

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo



PMC 580/581

PROJETO MECÂNICO

Projeto de máquina lapidadora plana

Aprovado
Edson Gomes

Alunos: Carlos Eduardo Madruga da Silva - 2818503
André Hiroyuki Saito - 2812831

Orientador: Prof. Edson Gomes

Este trabalho é dedicado a nossos pais, pelo apoio e compreensão recebidos durante toda a nossa vida.

Índice

ESTUDO DE VIABILIDADE E PROJETO BÁSICO

Introdução.....	2
Estudo de Viabilidade	
Estabelecimento da necessidade	3
Formulação do projeto	4
Síntese de soluções	7
Exequibilidade física	7
Análise técnica das soluções	12
Valor Econômico	14
Viabilidade Financeira	16

PROJETO EXECUTIVO

Velocidade no Carretel	19
Acionamento do Prato superior	25
Reação Normal	26
Força de Atrito	26
Potência Necessária	27
Acionamento do Prato Inferior	28
Acionamento do Carretel	28
Dimensionamento do Eixo do Prato Superior	29
Pré-Dimensionamento	30
Dimensionamento do Rolamento	33
Dimensionamento do Eixo do Carretel	34
Sistema Pneumático	35
Dimensionamento do Pistão	36
Dimensionamento das Molas do Prato Superior	37
Pinos	
Pino do Carretel Externo	38
Pino do Carretel Central	39
Bucha do Carretel Central	40
Bibliografia	42

Estudo de Viabilidade e Projeto Básico

1) Introdução

Uma breve introdução ao processo de lapidação

Uma vez que o trabalho aqui apresentado é relativo a uma máquina lapidadora, torna-se pertinente uma breve introdução aos princípios básicos relativos ao processo de lapidação.

Desse modo, podemos começar definindo o processo de lapidação como sendo *um processo de usinagem no qual a peça e a ferramenta deslizam uma sobre a outra, com um composto abrasivo solto sendo aplicado entre eles.*

Este composto geralmente consiste de finos grãos abrasivos suspensos em um fluido à base de óleo mineral. O óleo atua como lubrificante, reduzindo o calor gerado pelo trabalho.

Durante a lapidação, esses grãos abrasivos se quebram devido ao carregamento mecânico exercido sobre eles. Isso resulta em uma taxa de remoção de metal continuamente decrescente, e desse modo uma constante melhoria no acabamento da superfície.

Em materiais porosos como ferro fundido no entanto, as partículas do abrasivo tendem a ficar alojadas nos poros do mesmo. Como os pratos de lapidação são geralmente feitos desse material, quando isso ocorre, nós dizemos que a lapidadora está “carregada”. Os grãos do abrasivo tornam-se fixos na ferramenta, realizando assim uma melhor remoção do material do que se estivessem se movendo livremente entre a peça e a ferramenta durante o processo.

Isso ocorre porque somente partículas pequenas podem se tornar “carregadas” ou fixas na lapidadora. Deste modo, a quantidade de material removido da peça acaba sendo menor, resultando em um acabamento mais fino.

Quando usamos grãos grandes não podemos embebê-los nos poros do ferro fundido da lapidadora. Devido ao tamanho do grão, uma

maior quantidade de material é retirada da peça. O resultado é uma remoção rápida de material, no entanto, o acabamento acaba ficando mais grosseiro.

Na prática, dada a superfície de uma peça, o processo de lapidação pode ser usado com as seguintes finalidades:

- a) remover suas ondulações ;
- b) reduzir sua aspereza;
- c) retirar marcas de ferramentas;
- d) corrigir leves distorções;
- e) reparar defeitos menores provenientes de operações anteriores.

A lapidação pode ser usada tanto para efeito de correção de falhas, como sendo uma operação normal de usinagem em uma linha de produção em massa.

O processo pode ser aplicado a superfícies de formas diversas, como planas, cilíndricas e esféricas. O projeto aqui apresentado refere-se a uma máquina destinada a lapidar apenas superfícies planas. Daí chamaremos esta máquina de *lapidadora plana*.

2) Estudo de viabilidade

2.1) Estabelecimento da necessidade

Máquinas lapidadoras planas são utilizadas por um segmento relativamente restrito da indústria metalúrgica nacional.

No entanto, verificamos que uma vez deparada com a necessidade de uma máquina deste tipo, as empresas acabam tendo problemas com o alto custo de aquisição deste equipamento, uma vez que a maioria destas máquinas são importadas do Japão (Hamai), Alemanha (Peter Walthers)

ou Estados Unidos (Lapmaster). O preço delas pode chegar a até US\$200.000,00.

Verificamos também que, do ponto de vista técnico, existe uma grande escassez de informações acerca de procedimentos de projeto de uma máquina como essa. As empresas envolvidas no ramo tampouco se preocupam em divulgar suas experiências, fazendo com que eventuais projetistas interessados no assunto encontrem sérias dificuldades para desenvolver suas próprias máquinas.

Concluimos então que existe uma necessidade real do projeto de uma lapidadora plana, tanto devido a uma lacuna existente no mercado, como devido à carência de informações presentes sobre o assunto atualmente.

2.2) Formulação do projeto

Para satisfação da necessidade anteriormente apresentada, nossa lapidadora plana deverá atender aos seguintes requisitos:

Desempenho: Deve ser capaz de lapidar as duas faces de uma peça genérica com as dimensões iniciais mostradas a seguir:

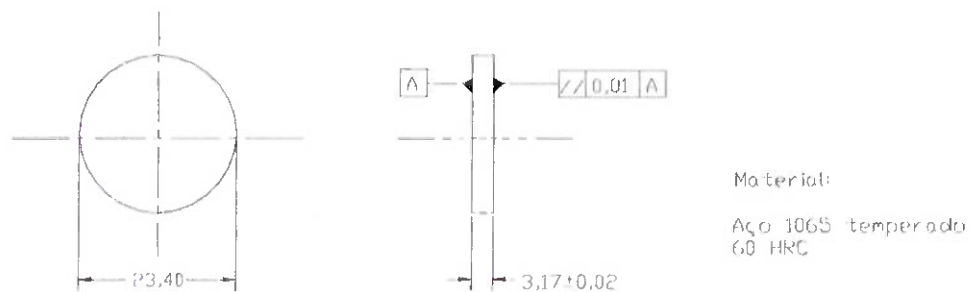


figura 1 - peça antes da lapidação

A fim de que ela atinja as seguintes dimensões após a lapidação:

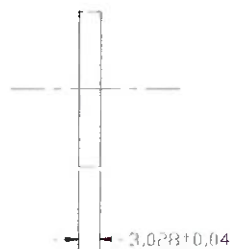


figura 2- peça após a lapidação

Capacidade de produção: mínimo de 500 peças por hora.

Dimensões máximas: altura 3m, base 2 m x 2 m

Massa máxima: 3000 Kg

Segurança: A máquina não deve apresentar vibração em excesso.
As peças a serem lapidadas devem ficar montadas de modo que não

escapem do contato superfície lapidadora-peça. Ou seja, não devem ser projetadas para fora da área de trabalho. O ruído máximo deve ser de 85 dB, relativo a um período de exposição do operador por 7 horas ininterruptas junto à máquina (determinado pela norma NR-15 anexo 1, portaria 3214).

Durabilidade: Vida útil dos principais componentes não inferior a 5 (cinco) anos com uso diário de 14 horas.

Confiabilidade: Nenhuma falha operacional, mecânica ou elétrica que interrompa o funcionamento durante a vida útil.

Formulação do projeto como sistema

entradas desejáveis	peça a ser lapidada energia comandos pelo operador abrasivo
saída desejada	peça lapidada nas duas faces
entradas indesejáveis	materiais estranhos partículas estranhas trazidas pelo ar comandos inadequados
saídas indesejáveis	vibração excessiva vazamento de abrasivo calor

2.3) Síntese de soluções e exequibilidade física

Para a geração das soluções possíveis para o projeto de nossa máquina lapidadora plana, utilizamos a seguinte tabela, a fim de examinarmos várias possibilidades construtivas.

Parâmetros	Soluções			
	A	B	C	D
Tipo de acionamento	automático	manual	automático	automático
Forma do prato de lapidação	retangular	circular	circular	circular
Faces lapidadas por vez	1	1	1	2
Metodo de agrupamento das pecas	cavidades	cavidades	soltas	máscaras

tabela 1

As soluções serão descritas a seguir:

Solução A - Lapidadora linear automática de 1 face

Essa máquina possui sistema de movimento linear do prato superior. O prato superior teria formato retangular e executaria um movimento de vai-e-vem. Isso seria feito com a ajuda de um excêntrico ligado a um motor. As peças ficariam alojadas em cavidades presentes no prato inferior, com uma das faces expostas, para poderem ser lapidadas pelo prato superior. O composto abrasivo ficaria espalhado pelo prato inferior.

Só uma face das peças poderia ser lapidado por vez. Depois disso, todas as peças teriam que ser viradas.

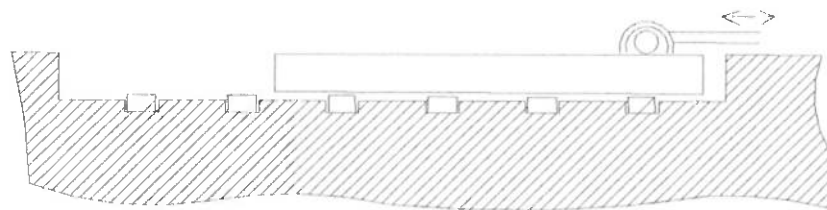
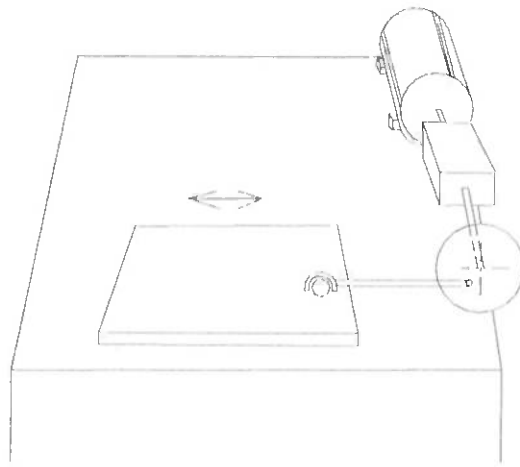


figura 3- Solução A

Solução B - Lapidadora manual de 1 face

Essa solução foi gerada diretamente à partir da definição do processo de lapidação. As peças estariam apoiadas em um prato inferior plano, só que este prato seria agora circular. As peças seriam pressionadas e empurradas de modo a se deslocarem no plano do prato inferior, pelo próprio operador que seguraria o prato superior. Apenas uma face das peças seria lapidada por vez, depois o operador teria que virar todas as peças e recomençar o processo.

