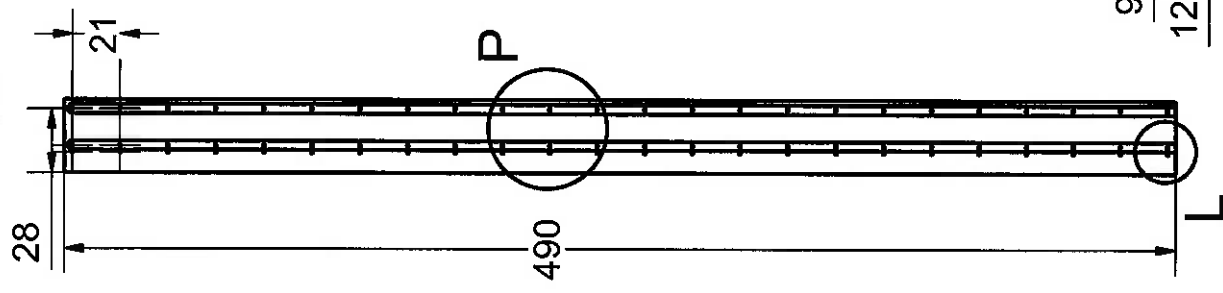
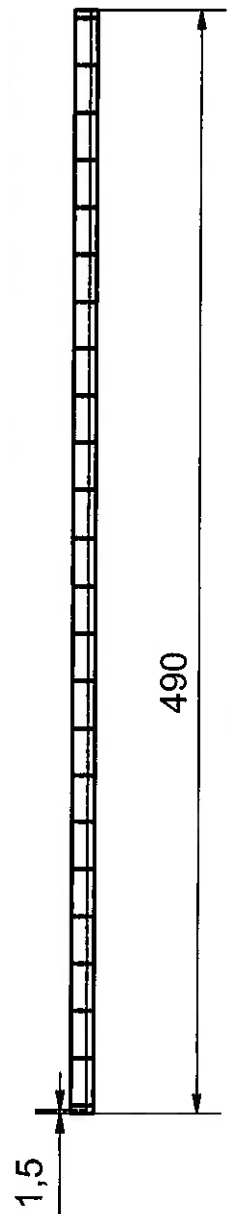
1:5





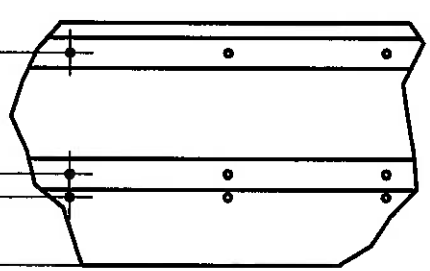
|                                   |  |                     |       |
|-----------------------------------|--|---------------------|-------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |  | 20/04/2005          |       |
| Máquina para controle de amostras |  | torçador de calor 4 |       |
|                                   |  | Acrílico            | 1 : 1 |



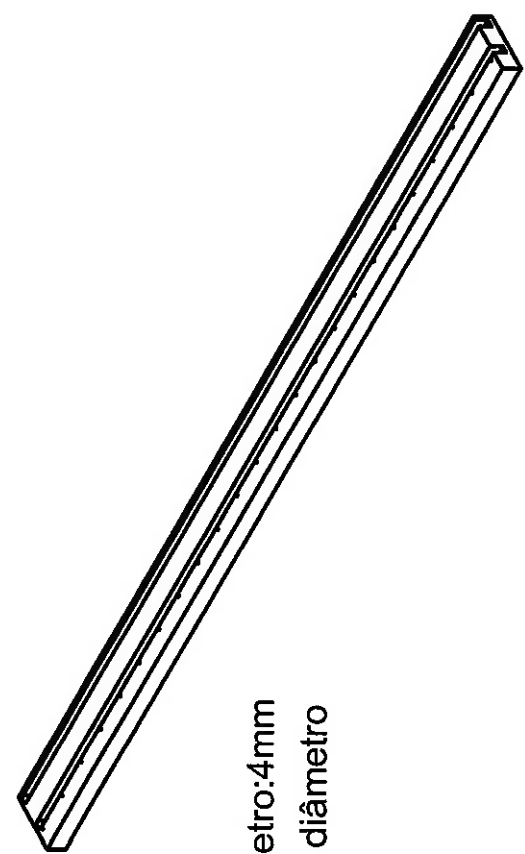
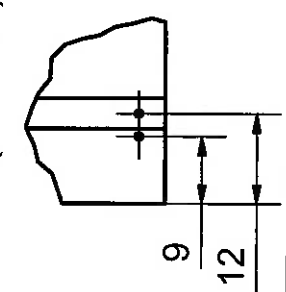


