

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

TRITURADOR MECÂNICO PARA ENXERTOS ÓSSEOS

Roberto Aires Leite
Ygor Freire de Carvalho Dias Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Augusto Leal Alves

SÃO PAULO
2004

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

TRITURADOR MECÂNICO PARA ENXERTOS ÓSSEOS

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

Roberto Aires Leite
Ygor Freire de Carvalho Dias Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Augusto Leal Alves

SÃO PAULO
2004

Agradecimentos

Agradecemos aos professores Marcelo Augusto Leal Alves , Deniol K. Tanaka e ao implantologista Marco Antônio Pereira de Souza Filho pelo total apoio durante este trabalho e a quem se deve o sucesso deste projeto. A Mauro Pires da Esquadrimetal pela ajuda muito importante na construção do protótipo.

Agradeço a meus pais Roberto e Evani pela paciência e total apoio durante meu curso de graduação. Agradeço a todos os amigos que fiz dentro da universidade e que de alguma forma auxiliaram meu aprendizado.

Roberto Aires Leite

Agradeço a Deus e meus pais Gilberto e Luiza

Ygor Freire de Carvalho Dias Ferreira

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um triturador mecânico de ossos, comumente utilizado na odontologia reconstrutiva, que sirva de alternativa as opções importadas e de alto custo existentes no mercado. O equipamento desenvolvido nesse projeto utiliza operações simples de usinagem e materiais facilmente encontrados no mercado, garantindo assim seu baixo custo de fabricação. Os tratamentos superficiais pós usinagem necessários são facilmente encontrados na indústria garantindo assim o baixo custo final do dispositivo. O fator crítico do trabalho foi o ângulo de corte da lâmina, obtido furando-se um tubo fora do seu centro. Esse ângulo deve ser ajustado através da tentativa e erro, uma vez que o material a ser moído não apresenta características mecânicas bem definidas, assim como o aspecto final também não está bem determinado cabendo ao cirurgião dentista escolher a textura final do moído apropriada para cada caso. Como alternativa pode-se apresentar diferentes modelos de lâmina para atender as necessidades do cirurgião.

ABSTRACT

This work has as objective to develop a mechanical bone mill, commonly used in the reconstructive dentistry, which can be an alternate choice to the expensive imported options that exist in the market. The developed equipment in this project uses simple tooling operations and materials easily found in the market, guaranteeing its low cost of manufacturing. The necessary superficial treatment post-tooling was easily found in the industry guaranteeing then the final low cost of the device. The critical factor of the work was the cut angle of the blade, gotten when making a hole in a tube off its center. This angle has to be adjusted by attempts once the material to be crushed does not have mechanical characteristics well defined, as well as the final aspect is not well determined and it is up to the dentist to choose the best final texture of the crushed material, suitable to each case. As alternative, different models of blades can be presented to meet the needs of the surgeon.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

1.0 - Introdução	1
2.0 - Objetivos.....	4
3.0 - Principais Propriedades dos Ossos	5
4.0 - Seleção de Materiais	6
4.1 – Alumínio e suas ligas	9
4.1.2 – Alumínio liga ABNT 6262	10
4.2 – Aço Inox Martensítico.....	12
4.2.1 – Aço Inox ABNT 420, AISI 420 ou SAE S42000	13
5.0 – Tratamentos dos Materiais pós Usinagem	15
5.1 – Anodização do Alumínio 6262	15
5.1.1 - Coloração	16
5.1.2 - Selagem.....	16
5.2 – Têmpera e Revenido do Aço Inox 420	17
5.2.1 – Têmpera do Aço Inox 420.....	17
5.2.2 – Revenimento do Aço Inox 420	18
5.2.3 – Propriedades Mecânicas Médias aos o tratamento térmico	18
6.0 - Concepções Iniciais da Geometria.....	19
7.0 - Construção do protótipo	25
8.1 - Corpo	26
8.2 - Manivela	28

8.3 - Pistão.....	28
8.4 - Copo.....	29
8.5 - Acoplamento	30
8.6 - Lâmina	31
8.7 - Anodização	32
8.8 - Têmpera e Revenido	32
9.0 Complementos	33
10.0 Conclusões	35
11.0 Desenhos	36
12.0 - Referências.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades Mecânicas do osso	5
Tabela 2 - Designação de Ligas de Alumínio padrão AA	9
Tabela 3 - Composição Quimica da Liga de Alumínio.....	11
Tabela 4 - Propriedades Físicas da Liga de Alumínio	11
Tabela 5 - Propriedades Mecânicas da Liga de Alumínio	11
Tabela 6 - Composição quimica do Aço ABNT 420	14
Tabela 7 - Propriedades Mecânicas do Aço ABNT 420	14
Tabela 8 - Relação da agressividade do meio com a espessura da camada de alumina	15
Tabela 9 - Temperatura e tempo de têmpera.....	17
Tabela 10 - Temperatura e tempo de revenido.....	18
Tabela 11 - Propriedades mecânicas após tratamento térmico	18
Tabela 12 – Passivação do inox 420	33
Tabela 13 – Custo de fabricação	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Retirada cirúrgica do osso	2
Figura 2 - Remoção cirúrgica do osso.....	2
Figura 3 - Osso em recipiente	2
Figura 4 - Osso triturado	2
Figura 5 - Implantes mal acomodados	3
Figura 6 - Moldagem do osso particulado.....	3
Figura 7 - Fim da moldagem.....	3
Figura 8 - Resultado pós-operatório.....	3
Figura 9 - Resultado após seis meses.....	3
Figura 10 - Obtenção dos ângulos de corte	20
Figura 11 - Vista explodida da concepção inicial	21
Figura 12 - Montagem da concepção inicial	21
Figura 13 - Vista explodida do mecanismo.....	22
Figura 14 - Detalhe da rosca na união copo/corpo.....	23
Figura 15 - Detalhe da lâmina.....	23
Figura 16 - Conjunto montado em corte	24
Figura 17 - Conjunto montado	25
Figura 18 - Vista superior do conjunto montado	25

Figura 19 - Detalhe do acoplamento montado	26
Figura 20 - Furação utilizando a fresadora	26
Figura 21 - Corte da peça	27
Figura 22 - Peça finalizada antes da anodização.....	27
Figura 23 - Manivela após lixamento.....	28
Figura 24 - Pistão após lixamento.....	28
Figura 25 - Rosqueamento do copo	29
Figura 26 - Copo antes da anodização	29
Figura 27 - Torneamento do Acoplamento	30
Figura 28 - Fresagem do acoplamento	30
Figura 29 - Acoplamento Finalizado.....	30

1.0 - Introdução

Os enxertos ósseos vêm desempenhando importante papel da evolução na cirurgia ortopédica reconstrutiva. Existem 3 tipos de enxertos normalmente aplicados à ortopedia. São eles os enxertos de ossos autólogos, homólogos e sintéticos.

Os enxertos autólogos, onde o osso que se fará uso é retirado do próprio paciente, tem propriedades biológicas ideais na maioria dos casos.

O enxerto homólogo ou aloenxerto é uma boa opção após o advento dos bancos de tecidos (banco de ossos) e a ampliação e melhora das técnicas de preservação que aumentaram a disponibilidades dos mesmos. Por ser preparado previamente ao procedimento cirúrgico da enxertia, o aloenxerto contribui de forma relevante na melhoria dos resultados finais devido à redução do tempo cirúrgico.

O enxerto sintético, onde se usam substitutos ósseos (hidroxiapatita, sulfato de cálcio entre outros) encontra-se em fase de estudo quanto suas propriedades biomecânicas e de osteointegração, não sendo ainda uma alternativa definitiva e segura.

A técnica da enxertia vem sendo amplamente utilizada nas ultimas décadas, principalmente na odontologia, onde é comum a substituição da raiz do dente por um pino de titânio que atua como uma raiz dentária artificial integrando-se a estrutura maxilo-mandibular. Para a perfeita acomodação do implante, são utilizadas técnicas de re-estruturação óssea local, onde fragmentos de ossos moídos misturados a soluções apropriadas induzem o crescimento e osteointegração local do osso enxertado, acomodando assim o implante de forma muito mais eficiente.

Segue-se um breve resumo do procedimento, com fotos ilustrativas, para o esclarecimento da real necessidade do triturador.

Primeiramente é necessária a retirada cirúrgica (Fig.1) de osso cortical sadio, geralmente da crista ilíaca ou da região conhecida como mento.



Figura 1 - Retirada cirúrgica do osso

O osso então é destacado (Fig. 2) e colocado em recipiente adequado (Fig. 3).

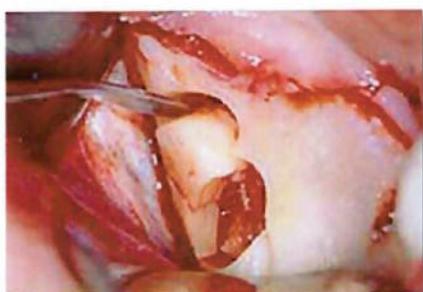


Figura 2 - Remoção cirúrgica do osso



Figura 3 - Osso em recipiente

O osso agora é triturado (Fig. 4) em um dispositivo mecânico adequado. O tamanho do grão depende de cada caso.



Figura 4 - Osso triturado

Pode-se notar na figura seguinte que o implante não está perfeitamente acomodado (Fig.5) devido a evidente fragilidade da estrutura óssea local.

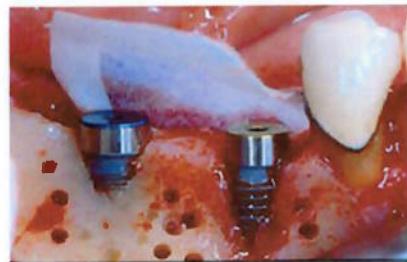


Figura 5 - Implantes mal acomodados

O osso agora particulado é misturado a uma solução de sangue com PRP (plasma rico em plaquetas) e é moldado (Fig 6 e 7).



