

3

Fabricação do novo compressor Kopelrot

O presente capítulo apresenta a fabricação do compressor Kopelrot (Cilindro de compressão e Sistema de acionamento), na última versão, sobre a qual foi construído o protótipo. São mostrados e descritos detalhadamente os desenhos de cada peça e os desenhos de montagem, bem como a função de cada uma e o material utilizado para a fabricação.

O cilindro de compressão e o sistema de acionamento tiveram duas versões fabricadas com ajuda da plataforma 3DCAD SolidWorks®. Mesmo com o projeto elaborado antes da construção do protótipo, algumas mudanças ocorreram durante a fabricação e montagem das peças, função dos problemas que eram identificados, como, por exemplo: vazamento, lubrificação insuficiente, necessidade de ajuste, etc.

3.1

Cilindro de compressão do compressor Kopelrot

Para o projeto e construção do protótipo do compressor Kopelrot, tomou-se como ponto de partida um volume para a câmara do compressor com deslocadores instalados. A partir desse volume, começou-se a elaboração dos desenhos. O volume total da câmara sem deslocadores foi definido como sendo em torno de 1 litro, pois resultaria em um protótipo de dimensões adequadas ao laboratório onde seria testado. O desenho em corte (Fig. 7) apresenta melhor visualização das peças internas que compõem o novo modelo do cilindro de compressão do compressor Kopelrot.

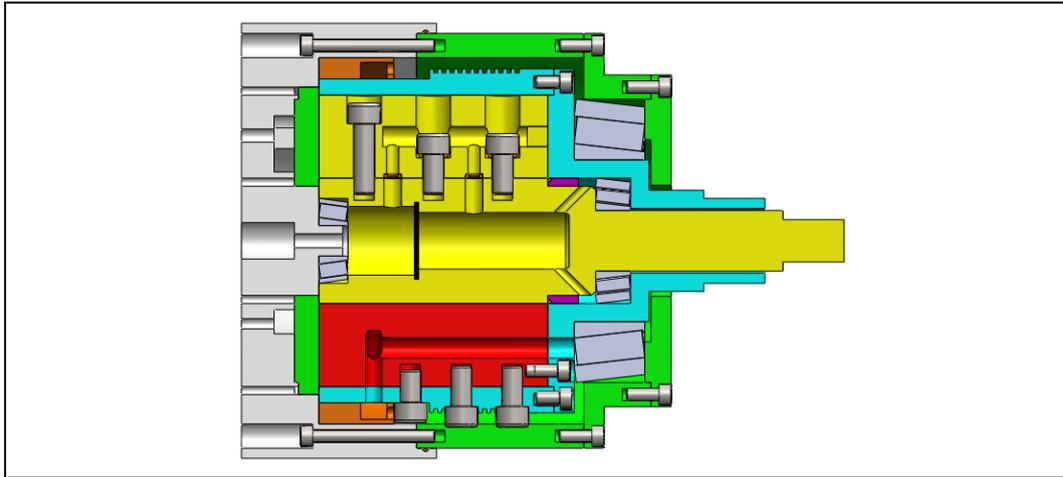


Figura 7 – Desenho em corte do novo modelo do cilindro de compressão do compressor Kopelrot.

No centro do cilindro de compressão está o rotor interno, em amarelo. Aparafusado ao rotor interno, encontra-se um dos deslocadores, também em amarelo. Logo após a câmara, acoplada à parte da frente do rotor interno, está a bucha de vedação em lilás. Envolvendo o rotor interno está o rotor externo, em azul. O rotor externo é dividido em duas partes: o corpo e a frente, aparafusados um ao outro. Aparafusado no rotor externo está o deslocador, em vermelha. Cada deslocador possui um conjunto de raspadores. Como os conjuntos são diferentes um do outro, devido ao diferente modo de atuação de cada deslocador. Fixado no diâmetro do rotor externo à sua extremidade traseira, encontra-se uma bucha de nylon, em laranja. Vedando a extremidade da câmara está a placa de janelas, em verde, onde se localizam as janelas de sucção e descarga. A placa de janelas é aparafusada na carcaça traseira, em branco. A carcaça traseira é a maior e mais pesada peça no cilindro. A carcaça dianteira, em verde, foi dividida em três partes sendo uma aparafusada na outra e, por fim, todo o conjunto é aparafusado na carcaça traseira, fechando e apertando todo o conjunto de rolamento e rotores.

Há três rolamentos montados no cilindro de compressão. O primeiro rolamento encontra-se internamente na extremidade traseira do rotor interno e na carcaça traseira. O segundo, entre o rotor interno e o rotor externo, e, o terceiro entre o rotor externo e a carcaça dianteira, ambos na parte dianteira do cilindro de compressão.

Todos os rolamentos utilizados são do tipo rolete cônico. Este tipo foi escolhido por sua capacidade de distribuir a carga sobre uma área maior.

O rotor interno é montado no interior do rotor externo, e o espaço formado por eles constitui a câmara do compressor (Fig. 8). Quando os deslocadores são montados nos rotores, eles dividem a câmara em duas.

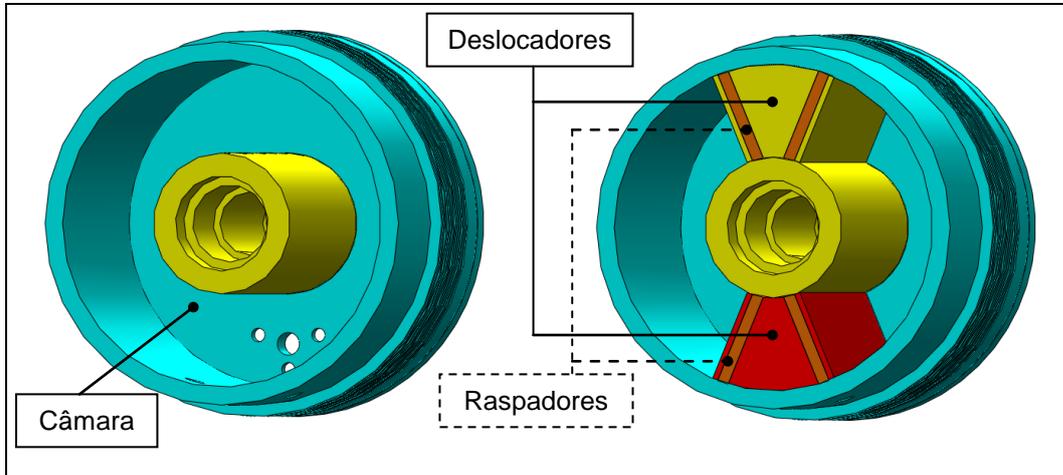


Figura 8 – Câmara formada pelos rotores e deslocadores.

Os rotores e os deslocadores são as únicas peças com movimento de rotação no cilindro de compressão, além dos rolamentos. Esse movimento é garantido pelo sistema de acionamento que se acopla à parte hexagonal (sextavado) que cada rotor possui em sua extremidade. Durante o movimento de rotação, à medida que os deslocadores passam pelas janelas de sucção e descarga, as câmaras mudam de função. As duas câmaras atuam simultaneamente, ou seja, quando uma câmara permite a entrada do gás, a outra o comprime. O que impede o vazamento do gás de uma câmara para a outra são os raspadores, fixados aos deslocadores.

As janelas de sucção e descarga são posicionadas para melhor aproveitar o tempo de sucção e compressão das câmaras quando os eixos do cilindro de compressão e do sistema de acionamento encontram-se excêntricos.

As carcaças, quando aparafusadas, se fecham e mantêm todas as peças que atuam no interior do cilindro de compressão: rotores, rolamentos, buchas e a placa de janelas, um único conjunto, supostamente hermético. Desse modo, os rotores que definem as câmaras de compressão ficam presos pelo aperto das carcaças, o que permite que girem concentricamente em torno do eixo de centro do cilindro de compressão.

A fabricação dessas peças obedeceu a tolerâncias de concentricidade. Analisando-se o desenho em corte (Fig. 7), cada peça é montada sobre outra. Pelo fato de algumas destas peças terem movimento de rotação em torno de seu eixo, tolerâncias de concentricidade necessitavam ser mantidas. Para facilitar ajustes, estabeleceu-se uma ordem para a fabricação das peças. Esta ordem permitiu que fosse realizada pré-montagem das peças à medida que fossem sendo fabricadas.

3.2

Sistema de acionamento do compressor Kopelrot

O sistema de acionamento é responsável por transmitir movimento de rotação do motor elétrico para os rotores (Fig. 9). Como no sistema anterior (Barreto et al, 2004), um motor elétrico acoplado ao volante faz com que o sistema de acionamento gire. Se o eixo do sistema de acionamento estiver concêntrico com o eixo do cilindro de compressão, os deslocadores ficam defasados a 180° e ambos giram na mesma velocidade. Dessa maneira, o volume da câmara entre deslocadores não se altera e não haverá sucção ou descarga, nem compressão. Para que o ciclo de compressão ocorra, os eixos do sistema de acionamento e do cilindro de compressão devem estar excentricamente posicionados. Com isso, a velocidade angular imposta aos rotores se torna variável e defasada.

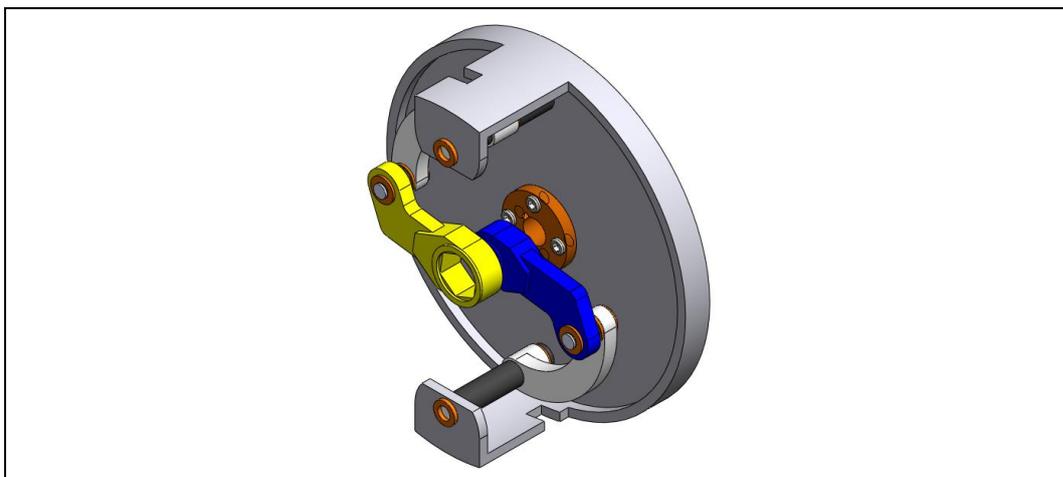


Figura 9 – Vista isométrica do sistema de acionamento do compressor Kopelrot.

Neste novo modelo, com dois deslocadores, apenas duas peças se diferenciam uma da outra, que são os braços retos principais. O volante é uma peça única e as outras peças foram fabricadas em duplicata por serem exatamente iguais para ambos os rotores.

Pode-se observar, na figura 9, o conjunto de acionamento dos deslocadores: dois braços, ou bielas, retos principais, em amarelo e, outro em azul; dois braços em curva em cinza exatamente iguais; dois eixos pequenos em cinza que unem os braços retos principais aos braços em curva; oito buchas pequenas na cor laranja, uma de cada lado dos braços retos principais e, uma de cada lado dos braços em curva; dois espaçadores entre os braços retos principais e os braços em curva; dois eixos grandes na cor cinza, os quais se fixam os braços em curva; duas buchas grandes na cor laranja inseridas no lado maior dos braços em curva; dois espaçadores na cor preta, que se encontra de cada lado dos braços em curva; o volante na cor cinza, que é a maior peça e, que segura todo o conjunto de eixos, buchas e braços; quatro buchas pequenas do volante, duas nas garras e duas na base do volante onde são inseridos os eixos grandes.

O sistema de acionamento foi fabricado depois do cilindro de compressão e, do mesmo modo, foi criada ordem de fabricação das peças a fim de facilitar os ajustes.

Os conjuntos de braços, quando montados no volante, ficam deslocados linearmente um do outro (Fig. 10). Esse deslocamento impede que os conjuntos de braços se toquem, quando estiverem em movimento. Observado o desenho na vista lateral, vê-se que um dos braços retos principais, em azul, está alinhado com o braço em curva, que se acopla no outro braço principal em amarelo.

Todas as propostas de desenvolvimento destas novas peças foram antes estudadas também simulando-se seu movimento no 3DCAD SolidWorks®.

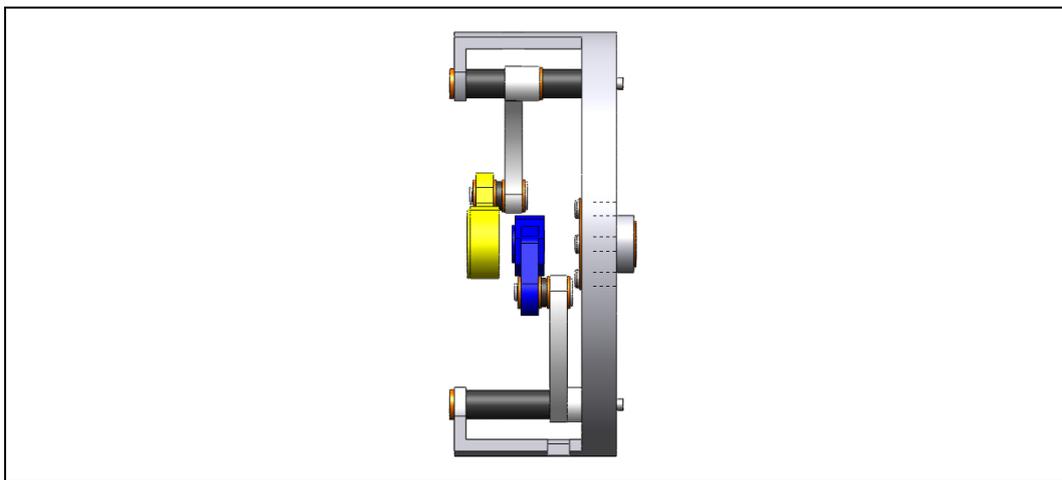


Figura 10 – Vista lateral do sistema de acionamento.

3.3

Manufatura dos componentes do cilindro de compressão

3.3.1

Rotor interno

A primeira peça fabricada foi o rotor interno (Fig. 11). Este rotor é uma das peças mais importantes do cilindro de compressão. É responsável por formar a câmara, transmitir aos deslocadores movimento de rotação do sistema de acionamento e dar continuidade à passagem de óleo de resfriamento para o deslocador. O material utilizado para a fabricação do rotor interno foi o aço AISI 4140.

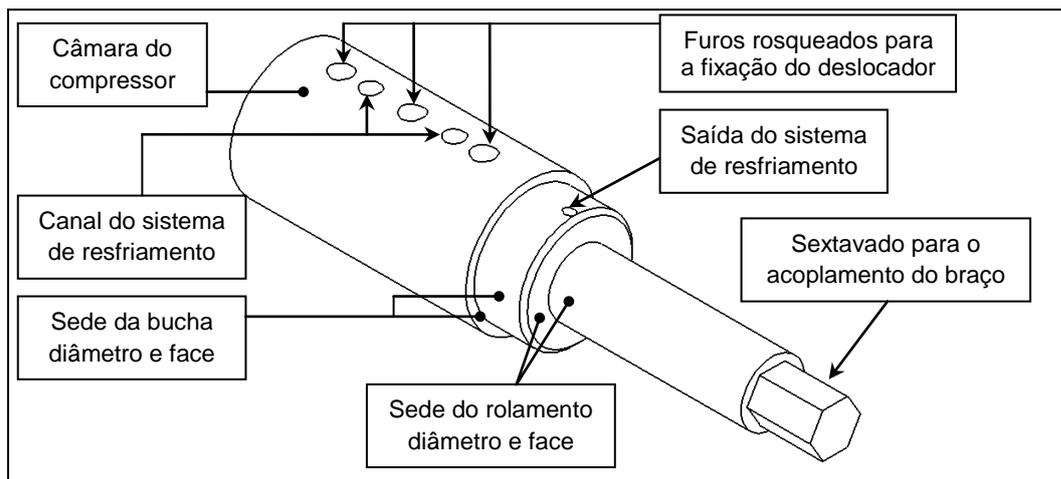


Figura 11 – Rotor interno.

Para fabricar este rotor, foi empregado um processo de têmpera, com dureza de 48 Rockwell C. Antes da têmpera houve uma pré-usinagem deixando todos os diâmetros com 0,2 mm acima da medida final. Todas as furações, roscas e a extremidade hexagonal na frente do rotor foram usinadas antes da têmpera, pois, devido à dureza alcançada após este processo, as usinagens resultariam dificultadas.

Na superfície da câmara, onde o deslocador é fixado, o restante da superfície do rotor interno que não fica coberta pelo deslocador faz parte da câmara do compressor. Por isso, dedicou-se especial cuidado à concentricidade e rugosidade do rotor.

O diâmetro que faz parte da câmara foi retificado por possuir tolerância de medida pequena. Esse diâmetro é importante por dois motivos. Primeiro, por acomodar o deslocador ao ser aparafusado contra a superfície, mantendo a concentricidade do conjunto. Segundo, porque o outro deslocador que está aparafusado no rotor externo montado com respectivo conjunto de raspadores trabalha movimentando-se angularmente em contato com esta superfície.

No diâmetro que faz parte da câmara, foram confeccionados três furos rosqueados colineares (Figs. 11 e 12), que são responsáveis por fixar o deslocador em amarelo (Fig. 7). Como o rotor possui sistema de resfriamento interno, esses furos de fixação do deslocador não são vazados, e, portanto, foram fabricados em profundidade pré-determinada.

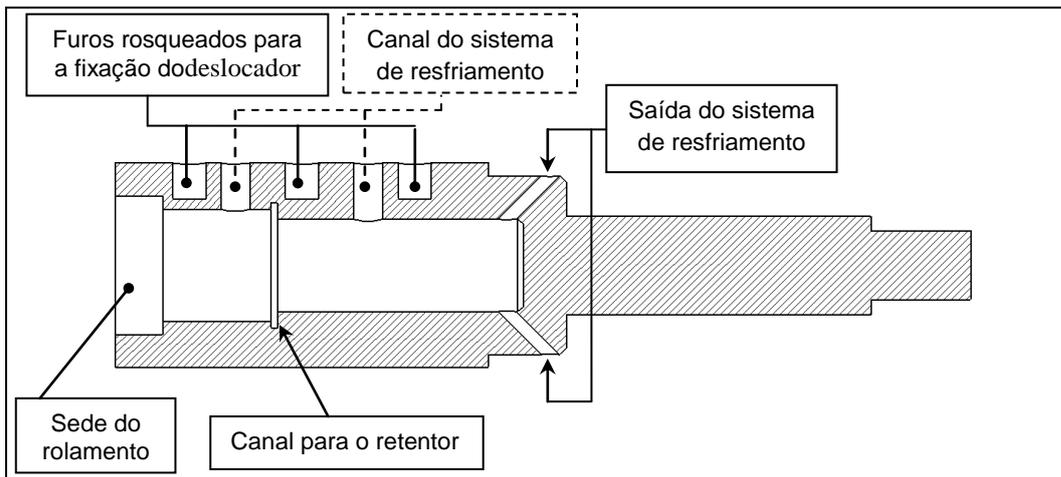


Figura 12 – Rotor interno em corte.

Na parte interna do rotor interno encontra-se o sistema de resfriamento que foi fabricado a partir de dois diferentes diâmetros (Fig. 12). No meio entre os dois diâmetros foi fabricado um canal onde é colocado retentor de borracha fixo. Esse retentor veda a passagem de óleo para o outro lado. Como esta encontra-se fechada, o óleo é obrigado a fluir por um canal e retornar por outro, também circulando, desta maneira, pelo interior do deslocador (Fig. 7). Esses canais de entrada e saída de óleo são furos que foram fabricados ao lado dos furos rosqueados.

A saída de óleo do sistema de resfriamento se dá mediante dois canais, pelo diâmetro intermediário (Fig. 12). Estes canais foram usinados em 45°, e defasados a 180°.

Na parte traseira do rotor interno, na parte interna, antes do sistema de resfriamento, foi usinado um rebaixo onde é colocado rolamento (Fig. 12). Na parte interna do rolamento é acoplada a carcaça traseira. A função deste rolamento é manter o rotor interno girando concêntrico em relação à carcaça traseira que permanece estática. Este ajuste do rolamento foi feito depois da têmpera.

O menor diâmetro foi o primeiro a ser projetado. Fixou-se \varnothing 30 mm para esta parte do rotor e, a partir dele, dimensionou-se todo o restante. Na extremidade há um sextavado onde é acoplado o braço do sistema de acionamento. No outro lado do diâmetro fica acoplado um rolamento (Fig. 11) que tem função de separar os rotores mantendo-os concêntricos e em velocidades defasadas durante o movimento de rotação.

As figuras abaixo mostram o rotor interno em dois diferentes estágios de fabricação. O primeiro é no início, com toda a parte referente a torno já realizada (Fig. 13), e o segundo, com todas as usinagens finalizadas, pronto para o tratamento de têmpera (Fig. 14).



Figura 13 – Rotor interno com a parte de torno fabricado.



Figura 14 – Rotor interno fabricado.

3.3.2

Rotor externo

A segunda peça fabricada foi o rotor externo. Peça que tem igual grau de importância, por possuir as mesmas funções do rotor interno, o que demandou os mesmos cuidados da peça anterior, passando por um estágio de pré-usinagem, seguido de têmpera e retífica. É dividida em duas partes: o corpo, que foi a primeira parte fabricada, e a frente. As duas partes são fixadas uma à outra por meio de parafusos, ficando com comprimento menor que o rotor interno. O material utilizado para a fabricação do rotor externo também foi o aço AISI 4140.

Para a fabricação desta peça dedicou-se importância maior ao diâmetro interno, por este fazer parte da câmara quando ambos os rotores estão montados (Fig. 8). A condição da câmara para este rotor é a mesma do rotor interno, ou seja, quando o deslocador é aparafusado contra o diâmetro interno do rotor externo, toda a outra parte deste diâmetro que não fica coberta pelo deslocador, trabalha em contato com os raspadores que são montados no deslocador do rotor interno.

Na superfície do diâmetro externo foram confeccionados três furos lisos colineares, que são utilizados para fixar o deslocador (em vermelho - Fig. 7), por meio de parafusos (Fig. 15). Os furos apresentam um rebaixo, deixando a superfície plana. Deste modo, as cabeças dos parafusos possuem uma maior superfície de contato, ao apertar o deslocador contra o diâmetro interno do rotor. Esses parafusos tiveram a cabeça rebaixada devido ao espaço formado entre a carcaça dianteira e o corpo do rotor externo ser pequeno.

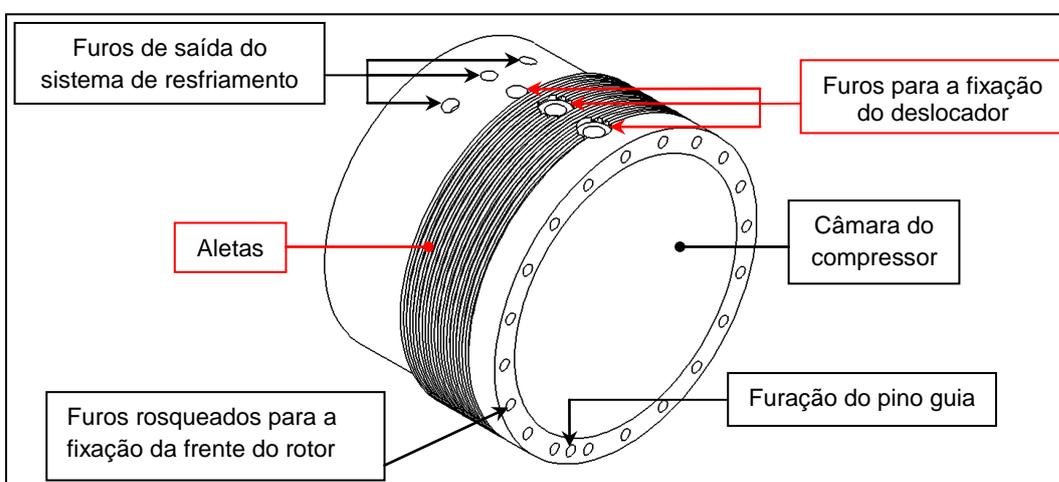


Figura 15 – Corpo do rotor externo.