N ( 1 : 1 )

P ( 1 : 1 )

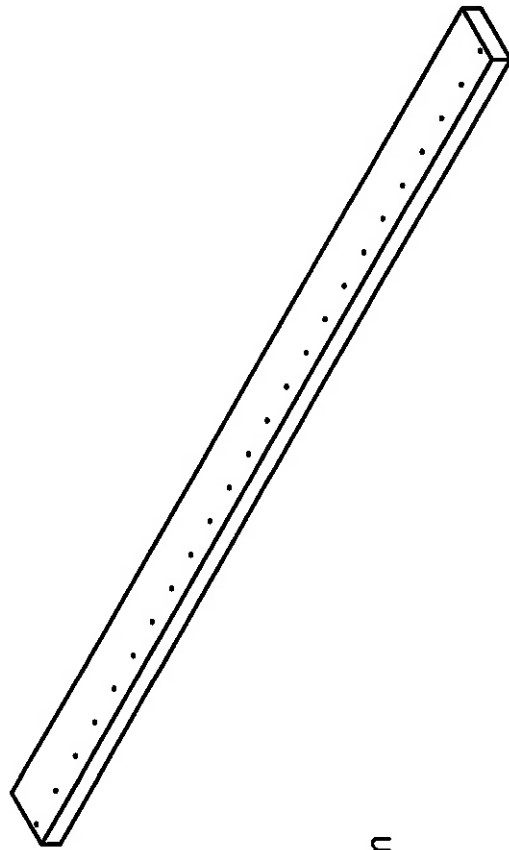
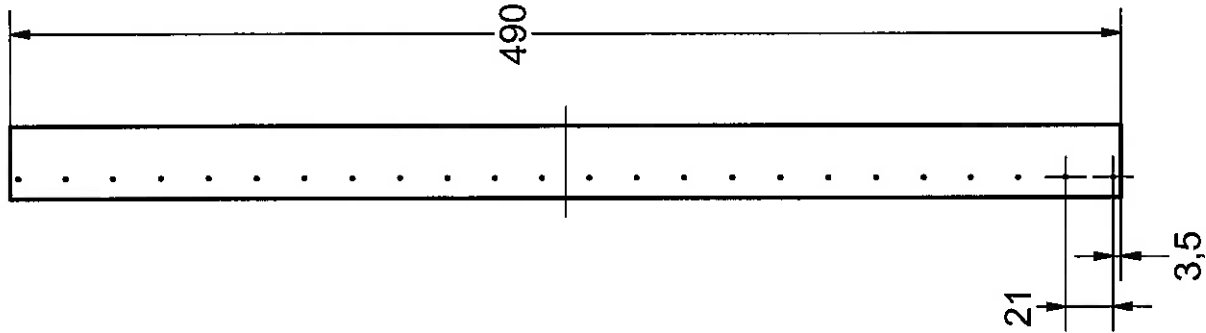
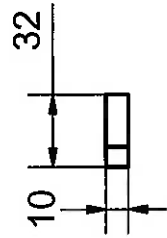


L ( 1 : 1 )