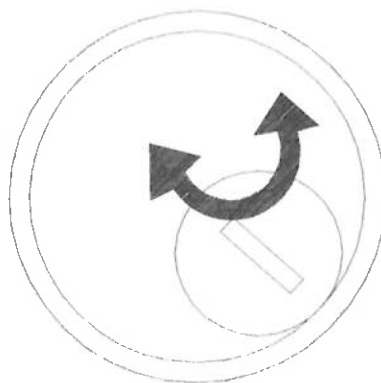
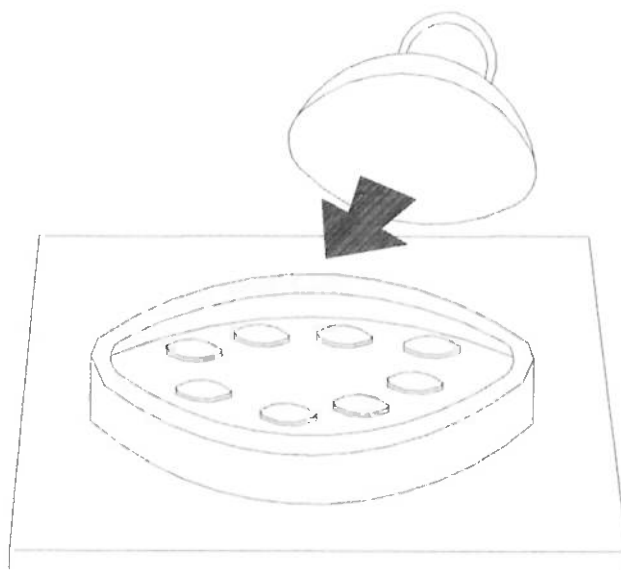


figura 4 – detalhe da lapidadora manual

Solução C - Lapidadora automática de 1 face

Nessa solução, um peso pressionaria as peças contra o prato inferior, que por sua vez executaria um movimento de rotação. Esse movimento seria acionado por um motor localizado embaixo da mesa. As peças seriam impedidas de serem arrastadas junto com o prato inferior através de anéis posicionadores, que no caso seriam três.

O abrasivo é distribuído pelo prato inferior através de uma bomba.

Apenas uma face das peças poderia ser lapidada por vez, depois disso, todas teriam que ser viradas.

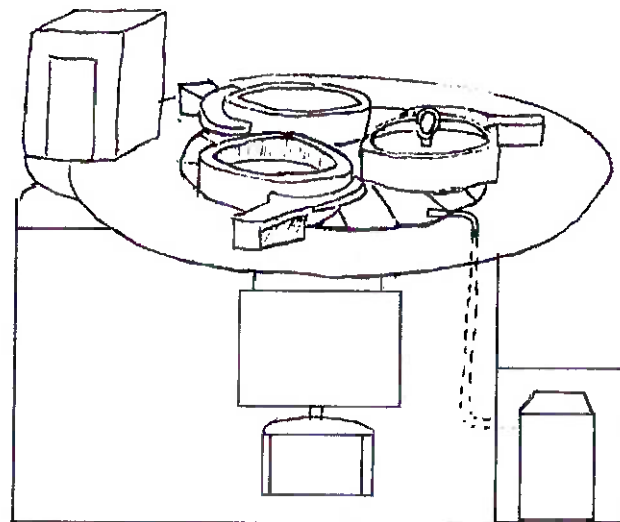


figura 5- esboço da lapidadora de 1 face

Solução D - Lapidadora automática de dupla face

Essa solução seria uma modificação da anterior. Agora existiria ao invés de um peso em cima das peças, um prato superior que também giraria, só que em sentido contrário ao do prato inferior. As peças são posicionadas entre os pratos através de “máscaras”, que são chapas furadas a fim de alojarem as peças. Essas “máscaras” ficariam engrenadas a pinos de aço presentes na periferia do prato inferior, e a pinos presentes

ao redor do carretel, localizado no centro do prato inferior. Esse carretel também giraria, só que seu sentido de rotação ficaria se invertendo durante o decorrer do processo de lapidação.

O prato superior seria aproximado ou afastado do prato inferior através de um mecanismo pneumático. O seu paralelismo em relação ao prato inferior seria garantido por um conjunto de molas, que corrigiriam qualquer tendência de inclinação do prato superior.

Nesta máquina, as duas faces das peças são lapidadas de uma só vez.

Os pratos superior e inferior são constituídos de segmentos de ferro fundido, para facilitar sua montagem e desmontagem. Além disso, entre um segmento e outro se formam vãos que facilitam o escoamento do material já retirado das peças para fora.

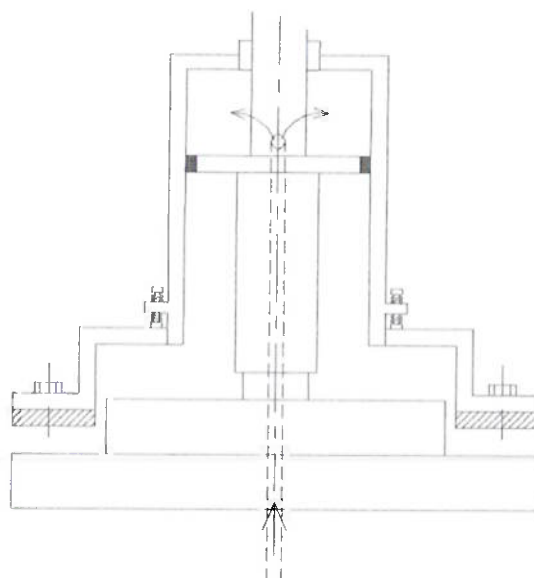


figura 6 – Mecanismo Pneumático

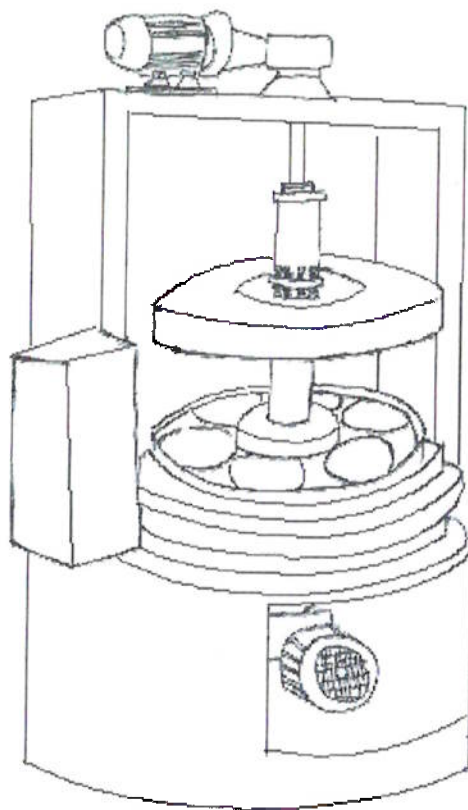


figura 7- Esboço da solução D

2.4) Análise técnica das soluções

Solução A

A solução A possui uma forma construtiva original para seus pratos, no entanto verificamos que ocorrerá um problema de desgaste desigual no prato superior. Este prato tenderá a ficar com “canaletas” devido ao desgaste em regiões específicas que possuem contato com as peças presentes no prato inferior. Isso causará uma perda de paralelismo entre as faces das peças.

Além deste problema, temos outro relativo ao modo como o prato superior pressiona as peças contra o prato inferior. Pelo mecanismo proposto, essa pressão deverá ser exercida somente pelo próprio peso do prato superior, o que talvez seja insuficiente. Uma solução para isso seria, por exemplo, aumentarmos o peso deste prato, mas com isso o motor que aciona o sistema todo teria que ser redimensionado, caso contrário ele seria muito solicitado.

Também temos um problema com o modo como as peças teriam que ser retiradas do prato inferior ao término da lapidação de uma das

faces. Aachamos que as peças deverão estar quentes, e que deverá ser difícil desalojar as peças uma a uma das cavidades, e ainda virá-las e colocá-las de volta para lapidarmos a outra face.

Solução B

Essa solução é tecnicamente muito simples. O problema do posicionamento das peças em cavidades no prato superior (vide solução A), foi evitado deixando-se as peças simplesmente soltas sobre o prato inferior.

No entanto, esta solução apresenta como desvantagem a baixa produtividade, já que o processo todo depende da força braçal do operador. Acreditamos que esta solução não vá atender à especificação de 500 peças por hora, imposta inicialmente.

Solução C

Essa solução apresenta como vantagem a possibilidade de lapidação de três tipos diferentes de peças ao mesmo tempo, que seriam posicionadas dentro de seus respectivos anéis.

A tendência à convexidade ou concavidade do prato inferior (problema sério, que neste caso apareceria por causa da aplicação desigual da pressão dos pesos presentes sobre as peças , em cima do prato inferior), seria controlado regulando-se a posição dos anéis mais para perto ou mais para longe do centro do prato inferior, de modo a gerar um desgaste por igual em todas as partes do mesmo.

No entanto, o fato desta solução só lapidar uma face das peças por vez compromete a sua produtividade. Além disso, lapidando-se apenas uma face por vez, podemos garantir seu acabamento, mas não poderemos garantir que ao final as duas faces da peça estejam paralelas entre si, o que é fundamental.

Solução D

Essa solução possui a vantagem de lapidar as duas faces da peça de uma só vez, aumentando a produtividade. As peças são facilmente colocadas e tiradas da máquina com a ajuda das máscaras (basta o operador usar uma espátula para poder tirar a máscara inteira juntamente com as peças dentro dela).

A tendência do prato inferior se tornar côncavo ou convexo seria controlado pelo período de rotação do carretel em cada um dos seus sentidos.

O mecanismo de molas no prato superior garante o paralelismo entre as faces da peça.

Conclusão: a solução D foi a que pareceu de longe a mais tecnicamente atraente. Passaremos então a uma análise de valor econômico e financeira da mesma.

3) Valor econômico

Os custos de fabricação dos principais componentes da solução adotada foram pesquisados, e estão expostos na tabela a seguir:

Conjunto	Sub-conjunto	Qtde	Componente	Referência	Preço Unitário	Preço Total
Prato Superior	Mesa	01	Mesa Superior	HESPERIDES	R\$1000,00	R\$1000,00
		12	Segmentos Fundidos	ZUBELA	R\$ 40,00	R\$ 40,00
		12	Segmentos Usinados	MIRANDA	R\$ 40,00	R\$ 40,00
		20	Mola D10 L044	MDL	R\$ 3,00	R\$ 60,00
	Mov.	01	Redutor MU09	Transmotécnica	R\$1000,00	R\$1000,00

	Rotativo	01	- 1:30 Motor Elétrico 6cv	WEG	R\$ 263,00	R\$ 263,00
Prato Inferior	Mesa	01	Mesa Inferior	HESPERIDES	R\$1500,00	R\$1500,00
		01	Carretel Central	HESPERIDES	R\$ 620,00	R\$ 620,00
		12	Segmento Fundido	ZUBELA	R\$ 40,00	R\$ 480,00
		12	Segmento Usinado	MIRANDA	R\$ 40,00	R\$ 40,00
	Rotação	01	Redutor MU15E 1:30	Transmotécnica	R\$3500,00	R\$3500,00
	Prato	01	Motor Elétrico 6cv	WEG	R\$ 263,00	R\$ 263,00
	Carretel	500	Pinos(Aço Prata)	J. Mando	R\$10,00/kg	R\$ 450,00
		01	Redutor MU10- 1:50	Transmotécnica	R\$1500,00	R\$1500,00
		01	Motor Elétrico 3 cv	WEG	R\$263,00	R\$263,00
		500	Usinagem Pinos	H. L.	-	R\$1200,00
Geral	Carcaça Outros	01	Carcaça	HESPERIDES	R\$3500,00	R\$3500,00
		01	Compressor de Ar 2 HP	WETZEL	R\$ 550,00	R\$ 550,00
Montagem Mão de Obra	Montagem	1000 horas	Técnico	-	R\$ 5,00/ 1 hora	R\$5000,00
TOTAL						R\$22313,00

tabela 2 - preços

Algumas da referências citadas são:

- Fundição Zubela S/A - Rodovia SP 305 Km 01 - Monte alto, SP -
Tel (016)342-1065
- Miranda Industrial Ltda - Av. Jorge Bey Maluf, 3085, Suzano -
Tel 478-1005
- Máquinas Danly Ltda - Rua Dom Villares, 1680 - Tel 946-8044
- J. Mando Com. de Ferro e Aço Ltda - Rua Cariris, 117 - Diadema,
SP- Tel 7647-1745
- Industrial Mecânica Hesperides Ltda - Rua Ana Maria, 267 -
Diadema, SP

4) Viabilidade financeira

Listamos abaixo os gastos necessários para que nossa máquina possa operar normalmente, considerando-se um intervalo de tempo de 1 mês.