Na face frontal do corpo do rotor externo foram fabricados 20 furos rosqueados equidistantes, para fixar a frente do rotor externo (Figs. 15 e 16). Foi feito, também nesta face, um furo liso para a colocação de pino guia de modo a garantir o posicionamento correto na montagem da frente do rotor externo. No diâmetro externo foram fabricadas algumas aletas para incrementar o processo de resfriamento (Figs. 15 e 16).

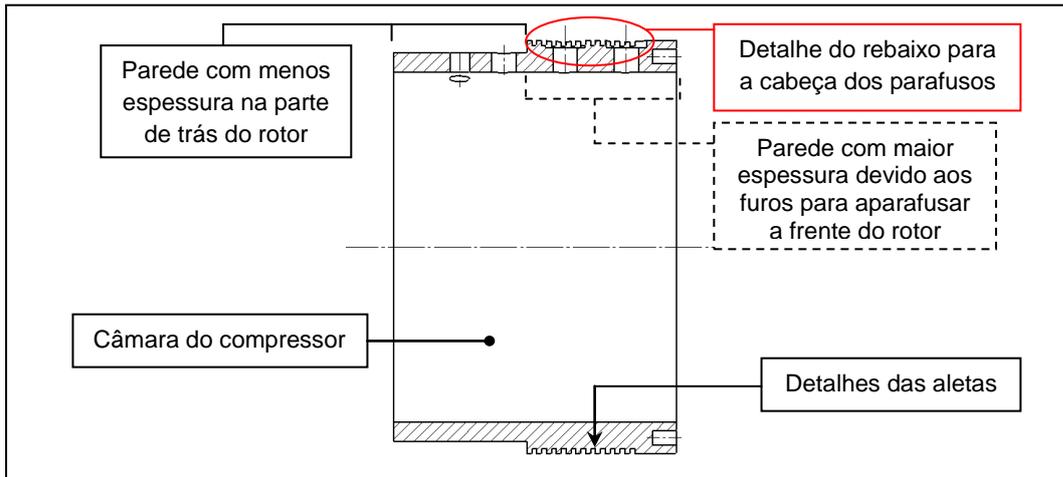


Figura 16 – Corpo do rotor externo em corte.

Na parte traseira do rotor, também é possível localizar três furos colineares e equidistantes no sentido radial (Fig. 17). Estes furos são utilizados para o sistema de resfriamento do deslocador. O óleo, que ingressa para o resfriamento do deslocador, sai por esses três furos. Os furos seguem como complementos dos furos fabricados no deslocador. Por isso, são posicionados no sentido radial do eixo externo do rotor.

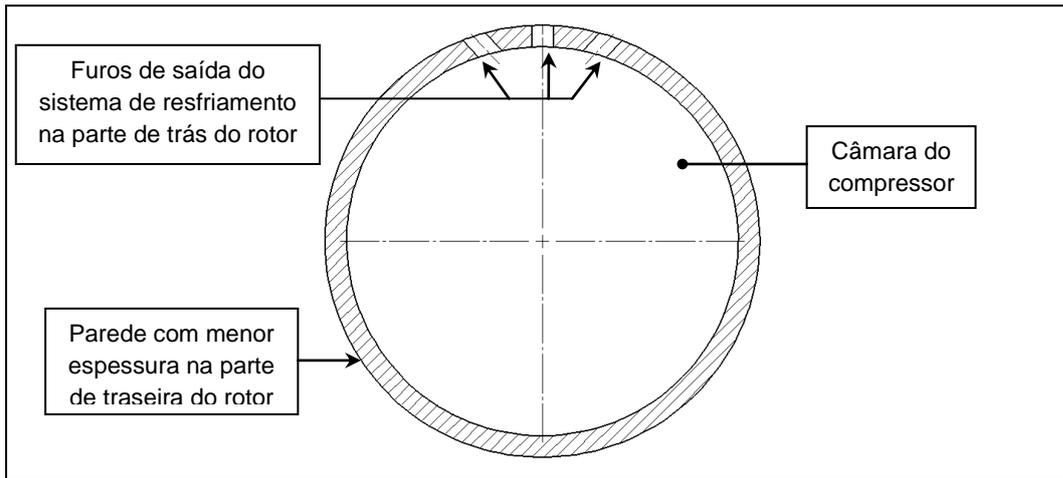


Figura 17 – Vista em corte do sistema de refrigeração.

A figura abaixo mostra o corpo do rotor externo com todos os processos de usinagem efetuados, antes de ser feito o tratamento de têmpera (Fig. 18).



Figura 18 – Corpo do rotor externo, peça bruta e fabricada.

A frente do rotor externo foi a terceira peça a ser fabricada (Fig. 19). Esta peça veda uma das faces da câmara, recebendo o movimento de rotação do sistema de acionamento, e transferindo para o corpo do rotor. Também dá continuidade à passagem de óleo de resfriamento para o deslocador.

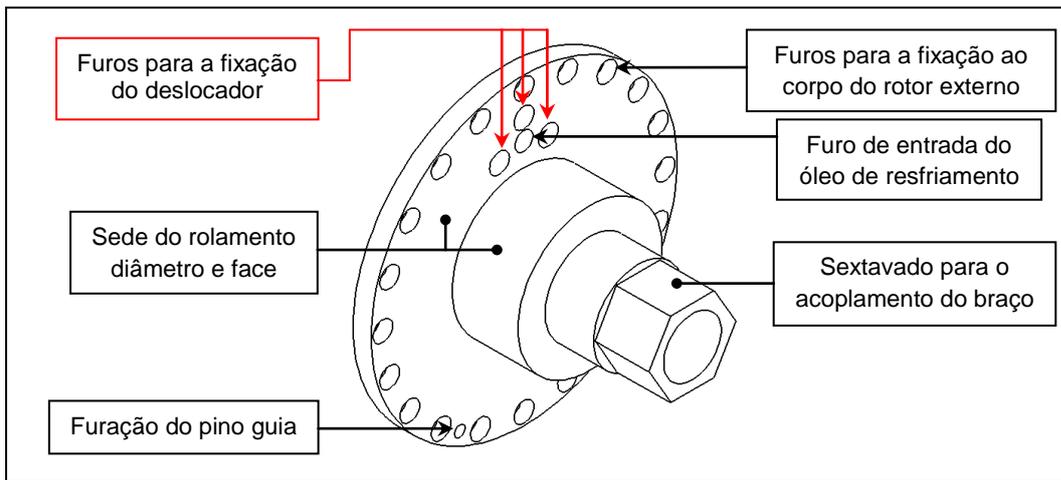


Figura 19 – Frente do rotor externo.

Como todas as peças que formam a câmara do compressor, esta também requereu cuidados especiais na hora da fabricação, que incluiu: pré-usinagem, têmpera e retífica.

A face da peça que forma a câmara do compressor foi fabricada com um rebaixo que permitiu formar e vedar a câmara do compressor (Fig. 20). A usinagem deste rebaixo transcorreu com uma tolerância pequena, de 0,2 mm, para evitar folga na montagem e, possivelmente, um vazamento durante a operação do compressor. Foi efetuada uma pré-montagem com o corpo do rotor para verificar as medidas do comprimento da câmara. O deslocador, que se encontra na parte inferior (Fig. 7), e é fixado no corpo do rotor externo, é também fixado contra a face desta peça. O deslocador, montado no rotor interno com seus conjuntos de raspadores, também trabalha em contato, percorrendo toda esta face do rotor externo. Esta foi retificada para manter o paralelismo e a mínima rugosidade na face.

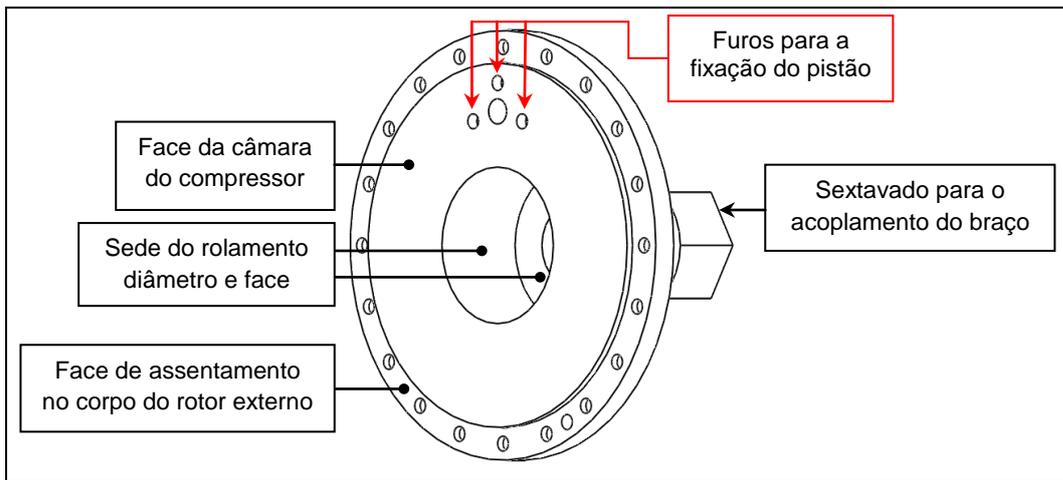


Figura 20 – Vista traseira da frente do rotor externo.

Os três furos equidistantes em um ângulo de 120° graus são responsáveis por fixar o deslocador (Figs. 19 e 20). Esses três furos têm um rebaixo para acomodar as cabeças dos parafusos, deixando-os com a cabeça abaixo da face, devido ao rolamento apoiar nesta face.

O furo no centro é para a entrada do óleo de resfriamento (Figs. 19 e 20). O óleo entra por este furo, percorre todo o deslocador, e sai pelos três furos que se encontram no corpo do rotor externo.

No maior diâmetro encontram-se os 20 furos equidistantes para aparafusá-lo ao corpo do rotor externo. No diâmetro posterior à face frontal do rotor externo é acoplado o rolamento (Figs. 20 e 21). Na frente deste rotor também foi efetuada uma usinagem hexagonal para acoplar o braço do sistema de acionamento do compressor.

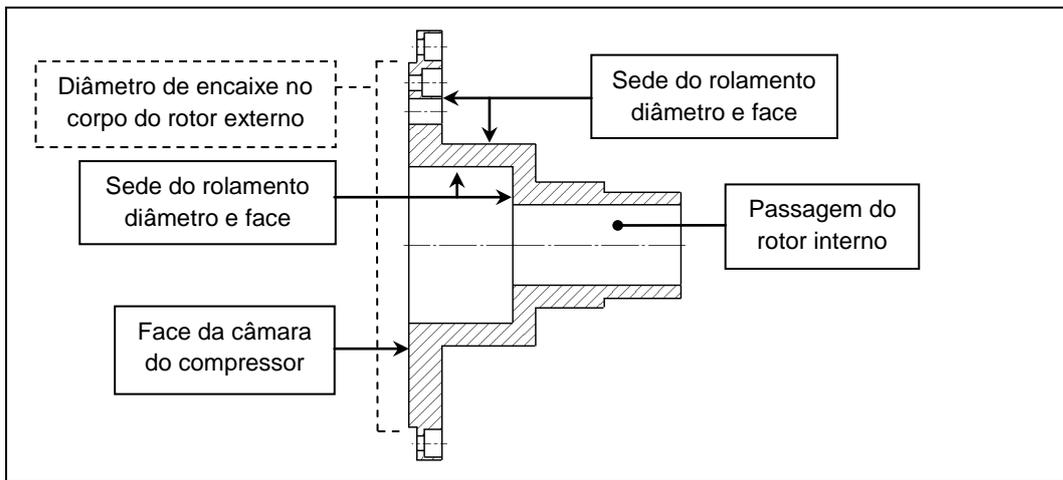


Figura 21 – Vista em corte da frente do rotor externo.

Na parte interna há dois diâmetros diferentes (Fig. 21). No maior diâmetro ajusta-se o diâmetro externo do rolamento, que é acoplado no menor diâmetro do rotor interno. Foi necessário ajustar diâmetro e profundidade a fim de garantir um ajuste ideal no rolamento quando os rotores estivessem montados, pois as faces de trás de ambos os rotores têm que estar no mesmo plano quando montadas. O menor diâmetro é para permitir a passagem do rotor interno.

A figura mostra a frente do rotor externo com toda a usinagem referente ao torno fabricada, e com todas as usinagens finalizadas, para ser feito o tratamento de têmpera (Fig. 22).



Figura 22 – Frente do rotor externo, peça bruta e fabricada.

A figura abaixo mostra o rotor externo montado com a frente e o corpo aparafusados um ao outro (Fig. 23).



Figura 23 – Rotor externo montado.

3.3.3

Placa de janelas

A quarta peça fabricada foi a placa de janelas (de sucção e descarga). Como é uma peça que faz parte da câmara, passou pelos mesmos processos de fabricação mencionados anteriormente. A placa de janelas é responsável por fechar a câmara do compressor na parte traseira do cilindro de compressão e também, é onde ficam localizadas as janelas de sucção e descarga de gás. O material utilizado para a fabricação foi o aço AISI 1020.

A face da placa de janelas que veda a câmara do compressor é a face de maior importância desta peça (Fig. 24). Os raspadores montados nos deslocadores trabalham em contato percorrendo toda a face desta peça. Por isso, esta peça foi cementada e a face do lado da câmara foi retificada para manter paralelismo e apresentar o mínimo de rugosidade.

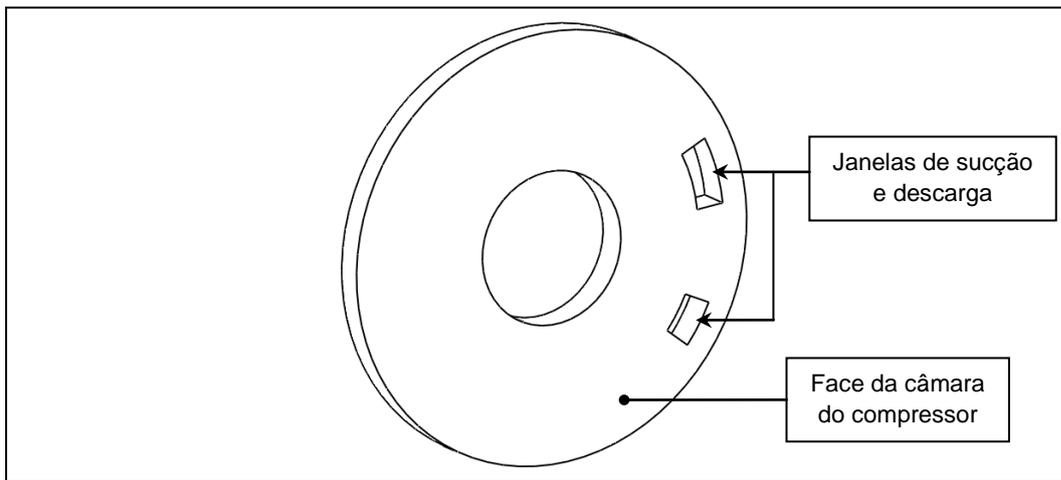


Figura 24 – Placa de janelas.

As modificações que se mostraram necessárias nessa peça surgiram depois que o compressor já estava em funcionamento.

Para a fabricação das sedes das janelas de sucção e descarga, foi realizado um estudo (simulação) do movimento dos pistões. Esta simulação também serviu para determinar-se a melhor excentricidade entre os eixos de centro do cilindro de compressão e do sistema de acionamento. Com isso, as janelas foram posicionadas da melhor maneira possível, a fim de melhor aproveitar o tempo de compressão e re-expansão dos deslocadores para uma excentricidade escolhida. A janela menor é a de descarga e a maior, de sucção.

Na outra face, há um rebaixo para encaixe na tampa traseira, de modo a manter uma concentricidade da peça quando montada (Figs. 25 e 26). Na mesma face foram fabricados cinco furos roscados equidistantes. Estes furos são utilizados para fixar a placa de janelas na carcaça traseira.

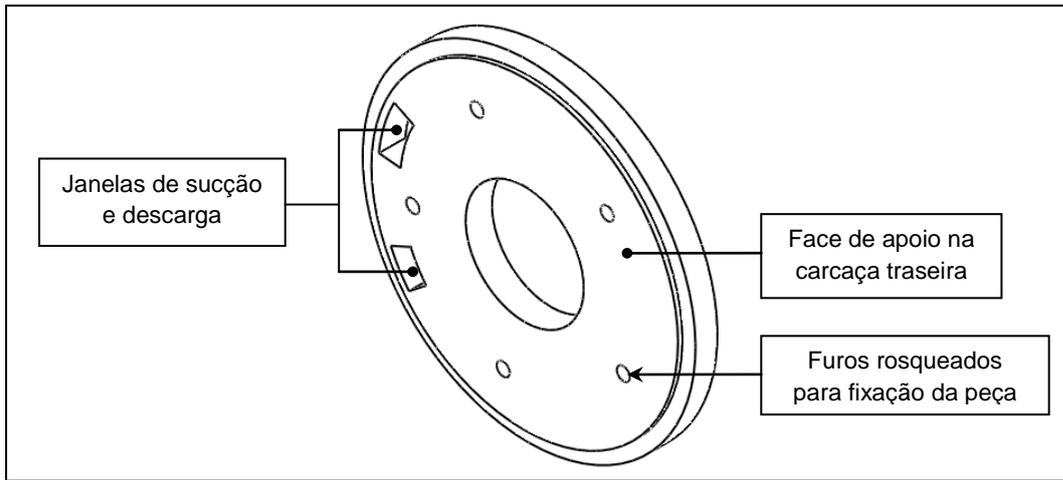


Figura 25 – Vista traseira da placa de janelas.

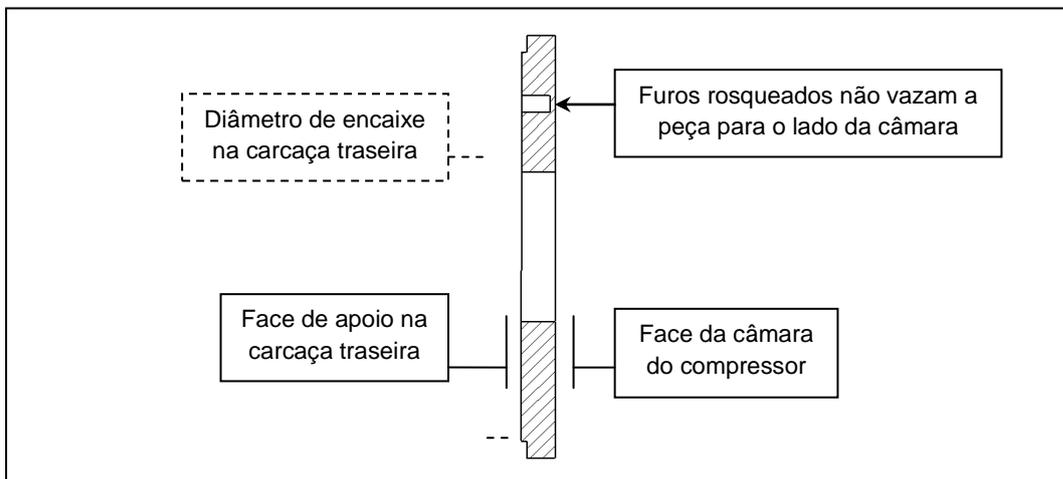


Figura 26 – Vista em corte da placa de janelas.

A figura abaixo mostra a placa de janelas fabricada antes do tratamento de cementação e a usinagem de retífica (Fig. 27).

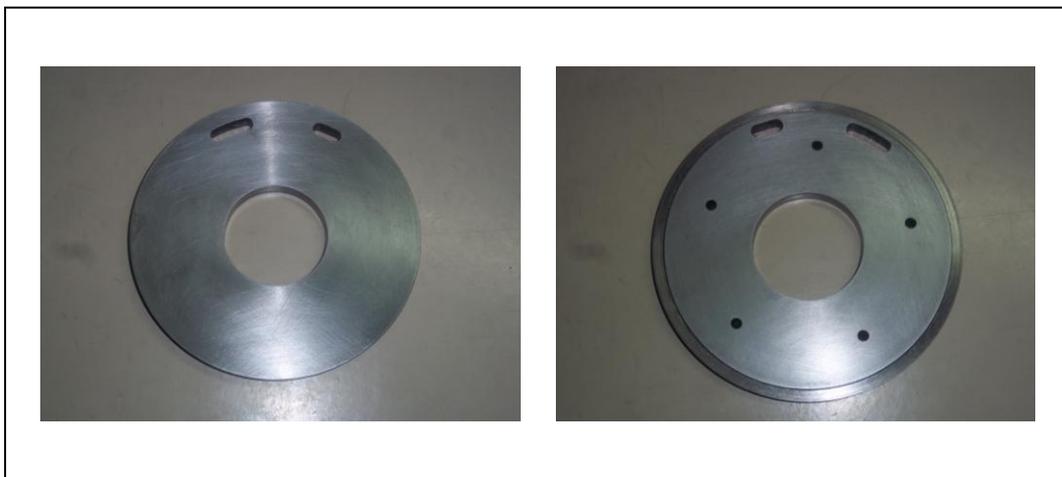


Figura 27 – Placa de janelas fabricada.

3.3.4

Deslocadores

Os próximos componentes a serem fabricados foram os deslocadores (Fig. 28). Há dois deslocadores, cada um fixado em rotor diferente. O material utilizado para a fabricação dos deslocadores foi o alumínio.

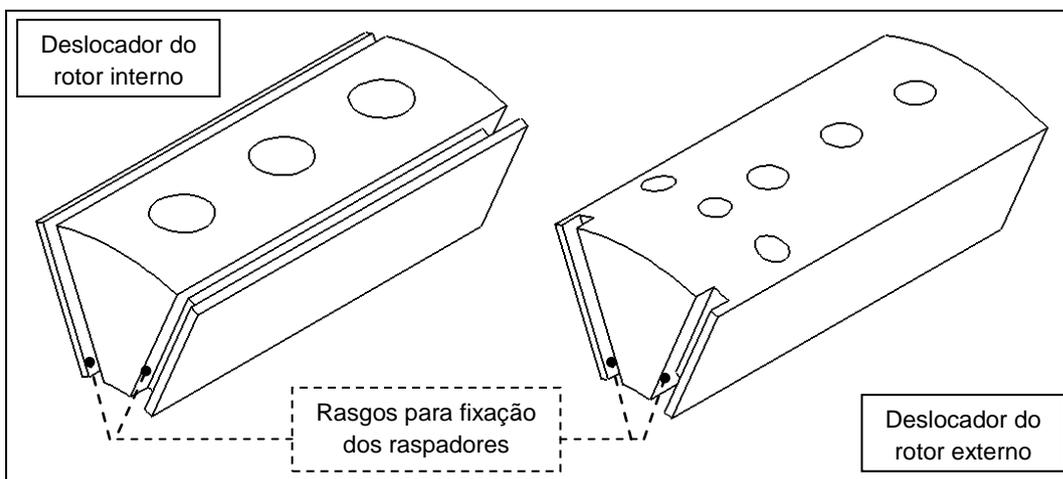


Figura 28 – Deslocadores.

Os deslocadores se diferenciam no comprimento, no diâmetro, no modo de fixação e no sistema de resfriamento. A diferença que ambos apresentam no comprimento e no diâmetro é da ordem de 0,1 mm, pois a câmara é a mesma para

acomodar os dois. Para cada deslocador atuar dentro da câmara, seus diâmetros e comprimentos são compensados pelos raspadores para que não trabalhem em contato direto com a câmara. Quando em funcionamento, cada raspador atua contra o rotor contrário. Por esse motivo, a medida de usinagem de cada deslocador é diferente.