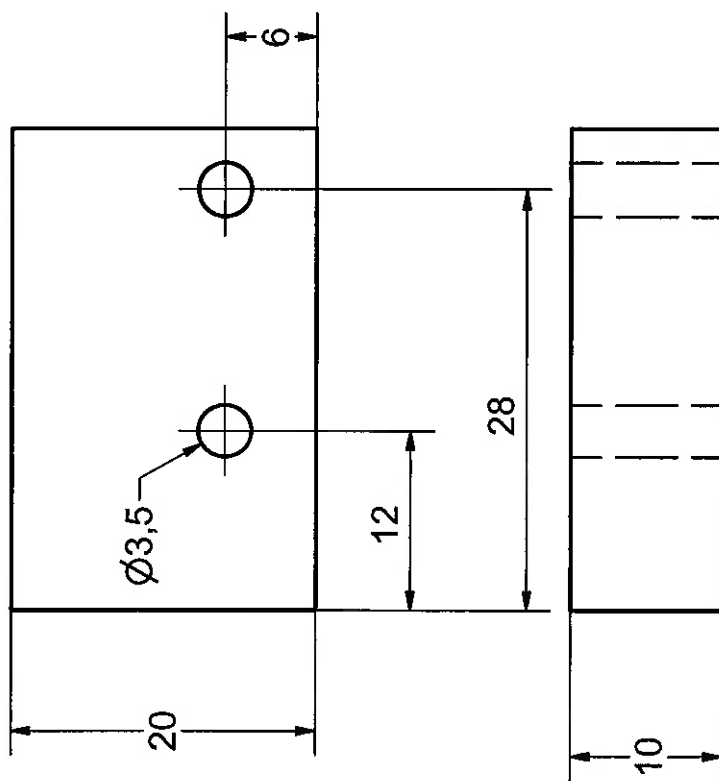
Utilizar fresa com diâmetro:4mm  
24 fileiras de furos com diâmetro  
igual a 0,9mm

|                                   |  |                  |      |
|-----------------------------------|--|------------------|------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |  | 20/04/2005       |      |
| Máquina para controle de amostras |  | Sonda 1-Acrílico |      |
|                                   |  | Acrílico         | 3:10 |



24 furos com diâmetro igual 0,9mm

|                                   |                 |            |
|-----------------------------------|-----------------|------------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    |                 | 20/04/2005 |
| Máquina para controle de amostras | Sonda2-acrílico |            |
|                                   | Acrílico        | 3:10       |



|                                   |                 |
|-----------------------------------|-----------------|
| Edson Francisco Medeiros Silva    | 20/04/2005      |
| Máquina para controle de amostras | Sonda3-acrílico |
|                                   | Acrílico 2:1    |

## 8 Anexo 2: Código Fonte de Programação (Comentado)

```
#class auto
#define DISABLE      0
#define ENABLE       1
#define HIGH         0
#define LOW          1
#define PASSO_RAD    (2*PI/400)

//Estágios de funcionamento
#define Início        1
#define Lavagem       2
#define Experiência   3
#define fim           4

//Variáveis de funcionamento
#define N_passos1     2100
#define N_passos2     420

#define N_passos3     630
#define horário       1
#define anti_horário  0
#define trava         1
#define destrava      0
#define período       5

//variáveis de experimento
#define ordem2        6
#define TempoPmóvel   20 //segundos
#define TempoLavagem  10 //segundos

CoData Partida1;
```

```
CoData Partida2;  
CoData Partida3;  
CoData Final1;  
CoData Final2;  
CoData Final3;  
CoData planomóvel;  
CoData horizontal2;  
CoData vertical2;  
CoData Termina_Experiência;
```

```
main() {  
    static int m1 ,r1,k1,kf1, m2, r2,k2,kf2,lav2, m3, r3, k3,kf3,lav3;  
    static int estágio, emergência, acionamento, status_horizontal, status_vertical;  
    int experimento, p2, sentido_vertical, pd4;  
  
    //declaração dos dados módulo 2 (posições dos frascos e tempos em segundos)  
  
    static int tempo[ordem2];  
    static int frasco[ordem2];  
  
    tempo[0]=10;  
    tempo[1]=5;  
    tempo[2]=20;  
    tempo[3]=15;  
    tempo[4]=1;  
    tempo[5]=2;  
    frasco[0]=0;  
    frasco[1]=2;  
    frasco[2]=1;  
    frasco[3]=3;  
    frasco[4]=5;  
    frasco[5]=4;  
    //Variáveis de Programa  
    m1=r1=k1=kf1=m2=r2=k2=kf2=m3=r3=k3=kf3=estágio=0;  
    lav3=N_passos3;  
    lav2=0;
```

```

    WrPortI(SPCR,&SPCRShadow,0x84); //Seleciona porta A (LED's) como saida
    WrPortI(PADR,&PADRShadow,0xff);      //Desliga todos os LED's

// Porta D - acionamento motores de passo
    WrPortI(PDFR, &PDFRShadow, 0x00);    // Desabilita D como porta serial
    WrPortI(PDDDR, &PDDDRShadow, 0xff);   // Habilita porta D como saida

while (1){
    //Ler o botão de início
    costate Botão1 always_on{
        if (estágio==0)
            if (BitRdPortI(PBDR, 2))
                abort;                                //ler botão 1 início
                waitfor(DelayMs(50));                  // debounce

                if(BitRdPortI(PBDR,2))
                    abort;                                // debounce
                estágio = Início;
                acionamento = ENABLE;
                experimento = Início;
            } // fim do costate

if(estágio == Início && acionamento == ENABLE){

    costate Partida1 always_on{
        BitWrPortI(PDDDR, &PDDDRShadow,acionamento , 0);
        if (r1 == 0){

            if (m1 == 0){                                //Geração de Pulsos para rodar o motor
                costate{
                    BitWrPortI(PDDDR, &PDDDRShadow,acionamento , 0);
                    BitWrPortI(PDDDR, &PDDDRShadow, horário, 2);
                }
            }
        }
    }
}