Figura 6 - Moldagem do osso particulado



Figura 7 - Fim da moldagem

Agora é possível ver o resultado em vista superior no pós-operatório (Fig. 8) e após 6 meses (Fig. 9), onde já pode ser observada a ósteo-integração.



Figura 8 - Resultado pós-operatório



Figura 9 - Resultado após seis meses

Nos enxertos autólogos e homólogos acima descritos, faz-se necessário, portanto, o uso de um aparelho capaz de triturar pequenos pedaços de ossos removidos cirurgicamente ou obtidos em bancos de ossos. Após a trituração, estes fragmentos serão usados pelo cirurgião para promover a ósteo-indução e posterior osteointegração. Este aparelho deve ser esterilizável, facilmente desmontável, prover diferentes tamanhos de cortes, ser de fácil manuseio e de simples e prática utilização na mesa cirúrgica. Nossa objetivo é projetar este aparelho.

2.0 - Objetivos

- Projetar um triturador mecânico de osso que deverá ser esterilizável, de fácil desmontagem e de simples utilização na mesa cirúrgica.
- Analisar modelos existentes no mercado.
- Selecionar materiais para a construção do dispositivo
- Desenvolver o projeto construtivo, com desenhos de fabricação do corpo e de sua lâmina.
- Construir um protótipo deste triturador.

3.0 - Principais Propriedades dos Ossos

Será necessário o conhecimento do resultado de ensaios mecânicos realizados em ossos para a construção adequada da lâmina do triturador. Os resultados dos ensaios mecânicos que se conhecem foram realizados em corpos de prova ou em ossos inteiros. Em nosso caso específico é importante o conhecimento do ensaio em corpo de prova, pois será esta pequena parte que será triturada.

Uma dificuldade encontrada quando um corpo de prova é retirado de um osso e tem suas propriedades mecânicas analisadas decorre do fato do osso ser um material anisotrópico. O valor do módulo de elasticidade (Young) para o osso vai depender da direção em que for retirado o corpo de prova deste osso ou da direção em que se faz o ensaio. O osso possui, ainda, propriedades visco-elásticas, apresentando-se mais rígido para taxas de deformações elevadas e com comportamento menos rígido para taxas mais baixas de deformação. O módulo de elasticidade cresce à medida que se aumenta a velocidade de aplicação da carga.

É importante lembrar que o osso pode ser dividido entre osso esponjoso e cortical. O osso esponjoso é encontrado próximo às articulações, com estrutura trabecular. O osso cortical é mais mineralizado, e este é o tipo de osso que deverá ser moído principalmente.

Tabela 1 - Propriedades Mecânicas do osso

	Limite de ruptura estática por compressão	Módulo de elasticidade
Osso Esponjoso	1 a 7 MPa	70 a 80 MPa
Osso Cortical	150 MPa	18 a 20 GPa

4.0 - Seleção de Materiais

Para a seleção de materiais, devem-se considerar, inicialmente, as exigências a serem satisfeitas pela peça fabricada relativamente à sua função, solicitação e durabilidade. A seguir, as exigências relativas à fabricação, bem como os custos de fabricação e os problemas na obtenção dos materiais.

Geralmente toma-se como base resultados conhecidos de experiências já realizadas. É necessário, então, examinar mais cuidadosamente:

- As exigências a serem satisfeitas pela peça.
- As condições de fabricação.
- As características dos materiais.

Nessa fase do projeto além dos aspectos relacionados à seleção de materiais e métodos de fabricação, é muito importante satisfazer as exigências do consumidor final do produto. Foi feita a comunicação com um cirurgião dentista no caso específico deste projeto.

Devido à natureza de aplicação, é importante que os materiais empregados tenham grande resistência à corrosão atmosférica como também a possíveis ataques químicos, visto que podem entrar em contato com soluções agressivas propositalmente ou por acaso.

Por se tratar de uma conduta de fundamental importância, todos os instrumentais devem ser submetidos ao processo de descontaminação, lavagem e secagem antes de serem esterilizados. Esta prática deve ser considerada nos materiais assim como nos seus tratamentos superficiais. Da Lei nº. 6437, de 20 de agosto de 1977, foi extraído da Portaria nº. 0071, 5 de Julho de 1999, o seguinte excerto:

Esterilização

I - Se Esterilização Por Meio Físico

Quando do processo de esterilização por meio de vapor saturado sob pressão AUTOCLAVE deve ser consideradas as seguintes condições:

a) O material a ser utilizado em autoclave deve ser acondicionado em pacotes individuais envolvidos por papel de gramatura, porosidade e resistência compatíveis com o processo tais como:

Embalagem de papel Kraft com pH 5-8;

Tecido de algodão cru, duplo, com trama têxtil adequada;

Embalagem de papel grau cirúrgico;

Filme poliamida entre 50 e 100 micras de espessura

ou outro material desde que comprovadamente eficaz.

b) Exposição por 30 minutos a uma temperatura de 121°C em autoclaves convencionais (1 atmosfera de pressão);

Exposição por 15 minutos a uma temperatura de 132°C em autoclaves convencionais (1 atmosfera de pressão);

Exposição por 4 minutos a uma temperatura de 132°C, em autoclaves de alto vácuo.

II - O processo de esterilização pelo calor seco deve ser realizado através de ESTUFA sendo observada as seguintes condições:

A estufa deve ter um termostato para a manutenção constante da temperatura;

Deve-se usar sempre um termômetro de coluna para o controle da temperatura preconizada da área mínima para circulação interna;

Os artigos submetidos a esterilização em estufas deverão estar acondicionados de forma adequada tais como:

Caixas metálicas de aço ou alumínio fechados;

Vidros termorresistentes com tampa (tipo pirex);

Papel laminado de alumínio;

ou outro material devidamente eficaz.

Deve ser observado o seguinte ciclo de esterilização:

-170°C por uma hora;

-160°C por duas horas, com a estufa pré-aquecida.

É proibido o uso de radiação ultravioleta. (Lei nº 6437/77) e ebulidores de água como método de esterilização.

III - SE ESTERILIZAÇÃO POR MEIO QUÍMICO

- O produto destinado a este processo em odontologia é o GLUTARALDEÍDO 2%.

- Conforme marca comercial, o tempo de exposição para esterilização é de oito a dez horas. Deve constar nas orientações de manipulação do produto.

- As pastilhas de formol não são aceitas como método de esterilização.

- Não é permitido a esterilização de brocas odontológicas em soluções.

- Quando a esterilização for terceirizada, o estabelecimento odontológico, deverá apresentar contrato da empresa prestadora de serviços, determinando o local adequado para o acondicionamento do material”.

As temperaturas envolvidas no processo não têm magnitude a ponto de alterar as propriedades mecânicas da peça, nos possíveis materiais como as ligas de alumínio, aços inox e polímeros.

Devido a facilidade de fabricação, foi escolhido como material para a lâmina o aço inox ABNT 420, temperado e revenido. Para todas as outras peças foi escolhido o alumínio AA 6262, anodizado.

4.1 – Alumínio e suas ligas

O alumínio é uma ótima opção para a área de biotecnologia, visto sua resistência à corrosão, refletividade, impermeabilidade a líquidos e gases, aparência estética e resistência mecânica, que em certas ligas se iguala ao aço. Os produtos de corrosão são incolores e não tóxicos.

As ligas de alumínio se dividem em 8 famílias dependendo do componente majoritário:

Tabela 2 - Designação de Ligas de Alumínio padrão AA

Designação	Componente Majoritário da Liga
1XXX	Nenhum
2XXX	Cobre
3XXX	Manganês
4XXX	Silício
5XXX	Magnésio
6XXX	Magnésio e Silício
7XXX	Magnésio e Zinco
8XXX	Outros

Um bom acabamento final é de suma importância, já que é indesejável que partículas fiquem aderidas ao produto, podendo reter bactérias, sangue ou sujeira. Deve ser observado que para o alumínio ter uma boa refletividade, o teor de silício deve ser inferior a 5%.

Uma outra vantagem é que o alumínio permite uma vasta variedade de tratamentos superficiais, com objetivos decorativos, maior resistência mecânica, dureza superficial, resistência ao desgaste e outros.

As ligas de alumínio trabalháveis são classificadas em tratáveis e não tratáveis termicamente, sendo que o grupo de não tratáveis são as séries 1XXX, 3XXX, 4XXX e 5XXX.

O tratamento consiste em levar a peça até 500°C, quando os elementos entram em solução sólida. Ao resfriar bruscamente o material em água, os elementos ficarão retidos. Esta situação é instável, e os elementos tentarão formarem precipitados. Nesta movimentação, devido aos elementos serem finos e bem distribuídos, bloqueiam o movimento das discordâncias e endurecem o material. Esta precipitação ocorre em temperatura ambiente ou pode ser acelerada (chamada de envelhecimento) ao colocar num forno a 150°C ou 200°C.

A utilização de autoclaves para esterilizar equipamentos encontra-se na faixa de temperatura citada para o envelhecimento, o que leva à idéia de deixar esta etapa para o consumidor final, visto que esterilizará o equipamento antes de tudo.

Como o principal critério é a resistência à corrosão, é possível escolher entre as famílias 1XXX e 6XXX. O critério que irá decidir qual das ligas será escolhida é a importância de se realizar um tratamento térmico e o custo destes materiais.

4.1.2 – Alumínio liga ABNT 6262

As ligas da série 6xxx apresentam duas características que justificam o seu uso mais freqüente quando comparadas às demais ligas de alumínio: a capacidade de endurecimento por precipitação (são termicamente tratáveis). Estas ligas apresentam elevada dutilidade, que permite o seu uso em operações que acarretam elevados graus de deformação.