Os deslocadores, tanto na parte superior quanto na parte de inferior, são circulares, e foram fabricados a partir de uma única peça (Fig. 29). Foram usinadas todas as furações e todos os canais para a fixação dos raspadores pertencentes aos deslocadores, ambos usinados a 180° graus um do outro na circunferência. Depois, foram separados e montados cada um em seus respectivos rotores para serem usinados nas medidas finais, mantendo-se a concentricidade do conjunto. Quando encostados um deslocador no outro, formam um ângulo de 90°, ocupando, assim, ¼ da circunferência da câmara do compressor.

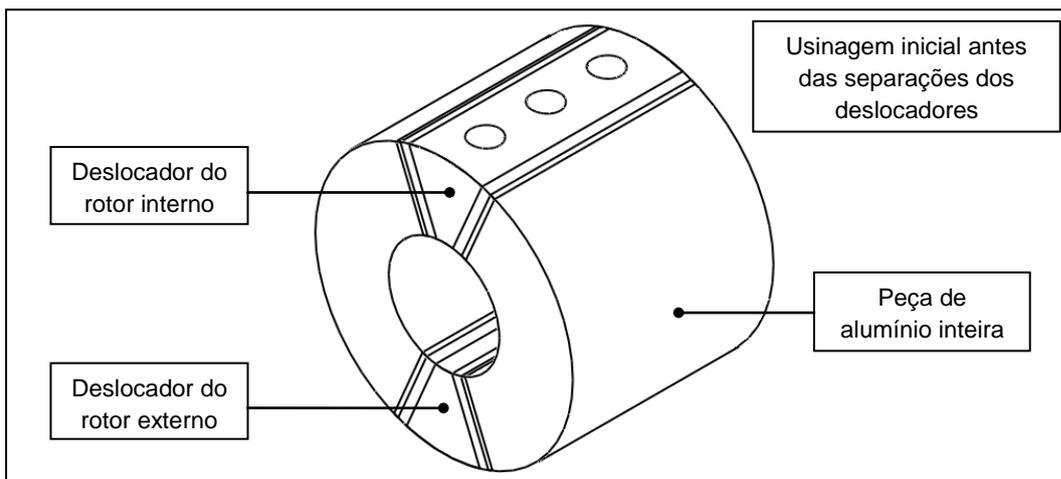


Figura 29 – Esquema de usinagem dos deslocadores.

É explicado a seguir, separadamente, o propósito da usinagem realizada em cada deslocador, começando pelo deslocador do rotor interno, seguido pelo deslocador do rotor externo.

O deslocador do rotor interno é menor no diâmetro superior, pois seus raspadores atuam contra o corpo do rotor externo. Por isso, a altura dos raspadores foi compensada no diâmetro superior (Fig. 30). O diâmetro inferior do deslocador foi colocado na medida quando foram usinados como uma peça única. A usinagem final do diâmetro superior foi feita com o deslocador fixado ao rotor

interno. O deslocador do rotor interno também é o menor em comprimento, porque, seus raspadores atuam nas duas faces da câmara. A usinagem do comprimento do rotor interno também foi colocada na medida final com o deslocador fixado ao rotor. Os rasgos para colocar os raspadores encontram-se no diâmetro superior e nas faces do deslocador (Fig. 30).

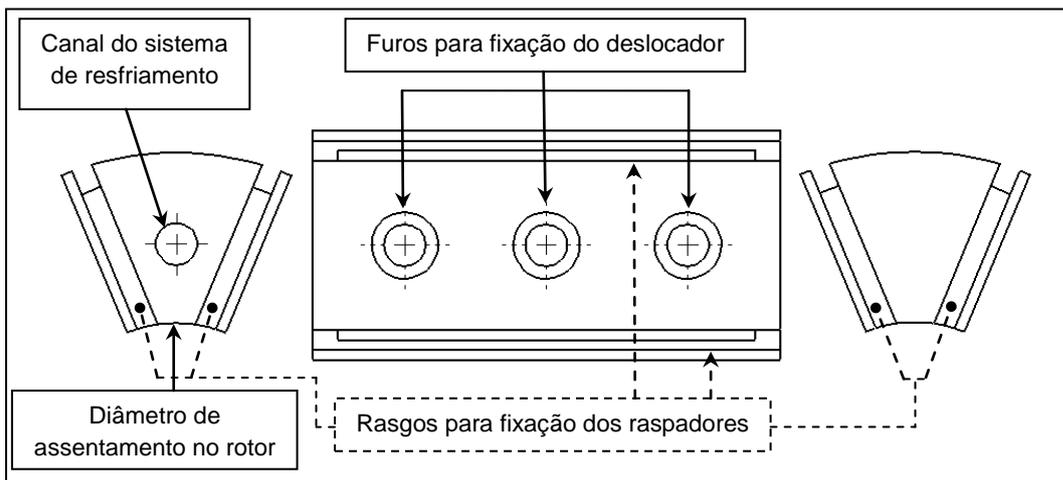


Figura 30 – Rasgos do deslocador do rotor interno.

Os três furos no diâmetro superior do deslocador são para fixá-lo ao rotor interno (Figs. 30 e 31). Dois rebaixos para a cabeça dos parafusos foram confeccionados abaixo do canal de resfriamento e, quando montados, devem ser utilizados o’rings, para vedar a passagem do óleo de resfriamento.

Os dois furos com diâmetros menores são para o resfriamento, e são ligados com os furos de resfriamento do rotor interno (Figs. 12 e 31). Na parte de baixo os furos foram confeccionados com um rebaixo para a colocação de um o’ring. Esses o’rings servem para vedar o óleo quando o deslocador for pressionado contra o rotor, impedindo que o óleo de resfriamento vaze entre o diâmetro do rotor e o deslocador.

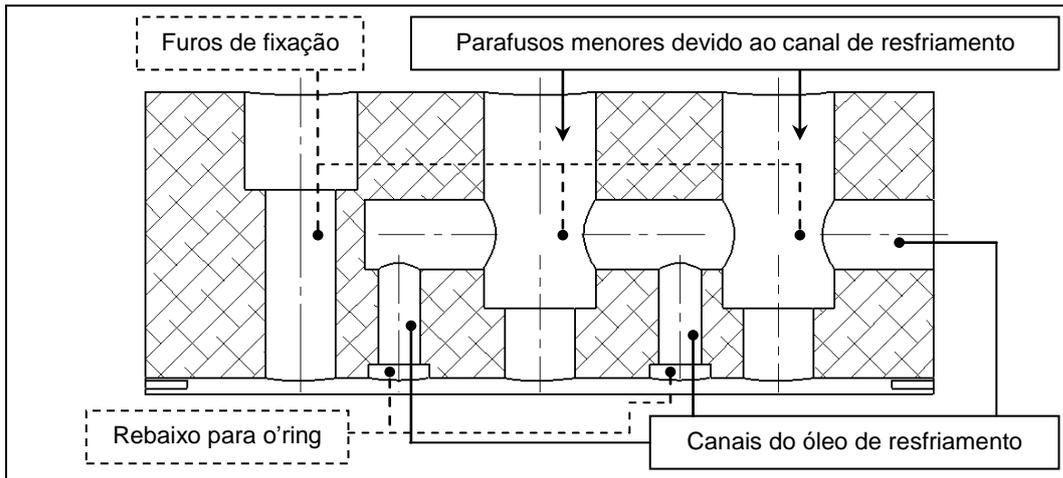


Figura 31 – Vista em corte do deslocador do rotor interno.

O canal de resfriamento que liga estes dois furos foi usinado pela frente do deslocador. Este canal deve ser vedado para manter o óleo de resfriamento circulando por ele. Como o pistão percorre toda a face da placa de janelas, este canal não poderia ser feito na parte traseira, pois, na eventualidade de ocorrer algum vazamento de óleo por este canal, o lubrificante vazaria pelas janelas de entrada e saída de ar. Já, ao contrário, se houver um vazamento de óleo por este canal, o óleo ficará retido entre os raspadores.

A figura abaixo mostra o deslocador do rotor interno fabricado (Fig. 32). Pode-se observar que os raspadores já se encontram colados ao deslocador, e os o-rings de vedação colocados no lugar com graxa para não cair.

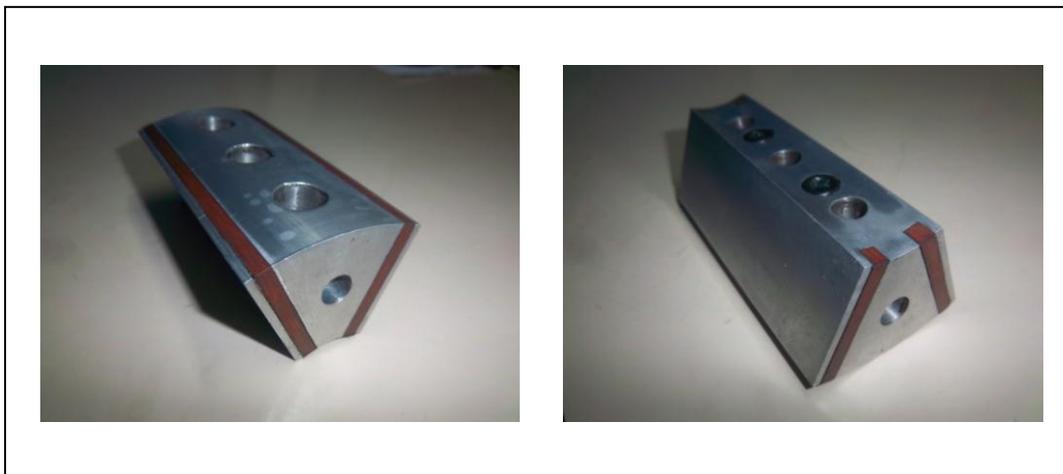


Figura 32 – Deslocador do rotor interno com raspadores fabricados.

O deslocador do rotor externo é menor no diâmetro inferior, pois seus raspadores atuam contra o corpo do rotor interno. Desta maneira, a altura dos raspadores foi compensada no diâmetro inferior (Fig. 33). O diâmetro superior do deslocador foi colocado na medida quando foram usinados como uma peça única. A usinagem final do diâmetro inferior foi feita com o deslocador fixado ao rotor externo. A usinagem dos rasgos para a fixação do deslocador se encontra na face traseira e no diâmetro inferior (Fig. 33). Pelo fato de os raspadores se encontrarem somente em uma face, este último deslocador é maior do que o deslocador do rotor interno.

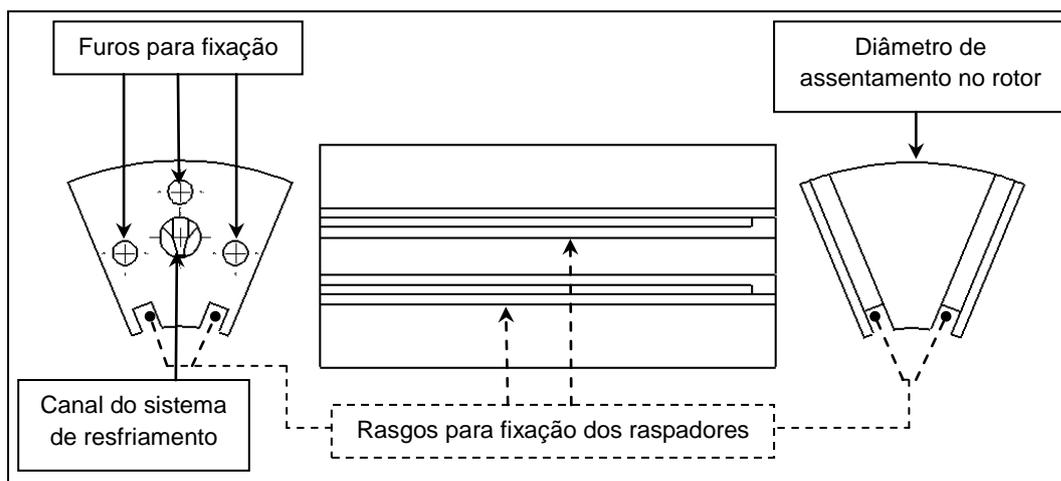


Figura 33 – Rasgos do deslocador do rotor externo.

Os três furos, dispostos linearmente em 120° na face do deslocador, têm a função de fixá-lo à frente do rotor externo (Figs. 34 e 35). Isso facilita o ajuste de montagem entre estas três peças. Se não fosse uma peça fixada uma à outra, o deslocador teria que ter um raspador também na frente, e seria necessário diminuir seu comprimento.

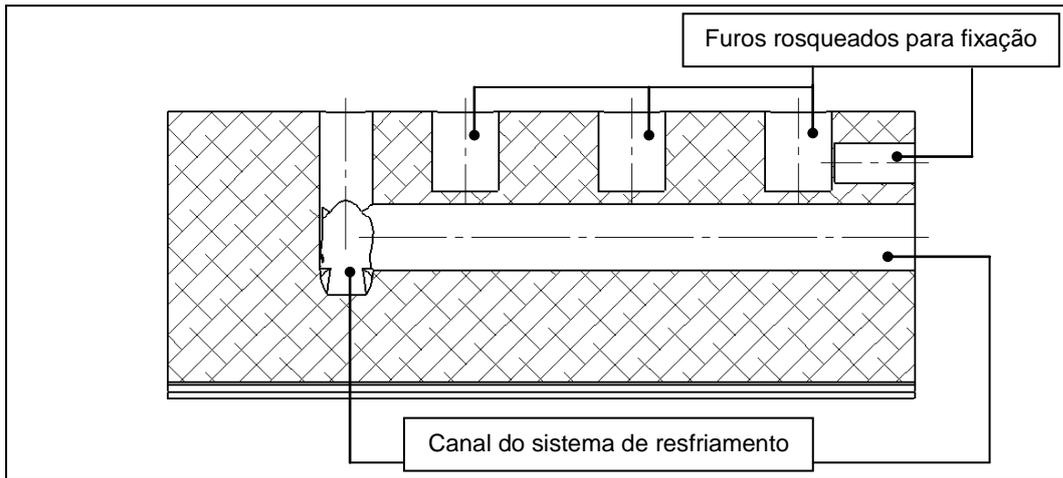


Figura 34 – Vista em corte do deslocador do rotor externo.

Os três furos que estão localizados após os furos de fixação, no sentido radial do deslocador, e o furo no centro do deslocador, são furos do sistema de resfriamento (Fig. 35). Estes ficam conectados aos furos do corpo do rotor externo e com os furos da frente do rotor externo. O óleo de resfriamento entra pelo furo no centro, percorre todo o deslocador, até sair pelos três furos que se encontram no final.

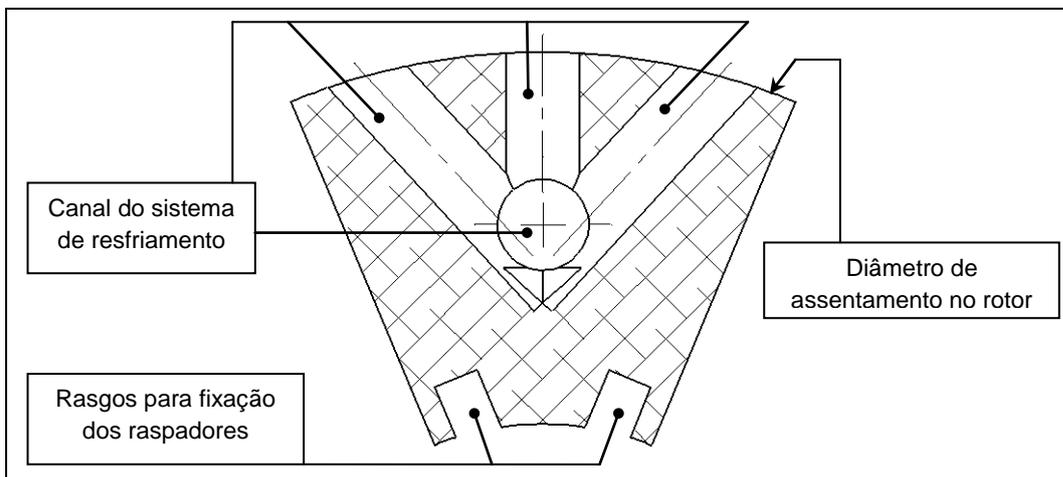


Figura 35 – Detalhe dos furos referente ao sistema de refrigeração do deslocador do rotor externo.

A figura abaixo mostra o deslocador do rotor externo fabricado, com os raspadores colocados (Fig. 36).



Figura 36 – Deslocador do rotor externo com raspadores fabricados.

3.3.5

Raspadores

A peça seguinte a ser fabricada foram os conjuntos de raspadores concluindo assim, todas as peças que fazem parte da câmara do compressor (Fig. 37). Eles foram fabricados nesta ordem, porque seria necessário ajustá-los na montagem da câmara. Têm a função de vedar a câmara do compressor, não permitindo que o gás que está sendo comprimido em um dos lados do pistão, passe para a câmara adjacente.

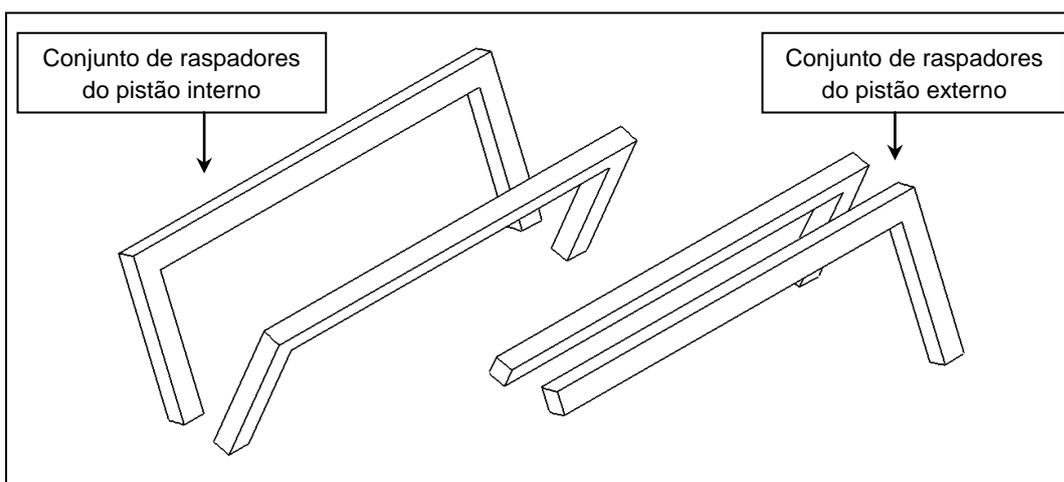


Figura 37 – Conjunto de raspadores.

Como mencionado anteriormente, cada conjunto de raspadores atende às necessidades de cada deslocador sendo, desta maneira, diferentes um do outro. O conjunto de raspadores é composto por dois componentes, um em cada extremidade lateral do pistão. Os raspadores foram fabricados a partir de uma chapa circular de celeron, sendo recortados no formato. Foi uma usinagem demorada por serem peças delicadas. Foram colocados na medida final (diâmetro e comprimento) no torno.

Como cada conjunto de raspadores atua contra o rotor contrário, a altura dos raspadores é a mesma para ambos os conjuntos. Quando montados nos deslocadores, fica em torno de 0,1 mm em excesso.

O conjunto de raspador referente ao deslocador do rotor interno é o maior em comprimento, porque veda a passagem de gás pela frente, por trás e pelo diâmetro superior do deslocador (Fig. 38). Quando montado no deslocador, atua contra face frontal do rotor externo, contra a placa de janelas e a superfície do diâmetro interno do corpo do rotor externo.

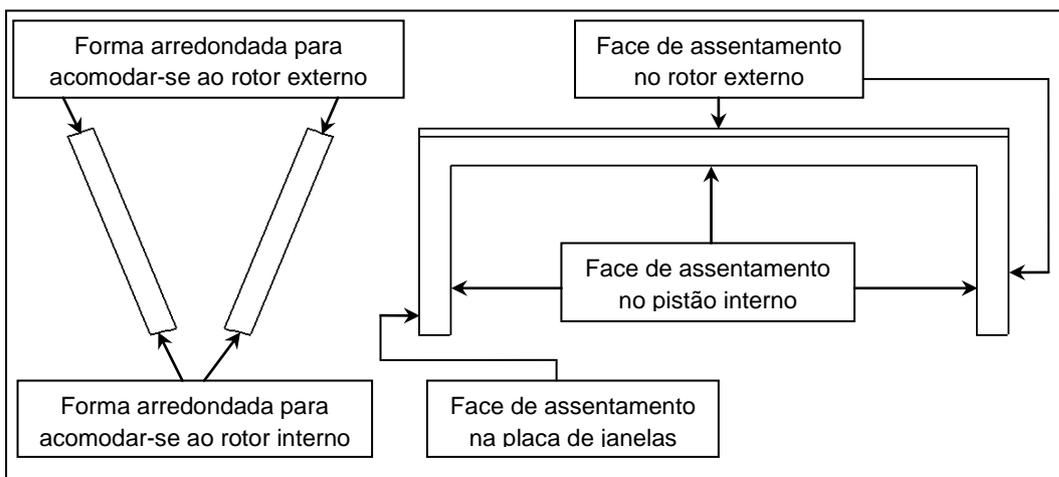


Figura 38 – Vedações do raspador do deslocador interno.

O conjunto de raspador referente ao deslocador do rotor externo é cerca de 0,2 mm menor no comprimento, porque um dos lados do deslocador é fixado na face frontal do rotor externo e, por isso, veda a passagem de ar somente por trás e pelo diâmetro inferior do deslocador (Fig. 39). Quando montado no deslocador do rotor externo atua contra face da placa de janelas e a superfície do rotor interno, que faz parte da câmara.

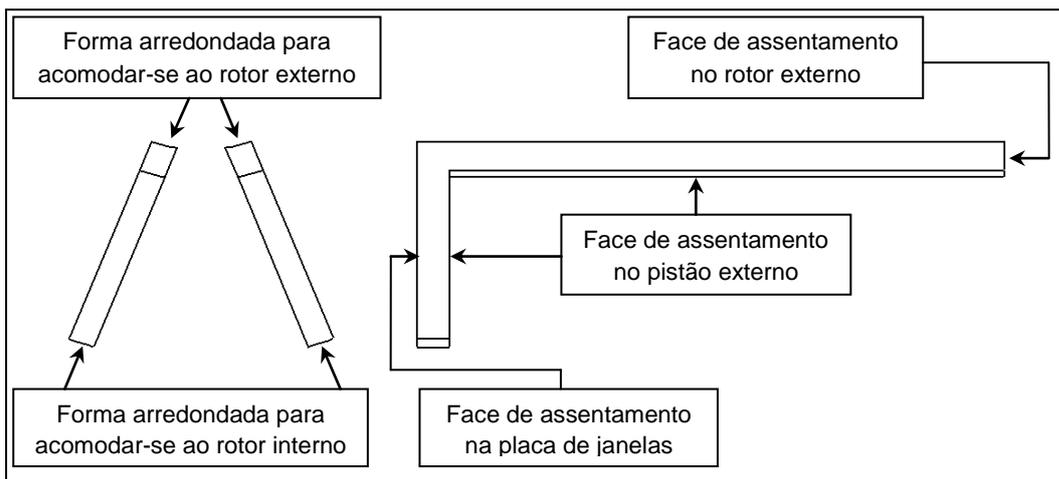


Figura 39 – Vedações do raspador do deslocador externo.

A figura mostra o conjunto de raspadores em seu processo de fabricação na chapa de celeron, e recortados, faltando apenas os ajustes das peças (Fig. 40).

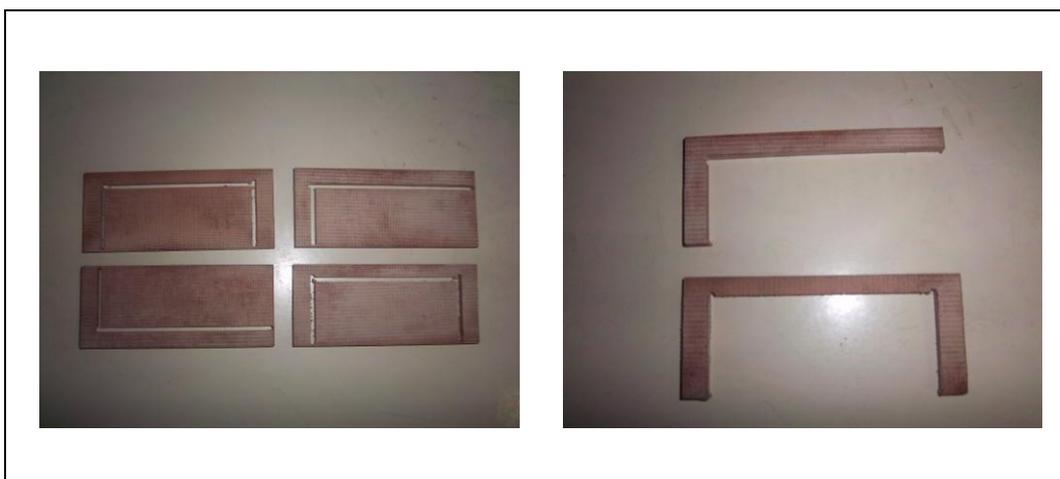


Figura 40 – Fabricação dos raspadores.

