

CELSO RICARDO DE OLIVEIRA JOAQUIM

FERNANDO FUSCO ROVAI

**BANCADA PARA ENSAIO DE DESGASTE DE
ANÉIS E CAMISAS DE PISTÃO EM MOTORES
DE COMBUSTÃO INTERNA**

Trabalho de formatura apresentado
à Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo para a obtenção dos
títulos de Graduado em Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica
Estudo de Fenômenos de Superfície

Orientador:
Prof. Dr. Amilton Sinatora

São Paulo
2000

10,0
Dez zeros
Phimelin
21/12/00

AGRADECIMENTOS

Ao nosso estimado orientador Prof. Dr. Amilton Sinatora que, com seu incentivo e espírito empreendedor, tornou possível a execução deste trabalho.

Ao nosso exaltado Prof. Dr. Deniol K. Tanaka que, com suas observações críticas e espírito de guerra, fez com que os alunos repensassem antigos conceitos e forneceu as diretrizes básicas para o estudo do atrito envolvido.

À amiga e doutoranda Eng. Márcia Marie Maru, que com sua paciência e dedicação, forneceu-nos a ajuda e verba necessárias para o desenvolvimento do projeto.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram na realização deste trabalho, com especial carinho para D. Mirian, que suportou todos os inconvenientes do desenvolvimento de um protótipo em sua própria casa, durante longos finais de semana.

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600005957

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

RESUMO

1. OBJETIVOS	1
2. INTRODUÇÃO	3
2.1. O Estudo de Anéis de Pistão	3
2.2. Motor de Combustão Interna	4
2.3. Os Anéis do Pistão	6
2.4. O Anel de Compressão.....	6
2.5. O Anel de Óleo	8
2.6. Tipos de Falhas de Anéis	9
3. CONCEITO DE CONSTRUÇÃO DA MÁQUINA.....	11
4. CONSTRUÇÃO DA BANCADA.....	15
4.1. Motor de ensaios	15
4.2. Motor Elétrico.....	17
4.3. Armação	18
4.4. Elementos de Fixação	19
4.5. Esquema Elétrico.....	20
5. MONTAGEM E DESMONTAGEM DAS AMOSTRAS	22
5.1. Drenagem do óleo lubrificante do cárter	22
5.2. Inclinação do motor para facilitar o trabalho	24
5.3. Remoção do Cárter	26
5.4. Remoção das capas de biela.....	28
5.5. Remoção da camisa	31
5.6. Remoção do anel (corpo de prova)	32
5.7. Montagem do novo anel (corpo de prova)	33
5.8. Montagem da camisa (contra-corpo)	34

5.9. Instalação do conjunto pistão/biela	35
5.10. Montagem da capa de mancal.....	36
5.11. Montagem do cárter.....	37
5.12. Posicionamento do motor e montagem da correia e do esticador	38
5.13. Substituição do filtro de óleo.....	38
5.14. Abastecimento de óleo lubrificante	39
6. Tabela de Manutenção	41
7. Conclusões	42
8. Referências Bibliográficas	44

APÊNDICES

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.1 -	Perdas de potência no motor por atrito de seus componentes, com destaque para os anéis (COFAP, 1993).....	3
Figura 2.1.2 -	Comparativo entre as perdas por atrito ocasionadas pelos anéis (COFAP, 1993).....	4
Figura 2.2.1 -	Vista em corte do motor de combustão interna.	5
Figura 2.3.1 -	Pistão com os anéis montado em contato com a parede do cilindro.....	6
Figura 2.4.1 -	Características Geométricas mais comuns em anéis de compressão (COFAP, 1993).....	7
Figura 2.4.2 -	Efeito de torção no anel e suas conseqüências para a vedação (COFAP, 1993).....	8
Figura 2.5.1 -	Eficiência do anel de óleo na raspagem da camisa em função do seu formato (COFAP, 1993).....	9
Figura 3.1 -	Dispositivo para teste de setores do anel.....	11
Figura 3.2 -	Dispositivo para teste de corpo deslizante.	12
Figura 3.3 -	Recorte da cabeça do pistão para aumentar a carga no anel.....	14
Figura 4.1.1 -	Vista explodida do motor mostrando as partes superior e inferior.	15
Figura 4.3.1 -	Dispositivo rotacionador do motor de ensaio.....	18
Figura 4.3.2 -	Armação da bancada com a bandeja de suporte do motor elétrico.....	19
Figura 4.4.1 -	Placa Adaptadora entre o volante e a polia do motor.....	20
Figura 4.5.1 -	Ligação elétrica do circuito de alta potência.....	20
Figura 4.5.2 -	Ligação elétrica do circuito de comando.	21
Figura 5.1.1 -	Localização do bujão na parte inferior do cárter.....	23
Figura 5.1.2 -	Bujão com sua arruela de vedação em boas condições.	24
Figura 5.2.1 -	Detalhe do esticador, que deve ser desrosqueado para afrouxar a correia.	24
Figura 5.2.2 -	Trava de segurança do esticador aberta.....	25

Figura 5.2.3 -	Inclinação do motor a 45 graus em relação à horizontal.	26
Figura 5.3.1 -	Remoção dos parafusos do cárter com a chave de 10mm. ...	27
Figura 5.3.2 -	Desacoplamento do cárter com a ajuda de uma chave de fenda.	27
Figura 5.4.1 -	Remoção dos parafusos das capas de bielas.	29
Figura 5.4.2 -	Número do cilindro gravado na capa de biela.	29
Figura 5.4.3 -	Remoção da biela pela parte superior do cilindro.	30
Figura 5.5.1 -	Remoção dos parafusos que prendem as camisas aos bloco.	31
Figura 5.5.2 -	Retirada da camisa do bloco.	31
Figura 5.5.3 -	Camisa do cilindro com suas arruelas de calço.	32
Figura 5.6.1 -	Maneira correta de fixação: prende-se a biela com o mordente e encosta-se a saia do pistão na parte superior do mordente.	33
Figura 5.8.1 -	Detalhe do assento da camisa no bloco.	34
Figura 5.8.2 -	Assentamento da camisa no bloco com leves pancadas.	35
Figura 5.8.3 -	Arruela que restringe o movimento da camisa.	35
Figura 5.9.1 -	Colocação do pistão e anéis com a cinta de montagem.	36
Figura 5.9.2 -	Transporte do pistão de dentro da cinta para dentro da camisa.	36
Figura 5.10.1 -	Numeração da biela e sua capa, que deve coincidir.	37
Figura 5.10.2 -	Detalhe da bronzina encaixada entre a biela e o virabrequim.	37
Figura 5.12.1 -	Encaixe do esticador da polia no rasco do suporte.	38
Figura 5.12.2 -	Trava de segurança do esticador aplicada.	38
Figura 5.13.1 -	Remoção do filtro de óleo com a chave de laço.	39
Figura 5.14.1 -	Colocação do óleo pelo orifício sobre a engrenagem de acionamento da bomba de óleo.	40

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma bancada que simule condições reais de desgaste de um conjunto anel e camisa de pistão de motor de combustão interna, principalmente no que diz respeito às condições de lubrificação.

A utilização do próprio motor de combustão do automóvel faz com que o ensaio seja o mais próximo possível da condição real de trabalho, além de que as amostras para os testes podem ser facilmente obtidas no mercado de peças de reposição automotivas.

A parte conceitual do estudo de anéis é descrita de maneira sucinta e mostra a importância deste tipo de estudo nos dias atuais, principalmente no que diz respeito às novas políticas de emissões de poluentes na atmosfera por automóveis e caminhões.

Como será explicado a seguir, o ponto de partida deste projeto foi servir de suporte a uma pesquisa de doutorado na área de desgaste de anéis, que precisará de um instrumento para validação dos modelos teóricos obtidos. A bancada, depois de instrumentada, servirá como esse instrumento.

BANCADA PARA ENSAIO DE DESGASTE DE ANÉIS E CAMISAS DE PISTÃO EM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

1. OBJETIVOS

Construção de uma máquina para ensaio de desgaste entre anel e camisa de motores alternativos de combustão interna.

Como poderá ser visto nos tópicos introdutórios, o anel de pistão tem um comportamento bastante complexo devido ao seu formato e às condições severas a que é submetido durante a sua utilização. Essa complexidade faz com que estudos individuais de determinadas características dos anéis percam sua validade quando estes são postos para funcionar em seu ambiente real de trabalho.

Pensando nisso, surgiu a necessidade de uma máquina que pudesse juntar o maior número de fatores atuantes durante o funcionamento de um anel para que seu ensaio represente a realidade com um maior grau de precisão. Para que todas as variáveis pudessem estar presentes no ensaio, optou-se por desenvolver a máquina baseando-se no próprio bloco do motor do automóvel, o local de trabalho do objeto de estudo.

Outra característica a ser cumprida pela máquina é a diminuição do tempo de ensaio de amostras de anéis, visto que os modelos mais novos de anéis são feitos para durar, no mínimo, 100 mil quilômetros de utilização do veículo.

A construção da máquina servirá diretamente como ferramenta de trabalho para a doutoranda Márcia Marie Maru, do Laboratório de Fenômenos

de Superfície – O LFS – do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que está desenvolvendo sua tese em desgaste de anéis de pistão.

A posterior instrumentação da máquina e a validação dos dados possibilitarão a obtenção de resultados práticos que constarão de sua tese de doutorado, além de que a máquina em si torna-se uma alternativa interessante aos meios de ensaios existentes (que serão descritos com maiores detalhes nos tópicos a seguir).

2. INTRODUÇÃO

2.1. O Estudo de Anéis de Pistão

A necessidade atual de se produzir veículos cujos motores sejam leves e econômicos, mantendo suas características de desempenho, influencia diretamente o desenvolvimento de anéis para pistões. O grau de influência dos anéis nas perdas por atrito no motor podem ser vistos no gráfico da figura 2.1.1 (COFAP, 1993).

Em relação ao tamanho e capacidade volumétrica, os motores atuais seguem uma tendência de diminuição, o que reflete diretamente no tamanho de sua câmara de combustão, fazendo com que os pistões sejam de diâmetros menores e, por conseqüência, necessitem de anéis menores tanto no diâmetro quanto na espessura.

