

LILIANE PAULINO FERREIRA DO NASCIMENTO

Estudo de uma bomba de água do tipo palheta:
Modelagem em CAD e Inclusão de Ajustes e Tolerâncias

Guaratinguetá - SP
2016

Liliane Paulino Ferreira do Nascimento

Estudo de uma bomba de água do tipo palheta:
Modelagem em CAD e Inclusão de Ajustes e Tolerâncias

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva

Guaratinguetá - SP
2016

N244e

Nascimento, Liliane Paulino Ferreira do

Estudo de uma bomba de água do tipo palheta: modelagem em CAD e inclusão de ajustes e tolerâncias / Liliane Paulino Ferreira do Nascimento – Guaratinguetá, 2016.

74 f : il.

Bibliografia: f. 65-66

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016.

Orientador: Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva

1. Maquinas - Desenhos
2. Bombas hidráulicas
3. Projeto auxiliado por computador I. Título

CDU 620.1.058:744

Liliane Paulino Ferreira do Nascimento

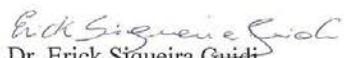
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

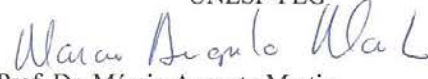
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. Erick Siqueira Guidi
UNESP-FEG


Prof. Dr. Márcio Augusto Martin
UNESP-FEG

Dezembro de 2016

DADOS CURRICULARES

NOME COMPLETO DO AUTOR

NASCIMENTO	05.06.1990 – Estiva / MG
FILIAÇÃO	Aparecido Paulino do Nascimento Maria Joana Ferreira do Nascimento
2011/2016	Curso de Graduação de Engenharia Mecânica Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Universidade Estadual Paulista

Dedico este trabalho à minha família, ao
meu noivo e amigos que me ajudaram a percorrer essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a minha mãe, Maria Joana, por ter me incentivado a realizar o meu sonho e me ajudado todos esses anos. Agradeço também ao meu pai, Aparecido, por toda ajuda.

Agradeço ao meu noivo, *Pedro Henrique Fonseca Bertoleti*, pelo apoio e incentivo a superar os desafios. Gostaria de agradecer também a minha sogra e cunhada, *Janete Iara Fonseca e Isabella Aparecida Fonseca Bertoleti*, por toda ajuda e apoio nos momentos que precisei.

ao meu orientador, *Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva* que jamais deixou de me incentivar. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível.

à Prof. *Lúcia*, que me ajudou com os princípios do Solidworks e sempre foi muito prestativa ao ajudar em todas as dificuldades envolvendo o Software.

ao Prof. *Dr. Erick Siqueira Guidi* pelos conselhos e ajuda para a conclusão do trabalho.

à minha amiga, *Karoline Pinheiro*, que sempre esteve ao meu lado nas dificuldades na graduação dando força e também nas vitórias comemorando.

às funcionárias da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar,

aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campos de Guaratinguetá pela dedicação e alegria no atendimento.

“Nunca desista dos seus sonhos, pois a única saída dos fracos é a desistência das coisas e de seus sonhos, mas para os fortes a única alternativa é a persistência daquilo que tanto almejam! ”

Lennon

RESUMO

Este trabalho visa familiarização com projetos. Para tal, foi necessária utilização de um Software CAD, o utilizado foi Solidworks e aprender a trabalhar e determinar Tolerâncias e Ajustes. O projeto executado foi uma Bomba de Palhetas presente no livro Desenhista de Máquinas. Durante a modelagem do projeto, foram realizadas melhorias para garantir funcionalidade do projeto. Foi levado em conta na tomada de decisão de melhoria, bombas existentes no mercado e uma forma de adaptação com o projeto existente. Após finalizado a modelagem, foi feito uma simulação no ambiente Motion do Solidworks. A determinação das tolerâncias e ajustes foram baseadas em normas e recomendações de forma a garantir os requisitos de trabalho das peças e da máquina.

PALAVRAS-CHAVE: Solidworks. Bomba de palheta. Projeto. Motion. Tolerância. Ajuste.

ABSTRACT

This final paper has the objective of get used to designing projects. To achieve this objective, it was necessary the proficient use CAD Software (Solidworks) and learn how to determine and deal with Tolerances and Adjustments. The project shown in this final paper was a Vane Pump, one of the projects of the book "Designer of Machines". During project's modeling, some improvements were made to ensure project performance. In improvements decisions, it was very relevant to compare the designed pump with commercial pumps, due to upgrade book's project. After project's designing, a simulation was made in Solidworks' Motion environment. The tolerances and adjustments were based on normatives and technical recommendations to ensure the parts and the machine work's requirements.

KEYWORDS: Solidworks. Vane Pump. Project. Motion. Tolerance. Adjustment.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ISO	International Standardization Organization
IT	Grau de Tolerância Padrão
NBR	Norma Brasileira

LISTA DE SÍMBOLOS

a_i	Afastamento Inferior para eixos
A_i	Afastamento Inferior para furos
a_s	Afastamento Superior para eixos
A_s	Afastamento Superior para furos
$D_{\max}$	Dimensão máxima
$D_{\min}$	Dimensão mínima
F	Folga
$F_{\max}$	Folga máxima
$F_{\min}$	Folga mínima
$I_{\max}$	Interferência máxima
$I_{\min}$	Interferência mínima
t	Tolerância
	t_{AJ} Tolerância do Ajuste

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS DO TRABALHO	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1	TIPO DE TURBOMÁQUINAS.....	15
2.1.1	Máquinas de Fluxo motrizes	16
2.1.2	Máquinas de Fluxo operatrizes	17
2.2	TIPO DE BOMBAS DE PALHETAS	17
2.2.1	Bomba de palheta deslizante	17
2.2.2	Bomba de palheta de impelidor flexível	18
2.3	FUNÇÃO DOS COMPONENTES	18
2.3.1	Eixo, bucha e cruzeta	18
2.3.2	Retentores.....	20
2.4	SISTEMA DE AJUSTES E TOLERÂNCIAS.....	20
2.4.1	Conceitos Importantes	20
2.4.1.1	Intercambiabilidade	21
2.4.1.2	Exatidão	21
2.4.1.3	Dimensões Nominais	21
2.4.1.4	Dimensões Reais ou Efetivas.....	22
2.4.2	Sistema de Ajustes e Tolerâncias	22
2.4.3	Trabalhando com a ISO ((International Standartization Organization).....	27
3	CONSTRUÇÃO DOS COMPONENTES DO CONJUNTO DA BOMBA POR CAD	33
3.1	MODELAGEM DAS PEÇAS DO CONJUNTO.....	33
3.1.1	Construção da Carcaça.....	33
3.1.2	Construção Do Retentor	39
3.1.3	Construção da Copinho	40
3.1.4	Construção da Porca Especial.....	41
3.1.5	Construção da Tampa.....	42
3.1.6	Montagem finalizada.....	43
3.2	MUDANÇAS NO PROJETO	44

3.2.1	Detecção de erro no Projeto base.....	44
3.2.2	Desenvolvimento de Melhorias	45
3.2.2.1	Modelagem Eixo.....	46
3.2.3	Desenvolvimento do Impedidor e de seu movimento na Carcaça.....	46
4	TRABALHANDO COM TOLERÂNCIAS E AJUSTES	51
4.1	TOLERÂNCIAS DE ACORDO COM A ABNT	51
4.1.1	Tolerâncias Parafusos	51
4.1.2	Tolerância furo, eixo e chaveta	56
4.1.3	Tolerância Retentor	58
5	RESULTADOS	59
5.1	RESULTADO DA MONTAGEM.....	59
5.2	RESULTADO DAS TOLERÂNCIAS	61
6	CONCLUSÃO	64
	REFERÊNCIAS	65
	APÊNDICE A – DESENHO DE CONJUNTO E DETALHES	67
	ANEXO A – PROJETO INICIAL	72

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, é de extrema importância na engenharia Mecânica trabalhar com softwares CAD para a construção e detalhamento de um projeto. São ferramentas que garantem rapidez, precisão, qualidade e eficiência na execução.

De tão grande importância quanto, compete ao Engenheiro Mecânico saber trabalhar com tolerâncias e ajustes. Saber determinar no projeto as tolerâncias e ajustes mais adequados implica no desenvolvimento de projetos melhores, diminuição de custos com retrabalho, maior tempo de vida para a peça e consequentemente para a máquina. Também é necessário saber as informações que contribuem para melhor determinação da tolerância e ajuste certo inserido no projeto.

Desta forma, neste trabalho, será modelado uma Bomba de Palheta, cujo projeto se encontra no livro Desenhista de Máquinas, utilizando o software Solidworks. Após a finalização de todas as peças, deu-se prosseguimento a montagem. Nesse ambiente foi encontrado um erro no projeto original e foi necessário a implantação de melhorias, levando em conta aplicabilidade e medidas realistas no projeto.

Na aplicação de tolerância e ajustes foi consultado as normas da ABNT e demais literaturas para conduzir as melhores escolhas, pois há uma gama muito grande de combinações de Graus de Tolerância Padrão (IT) e classes de afastamentos. Para diminuir a quantidade de calibradores, há combinações recomendadas para os tipos de solicitação de trabalho, tipo de fabricação e essas recomendações foram levadas em conta na determinação das tolerâncias e ajustes.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

Este presente trabalho tem por objetivo o aprendizado de um software CAD para desenvolvimento de projeto. O interesse foi despertado, pois ao longo do curso de Engenharia Mecânica não foi ensinado em nenhuma disciplina o ambiente de um software 3D para desenhos técnicos mecânicos.

A abordagem de Ajustes e Tolerâncias é referente a importância do tema no desenvolvimento de um projeto. As dimensões nominais não podem ser alcançadas por nenhuma ferramenta de fabricação hoje em dia, muito menos garantir a replicação dessas dimensões. Dessa forma, é necessário estabelecer tolerâncias de trabalho, que variam de acordo com o tipo de trabalho das peças e equipamento, custo final, se é uma peça padronizada. Sendo assim, as tolerâncias e ajustes implicam muito na qualidade e preço do produto final, valendo a pena ser tratada nesse trabalho como forma de agregar conhecimento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TIPO DE TURBOMÁQUINAS

São normalmente subdivididas em dois tipos principais: as Máquinas de Deslocamento Positivo (positive displacement machines) e as máquinas de fluxo (turbomachines) (BRASIL, 2006).

Aquela, também conhecida por estática, uma quantidade fixa de fluido de trabalho é confinada durante sua passagem através da máquina e aumento da pressão é proveniente da variação no volume, isto é, o fluido é obrigado a mudar o seu estado energético pelo deslocamento de uma fronteira em movimento (BRASIL, 2006).

No segundo tipo, às vezes denominadas de máquinas dinâmicas, o fluido possui um fluxo contínuo através da máquina, e as trocas de energia são devido a efeitos dinâmicos. Na mesma situação, o fluido de trabalho de uma máquina de fluxo assumirá, imediatamente, as condições ambientais, quando ela deixar de operar. As máquinas rotativas (rotary machines), como a bomba de engrenagens, e as máquinas alternativas (reciprocating machines) como compressor de pistão, são exemplos típicos de máquinas de deslocamento positivo; por conseguinte, as turbinas hidráulicas e os ventiladores centrífugos são exemplos de máquinas de fluxo (BRASIL, 2006).

Máquinas de deslocamento positivo podem ser definidas sendo aquelas cuja transferência de energia é feita por variações de volume que ocorrem devido ao movimento da fronteira na qual o fluido está contido; podendo ser rotativas como a bomba de engrenagens ou alternativas como o compressor de pistão. As Máquinas de Fluxo (Turbomáquinas): são dispositivos fluido mecânicos que direcionam o fluxo com lâminas ou pás fixadas num elemento rotativo. Em contraste com as máquinas de deslocamento positivo não há volume confinado numa turbomáquina. Funcionam cedendo ou recebendo energia de um fluido em constante movimento (BRASIL, 2006).

As máquinas que adicionam energia a uma corrente fluida são chamadas bombas quando o escoamento é líquido ou pastoso. Ventiladores, sopradores ou compressores trabalham com gás ou vapor, dependendo do aumento de pressão. Os ventiladores geralmente têm pequeno aumento de pressão (inferior a uma polegada de água) e os sopradores têm aumento de pressão moderado (da ordem de uma polegada de mercúrio); bombas e compressores podem ter aumentos de pressão muito grandes (BRASIL, 2006).

Rotor ou impulsor, é o nome dado ao elemento rotativo da bomba. O eixo que transfere energia mecânica para o impulsor em geral penetra na carcaça; um sistema de mancais e selos é necessário para completar o projeto mecânico da unidade (BRASIL, 2006).

Ventiladores, sopradores, compressores e bombas são encontrados em vários tamanhos e tipos, desde unidades residenciais a unidades industriais, complexas, de grande capacidade. Os requisitos de torque e potência para bombas e turbo ventiladores idealizados podem ser analisados pela aplicação do princípio do momento da quantidade de movimento, ou princípio da quantidade de movimento angular, usando-se um volume de controle adequado (BRASIL, 2006).

As máquinas que extraem energia de um fluido são chamadas turbinas. O conjunto de pás, lâminas, ou conchas, fixadas ao eixo da turbina, é chamado rotor ou roda. Nas turbinas hidráulicas, o fluido de trabalho é a água, de modo que o escoamento é incompressível. Nas turbinas a gás e nas turbinas a vapor a massa específica do fluido de trabalho pode variar significativamente (BRASIL, 2006).

As duas classificações mais gerais de turbinas são turbinas de ação ou de impulsão e de reação. As turbinas de impulsão são acionadas por um ou mais jatos livres de alta velocidade. Cada jato é acelerado num bocal externo à roda da turbina. Se o atrito e a gravidade forem desprezados, nem a pressão, nem a velocidade relativa ao rotor mudam enquanto o fluido passa sobre as conchas da turbina. Desse modo, numa turbina de impulsão, a aceleração do fluido e a queda de pressão decorrente ocorrem em bocais externos às pás, e o rotor não trabalha cheio de fluido. Nas turbinas de reação, parte da variação de pressão do fluido ocorre externamente e a outra parte dentro das pás móveis. Ocorre aceleração externa e o fluxo é defletido para entrar no rotor na direção apropriada, à medida que passa por bocais ou pás estacionárias chamadas pás de guia ou pás diretrizes. Uma aceleração adicional do fluido relativa ao rotor ocorre dentro das pás móveis, de modo que tanto a velocidade relativa quanto a pressão da corrente mudam através do rotor. Como as turbinas de reação trabalham cheias de fluido, elas podem, em geral, produzir mais potência para um dado tamanho do que as turbinas de impulsão (BRASIL, 2006).

2.1.1 Máquinas de Fluxo motrizes

São aquelas que transformam energia de fluido em trabalho mecânico, ou seja, transformam um tipo de energia que a natureza nos oferece em trabalho mecânico. Estas máquinas extraem energia do fluido, ou seja, o fluido realiza trabalho sobre a máquina.

Exemplos: Turbinas hidráulicas, turbinas a vapor, turbinas a gás, turbinas eólicas (BRASIL, 2006).

2.1.2 Máquinas de Fluxo operatrizes

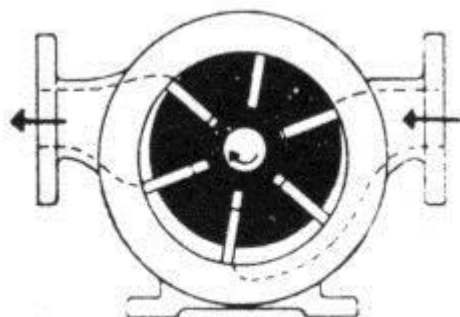
São aquelas que recebem trabalho mecânico e o transformam em energia de fluido (hidráulica). Estas máquinas fornecem energia a um fluido, ou seja, realizam trabalho sobre o fluido. Ex.: Bombas centrífugas, ventiladores, sopradores, compressores centrífugos (BRASIL, 2006).

2.2 TIPO DE BOMBAS DE PALHETAS

2.2.1 Bomba de palheta deslizante

Este tipo de bomba possui o rotor que é um cilindro perfurado radialmente para alojar as palhetas. O rotor gira excentricamente em relação à carcaça afim de tangenciá-la em um ponto. De acordo com a figura 1, a admissão do fluido ocorre no momento em que o volume delimitado pelo rotor, a carcaça e duas palhetas consecutivas tem maior espaço no volume comportado de fluido; a descarga de fluido se dá ao se iniciar a redução deste volume. Uma vantagem deste tipo de bomba é que a folga entre a carcaça e a palheta será sempre mínima, desde que a força centrífuga desenvolvida pelo giro do rotor tenderá a mantê-las em estreito contato (REESE et al. , 2007).

Figura 1 - Bomba de palheta deslizante.



Bomba de palhetas

Fonte: Reese et al. (2007).

2.2.2 Bomba de palheta de impelidor flexível

É um tipo de bomba da família de bombas com deslocamento positivo. Como a bomba anterior, possui uma excentricidade. São necessárias quando se necessita de grande capacidade de sucção. As bombas de impelidor flexível são adequadas para fluidos viscosos, pastas e líquidos contendo gás ou sólidos em aplicações de baixa pressão (PUMPS, tradução nossa).

Esta bomba utiliza um impelidor de borracha, suas pás ou lâminas se curvam no contato com a carcaça, devido a excentricidade (SCOUT, tradução nossa).

O funcionamento se dá, o impulsor de borracha tem as lâminas orientadas radialmente que estão em contato com as paredes da carcaça de forma excêntrica. À medida que o rotor gira, as pás vão dobrando assim que passam pela parte excêntrica da carcaça (ou da came). Isso cria um vácuo que puxa o fluido na sucção da bomba. Em seguida, o fluido é transportado entre as lâminas e parede da carcaça, dirigindo o fluxo para a descarga. A rotação da bomba pode ser invertida para mudar a direção do fluxo na bomba, desde que o impulsor seja feito de borracha. É um tipo de bomba que não pode trabalhar a seco, pois danificaria a borracha (SCOUT, tradução nossa).

A aplicação mais comum para as bombas de impulsor flexível é na indústria naval, onde eles são usados como bombas de lastro e de esgoto em embarcações marítimas de pequenas e médias empresas. Eles são ideais para a manipulação de fluidos que são delicados, geralmente com viscosidades relativamente baixas, e também são usados em toda a indústria farmacêutica, de cosméticos e de alimentos (SCOUT, tradução nossa).

2.3 FUNÇÃO DOS COMPONENTES

2.3.1 Eixo, bucha e cruzeta

Bucha é um anel metálico utilizado entre um eixo e outra peça. Isso faz com que não se comprometa o eixo e a peça ocasionados por atrito (BARBOSA, 2011).

As buchas são elementos de máquinas de forma cilíndrica ou cônica. Servem para apoiar eixos e guiar brocas e alargadores. Em casos onde o eixo desliza dentro da bucha, é necessário haver lubrificação. Podem ser fabricadas de metal antifricção ou de materiais plásticos. Normalmente, a bucha deve ser fabricada com material menos duro que o material do eixo (BARBOSA, 2011).

O Eixos são responsáveis pela transmissão de movimento segundo BARBOSA (2011).

- EIXO- peça que passa pelo centro de um corpo e em volta da qual esse corpo executa rotação;
- ÁRVORE- peça semelhante ao eixo, porém, ela que executa a rotação ao invés do corpo;
- EIXO-ÁRVORE- peça que atua como eixo e árvore ao mesmo tempo.

Os eixos e árvores podem ter perfis lisos ou compostos, nos quais são montadas as engrenagens, polias, rolamentos, volantes de máquina, etc. Podem ser fixos ou giratórios e sustentar os elementos de máquina. No caso dos eixos fixos, os elementos (engrenagens com buchas, polias sobre rolamentos e volantes) é que giram (BARBOSA, 2011).