Operador de Máquinas	R\$ 600,00 por mês (sem encargos) R\$ 1250,00 por mês (com encargos) <u>R\$1250,0</u>
Eletricidade	Potência Instalada: 17cv = 12676 W Tempo de uso mensal: 308 horas Consumo: 3904 kWh Índice de Utilização: 0,65 Preço kWh: R\$ 0,07 TOTAL <u>R\$ 177,00</u>
Consumo de Abrasivo	Pó ALCOA 320 Carbeto de Silício: R\$ 3307,00 p/ton Consumo: 1 kg/h Consumo Mensal: 308kg <u>R\$1019,00</u> Óleo Diesel: R\$ 0,422 por litro Consumo: 5litros/h Consumo Mensal: 1540 l <u>R\$ 650,00</u>
Aluguel	Aluguel: R\$ 3,50 m ² /mês Espaço mínimo ocupado pela máquina: 15 m ² TOTAL <u>R\$ 52,50</u>
TOTAL MENSAL	<u>R\$ 3148,50</u>

Portanto, das análises de viabilidade financeira e econômico, concluímos que o proprietário desta máquina deverá dispor de R\$ 22 313,00 para investimento inicial, e R\$3148,00 mensais para gastos de operação. Essa quantia para o investimento inicial não é considerada excessiva. Um empréstimo bancário poderia ser realizado no caso de não se possuir o capital mencionado.

Caso este empréstimo seja feito (taxa de 25% ao ano), através de um cálculo preliminar, estimamos que se o serviço de lapidação de uma peça for oferecido ao preço de R\$0,03, a máquina se pagaria em 1 ano. Esta estimativa foi feita com base em uma produção de 500 peças por dia, o que é bastante pessimista, pois acreditamos que esta máquina tenha condições de produzir 900 peças por dia.

Concluimos então que, tendo em vista o preço das máquinas importadas presentes no mercado, nosso projeto se torna economicamente viável. Podemos então dar prosseguimento ao nosso trabalho realizando o Projeto executivo.

Projeto Executivo

5) Velocidade no Carretel

Os fatores que influenciam no desgaste e conseqüente qualidade da planicidade da peça, são: a força peso (do prato superior + a carcaça), o abrasivo, o tempo e a velocidade.

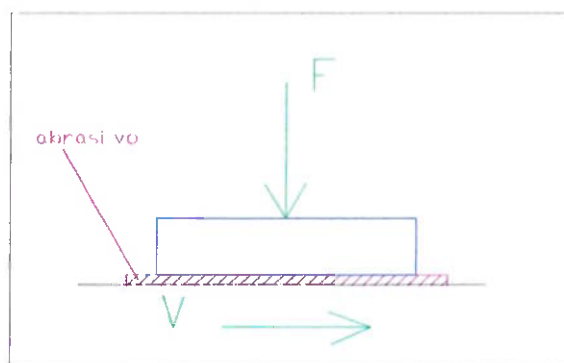


Figura 8 – Diagrama de fatores que influenciam no desgaste

O peso é admitido constante contra a peça, e será melhor detalhado no dimensionamento do pistão.

O abrasivo se distribui **homogeneamente** no prato. Além disso, admitimos que o mesmo abrasivo é usado em todas as operações.

O tempo influi no acabamento. Para um acabamento mais fino, precisaríamos de um tempo maior de atuação. Como se trata de uma produção em série, o tempo para realização de cada ciclo é minimizado.

A velocidade acaba sendo a única variável. Aumentando a velocidade, temos um maior desgaste, mas a qualidade do acabamento cai.

A velocidade afeta a planicidade da peça. Temos para analisar, a velocidade do prato inferior, do carretel e da máscara.

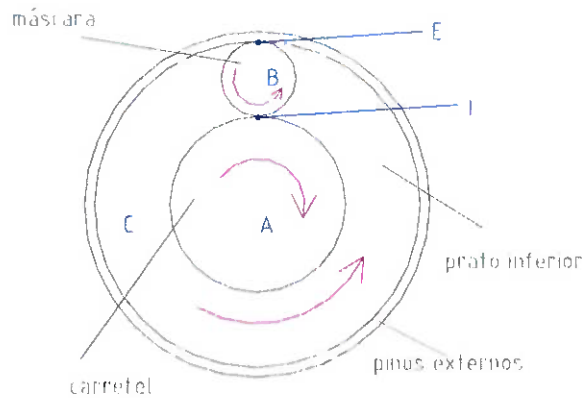


figura 9 – vista superior do simplificado

O prato inferior é representado pelo disco C; o carretel pelo disco A; e a máscara pelo disco B.

Temos conhecidos:

$$R_A = 258\text{mm}$$

$$R_C = 478\text{mm}$$

$$\omega_c = 60\text{rpm}$$

Os pinos externos estão parados; e é o disco de baixo C que se move. Os pinos do carretel central acompanham o carretel. A máscara B se engrena nos pinos externos e nos pinos do carretel A. Acionando o carretel, a máscara se movimenta. O prato inferior também rotaciona, atritando as peças que são colocadas ao longo da máscara B.

As peças tem então um movimento complexo que deve ser estudado para encontrarmos as condições ideais de planicidade.

Ocorrendo uma diferença de velocidade externa, v_e , com a interna, v_i , na máscara, teremos uma curvatura do prato inferior. E havendo uma curvatura do prato, teremos também uma curvatura na peça. Isto ocorre porque é o prato que determina a planicidade da peça.

Se o carretel apenas acompanhasse o movimento do prato inferior, teríamos que a velocidade externa, v_e seria maior que a interna, v_i . A consequência disso, exagerando, é o seguinte formato do prato:

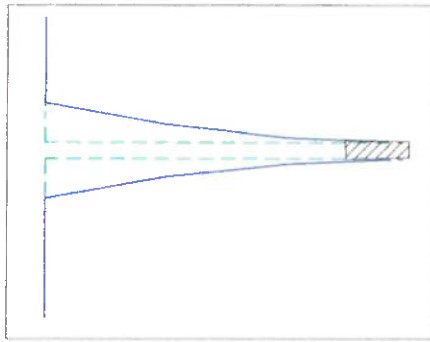


figura 10 – curvatura exagerada do prato

A peça não estaria com a planicidade desejada.

Precisamos então corrigir as velocidades para termos um mínimo de curvatura possível do prato. Ao fazermos o carretel adquirir velocidade angular, introduzimos uma velocidade interna, v_i , para corrigir a distorção. Se igualarmos a velocidade externa com a interna, teremos um desgaste uniforme na peça.

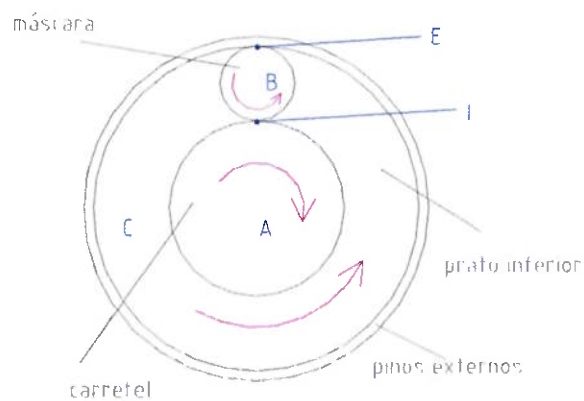


figura 11 – detalhe do prato inferior

Temos os seguintes perfis de velocidade de A, B e C:

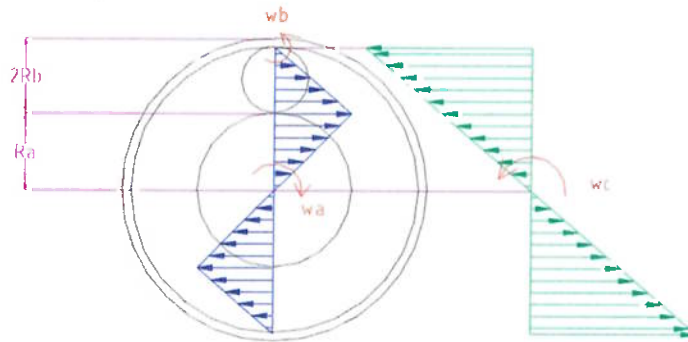


Figura 12 – perfis de velocidade

A velocidade em I (ponto de contato), é igual para o disco B e disco ^a Sendo assim, o perfil de velocidades de A que torna esta condição verdadeira, é aquela em que a rotação de A é oposta a de B. Condição, que está representada na figura acima.

Para termos velocidade relativa $v_e = v_i$, em relação ao disco C, temos graficamente, o perfil do disco B e o perfil de C.

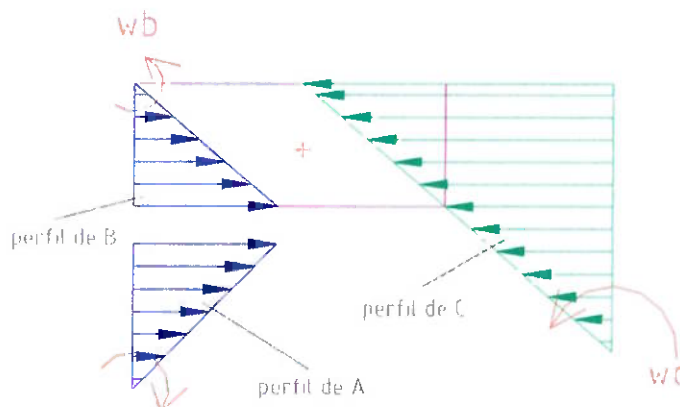


figura 13 – detalhe dos perfis de velocidade

A inclinação do triângulo de velocidades de B deve ser igual ao de C, para realizarmos a soma vetorial que resulte na condição de velocidades iguais.