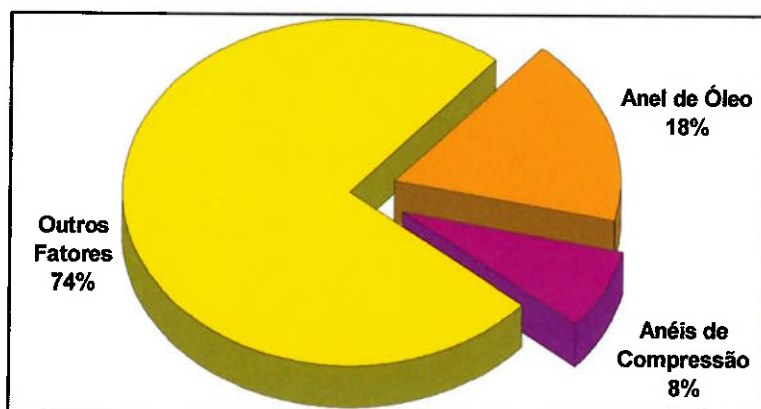


Figura 2.1.1 - Perdas de potência no motor por atrito de seus componentes, com destaque para os anéis (COFAP, 1993).

Para que o motor mantenha-se eficiente e atenda às novas regulamentações de emissões de poluentes, o material do qual é feito o anel também deve evoluir de modo que o atrito entre este e a camisa do pistão seja minimizado, tornando-o econômico, além de possuir a rigidez necessária para evitar

torção excessiva durante o funcionamento o que, caso ocorra, ocasiona o escape de gases da câmara de combustão para a parte inferior do motor (*blow-by*), contaminando o óleo lubrificante.

A geometria do anel também é um item de importante análise pois esta deve fazer com que o anel também atue como elemento de raspagem de óleo da camisa, de modo que o filme de óleo não fique muito espesso na camisa e acabe sendo queimado durante a combustão na câmara (fator diretamente relacionado com os índices de emissão de poluentes do motor).

O gráfico da figura 2.1.2 mostra o quanto cada tipo de anel é responsável nas perdas do motor com atrito originadas por anéis (COFAP, 1993).

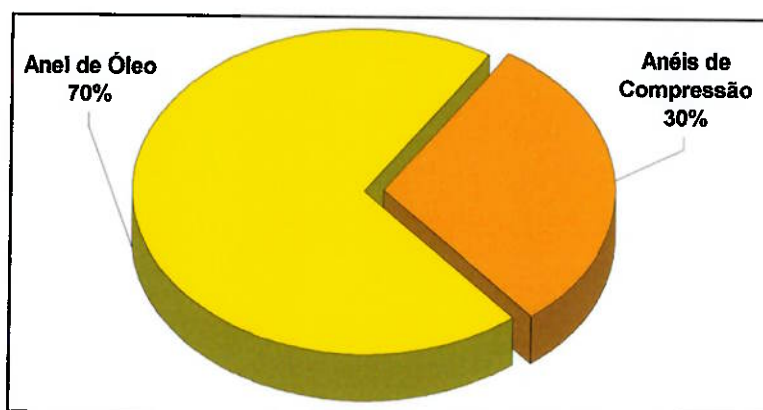


Figura 2.1.2 - Comparativo entre as perdas por atrito ocasionadas pelos anéis (COFAP, 1993).

2.2. Motor de Combustão Interna

O princípio básico de funcionamento de um motor alternativo de combustão interna é a transformação deste tipo de movimento, gerado pela translação dos pistões, em movimento de rotação do eixo de saída (eixo árvore de manivelas). Na figura 2.2.1 pode-se observar o desenho em corte de um

motor em três dimensões, com os pistões montados dentro dos cilindros. O mecanismo utilizado para a transformação do tipo de movimento é o mecanismo clássico chamado de biela-manivela, o qual transforma um movimento de translação na entrada (pistões) em um movimento de rotação na saída (árvore de manivelas).

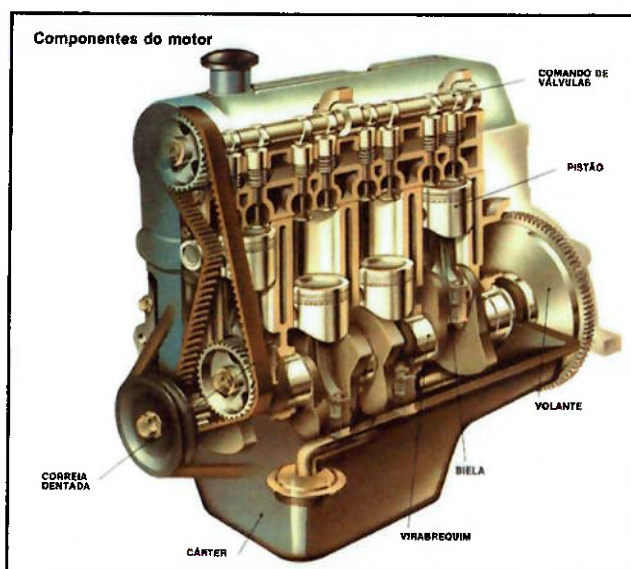


Figura 2.2.1 - Vista em corte do motor de combustão interna.

O desgaste em questão é devido ao movimento de deslizamento relativo entre pistão e camisa. Para uma melhor eficiência do motor de combustão interna é necessária a vedação dos gases contidos sob pressão na câmara de compressão, sendo esta vedação feita por peças metálicas chamadas de anéis. Os gases provenientes da câmara de compressão que vazam para o cárter durante o funcionamento do motor são denominados gases de *blow-by* e, além de diminuírem o rendimento do motor, afetam os níveis de emissão de poluentes, principal linha de pesquisa e desenvolvimento de motores de combustão interna na atualidade.

2.3. Os Anéis do Pistão

Na figura 2.3.1 observa-se detalhadamente um pistão montado na biela com seus três anéis em corte. Os dois anéis superiores possuem formatos diferentes e são constituídos de uma única peça cada: são o primeiro e o segundo anéis de compressão, respectivamente, de cima para baixo. O terceiro anel pode ser composto de uma ou mais partes e é denominado anel de óleo.

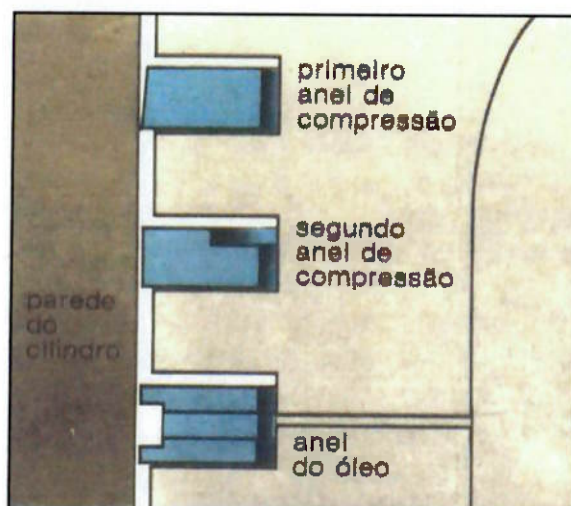


Figura 2.3.1 - Pistão com os anéis montado em contato com a parede do cilindro.

2.4. O Anel de Compressão

Os anéis de compressão são responsáveis pela vedação dos gases da câmara de combustão, sendo o desgaste maior observado no primeiro anel pelo fato de ele ser a primeira barreira de vedação entre a câmara e a parte inferior do motor e, portanto, a pressão aplicada sobre ele é muito maior que a aplicada ao segundo anel. A geometria do anel é projetada para permitir que a própria pressão dos gases de combustão, aplicada na parte interior do anel,

provoque a expansão deste e o aumento da carga entre anel e camisa, melhorando a vedação. A figura 2.4.1, a seguir, mostra as características geométricas dos anéis mais utilizados atualmente (COFAP, 1993).

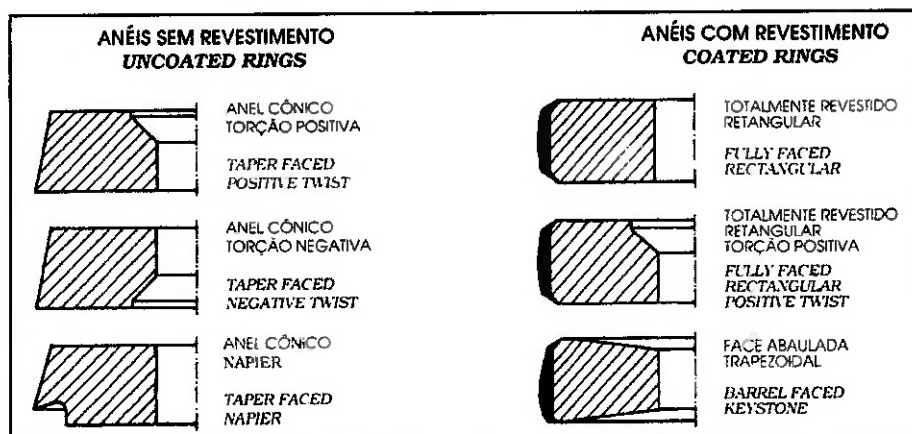


Figura 2.4.1 – Características Geométricas mais comuns em anéis de compressão (COFAP, 1993).

Uma propriedade dos anéis de compressão mostrados anteriormente (figura 2.4.1) é a torção destes, que pode ser positiva ou negativa. Anéis com torção positiva são aqueles que têm o seus cantos internos superiores chanfrados. Isso faz com que, durante o movimento de subida e descida do pistão, as forças atuantes torçam o anel de modo que o contato do cantos inferior interno e superior externo com o canaleta atue no sentido de aumentar a vedação dos gases de *blow-by*, que podem passar para a parte inferior do motor pelo espaço de folga entre o canaleta e o anel.

Já o anel com torção negativa tem o seu canto interno inferior chanfrado, o que faz com que a vedação, neste caso, seja maior nos pontos de contato dos cantos superior interno e inferior externo com o canaleta, sendo esse tipo de torção a mais adequada para controlar o filme de óleo na camisa do

pistão. A figura 2.4.2 detalha o comportamento dos dois tipos de anéis descritos.