Os eixos e árvores são comumente fabricados em aço ou ligas de aço, pois os materiais metálicos apresentam melhores propriedades mecânicas do que os outros materiais. Por isso, são mais adequados para a fabricação de elementos de transmissão segundo BARBOSA (2011):

- eixos com pequena solicitação mecânica são fabricados em aço carbono;
- eixo-árvore de máquinas e automóveis são fabricados em aço-níquel;
- eixo-árvore para altas rotações ou para bombas e turbinas são fabricados em aço cromo-níquel;
- eixo para vagões são fabricados em aço-manganês;
- Eixos para vagões são fabricados em aço-manganês;

Em funções específicas, os eixos podem ser fabricados em cobre, alumínio, latão. Assim, o material de fabricação varia de acordo com a função dos eixos e árvores (BARBOSA, 2011).

Chaveta é um elemento de fixação, tendo objetivo de conectar dois elementos mecânicos. É um elemento mecânico fabricado em aço. Sua forma, em geral, é retangular ou semicircular. A chaveta se interpõe numa cavidade de um eixo e de uma peça segundo CEFETES.

As chavetas se classificam em: chavetas de cunha, chavetas paralelas e chavetas de disco segundo CEFETES.

2.3.2 Retentores

O retentor possui algumas funções que são de grande importância, para o bom funcionamento do sistema, e dentre estas funções podemos identificar a principal que seria a atividade de reter óleos, graxas e outros tipos de fluídos, que devem ser contidos de forma específica no interior de uma determinada máquina (Ômicrom).

Esta peça pode auxiliar ainda a evitar a entrada das mais diversas impurezas presentes no meio externo, como por exemplo, terra, areia, poeira, dentre outros (Ômicrom).

O retentor pode ser utilizado em vários segmentos, de forma que não possui uma utilização única, tendo apenas uma finalidade específica. Podemos encontrar os retentores em carros, caminhões, ônibus, bicicletas, máquinas agrícolas e até mesmo em eletrodomésticos, sendo possível encontrar esta peça nos mais variados tamanhos de forma específica para cada utilização (Ômicrom).

De forma específica podemos dizer que todos os mecanismos que utilizam de movimentos para proporcionar um funcionamento correto, pode ser encontrado uma peça identificada como retentor (Ômicrom).

Para que o funcionamento do retentor aconteça de um modo correto ele deverá ser sempre aplicado entre duas peças que consigam proporcionar um movimento relativo (Ômicrom).

O retentor consegue cumprir a sua função de reter um líquido dentro de um determinado local, enquanto a máquina estiver em movimento ou mesmo enquanto ela estiver parada. A vedação deste componente acontece entre a aresta do lábio de vedação e o eixo da máquina, de forma que é possível completar a estanqueidade com o meio externo. Para que isso aconteça de modo correto, é necessário que sejam encontradas algumas peças que também são importantes para o funcionamento correto deste sistema, como por exemplo a mola, vedação auxiliar, diâmetro externo, carcaça e costas. Estes mecanismos poderão proporcionar o funcionamento adequado da vedação principal (Ômicrom).

2.4 SISTEMA DE AJUSTES E TOLERÂNCIAS

2.4.1 Conceitos Importantes

A Norma ABNT NBR 6158 fixa o conjunto de princípios, regras e tabelas que se aplicam à tecnologia mecânica, a fim de permitir escolha racional de tolerâncias e ajustes,

visando a fabricação de peças intercambiáveis Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT (1995).

A abrangência dessa Norma tange dimensões nominais de até 3150 mm de peças intercambiáveis. Mesmo estando preparada para utilização em peças cilíndricas, esta Norma aplica-se a outras formas, visto que os termos "furo" e "eixo" nela empregados têm significados convencionais. O termo "furo" ou "eixo" pode refere-se a uma dimensão interna ou externa de duas faces paralelas ou planos tangentes de qualquer peça, como a largura de um rasgo ou a espessura de uma chaveta. O sistema prescrito nesta Norma também estabelece ajustes entre elementos cilíndricos conjugados e ajustes entre peças que tenham elementos com faces paralelas (ABNT, 1995).

2.4.1.1 Intercambiabilidade

Presume-se ao tomar-se ao acaso uma peça qualquer de um lote de peças semelhantes que estejam prontas e verificadas, ao ser montada num conjunto mecânico, não precisará de nenhum ajuste ou usinagem posterior, dará condições para que o sistema mecânico cumpra as funções para as quais foi projetado (Apostila de Sistemas de Tolerâncias e Ajustes - UFPR).

2.4.1.2 Exatidão

É quando ocorre correspondência entre as dimensões reais da peça e aquelas indicadas no desenho. Os processos de fabricação não são capazes de produzir um número ilimitado de peças com exatidão absoluta e as causas disso são diversas, como: inexatidões das máquinas, dos dispositivos ou dos instrumentos de medição. Assim, fazem com que as dimensões reais (ou efetivas) das peças sejam diferentes daquelas indicadas no desenho, estas por sua vez, são chamadas de dimensões nominais. Peças reais possuem dimensões que se afastam para mais ou para menos da cota nominal, apresentando uma certa inexatidão (Apostila de Sistemas de Tolerâncias e Ajustes - UFPR).

2.4.1.3 Dimensões Nominais

É o nome dado as dimensões indicadas no desenho de uma peça. Elas são determinadas através do projeto mecânico, em função dos objetivos que deverão atingir (Apostila de Sistemas de Tolerâncias e Ajustes - UFPR).

2.4.1.4 Dimensões Reais ou Efetivas

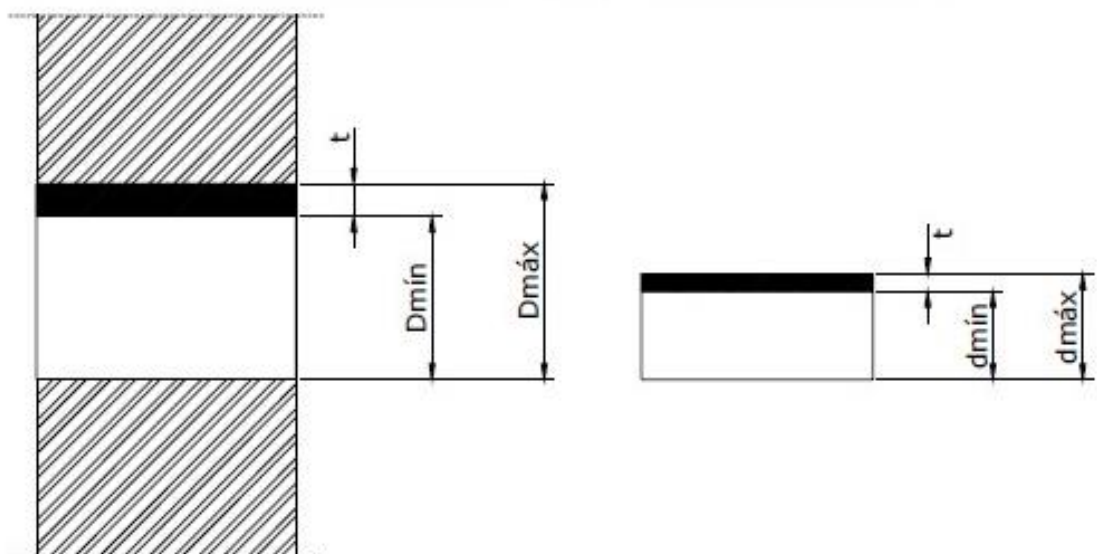
É o nome dado as dimensões reais da peça. Estas dimensões podem ser maiores, menores ou iguais às dimensões nominais (Apostila de Sistemas de Tolerâncias e Ajustes - UFPR).

2.4.2 Sistema de Ajustes e Tolerâncias

O intuito é a normalização das dimensões dos componentes, facilitando a fabricação e comercialização. É um conjunto de normas, regras e tabelas que limitam as variações das dimensões de componentes mecânicos visando a intercambiabilidade e garantir sua funcionalidade (Apostila de Sistemas de Tolerâncias e Ajustes - UFPR).

- DIMENSÕES LIMITES: correspondem a valores máximo e mínimo admissíveis para a dimensão efetiva.
- DIMENSÃO MÁXIMA: trata-se do valor máximo admissível para a dimensão efetiva.
- DIMENSÃO MÍNIMA: refere-se ao valor mínimo admissível para a dimensão efetiva.

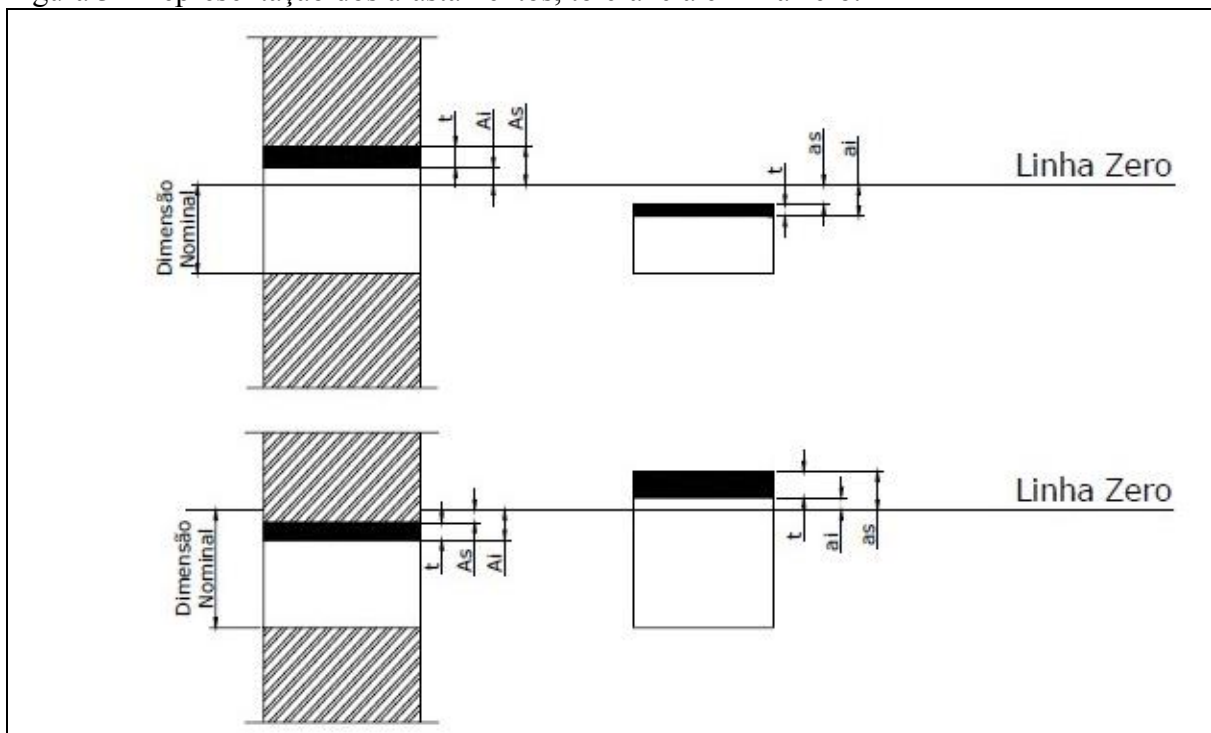
Figura 2 - Representação das Dimensões mínimas e máximas.



Fonte: Apostila de Sistemas de Tolerâncias e Ajustes - UFPR.

- AFASTAMENTOS: diferença entre as dimensões limites e a dimensão nominal
- AFASTAMENTO INFERIOR: diferença entre a dimensão mínima e a dimensão nominal. Os Símbolos: A_i para furos e a_i para eixos Figura 3.
- AFASTAMENTO SUPERIOR: diferença entre a dimensão máxima e a dimensão nominal. Os Símbolos: A_s para furos e a_s para eixos Figura 3.

Figura 3 - Representação dos afastamentos, tolerância e linha zero.



Fonte: Apostila de Sistemas de Tolerâncias e Ajustes - UFPR.

- AFASTAMENTO REAL: diferença entre a dimensão efetiva e a dimensão nominal do componente.
 - TOLERÂNCIA: é a faixa dimensional na qual a peça pode variar. Símbolo: t . A tolerância indica uma faixa de valores compreendidos entre as dimensões limites. Também denominada de Zona de Tolerância ou Campo de tolerância.
- $$t = D_{\text{máx}} - D_{\text{mín}} \text{ (Furos)} \quad (1)$$
- $$t = d_{\text{máx}} - d_{\text{mín}} \text{ (Eixos)} \text{ ou } t = A_s - A_i \text{ (Furos)} \quad (2)$$

- $t = a_s - a_i$ (Eixos) (3)
- LINHA ZERO: indica a posição da dimensão nominal em um desenho. Ela serve de referência para os afastamentos. Sendo os afastamentos acima da linha zero positivos. Aqueles abaixo da linha zero, são negativos.
- POSIÇÃO DA ZONA DE TOLERÂNCIA: trata-se da menor distância entre a linha zero e a zona de tolerância. Esta posição pode ser medida entre a linha zero e o limite inferior ou entre a linha zero e o limite superior, dependendo de qual é a menor distância.

Ajuste é o modo de se conjugar duas peças introduzidas uma na outra. Dessa forma, ajuste pode-se assegurar que as peças acopladas terão movimento relativo entre si ou estarão firmemente unidas (Apostila de Sistemas de Tolerâncias e Ajustes - UFPR).

- SUPERFÍCIE DE AJUSTE: diz-se de toda superfície de contato entre peças acopladas, sejam elas fixas ou móveis.
- AJUSTE CILÍNDRICO: ocorre entre superfícies de ajustes cilíndricas circulares. Ex.: Aro interno do rolamento com o eixo correspondente.
- AJUSTE PLANO: feito entre pares de superfícies de ajustes planas. Ex.: Ajustes entre as guias prismáticas de uma máquina-ferramenta.
- AJUSTE CÔNICO: realizado entre superfícies de ajustes cônicas circulares. Ex.: Pinos cônicos de centragem entre duas peças.
- FOLGA: ou também chamada de jogo, é a diferença, entre as dimensões do furo e do eixo, quando o eixo é menor que o furo. O Símbolo F.
- FOLGA MÁXIMA: trata-se da diferença entre as dimensões máxima do furo e mínima do eixo, quando o eixo é menor que o furo. O Símbolo $F_{\max}$.

$$F_{\max} = D_{\max} - d_{\min} . \quad (4)$$

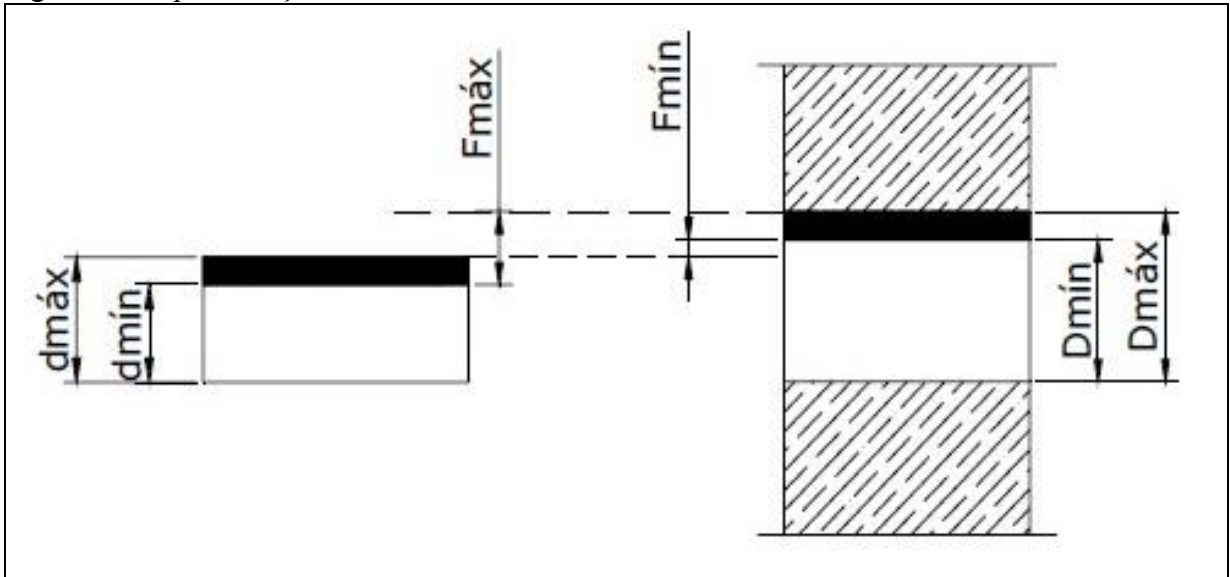
Através da equação 4 $F_{\max}$ será sempre positivo.

- FOLGA MÍNIMA: diferença entre as dimensões mínima do furo e máxima do eixo, quando o eixo é menor que o furo. O Símbolo é $F_{\min}$.

$$F_{\min} = D_{\min} - d_{\max} . \quad (5)$$

Através desta equação 5 F_{min} será sempre positivo.

Figura 4 - Representação da $F_{máx}$ e $F_{mín}$.



Fonte: Apostila de Sistemas de Tolerâncias e Ajustes - UFPR.

- INTERFERÊNCIA MÁXIMA: diferença entre as dimensões mínima do furo e máxima do eixo, quando o eixo é maior que o furo. O Símbolo é $Imáx$.

$$Imáx = D_{mín} - d_{máx}. \quad (6)$$

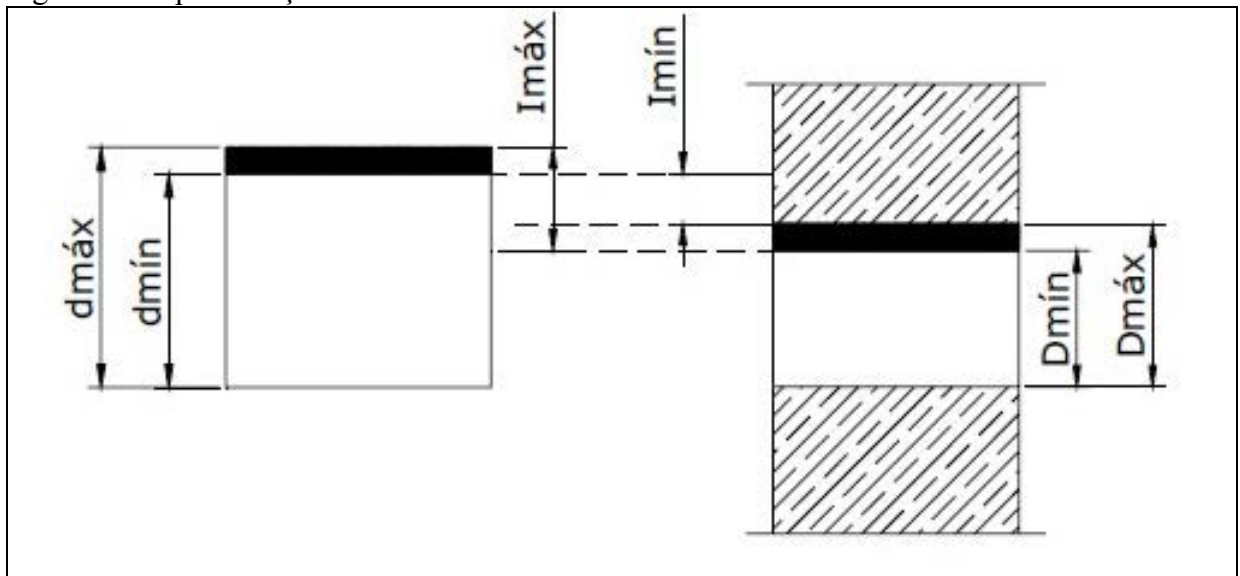
Através da equação 6, $Imáx$ será sempre negativa.

- INTERFERÊNCIA MÍNIMA: trata-se da diferença entre as dimensões máxima do furo e mínima do eixo, quando o eixo é maior que o furo. O Símbolo é $I_{mín}$.

$$I_{mín} = D_{máx} - d_{mín}. \quad (7)$$

Através da equação 7, $I_{mín}$ será sempre negativa.

Figura 5 - Representação das Interferências máximas e mínimas.



Fonte: Apostila de Sistemas de Tolerâncias e Ajustes - UFPR.