```

```

    BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 1, 0);
    BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 1, 3);
    waitfor(DelayMs(período));
    BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 0, 0);
    BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 0, 3);
    waitfor(DelayMs(período));
}
costate{
    if (BitRdPortI(PBDR, 3))
        abort; //ler botão 2 Emergência
        waitfor(DelayMs(50)); // debounce
        if(BitRdPortI(PBDR,3))
            abort; // debounce
        BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow,DISABLE , 0);
        acionamento = DISABLE;
} //esmergência
costate{
    if (BitRdPortI(PBDR, 0))
        abort; //Chave de fim de curso
        waitfor(DelayMs(50)); // debounce

        if(BitRdPortI(PBDR,0))
            abort; // debounce
        m1 = 1;
} //chave de fim de curso
} //movimento
if( m1 == 1){
    BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, anti_horário, 2);
    while (k1 < N_passos1){
        costate{
            BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow,acionamento , 0);
            BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 1, 0);
            BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 1, 3);
            waitfor(DelayMs(período));
            BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 0, 3);
            BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 0, 0);

```

```

        waitfor(DelayMs(período));
        k1++;
    }//costate
    costate{
        if (BitRdPortI(PBDR, 3))
            abort;                                //ler botão 2 Emergência
        waitfor(DelayMs(50));                      // debounce
        if(BitRdPortI(PBDR,3))
            abort;                                // debounce
        BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow,DISABLE , 0);
        acionamento = DISABLE;
    }                                              //esmergência
    }//while
    }//if( m1 == 1 && r1 == 0)
    if(k1==N_passos1)
        r1=1;
    }//r1==0
    }//Partida1

costate Partida2 always_on{
    if (r2 == 0 && r3 == 1){

        if (m2 == 0){
            costate{
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow,acionamento , 0);
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, horário, 4);
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 1, 5);
                BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 1, 1);
                waitfor(DelayMs(período));
                BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 0, 1);
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 0, 5);
                waitfor(DelayMs(período));
            }
            costate{
                if (BitRdPortI(PBDR, 3))
                    abort;                        //ler botão 2 Emergência

```

```

        waitfor(DelayMs(50));          // debounce
        if(BitRdPortI(PBDR,3))
            abort;                      // debounce
        acionamento = DISABLE;
    }//esmergência
    costate{
        if (BitRdPortI(PBDR, 1))
            abort;                      //Chave de fim de curso
            waitfor(DelayMs(50));      // debounce

            if(BitRdPortI(PBDR,1))
                abort;                  // debounce
                m2 = 1;
                }//chave de fim de curso
        }//movimento
    if( m2 == 1){

while (k2 < N_passos2){
    costate{
        BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, anti_horário, 4);
        BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, acionamento , 0);
        BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 1, 5);
        BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 1, 1);
        waitfor(DelayMs(período));
        BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 0, 1);
        BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 0, 5);
        waitfor(DelayMs(período));
        k2++;
    }//costate
    costate{
        if (BitRdPortI(PBDR, 3))
            abort;                      //ler botão 2 Emergência
            waitfor(DelayMs(50));      // debounce
        if(BitRdPortI(PBDR,3))
            abort;                      // debounce
        BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow,DISABLE , 0);
    }
}
}