Na seqüência é mostrada montagens dos componentes da câmara do compressor; primeiro cada rotor com seu respectivo deslocador e conjunto de raspadores, seguido da montagem da câmara (Figs. 41 e 42).



Figura 41 – Rotores retificados, deslocadores e raspadores montados.



Figura 42 – Montagem da câmara.

3.3.6

Bucha do rotor interno

A bucha do rotor interno foi fabricada depois dos raspadores (Fig. 43). Sua função é vedar a frente da câmara do compressor, impedindo a passagem de ar entre os rotores. O material utilizado para fabricação da bucha do rotor interno foi o aço AISI 1020.

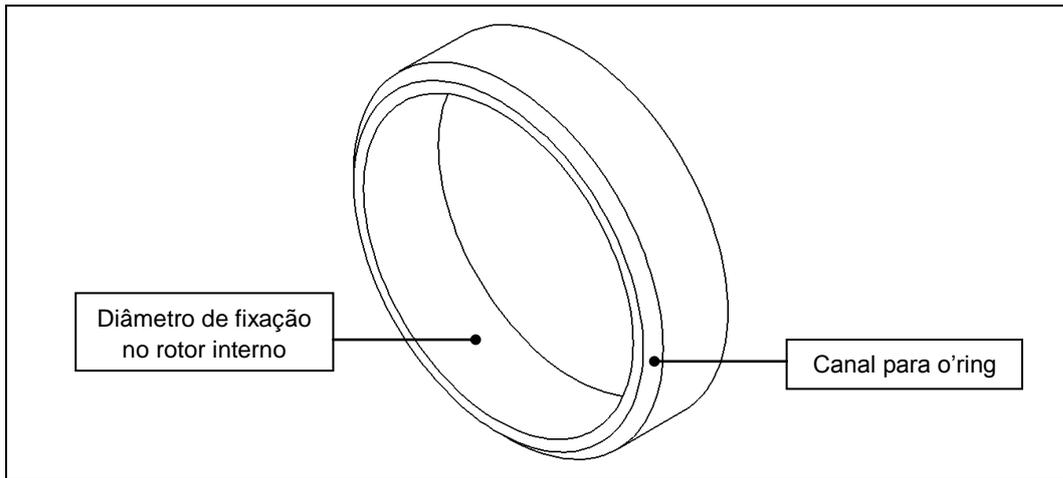


Figura 43 – Bucha do rotor interno.

O diâmetro interno da bucha foi ajustado pelo diâmetro do meio do rotor interno de modo entrar prensada. O diâmetro externo da bucha entra com pouca folga no diâmetro interno do rotor externo. Na superfície frontal da bucha foi fabricado um canal para colocação de o’ring. Quando os conjuntos de rotores estão montados, o o’ring fica prensado contra o rotor externo vedando a saída de gás (Fig. 44).

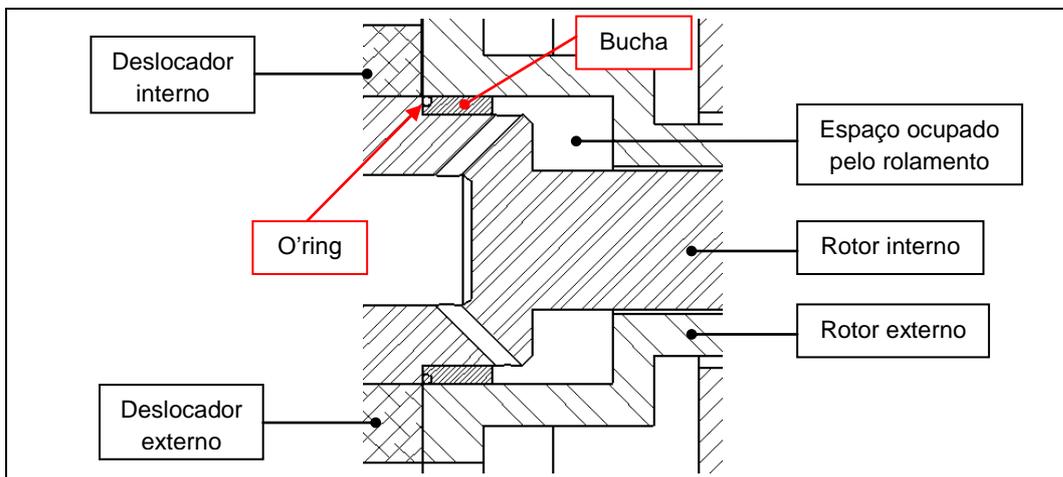


Figura 44 – Detalhe de montagem da bucha do rotor interno.

A figura 45 mostra a bucha com o’ring e rolamento acoplados ao rotor interno. É mostrada uma vista explodida de todas as peças que são montadas ao rotor interno (Fig. 46).



Figura 45 – Rotor interno, bucha e rolamento montados.

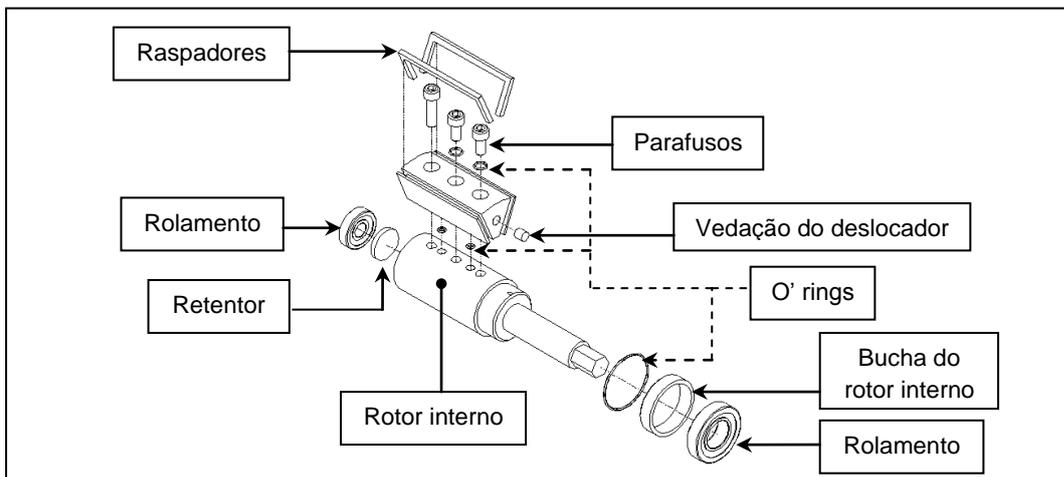


Figura 46 – Esquema de montagem do rotor interno.

3.3.7

Bucha do rotor externo

A bucha foi fabricada com o diâmetro interno ajustado pelo diâmetro externo do rotor externo (Fig. 47). O diâmetro externo da bucha foi colocado na medida final depois de ter sido confeccionada a carcaça traseira, pois, foi ajustado pelo diâmetro interno da carcaça traseira. A bucha é colocada apertada no rotor externo, e sua face traseira fica coincidente com a face traseira daquele.

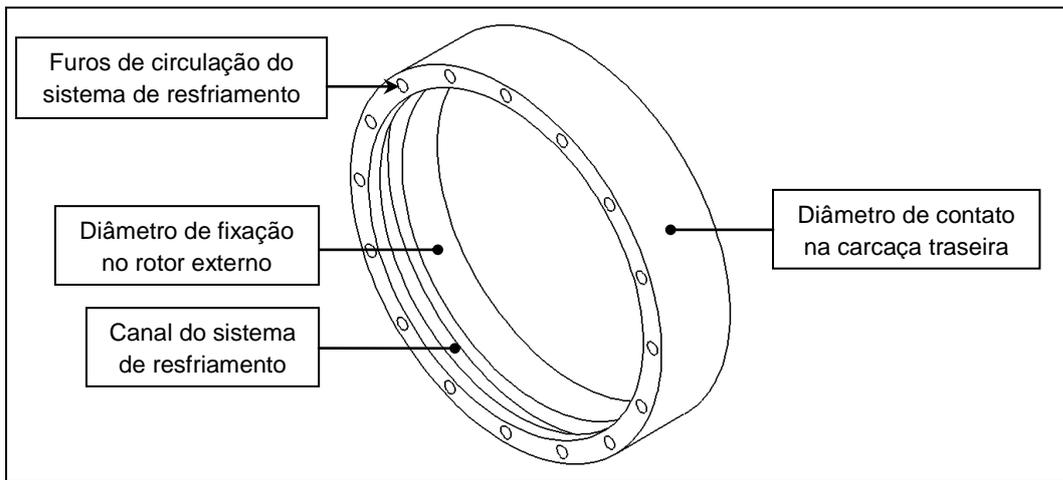


Figura 47 – Bucha do rotor externo.

A função da bucha é segurar parte do rotor externo, mantendo a concentricidade do conjunto e fazendo com que a parte traseira do rotor externo não oscile quando estiver em rotação. O material utilizado para fabricar a bucha foi o nylon 6,0.

A bucha, quando montada no rotor externo, fica por cima da furação do sistema de resfriamento do rotor externo, vedando a passagem de óleo. Para dar-se continuidade à circulação de óleo no sistema de resfriamento, foi fabricado um canal no diâmetro interno da bucha na direção das furações do sistema de resfriamento do rotor externo. Para circulação do óleo, foram fabricados, na face frontal da bucha, doze furos equidistantes. Estes furos coincidem com a extremidade do canal e, desta maneira, permitem que o óleo circule na parte interna do compressor.

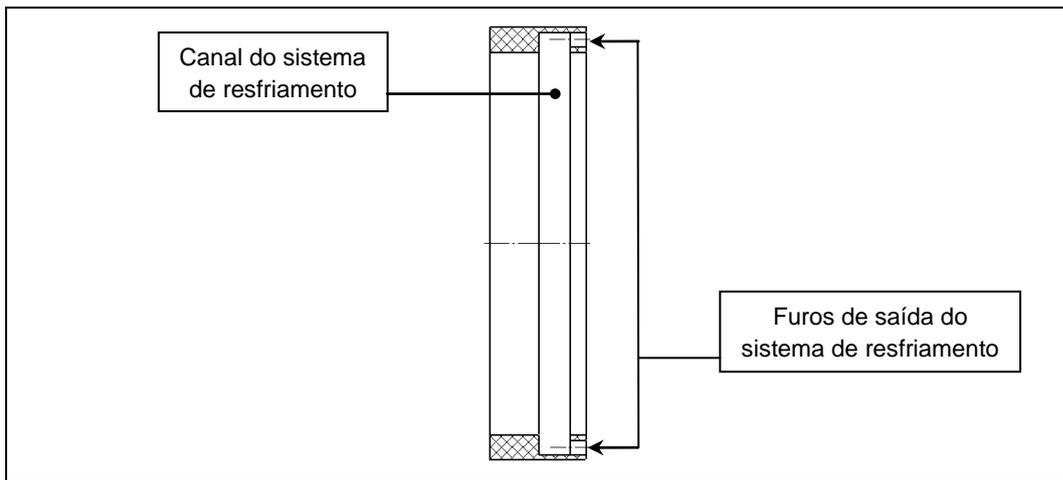


Figura 48 – Vista em corte da bucha do rotor externo.

Abaixo está a bucha do rotor externo fabricada (Fig. 49). Também é mostrada uma vista explodida das peças que são montadas ao rotor externo (Fig. 50).



Figura 49 – Bucha do rotor externo fabricada.

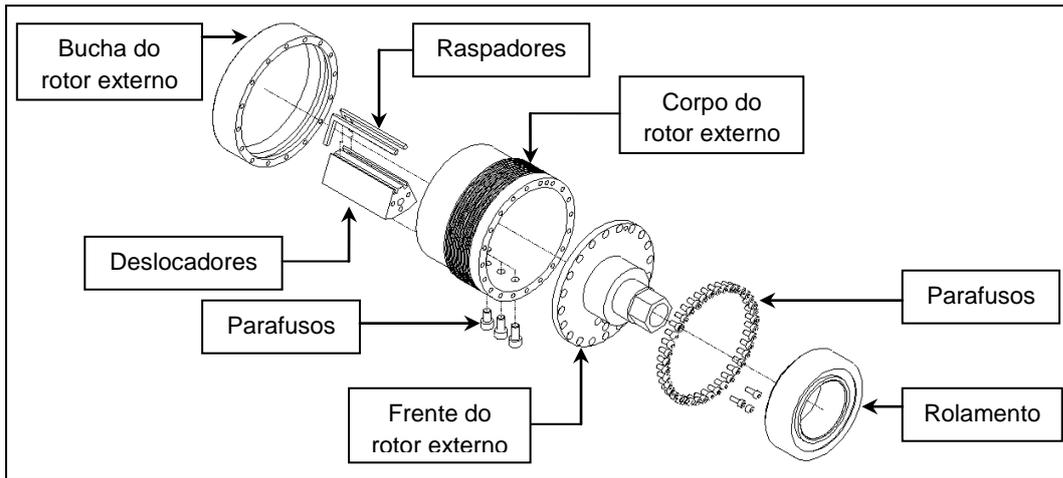


Figura 50 – Esquema de montagem do rotor externo.

3.3.8

Carcaça dianteira

A carcaça dianteira foi fabricada depois da bucha. Ela é aparafusada na carcaça traseira fechando o cilindro de compressão, protegendo os componentes e dando continuidade à saída de óleo no sistema de resfriamento (Fig. 51). Devido à dificuldade de fabricar a carcaça dianteira como uma única peça, ela foi dividida em três partes, sendo uma fixada à outra.

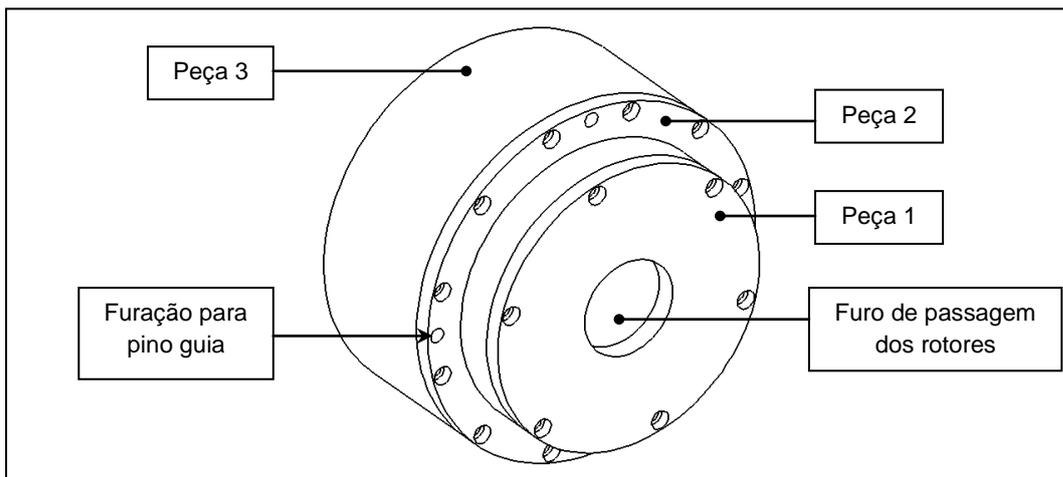


Figura 51 – Carcaça dianteira.

Esta divisão da carcaça dianteira se deu em função do rolamento que nela foi inserido. Ao se fabricar a carcaça não havia certeza do ajuste do rolamento sendo pressionado contra o rotor externo na hora da montagem. A fim de se obter um melhor ajuste, dividiu-se a carcaça em três componentes. O material utilizado para a fabricação desta carcaça foi o ferro fundido (Fig. 52).

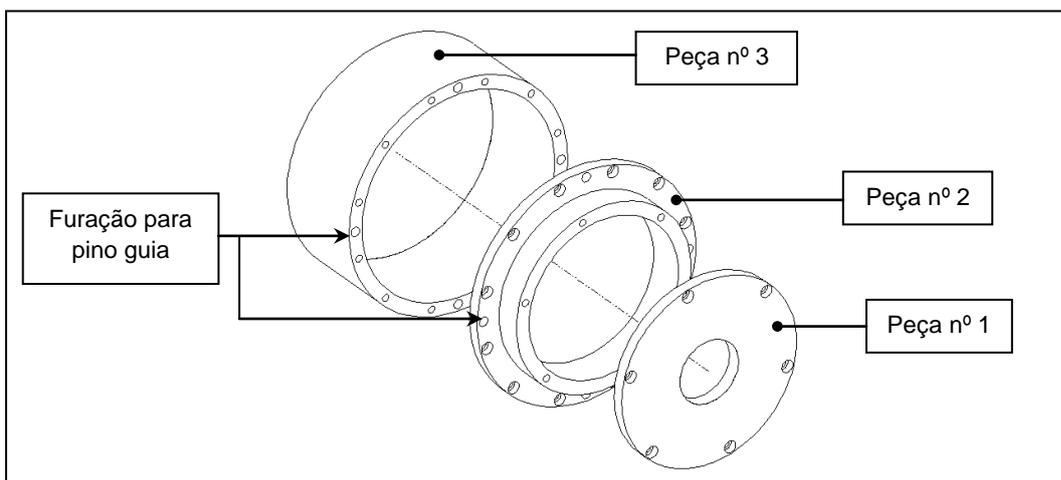


Figura 52 – Vista explodida da carcaça dianteira.

Esta divisão em três peças facilitou o ajuste, em termos de precisão e rapidez de execução. Tal ajuste no rolamento é necessário, pois, além da carcaça ser responsável por manter ambos os rotores pressionados contra carcaça traseira e placa de janelas, também é responsável por mantê-los girando concentricamente.

A figura abaixo mostra a carcaça dianteira fabricada (Fig. 53).

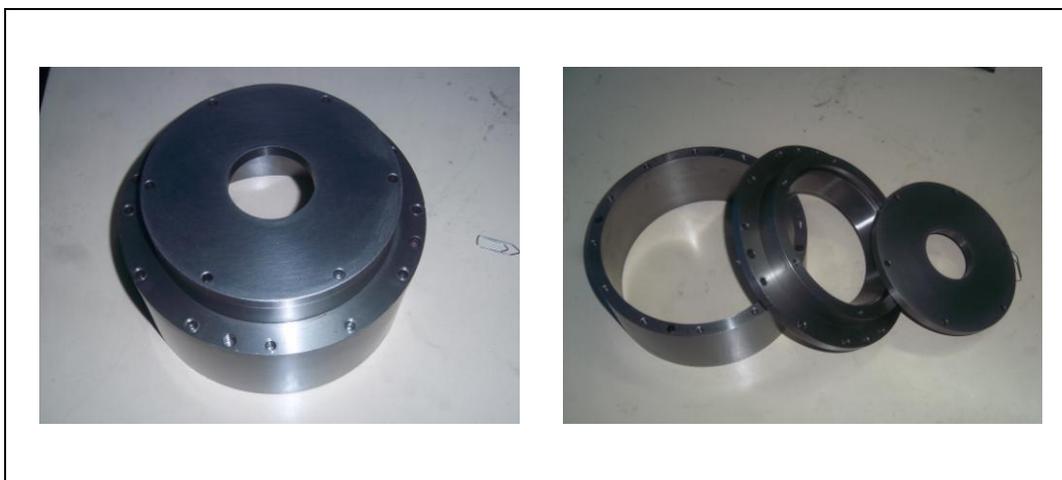


Figura 53 – Carcaça dianteira fabricada.

A peça nº 1 da carcaça dianteira é a maior de todas e, foi a primeira a ser fabricada, porque como as carcaças são peças fixadas uma na outra, tem-se que ajustá-las, e tomou-se esta como referência (Fig. 54).

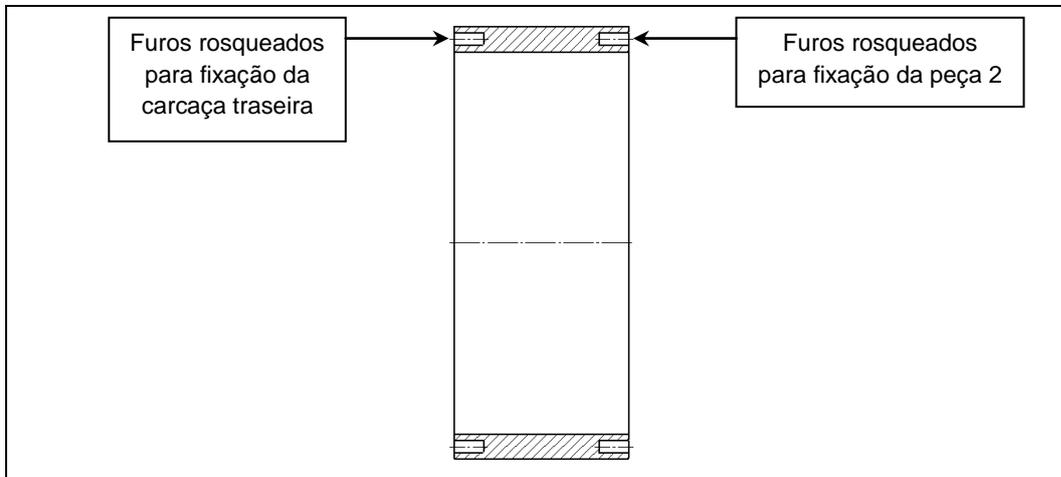


Figura 54 – Vista em corte da peça nº 1 da carcaça dianteira.

Ambos os lados da peça nº 1 são aparafusados diferentemente a uma carcaça. De um lado desta peça fica aparafusada a carcaça traseira e, no outro, é aparafusada a peça nº 2 da carcaça dianteira. Para a fixação dessas duas peças foram usinados doze furos, rosqueados equidistantes, tipo M6.

Para manter a concentricidade das peças aparafusadas, também foram fabricados, nas duas faces, quatro furos equidistantes para a colocação de pinos guia. Os pinos guias foram posicionados com deslocamento de quinze graus dos furos rosqueados. Desta maneira, os pinos guias encontram-se exatamente no meio do espaço entre os furos rosqueados, ficando assim, um conjunto de três furos rosqueados para cada lado dos furos dos pinos guias.

Abaixo a figura 55 mostra a peça nº 1 da carcaça dianteira fabricada com todos os furos de pino guia e furos rosqueados.

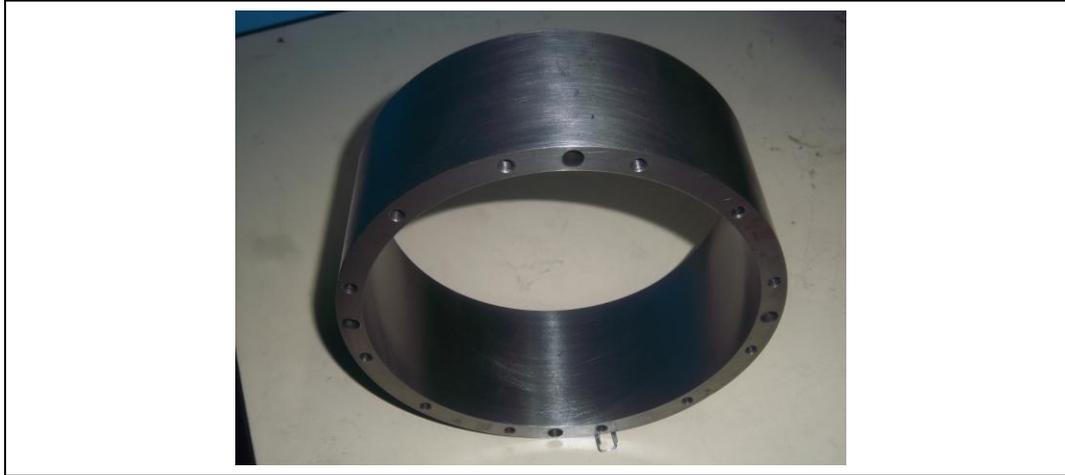


Figura 55 – Peça nº 1 da carcaça dianteira fabricada.