- **TOLERÂNCIA DO AJUSTE:** diz-se da variação possível da folga ou da interferência entre as peças que se acoplam. Os Símbolos são t_{AJ}

$$t_{AJ} = t_{EIXO} + t_{FURO} = t_{AJ} = F_{máx} - F_{mín} \Rightarrow \text{Ajuste com folga} \quad (8)$$

$$t_{AJ} = I_{máx} - I_{mín} \Rightarrow \text{Ajuste com Interferência} \quad (9)$$

$$t_{AJ} = F_{máx} + I_{máx} \Rightarrow \text{Ajuste Incerto} \quad (10)$$

- **AJUSTE:** No acoplamento sempre haverá ajuste, podendo ser folga ou interferência. Em um ajuste o furo e eixo terão sempre o mesmo diâmetro nominal. Dependendo das variações dimensionais entre as peças que se acoplam pode-se ter ajuste com folga (móvel), com interferência (prensado) ou incerto (indeterminado).
- **AJUSTE COM FOLGA:** trata-se daquele em que existe folga, ou jogo. É incluído o caso em que $F_{mín}$ ou $I_{máx} = 0$. Nestes ajustes tem-se: $as \leq Ai$.
- **AJUSTE COM INTERFERÊNCIA:** trata-se do ajuste em que o diâmetro do eixo é sempre maior que o diâmetro do furo. Nestes ajustes tem-se: $As < ai$.

- AJUSTE INCERTO: esse tipo de ajuste pode ser com folga ou com interferência. Neste tipo de ajuste não pode ser previsto de antemão se haverá folga ou interferência. Somente após o conhecimento das dimensões efetivas é que estes valores poderão ser determinados. Nestes ajustes tem-se: $as \geq Ai$ e $As \geq ai$.

Sistemas de ajustes é um conjunto de princípios, regras, tabelas e fórmulas que permite uma escolha racional de tolerâncias no acoplamento eixo-furo, para se obter uma condição pré-estabelecida (Apostila de Sistemas de Tolerâncias e Ajustes - UFPR).

- SISTEMA EIXO-BASE: sistema de ajuste no qual as dimensões máximas dos eixos são iguais à dimensão nominal. A linha zero constitui o limite superior da tolerância. Os furos são maiores ou menores conforme o tipo de ajuste desejado. Este sistema é usado em ajustes da capa externa de rolamentos com carcaça, buchas pré-usinadas (compradas prontas) com furo de polia, $as = 0$.
- SISTEMA FURO-BASE: sistema de ajuste no qual a dimensão mínima dos furos é igual à dimensão nominal. A linha zero constitui o limite inferior da tolerância. Os eixos são maiores ou menores conforme o tipo de ajuste desejado. Este sistema é usado em ajustes entre eixos, polias e engrenagens, $Ai = 0$.

2.4.3 Trabalhando com a ISO ((International Standartization Organization)

A principal vantagem desta normalização é a possibilidade de se utilizar um menor número de itens de ferramentas de corte e de instrumentos de medição necessários ao controle dimensional. As dimensões nominais utilizadas foram baseadas na teoria dos números normais, os quais são progressões geométricas cuja razão é uma raiz de 10 (Apostila de Sistemas de Tolerâncias e Ajustes - UFPR).

A partir destes números normalizados a norma ABNT NB-86 fixou os grupos de dimensões nominais utilizados para escolha de ajustes (Apostila de Sistemas de Tolerâncias e Ajustes - UFPR).

Figura 6 - Grupo de Dimensões Nominais utilizados para ajustes.

Grupos de Dimensões Nominais [mm]							
de 0 até 1		de 24 até 30		de 120 até 140		de 250 até 280	
1	3	30	40	140	160	280	315
3	6	40	50	160	180	315	355
6	10	50	65	180	200	355	400
10	14	65	80	200	225	400	450
14	18	80	100	225	250	450	500
18	24	100	120				

Fonte: Apostila de Sistemas de Tolerâncias e Ajustes - UFPR.

A norma ISO 286-1 define 20 classes de tolerâncias fundamentais, são conhecidas como Classes de Qualidade e são representadas pelas letras IT e seguidas de um número de ordem: IT01, IT0, IT1, ...IT18 (SILVA, RIBEIRO, DIAS, & SOUSA, 2011). As cotas pertencentes a cada determinada classe, possui o mesmo grau de precisão, independente da cota nominal.

O processo de fabricação condiciona a tolerância do produto final. Contudo, se por ventura, for obrigado a utilização de tolerâncias menores, um processo de acabamento superficial será exigido (SILVA, RIBEIRO, DIAS, & SOUSA, 2011).

Figura 7 - Representação da Qualidade IT com o processo de fabricação

Processo	Qualidade IT							
	4	5	6	7	8	9	10	11
Polimento								
Rasqueteamento								
Torneamento para acabamento								
Retificação								
Brochamento								
Mandrilamento								
Torneamento								
Aplainamento								
Frezamento								
Furação								
Fundição injetada								

Fonte: Silva et al. (2011).

Os valores das tolerâncias de cada classe estão indicados na figura abaixo.

Figura 8 – Representação das Classes de Qualidade.

Grupos de dimensões	Qualidade IT (µm)																	
mm	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
≥ 1	0.3	0.5	0.8	1.2	2.0	3	4	6	10	14	25	40	60					
> 1 ≤ 3	0.3	0.5	0.8	1.2	2.0	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
> 3 ≤ 6	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
> 6 ≤ 10	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
> 10 ≤ 18	0.5	0.8	1.2	2.0	3.0	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
> 18 ≤ 30	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
> 30 ≤ 50	0.6	1.0	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
> 50 ≤ 80	0.8	1.2	2.0	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
> 80 ≤ 120	1.0	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
> 120 ≤ 180	1.2	2.0	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
> 180 ≤ 250	2.0	3.0	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2700
> 250 ≤ 315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
> 315 ≤ 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
> 400 ≤ 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

Fonte: ebah.

Os Desvios Fundamentais são complementares as tolerâncias da Classe de Qualidade. Ambos dão os valores dos afastamentos de eixos e furos. Eles especificam a posição da zona de tolerância de acordo com a linha zero. Para um mesmo valor de tolerância, o ajuste eixo/furo pode estar em situações de folga ou aperto (SILVA, RIBEIRO, DIAS, & SOUSA, 2011).

A Norma ISO 286-1 define 28 classes de desvios fundamentais para furos e eixos. Os Furos estão representados por letras Maiúsculas: A B C CD E EF F FG G H J JS K M N P R S T U V X Y Z ZA ZB ZC. Os eixos, com letras minúsculas: a b c cd d e ef f fg g h j js k m n p r s t u v x y z za zb zc (SILVA, RIBEIRO, DIAS, & SOUSA, 2011).

Figura 9 - Representação dos desvios fundamentais de eixos.

Grupo de dimensões mm	Posição																														
	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j5 j6	j7	j8	k4 a k7	k<3 k>7	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
0 a 1			-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0		-2	-4	-6	0	0	2	4	6	10	14		18		20		26	32	40	60
> 1 ≤ 3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0		-2	-4		1	0	2	4	6	10	14		18		20		26	32	40	60
> 3 ≤ 6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4		1	0	4	8	12	16	19		23		28		36	42	60	80
> 6 ≤ 10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-5		1	0	6	10	15	19	23		28		34		42	52	67	97
> 10 ≤ 14	-290	-160	-95		-50	-32		-16		-6	0		-3	-6		1	0	7	12	18	23	28		33		40		50	64	90	130
> 14 ≤ 18	-290	-160	-95		-50	-32		-16		-6	0		-3	-6		1	0	7	12	18	23	28		33	38	46		60	77	108	160
> 18 ≤ 24	-300	-160	-110		-55	-40		-20		-7	0		-4	-8		2	0	8	15	22	28	35		41	47	54	63	73	98	136	188
> 24 ≤ 30	-300	-160	-110		-55	-40		-20		-7	0		-4	-8		2	0	8	15	22	28	35	41	48	55	64	75	88	118	160	218
> 30 ≤ 40	-310	-170	-120		-60	-50		-25		-9	0		-5	-10		2	0	9	17	26	34	43	48	60	68	80	94	112	148	200	274
> 40 ≤ 50	-320	-180	-130		-60	-50		-25		-9	0		-5	-10		2	0	9	17	26	34	43	54	70	81	97	114	135	180	242	325
> 50 ≤ 65	-340	-190	-140		-100	-60		-30		-10	0		-7	-12		2	0	11	20	32	41	53	66	87	102	122	144	172	226	300	405
> 65 ≤ 80	-360	-200	-150		-100	-60		-30		-10	0		-7	-12		2	0	11	20	32	43	59	75	102	120	146	174	210	274	360	480
> 80 ≤ 100	-380	-220	-170		-120	-72		-36		-12	0		-9	-15		3	0	13	23	37	51	71	91	124	146	178	214	268	336	446	585
> 100 ≤ 120	-410	-240	-180		-120	-72		-36		-12	0		-9	-15		3	0	13	23	37	54	79	104	144	172	210	264	310	400	525	690
> 120 ≤ 140	-460	-260	-200		-145	-85		-43		-14	0		-11	-18		3	0	15	27	43	63	92	122	170	202	248	300	365	470	620	800
> 140 ≤ 160	-520	-280	-210		-145	-85		-43		-14	0		-11	-18		3	0	15	27	43	66	100	134	190	228	280	340	415	535	700	900
> 160 ≤ 180	-580	-310	-230		-145	-85		-43		-14	0		-11	-18		3	0	15	27	43	68	108	146	210	262	310	380	465	600	780	1000
> 180 ≤ 200	-660	-340	-240		-170	-100		-50		-15	0		-13	-21		4	0	17	31	50	77	122	166	236	284	360	425	520	670	880	1150
> 200 ≤ 225	-740	-380	-260		-170	-100		-50		-15	0		-13	-21		4	0	17	31	50	80	130	180	258	310	385	470	575	740	960	1250
> 225 ≤ 250	-820	-420	-280		-170	-100		-50		-15	0		-13	-21		4	0	17	31	50	84	140	195	264	340	425	520	640	820	1050	1350
> 250 ≤ 280	-920	-480	-300		-190	-110		-56		-17	0		-16	-26		4	0	20	34	56	94	158	218	315	385	475	580	710	920	1200	1550
> 280 ≤ 315	-1060	-540	-330		-190	-110		-56		-17	0		-16	-26		4	0	20	34	56	98	170	240	350	425	525	650	790	1000	1300	1700
> 315 ≤ 355	-1200	-600	-360		-210	-125		-62		-18	0		-18	-28		4	0	21	37	62	108	190	268	390	475	590	730	900	1150	1500	1900
> 355 ≤ 400	-1360	-680	-400		-210	-125		-62		-18	0		-18	-28		4	0	21	37	62	114	208	294	435	530	660	820	1000	1300	1650	2100
> 400 ≤ 450	-1500	-760	-440		-230	-135		-68		-20	0		-20	-32		5	0	23	40	68	126	232	330	480	585	740	920	1100	1450	1850	2400
> 450 ≤ 500	-1660	-840	-480		-230	-135		-68		-20	0		-20	-32		5	0	23	40	68	132	262	360	530	660	820	1000	1250	1600	2100	2600

Fonte: ebah.

Figura 10 - Representação dos desvios fundamentais de furos.

Afastamentos de referencia para furos – afastamentos inferiores (µm)												
>	≤	A	B	C	Cd	D	E	EF	F	FG	G	H
0	1	X	X	60	34	20	14	10	6	-4	2	0
1	3	270	140	60	34	20	14	10	6	-4	2	0
3	6	270	140	70	46	30	20	14	10	-6	4	0
6	10	280	150	80	56	40	25	18	13	-8	5	0
10	14	290	150	95	X	50	32	X	16	X	6	0
14	18	290	150	95	X	60	32	X	16	X	6	0
18	24	300	160	110	X	65	40	X	20	X	7	0
24	30	300	160	110	X	65	40	X	20	X	7	0
30	40	310	170	120	X	80	50	X	25	X	9	0
40	50	320	180	130	X	80	50	X	25	X	9	0
50	65	340	180	140	X	100	60	X	30	X	10	0
65	80	360	200	150	X	100	60	X	30	X	10	0
80	100	380	220	170	X	120	72	X	36	X	12	0
100	120	410	240	180	X	120	72	X	36	X	12	0
120	140	460	260	200	X	145	85	X	43	X	14	0
140	160	520	280	210	X	145	85	X	43	X	14	0
160	180	580	310	230	X	145	85	X	43	X	14	0
180	200	660	340	240	X	170	100	X	50	X	15	0
200	225	740	380	260	X	170	100	X	50	X	15	0
225	250	820	420	280	X	170	100	X	50	X	15	0
250	280	920	480	300	X	190	110	X	56	X	17	0
280	315	1050	540	330	X	190	110	X	56	X	17	0
315	355	1200	600	360	X	210	125	X	62	X	18	0
355	400	1350	680	400	X	210	125	X	62	X	18	0
400	450	1500	760	440	x	230	135	X	68	X	20	0

Fonte: ebah.

Figura 11 - Representação dos desvios fundamentais de furos.

Afastamentos de referência para furos – afastamentos superiores (µm)																				
>	≤	J5 J6	J7	J8	K4 a K7	K≤3 K>7	M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZB
0	1	2	4	6	0	0	-2	-4	-6	-10	-14	X	-18	X	-20	X	-26	-32	-40	-60
1	3	2	4	6	0	0	-2	-4	-6	-10	-14	X	-18	X	-20	X	-26	-32	-40	-60
3	6	2	4	X	-1	0	-4	-8	-12	-15	-19	X	-23	X	-28	X	-35	-42	-50	-80
6	10	2	5	X	-1	0	-6	-10	-15	-19	-23	X	-28	X	-34	X	-42	-52	-67	-97
10	14	3	5	X	-1	0	-7	-12	-18	-23	-28	X	-33	X	-40	X	-50	-64	-90	-130
14	18	3	6	X	-1	0	-7	-12	-18	-23	-28	X	-33	39	-45	X	-60	-77	-108	-150
18	24	4	8	X	-2	0	-8	-15	-22	-28	-35	X	-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188
24	30	4	8	X	-2	0	-8	-15	-22	-28	-35	-41	-48	-55	-64	-75	-88	-118	-160	-218
30	40	5	10	X	-2	0	-9	-17	-26	-34	-43	-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274
40	50	5	10	X	-2	0	-9	-17	-26	-34	-43	-54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	-325
50	65	7	12	X	-2	0	-11	-20	-32	-41	-53	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405
65	80	7	12	X	-2	0	-11	-20	-32	-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480
80	100	9	15	X	-3	0	-13	-23	-37	-51	-71	-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585
100	120	9	15	X	-3	0	-13	-23	-37	-54	-79	-104	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	-690
120	140	11	18	X	-3	0	-15	-27	-43	-63	-92	-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800
140	160	11	18	X	-3	0	-15	-27	-43	-65	-100	-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	-900
160	180	11	18	X	-3	0	-15	-27	-43	-68	-108	-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	-1000
180	200	13	21	X	-4	0	-17	-31	-50	-77	-122	-166	-236	-284	-350	-425	-520	-670	-880	-1150
200	225	13	21	X	-4	0	-17	-31	-50	-80	-130	-180	-258	-310	-385	-470	-575	-740	-960	-1250
225	250	13	21	X	-4	0	-17	-31	-50	-84	-140	-196	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1050	-1350
250	280	16	26	X	-4	0	-20	-34	-56	-84	-158	-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1200	-1550
280	315	16	26	X	-4	0	-20	-34	-56	-98	-170	-240	-350	-423	-525	-650	-790	-1000	-1300	-1700
315	355	18	28	X	-4	0	-21	-37	-62	-108	-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	-1900
355	400	18	28	X	-4	0	-21	-37	-62	-114	-208	-294	-435	-530	-660	-820	-1000	-1300	-1650	-2100
400	450	20	32	X	-5	0	-23	-40	-68	-126	-232	-330	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450	-1850	-2400
450	500	20	32	X	-5	9	-23	-40	-68	-132	-252	-360	-530	-660	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	-2800

Fonte: ebah.

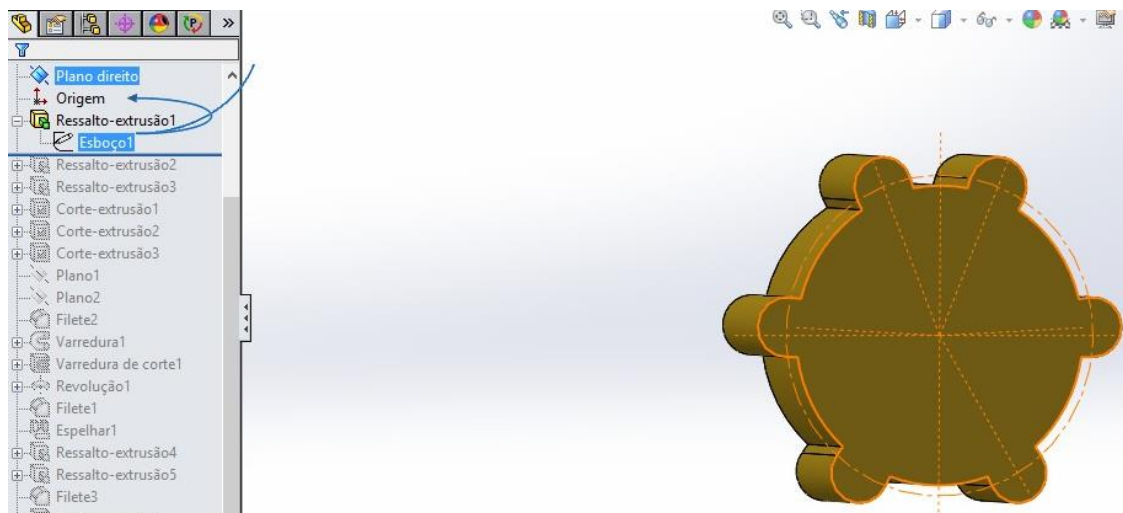
3 CONSTRUÇÃO DOS COMPONENTES DO CONJUNTO DA BOMBA POR CAD

3.1 MODELAGEM DAS PEÇAS DO CONJUNTO

3.1.1 Construção da Carcaça

Primeiramente, no ambiente Esboço, é feito o desenho de acordo com as dimensões presentes no livro Desenhista de Máquinas. Após finalizar o esboço, é utilizado o recurso, Ressalto-Extrusão.

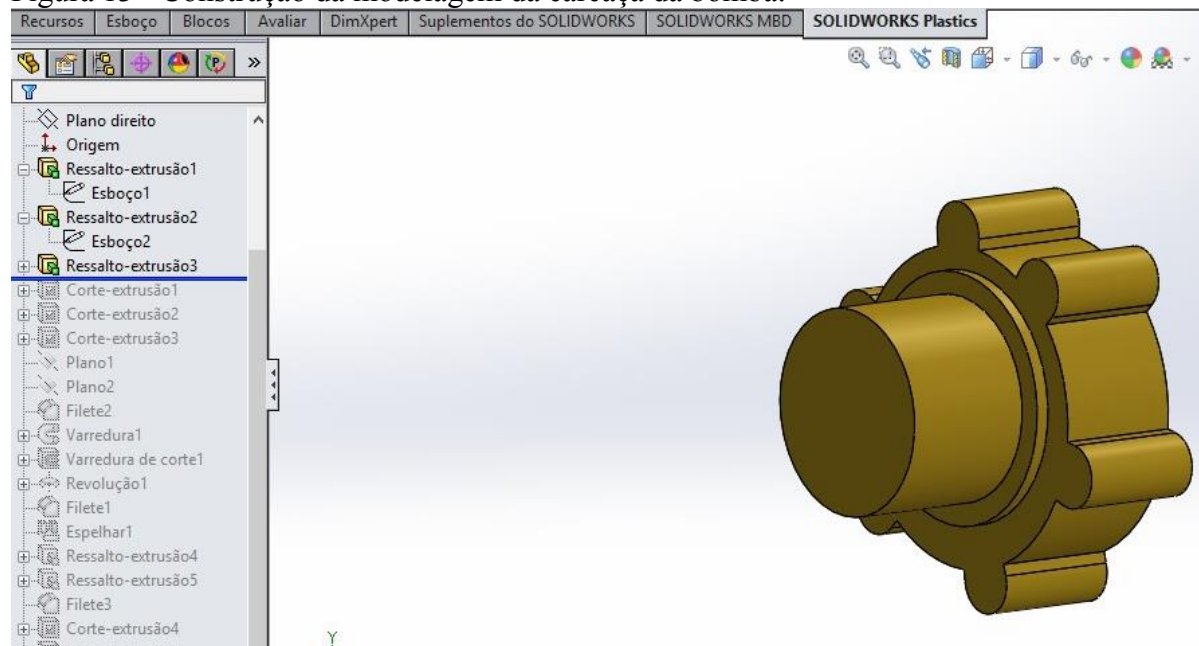
Figura 12 - Figura representando o início de construção da carcaça da bomba.