```

```

        acionamento = DISABLE;
    } //while //esmergência
} //while
} //if( m1 == 1 && r1 == 0)
if(k2==N_passos2)
    r2=1;
} //r2==0
} //Partida2

costate Partida3 always_on{
    if (r3 == 0){

        if (m3 == 0){
            costate{
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, acionamento , 0);
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, horário, 6);
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 1, 7);
                BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 1, 2);
                waitfor(DelayMs(período));
                BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 0, 2);
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 0, 7);
                waitfor(DelayMs(período));
            }
            costate{
                if (BitRdPortI(PBDR, 3))
                    abort; //ler botão 2 Emergência
                    waitfor(DelayMs(50)); // debounce
                    if(BitRdPortI(PBDR,3))
                        abort; // debounce

                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow,DISABLE , 0);
                acionamento = DISABLE;
            } //esmergência
        }
        costate{
            if (BitRdPortI(PCDR, 1))
                abort; //Chave de fim de curso
                waitfor(DelayMs(50)); // debounce
        }
    }
}

```

```

        if(BitRdPortI(PCDR,1))
            abort;                                // debounce
        m3 = 1;
    }//chave de fim de curso
} //movimento
if( m3 == 1){
    BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow,acionamento , 0);

    while (k3 < N_passos3){
        costate{
            BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow,acionamento , 0);
            BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, anti_horário, 6);
            BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 1, 7);
            BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 1, 2);
            waitfor(DelayMs(período));
            BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 0, 2);
            BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 0, 7);
            waitfor(DelayMs(período));
            k3++;
        } //costate
        costate{
            if (BitRdPortI(PBDR, 3))
                abort;                                //ler botão 2 Emergência
                waitfor(DelayMs(50));                // debounce
                if(BitRdPortI(PBDR,3))
                    abort;                                // debounce
            BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow,DISABLE , 0);
            acionamento = DISABLE;
        } //esmergência
    } //while
} //if( m3 == 1 && r3 == 0)
if(k3==N_passos3)
    r3=1;
    } //r3==0
} //Partida3

```

```

        if(r1==1 && r2==1 && r3==1)
estágio=Lavagem;
} //Início

if(estágio == Lavagem && acionamento == ENABLE){
    BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow,ENABLE , 0);
    //movimento horizontal

    k3=0;
    while(estágio == Lavagem){
        costate{

            while(k3<lav3){
                costate{
                    BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, horário, 6);
                    BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow,acionamento , 0);
                    BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, 1, 7);
                    BitWrPortl(PADR, &PADRShadow, 1, 2);
                    waitfor(DelayMs(período));
                    BitWrPortl(PADR, &PADRShadow, 0, 2);
                    BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, 0, 7);
                    waitfor(DelayMs(período));
                    k3++;
                } //costate
                costate{
                    if (BitRdPortl(PBDR, 3))
                        abort; //ler botão 2 Emergência
                    waitfor(DelayMs(50)); // debounce
                    if(BitRdPortl(PBDR,3))
                        abort; // debounce
                    BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow,DISABLE , 0);
                    acionamento = DISABLE;
                } //esmergência
            } //while(k3<lav3)
        }
    }
}

```

```

    }//costate
    costate{
        if(k3==lav3){
            waitfor(DelaySec(TempoLavagem));
            estágio =Experiência;
        }
    }//costate
} //while(estádio==Lavagem)
} //lavagem
if(estádio == Experiência && acionamento == ENABLE){
    status_horizontal=trava;
    status_vertical=destrava;
    p2=0;
    k3=N_passos3;
    k1=0;
    sentido_vertical=horário;

    while(estádio == Experiência && acionamento==ENABLE){

        costate planomóvel always_on{
            if(k1<(N_passos1/16)){
                BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, acionamento , 0);
                BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, horário, 2);
                BitWrPortl(PADR, &PADRShadow, 1, 0);
                BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, 1, 3);
                waitfor(DelayMs(período));
                BitWrPortl(PADR, &PADRShadow, 0, 0);
                BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, 0, 3);
                waitfor(DelayMs(período));
                k1++;
            } // if(k1<(N_passos1/23))
            if(k1==131){
                waitfor(DelaySec(TempoPmóvel));
                k1=0;
            } //if(k1==(Npassos1/23))
        }
    }
}