A inclinação do triângulo de B que resulta numa mesma inclinação de C é quando $w_B = w_C$.

Assim:

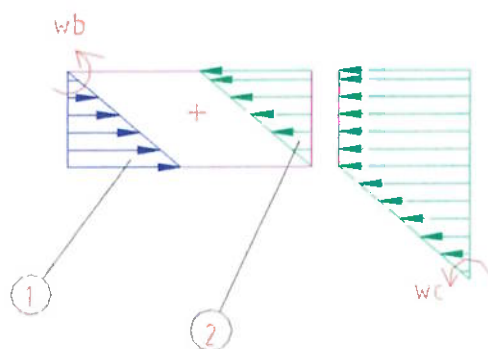


Figura 14 – soma dos perfis de B e C

Temos que a soma vetorial dos perfis de velocidade de 1 e 2 , resultam num perfil retangular 3, onde teremos velocidades iguais.

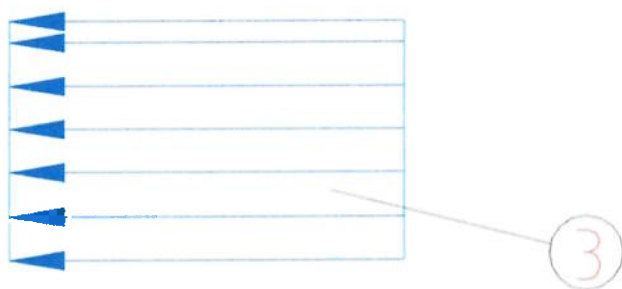


Figura 15 – perfil resultante

Pelo diagrama da velocidades de B e A, temos :

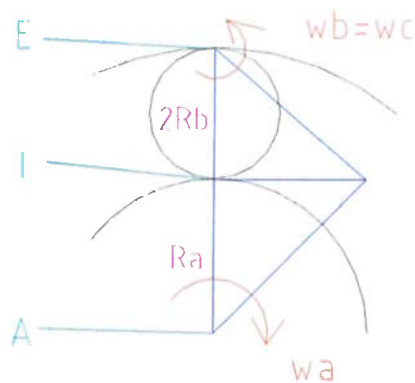


Figura 16 – triângulo para relações geométricas

No ponto I, de contato, temos que a velocidade do disco B, é igual ao disco A.

$w_B = w_C$, condição que permite somar vetorialmente os triângulos de velocidade.

Em módulo, nós temos:

$$w_C \cdot 2R_B = w_A \cdot R_A$$

$$w_A = w_C \cdot 2 \cdot \frac{R_B}{R_A}$$

$$\text{Como } R_B = \frac{R_C - R_A}{2}$$

$$w_A = \frac{w_C \cdot (R_C - R_A)}{R_A}$$

$$w_A = \frac{60 \cdot (478 - 258)}{258} = 51,16 \text{ rpm}$$

Como a velocidade necessária para esta situação é:

$$v_A = v_B = 1,38230076758 \quad \text{m/s,}$$

não conseguiremos um redutor preciso o suficiente para fornecer esta velocidade. Na prática o que deve ocorrer para evitar o desgaste desigual da peça, seria girar o carretel ora para um lado, ora para outro. Mas ao pararmos a máquina e ligarmos novamente para inverter a rotação, teremos um consumo maior de energia, além da sobrecarga no motor. Devemos então encurtar ao máximo o tempo de parada e reacionamento da lapidadora.

6) Acionamento do Prato Superior

Nesta etapa do projeto, precisamos escolher os motores que serão utilizados para acionar o prato superior, o inferior e o carretel. Para isso, precisamos determinar a potência necessária para movimentar cada parte.

Modelo de distribuição de forças na peça relativo a esforço aplicado pelo prato superior.

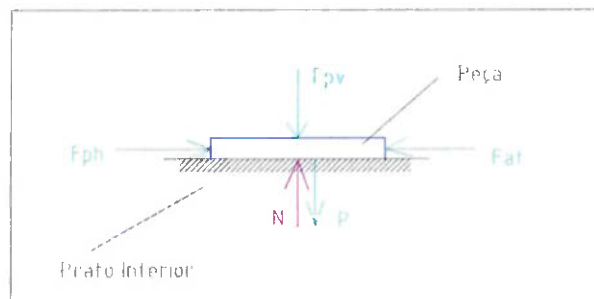


figura 17- forças na peça (situação de atrito estático)

Temos a seguinte notação:

F_{pv} = Esforço Vertical aplicado pelo prato superior

F_{ph} = Esforço Horizontal aplicado pelo prato superior

P = Peso de uma peça

F_{at} = Força de Atrito atuante na peça

N = Reação Normal

$$\begin{aligned} F_{pv} &= \text{peso do prato superior} / \text{n}^\circ \text{ de peças} = \\ &= (\text{peso dos segmentos} + \text{peso da estrutura}) / \text{n}^\circ \text{ de peças} \\ &= (\text{n}^\circ \text{ de segmentos} \times \text{peso de 1 segmento} + \text{peso da mesa} + \\ &\text{peso do cilindro}) / \text{n}^\circ \text{ de peças} \\ &= (12 \times 200 + 2425) / 7 \times 35 \\ &= 19,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Obs: n° de máscaras = 7
n° de peças por máscara = 35

6.1) Reação Normal

$$N = F_{PV} + P$$

P = desprezível

$$N \cong F_{PV} = 19,7 \text{ N}$$

6.2) Força de Atrito

$$F_{AT} = \mu \cdot N$$

assumindo $\mu = 0,17$ (atrito estático entre aço e FoFo, com presença de abrasivo)

$$\begin{aligned} F_{AT} &= 0,17 \times 19,7 \\ &= 3,35 \text{ N} \end{aligned}$$

Portanto, o torque necessário para vencer o atrito das peças com o prato inferior, será:

$$T \geq n^{\circ} \text{ de peças} \cdot F_{AT} \cdot d$$

onde d = braço

Para a determinação do braço, usaremos uma aproximação assumindo que as peças estão todas localizadas exatamente no meio do segmento de prato superior.

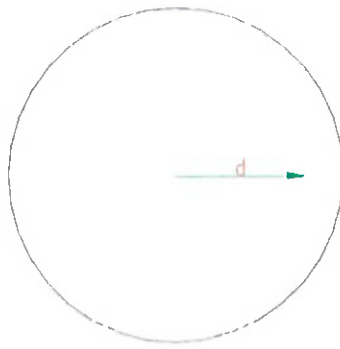


Figura 18 – determinação do braço

Temos:

$$d = \frac{478 + 258}{2} = 368$$

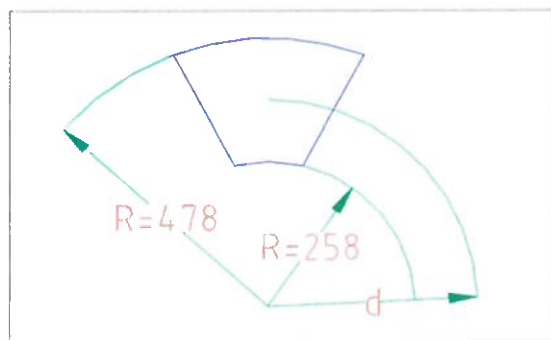


figura 19

$$T \geq 245.3,35.0,368$$

$$T \geq 302\text{N.m}$$

6.3) Potência Necessária:

$$P = T \times w$$

Adotamos uma velocidades de 60 rpm para o prato superior, na qual se sabe que não haverá expulsão de peças e abrasivo por força centrífuga (conforme atestado por catálogo). A mesma velocidade é adotada para o prato inferior, no sentido contrário.

Assumindo um caso crítico. Na qual as peças são colocadas sobre o prato inferior, sem o uso da máscara, a velocidade da peça seria $60 + 60 = 120$ rpm. Vamos dimensionar a potência com este valor.

$$w = 60 \text{ rpm} = 12,56 \text{ rad/s}$$

$$P = T \times w$$

$$= 302 \times 12,56$$

$$= 3793 \text{ W}$$

$$= 5,0 \text{ hp}$$

Portanto utilizamos um motoredutor duplo a rosca sem fim universal, com eixo de saída vazado, da Transmotécnica. MU12, 1:30.

Potência do motor 5 cv, carcaça 100L, rotação 1750 rpm.

7) Acionamento do Prato Inferior

O cálculo é análogo ao do prato superior.

$$\text{Adotando } w = 120 \text{ rpm} = 12,5 \text{ rad/s}$$

$$P = 302 \times 12,5 = 5,0 \text{ hp}$$

8) Acionamento do Carretel

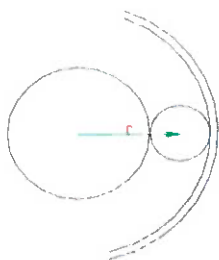


figura 20 determinação do r

$$T = 245 \times F_{AT} \times r$$

$$= 245 \times 3,35 \times 0,368 = 302 \text{ N.m}$$

$$P = T \times \omega$$

$$= 302 \times 5,36$$

$$= 1619 \text{ W}$$

$$= 2,2 \text{ hp}$$

Para a parte de baixo, usamos um motoredutor à rosca sem fim universal com eixo de saída vazado.

Motor elétrico WEG, potência 5cv, carcaça 100L. Rotação de 1750 rpm, n° de polos 4.

Redutores Transmotécnica. MU15, redução 1:30.

O desenho segue anexo.

9) Dimensionamento do Eixo do Prato Superior

O eixo está submetido a um toque proveniente do atrito do prato superior com as peças.

Esse torque vale:

$T = 245 \times 3,35 \times 0,368 = 302 \text{ N.m}$, conforme calculado no dimensionamento do prato superior.

Vamos considerar este eixo como sendo submetido a torção pura.

O dimensionamento deste eixo será feito pelo critério do cisalhamento máximo, usando fórmulas recomendadas pela A.S.M.E.

9.1) Pré dimensionamento:



figura 21 – torção

Diagrama de esforços:



Figura 22 –diagrama de torção

Temos:

$$\tau_{\max} = C_T \cdot \frac{16.T}{\pi.d^3}$$

Onde:

$$C_T = 1,5$$

Correspondente a eixo girante com cargas de aplicação súbita, devido ao liga e desliga da máquina, gerando choques leves.

$$d^3 \geq \frac{16}{\pi.G_s} \cdot \sqrt{(C_T.T)^2}$$

Onde

G_s = Tensão de serviço/ admissível

$$G_s = \min[0,3.S_{yt}, 0,18.S_{ut}]$$

Considerando-se o aço 1050:

$$S_{ut} = 503 \text{ MPa}$$

$$S_{yt} \approx 0,58.S_y = 0,58.413 = 240 \text{ MPa}$$

$$G_s = \min[72 \text{ MPa}; 90,5 \text{ MPa}] = 72 \text{ MPa}$$

$$\therefore d^3 \geq \frac{16}{\pi \cdot 72 \cdot 10^6} \sqrt{(1,5 \cdot 302)^2}$$

$$d \geq 3,18 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$d \geq 32 \text{ mm}$$

(diâmetro mínimo sem levar em conta concentração de tensão)

O eixo deverá ter 4 seções:

A seção 1 corresponde àquela que vai no redutor do prato superior

A seção 2 corresponde àquela que vai no apoio do eixo do suporte superior

A seção 3 corresponde à haste do pistão

A seção 4 corresponde à parte que encaixa no êmbolo do pistão.



figura 23- eixo

Dimensionamento das seções 1, 2, 3

Seção 1:

Essa parte do eixo entra em contato com o redutor. Terá um diâmetro de 50mm (atendendo ao diâmetro mínimo do pré-dimensionamento), e comprimento de 200mm. Uma chaveta é necessária para transmitir a rotação do redutor para o eixo.