Fonte: Autoria Própria.

Após concluir o primeiro ressalto, é feito mais um esboço que origina o Ressalto-Extrusão 2. E também é feito o esboço 3, originando Ressalto-extrusão 3, como está mostrado na figura 13.

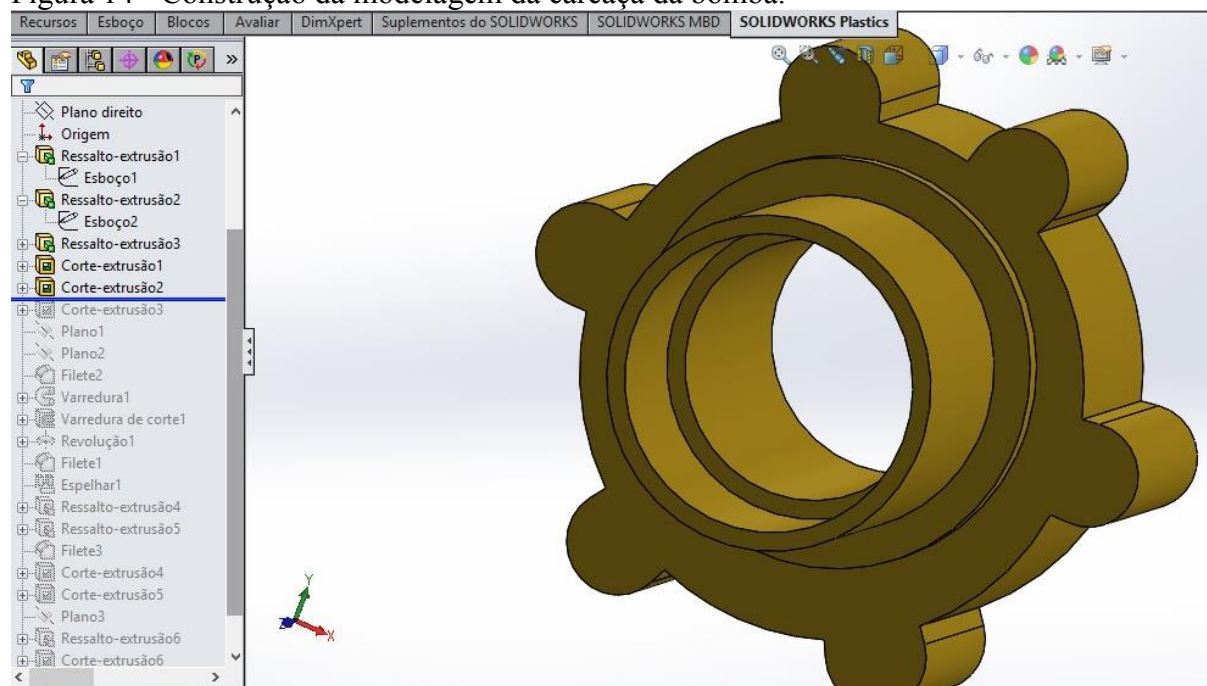
Figura 13 - Construção da modelagem da carcaça da bomba.



Fonte: Autoria Própria.

Depois disso, é necessário aplicar o recurso Corte-Extrusão. Antes de utilizar tal ferramenta, deve-se realizar o esboço do furo para que depois este seja executado. Está mostrado na figura 14.

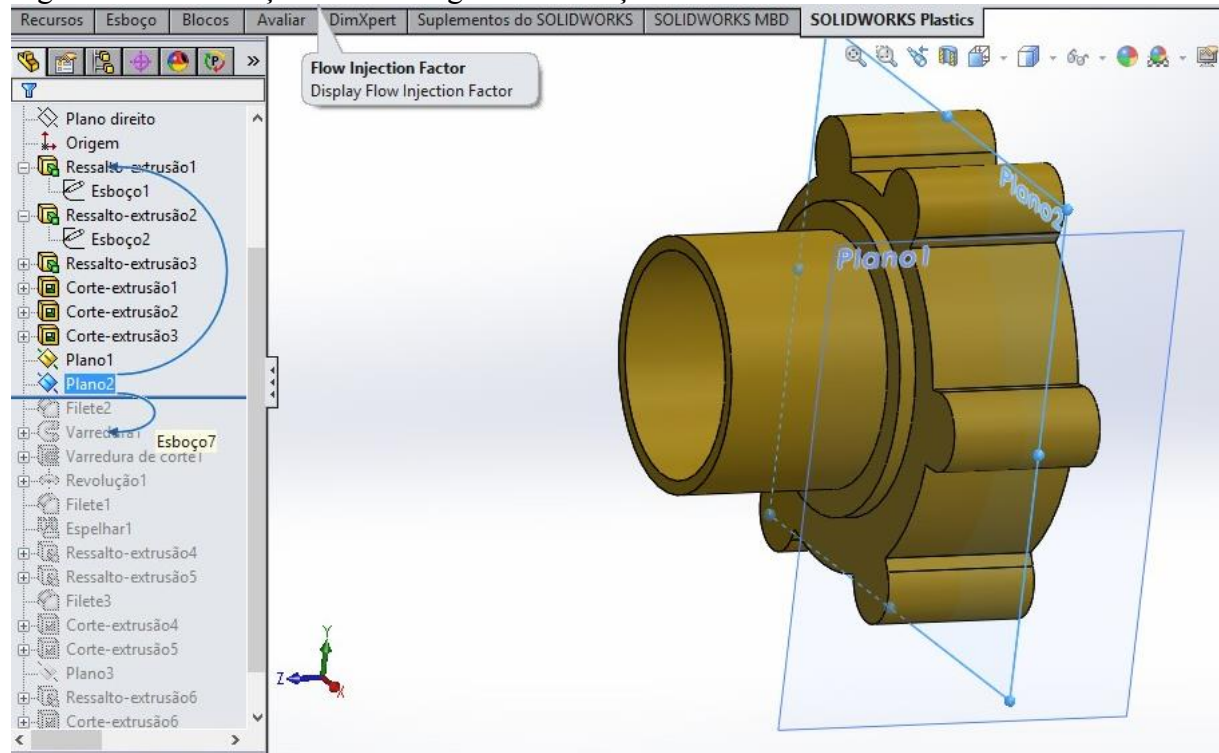
Figura 14 - Construção da modelagem da carcaça da bomba.



Fonte: Autoria Própria.

Para iniciar a construção da sucção e descarga, é necessário primeiramente inserir o plano onde está situado o começo da sucção. Neste caso é o plano 1. O plano dois, auxilia na construção do perfil do bocal. Como está mostrado na figura 15.

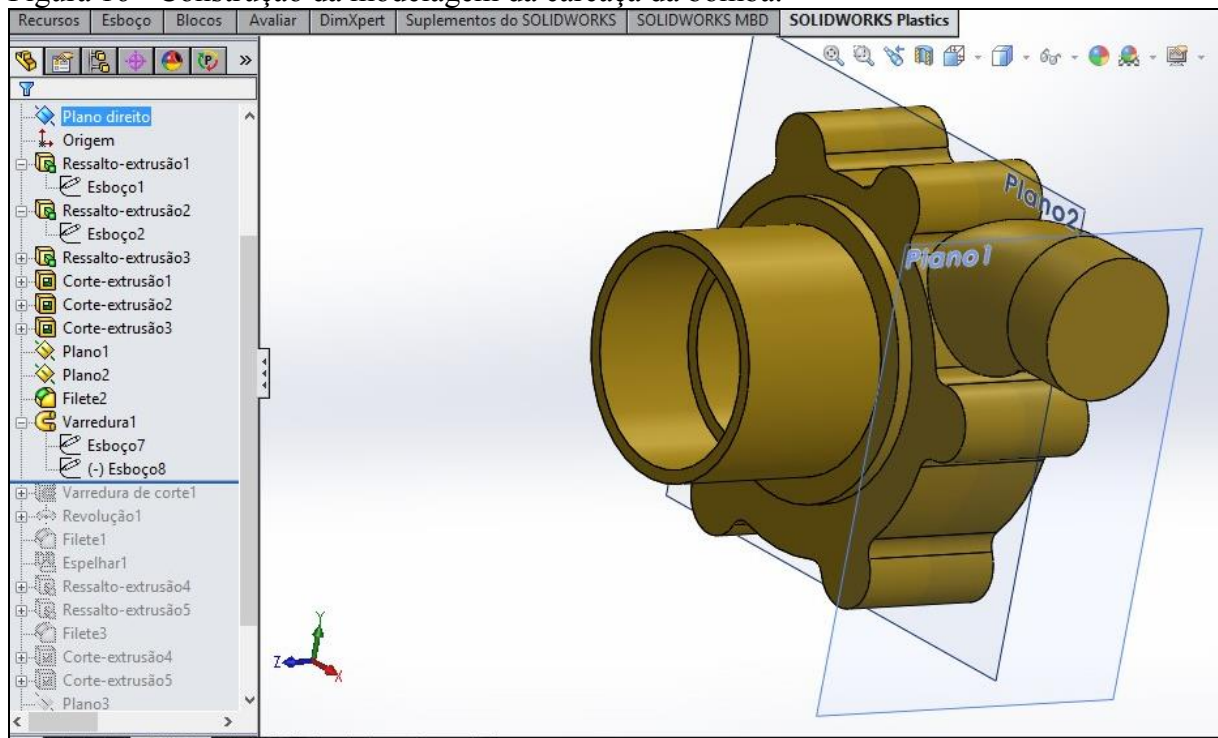
Figura 15 - Construção da modelagem da carcaça da bomba.



Fonte: Autoria Própria.

Podemos ver nessa figura 16, foi construído um esboço circular. Através do Recurso Varredura, construiu-se a linha de sucção.

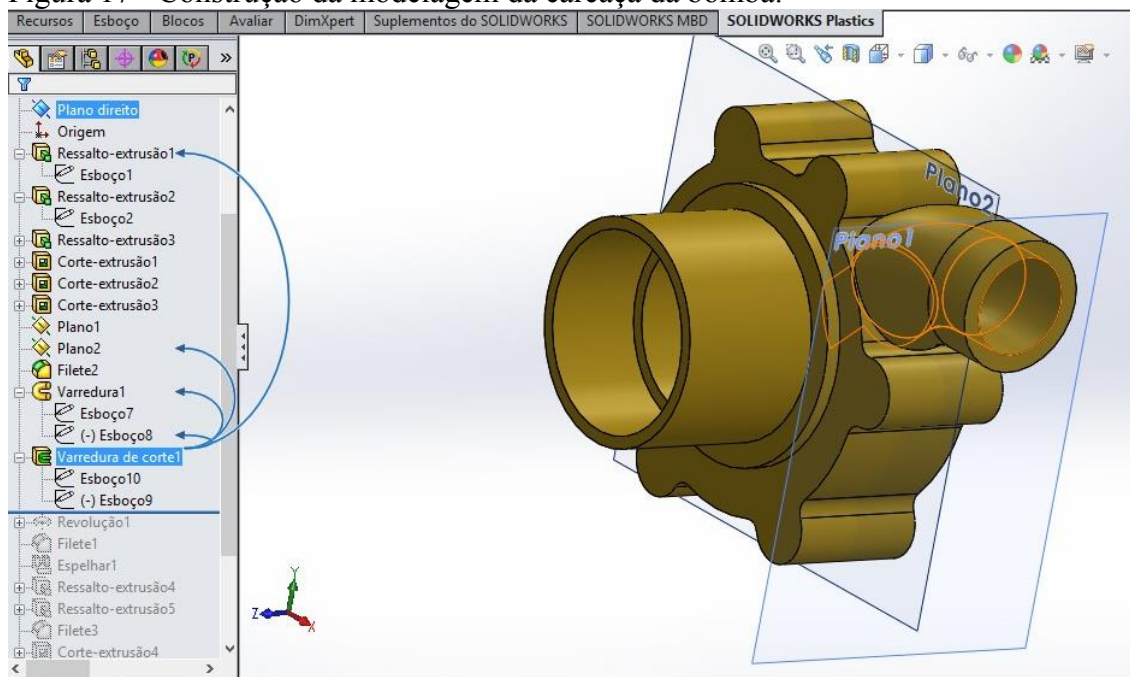
Figura 16 - Construção da modelagem da carcaça da bomba.



Fonte: Autoria Própria.

Na figura 17, é feito o esboço do diâmetro da aspiração e depois, faz outro corte por Varredura.

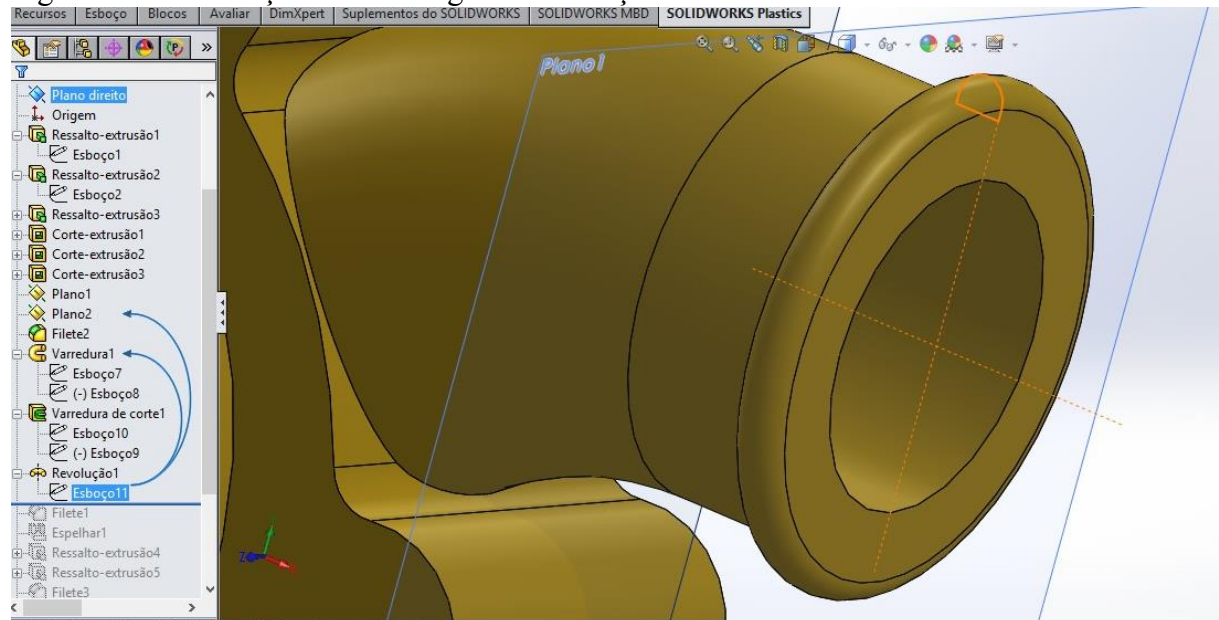
Figura 17 - Construção da modelagem da carcaça da bomba.



Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 18, é feito o desenho indicado na cor laranja. Depois é feito o detalhe utilizando o comando Revolução.

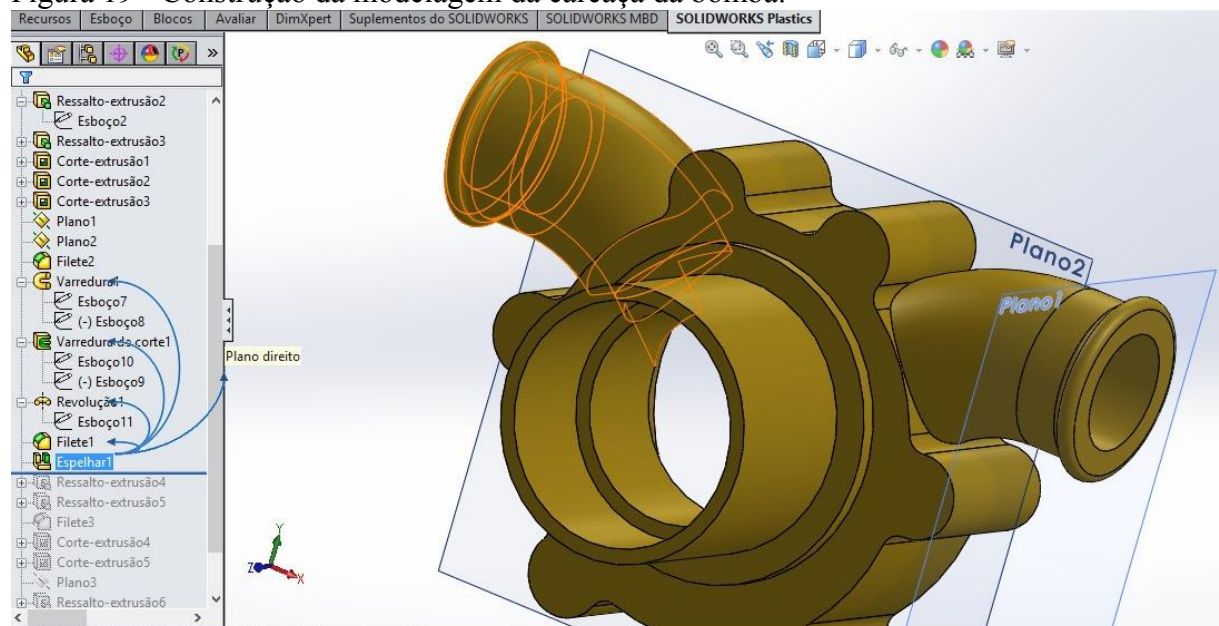
Figura 18 - Construção da modelagem da carcaça da bomba.



Fonte: Autoria Própria.

Na figura 19, é espelhado a linha de sucção na descarga utilizando o comando espelhar. Ambas as linhas são simétricas.

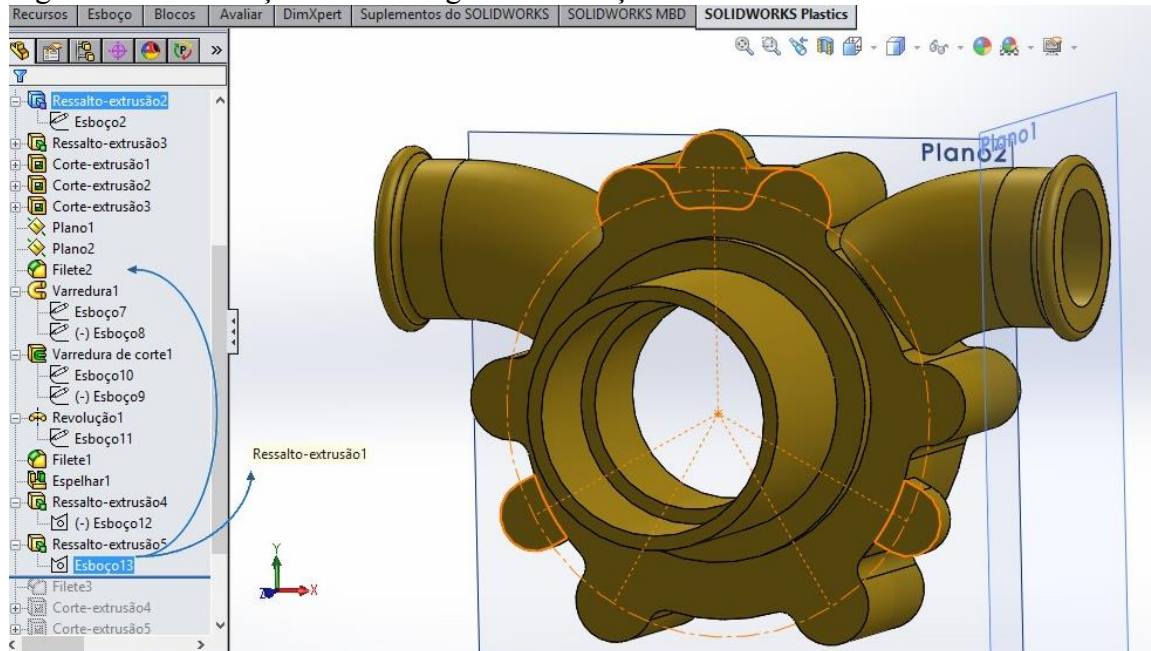
Figura 19 - Construção da modelagem da carcaça da bomba.