Principais Características

- Ótima usinabilidade
- Alta resistência mecânica
- Alta resistência à corrosão
- Apropriada para anodização decorativa

Propriedades gerais da liga:

Tabela 3 - Composição Química da Liga de Alumínio

Alumínio	Al	-	97,70%
Manganês	Mn	-	0,15%
Silício	Si	-	0,60%
Zinco	Zn	-	0,25%
Magnésio	Mg	-	0,15%
Titânio	Ti	-	0,15%
Ferro	Fe	-	0,70%
Cobre	Cu	-	0,30%

Tabela 4 - Propriedades Físicas da Liga de Alumínio

Módulo de Elasticidade a Tração (E)	10 GPa
Densidade	2,71 g/cm³
Calor Específico	0,21cal/g°C
Condutividade Térmica	0,5 cal/cm.⁰C.s
Temperatura de Fusão	630° C

Tabela 5 - Propriedades Mecânicas da Liga de Alumínio

Liga	Tempera	Limite de Resistência à Tração (MPa)		Limite Convencional de Escoamento (MPa)		% de Alongamento em 50 mm	Dureza Brinell 2,5/62,5
6262	T6	260	-	-	-	10	-
	T9	360	390	330	370	5	111

4.2 – Aço Inox Martensítico

Nos aços inoxidáveis martensíticos, o carbono está numa concentração tal que permite a formação de martensita, durante o resfriamento, a partir da austenita em altas temperaturas. A martensita é uma fase rica em carbono, frágil e dura. Os aços inoxidáveis martensíticos têm características comuns de serem magnéticos e endurecíveis por tratamento térmico, apresentando, quando temperados, uma microestrutura acicular. É importante observar que estes aços são normalmente fornecidos pela indústria siderúrgica em estado recozido, com ductilidade razoavelmente boa.

Somente depois de temperados é que se tornarão muito duros e pouco dúcteis, mas resistentes à corrosão. O mais utilizado dos aços inoxidáveis martensíticos no Brasil é o tipo SAE 420. Em estado recozido (estrutura ferrítica), não apresenta bom comportamento frente à corrosão atmosférica. Isto porque durante a operação de recozimento, à temperatura aproximada de 760°C, o carbono e o cromo se combinam para formar carboneto de cromo, Cr_{23}C_6 . Cada molécula de carboneto de cromo contém, em peso, aproximadamente 95% de cromo. Considerando o alto teor de carbono e o baixo teor de cromo do inox 420 e como todo o carbono precipita como carboneto de cromo durante o recozimento, esta precipitação retirará da solução sólida aproximadamente a metade do cromo disponível. Nesta condição o material não resiste à corrosão e não pode ser considerado propriamente como um aço inoxidável (já que não tem um mínimo de 11% de cromo em solução sólida).

Por isso, o inox 420 é colocado em serviço pelo usuário somente após um tratamento de têmpera. Quando temperado, o carbono forma parte da fase martensítica, não sendo encontrado na liga precipitado como carboneto de cromo. A alta dureza e a consequente resistência ao desgaste norteiam as aplicações deste material, utilizado em cutelaria, discos de freio, equipamentos cirúrgicos e odontológicos e turbinas.

Se a quantidade elevada de carbono é inconveniente no inox 420 em estado recozido, uma solução lógica é a de diminuir este teor, o que é feito no inoxidável Tipo 410. Como este material tem um máximo de 0,15% de carbono, esta quantidade não é suficiente para remover tanto cromo da solução sólida e consequentemente, apresenta

uma boa resistência à corrosão atmosférica, tanto na condição de recozido como de temperado.

Após o tratamento de têmpera, as durezas atingidas por este material não são altas quanto as apresentadas pelo inox 420. As principais aplicações do inox 410 são em equipamentos para refino de petróleo, válvulas, componentes de bombas e cutelaria. Aumentando-se a quantidade de enxofre obtém-se o inox 420F, uma variedade do 420, com boa usinabilidade.

Adições de carbono (para se obter durezas ainda maiores) e de cromo e molibdênio (melhorando a resistência à corrosão) nos levam aos aços inoxidáveis martensíticos Tipo 440, utilizado em facas de corte profissional. O material selecionado para a confecção da lâmina do projeto foi o aço inox AISI 420 , temperado e revenido.

4.2.1 – Aço Inox ABNT 420, AISI 420 ou SAE S42000

Características Principais

Aço cromo, martensítico, inoxidável e temperável. Resistente à oxidação até a temperatura de 630 graus Celsius. Possui boa resistência mecânica até a temperatura de 550 graus Celsius. No estado beneficiado apresenta melhor resistência à corrosão e pode atingir dureza de 50HRC. Para conformações a frio deve-se pré-aquecer entre 200 e 400 graus Celsius. A característica inoxidável é maximizada com a adoção de superfície limpa e polida.

Aplicações

Peças para construção mecânica exigindo alta tenacidade. Para artigos de cutelaria, instrumentos cirúrgicos e dentários, componentes de forma e instrumentos de medição.

Fornecimento

É fornecido no estado esteroidizado com dureza máxima de 230HB em tarugos, barras laminadas redondas descascadas e trefiladas, barras forjadas, barras forjadas torneadas , fio máquina e fio máquina decapado.

Propriedades gerais do aço:

Tabela 6 - Composição química do Aço ABNT 420

Carbono	C	Mín.	0,15%
Manganês	Mn	-	1,00%
Silício	Si	-	1,00%
Cromo	Cr	-	12 a 14%
Níquel	Ni	-	-
Enxofre	S	Máx.	0,03%
Fósforo	P	Máx	0,03%
Molibdênio	Mo	-	-

Tabela 7 - Propriedades Mecânicas do Aço ABNT 420

Módulo de Elasticidade a Tração (E)	199 Gpa
Módulo de Elasticidade a Torção (G)	80 Gpa
Densidade	7.7 g/cm³
Permeabilidade magnética	1.003
Calor Específico	0.11 BTU/°C
Condutividade Térmica	11.4 BTU/h
Temperatura de Fusão	2700 °C

5.0 – Tratamentos dos Materiais pós Usinagem

5.1 – Anodização do Alumínio 6262

O objetivo da anodização é melhorar a estética das peças tratadas e protegê-las da corrosão ou de qualquer outro ataque exterior.

A anodização é precedida de certo número de operações preliminares, que tem por objetivo preparar a superfície do metal para receber o tratamento em condições de conferir-lhe uma película superficial dura e também um aspecto decorativo (acetinado químico, leitoso, escovamento, polimento).

Através de um banho eletrolítico, o alumínio é submetido então à Anodização. A tensão de alimentação do banho deve estar compreendida entre 14 e 20 volts, e a intensidade de corrente deve ser de 150 A.cm^{-2} . Esta intensidade tem a tendência de aquecer o banho, cuja temperatura deve ser mantida entre 18 e 20 graus Celsius, através de um bom sistema de refrigeração, sob agitação de ar contínua.

Desde que a corrente circule, acontece a eletrólise e, no ânodo (peças de alumínio), haverá a decomposição do ácido, libertando o oxigênio, que reage com o alumínio, transformando-o em óxido de alumínio (alumina). Esta película é extremamente dura, porosa, anidra e transparente. A espessura da camada varia em função do tempo de anodização, podendo atingir dureza na escala Mhos de 7 a 8.

Tabela 8 - Relação da agressividade do meio com a espessura da camada de alumina

AGRESSIVIDADE	AMBIENTE	CAMADA	CLASSE
média	rural / urbano	11 a 15 microns	A13
alta	marinho	16 a 20 microns	A18
altíssima	industrial	21 a 25 microns	A23

A camada dura selecionada foi a de 20 microns. É importante ressaltar que a estética final do produto conta muito, onde a coloração das superfícies pode ser trabalhada na anodização.