```

```
    }//costate
```

```
costate horizontal2 always_on{
```

```
    if(p2!=ordem2-1){
```

```
        if(status_horizontal==destrava){
```

```
            if(p2<ordem2&& k2<(abs(frasco[p2+1]-frasco[p2]))*N_passos2/(ordem2-1)){
```

```
                //atrás
```

```
                if(frasco[p2+1]-frasco[p2]> 0){
```

```
                    BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow,acionamento , 0);
```

```
                    pd4=horário;
```

```
                    BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow,horário, 4);
```

```
                        BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, 1, 5);
```

```
                        BitWrPortl(PADR, &PADRShadow, 1, 1);
```

```
                    waitfor(DelayMs(período));
```

```
                        BitWrPortl(PADR, &PADRShadow, 0, 1);
```

```
                        BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, 0, 5);
```

```
                    waitfor(DelayMs(período));
```

```
                        k2++;
```

```
                }//if(frasco[p2+1]-frasco[p2]< 0)
```

```
                //frente
```

```
                if(frasco[p2+1]-frasco[p2]< 0){
```

```
                    BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow,acionamento , 0);
```

```
                    pd4=anti_horário;
```

```
                    BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow,anti_horário, 4);
```

```
                        BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, 1, 5);
```

```
                        BitWrPortl(PADR, &PADRShadow, 1, 1);
```

```
                    waitfor(DelayMs(período));
```

```
                        BitWrPortl(PADR, &PADRShadow, 0, 1);
```

```
                        BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, 0, 5);
```

```
                    waitfor(DelayMs(período));
```

```
                        k2++;
```

```
                }//if(frasco[p2]-frasco[p2-1]>0)
```

```

    }//if(p2 < ordem2 && k2<(abs(frasco[p2]-frasco[p2-1]))*n_passo2))
    if ( k2==(abs(frasco[p2+1]-frasco[p2]))*N_passos2/(ordem2-1)){
        status_horizontal=trava;
        p2++;
        sentido_vertical = horário ;
        status_vertical=destrava;

        }//if ( k2==(abs(frasco[p2]-frasco[p2-1]))*n_passos2)
            }//if(status_horizontal==destrava)
    }//if(p2!=ordem2-1)
}// costate horizontal2

```

```

costate vertical2 always_on{
    if(status_vertical==destrava){
        //Descer sonda
        if (p2 < ordem2 && k3<N_passos3 &&
sentido_vertical==horário){
            BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow,acionamento , 0);
            BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, sentido_vertical, 6);
            BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, 1, 7);
            BitWrPortl(PADR, &PADRShadow, 1, 2);
            waitfor(DelayMs(período));
            BitWrPortl(PADR, &PADRShadow, 0, 2);
            BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, 0, 7);
            waitfor(DelayMs(período));
            k3++;
        }//if (p2 < ordem2 && k3<N_passos3 &&
sentido_vertical==horário)
        //subir sonda
        if (p2 < ordem2 && k3<N_passos3 && sentido_vertical==anti_horário){
            BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow,acionamento , 0);
            BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, sentido_vertical, 6);

```

```

    BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, 1, 7);
    BitWrPortl(PADR, &PADRShadow, 1, 2);
    waitfor(DelayMs(período));
    BitWrPortl(PADR, &PADRShadow, 0, 2);
    BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, 0, 7);
    waitfor(DelayMs(período));
    k3++;
    }//if (p2 < ordem2 && k3<N_passos3 &&
sentido_vertical==anti_horário)
    if (p2 < ordem2 && k3==N_passos3 && sentido_vertical==horário){
        waitfor(DelaySec(tempo[p2]));
        sentido_vertical=anti_horário;
        k3=0;
    }// if(p2 <= ordem2 && k3==N_passos3&&sentido_vertical==horário)

/* if(p2==ordem2-1){
    waitfor(DelaySec(N_passos3*período*0,002+tempo[p2]+10));
    estágio = fim;

} //if(p2==ordem2) */

if (p2 < ordem2 && k3==N_passos3 && sentido_vertical==anti_horário){
    sentido_vertical=horário;
    status_horizontal=destrava;
    status_vertical=trava;
    k3=0;
    k2=0;
} // if(p2 <= ordem2 && k3==N_passos3&&sentido_vertical==anti_horário)

} //if(status_horizontal==destrava)
} // costate vertical_2
costate Termina_Experiência always_on{
if(p2==ordem2-1){
    waitfor(DelaySec(30));
    estágio = fim;