Fonte: Autoria Própria.

Na figura 20, podemos ver contornado em laranja o esboço do que posteriormente dará origem a um detalhe. A forma é dada utilizando o Recurso Ressalto-extrusão.

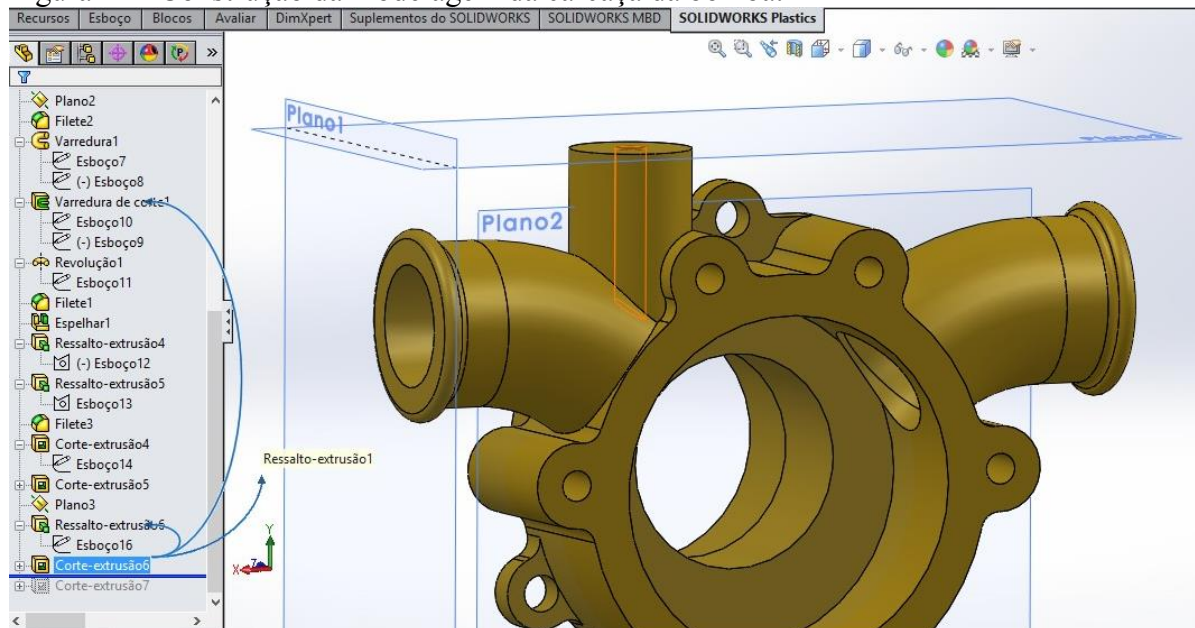
Figura 20 - Construção da modelagem da carcaça da bomba.



Fonte: Autoria Própria.

Na figura 21, é inserido um novo plano, chamado plano 3. Nesse plano, é desenhado um círculo que será a base do copinho. O recurso utilizado para dar forma é o Ressalto-extrusão. Depois faz o esboço circular e com o Recurso Corte-extrusão é feito o furo. Está representado os furos nas figuras 21 e 22.

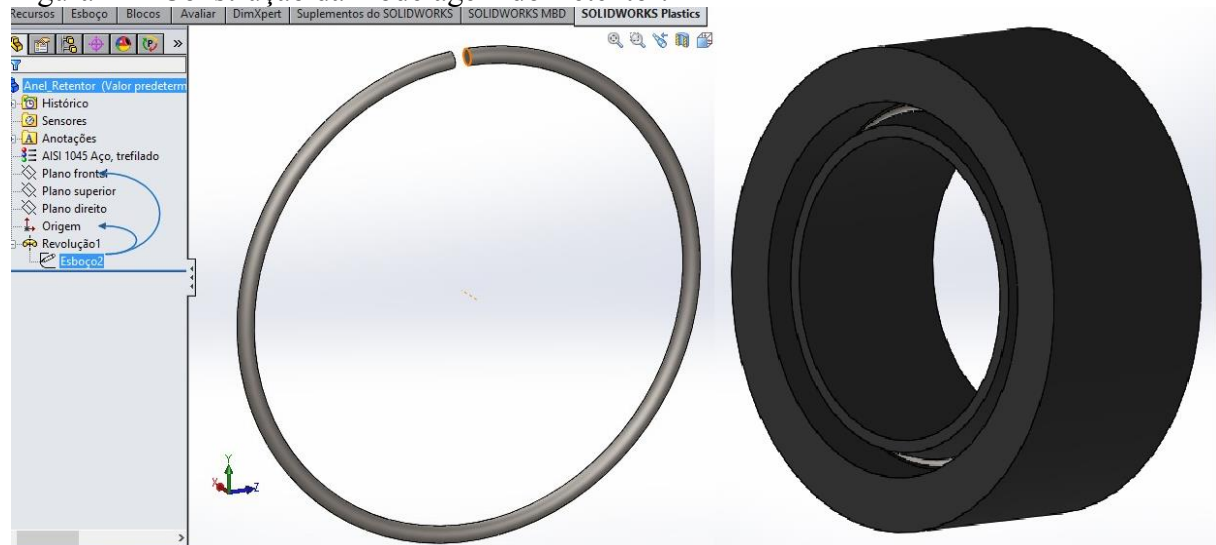
Figura 21 - Construção da modelagem da carcaça da bomba.



Fonte: Autoria Própria.

Na figura 24, o anel foi desenhado, primeiramente fazendo seu perfil circular no ambiente de esboço. Depois, foi usado o recurso Revolução para originar a forma do anel. Após finalizar a construção do anel, ele foi inserido no corpo de borracha para dar origem ao retentor.

Figura 24 - Construção da modelagem do Retentor.

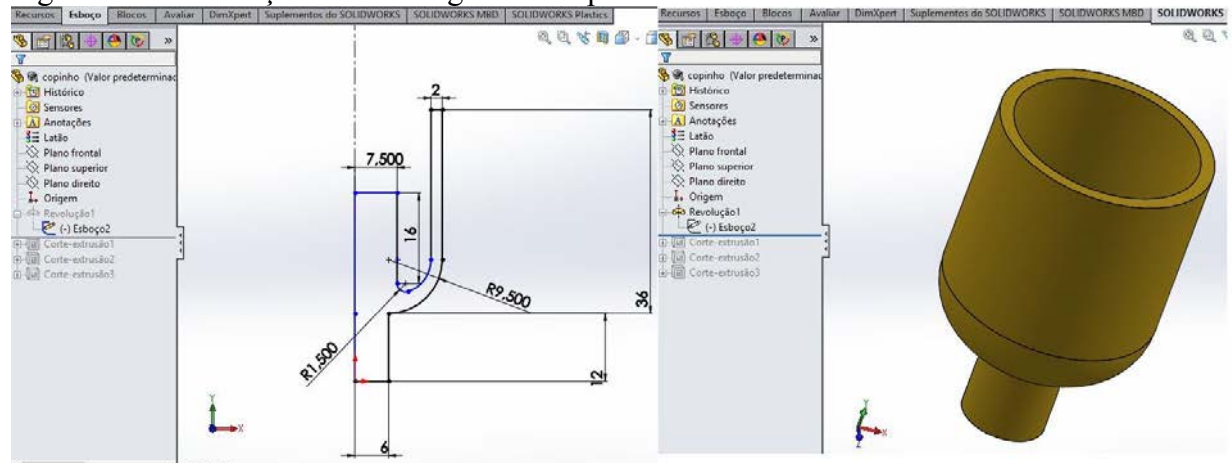


Fonte: Autoria Própria.

3.1.3 Construção da Copinho

Na figura 25, está o começo da construção do copinho. Primeiramente, é desenhado o perfil no ambiente Esboço. Depois, com o Recurso Revolução, dá-se forma a peça.

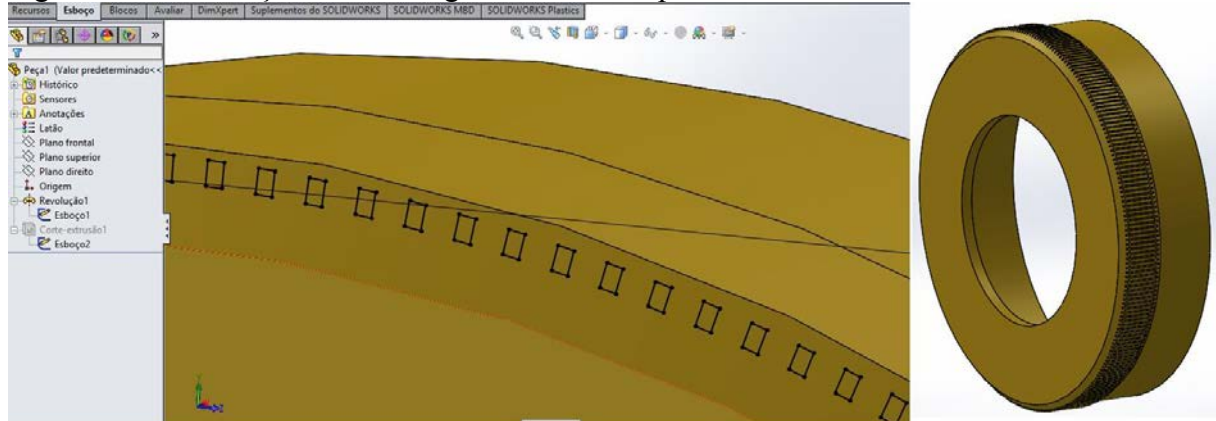
Figura 25 - Construção da modelagem do Copinho.



Fonte: Autoria Própria.

Na figura 28, dá-se prosseguimento aos detalhes. É feito um esboço, depois com o comando Circular Pattern multiplicá-se esse esboço. Com o Comando Corte Extrudado dá-se origem as ranhuras da peça.

Figura 28 - Construção da modelagem da Porca Especial.

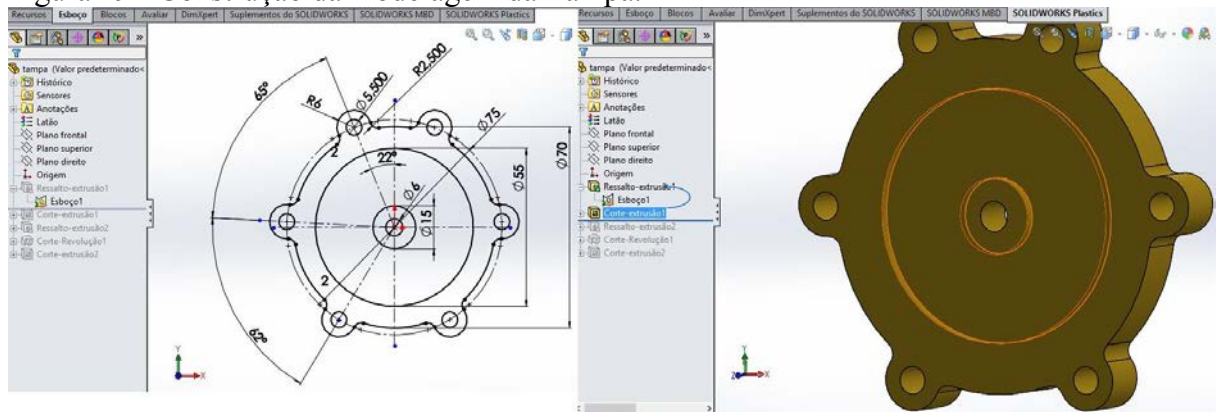


Fonte: Autoria Própria.

3.1.5 Construção da Tampa

Na figura 29, inicia-se a construção da tampa. É feito no ambiente Esboço o desenho da tampa da peça, com as dimensões estabelecidas em projeto. Depois de finalizado o esboço, é dado prosseguimento realizando o Ressalto, através do recurso Ressalto-Extrusão.

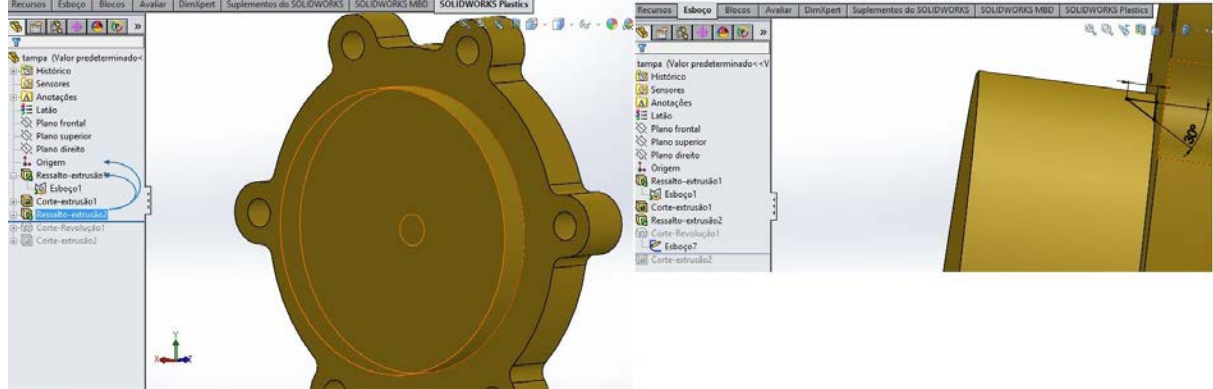
Figura 29 - Construção da modelagem da Tampa.



Fonte: Autoria Própria.

Na figura 30, no ambiente Esboço, usou-se da ferramenta Converter Entidades no diâmetro de 55. Isso permite usar o esboço para criação do Ressalto. Após concluir o ressalto, é desenhado um triângulo que posteriormente dará origem a um detalhe.

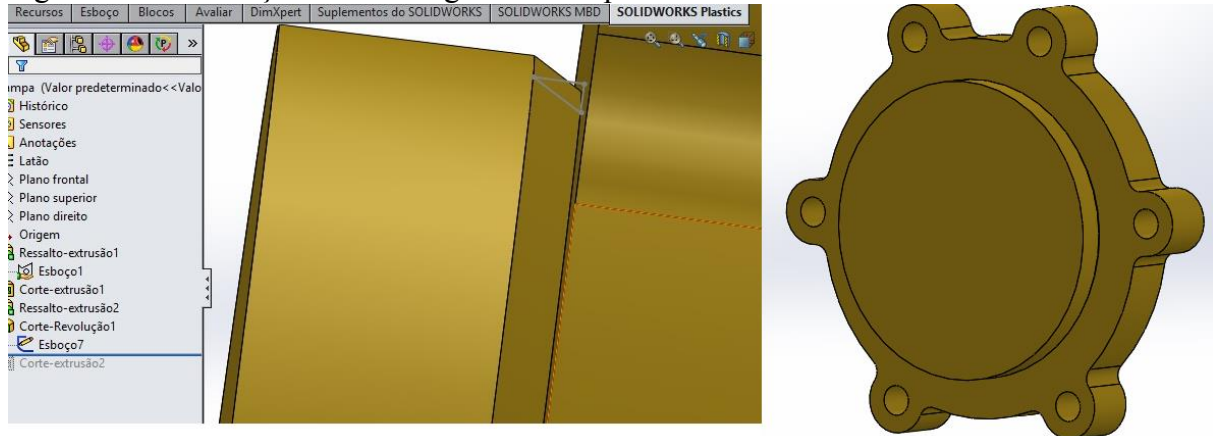
Figura 30 - Construção da modelagem da Tampa.



Fonte: Autoria Própria.

Na figura 31, podemos visualizar o detalhe. Ele foi executado utilizando o comando de Corte-Revolução. Na figura 31, também podemos visualizar a tampa finalizada.

Figura 31 - Construção da modelagem da Tampa.

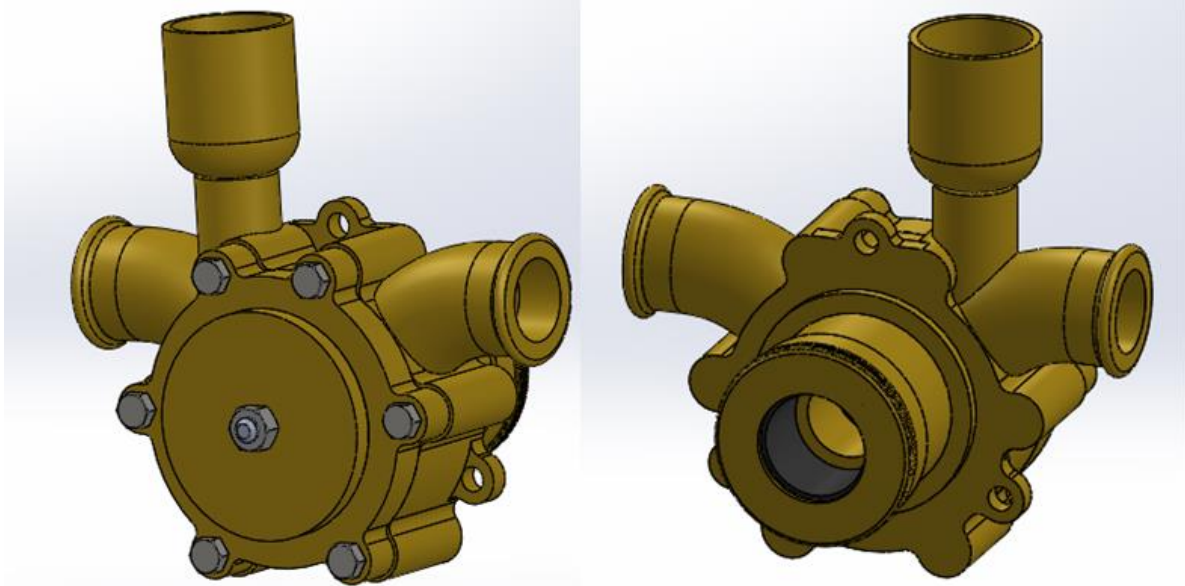


Fonte: Autoria Própria.

3.1.6 Montagem finalizada

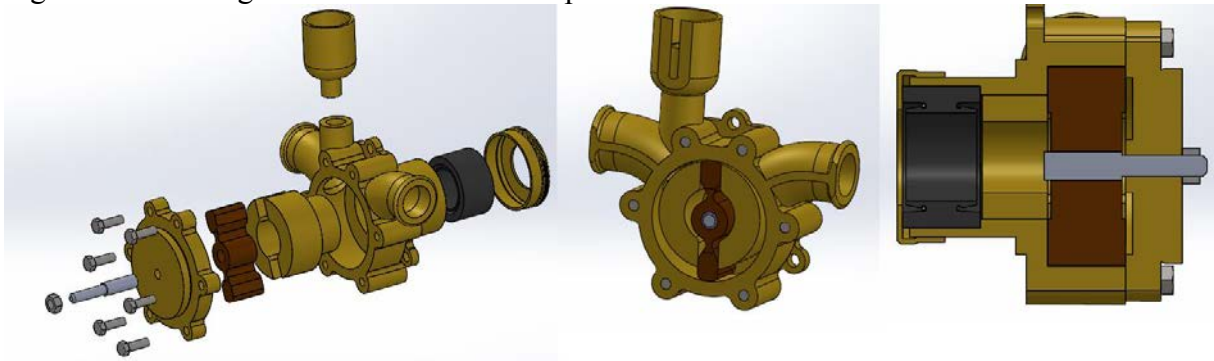
Podemos ver na figura 32 a montagem da bomba. Na figura se encontra a visão da geral da bomba, com a parte da frente e de trás. Na figura 33, vê-se a vista explodida do equipamento e seu corte de secção.