5.1.1 - Coloração

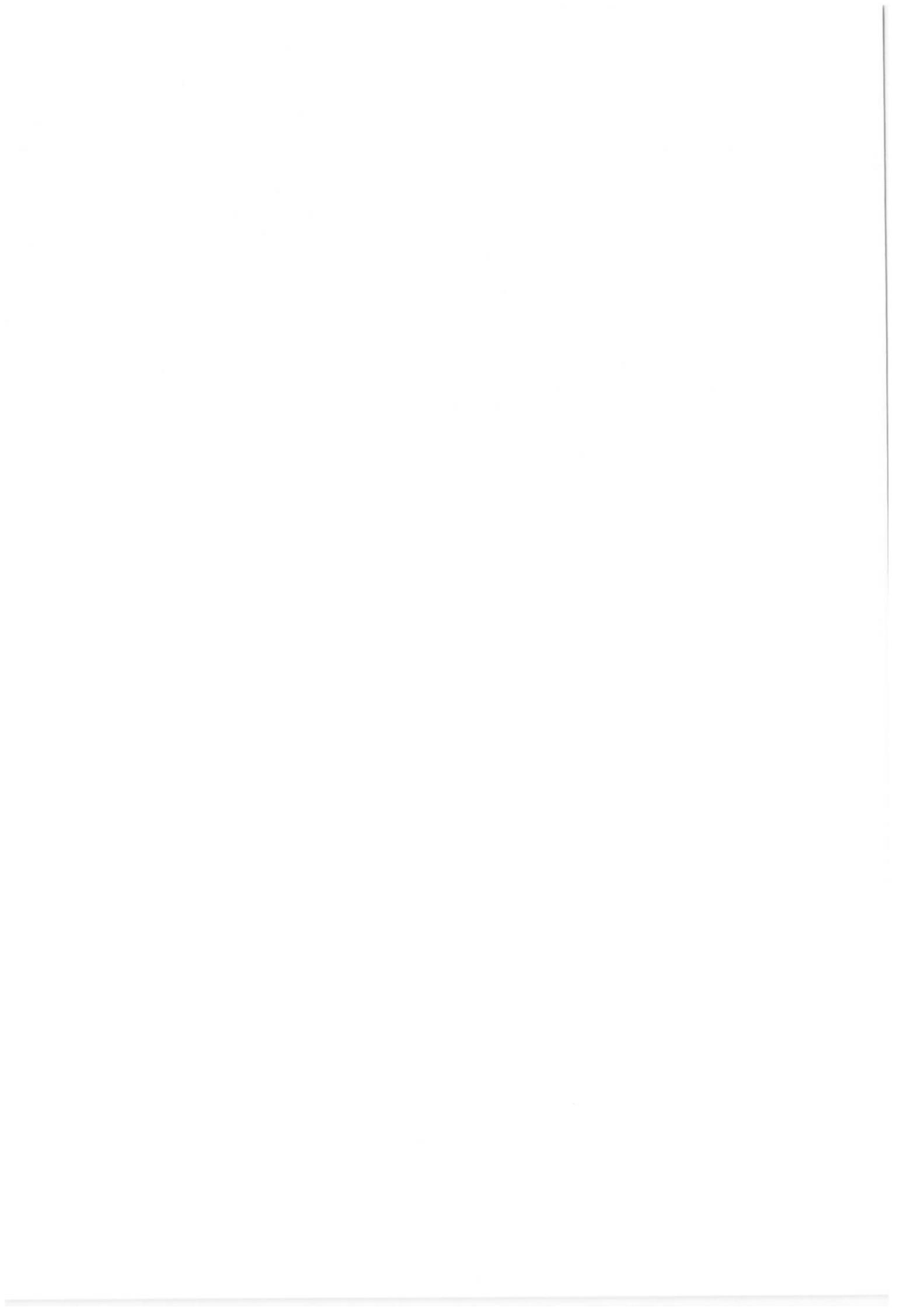
Há duas formas de coloração. A primeira pode ser orgânica e inorgânica por imersão. Em ambas, tanto a anilina quanto o sal se impregnam na superfície dos poros e quanto mais aberto estiverem, melhor se dará a impregnação.

A segunda forma é a impregnação inorgânica eletrolítica. Neste processo a corrente atrai os sais metálicos para o fundo dos poros e as tonalidades variam pela quantidade de sais metálicos impregnados.

A coloração escolhida para a construção do protótipo foi a “Champagne”, que lembra o bronze bem claro.

5.1.2 - Selagem

É a etapa complementar e obrigatória para dar qualidade à anodização. Responsável pela resistência à corrosão atmosférica, não permite que a mesma penetre pelos poros. Consiste em mergulhar o alumínio anodizado em uma cuba d'água (destilada ou deionizada) levada a ebulação. Nestas condições a alumina se hidrata e aumenta de volume, o que acarreta o fechamento dos poros.



5.2 – Têmpera e Revenido do Aço Inox 420

5.2.1 – Têmpera do Aço Inox 420

Visando melhorar as propriedades mecânicas da lâmina, esta será submetida ao tratamento de têmpera e revenido.

O tratamento térmico de têmpera nos aços tem como objetivo a obtenção de uma microestrutura que proporcione propriedades de dureza e resistência mecânica elevadas. Neste processo, a região a ser temperada é inicialmente aquecida à temperatura de austenitização e em seguida, é submetida a um resfriamento rápido. A microestrutura resultante é composta predominantemente de martensita, uma fase que apresenta elevada dureza. Durante o processo de resfriamento, a queda da temperatura promove transformações estruturais que acarretam o surgimento de tensões internas. O desenvolvimento destas tensões internas, por sua vez, influencia a cinética das transformações de fase, alterando as temperaturas em que estas transformações ocorrem. Desta forma, é necessário conhecer o comportamento termomecânico do aço durante todo o processo para descrever adequadamente um tratamento térmico como a têmpera. A literatura [7] nos mostra as temperaturas ideais de têmpera para obtenção de propriedades mecânicas ótimas para cada tipo de aço. A tabela abaixo indica o tempo e temperatura de têmpera para nosso caso.

Tabela 9 - Temperatura e tempo de têmpera

Têmpera			
TIPO AISI	Temperatura oC	Tempo (minutos)	Meio de Resfriamento
420	975/1050	15 a 20	ar , óleo quente

5.2.2 – Revenimento do Aço Inox 420

O revenido (ou revenimento) é um tratamento que tem por finalidade eliminar as tensões provocadas pelo arrefecimento da têmpera e dar às peças temperadas a melhor tenacidade possível, de acordo com o trabalho a que serão submetidas. Deve ser efetuado imediatamente a seguir à têmpera, para não deixar as peças sob as tensões resultantes desse tratamento. A finalidade essencial é a distensão das peças, reduzindo-se as tensões internas provocadas pela martensita. A duração do revenido está diretamente ligada ao tipo de aço, e a espessura média das peças a tratar. A literatura [7] nos mostra as temperaturas ideais de revenido para obtenção de propriedades mecânicas ótimas para cada tipo de aço. A tabela abaixo indica o tempo e temperatura de revenido, bem como as propriedades mecânicas resultantes para nosso caso.

Tabela 10 - Temperatura e tempo de revenido

Revenido			
TIPO AISI 420	Temperatura oC	Tempo (h)	Dureza Brinell
	150 / 375	1 a 2	470/530

5.2.3 – Propriedades Mecânicas Médias aos o tratamento térmico

A Tabela abaixo nos mostra as propriedades mecânicas esperadas após os tratamentos de têmpera e revenido.

Tabela 11 - Propriedades mecânicas após tratamento térmico

	Limite de resistência à tração	Limite de Escoamento	Alongamento	Resistência ao Choque
TIPO AISI 420	Mpa	Mpa	%	J
	1340	1000	8	40,2/81,4

6.0 - Concepções Iniciais da Geometria

Ao ser concebida a primeira geometria, foi necessário levar em conta os principais requisitos:

- Fácil montagem
- Fácil limpeza
- Estética
- Portátil
- Baixo custo de manufatura
- Fácil reposição ou troca da lâmina

O corpo do moedor deveria caber na mão de uma pessoa. Porém, este necessitaria de uma entrada com razoável profundidade para entrada do osso a ser moído.

Para que tivesse conforto na mão, foi escolhido um perfil cilíndrico, onde parte da circunferência seria retirada na fresa. Para que tivéssemos profundidade suficiente no rasgo, o furo foi deslocado para a periferia do cilindro.

Deve ser lembrado que todos os processos envolvidos compreendem operações básicas de usinagem, utilizando ferramentas de baixo custo.

No desenvolvimento da lâmina, foi escolhido separar essa peça do acoplamento, que em outros modelos são usinados juntos. Isto garante uma maior facilidade tanto na limpeza, eliminando cantos, quanto na facilidade de fabricação. Isto barateia a produção e viabiliza para o cirurgião uma fácil troca da lâmina quando a vida útil desta chegar ao fim.

Também foi pensado no ângulo de corte da lâmina. É possível obter diferentes ângulos simplesmente deslocando o eixo do furo para a periferia do cilindro, conforme a figura a seguir:

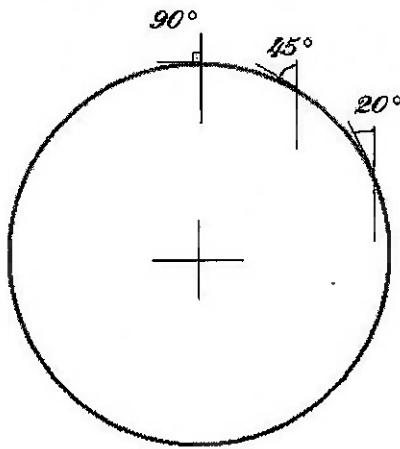


Figura 10 - Obtenção dos ângulos de corte

Na concepção da manivela, acabamos optando por não usar parafuso na montagem, visto que a manivela sempre vai estar a mão do cirurgião. Admitir um parafuso implica em mais uma peça no conjunto e mais uma operação de usinagem. Além do que hélices de parafuso podem segurar impurezas, bactérias e outros, dificultando a limpeza.

O copo deve ter uma base pesada, a fim de aumentar a estabilidade, e o moído deve ser de fácil acesso. Para tanto, foi escolhida uma profundidade que seria metade do comprimento total. Esta peça é roscada, porém o passo dela é grande e fica fácil a limpeza.

O pistão deve ter contato em toda a circunferência da lâmina, para evitar que material se depõe nos vãos e não seja moído. Primeiramente foi escolhido que o material deveria ser empurrado utilizando uma mola, alternativa que mais tarde se mostrou inconveniente, porque aumenta o número de peças e sua complexidade, dificulta a limpeza, bem como a obtenção de molas com material apropriado tem preço elevado.