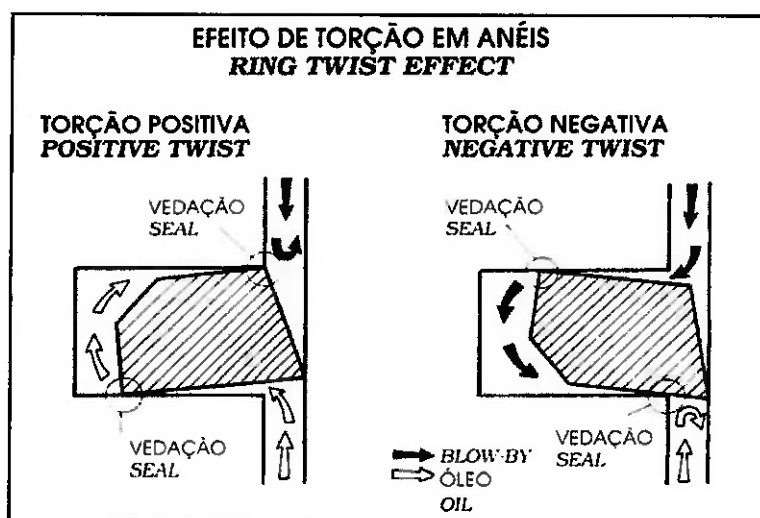


Figura 2.4.2 – Efeito de torção no anel e suas consequências para a vedação (COFAP, 1993).

2.5. O Anel de Óleo

A função principal deste anel é retirar o excesso de óleo lubrificante das paredes da camisa mantendo uniforme a espessura do filme em toda a área de contato anel-camisa e também evitar a penetração de óleo na câmara de combustão, o que causa o consumo de óleo excessivo e o aumento do nível de emissões de poluentes.

Este tipo de anel tem uma eficiência de funcionamento que depende da pressão com a qual ele atua contra a camisa do pistão e da maneira como ele se adapta às variações deste durante seu movimento e seu desgaste. Por isso, os anéis de óleo mais eficientes são constituídos de duas partes: o anel propriamente dito e um expensor, que irá controlar a pressão de raspagem.

A figura 2.5.1 mostra os perfis mais comuns de anéis de óleo e suas eficiências na raspagem de óleo.

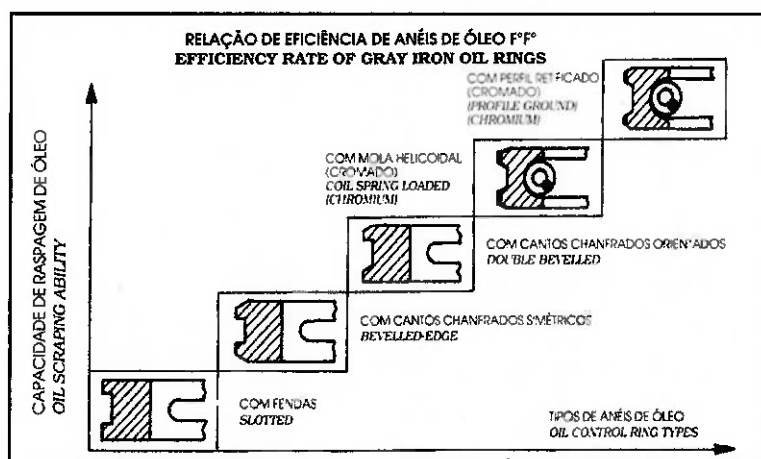


Figura 2.5.1 – Eficiência do anel de óleo na raspagem da camisa em função do seu formato (COFAP, 1993).

2.6. Tipos de Falhas de Anéis

Dentre os possíveis tipos de falhas que um anel de pistão pode apresentar, o que mais se destaca por ser alvo da maior parte dos estudos deste componente é o engripamento, comumente chamado de *scuffing*.

O *scuffing* é causado principalmente pela falta de filme lubrificante protetor entre as paredes do anel e da camisa. Quando ocorre essa situação, há o contato metal-metal entre os componentes, aumentando a temperatura de contato e propiciando a ocorrência de microssoldagens. Com isso, uma parte do material do anel irá transferir-se para a camisa do pistão, ou vice-versa dependendo dos materiais envolvidos.

Em estudos realizados percebe-se que as zonas de maior ocorrência de *scuffing* na camisa do pistão são aquelas localizadas próximas ao Ponto Morto Superior (PMS) e Ponto Morto Inferior (PMI). Isso é explicado pelo fato

de a velocidade de deslizamento entre pistão e camisa nestas regiões ser próxima de zero, chegando a zero no momento de inversão do movimento. O efeito do *scuffing* é ainda maior no PMS pois nesta região as forças atuantes são maiores, visto que são resultantes da explosão na câmara de combustão, o que ocasiona uma maior temperatura de trabalho, fazendo com que a viscosidade do óleo diminua e este perca sua função de filme protetor (rompimento do filme de óleo).

Outro importante modo de falha do anel é a sua quebra, que pode ser causada por diversas razões tais como supertensionamento do anel quando de sua colocação, trincas originadas por pancadas durante a montagem e tensões de fadiga. A existência de folgas excessivas entre o canaleta e o anel também é responsável por quebras pois, durante as inversões de movimento, o anel choca-se com o canaleta com velocidade maior do que a prevista em operação normal e o impacto resultante causa o trincamento do mesmo.

3. CONCEITO DE CONSTRUÇÃO DA MÁQUINA

Uma primeira idéia para a construção desta máquina foi fixar um segmento de anel em um dispositivo apropriado e fazê-lo deslizar sobre um segmento de camisa. O primeiro problema encontrado foi a maneira pela qual se fixaria o segmento anelar. Por ser uma peça de dimensões bastante reduzidas e submetida a grandes cargas e velocidades de deslizamento, sua fixação exigiria um dispositivo ao mesmo tempo delicado e robusto, o que torna inviável o projeto. A figura 3.1 mostra uma forma de construção deste tipo de dispositivo.

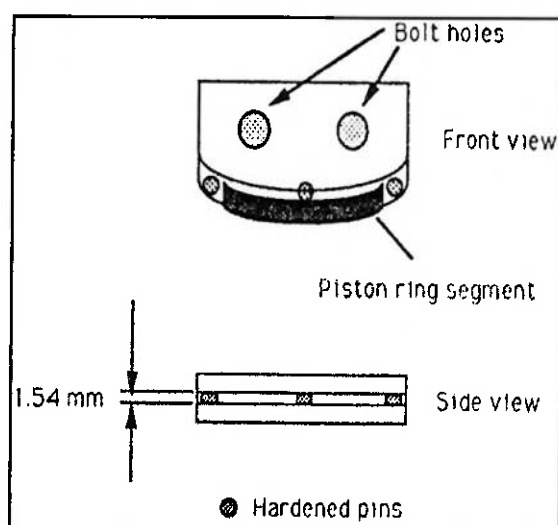


Figura 3.1 - Dispositivo para teste de setores do anel.

Outro problema consiste no controle direcional do movimento. Como tem-se um seguimento cilíndrico sobre uma “pista” côncava, é necessário manter os segmentos de anel e camisa concêntricos, sob pena de provocar desgaste diferenciado em determinadas regiões da peça, tornando o ensaio inconsistente. A manutenção desta concentricidade exigiria guias, as quais exigem

lubrificação e acabamento superficial adequados, sem contar que os anéis têm efeito de mola, dificultando ainda mais sua fixação e posicionamento. Nesta configuração, o aumento da pressão de contato entre corpo e contra-corpo (anel e camisa) requer a colocação de uma massa sobre o dispositivo de fixação do anel. Assim, com o mecanismo em movimento alternativo, o desbalanceamento causado por esta massa prejudicaria o contato entre as peças ensaiadas, mais uma vez invalidando o experimento. Um exemplo deste mecanismo é mostrado na figura 3.2.

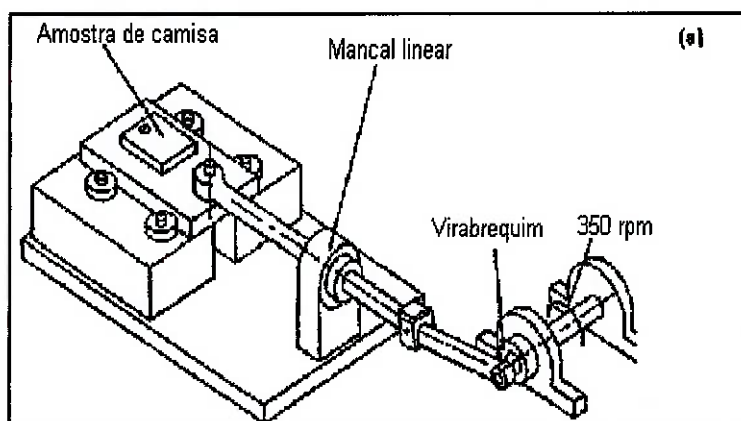


Figura 3.2 - Dispositivo para teste de corpo deslizante.

Diante de tantas complicações, chegou-se à idéia de utilizar um motor de combustão interna, pois o mecanismo biela-manivela já está pronto, sendo ainda bastante confiável. Outro problema resolvido foi o dispositivo de fixação do anel, o próprio pistão. Como o anel é projetado para trabalhar no canaleta do pistão, nenhum outro dispositivo de fixação poderia ser mais adequado. O contato entre anel e camisa também é mantido da maneira mais conforme possível. Não é mais necessário utilizar segmentos de anel e de camisa, mas sim, utilizá-los da maneira que são fabricados, eliminando etapas de pre-

paração de corpos de prova. O próprio bloco do motor se encarrega de guiar o movimento, com lubrificação adequada e o mais próxima possível da realidade.

Por fim, falta o aumento da pressão de contato entre o anel e a camisa. Para isto têm-se duas idéias necessitando ainda a experimentação e a validação. A primeira delas é mais simples, porém menos eficiente. Neste caso a idéia é calçar o anel em estudo com uma mola no interior do seu canaleta. No processo de montagem do pistão na camisa esta mola deve ser comprimida juntamente com o anel e o conjunto todo introduzido na camisa. Uma limitação deste método consiste no limite de carga imposto pela etapa de montagem do pistão no cilindro, se houver muita carga da mola a montagem se torna impossibilitada. Quanto maior a pressão da mola, mais difícil comprimir o conjunto anel-mola para montá-lo no interior da camisa. Outra limitação é a impossibilidade de se variar a pressão de contato depois de montado o pistão. A garantia da pressão da mola durante o funcionamento também é complicada, visto que com o aumento da temperatura ou mesmo a fadiga da mola esta pressão tende a diminuir.