A peça nº 2 da carcaça dianteira foi a segunda a ser fabricada (Fig. 56). Na face do diâmetro menor, foram usinados seis furos rosqueados equidistantes tipo M6 para fixação da peça nº 3 da carcaça dianteira. Nesta face, não foram fabricados os furos para colocação de pinos guias, visto não ser necessária uma concentricidade precisa entre a peça nº 3 e peça nº 2, quando montadas.

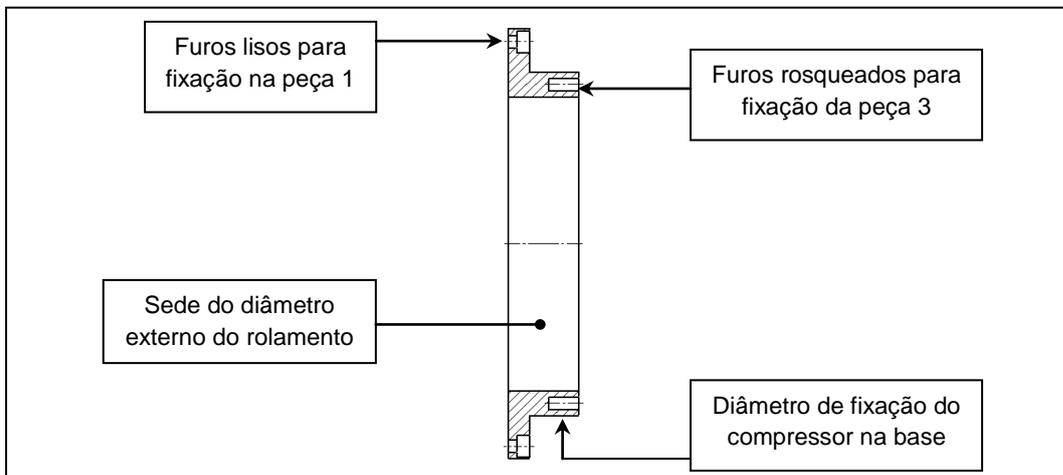


Figura 56 – Vista em corte da peça nº 2 da carcaça dianteira.

O diâmetro interno dessa peça nº 2, é aquele que se ajusta ao diâmetro externo do rolamento de rolete que está acoplado no rotor externo. Por este motivo, o conjunto que forma a carcaça dianteira deve estar concêntrico, para não forçar o rolamento quando este estiver acoplado.

Abaixo, na figura 57, está a peça nº 2 da carcaça dianteira fabricada, também com todos os furos de pino guia, furos rosqueados e furos lisos. Nos furos lisos ainda faltava usinar o rebaixo, para acomodar as cabeças dos parafusos.



Figura 57 – Peça nº 2 da carcaça dianteira fabricada.

A última peça da carcaça fabricada foi a de nº 3 (Fig. 58). Ela funciona como tampa. Na sua face foram fabricados os 6 furos para aparafusá-la à peça nº 2.

Na face do lado interno, há um rebaixo que serve para ajustar o aperto do rolamento. Este rebaixo entra justo por dentro no diâmetro da peça nº2, e a face deste rebaixo aperta o rolamento contra a face do rotor externo, quando esta peça é aparafusada à peça nº 2. Este ajuste, do aperto do rolamento, é dado pela altura do rebaixo e teve que ser regulado na montagem do compressor depois de fabricarmos a carcaça traseira.

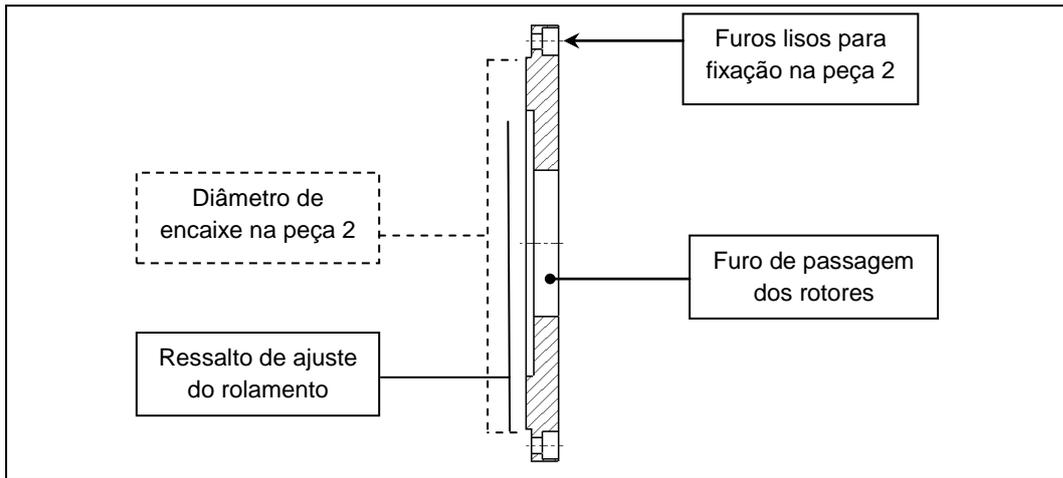


Figura 58 – Vista em corte da peça nº 3 da carcaça dianteira.

Na figura abaixo, (Fig. 59), está a peça nº 3 da carcaça dianteira, a última fabricada, com todos os furos lisos, faltando apenas usinar o rebaixo para acomodar as cabeças dos parafusos.

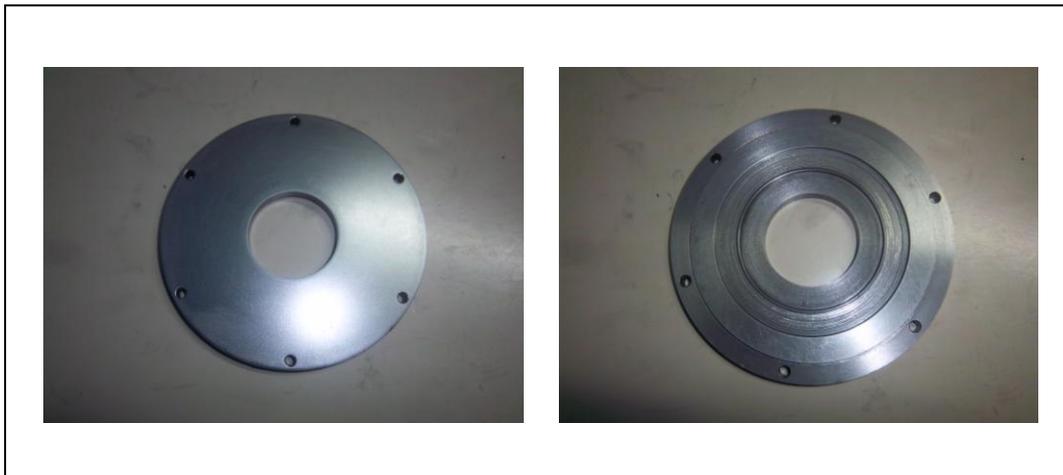


Figura 59 – Peça nº 3 da carcaça dianteira fabricada.

3.3.9

Carcaça traseira

A carcaça traseira foi o último dos subsistemas fabricados para que pudesse começar a montagem definitiva do cilindro de compressão (Fig. 60). Foi a peça mais trabalhosa em termos de usinagem, porque cada diâmetro, rebaixo e furação,

ao serem fabricados, atenderam a seus propósitos específicos na peça. O material utilizado para fabricação da carcaça foi o aço AISI 1020.

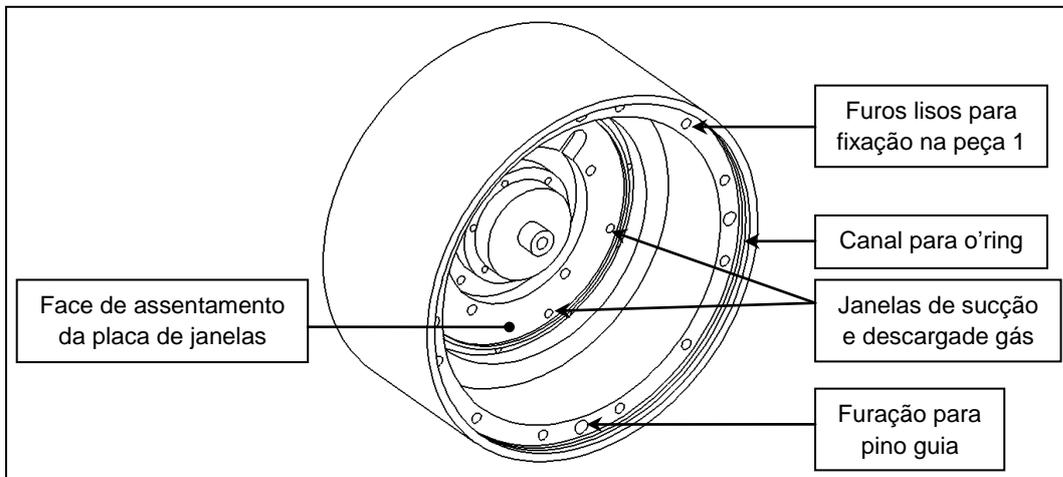


Figura 60 – Carcaça traseira.

Devido a esses detalhes, esta carcaça possui inúmeras funções, sendo que uma das principais é manter a câmara do cilindro de compressão girando concêntrica. Para a primeira parte, serão explicados os rebaixos (Fig. 61), na segunda parte, as furações (Fig. 62) e, na terceira, a montagem das peças na carcaça traseira (Fig. 63).

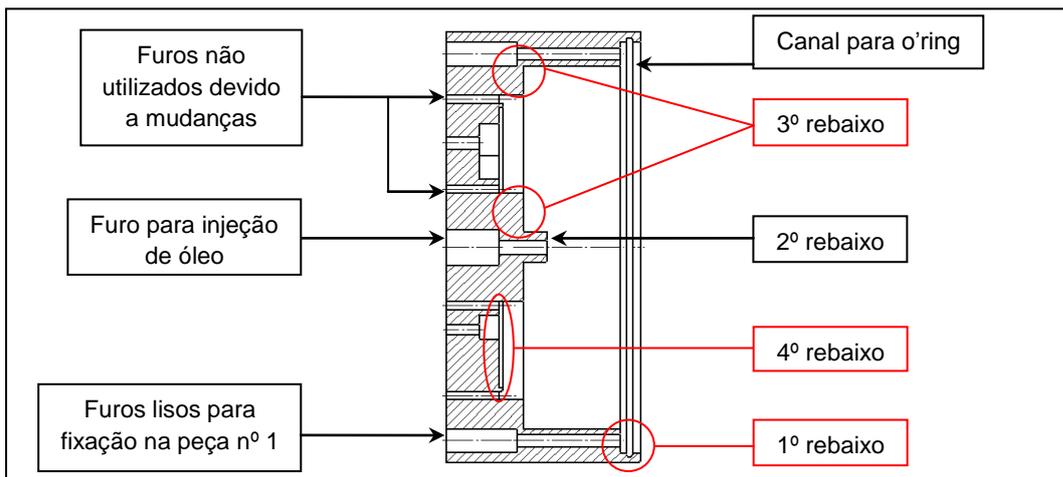


Figura 61 – Vista em corte da carcaça traseira.

Começando da direita para esquerda, o primeiro rebaixo é para encaixe da peça nº 1 da carcaça dianteira (Fig. 61). A face e o diâmetro deste rebaixo acomodam a peça nº 1 mantendo todo conjunto das carcaças dianteiras concêntricos. Para tal, foram fabricados os quatro furos para colocação dos pinos guias, que também foram fabricados na peça nº 1 da carcaça dianteira. Neste mesmo rebaixo fabricou-se o canal para a colocação de o'ring que tem a função de vedar a passagem do óleo de resfriamento quando as carcaças estão montadas.

O segundo rebaixo entra por dentro do rotor interno e nele é acoplado o diâmetro interno do rolamento (Fig. 61). Este rolamento segura a parte de trás do rotor interno, permitindo que gire concentricamente.

O terceiro rebaixo, tanto no centro quanto na extremidade da carcaça, estão na mesma altura. São utilizados para encostar os rotores mantendo as faces paralelas. O rebaixo na extremidade da carcaça é para acoplar o rotor externo. Na face deste rebaixo encosta-se com a face da bucha e com quase metade da face do rotor externo. O diâmetro deste rebaixo segura a bucha e, conseqüentemente, a parte de trás do rotor, fazendo com que ele gire concêntrico. Como mencionado anteriormente, o diâmetro externo da bucha foi colocado na medida final depois de se usar esse diâmetro interno da carcaça, devido a ajustes. O rebaixo mais ao centro na carcaça é para encostar o rotor interno e, com isso manter alinhadas todas as faces das peças que formam a câmara.

No quarto rebaixo foi fixada placa de janelas. Neste rebaixo garantiu-se a concentricidade da placa de janelas quando fixada, para evitar que haja vazamento na câmara. Para garantir tal concentricidade, foi fabricado um ressalto na face deste rebaixo, onde se encaixou o rebaixo que foi fabricado na placa de janelas. Tanto altura quanto espessura do ressalto foram definidas para acomodar a placa de janelas. Isto por que, quando a placa de janelas está fixada contra a carcaça traseira. Toda face onde estão os furos rosqueados tem que estar encostada à face do último rebaixo da carcaça traseira. Com isto, garantiu-se que a face da placa de janelas, que faz parte da câmara do compressor, fique na mesma altura da face do terceiro rebaixo onde são apoiados os rotores. Deste modo, garantiu-se também que as faces de todas as peças que formam a câmara do compressor ficassem alinhadas.

Olhando pela face de trás da carcaça traseira, vêm-se quatro círculos formados por conjuntos de furos (Fig. 62). O primeiro círculo de furos de fora para dentro, serve para a fixação da peça nº 1.

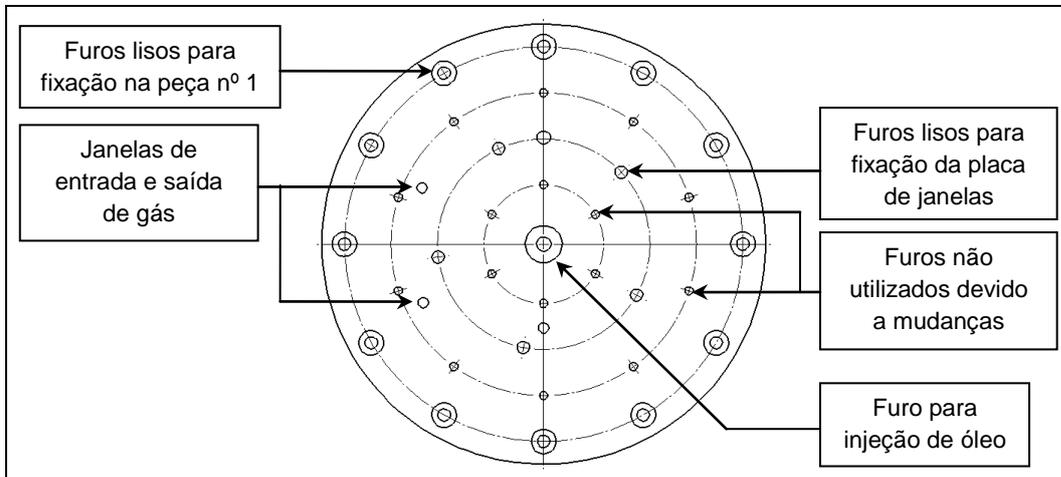


Figura 62 – Vista da face de trás da carcaça traseira.

O segundo e quarto círculos de furos de fora para dentro, foram fabricados para aperto dos anéis de vedações contra os vértices formados entre os rotores e a placa de janelas. Como houve uma modificação devido à dificuldade de regular os anéis de vedação, foi necessário aumentar a placa de janelas e, esse espaço ocupado pelos anéis de vedação deixou de existir. Por isso, esses furos não foram mais utilizados, mas, como já haviam sido fabricados na carcaça traseira, resolveu-se explicar a sua existência.

O terceiro círculo, formado por furos, são responsáveis por fixar a placa de janelas contra carcaça traseira.

Na carcaça traseira, também foram fabricadas as furações que dão continuidade às janelas de sucção e descarga da placa de janelas. A execução destas furações foram a última etapa de fabricação da carcaça. Como foi necessário efetuar um estudo das posições das portas de entrada e saída de ar na placa de janelas, estas furações só foram fabricadas na carcaça traseira, depois de terem sido feitas na placa de janelas.

O furo fabricado no centro da carcaça traseira serve para injetar o óleo de resfriamento (Figs. 61 e 62). Este furo tem dois diâmetros diferentes. O furo maior é acoplado ao bico injetor.

Na figura 63 demonstram-se como as peças são montadas na carcaça traseira. Pode-se observar que os rebaixos que formam a parte de dentro servem para alinhar as faces das peças que formam a câmara do compressor (cilindro de compressão).

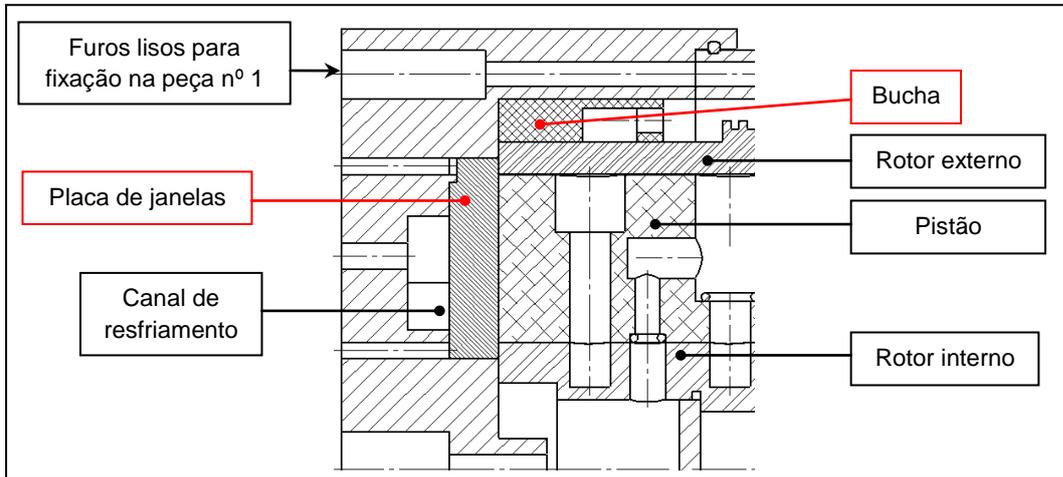


Figura 63 – Detalhe de montagem na carcaça traseira.

Entendeu-se que, com o funcionamento do cilindro de compressão, a parede da placa de janelas aquecer-se-ia, transferindo calor, por condução, para a carcaça traseira. A fim de amenizar este aquecimento e o gradiente térmico resultante, foi fabricado um canal na carcaça traseira também para resfriamento (Fig. 64). Quando fixada placa de janelas contra carcaça traseira é vedado o canal. Desta maneira, quando o óleo percorre este canal, resfria simultaneamente as duas peças. Este canal foi fabricado, mas, o sistema de circulação de óleo não foi implementado a tempo.

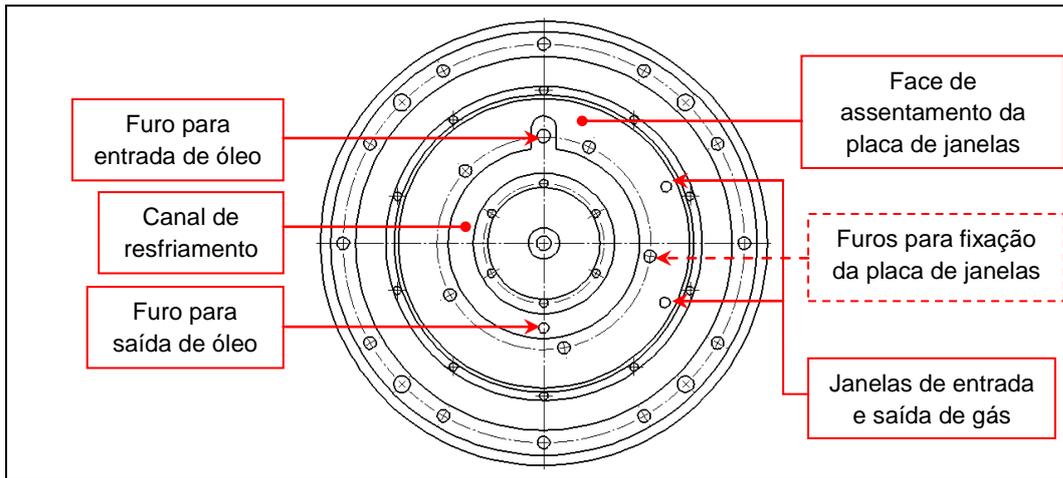


Figura 64 – Vista frontal da carcaça traseira.

O canal possui profundidade e forma uma circunferência. Para entrada e saída do óleo, foram fabricados dois furos no canal. O furo localizado mais acima na parte reta é para entrada do óleo e, o mais abaixo, é para saída.

A figura 65 mostra a vista traseira e a vista frontal da carcaça traseira fabricada com todos os rebaixos, furações e com rolamento responsável por segurar a parte traseira do rotor interno acoplado no centro.

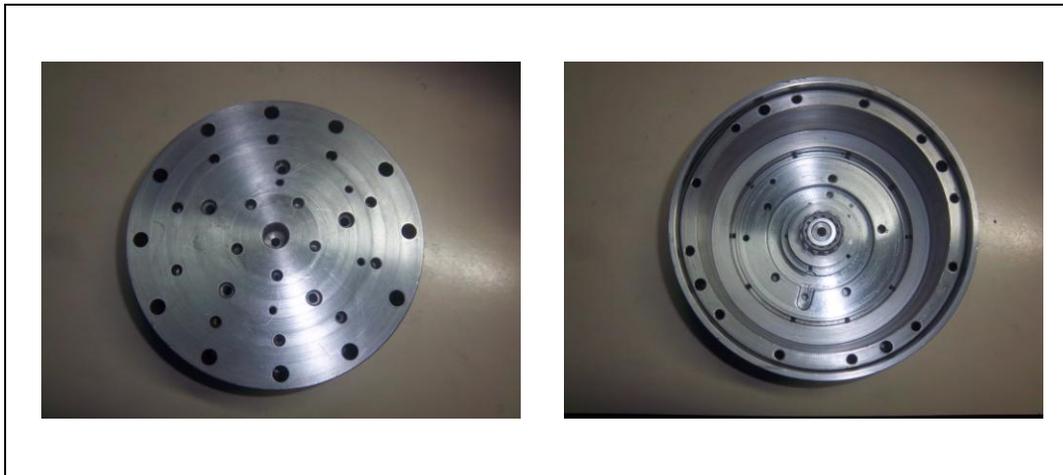


Figura 65 – Carcaça traseira fabricada.

3.4

Manufatura dos componentes do sistema de acionamento

3.4.1

Braços retos principais

Os braços retos principais (ou bielas) foram as primeiras peças fabricadas do sistema de acionamento (Fig. 66). São responsáveis por estabelecer ligação entre o compressor e o sistema de acionamento e, também de transmitir o movimento de rotação do volante para os rotores. Ambos possuem o mesmo formato e, podem ser divididos em duas partes, a haste e o corpo. O material utilizado para a fabricação dos braços foi o aço AISI 4140.