A primeira concepção do conjunto é mostrada na figura seguinte:

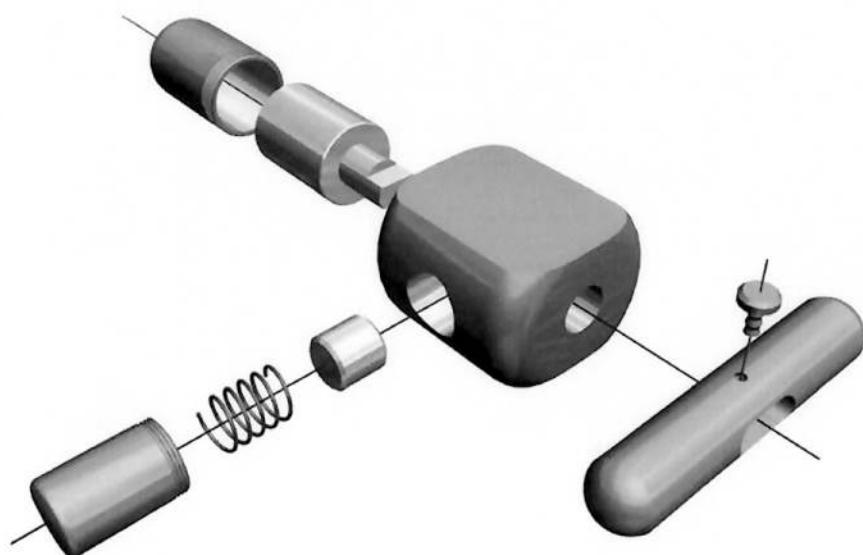


Figura 11 - Vista explodida da concepção inicial

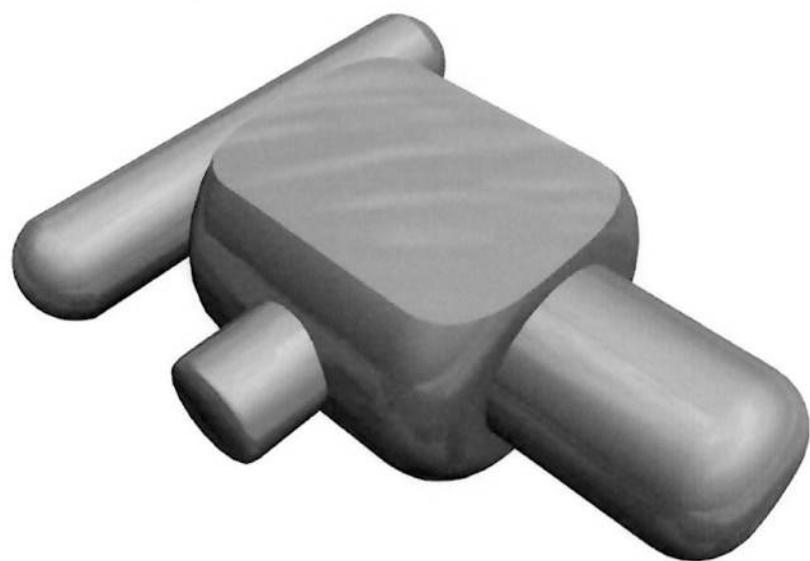


Figura 12 - Montagem da concepção inicial

Ao depararmos com várias dificuldades na oficina, seguiram-se algumas modificações, mas que não alteraram a essência do mecanismo. Essas modificações implicam em maior facilidade de fabricação, que se reflete diretamente no custo de manufatura. A concepção final segue nas próximas figuras:

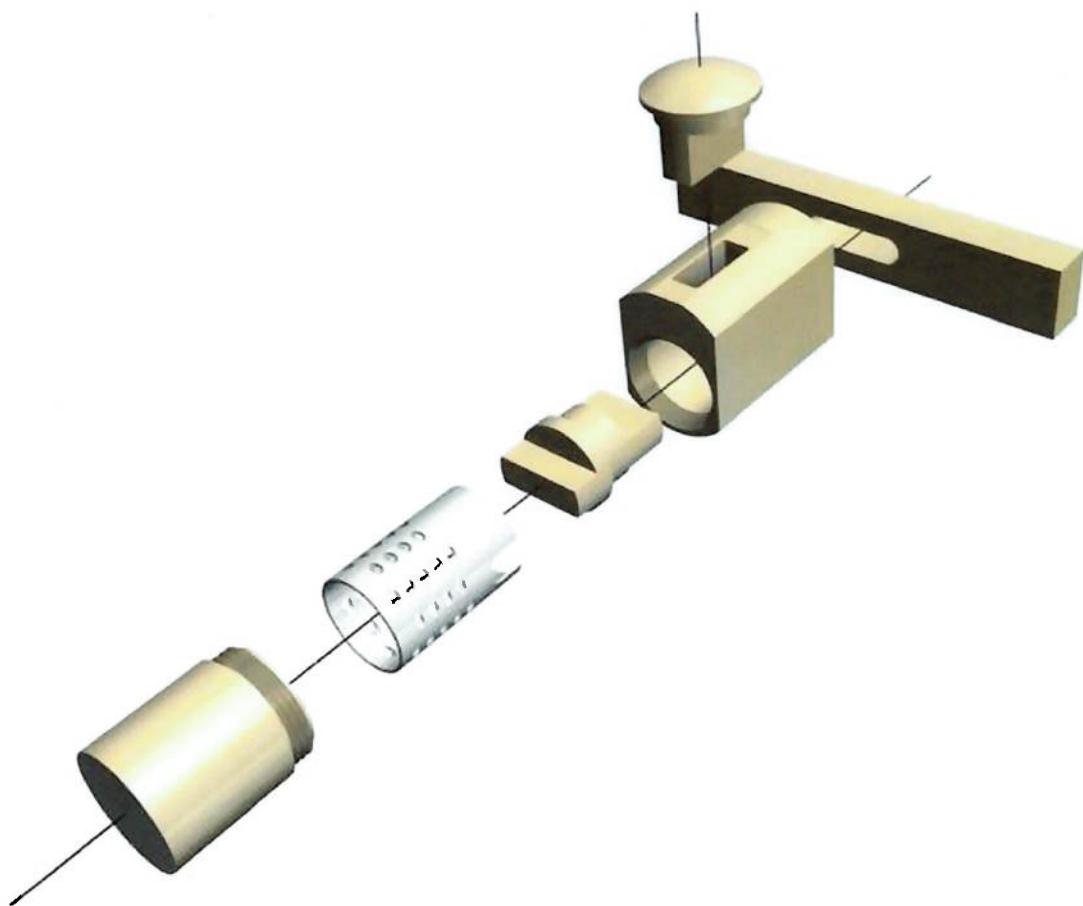


Figura 13 - Vista explodida do mecanismo

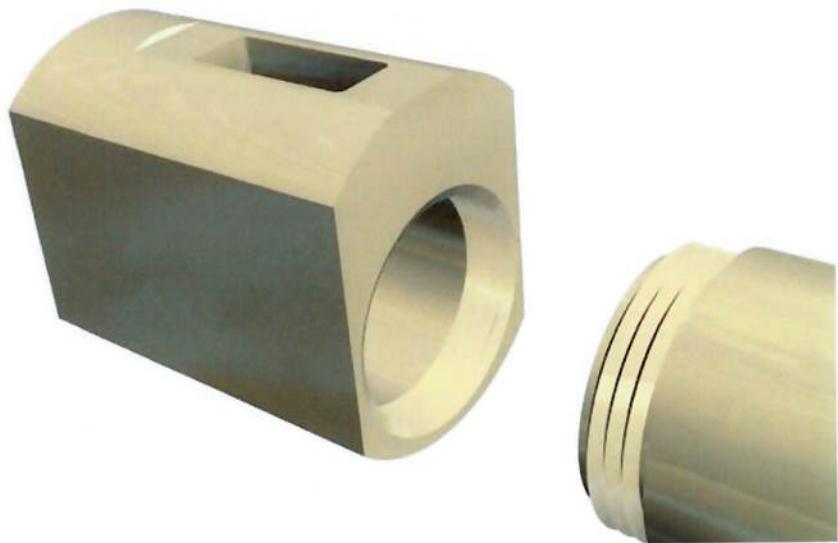


Figura 14 - Detalhe da rosca na união copo/corpo



Figura 15 - Detalhe da lâmina

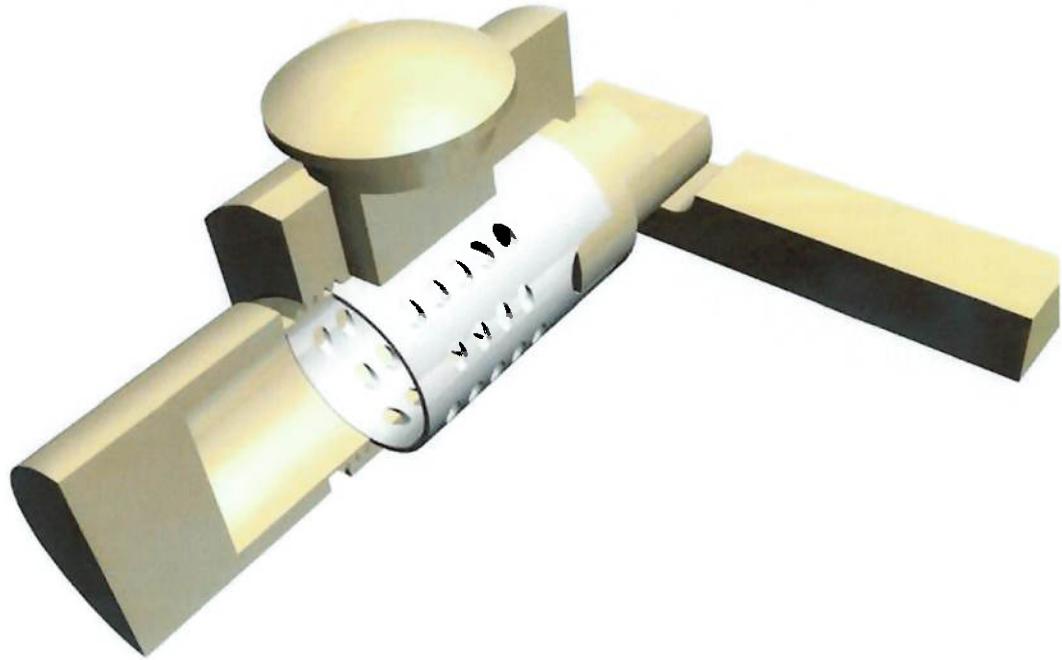


Figura 16 - Conjunto montado em corte

7.0 - Construção do protótipo

A construção do protótipo foi dividida em 8 etapas, sendo 6 de usinagem , realizadas por completo nas oficinas do PMR e duas de tratamento , têmpera da lâmina nos fornos do laboratório de materiais do PME e anodização das partes em alumínio que foi terceirizada , sendo realizada na Esquadrimetal , em Diadema. As figuras que seguem abaixo ilustram o protótipo construído e pronto para a anodização das partes em alumínio.