```

```
}//if(p2==ordem2)
```

```
}//costate
```

```
costate{
```

```
    if (BitRdPortI(PBDR, 3))
```

```
        abort;                                //ler botão 2 Emergência
```

```
        waitfor(DelayMs(50));                // debounce
```

```
        if(BitRdPortI(PBDR,3))
```

```
            abort;                            // debounce
```

```
        acionamento = DISABLE;
```

```
    }//esmergência
```

```
}//while
```

```
    }//Experiência
```

```
if(estágio == fim && acionamento == ENABLE){
```

```
costate Final1 always_on{
```

```
    if (r1 == 1){
```

```
        if (m1 == 1){
```

```
            costate{
```

```
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow,acionamento , 0);
```

```
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, horário, 2);
```

```
                BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 1, 0);
```

```
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 1, 3);
```

```
                waitfor(DelayMs(período));
```

```
                BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 0, 0);
```

```
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 0, 3);
```

```

    waitfor(DelayMs(período));
}
costate{
    if (BitRdPortI(PBDR, 3))
        abort; //ler botão 2 Emergência
    waitfor(DelayMs(50)); // debounce
    if(BitRdPortI(PBDR,3))
        abort; // debounce
    BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow,DISABLE , 0);
    acionamento = DISABLE;
} //esmergência
costate{
    if (BitRdPortI(PBDR, 0))
        abort; //Chave de fim de curso
    waitfor(DelayMs(50)); // debounce

    if(BitRdPortI(PBDR,0))
        abort; // debounce
        m1 = 2;
    } //chave de fim de curso
} //movimento
if( m1 == 2){
    BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, anti_horário, 2);
    while (kf1 < N_passos1){
        costate{
            BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow,acionamento , 0);
            BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 1, 0);
            BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 1, 3);
            waitfor(DelayMs(período));
            BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 0, 3);
            BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 0, 0);
            waitfor(DelayMs(período));
            kf1++;
        } //costate
    }
    costate{
        if (BitRdPortI(PBDR, 3))

```

```

        abort;                                //ler botão 2 Emergência
        waitfor(DelayMs(50));                 // debounce
        if(BitRdPortI(PBDR,3))
            abort;                             // debounce
        BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow,DISABLE , 0);
        acionamento = DISABLE;
        }//esmergência
    }//while
} //if( m1 == 1 && r1 == 0)
if(kf1==N_passos1)
r1=2;
    }//r1==0
} //Final1

costate Final2 always_on{
    if (r2 == 1 && r3 == 2){

        if (m2 == 1){
            costate{
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow,acionamento , 0);
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, horário, 4);
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 1, 5);
                BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 1, 1);
                waitfor(DelayMs(período));
                BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 0, 1);
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 0, 5);
                waitfor(DelayMs(período));
            }
            costate{
                if (BitRdPortI(PBDR, 3))
                    abort;                                //ler botão 2 Emergência
                    waitfor(DelayMs(50));                 // debounce
                    if(BitRdPortI(PBDR,3))
                        abort;                             // debounce
                    acionamento = DISABLE;
                }//esmergência
            }
        }
    }
}

```

```

costate{
  if (BitRdPortI(PBDR, 1))
    abort; //Chave de fim de curso
    waitfor(DelayMs(50)); // debounce

    if(BitRdPortI(PBDR,1))
      abort; // debounce
  m2 = 2;
} //chave de fim de curso
} //movimento
if( m2 == 2){
  BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, anti_horário, 4);
  while (kf2 < N_passos2){
    costate{
      BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow,acionamento , 0);
      BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 1, 5);
      BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 1, 1);
      waitfor(DelayMs(período));
      BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 0, 1);
      BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 0, 5);
      waitfor(DelayMs(período));
      kf2++;
    } //costate
    costate{
      if (BitRdPortI(PBDR, 3))
        abort; //ler botão 2 Emergência
        waitfor(DelayMs(50)); // debounce
        if(BitRdPortI(PBDR,3))
          abort; // debounce
        BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow,DISABLE , 0);
        acionamento = DISABLE;
        } //esmergência
    } //while
  } //if( m1 == 1 && r1 == 0)
  if(kf2==N_passos2)
    r2=2;