Figura 32 - Montagem finalizada – Vista Frontal e Posterior.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 33 - Montagem finalizada – Vista explodida e corte seccional.



Fonte: Autoria Própria.

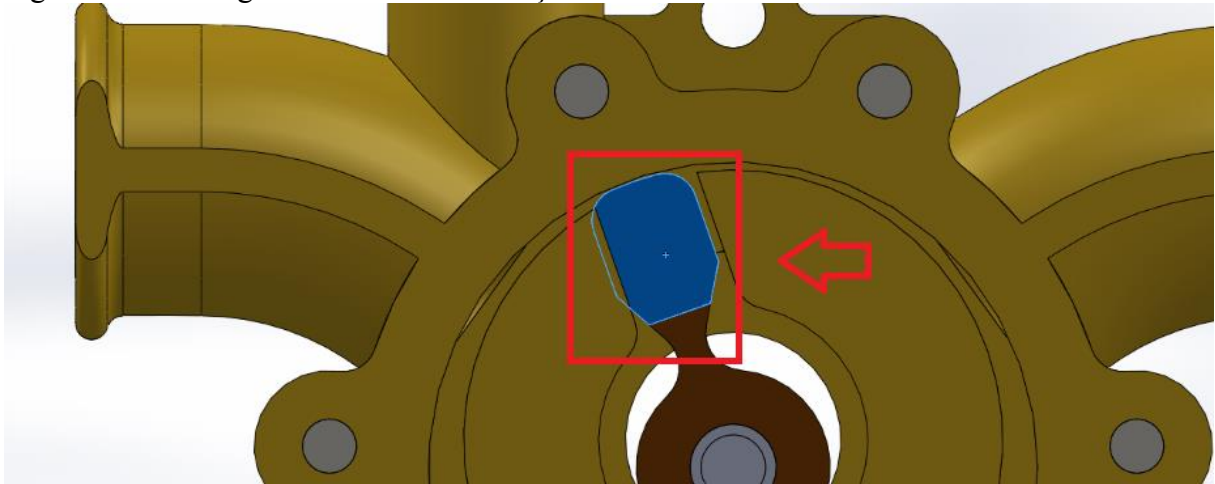
3.2 MUDANÇAS NO PROJETO

3.2.1 Detecção de erro no Projeto base

Foi detectado um erro no projeto original. Ao girar a palheta na cavidade da carcaça, a palheta se deslocava e gerava interferência na guia de palheta. Isso ocorre pois o eixo de

rotação da bomba é excêntrico, com isso, a palheta tem que se deformar para acompanhar a parede da carcaça; contanto, no projeto original no qual foi baseado o projeto isso não é possível de ocorrer pois a guia de palheta não permite essa deformação. Dessa forma, gera a interferência. A interferência gerada é mostrada na imagem abaixo.

Figura 34 - Montagem finalizada – Detecção de erro- Interferência.



Fonte: Autoria Própria.

3.2.2 Desenvolvimento de Melhorias

Para aproveitar a maioria das peças já desenhadas, foi optado desenvolver uma bomba de palheta com impelidor flexível. O motivo para escolha desse modelo de bomba tem como base:

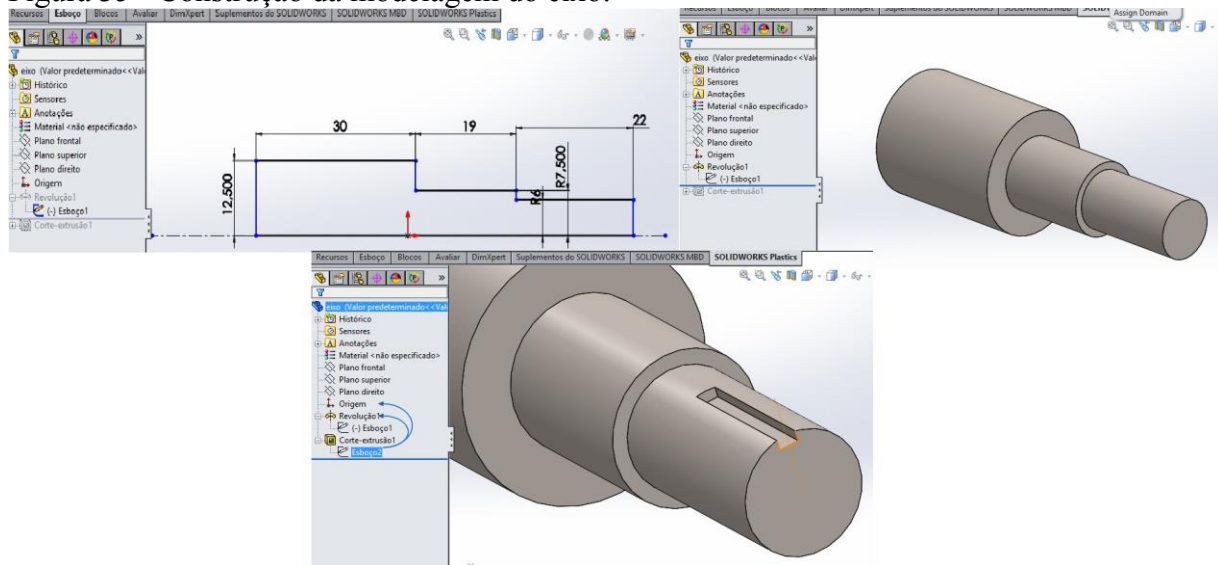
- Dimensão: as dimensões da bomba de palheta do livro Desenhista de Máquinas são bem próximas da bomba de palheta flexível;
- Aplicabilidade: a Bomba de Palheta Flexível existe no mercado, muito utilizada na refrigeração de motores de combustão interna na indústria marítima. Também nesse mesmo meio, é utilizada como bomba de lastro e sanitária. Também possui aplicabilidade na indústria de alimentos.

Para o prosseguimento do desenvolvimento das melhorias, será necessário desenhar novos componentes, sendo eles: eixo, bucha e chaveta.

3.2.2.1 Modelagem Eixo

É uma modelagem bem simples. Basta apenas desenhar no ambiente Esboço metade do perfil do eixo. Aí pelo recurso, Revolução, dá-se forma a peça, como pode ser visto na figura 35.

Figura 35 - Construção da modelagem do eixo.



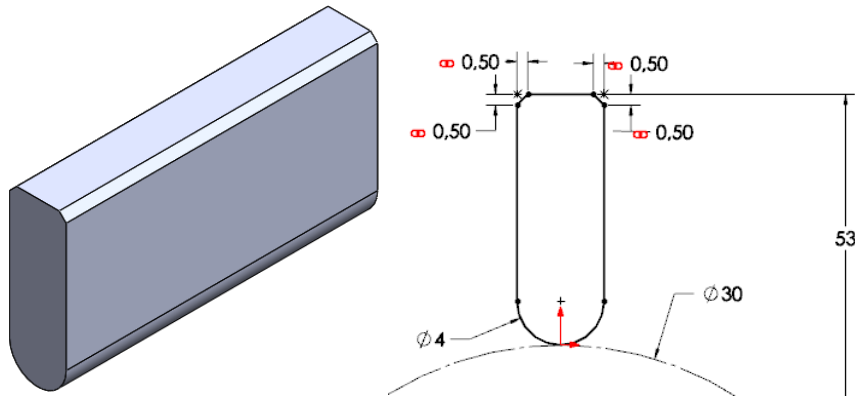
Fonte: Autoria Própria.

3.2.3 Desenvolvimento do Impedidor e de seu movimento na Carcaça

O evento de simular o movimento do Impedidor, dentro da carcaça da bomba, se dá por meio de uma combinação de ações as quais podemos listar:

1. Ponto de Flexão das hastes – Pivot_Haleta: Foi desenvolvido uma peça para simular o corpo do Impedidor conforme figura 36.

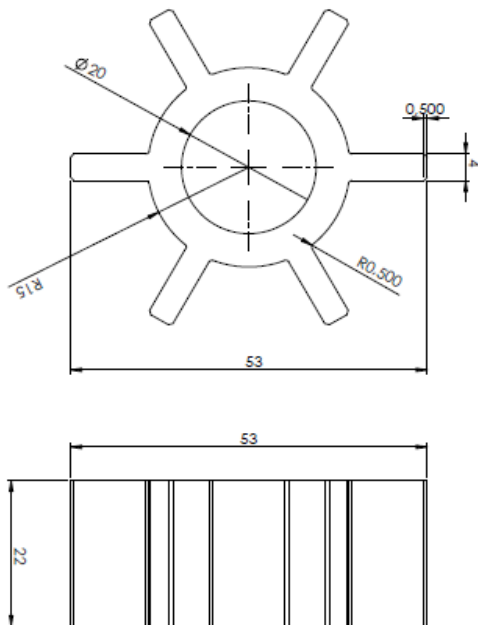
Figura 36 - Construção da modelagem da Palheta do Impedidor.



Fonte: Autoria Própria.

A figura 37 representa o croqui do impelidor.

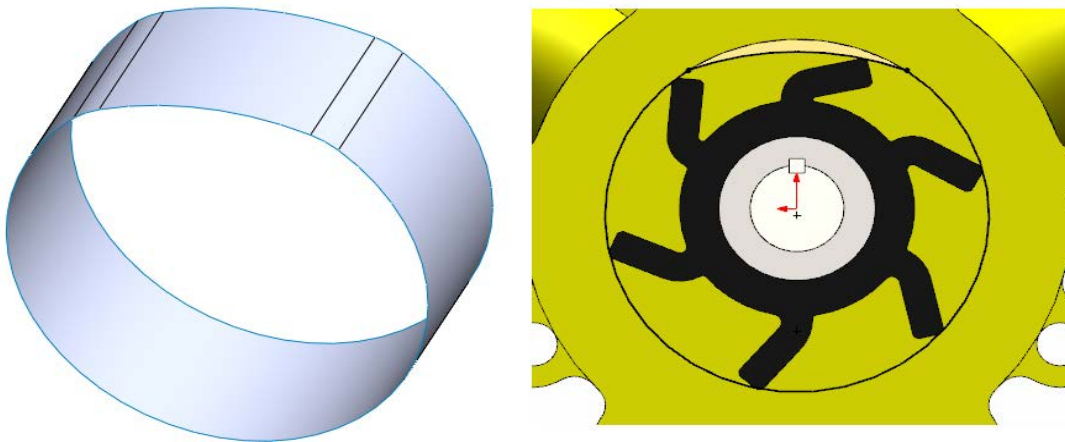
Figura 37 - Croqui do impelidor.



Fonte: Autoria Própria.

2. Superfície de Orientação – Surface_Path: Utilizando o Recurso de Conversão de Arestas, foi criada uma superfície utilizando as arestas da Carcaça e do Came para orientar o movimento das hastes. Esta operação foi realizada em modo “In-Context” para a capturar das arestas em questão. A Surface_Path foi suavizada com a adição de fillets na parte superior. Isso é necessário para criação da transição entre os movimentos do Impelidor.

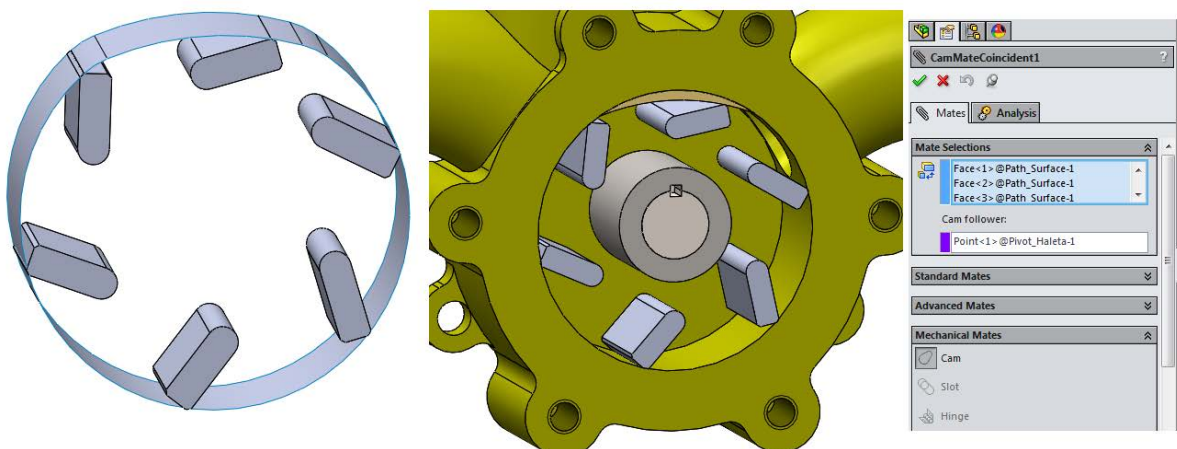
Figura 38 - Representação da Surface Path e do encaixe do impelidor.



Fonte: Autoria Própria.

3. Montagem dos Pivot_Haletas: O posicionamento das peças foi realizado utilizando o comando Cam, conforme imagem abaixo. É possível observar a relação de dependência entre Pivot_haletas e Surface Path. Depois de concluído, é ocultado a Surface_Path.

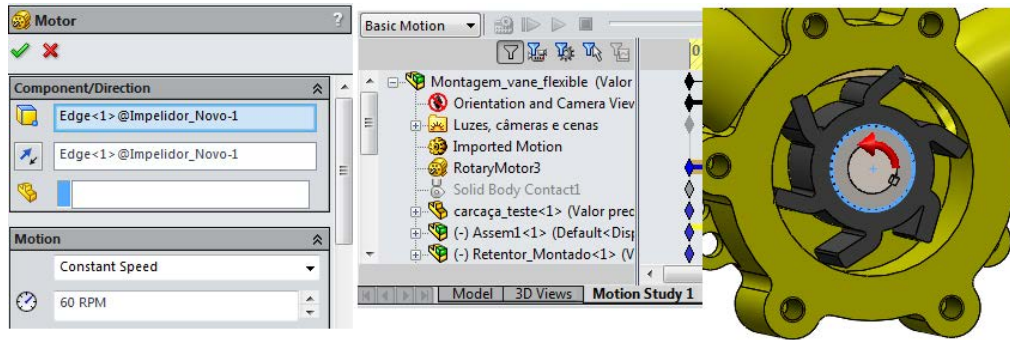
Figura 39 - Posicionamento das Palhetas .



Fonte: Autoria Própria.

4. Simulação de movimento 1 – Basic Motion: Uma vez que os Pivot_haletas estão montados em suas respectivas posições, precisa-se garantir que eles percorrerão o caminho desejado, seguindo as restrições concluídas anteriormente. Para isso, realiza-se a simulação do movimento, no modo “Basic Motion” e independente do Impelidor, gerando o movimento nos elementos simuladores. É Adicionado um motor, com as definições desejadas, e seleciona-se as arestas destacadas na figura 40.

Figura 40 - Simulação do Movimento 1.

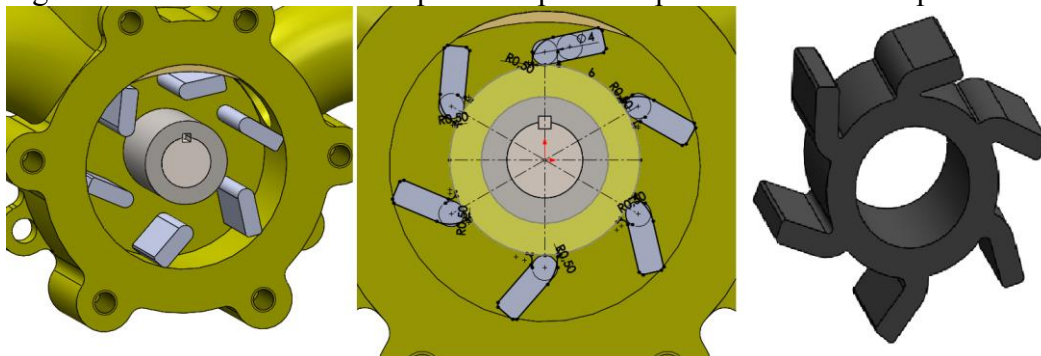


Fonte: Autoria Própria.

+

5. Modelamento do Impelidor: É necessário garantir que as posições estejam corretas durante a execução do movimento, para prosseguir com a modelagem da peça. O impelidor foi modelado no modo “In-Context”, contexto no ambiente de montagem, utilizando arestas projetadas oriundas dos elementos simuladores. Isto se faz necessário para garantir que a cada etapa da rotação do sistema transmita essa informação para atualizar o modelo 3D do Impelidor.

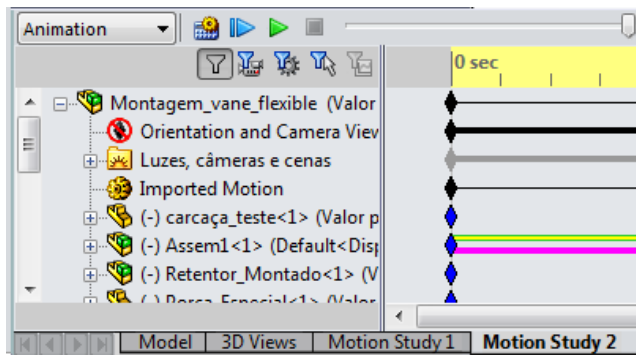
Figura 41 - Modelamento do Impelidor a partir do posicionamento das palhetas.



Fonte: Autoria Própria.

6. Simulação de movimento 2 – Animation: Após reunir todas as peças necessárias, foi realizado uma análise de simulação do tipo “Basic Motion” para gerar o resultado esperado do movimento rotativo do eixo do mecanismo, assim como garantir que as palhetas inseridas realizariam o movimento desejado. Para garantir a simulação de movimento do impelidor, foi criado uma nova simulação, dentro do mesmo ambiente de montagem, e importando a simulação anteriormente realizada. Foi operada no formato “Animation”.

Figura 42 - Simulação de Movimento 2.



Fonte: Autoria Própria.

4 TRABALHANDO COM TOLERÂNCIAS E AJUSTES

4.1 TOLERÂNCIAS DE ACORDO COM A ABNT

4.1.1 Tolerâncias Parafusos

Parafusos respondem a Normas para Padronização, essa Norma especifica um sistema de tolerâncias para roscas métricas ISO para aplicação geral (M) de acordo com a NBR ISO 04:003.03-029. O sistema de tolerâncias se refere ao perfil básico de acordo com a NBR ISO 04:003.03-028 (ABNT, 2004).

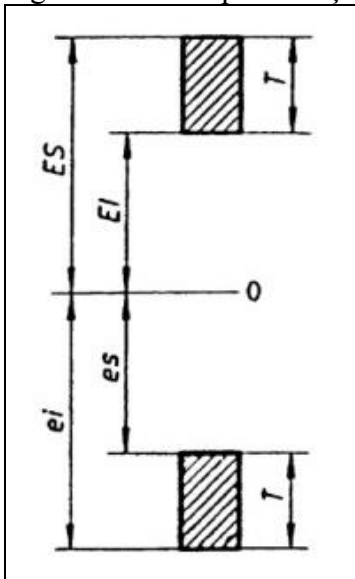
A figura 43 mostra os símbolos utilizados para representar as dimensões do parafuso.

Figura 43 - Simbologia de Parafusos.

Símbolos	Explicação
D	Diâmetro maior básico da rosca interna
D_1	Diâmetro menor básico da rosca interna
D_2	Diâmetro de flanco básico da rosca interna
d	Diâmetro maior básico da rosca externa
d_1	Diâmetro menor básico da rosca externa
d_2	Diâmetro de flanco básico da rosca externa
d_3	Diâmetro de flanco básico da rosca externa
P	Passo
H	Altura do triângulo fundamental
Ph	Avanço
P	Passo
S	Designação para rosca de comprimento de contato do grupo "curto"
N	Designação para rosca de comprimento de contato do grupo "normal"
L	Designação para rosca de comprimento de contato do grupo "longo"
T	Tolerância
T_{D1}, T_{D2} T_{d1}, T_{d2}	Tolerâncias para D_1, D_2, d e d_2
ei, EI	Afastamento inferior (ver figura 1)
es, ES	Afastamento superior (ver figura 1)
R	Raio de arredondamento na raiz da rosca externa
C	Truncamento da rosca externa

Fonte: ABNT (2004).