Figura 17 - Conjunto montado



Figura 18 - Vista superior do conjunto montado



Figura 19 - Detalhe do acoplamento montado

8.1 - Corpo

Para chegar na geometria desejada, escolheu-se uma barra de alumínio de 2 polegadas (50,8 mm). Após o desbastamento inicial e o faceamento, a foi presa num divisor, para manter o centro durante a furação. Como a oficina da escola não dispõe de mandriladora, os furos foram realizados somente com a fresa, em várias etapas para diminuir a força de corte.



Figura 20 - Furação utilizando a fresadora

Após a furação, a peça foi serrada na dimensão desejada, já que o acabamento final dado por esta mostrou-se suficiente.



Figura 21 - Corte da peça

A próxima etapa foi a fresagem para criação das faces laterais e abertura do rasgo para entrada do pistão.



Figura 22 - Peça finalizada antes da anodização

Como a tolerância dos furos não pode ser exigente, uma vez que as ferramentas disponíveis na não eram as mais apropriadas, o acabamento final ficou um pouco comprometido, mas por se tratar de um protótipo os resultados foram excelentes. Então a superfície foi lixada, o que amenizou os riscos mais profundos. As marcas da lixa acabaram por ser removidas quando a peça foi anodizada, devido ao banho corrosivo que esta recebe durante o processo.

8.2 - Manivela

Para a confecção da manivela, foi obtida usando a serra de fita. Após isto, foi o faceamento e abertura do rasgo para entrada do acoplamento. A peça foi então lixada e posteriormente anodizada.



Figura 23 - Manivela após lixamento

8.3 - Pistão

Esta peça foi obtida de um cilindro, onde a calota da parte superior foi conseguida controlando-se o avanço longitudinal e radial no torno. As outras faces foram obtidas utilizando-se a fresadora. Para fazer o canal com raio 15mm, foi utilizada uma lima que tinha essa dimensão.



Figura 24 - Pistão após lixamento

8.4 - Copo

O copo foi usinado inteiramente no torno, a partir de uma barra cilíndrica. O furo interno foi obtido usando brocas e ferramentas para torneamento interno. Então foi feito o rosqueamento e corte na serra.



Figura 25 - Rosqueamento do copo



Figura 26 - Copo antes da anodização

8.5 - Acoplamento

Esta peça, que une a manivela à lâmina foi obtida com operações de torneamento e fresamento, não apresentando maiores dificuldades em sua confecção.

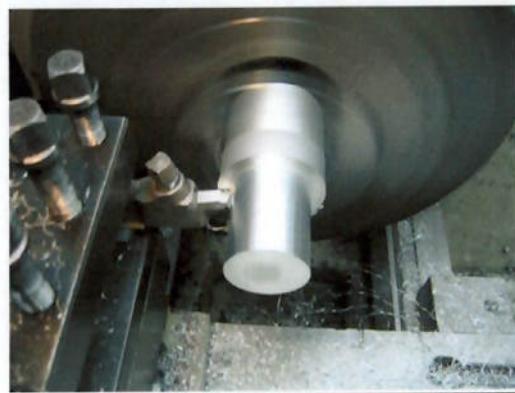


Figura 27 - Torneamento do Acoplamento



Figura 28 - Fresagem do acoplamento



Figura 29 - Acoplamento Finalizado

8.6 - Lâmina

Como o aço encontrava-se em estado recozido, a usinagem foi relativamente fácil. Porém, durante o corte a peça adquire altas temperaturas, e deve ser refrigerada com fluido refrigerante durante toda a operação. Caso isto não seja feito, a peça pode queimar e deixar uma marca enegrecida.

Para a usinagem do furo, após o alargamento feito com a broca, o torneamento interno se demonstrou difícil, visto a vibração que a ferramenta adquiria. Deve-se lembrar que quando a ferramenta vai caminhando para as cotas mais periféricas do cilindro, a velocidade de corte aumenta e pode levar a quebra da ponta da ferramenta. Sendo assim, ao iniciar a usinagem deve-se utilizar uma velocidade mais alta e ir abaixando quando a ferramenta for indo para a periferia.

8.7 - Anodização

As peças foram encaminhadas para a Esquadrimetal em Diadema, para ser feita a anodização dura, e a coloração escolhida foi o Champagne.

8.8 - Têmpera e Revenido

A lâmina foi colocada no forno obedecendo-se a temperatura do projeto. Foi resfriada em óleo. Após isto, ela foi revenida utilizando a temperatura apropriada.

9.0-Complementos

A passivação do aço inox que compõe a lâmina fez-se necessária para adequar-se as normas vigentes. Este tratamento nada mais é que a formação de uma camada de óxidos estável e homogênea após a remoção da carepa. Seus objetivos são:

- Remover da superfície do inox, óxidos indesejados formados a altas temperaturas na etapa de fabricação como nos tratamentos térmicos realizados, por exemplo.
- Promover a formação de uma camada de óxidos de cromo estável e homogênea
- Eliminar resíduos de partículas de ferro e seus óxidos aderidos à superfície do inox

A passivação é obtida sempre pela reação química de oxidação do cromo através de banhos em solução próprias

Tabela 12 - Tabela de Passivação do Inox 420

Tratamento	Aço Inox	Banho Ácido	Temp. (°C)
passivação	301, 304, 304-L, 316, 316-L, 430, 439	20% HNO ₃	50 a 60
passivação	420, 410-S, 409	20% HNO ₃ + 2% Na ₂ Cr ₂ O ₇ . 2H ₂ O (dicromato de sódio)	50 a 60
passivação	420, 410-S, 409	50% HNO ₃	50 a 60
decapagem e passivação	301, 304, 304-L, 316, 316-L	15% HNO ₃ + 2% HF	50 a 60
decapagem e passivação	420, 410-S, 409	15% HNO ₃ + 0.5% HF	50 a 60

O custo total do protótipo e o preço final obtido são registrados na tabela abaixo , com a cotação do dólar americano do dia 14/12/2004 em 1US\$ =2,722 R\$

Tabela 13 - Tabela de Custo de fabricação

	Preço	Unidade	Quantidade	Total
Alumínio AA 6262	R\$ 9,45	R\$ / kg	1,00	R\$ 9,45
Aço Inox AISI 420	R\$ 7,30	R\$ / kg	0,30	R\$ 2,19
Máquina Usinagem	R\$ 32,00	h	8,00	R\$ 256,00
Homem Usinagem	R\$ 8,00	h	8,00	R\$ 64,00
Anodização	R\$ 13,90	h	1,00	R\$ 13,90
Tempera / Revenido	R\$ 22,70	h	2,15	R\$ 48,81
Passivação	R\$ 14,20	h	0,20	R\$ 2,84
TOTAL				R\$ 397,19
				USD 145,92

10.0 Conclusões

O fator crítico do trabalho foi o ângulo de corte da lâmina, obtido furando-se um tubo fora do seu centro. Esse ângulo deve ser ajustado através da tentativa e erro, uma vez que o material a ser moído não apresenta características mecânicas bem definidas, assim como o aspecto final também não está bem determinado cabendo ao cirurgião dentista escolher a textura final do moído, apropriada para cada caso. Como alternativa pode-se apresentar diferentes modelos de lâmina para atender as necessidades do cirurgião. O protótipo desenvolvido acarretou várias mudanças no projeto, que visaram facilitar a usinagem. É conhecido o fato que uma peça onde existe facilidade de manufatura o custo é menor.

Dentre as inovações apresentadas, o uso de alumínio para confecção da maioria das peças deve ser notada. Isto acarreta em menores perdas de ferramenta de corte, visto que este material é considerado mole, e há possibilidade de coloração estética.

Também deve ser ressaltado o fato da lâmina ser muito mais fácil de fabricar do que os concorrentes, o que reflete diretamente no custo.