Uma outra maneira de se aumentar a pressão de contato é utilizando ar comprimido. Muito mais rebuscada que a anterior, esta solução exige a usinagem interna do pistão, a fim de promover um “colchão” de ar comprimido no interior do canaleta do pistão, conforme mostrado na figura 3.3. Esta operação torna-se ainda mais difícil, dadas as dimensões de parede do pistão na região do canaleta, assim como o consumo de ar comprimido que deve ser minimizado vedando-se a parte traseira do anel, o que pode ser feito com anéis

do tipo *O-ring*. O ar comprimido deve ser conduzido ao pistão por mangueiras umbilicais.

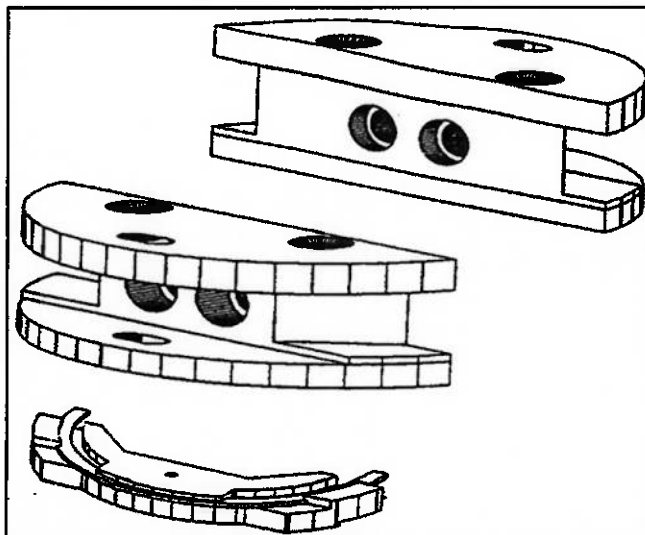


Figura 3.3 - Recorte da cabeça do pistão para aumentar a carga no anel.

As vantagens deste método começam com a maior facilidade de montagem do pistão na camisa do cilindro, visto que o anel estará descarregado e sua compressão torna-se muito mais fácil, semelhante ao processo de montagem na indústria, ou seja, previsto em projeto. Além disso, o controle da pressão de contato entre o anel e a camisa pode ser facilmente determinado pela pressão de alimentação do sistema. A partida do motor elétrico fica mais macia devido ao menor atrito, se comparado com o caso anterior, sendo possível variar a pressão gradativamente com a evolução da experiência.

4. CONSTRUÇÃO DA BANCADA

A bancada pode ser dividida em quatro partes principais: o motor de ensaios, o motor elétrico, a estrutura de suporte (armação) e os elementos de fixação e transmissão de movimento.

4.1. Motor de ensaios

A vista explodida do motor alternativo de combustão interna é mostrada na figura 4.1.1. Nota-se que para o experimento em questão serão utilizadas a maioria das peças mostradas exceto a parte de cima do motor como são conhecidos o cabeçote e a tampa de válvulas.

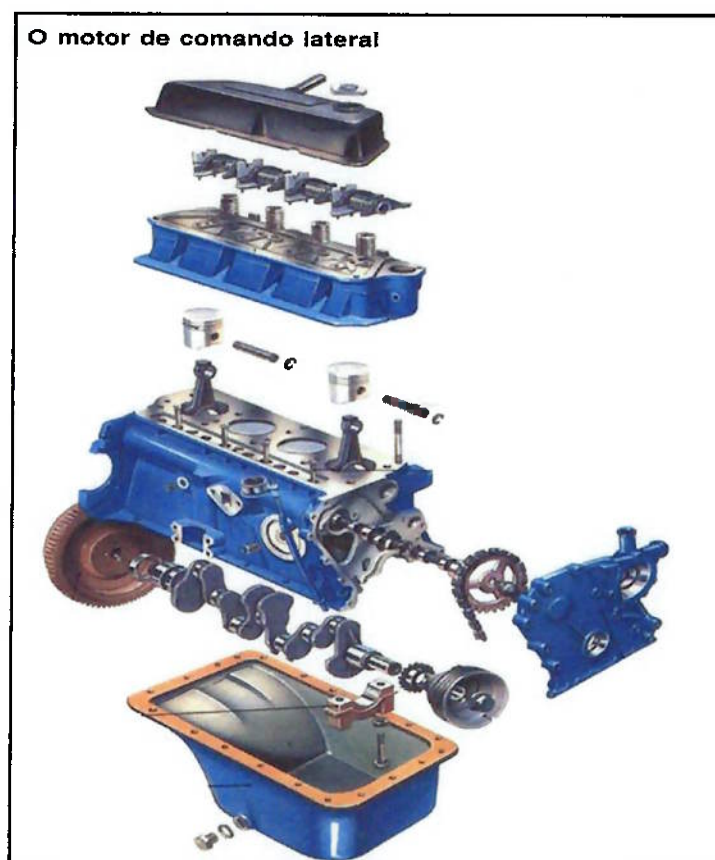


Figura 4.1.1 - Vista explodida do motor mostrando as partes superior e inferior.

O motor de ensaio utilizado é o um Ford CHT 1.6 litro, usado originalmente nos anos 80 em carros como Belina II, Corcel II, Escort e Pampa. Devido à sua forma construtiva, este motor adapta-se bem ao propósito da máquina pois as camisas dos pistões são apenas encaixadas no bloco (camisas flutuantes), não fazendo parte do mesmo, de modo que o bloco do motor não precisa ser retificado ou trocado quando o desgaste das paredes das camisas estiver em um nível elevado. Com o sistema de camisas soltas pode-se trocá-las por novas e dar continuidade ao ensaio. As camisas já desgastadas também servirão para análise de desgaste, juntamente com os anéis (ensaio completo de corpo e contra-corpo).

Como a parte superior do motor (cabeçote, comando de válvulas e válvulas) não será utilizada, faz-se necessária a vedação do sistema de lubrificação desta parte. Isso é feito com a utilização de um parafuso rosqueado no bloco vedado com trava química.

O volante do motor foi conservado com a finalidade de diminuir o nível de vibração do sistema, além de servir de apoio para a polia, que é conectada a este através de uma placa adaptadora (figura 4.4.2).

A montagem desses três componentes (volante, placa adaptadora e polia) é auxiliada pela utilização de um pino-guia, que serve para garantir a concentricidade das três peças.

Os desenhos e especificações de cada uma das três peças mencionadas (polia, placa adaptadora e pino-guia) constam dos apêndices deste trabalho.

4.2. Motor Elétrico

Para o acionamento do motor de ensaios foi utilizado um motor elétrico, marca Weg, com as seguintes especificações:

Potência Nominal: 5CV (3,7 kW)

Velocidade Nominal: 1780 rpm

Alimentação: 220V Trifásico

A polia colocada neste motor tem o mesmo diâmetro da polia do motor de ensaios (230mm), de modo que a relação de transmissão não é alterada. O alinhamento entre as duas polias, bem como o ajuste da folga da correia é feito pelo mecanismo de suporte do motor elétrico (que será detalhado no item a seguir, armação), que foi construído de modo a possibilitar o posicionamento angular do motor em relação à horizontal.

Como o motor possui uma velocidade fixa quando ligado à rede elétrica, faz-se necessária a utilização de um inversor de frequência que, além de possibilitar o ajuste da velocidade de teste, possibilita também a caracterização da curva de aceleração e desaceleração do motor, de modo que a partida se dê de maneira agressiva ou moderada, conforme pode ser visto no manual de utilização que acompanha o inversor.

4.3. Armação

No projeto da armação que sustenta o motor de ensaio e o motor elétrico foi levado em conta que o usuário da máquina deveria ter acesso fácil ao motor de ensaio no momento de trocas das amostras.

O procedimento da troca das amostras para o tipo de motor utilizado envolve a desmontagem da parte inferior do mesmo, ou seja, retirada do cárter, mancais de biela e partes adjacentes. Com esses componentes desmontados, a biela estará solta, possibilitando a remoção do pistão pela parte superior ou inferior da camisa.

Com base neste procedimento foi criado um sistema de basculamento do motor. Esse sistema utiliza o suporte e o coxim originais do motor além de uma peça especialmente confeccionada para permitir o movimento giratório (figura 4.3.1), com suas especificações constante dos apêndices.

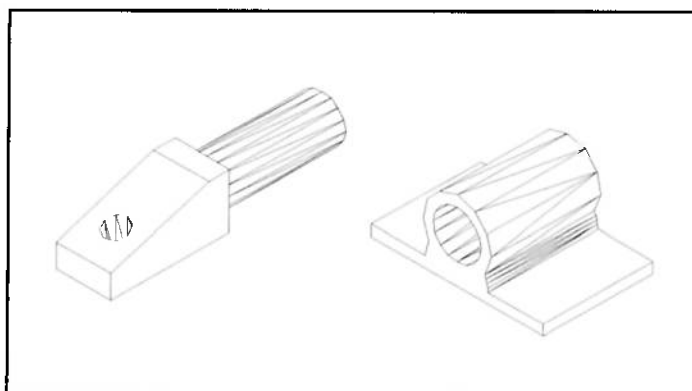


Figura 4.3.1 – Dispositivo rotacionador do motor de ensaio.

A armação foi feita com cantoneiras de aço 1020, perfil L, de 1" x 3/16", soldadas, reproduzindo o formato da figura 4.3.2.

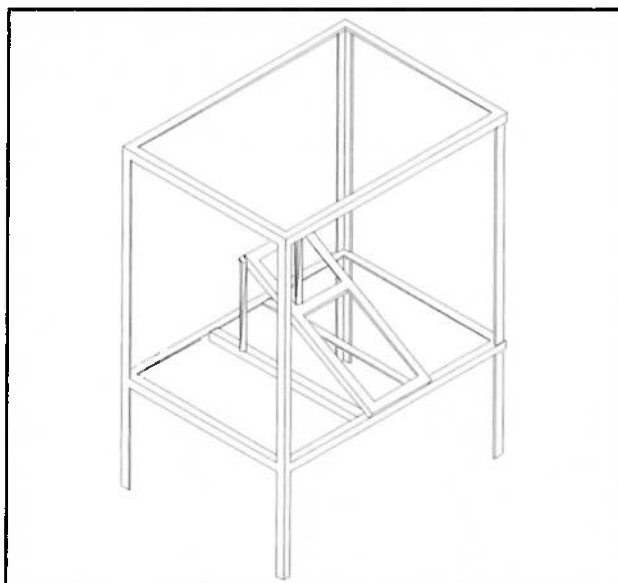


Figura 4.3.2 – Armação da bancada com a bandeja de suporte do motor elétrico.