A norma DIN 6885 recomenda para eixos entre 44 e 50mm de diâmetro, um rasgo de chaveta de largura 14mm e profundidade no eixo 5,5mm. Especificaremos para o nosso eixo, um rasgo de largura 14mm, e uma profundidade um pouco maior, de 6mm.

Seção 2:

Essa parte do eixo deverá permanecer rosqueado a outra peça (cubo da chaveta do prato superior), que se apoia sobre um rolamento.

Para garantir que o eixo não se desrosqueie, optou-se por prender as duas peças com dois parafusos.

Os parafusos atravessam o cubo da chaveta e pressionam o eixo, funcionando como chavetas.

Entre a ponta do parafuso e o eixo, poderá ser colocado algum material, para que o contato não seja direto. Para isso foi feito um rebaixo na rosca do eixo.

O dimensionamento do rolamento de apoio está a seguir.

9.2) Dimensionamento do rolamento de apoio do eixo superior

Carga Dinâmica equivalente (P):

$$P = X.F_R + Y.F_A$$

F_R = carga radial

F_A = carga axial

X = fator de carga radial

Y = fator de carga axial

Como o rolamento só suporta cargas axiais, temos:

$$P = F_A$$

Supondo que todo o peso do eixo do prato superior esteja apoiado sobre este rolamento:

$$P = 2658\text{N}$$

Para uma vida de 5 anos, operando a uma rotação praticamente constante de 60 rpm, temos:

fórmula da vida nominal

$$L_{10h} = \frac{1000000}{60.n} \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

onde

$$n = 60\text{rpm}$$

p = 3 (rolamento de esferas)

$$P = 2658\text{N}$$

$$L_{10h} = 18250h \text{ (5 anos)}$$

C= capacidade de carga dinâmica

$$18250 = \frac{1000000}{60.60} \left(\frac{C}{2658} \right)^3$$

$$C=10725,3$$

Escolheu-se o rolamento SKF 51115

Rolamento Auto Compensador de Esferas

Seção 3:

Essa seção servirá como haste do pistão que levanta o prato superior. Seu diâmetro foi definido como aproximadamente 70mm.

Seção 4:

Essa seção é inteiramente soldado no eixo formado pelas seções 1, 2, 3.

A seguir, um furo é feito nos dois eixos para a passagem de ar para o pistão.

10) Dimensionamento do eixo do carretel

O método de dimensionamento deste eixo é semelhante ao do eixo do prato superior. No entanto, neste caso, o eixo é vazado.

O torque aplicado no eixo vale 302 N.m, conforme calculado anteriormente.

$$\tau_{\max} = C_T \cdot \frac{T \cdot r}{J}$$

$$d_{\text{ext}}^3 - d_{\text{int}}^3 \geq \frac{16}{\pi \cdot G_s} \cdot \sqrt{(C_T \cdot T)^2}$$

$$d_{\text{ext}}^3 - d_{\text{int}}^3 \geq 3,2 \cdot 10^{-5}$$

Assumiu-se $d_{\text{ext}} = 0,058\text{m}$

e $d_{\text{in}} = 0,032\text{m}$

11) Sistema Pneumático

Vamos assumir que o pistão trabalhe em dois modos possíveis:

1. Modo de levantamento : onde ele tem que erguer todo o conjunto do prato superior.
2. Modo de alívio : usando uma pressão menor que o modo de levantamento, o suficiente para reduzir o peso do prato superior sobre as peças.

O segundo modo se justifica pelo processo de acabamento final da peça durante o processo de lapidação.

No começo da lapidação, deixamos o peso todo do prato superior ficar sobre a peça, o que leva a uma retirada de material acelerada, porém com acabamento superficial pobre.

Ao chegarmos ao fim do processo, desejamos uma remoção menor de material, ao mesmo tempo em que queremos um bom acabamento.

A solução então sem aliviar a carga sobre as peças ao final do processo, que é feito pelo modo 2.

O sistema pneumático está descrito a seguir:

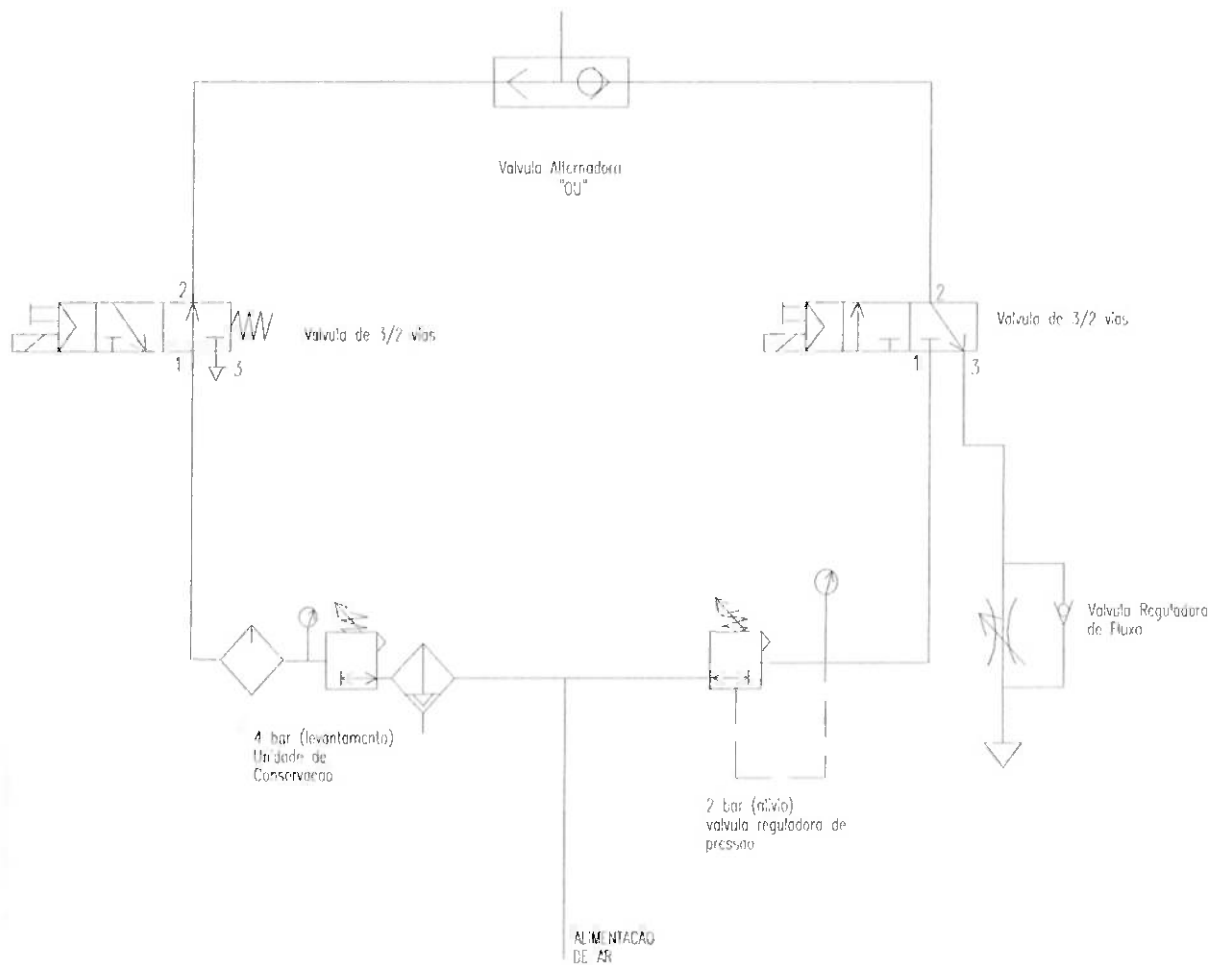


figura 24 – circuito pneumático

12) Dimensionamento do Pistão

Dimensionamento pelo modo de operação 1:

Adotamos que o diâmetro do cilindro será 6".

Cálculo da pressão máxima para levantar o prato superior e o resto da estrutura:

Peso do conjunto ≈ 4825 N

$$P.A > 4865$$

$$A = \pi.(0,0762^2 - 0,035^2) = 1,439.10^{-2} m^2$$

$$P > 335302 Pa = 3,4 kgf / cm^2$$

Escolhendo 4 kgf/cm², a aceleração com que o conjunto subirá será:

$$a = \frac{392000.1,439.10^{-2} - 4825}{451} = 1,8 m / s^2$$

Assumindo um curso de 0,5 m, o tempo necessário para levantar o conjunto será:

$$0,5 = \frac{1}{2}.1,8.t^2$$

$$t = 0,75s$$

Como neste cálculo não foi levado em conta o atrito resistente ao levantamento do conjunto, podemos afirmar que na prática, o conjunto levará mais do que 0,75 s para subir.

13) Dimensionamento das molas do prato superior

Uma característica fundamental da máquina lapidadora aqui apresentada reside no fato de que com ela, deveremos obter um bom grau de paralelismo entre as faces da peça a ser lapidada.

Esse paralelismo resulta diretamente do paralelismo entre os pratos superior e inferior da nossa máquina. Se não pudermos garantir que durante a operação da máquina esses pratos permaneçam paralelos, a qualidade do trabalho na peça resultante ficará seriamente comprometida.

A função das molas é permitir que, mediante uma eventual inclinação do prato inferior, o prato superior também se incline, mantendo o paralelismo.

Em nosso projeto, usaremos um total de 24 molas. O nosso critério de dimensionamento será de que todas elas juntas deverão suportar o peso de todos os segmentos do prato superior.

Sabemos que essa situação é crítica, e que em condições normais de operação isso não deverá ser atingido. No entanto, esse é um critério que sem dúvida está a favor da segurança.

Seja w = número de segmentos x peso de 1 segmento

$$= 12 \times 200$$

$$= 2400 \text{ N}$$

A carga suportada em cada mola deverá ser

$$P = \frac{w}{n} = \frac{2400}{24} = 100 \text{ N (em compressão)}$$

O seu diâmetro externo será 36mm. E seu comprimento será 55mm.

A mola poderá ser opcionalmente amparada por um limitador.

14) Pinos

14.1) Pino do Carretel Externo

O pino do carretel foi dimensionado por flexão.