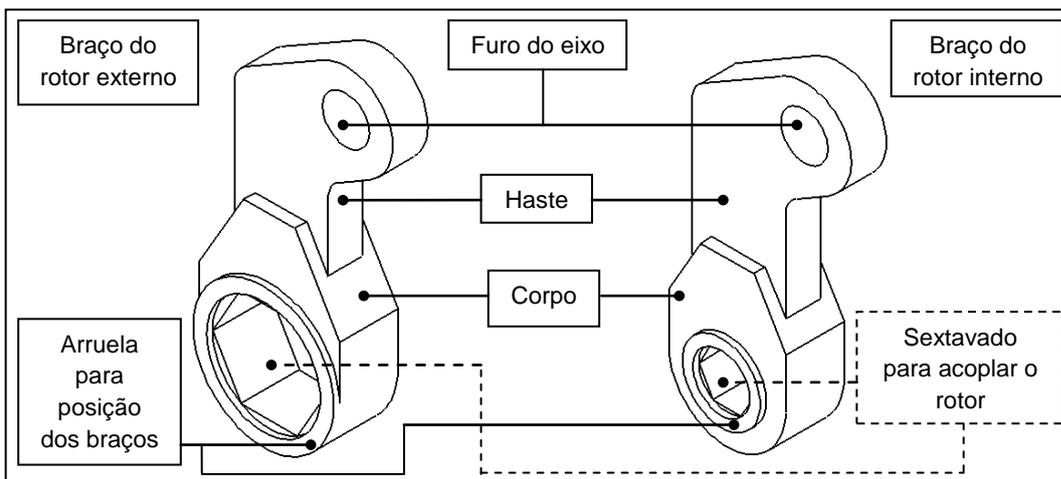


Figura 66 – Braços retos principais.

Como os dois rotores do compressor levaram tratamento de têmpera, estes braços também tiveram que ser passar pelo mesmo tratamento, para não sofrer desgastes no furo hexagonal (sextavado), onde são acoplados os rotores. Diferentemente dos rotores, estes braços foram usinados e colocados na medida final antes da têmpera, ficando apenas os furos hexagonais (sextavados) para serem ajustados. A dureza utilizada foi de 48 Rockwell C.

Os braços tomaram um grande tempo de usinagem, por terem, sido cada um, fabricados a partir de um tarugo inteiriço de aço. Fabricando desta maneira,

garantiram-se as verdadeiras medidas das peças e proporcionou-se, também, uma maior resistência já que estas peças são todas inteiriças.

Os furos hexagonais (sextavados) em ambos os braços foram a última parte usinada. Esse ajuste dos braços nos rotores foi feito depois da têmpera, o que tomou considerável tempo. Os braços se acoplam no sextavado sem folga. Entende-se que, se houvesse alguma folga, esta poderia prejudicar a rotação dos rotores. As espessuras do corpo de ambos os braços possuem as mesmas medidas.

O formato em curva das hastes dos braços na sua extremidade permite que metade do sistema de acionamento se retraia quando o volante estiver deslocado e em movimento (Fig. 67). As hastes de ambos os braços também possuem as mesmas medidas e mesmo ângulo de 60° . O furo no final da haste é concêntrico com a parte circular no final da haste. Por este motivo, a largura da haste influencia na variação de espaço nocivo com relação à excentricidade.

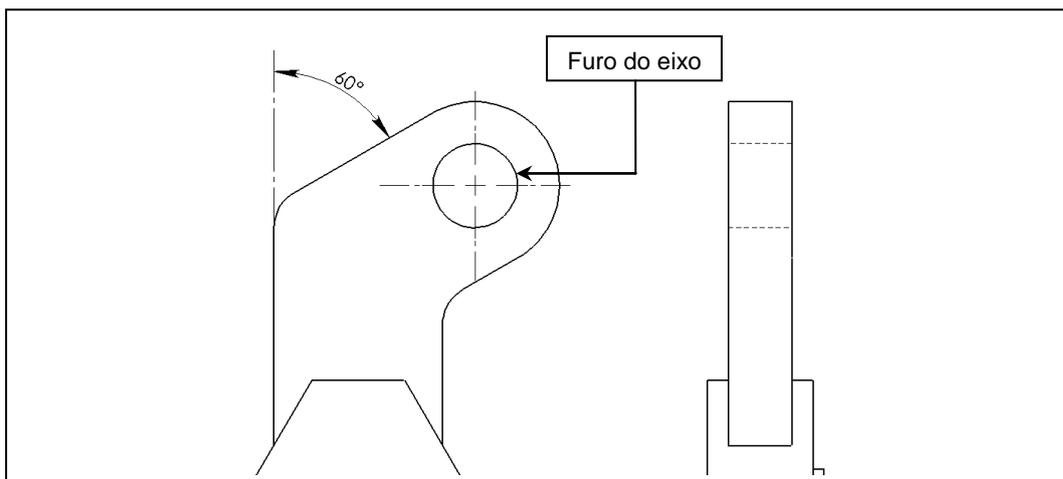


Figura 67 – Haste do braço reto principal.

Em ambos os braços foi usinada uma arruela em uma das faces do corpo do braço (Fig. 68). Elas foram fabricadas para manter único posicionamento de montagem, de modo não haver erros. Ambos os braços são montados com as arruelas viradas para o lado do cilindro de compressão. Com isso, foi mantida uma correta posição durante a montagem do sistema de acionamento do cilindro de compressão. As hastes dos braços na montagem ficam ambas viradas para a direita, porque o volante gira no sentido horário. Com isso, evitamos que as peças

do sistema de acionamento que possuem articulações sejam montadas de maneira errada podendo ser danificadas caso o sistema seja acionado.

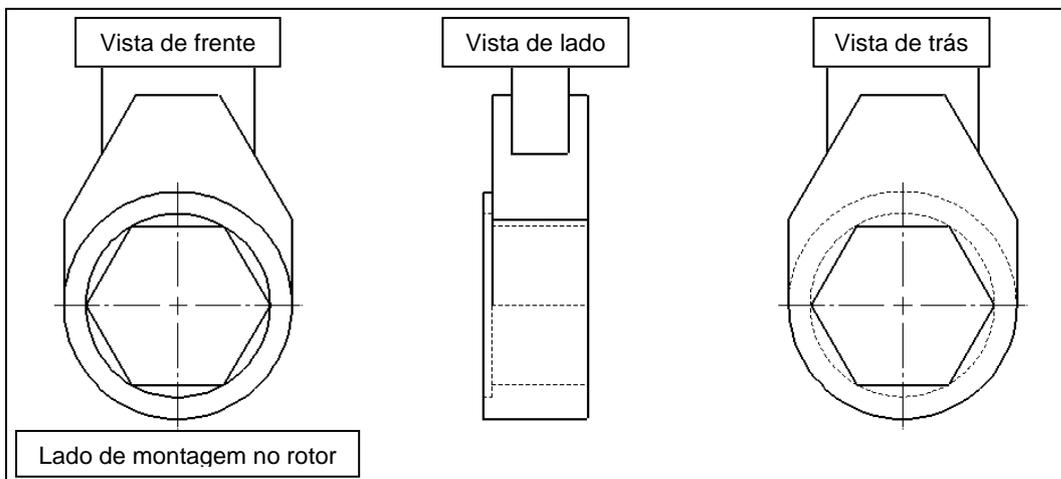


Figura 68 – Corpo do braço reto principal.

Outro cuidado a ser tomado na montagem foi colocar a haste do braço do lado oposto do deslocador. Durante a simulação procedeu-se à montagem desta maneira. Caso a haste não fique no lado oposto do deslocador, o movimento deste é alterado (adiantado ou atrasado) em 120° dentro da câmara podendo haver a colisão com o outro deslocador. Montando o braço para o lado oposto do deslocador, também se distribui melhor o peso do conjunto. Mesmo com essa montagem, entende-se que seria necessário balancear todo o conjunto devido às diferentes massa e materiais empregados. Como o deslocador é de alumínio e o braço, de aço AISI 4140, o maior peso ainda estaria do lado da haste, mesmo que sejam montadas do lado oposto ao deslocador.

As figuras 69 e 70 mostram os braços retos principais fabricados para cada rotor, e em ambos os braços estão acopladas as buchas.



Figura 69 – Braço reto principal do rotor interno com as buchas fabricadas.



Figura 70 – Braço reto principal do rotor externo com as buchas fabricadas.

3.4.2

Braços em curvas

Os braços em curvas foram a próximas peças a serem fabricadas (Fig. 71). Essas peças fazem ligação entre o volante e os braços principais transmitindo movimento de rotação. São também responsáveis por fazer com que todo sistema se retraía quando o volante for deslocado, por causa de seu formato em curva. O sistema de acionamento trabalha com dois braços em curvas exatamente iguais. O material utilizado para fabricação dos braços foi o aço AISI 1020.

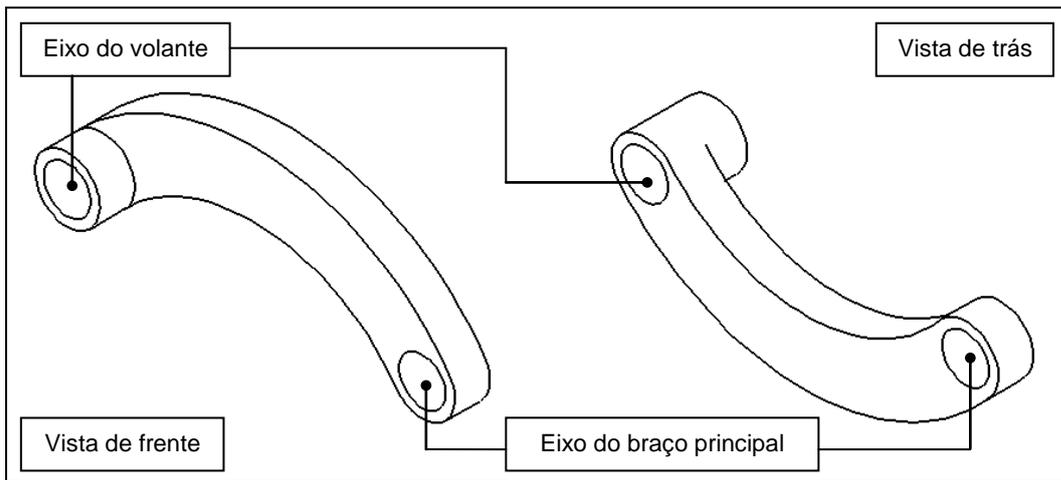


Figura 71 – Braços em curva.

Esses braços formam a segunda peça com maior dificuldade de fabricação, depois dos braços retos principais. Sua concepção de fabricação foi semelhante à dos braços anteriores, ou seja, a partir de uma peça inteira (Fig. 72). Desta maneira, conferiu-se uma maior resistência à peça.

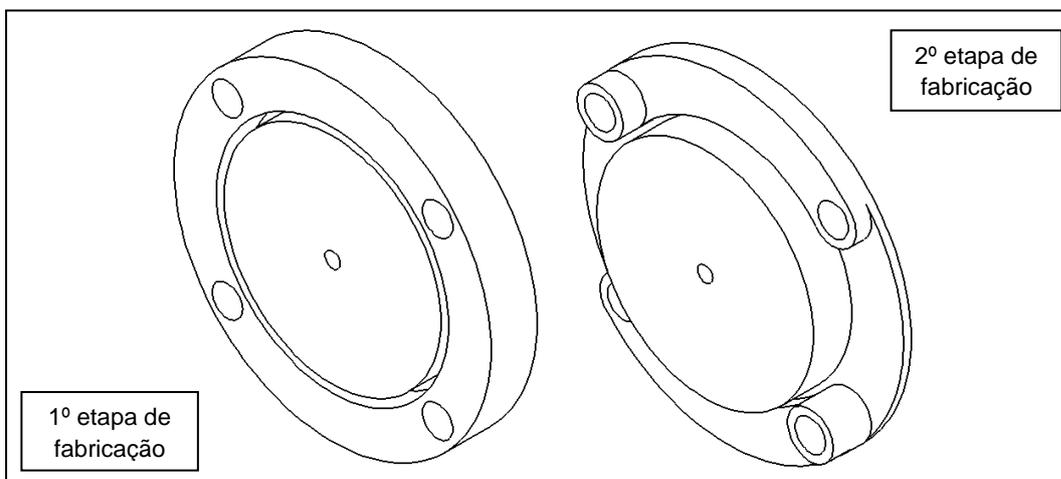


Figura 72 – Esquema de fabricação dos braços em curva.

O que tornou sua fabricação crítica é o fato de que ambos foram fabricados a partir do mesmo disco de aço (Fig. 72). Isso fez com que fosse re-dobrada a atenção durante a usinagem.

Este formato em curva foi adotado durante o projeto do sistema de acionamento. Quando o volante está em rotação, transfere esse movimento para os

braços em curva. Com movimento de rotação e, com excentricidade entre os eixos de centro do cilindro de compressão e do sistema de acionamento, os braços em curva também adquirem um movimento de abertura e fechamento.

Em cada extremidade do braço em curva os furos têm o mesmo diâmetro. Em ambos os furos é colocada uma bucha de bronze. O furo no lado com menor espessura é onde se acopla o braço principal. O furo no lado que possui um ressalto é onde se acopla o eixo do volante. Este ressalto permite uma maior área de contato com o eixo do volante.

A figura 73 mostra os dois braços em curva fabricados para cada rotor, e em ambos os braços estão acopladas as buchas.



Figura 73 – Braços em curva fabricados.

3.4.3

Buchas pequenas

O sistema de acionamento trabalha com oito pequenas buchas (Fig. 74). Cada braço principal e cada braço em curva trabalham com duas buchas, uma inserida em cada lado. Por dentro dessas buchas passa o eixo que faz a ligação dos braços. Elas têm a função de reduzir o atrito entre os braços e o eixo que liga os braços. O material utilizado para fabricação destas buchas foi o bronze.

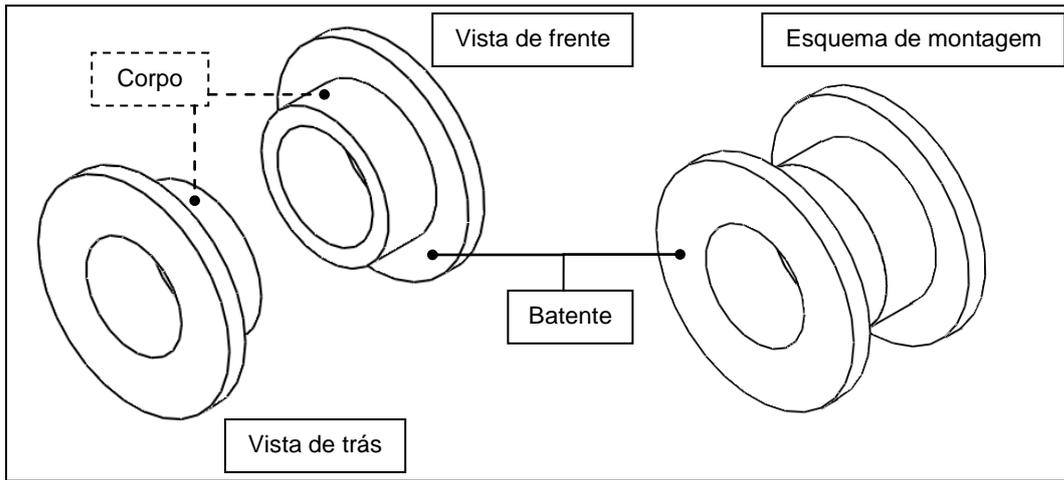


Figura 74 – Bucha pequena.

Cada bucha possui batente em um dos lados. São inseridas nos braços com pequena interferência até este batente (Fig. 75). Entre o corpo das buchas é colocado um espaçador de náilon de 5 mm de espessura. Quando os conjuntos de braços são montados no sistema de acionamento, o batente da bucha fica em contato com o espaçador e, desse modo, evita-se o atrito direto das buchas.

Abaixo há um esquema de montagem das buchas pequena no braço reto principal e no braço em curva (Fig. 75), e as duas buchas pequenas fabricadas (Fig. 76).

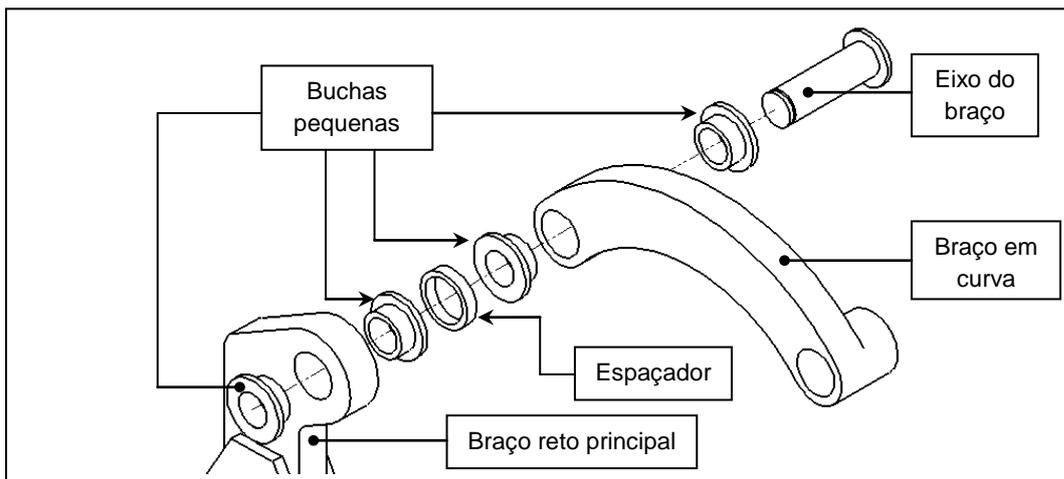


Figura 75 – Esquema de montagem das buchas nos braços.



Figura 76 – Buchas pequenas fabricadas.

3.4.4

Eixos dos braços

No sistema de acionamento foram utilizados dois eixos pequenos, um para cada conjunto de braço (Fig. 77). Esses eixos ficam inseridos no interior das buchas pequenas unindo os braços retos principais aos braços em curva. Eles também têm a função de permitir o movimento de articulação entre os braços. O material utilizado para a fabricação desses eixos foi o aço AISI 1020.

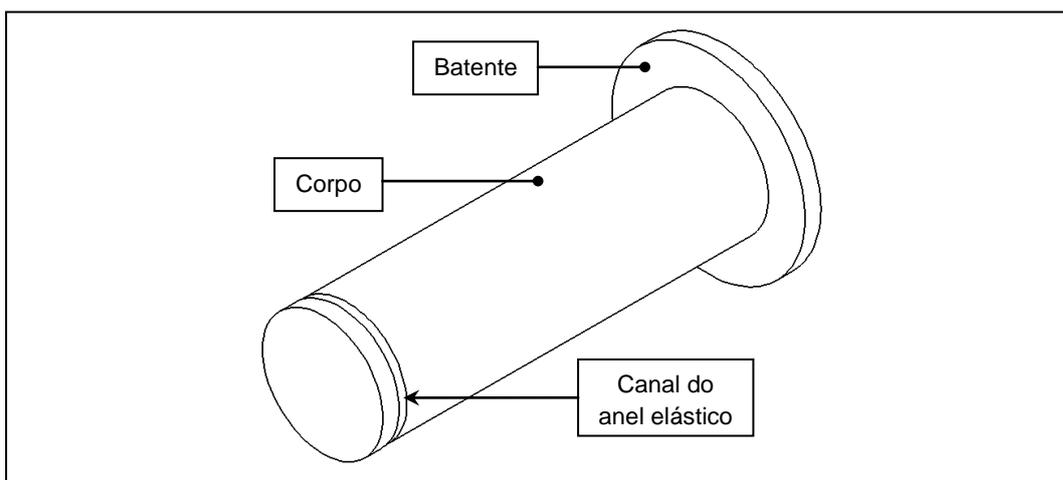


Figura 77 – Eixo dos braços.

Em uma das extremidades há um batente e, no outro lado foi fabricado um canal para a inserção de um anel elástico. O eixo é inserido por dentro das buchas com pequena folga até o batente (Fig. 78).

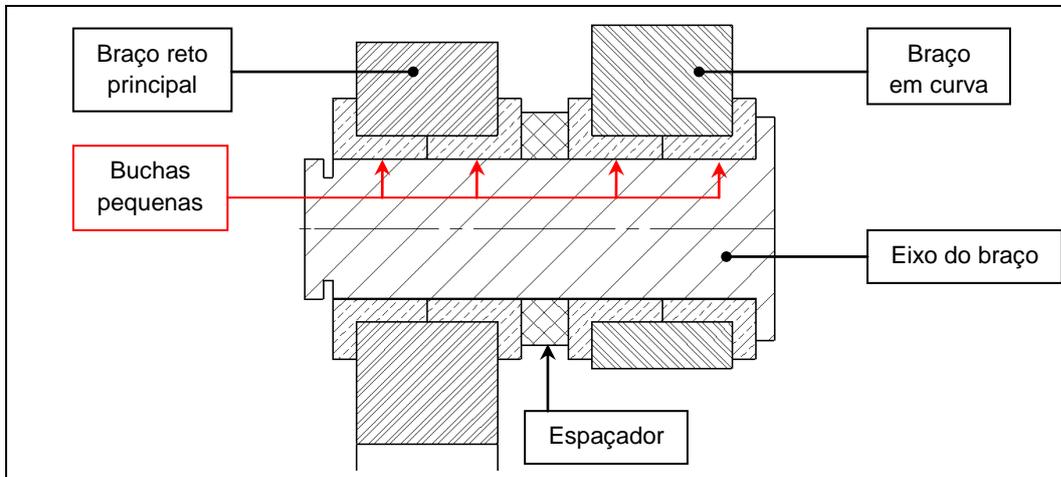


Figura 78 – Vista em corte de montagem do eixo do braço.

Abaixo estão os dois eixos dos braços fabricados para o sistema de acionamento com seus anéis elásticos acoplados em cada um (Fig. 79).



Figura 79 – Eixos dos braços fabricados.

3.4.5

Buchas grandes

O sistema de acionamento somente utiliza duas grandes buchas. Elas têm o mesmo formato das buchas pequenas (Fig. 79). Cada braço em curva no lado com ressalto utiliza uma bucha grande. Os eixos do volante passam por dentro dessas buchas. Da mesma maneira que as buchas pequenas, as buchas grandes têm a função de reduzir atrito entre o braço em curva e os eixos do volante. O material utilizado para a fabricação destas buchas também foi o bronze. A única diferença entre a bucha grande e a pequena é o comprimento do corpo da bucha, as demais medidas são as mesmas.

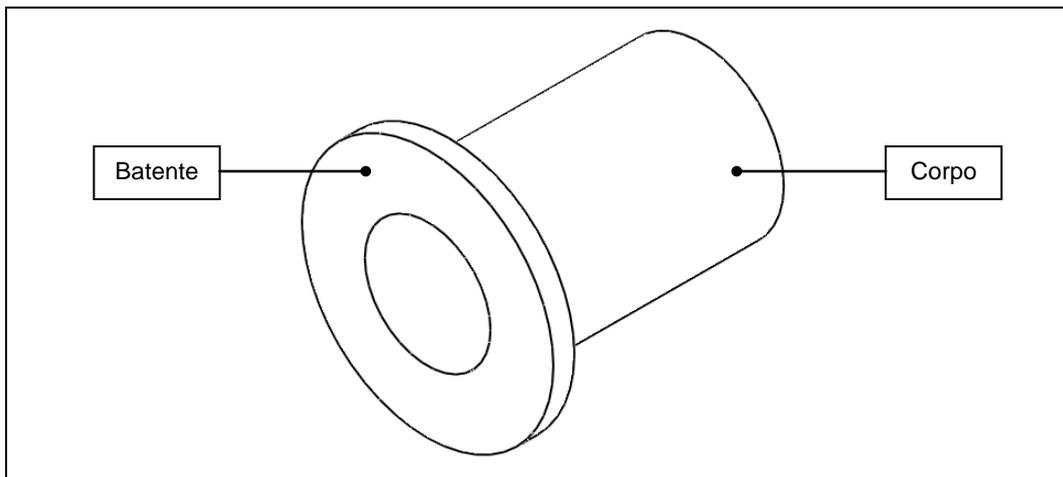


Figura 80 – Bucha grande.

As buchas são inseridas com uma pequena interferência, ao braço em curva até o batente.

As figuras abaixo mostram as duas buchas grandes (Fig. 81), e todas as buchas que foram fabricadas para o sistema de acionamento (Fig. 82).



Figura 81 – Buchas grandes fabricadas.



Figura 82 – Buchas dos braços fabricadas.