4.4. Elementos de Fixação

O principal elemento de fixação confeccionado para suportar o motor é a peça responsável pela rotação do mesmo. Esta foi mostrada em perspectiva anteriormente na figura 4.3.1 e seus detalhes construtivos encontram-se nos apêndices.

Outra peça especialmente confeccionada é a placa adaptadora entre a polia do motor de ensaio e o volante. Esta placa tem a construção simples como pode ser visto nas suas especificações nos apêndices e também no esboço mostrado na figura 4.4.1. Consiste de um disco plano de 12mm de espessura e com furação especial de modo a fixar-se no volante e prender a polia.

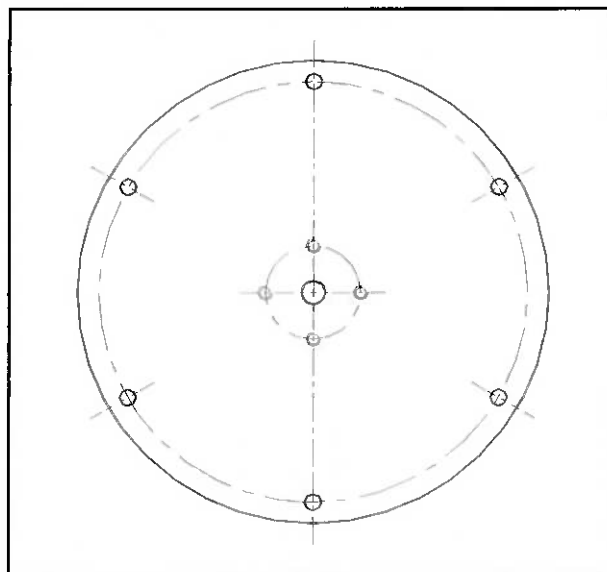


Figura 4.4.1 – Placa Adaptadora entre o volante e a polia do motor.

4.5. Esquema Elétrico

A ligação elétrica feita entre os componentes da bancada é simples. Ela pode ser dividida em circuito de alimentação do motor e em circuito de controle do mesmo.

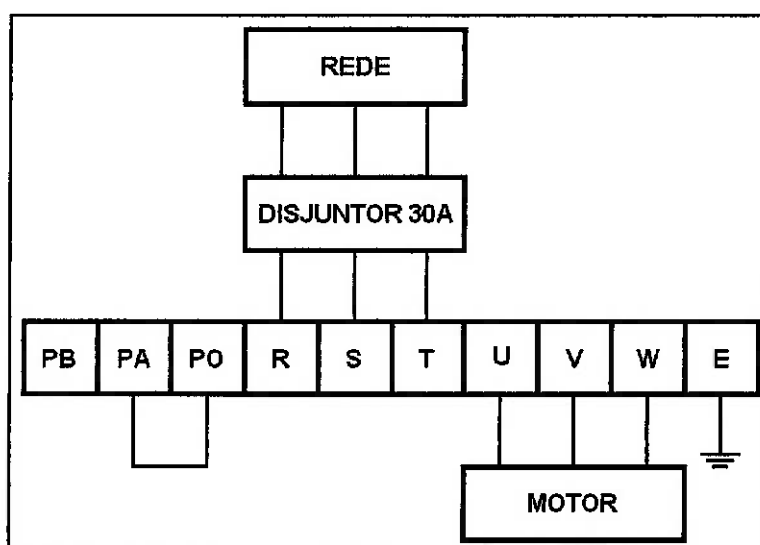


Figura 4,5,1 – Ligação elétrica do circuito de alta potência.

A alimentação do motor é feita conforme mostra o esquema da figura 4.5.1, lembrando que os bornes de entrada e saída utilizam a mesma nomenclatura do manual do inversor. A rede deve ser 220V trifásica e os fios utilizados devem ter seção transversal mínima de 3,5mm².

Apesar do inversor de frequência oferecer os comandos de partida e parada do motor, optou-se pela utilização de uma caixa de comandos remota, de modo que a partida possa ser dada mais facilmente e haja a possibilidade de um botão de emergência, do tipo cogumelo, para interrupção total do ensaio. Esse esquema de ligação é mostrado na figura 4.5.2, a seguir, utilizando-se novamente a nomenclatura do manual do inversor.

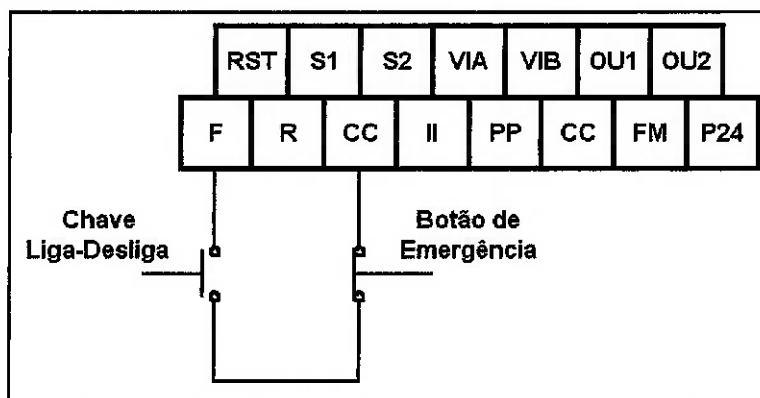


Figura 4.5.2 – Ligação elétrica do circuito de comando.

Maiores detalhes como a programação das curvas de aceleração e desaceleração do motor pelo inversor podem ser vistos no manual deste, que acompanha a máquina, à medida em que se fizerem necessários.

5. MONTAGEM E DESMONTAGEM DAS AMOSTRAS

Como o objetivo principal da máquina é estudar o desgaste dos componentes, é imprescindível a substituição dos pares de ensaio anel e camisa (corpo e contra-corpo) ao final de cada ensaio. Esta tarefa não é das mais simples considerando-se a complexidade do equipamento e também a quantidade de peças a serem manuseadas até que se consiga remover o anel e a camisa, sem que ocorra qualquer dano nas operações de montagem e desmontagem, tanto para o par de desgaste em estudo quanto para o perfeito funcionamento da máquina nos ensaios subsequentes.

Abaixo será apresentado um plano de montagem e desmontagem detalhando com cada passo a ser executado, começando pela desmontagem de uma amostra que esteja na máquina após a realização do ensaio. Todas as operações abaixo consideram que a máquina esteja DESLIGADA.

5.1. Drenagem do óleo lubrificante do cárter

A primeira tarefa a cumprir após um ensaio é a drenagem do óleo lubrificante do cárter antes de começar a desmontar os componentes. Para isto há um bujão na parte inferior do cárter (figura 5.1.1), o qual deve ser desrosqueado com cuidado para que não ocorra derramamento de óleo sobre os outros componentes ou sobre o operador. É importante lembrar que o óleo pode estar quente após o ensaio, devendo-se tomar cuidado para não sofrer queimaduras.

Antes de remover completamente o bujão deve-se posicionar uma bacia sob o cárter para recolher o óleo utilizado. Após terminada a drenagem do óleo deve-se proceder à colocação do bujão aplicando-se o torque de 15 a 20 Nm.

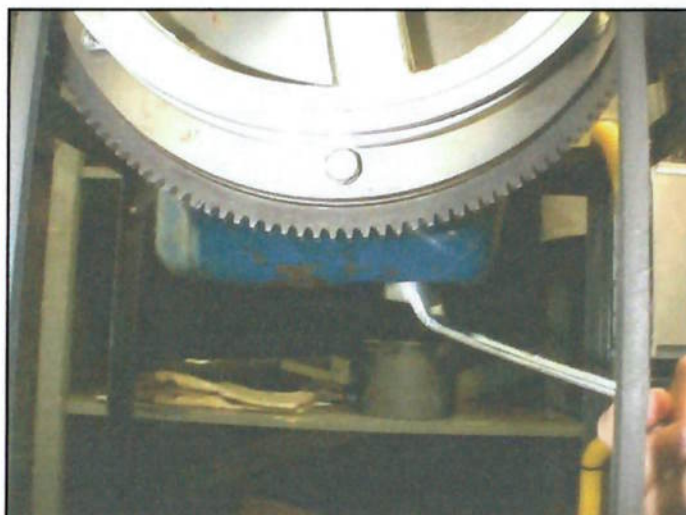


Figura 5.1.1 – Localização do bujão na parte inferior do cárter.

Antes de colocar o bujão de volta no cárter é recomendável fazer uma inspeção visual na arruela de vedação que fica no bujão (figura 5.1.2) que pode ser de alumínio ou cobre, sendo de material dúctil que se deforma durante o aperto garantindo a vedação.

Se esta arruela estiver muito deformada, já utilizada por muitas vezes, é aconselhável a sua substituição por outra arruela de mesmas dimensões.



Figura 5.1.2 – Bujão com sua arruela de vedação em boas condições.

5.2. Inclinação do motor para facilitar o trabalho

O projeto da máquina possibilita a rotação em torno do eixo transversal ao bloco do motor de ensaio por meio dos dois rotacionadores que fixam os coxins de borracha à bancada. Para isto, primeiramente, é necessário desrosquear o esticador permitindo a remoção da correia da polia (figura 5.2.1).



Figura 5.2.1 – Detalhe do esticador, que deve ser desrosqueado para afrouxar a correia.

O próximo passo é a abertura da trava de segurança (figura 5.2.2) localizada na bancada próximo ao ponto de fixação do esticador, o que permite a remoção completa do esticador e assim a movimentação do bloco do motor de ensaio. Esta operação exige maior cuidado e também um pouco de esforço físico por parte do operador.



Figura 5.2.2 – Trava de segurança do esticador aberta.

Deve-se observar também que há um limite de rotação de inclinação, pois os coxins não são projetados para suportar esforços de tração, portanto o ângulo permissível de rotação é de 45 graus em relação à referência horizontal (figura 5.2.3).



Figura 5.2.3 – Inclinação do motor a 45 graus em relação à horizontal.

Depois de inclinado o motor de ensaio é preciso travá-lo nesta posição garantindo a segurança do operador na execução do restante do trabalho.

5.3. Remoção do Cártter

Para se ter acesso às bielas do motor é necessário remover o cárter. A remoção do cárter começa pela desaperto dos parafusos de fixação (chave de 10 mm) localizados ao longo do flange (figura 5.3.1). Não é aconselhável a retirada de todos os parafusos, sendo recomendável a permanência de pelo menos dois parafusos em posições opostas mas bastante soltos, os quais seguram o cárter depois de solto.