```

```

        }//r2==0
    }//Final2

costate Final3 always_on{
    if (r3 == 1){

        if (m3 == 1){
            costate{
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow,acionamento , 0);
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, horário, 6);

                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 1, 7);
                BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 1, 2);
                waitfor(DelayMs(período));
                BitWrPortI(PADR, &PADRShadow, 0, 2);
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow, 0, 7);
                waitfor(DelayMs(período));
            }
            costate{
                if (BitRdPortI(PBDR, 3))
                    abort; //ler botão 2 Emergência
                    waitfor(DelayMs(50)); // debounce
                if(BitRdPortI(PBDR,3))
                    abort; // debounce
                BitWrPortI(PDDR, &PDDRShadow,DISABLE , 0);
                acionamento = DISABLE;
                }//esmergência
            costate{
                if (BitRdPortI(PCDR, 1))
                    abort; //Chave de fim de curso
                    waitfor(DelayMs(50)); // debounce
                if(BitRdPortI(PCDR,1))
                    abort; // debounce
                m3 = 2;
            }//chave de fim de curso
    }
}

```

```

    }//movimento
if( m3 == 2){
    BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, anti_horário, 6);
    while (kf3 < N_passos3){
        costate{
            BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow,acionamento , 0);
            BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, 1, 7);
            BitWrPortl(PADR, &PADRShadow, 1, 2);
            waitfor(DelayMs(período));
            BitWrPortl(PADR, &PADRShadow, 0, 2);
            BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow, 0, 7);
            waitfor(DelayMs(período));
            kf3++;
        }//costate
        costate{
            if (BitRdPortl(PBDR, 3))
                abort; //ler botão 2 Emergência
            waitfor(DelayMs(50)); // debounce
            if(BitRdPortl(PBDR,3))
                abort; // debounce
            BitWrPortl(PDDR, &PDDRShadow,DISABLE , 0);
            acionamento = DISABLE;
            }//esmergência
        }//while
    }//if( m3 == 1 && r3 == 0)
    if(kf3==N_passos3)
        r3=2;
        }//r3==0
    }//Final3

} //Final
} //loopinfinito
runwatch();
} //fim

```

## 9 Referências

1. Portal sobre motores de passo disponível em  
<<http://www.cenfim.pt/motoresmain.htm> > Acesso em Mar.2004.
2. Portal sobre motores de passo disponível em  
<<http://www.lami.pucpr.br/~afonso/Graduacao/Robotica/StepMotors> > Acesso em mar.2004
3. Página do fabricante de correias Schneider com catálogos  
<<http://www.correias.com.br>> Acesso em Abr.2004
4. Página oficial da THK com catálogos dos produtos <<http://www.thk.com>> Acesso em Abr.2004
5. Catálogo de motores de passo oficial da Minibea  
<http://www.nmbtech.com/pdf/motors/HybridSeriesStepMotors.pdf> Acesso em Abr.2004
6. Catálogo de motores de passo oficial da general eletric  
<<http://www.geindustrial.com/products/specs/steppingmotors.pdf>> Acesso em Abr.2004
7. Manual de design da Powergrip <Powergripdesignmanual17195.pdf> Acesso em Mai.2004
8. Provenza, Francesco. **Desenhista de Máquinas** F.Provenza, 1991
9. Provenza Francesco. **Projetista de Máquinas** F.Provenza, 1990
10. Diretrizes para Apresentação de Dissertações e Teses. – Serviço de Bibliotecas da EPUSP. 2ª edição. São Paulo, 2001. 39p.
11. Incropera , Frank & DeWitt, David. **Fundamentos da Transferência de calor e**

**de Massa-Livros Técnicos e Científicos, 1996**

12. Fox, R.W. & McDonald, A. T. **Introdução a Mecânica dos Fluidos.** -Editora Guanabara Koogan, quarta edição revisada.