Figura 4429 - Representação dos afastamentos e tolerâncias.



Fonte: ABNT (2004).

O sistema consiste em tolerâncias que são definidas por graus de tolerâncias e posições dos campos de tolerâncias. Também por uma seleção de graus de tolerâncias e posições dos campos de tolerâncias (ABNT, 2004). O sistema é provido de:

- a) Há uma série de graus de tolerâncias para cada um dos quatro seguintes diâmetros de rosca, como se segue:

Figura 4530 - Graus de tolerância para dimensões do parafuso.

Graus de tolerâncias	
D_1	4, 5, 6, 7, 8
d	4, 6, 8
D_2	4, 5, 6, 7, 8
d_2	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Fonte: ABNT (2004).

- b) Séries de posições dos campos de tolerâncias:

- G e H para roscas internas;
- e, f, e h para roscas externas.

Segundo a ABNT, Documento ABNT Tolerâncias de Rosca Métrica ISO (2004), a designação para a classe de tolerância contém uma indicação para classe de tolerância do diâmetro de flanco, seguida de uma classe de tolerância para o diâmetro menor da rosca

interna ou do diâmetro maior da rosca externa. Cada designação de classe de tolerância consiste de:

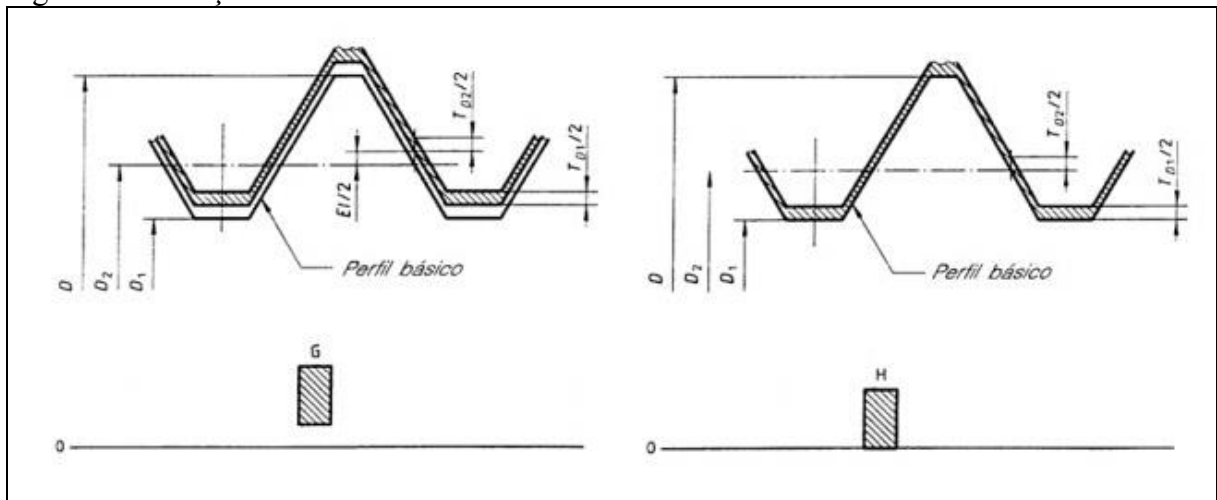
- um número para o grau de tolerância;
 - uma letra para a posição do campo de tolerância, minúsculas para roscas externas, maiúscula para roscas internas. As designações das duas classes de tolerâncias para o diâmetro de flanco e para o diâmetro menor da rosca interna (ou para o diâmetro maior da rosca externa) forem iguais, assim não é necessário repetir o símbolo.
1. Roscas internas – 5H para roscas até M1,4 inclusive; – 6H para roscas M1,6 e maiores.
 2. Roscas externas – 6h para roscas até M1,4 inclusive; – 6g para roscas M1,6 e maiores.

Segundo ABNT (2004), os Graus de tolerâncias para cada um dos dois elementos: os diâmetros de flanco da rosca interna e externa e o diâmetro menor da rosca interna ou o diâmetro maior e diâmetro de flanco da rosca externa são estabelecidos uma serie de graus de tolerâncias. O grau 6 deve ser usado o grau médio e o comprimento de contato normal. Os graus de tolerâncias abaixo de 6 são destinados para comprimentos de contato curto e/ou o grau de tolerância fino. O grau de tolerâncias acima de 6 é destinado para o grau de tolerância normal e/ou grupo de comprimento de contato longo. Em alguns graus de tolerâncias, determinados valores para pequenos passos não são indicados, quando não estão disponíveis suficientes sobreposições de flancos ou quando o requisito de que o diâmetro de flanco não pode ultrapassar da tolerância do diâmetro menor da rosca interna ou do diâmetro maior da rosca externa.

As seguintes posições de tolerâncias são normalizadas:

- Para roscas internas: G com afastamento fundamental positivo H com afastamento fundamental zero

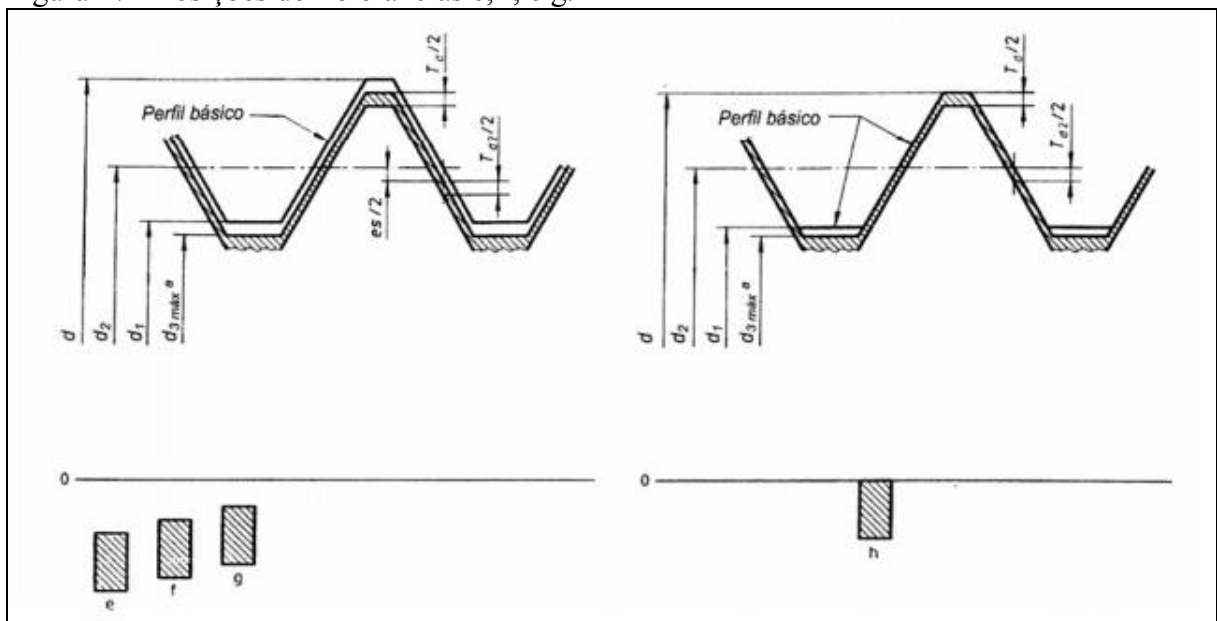
Figura 46 - Posições de Tolerâncias G e H.



Fonte: ABNT (2004).

- Para roscas externas: e, f, e g com afastamento fundamental negativo h com afastamento fundamental zero

Figura 47 - Posições de Tolerâncias e, f, e g.



Fonte: ABNT (2004).

As Classes de tolerâncias são recomendadas com a finalidade de reduzir a quantidade de calibradores e ferramentas e devem ser escolhidas de acordo com a figura 48.

As seguintes regras gerais podem ser formuladas para a escolha da qualidade de tolerância (ABNT, 2004):

- Fina: recomendada para roscas de precisão, quando é necessária uma pequena variação do ajuste.

- Média: para uso geral.
- Normal: Aconselha-se para casos onde podem ocorrer dificuldades na fabricação, por exemplo - quando devem ser roscadas barras laminadas a quente longas e furos cegos longos. Contudo, em casos onde os comprimentos efetivos de contato não forem conhecidos (como no caso de parafusos normalizados), é recomendado o comprimento de contato N.

As Classes de tolerâncias que possuem as bordas emolduradas são recomendadas para roscas externas e internas comerciais. As classes de tolerância apresentadas em negrito são de primeira escolha. As classes de tolerância que apresentam em estado normal são de segunda escolha. As classes de tolerância entre parêntesis são de terceira escolha (ABNT, 2004).

As classes de tolerância recomendadas para roscas internas podem ser combinadas com as classes de tolerância para roscas externas. Todavia, para garantir um suficiente encobrimento dos flancos, os componentes prontos devem ser combinados de maneira que formem os ajustes H/g, H/h ou G/h. Se foram roscas M1,4 e menores devem ser escolhidas as combinações h/6h, 4H/6H ou mais fino. É recomendado para roscas revestidas que as tolerâncias sejam aplicadas antes do revestimento. Após o revestimento o perfil efetivo da rosca não pode ultrapassar em nenhum ponto os limites de máximo material para a posição do campo de tolerância H e h. NOTA: Estas indicações se destinam a revestimentos de proteção finos, p.ex. em camadas obtidas por eletrodeposição (ABNT, 2004).

Figura 48 - Classes de Tolerâncias Recomendadas.

Qualidades de tolerância	Posição de tolerância G			Posição de tolerância H		
	S	N	L	S	N	L
Fina				4H	5H	6H
Media	(5G)	6G	(7G)	5H	6H	7H
Grossa		(7G)	(8G)	–	7H	8H

Qualidades de tolerância	Posição de tolerância e			Posição de tolerância f			Posição de tolerância g			Posição de tolerância h		
	S	N	L	S	N	L	S	N	L	S	N	L
Fina	–	–	–	–	–	–	–	(4g)	(5g4g)	(3h4h)	4h	(8h4h)
Media	–	6e	(7e6e)	–	6f		(5g6g)	6g	(7g6g)	(5h6h)	6h	(7h6h)
Grossa	–	(8e)	(9e8e)	–	–	–	–	8g	(9g8g)	–	–	–

Fonte: ABNT (2004).

4.1.2 Tolerância furo, eixo e chaveta

Segundo SILVA et al. (2011), com as 20 classes de qualidade e 28 classes de desvios fundamentais, o número de combinações é muito elevado. No intuito de reduzir a multiplicidade de ferramentas e calibradores, torna-se necessário a criação de classe de ajustes recomendados. São classes de ajustes indicadas para o furos e eixos, de acordo com a norma ISO 1829. Estão na figura 50 e devem ser escolhidas as tolerâncias circunscritas por um retângulo. Para facilitar:

- **Sistema Furo-Base:** Os furos apresentam geralmente desvio fundamental na posição H;
- **Sistema Eixo-Base:** Eixo com desvio fundamental na posição h.

Figura 51 - Relação entre Tipo de ajuste com a Classe de ajuste.

Tipo de ajuste	Classes	Características	Montagem	Aplicações
Livre	H11-c11	Grande folga, precisão muito fraca, permite grandes velocidades.	À mão	Parafusos, eixos
Rotativo	H9-d9	Para movimentos rápidos, permite grandes variações de temperatura e lubrificantes de elevada viscosidade.		Casquilhos, pistons
Rotativo justo	H8-f7	Boa precisão garantindo folga, permite velocidades moderadas e lubrificação com lubrificantes de baixa viscosidade.		Guias
Deslizante	H7-g6	Permite deslocamentos e rotações com precisão.		
Deslizante justo	H7-h6	Folga mínima nula, permite uma montagem precisa dos eixos, podendo estes, no entanto, ser facilmente desmontados.	À mão sob pressão	Rodas dentadas
Ligeiramente preso	H7-k6	Para montagens que necessitam de uma fixação suficientemente rígida, mas que permita a desmontagem.	Com madeira	Rolamentos, chavetas
Bloqueado	H7-n6		Com martelo	Engrenagens, rolamentos, uniões.
Apertado a frio	H7-p6	Para peças que necessitam ser alinhadas e montadas rigidamente e com precisão. Não permite a desmontagem.	Prensa a frio	Pinhões em eixos motores
Apertado a quente	H7-s6	Para conjuntos cuja função é transmitir grandes esforços.	Prensa a quente	Rotores de motores

Fonte: Silva et al. (2011).

4.1.3 Tolerância Retentor

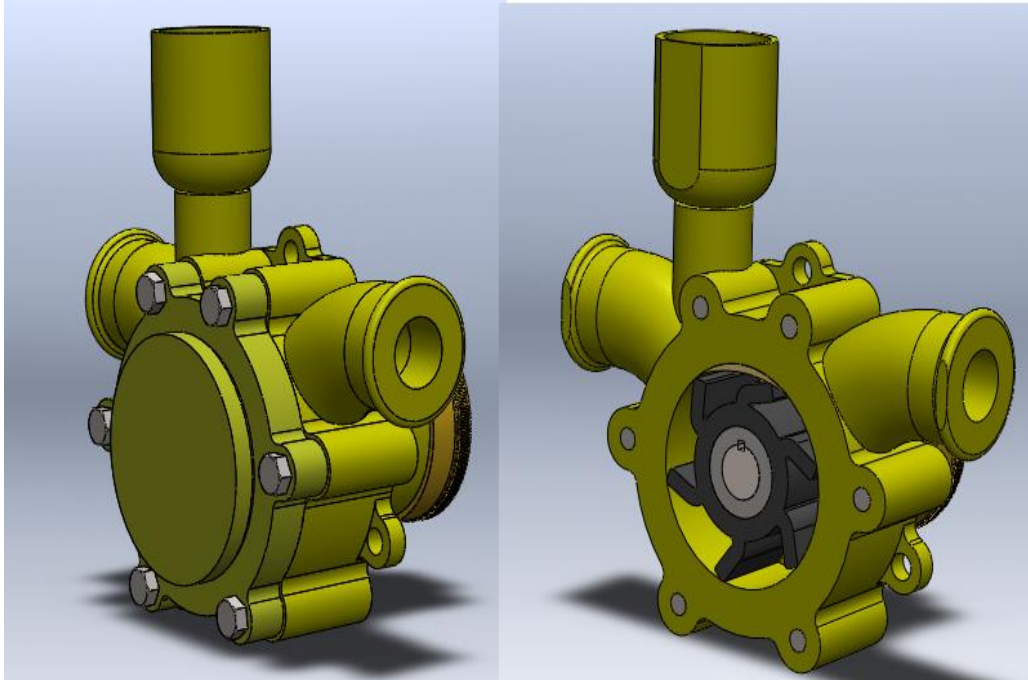
De acordo com um catálogo de retentores, da Signo Retentores, o eixo no qual vai o retentor deve ser h11 (NBR 6407). O alojamento deve ser, H8 (NBR 6407) Segundo (RETENTORES.)

5 RESULTADOS

5.1 RESULTADO DA MONTAGEM

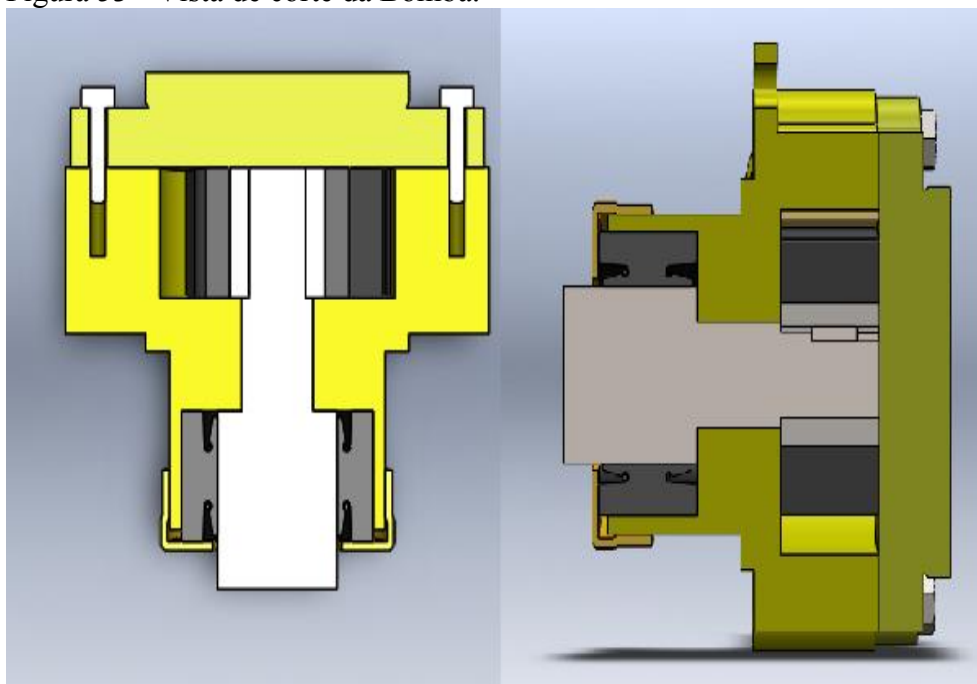
Nas figuras 52 a 54, constam as figuras da bomba final montada, dos cortes de secção e vista explodida.

Figura 52 - Montagem da Bomba Finalizada.



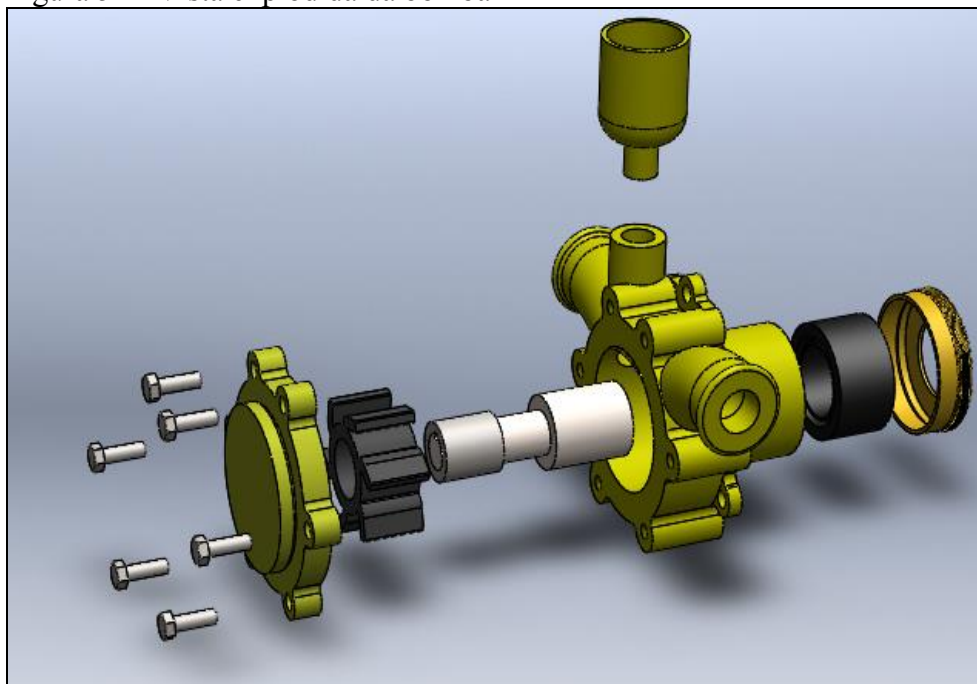
Fonte: Autoria Própria.

Figura 53 - Vista de corte da Bomba.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 54 - Vista explodida da bomba



Fonte: Autoria Própria.