Figura 5.3.1 – Remoção dos parafusos do cárter com a chave de 10mm.

Como a junta de vedação entre o cárter e o bloco é composta basicamente de cortiça é muito provável que esta fique colada às peças após realizados os ensaios (aumento de temperatura). Para descolar o cárter do bloco é necessário fazer uma alavanca com uma chave de fenda entre o cárter do motor de ensaio e o flange (figura 5.3.2), tomando o cuidado para não deformar o flange.



Figura 5.3.2 – Desacoplamento do cárter com a ajuda de uma chave de fenda.

É válido lembrar que mesmo tendo feito a drenagem do óleo sempre resta um filme espesso de lubrificante nos componentes internos do motor sendo então necessária a proteção do motor elétrico por uma cobertura para não sujar o equipamento.

Após remover o cárter deve-se verificar se os quatro pedaços (dois de cortiça e dois de borracha) da junta também foram removidos, caso contrário, estes deverão ser retirados do bloco. Acondicionar o cárter com o flange para baixo sobre uma superfície isenta de contaminação (seja por impurezas ou química) para não comprometer o funcionamento do equipamento após a montagem.

5.4. Remoção das capas de biela

Depois de removido o cárter pode-se visualizar a árvore de manivelas (virabrequim) e as capas de mancal e de biela montadas nos devidos lugares.

Para poder retirar o conjunto pistão/biela é preciso soltar a capa da biela referente ao cilindro que se deseja retirar os corpos de prova (figura 5.4.1). Para isto basta soltar os dois parafusos com uma chave (13 mm) e em seguida dar uma leve pancada com um objeto macio (madeira ou martelo de fibra) nos parafusos da biela alternadamente, provocando a desmontagem do conjunto. Toda esta operação deve ser realizada com o pistão no meio do curso, para evitar que o pistão escape da camisa na desmontagem.



Figura 5.4.1 – Remoção dos parafusos das capas de bielas.

Outro cuidado importante a ser tomado é prestar atenção na posição de montagem e no número da capa de biela (figura 5.4.2) para não ocorrer inversão e também não se montar a capa em outra biela, pois pode ser que se desmonte os quatro cilindros. A montagem invertida das capas de biela pode causar o engripamento da árvore de manivelas.



Figura 5.4.2 – Número do cilindro gravado na capa de biela.

Deve-se remover o conjunto pistão/biela do interior da camisa lentamente segurando a biela por baixo, pois durante a desmontagem a cabeça da biela (extremidade que é ligada à árvore de manivelas) pode riscar a camisa, comprometendo o ensaio (figura 5.4.3).



Figura 5.4.3 – Remoção da biela pela parte superior do cilindro.

Para facilitar a desmontagem dos outros cilindros pode-se movimentar manualmente a árvore de manivelas pela polia de acionamento, posicionando sempre o pistão a ser removido no meio do curso durante a remoção dos parafusos e da respectiva capa de biela.

Após remover a capa de biela deve-se verificar se a bronzina está devidamente encaixada ou se está no colo da árvore de manivelas devendo ser mantida montada na capa de biela.

5.5. Remoção da camisa

Após retirado o conjunto pistão/biela pode-se retirar a camisa (contra-corpo). A remoção da camisa é bastante simples e não requer muitos cui-



Figura 5.5.1 – Remoção dos parafusos que prendem as camisas aos bloco.

dados, basta soltar os quatro parafusos na face superior do bloco que fixam as arruelas de travamento da camisa (figura 5.5.1).



Figura 5.5.2 – Retirada da camisa do bloco.

Feito isto a camisa pode ser removida pelo seu colarinho (figura 5.5.2) ou então com algumas leves pancadas com madeira ou martelo de fibra em sua saia, pela parte inferior do bloco.

O ajuste das camisas no bloco é do tipo deslizante e portanto não requer muito esforço na operação. Deve-se tomar cuidado para não perder as arruelas de calço entre a camisa e o bloco (figura 5.5.3), que podem deslizar durante a remoção da camisa.



Figura 5.5.3 – Camisa do cilindro com suas arruelas de calço.

5.6. Remoção do anel (corpo de prova)

A remoção do anel deve ser feita em uma bancada fixando-se o corpo da biela em uma morsa e apoiando-se a saia do pistão sobre os mordentes, o que impede a articulação do pistão durante o trabalho (figura 5.6.1).

A retirada do anel fica bastante simples se utilizar-se o alicate de anel, o qual abre as pontas do anel o suficiente para retirá-lo do canaleta sem riscar a superfície do pistão e evitando a quebra do anel. Qualquer outra tentativa de remoção do anel sem a ferramenta apropriada poderá provocar o ris-

camento do pistão ou então a quebra do anel, além de provável ferimento do operador, pois as arestas do anel são bastante afiadas.



Figura 5.6.1 – Maneira correta de fixação: prende-se a biela com o mordente e encosta-se a saia do pistão na parte superior do mordente.

5.7. Montagem do novo anel (corpo de prova)

A montagem do novo corpo de prova segue as mesmas orientações da desmontagem, tomando-se é claro, ainda mais cuidado na colocação. O anel colocado deve permitir movimento de rotação no canaleta. Antes de simplesmente colocar um novo anel no canaleta deve-se observar se há sujeira no canaleta que deverá ser removida ou, então, observar se o canaleta apresenta-se em perfeitas condições para alojar o novo corpo de prova.

5.8. Montagem da camisa (contra-corpo)

Da mesma maneira que com o anel, a montagem da nova camisa requer a inspeção dos assentos da camisa no bloco (figura 5.8.1), os quais devem estar isentos de qualquer impureza ou partícula para garantir o perfeito assentamento dos anéis de calço e assim a garantia do correto posicionamento entre corpo e contra-corpo (anel e camisa devem estar posicionados normalmente a 90 graus).



Figura 5.8.1 – Detalhe do assento da camisa no bloco.

Outra recomendação é quanto aos anéis de calço que não devem estar quebrados ou deformados para permitir o correto assentamento. Na colocação da camisa no bloco é necessário um certo cuidado para não deixar cair os anéis de calço.

Após colocada a camisa é recomendável algumas leves pancadas com madeira ou martelo de fibra em seu colarinho para certificar-se do correto

assentamento no bloco (figura 5.8.2). Feito isto basta colocar as quatro arruelas e parafusos de trava, aplicando um torque de 30 ± 5 Nm em cada parafuso, apertando os parafusos de maneira cruzada (figura 5.8.3).



Figura 5.8.2 – Assentamento da camisa no bloco com leves pancadas.



Figura 5.8.3 – Arruela que restringe o movimento da camisa.

5.9. Instalação do conjunto pistão/biela

Estando com o anel (ou anéis) já colocado pode-se posicionar o conjunto pistão/biela no cilindro de montagem seguindo as recomendações de remoção do conjunto para não haver riscamento da camisa.

Outro cuidado suplementar é posicionar a árvore de manivelas no ponto morto inferior do cilindro em processo de montagem para não haver interferência entre os parafusos da biela e o colo da árvore de manivelas, pois o riscamento do colo causará danos prematuros na bronzina de biela.

Para a montagem do pistão no cilindro deve-se posicionar o pistão a uma altura de aproximadamente 10 mm da camisa e aplicar o carregamento do anel com a cinta de montagem de anéis (figura 5.9.1). Após a cinta apertada, aplicar leves pancadas com madeira ou martelo de fibra no pistão para a montagem do conjunto na camisa (figura 5.9.2). Esta etapa requer muito cuidado

principalmente para evitar o riscamento da camisa ou do colo da árvore de manivelas. Estando o pistão dentro da camisa certifique-se de que a bronzina de biela está devidamente montada na cabeça da biela.



Figura 5.9.1 – Colocação do pistão e anéis com a cinta de montagem.



Figura 5.9.2 – Transporte do pistão de dentro da cinta para dentro da camisa.

O desgaste das bronzinas também deve ser observado mas a substituição das mesmas está prevista no plano de manutenção da máquina.

5.10. Montagem da capa de mancal

Após encaixado o conjunto pistão/biela pode-se movimentar a árvore de manivelas pela polia de acionamento e assim encaixar a cabeça da biela ao colo da árvore de manivelas e em seguida montar a capa da biela.

Antes de montar a capa de biela observar atentamente o número da capa e da biela, assim como o posicionamento dos números em faces coplanares (figura 5.10.1). Deve-se montar a biela e a capa ambas com o mesmo número gravado afim de impedir o travamento do equipamento durante o funcionamento. Certificar-se também de que a bronzina está devidamente encaixada na capa antes da montagem (figura 5.10.2).



Figura 5.10.1 – Numeração da biela e sua capa, que deve coincidir.



Figura 5.10.2 – Detalhe da bronzina encaixada entre a biela e o virabrequim.

O próximo passo é o aperto das porcas de fixação da capa com uma chave de 13 mm e aplicando o torque de 45 a 50 Nm. Após montar o conjunto, verificar se tudo está montado corretamente movimentando manualmente a árvore de manivelas.

5.11. Montagem do cárter

Procedimento similar à desmontagem porém é importante a observação visual da junta de vedação entre o cárter e o bloco do motor de ensaio, pois se esta estiver muito deformada é necessária a substituição por uma nova. Durante o aperto dos parafusos do flange deve-se tomar o cuidado de apertar os parafusos gradualmente para permitir o assentamento do cárter e aplicar o torque de 10 Nm em todos os parafusos.

5.12. Posicionamento do motor e montagem da correia e do esticador

Após montado o cárter pode-se retirar a proteção do motor elétrico e em seguida posicionar o bloco do motor de ensaio em sua posição de operação. Novamente será exigido um pouco de esforço físico do operador ao movimentar o bloco.

Estando o bloco já na posição vertical, encaixar a correia na polia e o gancho do esticador na posição de ancoragem na bancada (figura 5.12.1). Fixar a trava de segurança do esticador (figura 5.12.2) e, com o auxílio de um nível de bolha, acionar o esticador até conseguir que a face do cabeçote do bloco do motor de ensaio fique na posição horizontal.



Figura 5.12.1 – Encaixe do esticador da polia no rasco do suporte.



Figura 5.12.2 – Trava de segurança do esticador aplicada.

5.13. Substituição do filtro de óleo

Caso seja necessário substituir o filtro de óleo é necessária uma chave de laço para a remoção do filtro (figura 5.13.1), operação esta que danifica a carcaça externa do elemento inviabilizando a sua reutilização. Para insta-

lar o novo filtro é necessário seguir as orientações do fabricante que são basicamente olear o anel de borracha do novo filtro e rosqueá-lo manualmente até encostar no bloco, aplicando-se de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ de volta para garantir o aperto.