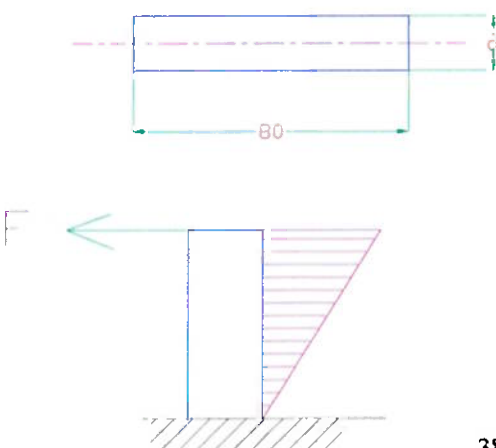


Figura 25 – diagrama de momento no pino

Aço 1050

$$S_y = \sigma_{esc} = 413,7 \text{ MPa}$$

$$l = 80 \text{ mm} = 0,08 \text{ m}$$

$$y = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

$$M = 245 \times 3,35 \times 0,08$$

$$\sigma < S_y$$

$$\frac{M \cdot y}{I} < S_y$$

$$d^3 \geq \frac{32 \cdot M}{S_y \cdot \pi}$$

$$d \geq 1,174 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$d \geq 11,74 \text{ mm}$$

14.2) Pino do Carretel Central



figura 26 – pino central

$$d^3 \geq \frac{32.M}{S_y \cdot \pi}$$

$$M = 245 \times 3,35 \times 0,071$$

$$d \geq 11,3 \text{ mm}$$

14.3) Bucha do Carretel Central

Adotando

$$d_i = 12\text{mm} = 0,012\text{m}$$

$$d_{\text{ext}} = d = ?$$

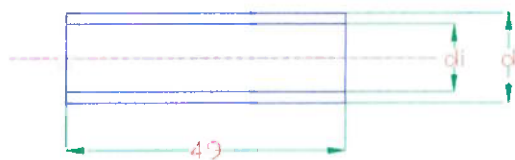


figura 27 - bucha

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (d^4 - 0,0121^4)$$

$$y = \frac{d}{2}$$

$$M = 245 \times 3,35 \times 0,049$$

$$\frac{M \cdot y}{I} < S_y$$

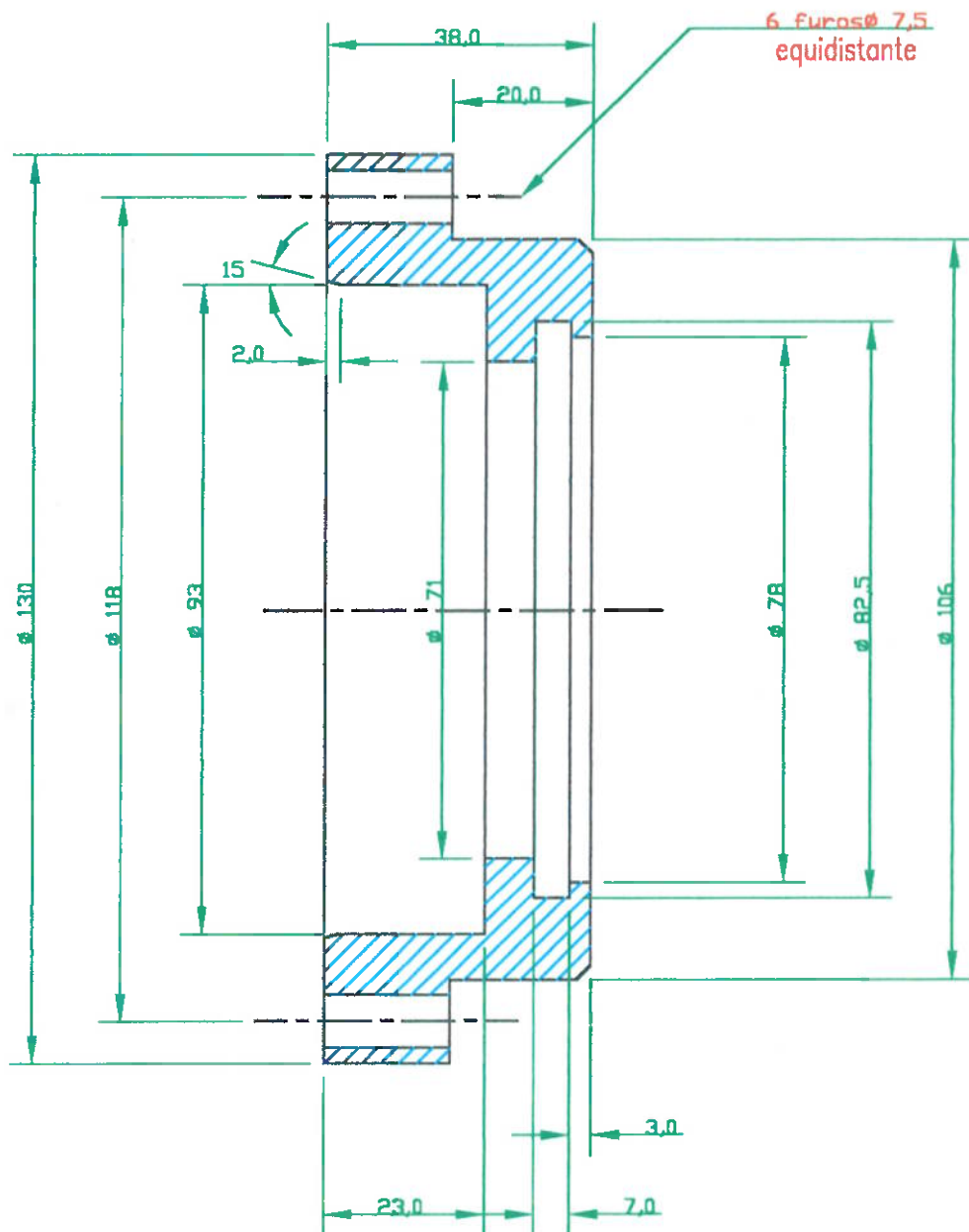
$$\frac{M \cdot d}{2 \cdot \frac{\pi}{64} \cdot (d^4 - d_i^4)} < S_y$$

$$32 \cdot M \cdot d = S_y \cdot \pi \cdot (d^4 - d_i^4)$$

$$d \geq 13,7 \text{ mm}$$

15) Bibliografia

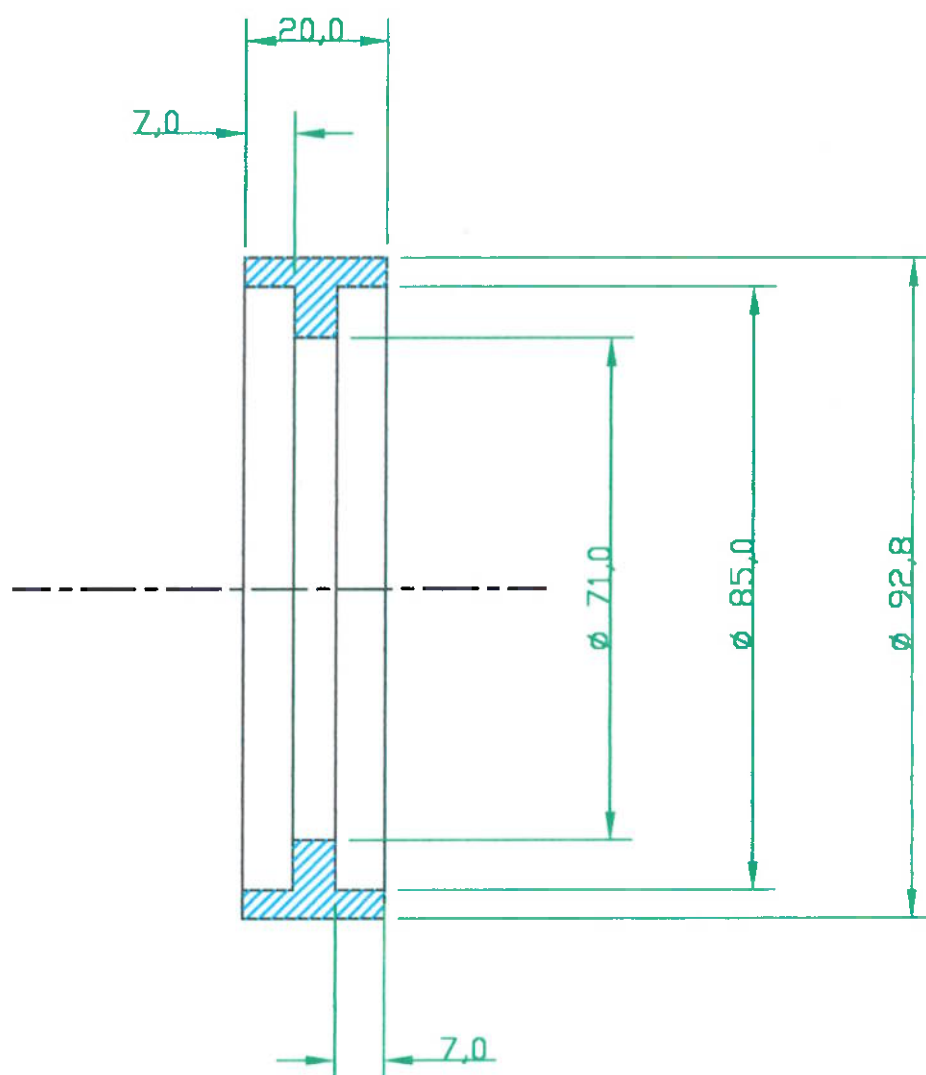
- HANDBOOK OF MACHINE TOOLS, Volume 1-Types of Machines, Forms of Construction and Applications, John Wiley & Sons, 1984
- TOOL ENGINEERS HANDBOOK, second edition, American Society of Tool and Manufacturing Engineers, Mc Graw-Hill, 1959
- Catálogos empresas Lapmaster e Hamai
- Training Manual - Lapmaster International
- FUNDAMENTALS OF MACHINE COMPONENT DESIGN, Juvinal, Robert C., John Wiley & Sons, 1983
- TRIBOLOGY, Friction and Wear of Engineering Materials, Hutchings, I. M., Edward Arnold, 1992
- Coletânea de Normas de Desenho Técnico, ABNT/SENAI, 1990
- Catálogo de Motores da WEG



QUANT: 01

MAT: 1020

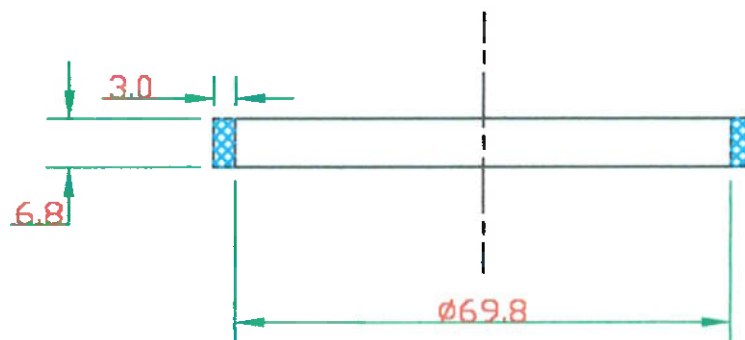
	NOME	ANDRÉ / CARLOS	PROF	Edson Gones
DISCIPLINA	PMC 580/581 PROJETO MECÂNICO			EPUSP
ESCALA	TÍTULO	DATA		
1:1	Capa da Vedação da Haste	5/12/97		