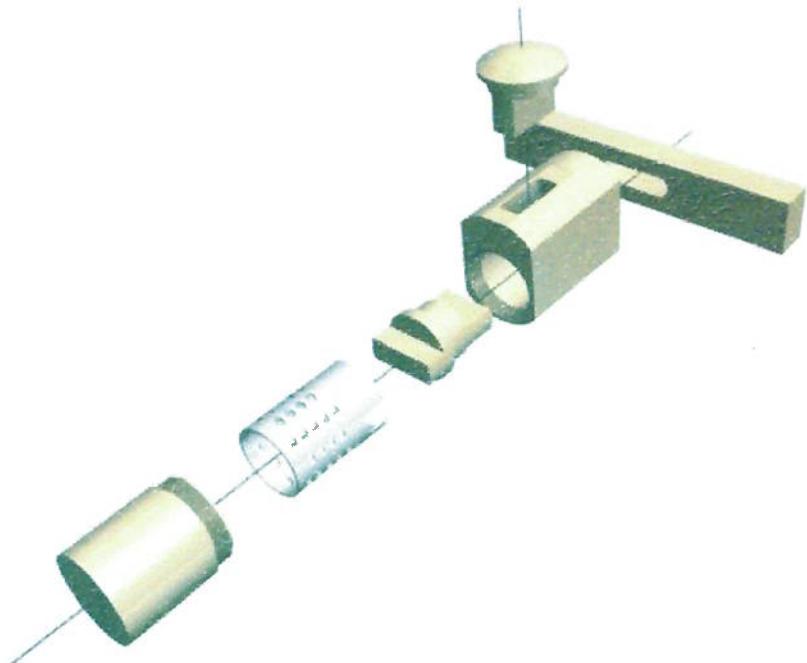
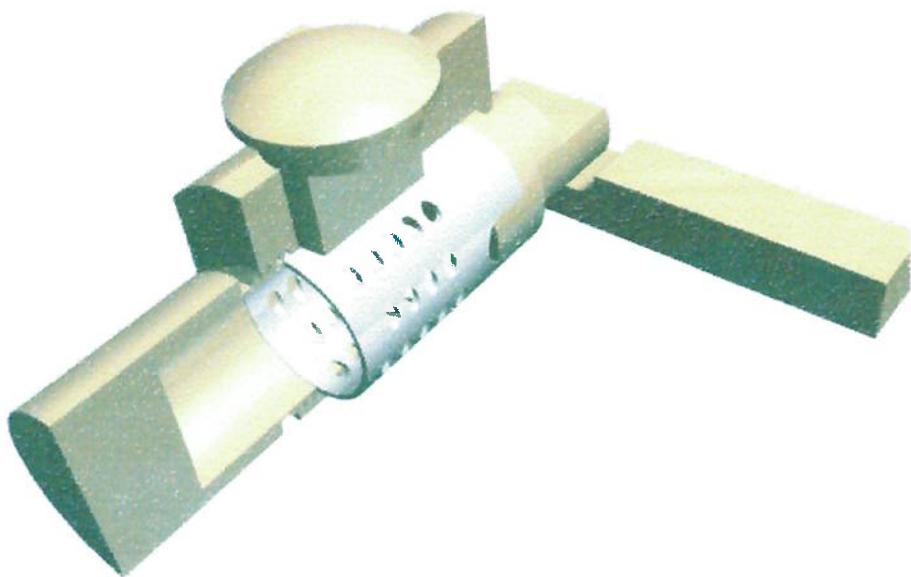
Considerando estes fatores, concluímos que este projeto cumpriu com êxito seus objetivos iniciais, que eram criar uma alternativa nacional mais barata e principalmente com excelente qualidade.

11.0 Desenhos

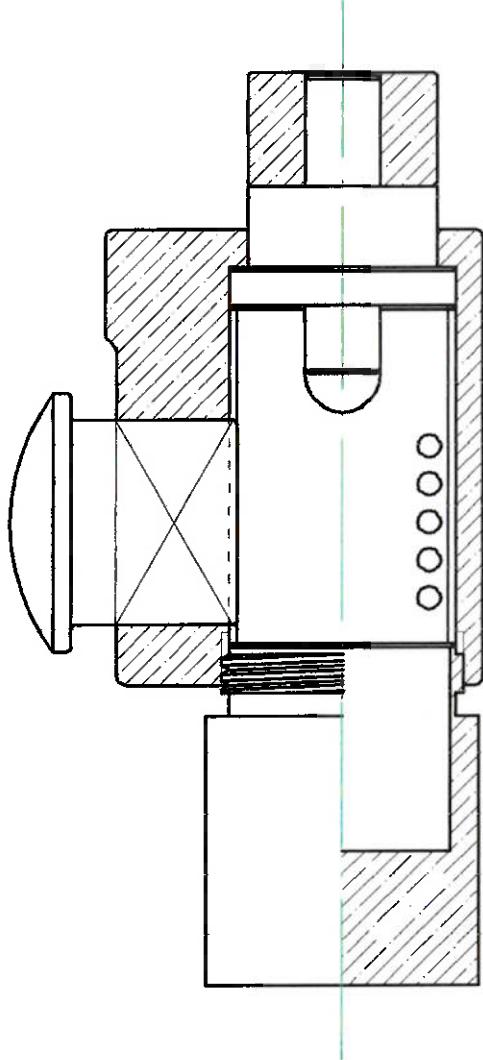
Os desenhos do protótipo seguem nas próximas páginas em anexo.

12.0 - Referências

- [1] NIEMANN, G. **Elementos de Máquinas.** Vol. I, São Paulo : Edgard Blücher Ltda, 1990.
- [2] A.L.V. da Costa e Silva, P.R. Mei, **Aços e Ligas Especiais**, 2a ed., Eletrometal Metais Especiais S.A., 1988
- [3] FERRARESI, D. - **Fundamentos da Usinagem dos Metais.** Ed. Edgar Blücher Ltda, São Paulo, 1970.
- [4] BRYDSON, J. **Plastic Materials**, 4a. edição, 1982.
- [5] FREIRE, J. M. - **Tecnologia do Corte**, Livros Técnicos e Científicos, 1977;
- [6] FERRARESI, Dino - **Fundamentos de Usinagem dos Metais**, Editora Edgard Blücher Ltda, Volume I, 1986;
- [7] CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**, ABM Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais , 7^a Edição , 2002.



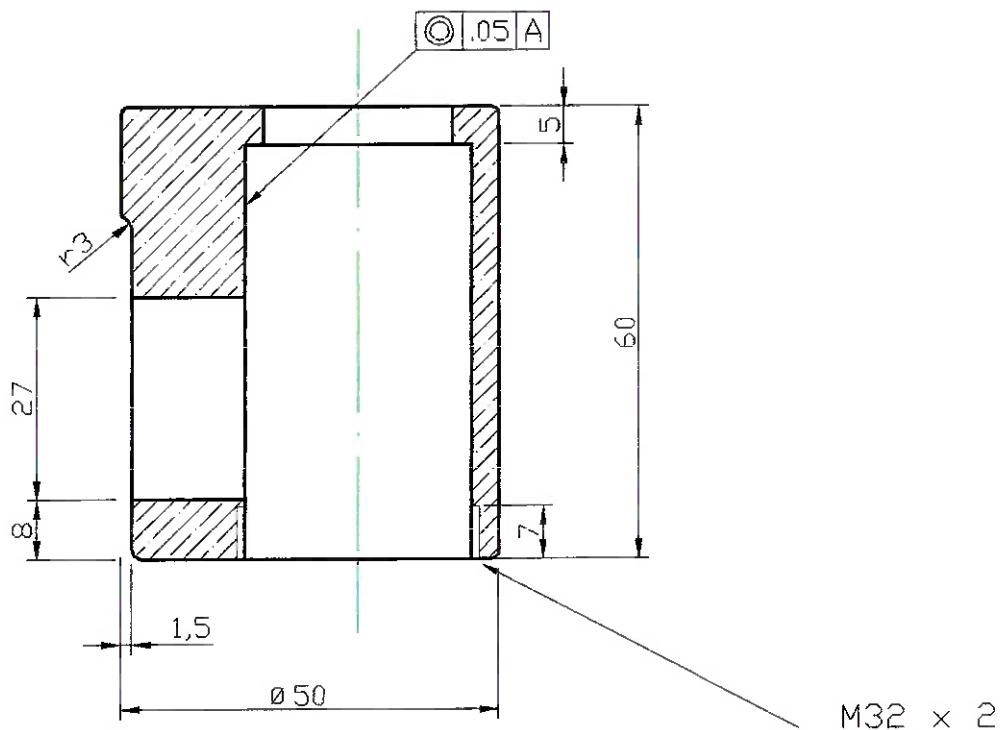
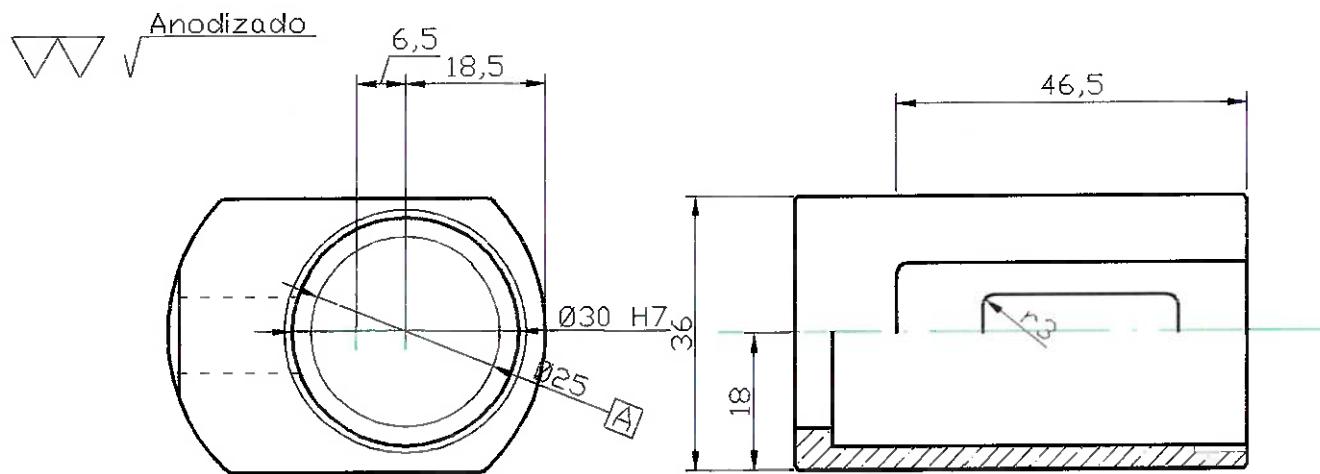
E			
D			
C			
B			
A			
INDICE	DATA	NOME	MODIFICAÇÃO
Descrição		ESCALA Visto	NOME DWG AutoCAD: explodida.dwg
EXPLODIDA			
Escola Politécnica da USP Dep. Engenharia Mecânica		A4	OUT 2004
			A



E			
D			
C			
B			
A			
INDICE	DATA	NOME	MODIFICAÇÃO
Descrição		ESCALA	
CONJUNTO		1:1	Visto
			DWG AutoCAD: corpo1.DWG
Escola Politécnica da USP Dep. Engenharia Mecânica		A4	OUT 2004
			A