Figura 5.13.1 – Remoção do filtro de óleo com a chave de laço.

5.14. Abastecimento de óleo lubrificante

Após tudo montado é necessário abastecer o motor de ensaio com óleo lubrificante. O recomendado é abastecer 3 litros quando não se troca o filtro ou 3,5 litros quando o filtro é substituído.

A verificação da quantidade de óleo pode ser feita pela haste de nível de óleo sendo que o nível deve estar entre as marcações de mínimo e máximo da haste para não comprometer a durabilidade e o perfeito funcionamento do equipamento. O abastecimento de óleo deve ser feito pela abertura localizada na face superior do bloco, sobre a engrenagem de acionamento da bomba de óleo (figura 5.14.1).



Figura 5.14.1 – Colocação do óleo pelo orifício sobre a engrenagem de acionamento da bomba de óleo.

6. Tabela de Manutenção

Para que se tenha uma idéia das necessidades de manutenção de acordo com o tempo de ensaio, foi elaborada uma tabela do tempo de checagem e substituição dos componentes baseando-se na vida destes em função dos ensaios realizados.

Serviço	100 h	500 h	1000 h	2000 h
Verificar nível de óleo				
Substituir filtro de óleo				
Substituir óleo (no máximo)				
Substituir retentores da árvore de manivelas				
Substituir corrente de acionamento da bomba de óleo				
Substituir esticador da corrente				
Verificar pressão da bomba de óleo				
Substituir bronzinas de mancal e de biela				
Substituir coxins				
Verificar correia				
Substituir correia				
Verificar sensor de pressão de óleo				
Verificar vazamentos				

7. Conclusões

Primeiramente a construção de um protótipo inédito como este reúne conhecimentos variados de projeto tais como: resistência dos materiais, elementos de máquinas, eletricidade, dinâmica do motor de ensaio, noções de instrumentação, modelos de aumento de carga do anel, estudo de montagem e desmontagem de amostras, durabilidade, entre outros.

Todos estes conceitos aplicados em conjunto resultaram na obtenção de uma máquina de ensaio que cumpre o objetivo principal de ensaiar o desgaste de anéis e camisas de pistão. Todos os pré-requisitos iniciais de funcionamento e simulação das condições de trabalho do anel (carga, velocidade, lubrificação, temperatura, etc.) para a obtenção de um ensaio válido exigiram um longo planejamento e também a necessidade de classificar quais as condições de funcionamento primordiais a serem mantidas no projeto.

Como todo projeto, este também não pode ser dado por terminado pois há inúmeras melhorias a serem feitas, assim como a otimização dos sistemas já implantados e a implantação de sistemas projetados e ainda não executados ou, então, o projeto definitivo de uma instrumentação e um sistema de aquisição de dados adequados.

A principal dificuldade discutida a respeito da instrumentação será a determinação da pressão de contato entre o anel e a camisa devido à restrita área de contato entre os corpos mas, de todo o desenvolvimento da máquina, ficaram nítidas as dificuldades o que, de certa forma, facilita o projeto de uma solução ou a proposta de novas idéias descartando-se antecipadamente antigas hipóteses comprovadamente ineficazes.

Enfim, todo o projeto de formatura contribuiu para o substancial desenvolvimento dos alunos envolvidos na construção da máquina preparando os graduandos para a solução de problemas utilizando a ferramenta chamada engenharia ao longo de toda a vida profissional.

8. Referências Bibliográficas

COFAP. Centro Tecnológico de Pesquisa de Motores. **Relatório P 0103 - Anéis de Pistão**. 1993.

MELCONIAN, S. **Mecânica Técnica e Resistência dos Materiais**. 3.ed. São Paulo, Érica, 1988.

HUTCHINGS, I. M. **Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials**. 1.ed. Cambridge, 1992.

APÊNDICES

Desenhos: Adaptador Polia / Volante (Placa Adaptadora)

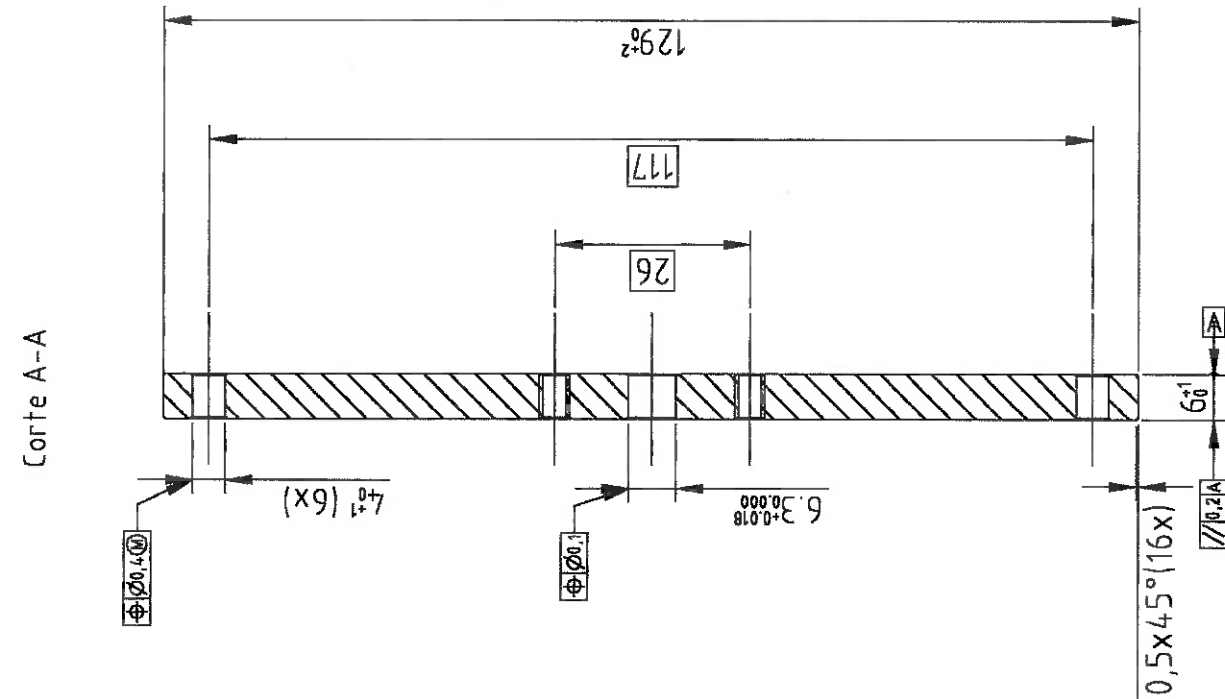
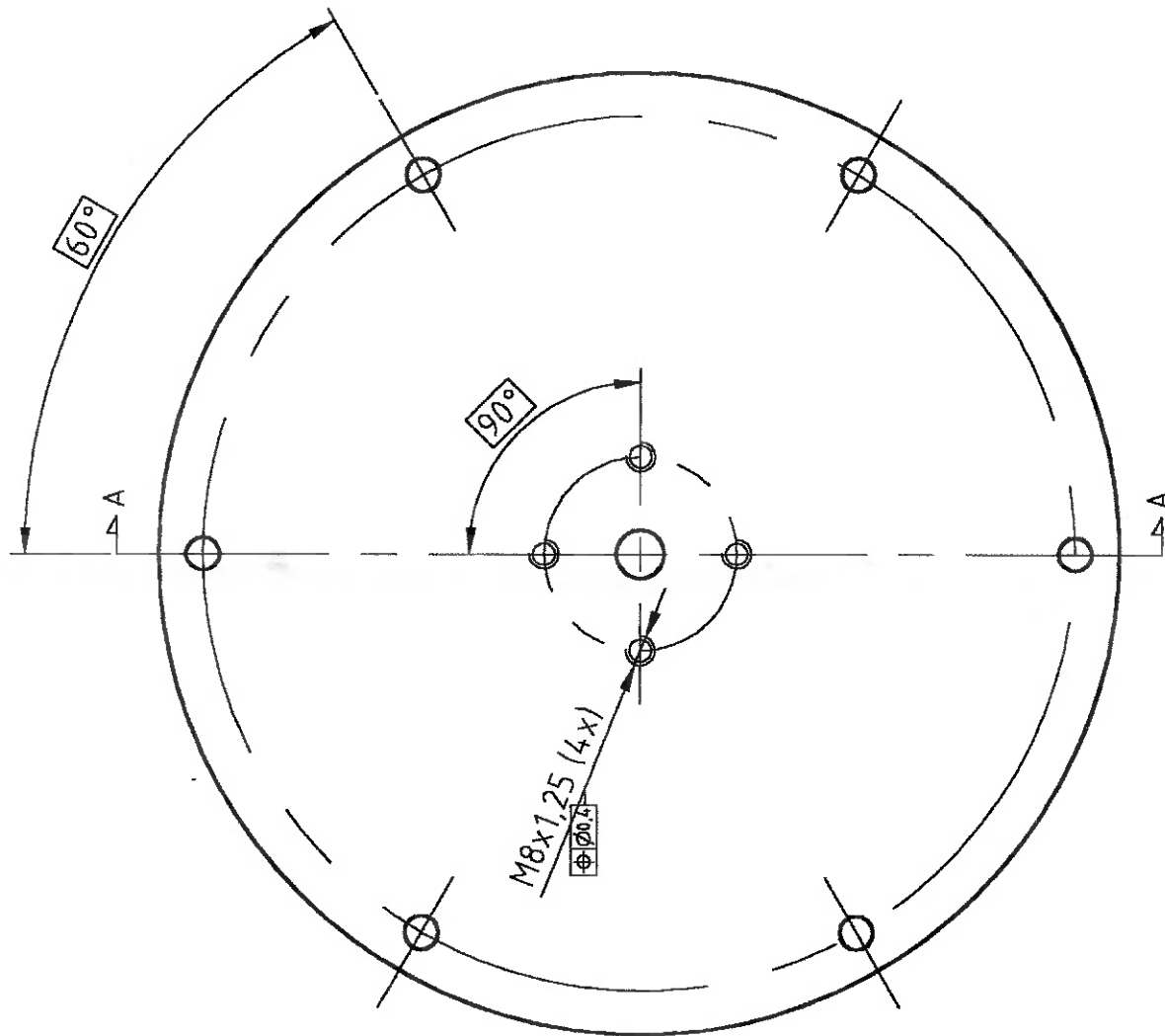
Estudo de Montagem Polia / Placa Adaptadora / Volante