MAT: 1020

QUANT: 01

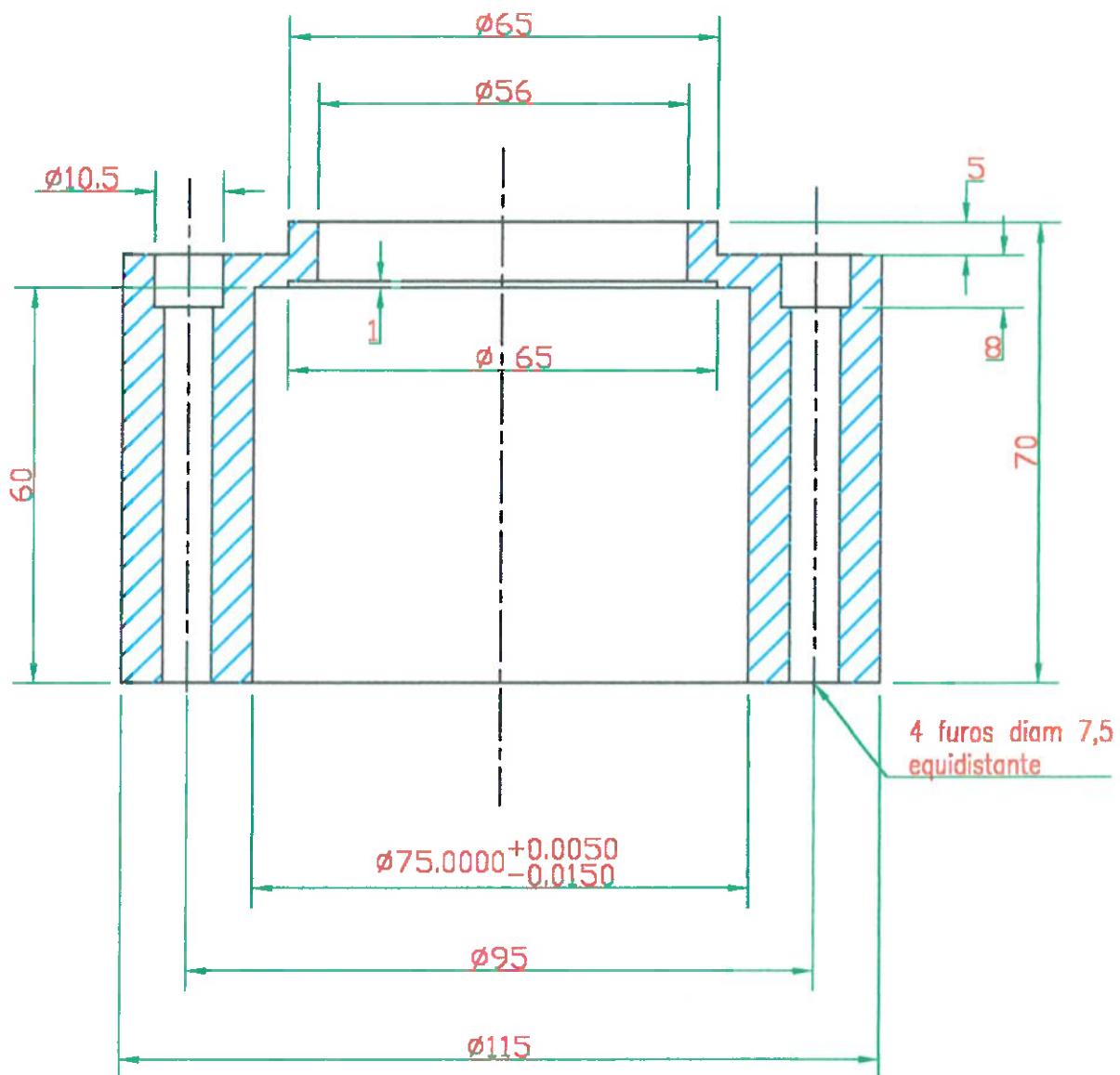
	NOME	ANDRÉ / CARLOS	PROF	Edson Gomes
DISCIPLINA	PMC 580/581 PROJETO MECÂNICO			EPUSP
ESCALA	TÍTULO	DATA		
1:1	Espaçador da Ved. da Haste	5/12/97		



MAT: TEFLON PURO OU COM CARVÃO

QUANT: 02

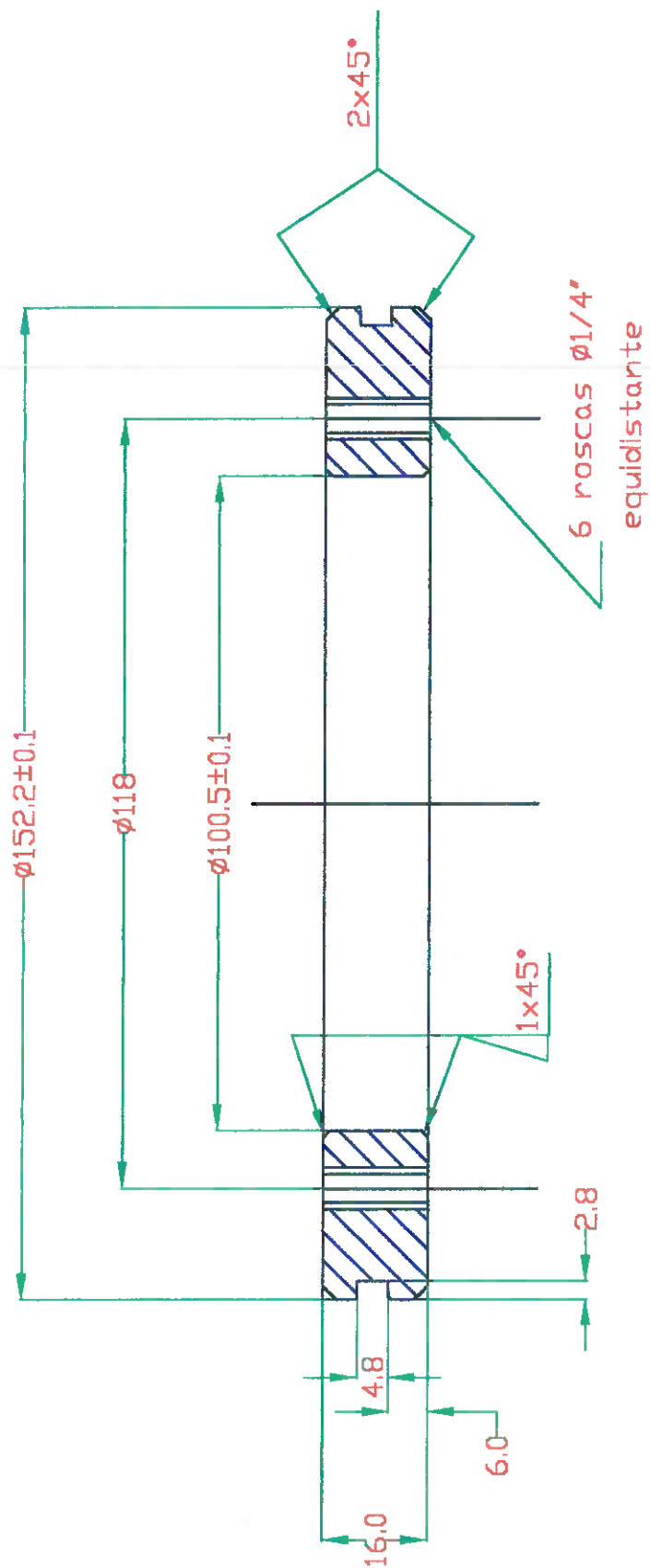
	NOME	ANDRÉ / CARLOS	PROF	Edson Gomes
	DISCIPLINA	PMC 580/581 PROJETO MECÂNICO	EPUSP	
ESCALA	TÍTULO	DATA		
1:1	Anel de Vedação da Haste	5/12/97		



Mat: 1020

Quant: 04

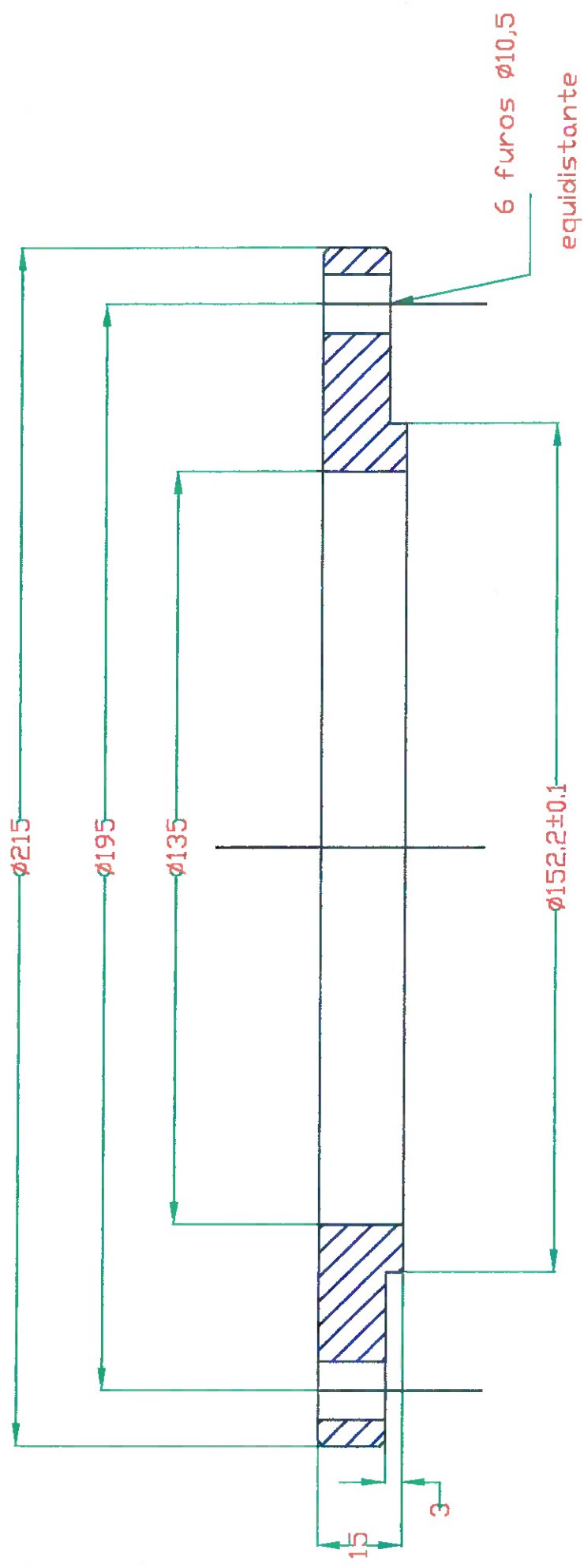
	NOME	ANDRÉ / CARLOS	PROF	Edson Gones
DISCIPLINA	PMC 580/581 PROJETO MECÂNICO			EPUSP
ESCALA	TÍTULO	DATA		
1:1	Alojamento dos Rolamentos	5/12/97		