3.4.6

Eixos do volante

O volante utiliza dois eixos para transmitir movimento de rotação para as outras peças (Fig. 83). Esses eixos são acoplados em cada garra do volante. Foram as peças mais simples fabricadas do sistema de acionamento. O material utilizado para fabricação desses dois eixos foi o aço AISI 1020.

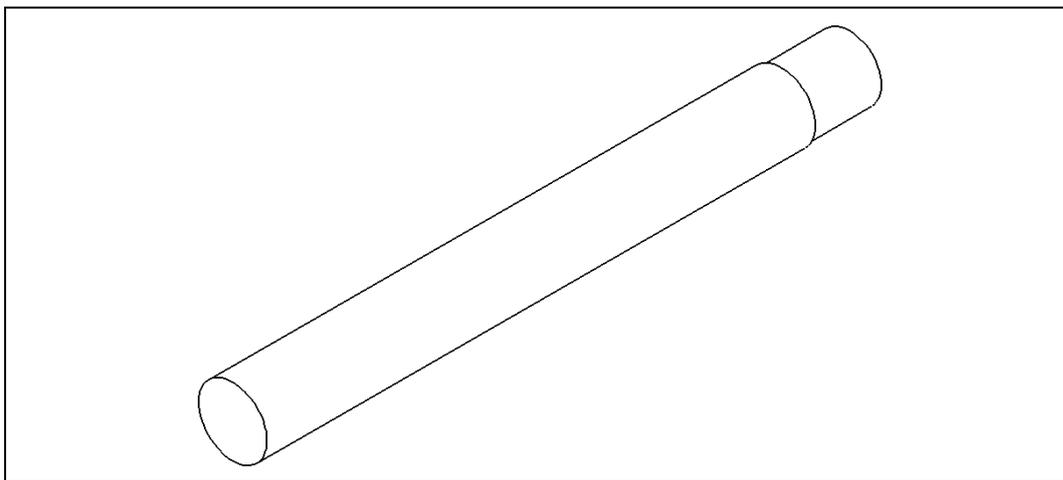


Figura 83 – Eixo do volante.

Os eixos do volante em uma das extremidades apresentam um rebaixo. O eixo é montado da garra para a base, ou seja, pela frente do volante. O lado do eixo que apresenta o rebaixo fica inserido na base do volante que possui a mesma medida do rebaixo. Para a fixação do eixo, foi feito no lado com rebaixo um furo roscado tipo M6 na face. Este tipo de fixação impede que o eixo saia pela frente e por trás do volante, garantindo também apenas um lado de montagem. Um parafuso é inserido por trás do volante apertando o eixo contra parede interna da base do volante.

Abaixo a figura 84 mostra os dois eixos do volante fabricados para o sistema de acionamento.

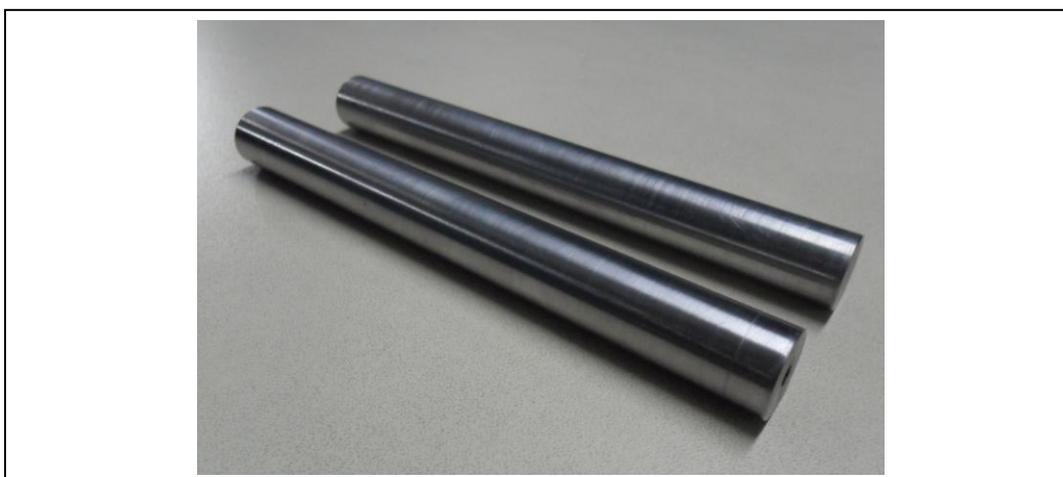


Figura 84 – Eixos do volante fabricados.

3.4.7

Volante

O volante é a maior e também a peça de maior massa do sistema de acionamento (Fig. 85). Nele é acoplado o motor elétrico. O material utilizado para ambas as peças que compõe o volante foi o aço AISI 1020, e o aço SAE A-36.

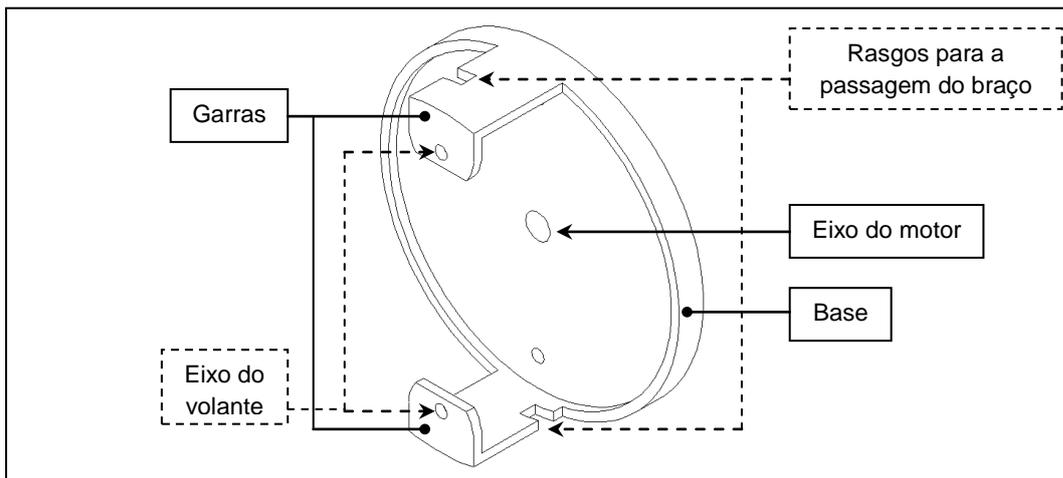


Figura 85 – Volante.

O volante foi fabricado em duas partes, a base e as garras. A base foi fabricada de aço AISI 1020, sendo toda ela usinada no torno. No centro da base há um furo para acoplar a bucha do volante. As garras foram fabricadas a partir de dois materiais: o corpo com um pedaço de tubo com 14” de diâmetro e o topo da garra com chapa de aço AISI 1020. Posteriormente, foram soldadas na base, defasadas de 180° uma da outra.

A fase mais complexa na fabricação do volante foi a furação para fixação dos eixos. Estas furações vão das garras à base, ambas devendo ser concêntricas para: (i) que os eixos não fiquem desalinhados; (ii) nem que se dificulte a montagem das peças nos eixos; e que não sejam forçados em excesso quando o sistema estiver em funcionamento.

Em cada garra do braço foi fabricada uma abertura, sendo uma para cada lado do volante, e defasada linearmente uma da outra. Estas aberturas permitem que os braços em curva passem quando é imposta alguma excentricidade ao eixo de centro do sistema de acionamento, em relação ao eixo de centro do cilindro de

compressão. Quanto maior a excentricidade imposta, mais os braços em curvas invadem as garras. Essas aberturas permitiram montagem única do sistema, fazendo com que os braços em curva sempre fiquem nas suas direções.

As figuras a seguir mostram a base do volante fabricada (Fig. 86), e o volante fabricado com as garras e as buchas a ele acopladas (Fig. 87).

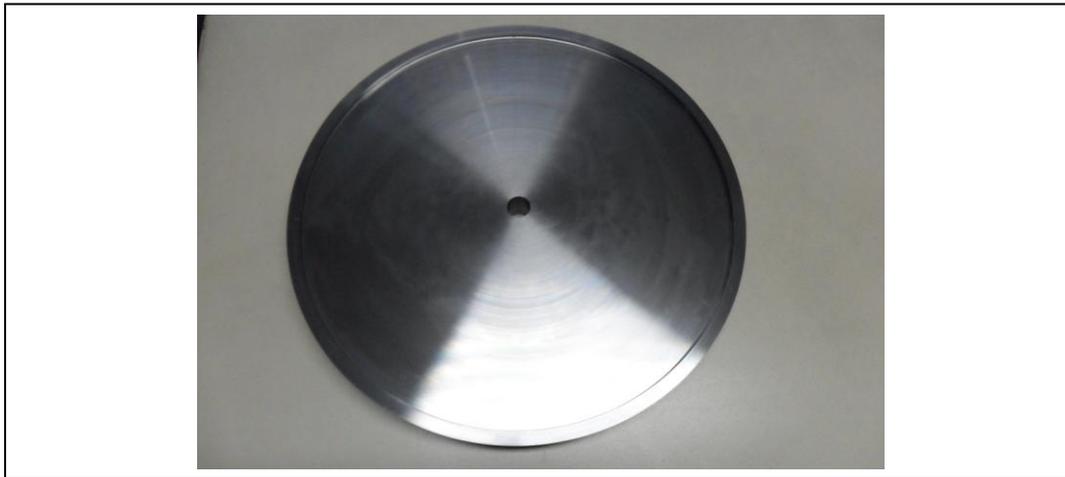


Figura 86 – Base do volante fabricada.



Figura 87 – Volante com as buchas montadas.

3.4.8

Buchas do volante

Como as furações do volante também trabalham com dois eixos inseridos, foram fabricadas quatro buchas para o volante (Fig. 88). Duas buchas nas garras e duas buchas na base. Embora esses eixos não tenham movimento de rotação por estarem fixos por meio de parafusos resolveu-se fabricar as buchas para garantir a concentricidade das furações da garra para a base. O material utilizado para a fabricação destas buchas foi o bronze.

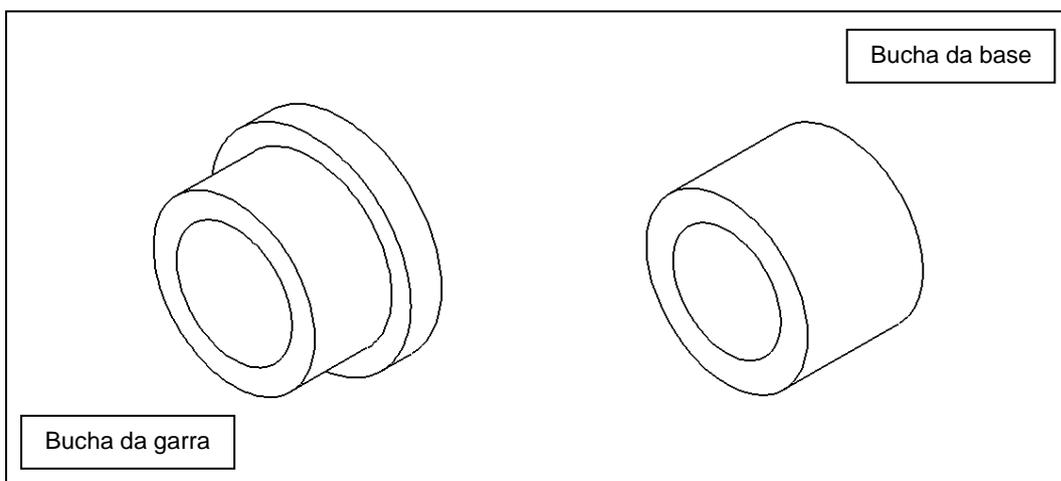


Figura 88 – Buchas do volante.

As buchas que são inseridas nas garras são pequenas e possuem batentes. As buchas que são inseridas na base não têm os batentes e, possuem o diâmetro do rebaixo do eixo, mencionado anteriormente.

Abaixo a figura mostra todas as buchas que foram fabricadas para o volante (Fig. 89).



Figura 89 – Buchas do volante fabricadas.

3.4.9

Espaçadores

O sistema de acionamento utiliza quatro espaçadores (Fig.90), iguais no diâmetro e diferentes um do outro no comprimento. Foram fabricados, em nylon 6.0, para manter o conjunto de braços separados na distância certa.

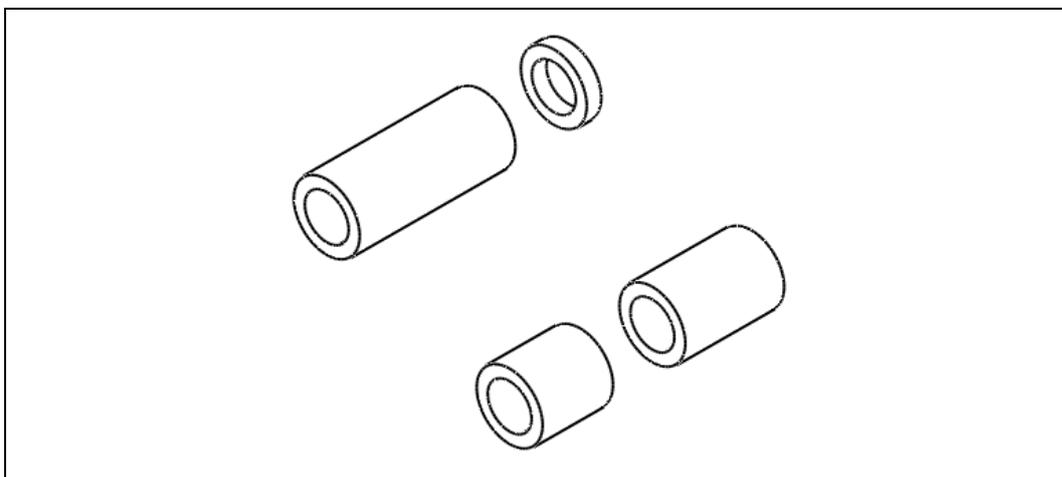


Figura 90 – Espaçadores.

Abaixo estão todos os espaçadores que foram fabricados para o sistema de acionamento (Fig. 91).

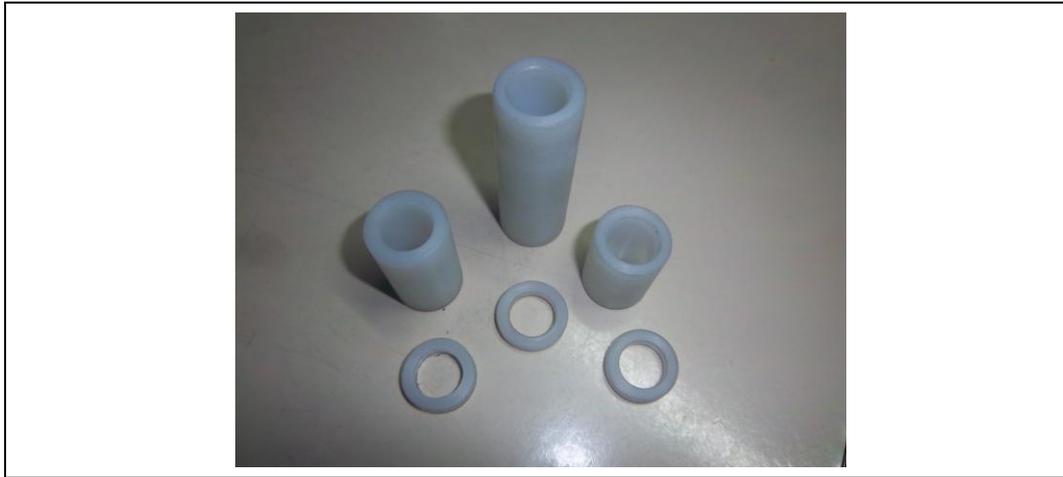


Figura 91 – Espaçadores fabricados.

Os espaçadores são montados nos eixos do volante entre as garras. Também em cada eixo são colocados dois espaçadores: um antes e, outro depois do braço em curva. Cada espaçador tem sua posição correta de montagem no eixo, devido ao fato de haver uma abertura em cada garra do volante (Figs. 92 e 93). Eles impedem que os braços do sistema de acionamento ganhem um movimento de translação nos eixos do volante e com isso, acabem colidindo entre si.

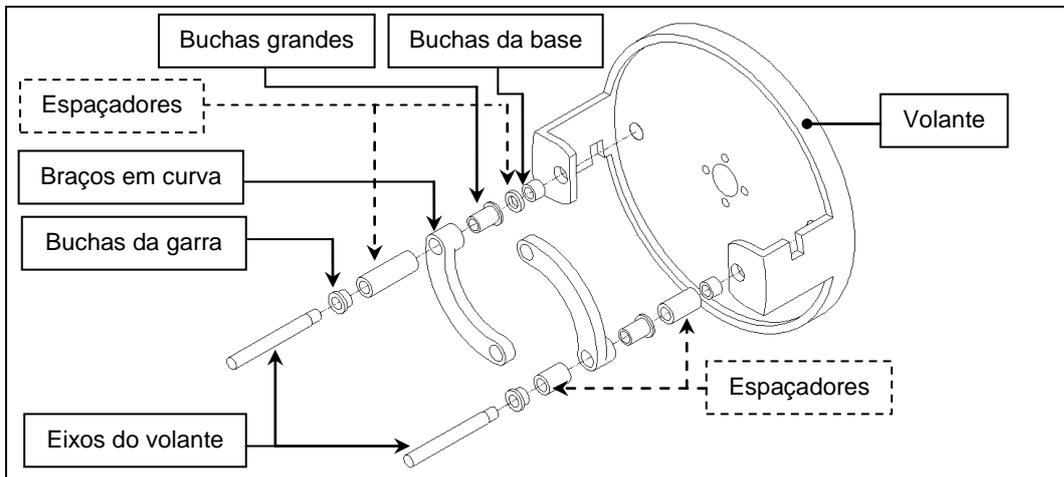


Figura 92 – Esquema de montagem dos eixos, buchas, braços, espaçadores e volante.

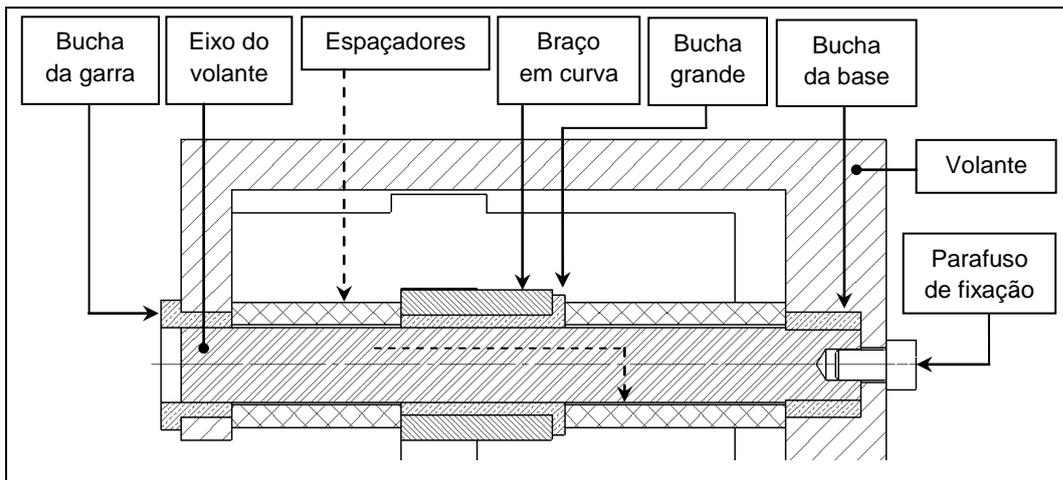


Figura 93 – Vista em corte de montagem do volante, eixo, buchas, espaçadores e braço em curva.

3.4.10

Bucha do motor

A bucha foi fabricada porque, à época da fabricação do sistema, ainda não havia definição sobre qual motor seria utilizado. Assim, não se sabia qual seria o diâmetro do eixo do motor e o volante já estava fabricado com as garras. Foi fabricada, então, uma bucha e, independentemente do diâmetro do eixo do motor, só havia a necessidade de usinar o furo de centro da bucha (Fig. 94). O material utilizado para fabricação da bucha foi o aço AISI 1020.

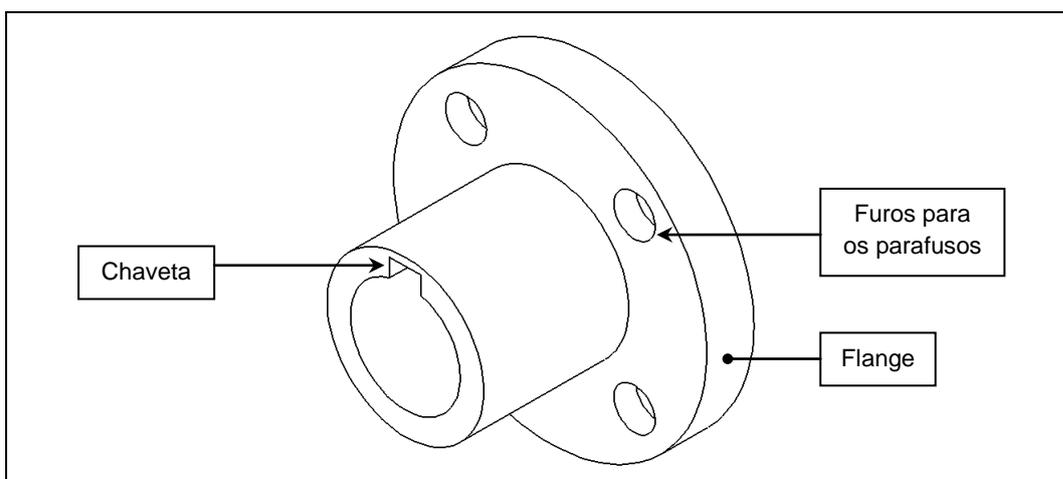


Figura 94 – Bucha do motor.

Para a fabricação da bucha o furo do centro do volante foi aumentado e fabricado quatro furos rosqueados tipo M10 igualmente espaçados para a fixação da bucha. A bucha possui um flange com as quatro furações. Nos flanges foi usinado um rebaixo para acomodar as cabeças dos parafusos. A bucha é inserida pela frente do volante (Fig. 95).

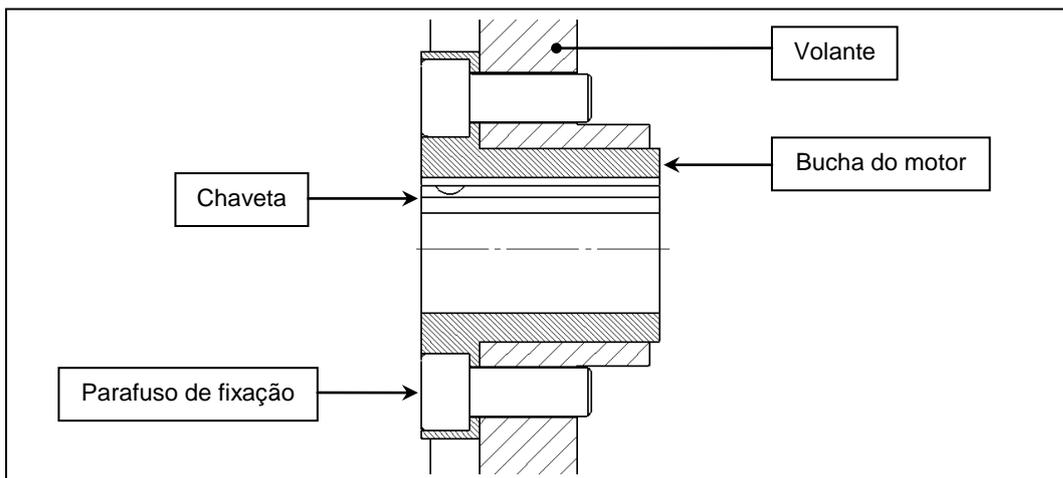


Figura 95 – Vista em corte de montagem do volante com a bucha do motor.

A figura abaixo mostra a bucha do motor fabricada para o sistema de acionamento (Fig. 96).



Figura 96 – Bucha do motor fabricada.