Pino Guia

Polia do Motor Elétrico

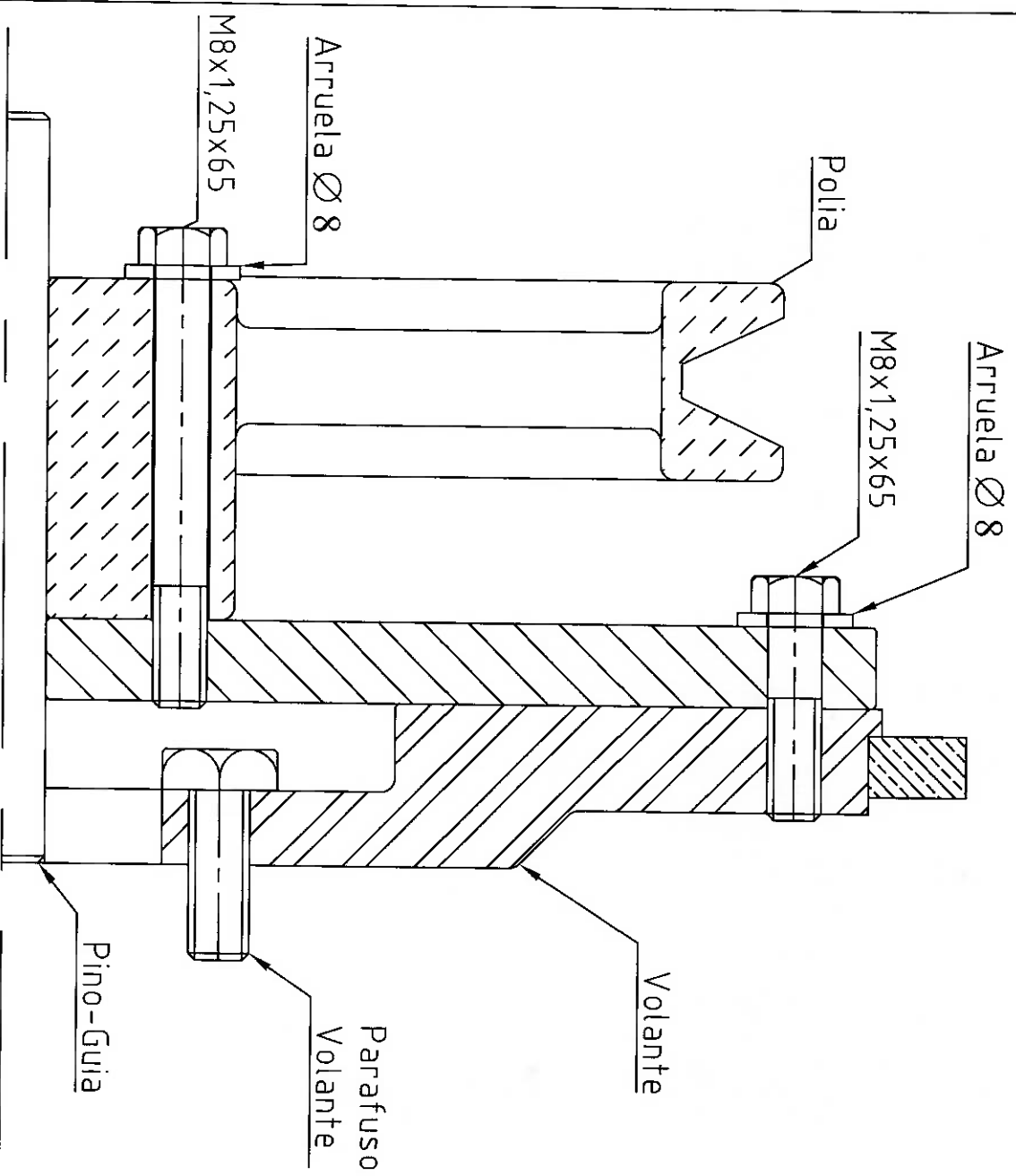
Polia do Volante

Suporte Coxim / Bancada



Material: ABNT 1020

Escala	1:1	Nome	Celso R. O. Joaquim / Fernando F. Rovai	Data	10/07/00
		Título	Adaptador Polia/Volante - Bancada MMM	Revisão	v1.0



Escala

1:1

Nome

Celso R. O. Joaquim / Fernando F. Rovai

Data

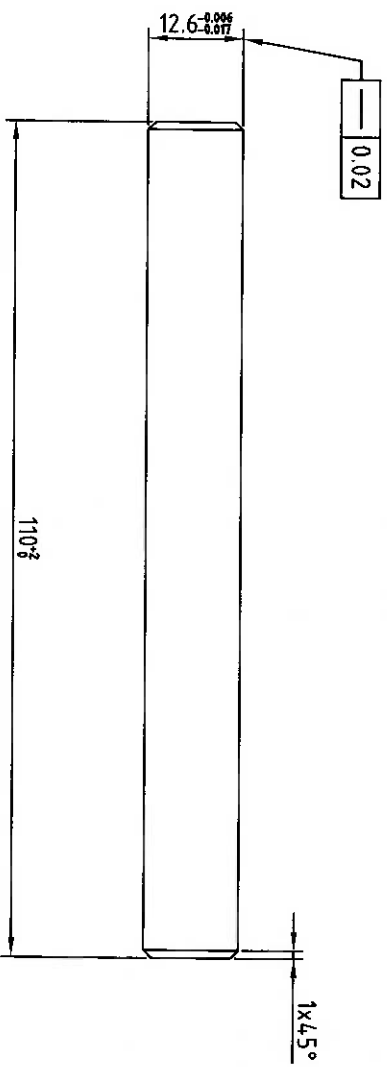
10/07/00

Título

Estudo de Montagem - Bancada MM

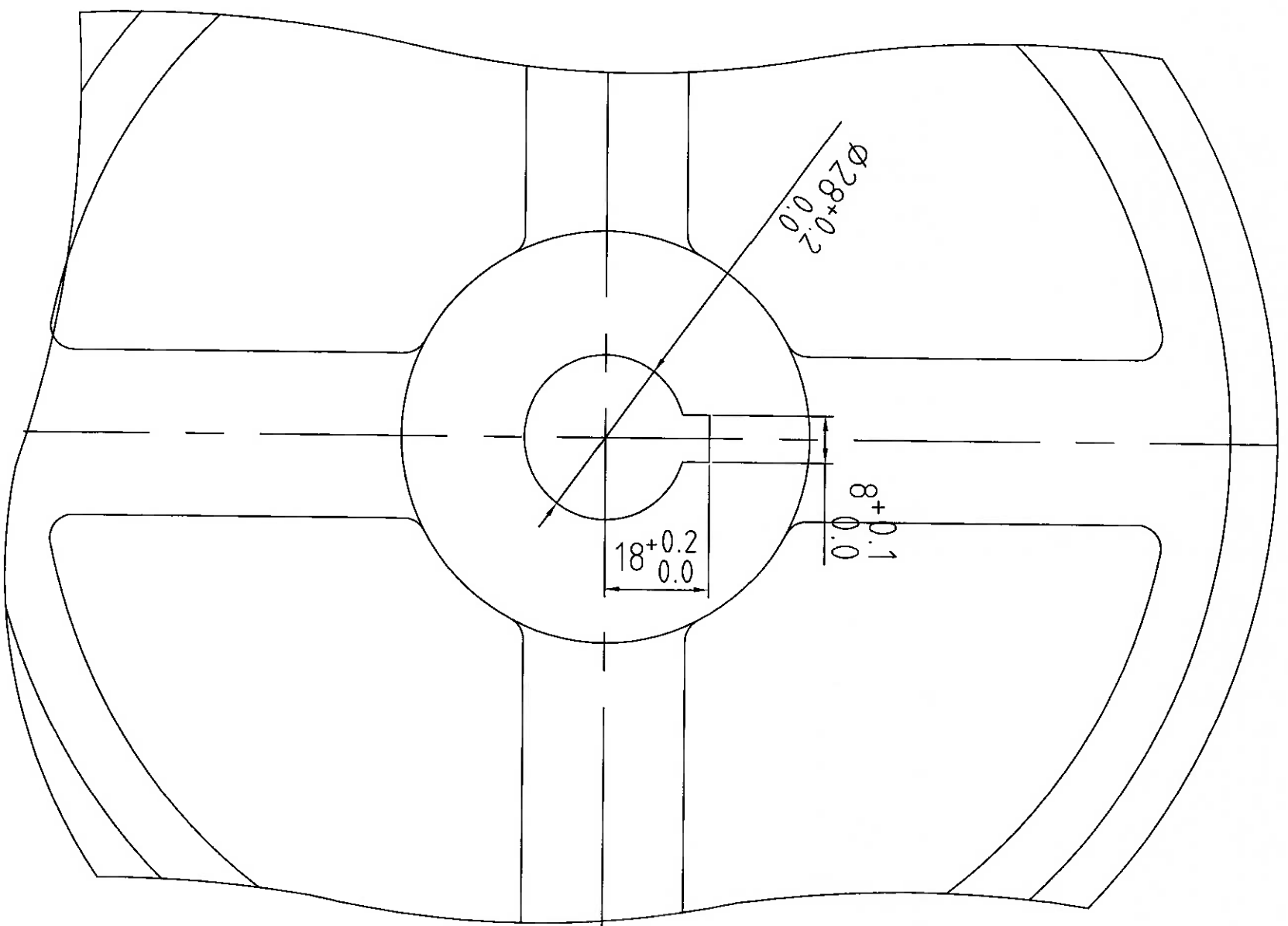
Revisão

v1.0

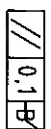


Material: ABNT 1020

Escala		Nome	Data
1:1	Título	Celso R. O. Joaquim / Fernando F. Rovai	10/07/00
		Pino Guia - Bancada MM	Revisão v1.0



Escala		Nome	Data
1:1		Celso R. O. Joaquim / Fernando F. Rovai	10/07/00
	Título	Polia do Motor Elétrico - Bancada MMM	Revisão v1.0



Nome	Data
Celso R. O. Joaquim / Fernando F. Rovai	10/07/00
Título	Revisão
Polia do Volante - Bancada MMM	v.1.0