Material: Alumínio Liga AA 6262/6351 T6

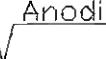
Afastamento Geral $+/- 0.1$

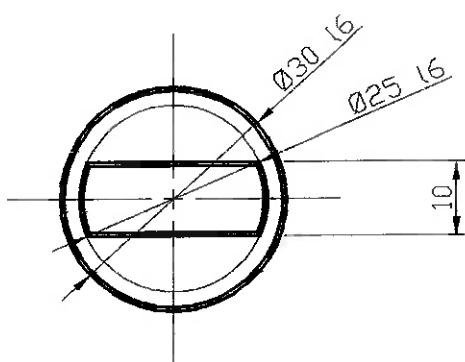
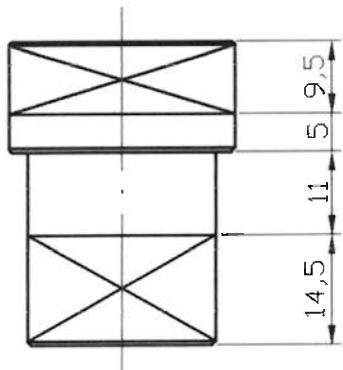


E			
D			
C			
B			
A			
ÍNDICE	DATA	NOME	MODIFICAÇÃO
Descrição			
CORPO		1:1	Visto
			DWG AutoCAD: corpo1.DWG
Escola Politécnica da USP Dep. Engenharia Mecânica		A4	OUT 2004
			A

Material: Alumínio Liga AA 6262/6351 T6

Afastamento geral $+/- 0.1$

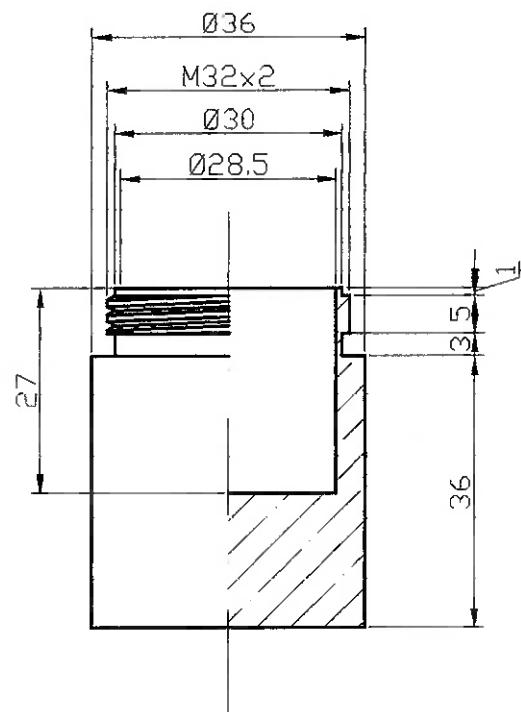
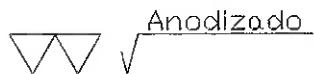
  Anodizado



E			
D			
C			
B			
A			
INDICE	DATA	NOME	MODIFICAÇÃO
Descrição		ESCALA	
ACOPLAMENTO		1:1	Visto
			DWG AutoCAD: acoplamento.dwg
Escola Politécnica da USP Dep. Engenharia Mecânica		A4	OUT 2004
			A

Material: Alumínio Liga AA 6351 T6

Afastamento geral $+/- 0.1$

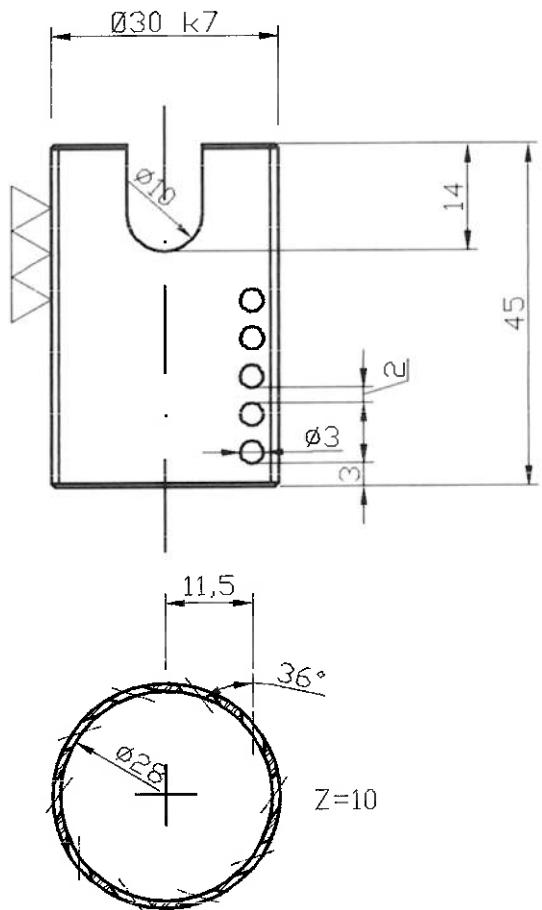


E			
D			
C			
B			
A			
ÍNDICE	DATA	NOME	MODIFICAÇÃO
Descrição		ESCALA	NOME DATA
COPO		1:1	Visto
			DWG AutoCAD: copo.dwg
Escola Politécnica da USP Dep. Engenharia Mecânica		A4	OUT 2004 A

Material: Aço Inox 420

Afastamento geral $+/- 0.1$

$\nabla\nabla (\nabla\nabla\nabla) \sqrt{\text{Temperado}}$

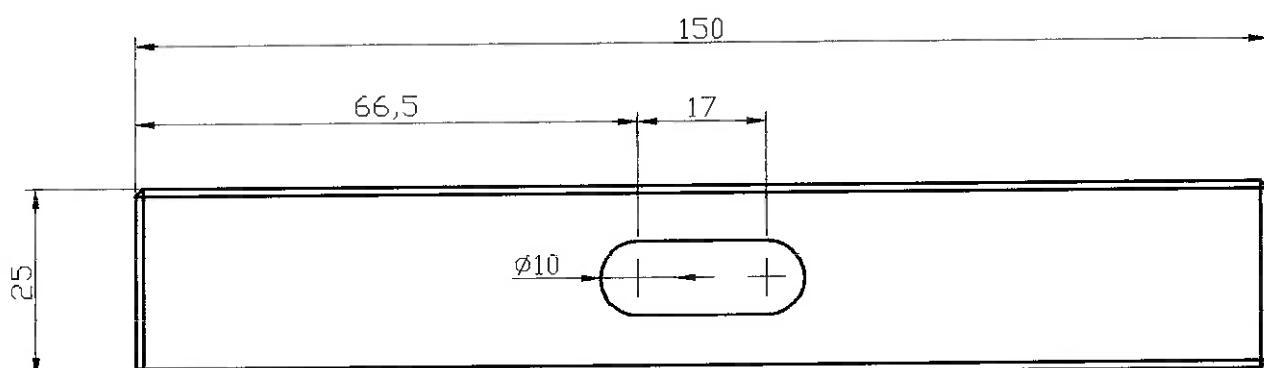
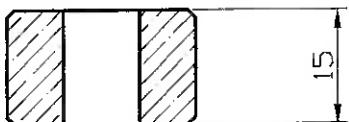


E			
D			
C			
B			
A			
INDICE	DATA	NOME	MODIFICAÇÃO
Descrição		ESCALA	
LÂMINA		1:1	Visto
			DWG AutoCAD: lâmina.dwg
Escola Politécnica da USP Dep. Engenharia Mecânica		A4	OUT 2004
			A

Material: Alumínio Liga AA 6262/6351 T6

Afastamento Geral +.5

▽▽ V Anodizado

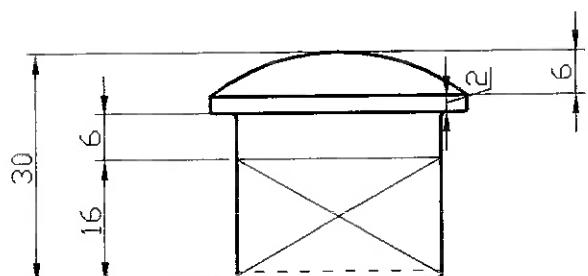
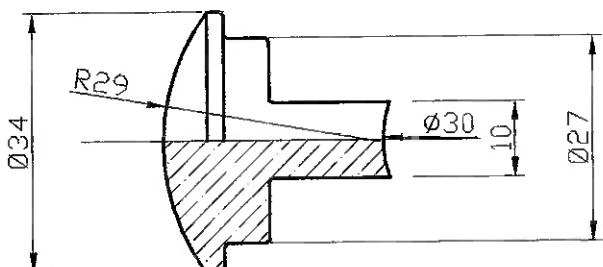
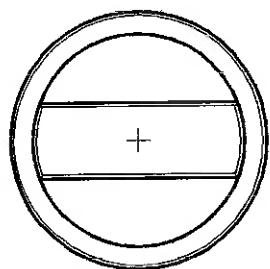


E			
D			
C			
B			
A			
INDICE	DATA	NOME	MODIFICAÇÃO
Descrição		ESCALA	VISTO
MANIVELA		1:1	CONTROLE
			DWG AutoCAD: manivela.dwg
Escola Politécnica da USP Dep. Engenharia Mecânica		A4	OUT 2004
			A

Material: Alumínio Liga AA 6262/6351 T6

Afastamento Geral $+/- 0.1$

 Anodizado



E				
D				
C				
B				
A				
ÍNDICE	DATA	NOME	MODIFICAÇÃO	
Descrição		ESCALA		
PISTÃO		1:1	VISTO	DATA
			CONTROLE	
			DWG AutoCAD:	pistão.dwg
Escola Politécnica da USP Dep. Engenharia Mecânica		A4	OUT 2004	A