Abaixo está o compressor Kopelrot (cilindro de compressão e o sistema de acionamento), acoplados um ao outro (Fig. 97). No desenho da esquerda ambos estão com eixos de centro concêntricos e no desenho da direita estão com eixos de centro defasados em 95 mm.

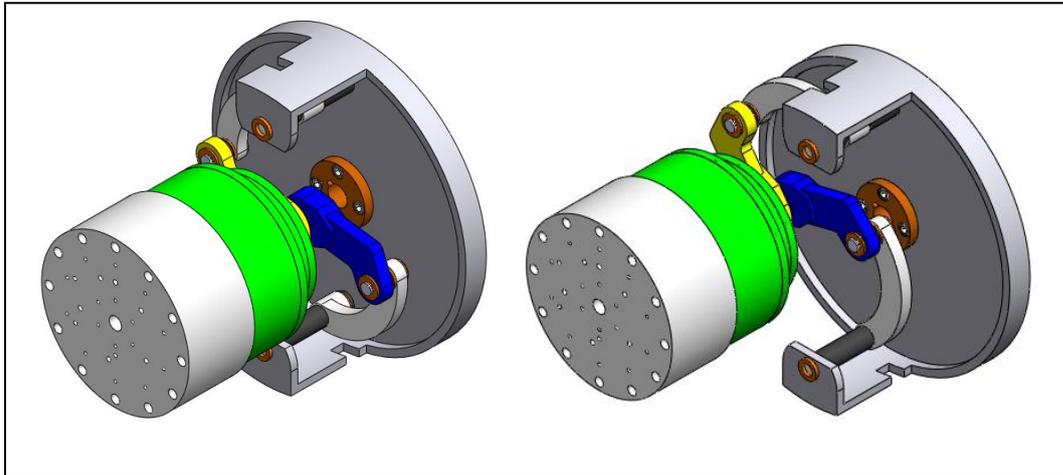


Figura 97– Montagem do cilindro de compressão e do sistema de acionamento.

3.5

Suporte de fixação

O suporte de fixação mantém fixo o conjunto Cilindro de compressão/Sistema de acionamento/Motor elétrico, além de permitir que os eixos de centro do cilindro de compressão e do sistema de acionamento possam ser deslocados. Este suporte apresentou algumas dificuldades durante a montagem, explicadas no apêndice.

O suporte de fixação foi fabricado em duas partes: fixa e móvel. A parte fixa mantém apenas o cilindro de compressão fixo e, a parte móvel mantém o sistema de acionamento, além de permitir deslocá-lo para aumentar a taxa de compressão (Fig. 98).

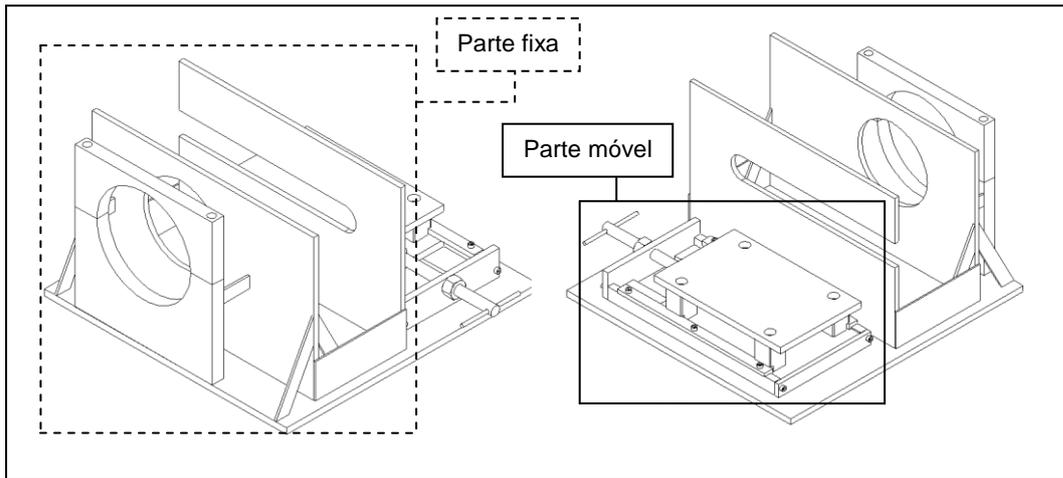


Figura 98 – Suporte de fixação do conjunto Cilindro de compressão / Sistema de acionamento / Motor.

A figura abaixo mostra o suporte de fixação (Fig. 99).



Figura 99 – Suporte de fixação fabricado e pintado.

3.5.1

Parte fixa do suporte de fixação

As peças que compõem a parte fixa do suporte foram todas fabricadas de aço e, soldadas na base principal (Fig. 100). Ao montar-se o suporte e soldar-se as peças, encontrou-se a dificuldade de manter todas as peças niveladas e no esquadro, devido à solda.

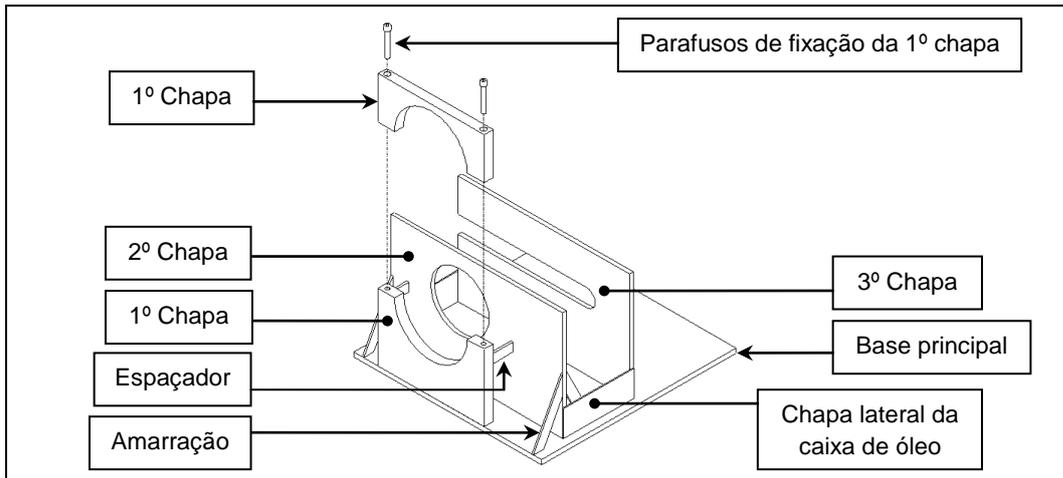


Figura 100 – Parte fixa do suporte de fixação.

Para a fabricação da primeira chapa foram levados em conta alguns aspectos. (i) A altura de centro entre os eixos de centro do cilindro de compressão e do sistema de acionamento foi determinada em relação ao volante por este possuir maior diâmetro e não tocar a base principal quando for acoplado ao motor; (ii) O deslocamento entre os eixos de centro do cilindro de compressão e do sistema de acionamento. Esse deslocamento fez com que esta chapa fosse soldada deslocada do centro da base principal, para que os eixos pudessem deslocar os 95 mm um do outro, sem que o volante saísse da base principal. Para que esta chapa ficasse no centro, a chapa da base principal deveria ser maior de modo a compensar a distância de deslocamento entre os eixos.

Esta chapa, com maior espessura do suporte medindo 1", foi fabricada bipartida (Fig. 101). Ela abraça a peça 1 da carcaça dianteira e, por meio de dois parafusos, um de cada lado da chapa, segura a parte de trás do cilindro de compressão do compressor Kopelrot.

A segunda chapa é menos espessa e segura a frente do cilindro de compressão (Fig.101). Nela há um furo onde entra a frente do cilindro até a base da peça 2 da carcaça dianteira. Foi posicionada com o furo concêntrico com o furo da primeira chapa.

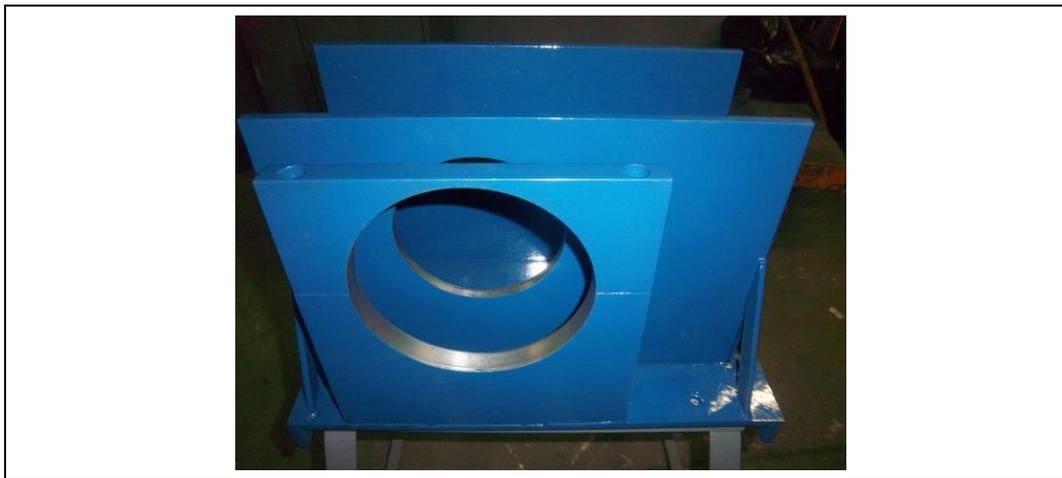


Figura 101 – Primeira e segunda chapa da parte fixa.

Duas barras chatas foram usadas como espaçadores, unindo a segunda chapa à primeira na distância correta (Fig.102). Essas chapas também serviram para manter a segunda chapa no esquadro. Quatro barras chatas foram utilizadas como amarração da segunda chapa evitando o empeno, quando a segunda chapa estava sendo soldada.



Figura 102 – Espaçadores, barras de amarração, chapa lateral de fechamento da caixa de óleo, e terceira chapa da parte fixa.

A terceira chapa foi uma das últimas chapas a serem soldadas na base principal, porque não se tinha a medida de comprimento do eixo do motor (Fig. 102). Esta chapa tem a mesma espessura, altura e comprimento da segunda chapa, e nela foi feito um rasgo que permite a montagem e desmontagem do motor.

As duas chapas pequenas soldadas nas laterais da segunda e da terceira chapa fecham a caixa de óleo de lubrificação e resfriamento do compressor Kopelrot (Fig. 102).

3.5.2

Parte móvel do suporte de fixação

A parte móvel do suporte fixa o motor e conseqüentemente preso a ele, o sistema de acionamento. A parte móvel permite que o motor possa ser deslocado, fazendo com que os eixos de centro do cilindro de compressão e do sistema de acionamento adquiram uma excentricidade. Das peças que compõem a parte móvel somente uma é soldada na base principal que são as guias. Algumas peças são livres para se mover, o que permite que todo conjunto que forma a parte móvel possa ser desmontado.

A primeira peça fabricada foi a base móvel, que é um conjunto de peças, soldadas uma à outra (Figs. 103 e 104). Esta é a peça que se move entre as guias, estabelecendo uma excentricidade entre os eixos. A base móvel é formada por uma base, quatro colunas, um sistema de bucha com uma haste roscada, e uma base para o motor.

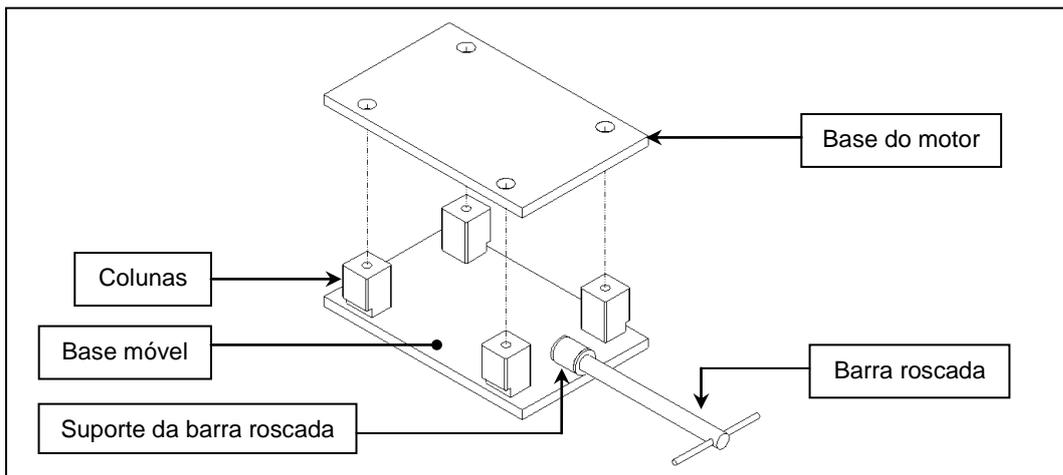


Figura 103 – Base móvel.



Figura 104 – Base móvel fabricada.

As colunas foram soldadas à base, e espaçadas de modo que o centro de cada uma coincida com a furação de fixação do motor. Estas colunas têm função apenas de compensar a altura do motor e, no centro de cada uma foi feito um furo roscado para fixar a base do motor por meio de parafusos (Fig. 104). A altura de centro do eixo do motor é a mesma altura de centro do volante. Por isso, dependendo da configuração do motor, a altura das colunas deve ser levantada ou abaixada.

A última peça foi a chapa de base do motor (Fig. 104). Esta chapa possui quatro furos lisos coincidindo com a furação do motor (que também coincide com as furações da coluna), com finalidade apenas de assentar o motor.

As peças seguintes fabricadas foram as guias (Figs 105 e 106). A parte móvel utiliza duas guias confeccionadas em “L”, que são exatamente iguais. Elas têm comprimento do deslocamento total de 395 mm, sendo o deslocamento da base móvel de 95 mm. Essas guias acomodam a base móvel que se desloca por dentro delas e, são soldadas na base principal do suporte. Nas faces de cada lado das guias, há um furo rosqueado para montagem dos batentes e, na parte de cima de cada guia há três furos rosqueados para montagem dos fixadores.

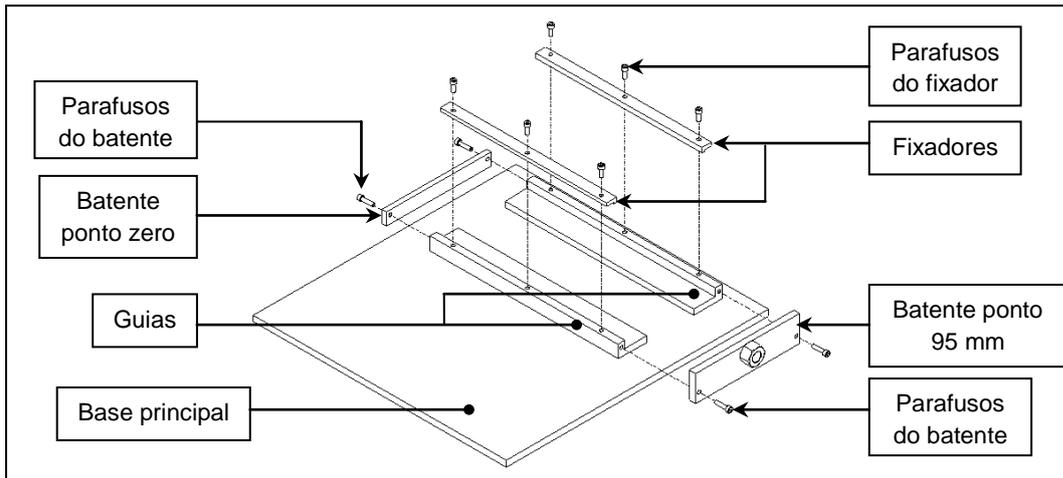


Figura 105 – Componentes da parte móvel.



Figura 106 – Guias, batentes e fixadores montados.

No final das guias é fixado um batente, que foi fabricado no comprimento que corresponde à distância certa entre as guias (Fig. 105). Esse batente é utilizado para que a base móvel chegue à excentricidade zero com os eixos de centro do cilindro de compressão e do sistema de acionamento colineares, não os deixando que ultrapasse essa distância.

Na frente das guias é aparafusado outro batente, pouco maior na altura e, nele foi soldada uma porca para a passagem da barra roscada (Figs. 105 e 106). Este batente limita a excentricidade entre o eixo de centro do compressor e do sistema de acionamento a um valor máximo de 95 mm.

Os fixadores são montados nas guias e, possuem um ressalto que, quando montado, (Fig. 107) reduzem a vibração do motor para a base móvel, apertando-as contra as guias.

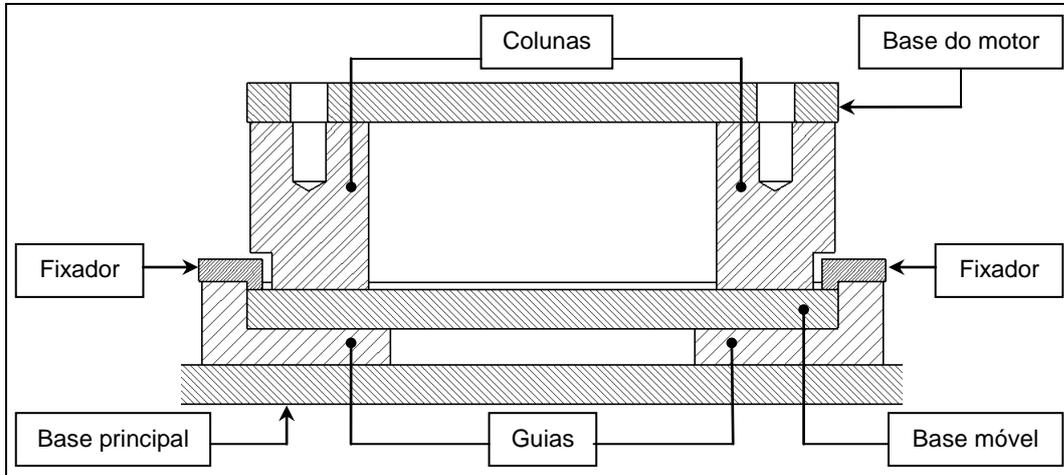


Figura 107 – Vista em corte da parte móvel.

Abaixo encontra-se toda a parte móvel do suporte de fixação já montada (Fig. 108).



Figura 108 – Parte móvel do suporte de fixação montada.

3.5.3

Montagem do compressor Kopelrot

Na figura abaixo é mostrada uma montagem completa do conjunto Cilindro de compressão/Sistema de acionamento/Motor no suporte de fixação vista de frente (Fig. 109). Pode-se observar que os componentes do conjunto estão todos na mesma altura de centro.

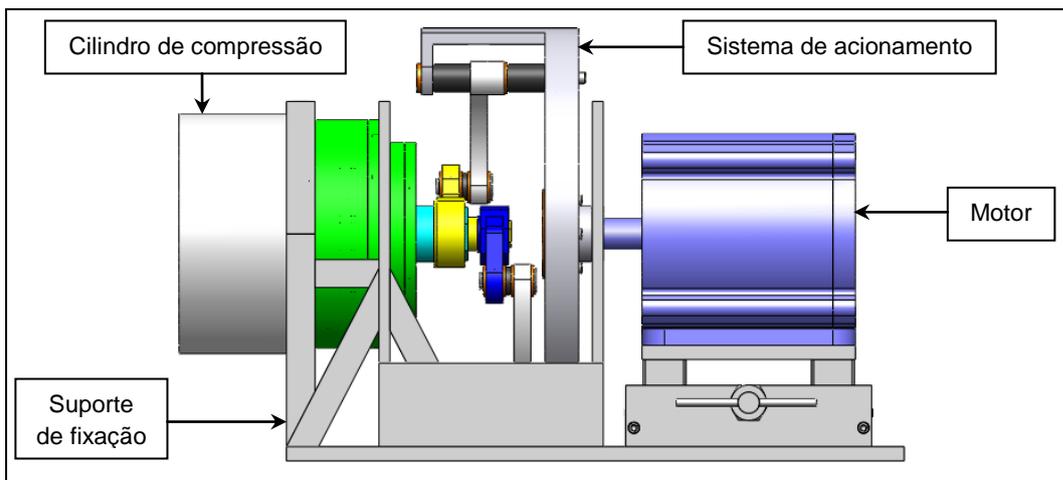


Figura 109 – Vista de frente do conjunto Cilindro de compressão / Sistema de acionamento / Motor.

A próxima figura mostra em uma vista superior o deslocamento do conjunto no suporte de fixação (Fig. 111). No desenho da esquerda os eixos de centro do cilindro de compressão e do sistema de acionamento estão concêntricos, e no desenho da direita os eixos de centro do cilindro de compressão e do sistema de acionamento estão defasados em 95 mm. Abaixo está uma figura com duas fotos uma de cada lado do conjunto montado, com os eixos defasados em 95 mm.

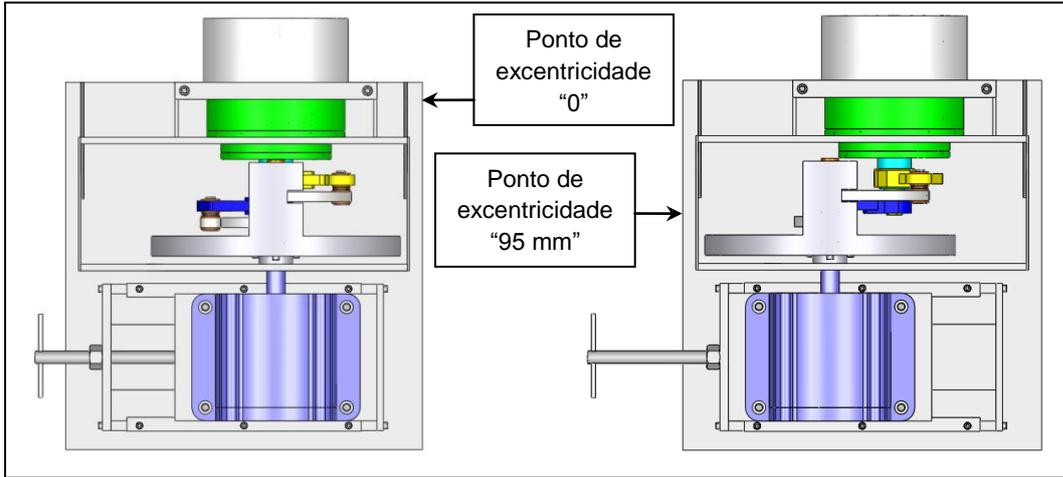


Figura 110 – Vista superior do conjunto nos pontos de excentricidades 0 e 95 mm.

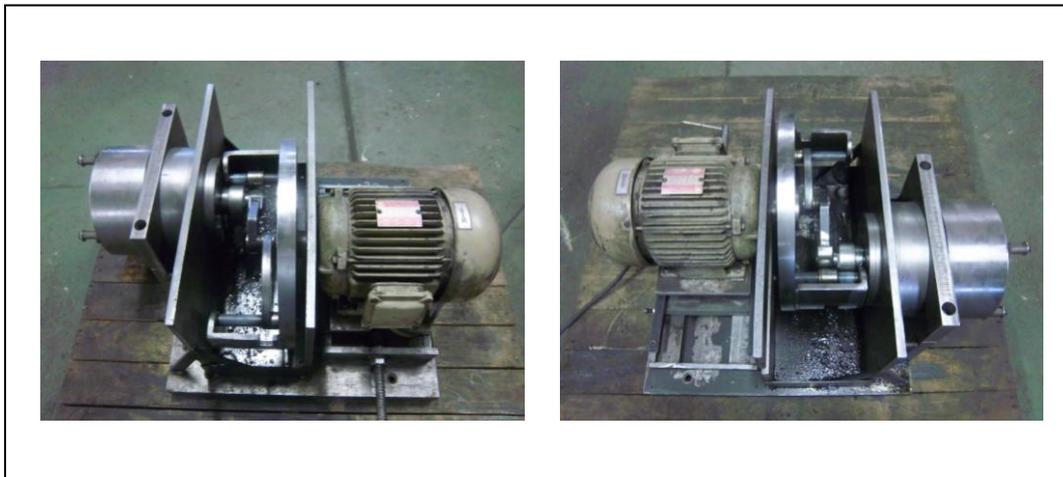


Figura 111 – Compressor Kopelrot montado ao suporte de fixação com excentricidade de 95 mm.