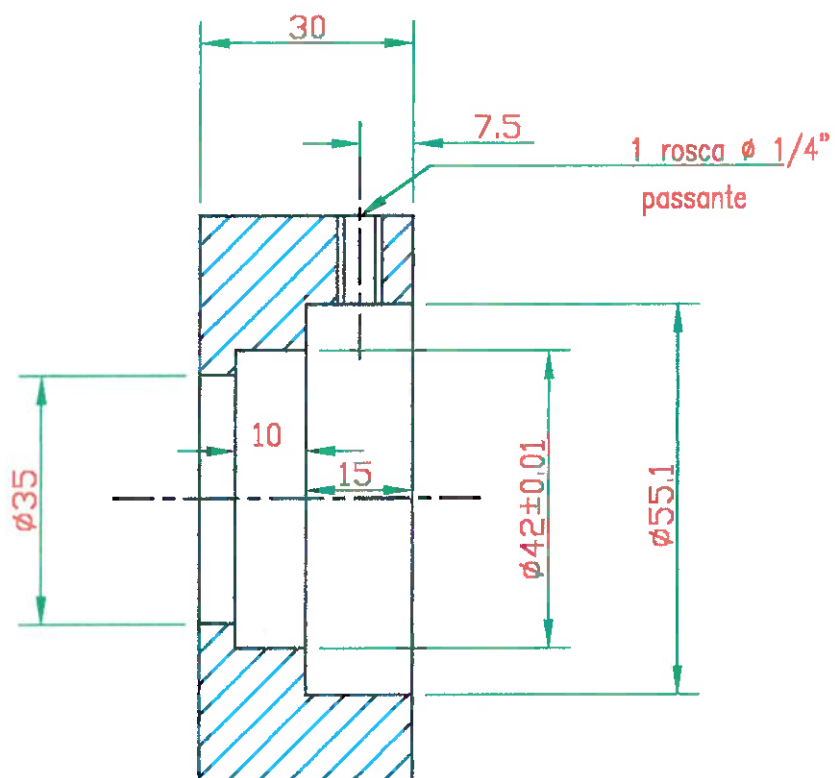
MAT: 1020

QUANT: 01

	NOME	ANDRÉ / CARLOS	PROF	Edson Gomes
DISCIPLINA	PMC 580/581 PROJETO MECÂNICO		EPUSP	
ESCALA	TÍTULO	DATA		
1:1	Tampa do Cilindro Pneumático	5/12/97		



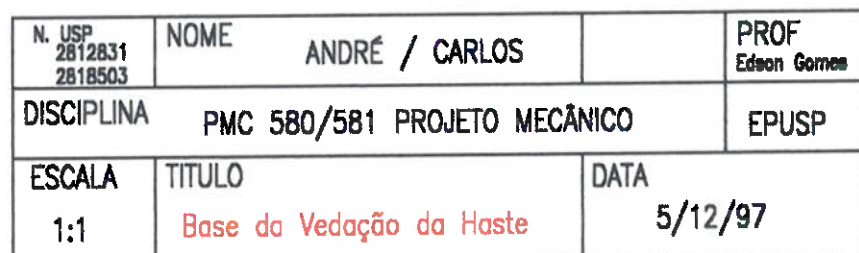
NOME	ANDRÉ / CARLOS	PROF	Edson Gomes
DISCIPLINA	PMC 580/581 PROJETO MECÂNICO	EPUSP	
ESCALA	TÍTULO	DATA	5/12/97
1:1	Tampa Alpartida do Cilindro Pneumático		

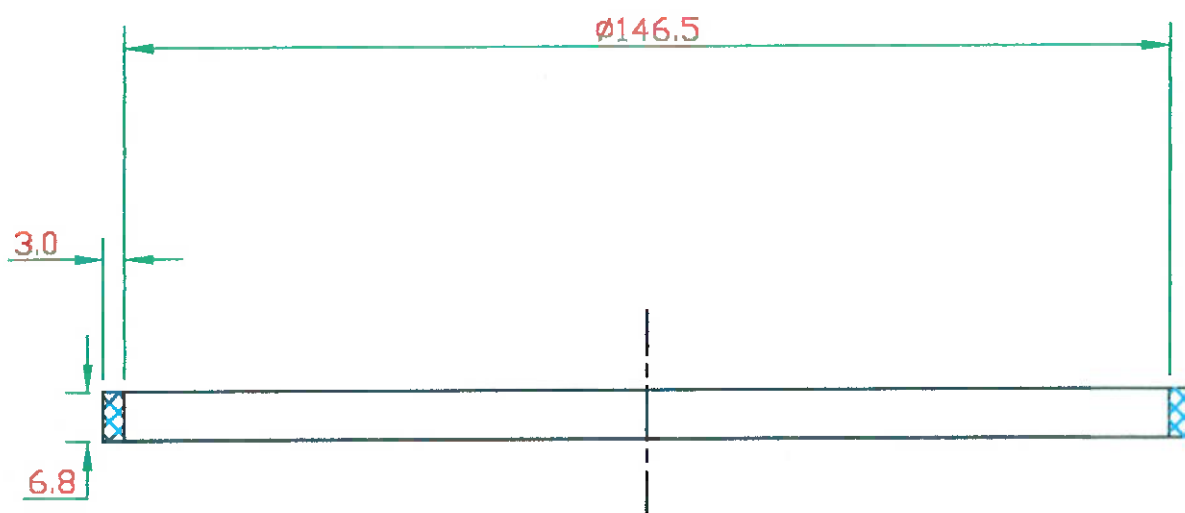


Mat: 1020

Quant: 01

	NOME	ANDRÉ / CARLOS	PROF	Edson Gones
	DISCIPLINA	PMC 580/581 PROJETO MECÂNICO	EPUSP	
ESCALA	TÍTULO	DATA		
1:1	Guia do Tubo de Ar	5/12/97		

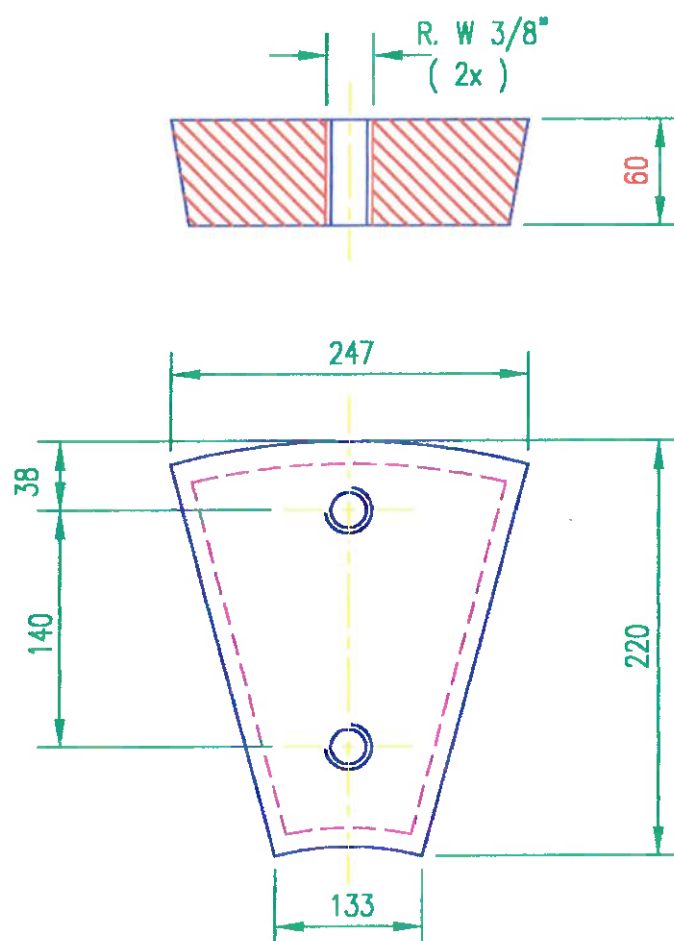




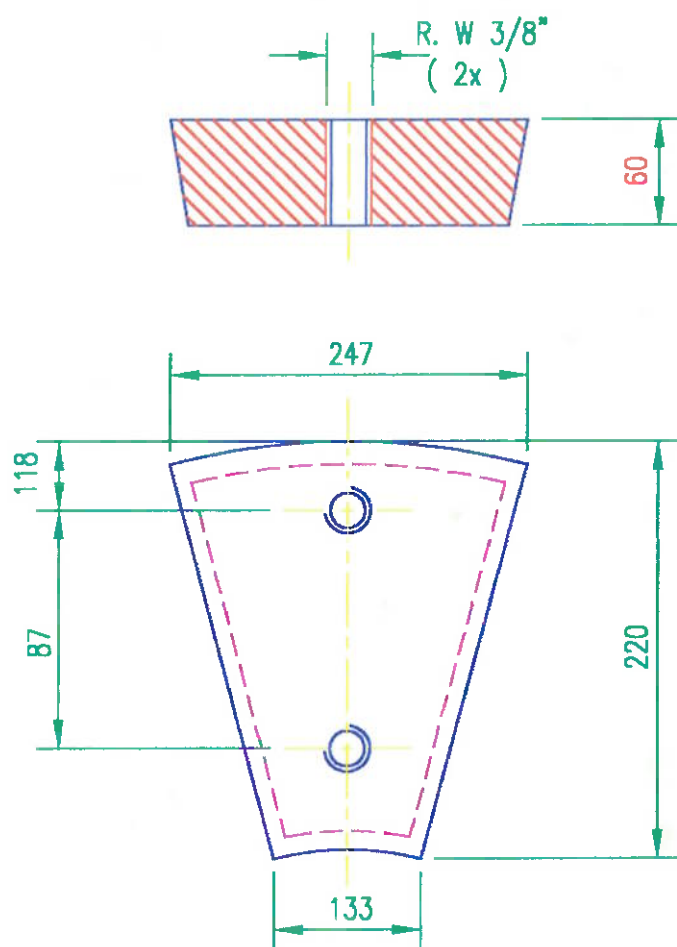
MAT: TEFLON PURO OU COM CARVÃO

QUANT: 02

	NOME	ANDRÉ / CARLOS	PROF	Edson Gomes
DISCIPLINA	PMC 580/581 PROJETO MECÂNICO			EPUSP
ESCALA	TÍTULO	DATA		
1:1	Anel de Vedação do Cilindro	5/12/97		



	NOME	ANDRÉ / CARLOS	PROF	Edson Gomes
	DISCIPLINA	PMC 580/581 PROJETO MECÂNICO		EPUSP
ESCALA	TÍTULO	SEGMENTO DO PRATO SUPERIOR	DATA	5/12/97



	NOME	ANDRÉ / CARLOS	PROF	Edson Gomes
	DISCIPLINA	PMC 580/581 PROJETO MECÂNICO		EPUSP
	ESCALA	TÍTULO	DATA	
		SEGMENTO DO PRATO INFERIOR	5/12/97	