5.2 RESULTADO DAS TOLERÂNCIAS

5.2.1 Tolerancia parafuso

Com um auxílio de um software online, que tem por base a norma de parafusos, obtemos os resultados abaixo, na figura 55 (Advanced Mechanical Engineering Solutions). Como o parafuso M5 já é normalizado, não precisou usar o comando - Custom Use.

Figura 55 - Resultado da Tolerância normalizada do Parafuso.

INPUT PARAMETERS						
Calculation Type		General Engineering Use ▼				
GENERAL ENGINEERING USE						
Metric Thread	M1.6 x 0.35 ▲ M2 x 0.4 M2.5 x 0.45 M3 x 0.5 M4 x 0.7 M5 x 0.8 M6 x 1 M8 x 1 M8 x 1.25 M10 x 1 M10 x 1.25 M10 x 1.5 ▼					
External Thread (Bolt) Tolerance Class *		6g ▼				
Internal Thread (Nut) Tolerance Class**		6H ▼				
CUSTOM USE						
Bolt (External Thread)	Nominal Dia.	Pitch	Bolt Tolerance Class			
	M 10	1.5 ▼	Pitch Diameter Tolerance		Major Diameter Tolerance	
			Grades	Deviations	Grades	Deviations
			6 ▼	g ▼	6 ▼	g ▼
Nut (Internal Thread)	M 10	1.5 ▼	Nut Tolerance Class			
			Pitch Diameter Tolerance		Minor Diameter Tolerance	
			Grades	Deviations	Grades	Deviations
	6 ▼	G ▼	6 ▼	G ▼		
Calculate						

Fonte: Advanced Mechanical Engineering Solutions.

Figura 56 - Resultado da Tolerância normalizada do Parafuso.

RESULTS			
Parameter	Symbol	Value	Unit
Note	Calculations are done according to tolerance tables given in ISO 965-1.		
Designation	--	M5x0.8	---
Tolerance Class for Bolt	--	6g	
Tolerance Class for Nut	--	6H	
Screw Thread Series	--	Coarse	
Pitch	P	0.8	mm
LIMITS OF SIZES FOR EXTERNAL THREADS (BOLTS)			
Maximum Major Diameter	d_{max}	4.976	mm
Minimum Major Diameter	d_{min}	4.826	
Maximum Pitch Diameter	d_{2max}	4.456	
Minimum Pitch Diameter	d_{2min}	4.361	
Maximum Rounded Root Minor Diameter	d_{3max}	4.098	
Minimum Rounded Root Minor Diameter	d_{3min}	3.869	
Minimum Root Radii	R_{min}	0.1	
Minimum Truncation	C_{min}	0.1	
Maximum Truncation	C_{max}	0.215	
LIMITS OF SIZES FOR INTERNAL THREADS (NUTS)			
Minimum Major Diameter	D_{min}	5.000	mm
Maximum Pitch Diameter	D_{2max}	4.605	
Minimum Pitch Diameter	D_{2min}	4.480	
Maximum Minor Diameter	D_{1max}	4.334	
Minimum Minor Diameter	D_{1min}	4.134	
BASIC DIMENSIONS			
Basic Major Diameter	d, D	5	mm
Basic Pitch Diameter	d_2, D_2	4.480	
Basic Minor Diameter	d_1, D_1	4.134	
Fundamental Triangle Height	H	0.693000	

Fonte: Advanced Mechanical Engineering Solutions.

5.2.2 Tolerância Furo e Eixo

Resultado obtido com auxílio do Software online encontrado na página do professor Eduardo Stefanelli.

Figura 57 - Relação entre Tipo de ajuste com a Classe de ajuste.

Sistema de tolerâncias e ajustes - NBR 6158				
FURO / eixo		FURO / eixo		
Dimensão Nominal: 12	H 7 / p 6	tolerância:	18 micra	11 micra
A T	a t	afastamento fundamental:	0 micra	18 micra
F O	f o	afastamento superior:	18 micra	29 micra
A L	a l	afastamento inferior:	0 micra	18 micra
S E	s e	dimensão máxima:	12.018mm	12.029mm
T R	t r	dimensão mínima:	12mm	12.018mm
A Â	a â	ajuste:	Interferência	
M N	m n	Interferência Máxima:	29 micra	
E C	e c	Interferência Mínima:	0 micra	
N I	n i			
T A	t a			
O	o			

Fonte: Stefanelli.

A escolha de interferência, deve-se ao fato de ser a parte do eixo que entra em contato com a bucha. Essa escolha foi para manter a união dessas duas peças firmes e sem folga.

Figura 58 - Relação entre Tipo de ajuste com a Classe de ajuste.

Sistema de tolerâncias e ajustes - NBR 6158				
FURO / eixo		FURO / eixo		
Dimensão Nominal: 15	H 8 / f 7	tolerância:	27 micra	18 micra
A T	a t	afastamento fundamental:	0 micra	-16 micra
F O	f o	afastamento superior:	27 micra	-16 micra
A L	a l	afastamento inferior:	0 micra	-34 micra
S E	s e	dimensão máxima:	15.027mm	14.984mm
T R	t r	dimensão mínima:	15mm	14.966mm
A Â	a â	ajuste:	Folga	
M N	m n	Folga Máxima:	61 micra	
E C	e c	Folga Mínima:	16 micra	
N I	n i			
T A	t a			
O	o			

Fonte: Stefanelli.

A escolha dessa tolerância, baseou-se na teoria apresentada no livro (SILVA, RIBEIRO, DIAS, & SOUSA, 2011), onde é sugerido essa tolerância de H8/f7 para rotativos. É um ajuste com folga. Esse diâmetro é entre o eixo e a carcaça.

6 CONCLUSÃO

O principal objetivo foi alcançado, o de aprender a modelar peças num software CAD. A construção de todas as peças foi importante para o aprendizado das ferramentas do Solidworks. O conhecimento se estendeu ao ambiente de simulação de movimento, ao fazer o impelidor, numa rotação excêntrica acompanhar o trajeto delimitado pela carcaça.

Uma das propostas, era a realização de melhorias, e este objetivo foi alcançado, quando se alterou a palheta do projeto antigo inserindo um impelidor de palhetas flexíveis. Outro ponto a ser levantado, foi que essa melhoria fez a bomba mais condescendente com a realidade, pois as bombas de impelidor flexível são comerciais.

Conseguiu-se aprofundamento das tolerâncias, e o aprendizado de como determinar a tolerância mais adequada aos esforços solicitados. O desenho de conjunto e detalhes constam no apêndice, onde pode ser visto com mais detalhes a aplicação das tolerâncias.

O trabalho proporcionou aprofundamento em disciplinas como: Projeto Mecânico, Elemento de Máquinas, Metrologia e Desenho Técnico Mecânico.

REFERÊNCIAS

ADVANCED Mechanical Engineering Solutions. **Software online de parafusos**. Disponível em: <<http://www.amesweb.info/Screws/IsoMetricScrewThread.aspx.2013-2016>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6158**: Sistema de tolerâncias e ajustes. Rio de Janeiro, 1995. Disponível em: <<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM297/Arquivos%20gerais/NBR-6158%20-%201995%20-%20Sistema%20de%20Toler%20ncias%20e%20Ajustes.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 04:003.03-028**: Documento ABNT Tolerâncias de Rosca Métrica ISO. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em docslide: <<http://docslide.com.br/documents/abnt-rosca-metrica-tolerancias.html>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

BARBOSA, João Paulo. **Apostila mecânica técnica**. Litorânea: Instituto Federal Espírito Santo – Campus São Mateus, 2011. Disponível em: <ftp://ftp.ifes.edu.br/Campus/SaoMateus/Coordenadorias/Mecanica/Professores/joaopb/Apostila_Eleto_parte01_2011.pdf>. Acesso em: 03 out. 2016.

BRASIL, Alex N. **Teoria geral das máquinas de fluxo**. Curitiba: Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, 2006. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/APOSTILA_MH/capitulo2_teorieral__MAQUINAS%20DE%20FLUXO.PDF>. Acesso em: 29 ago. 2016.

CASTLE PUMP. **Bomba de impelidor flexível**. Disponível em: <<http://www.castlepumps.com/pump-type/flexible-impeller-pumps>> Acesso em: 03 out. 2016.

CEFETES. **Apostila de chavetas**. Vitória: Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo. Disponível em: <<ftp://ftp.cefetes.br/cursos/Mecanica/T%E9cnico/Elementos%20de%20M%E1quinas/Elementos%20de%20Fixa%E7%E3o/13elem.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2016.

DEMEC UFPR. **Apostila de sistemas de tolerâncias e ajustes**. Curitiba: UFPR. Disponível em: <<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM297/Arquivos%20gerais/Metrologia%20-%20Toler%20ncias%20e%20Ajustes.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2016.

EBAH. **Metrologia polímeros**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAtx8AI/metrologia-polimeros-tabela-tolerancia>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

ÔMICROM. **Ômicrom - Catálogo de retentores.** Disponível em: <<http://omicrom.com.br/geral/tipos-retentores/>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

PRONEX. **Bombas hidráulicas.** Disponível em: <<http://pronex.com.br/wp-content/uploads/2015/11/capitulo9.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2016.

PROVENZA, Francesco. **Desenhista de máquinas** . 4. ed. São Paulo: Escola Pro-Tec, 1978. 423 p.

PUMP SCOUT. **Catálogo de bombas de impelidor flexível.** Disponível em: <<http://www.pumpscout.com/all-pump-types/flexible-impeller-pumps-ptid100.html>>. Acesso em: 03 out. 2016.

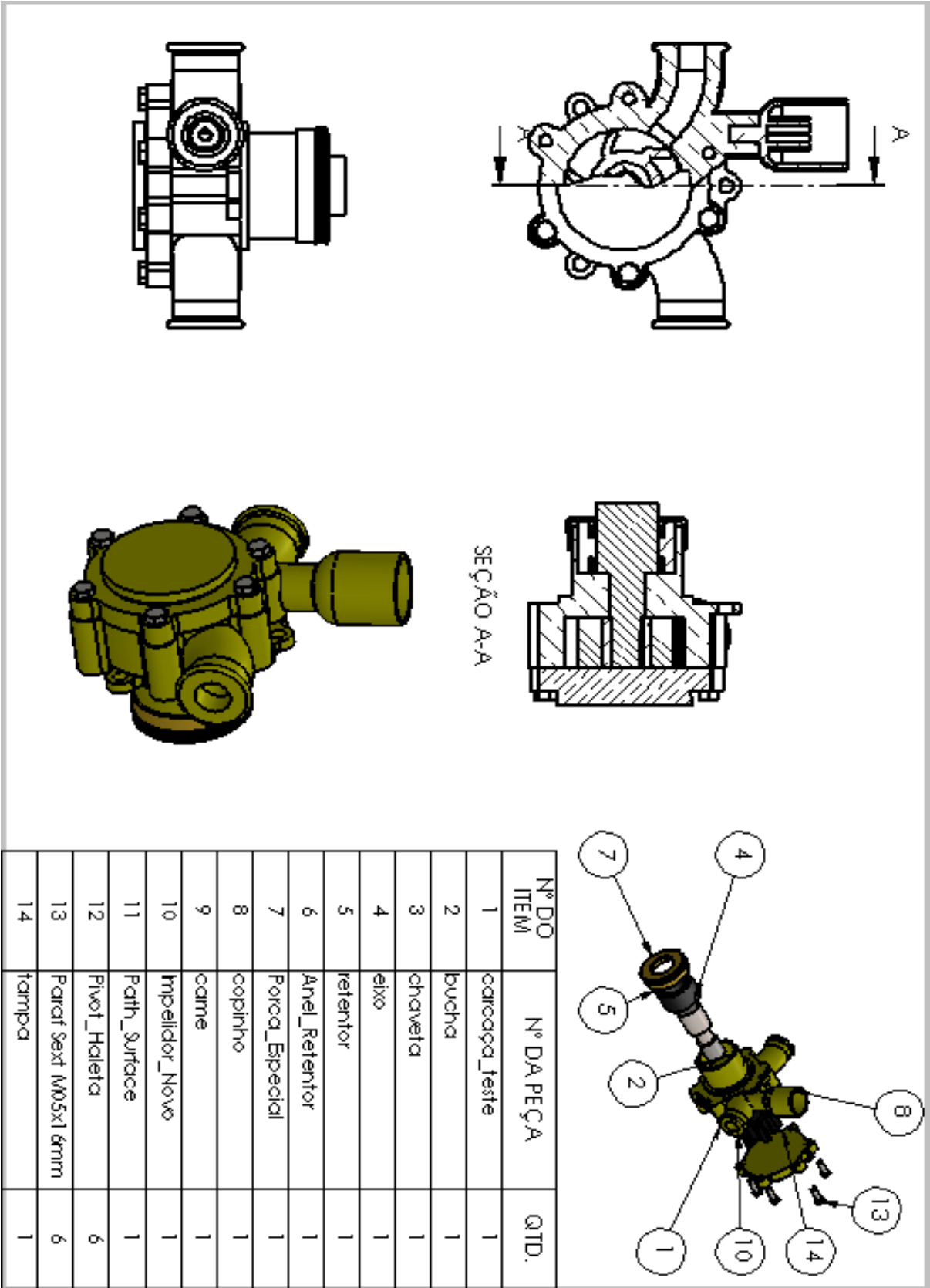
REESE, Adriano et al. **Bombas de deslocamento positivo.** Jaraguá do Sul: UNERJ, 2007. Disponível em: <<http://docslide.com.br/documents/bombas-deslocamento-positivo.html>>. Acesso em : 09 set. 2016.

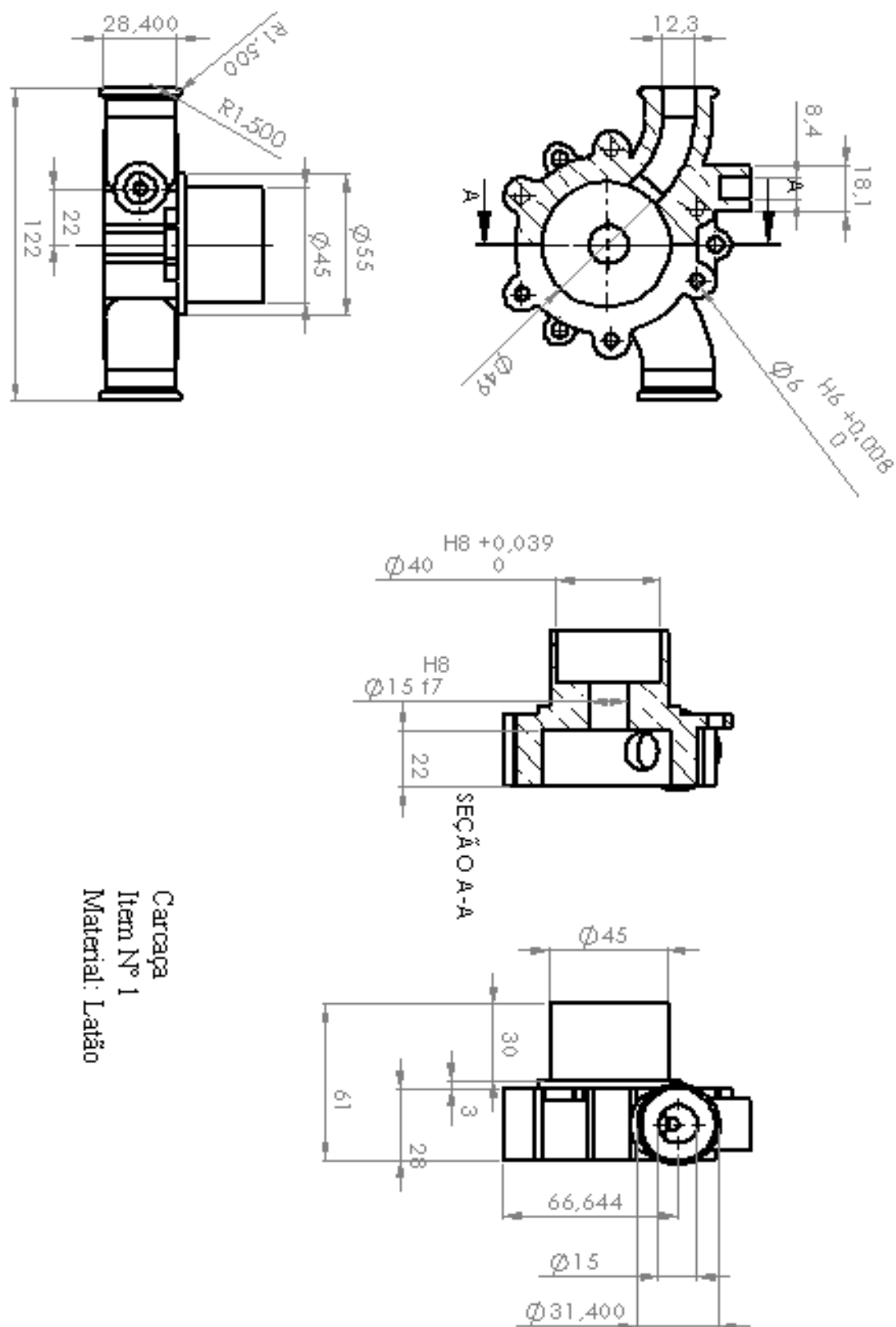
RETENTORES Signa. **Catálogo de retentores Signa.** Disponível em: <http://signaretentores.com.br/catalogo/informacoes%20_tecnicas_2012.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2016.

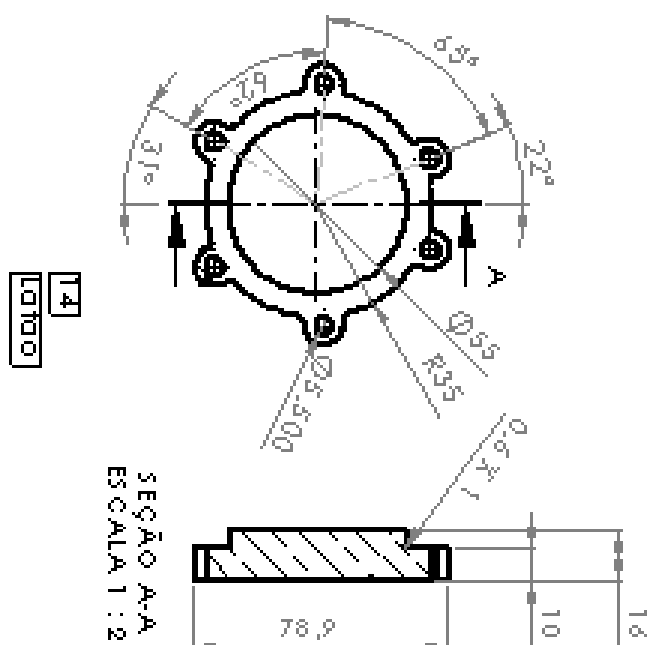
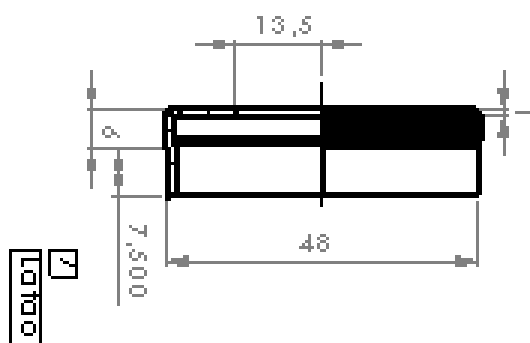
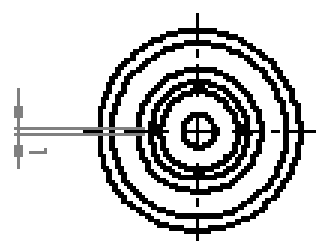
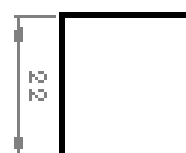
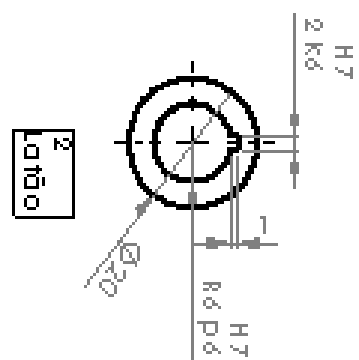
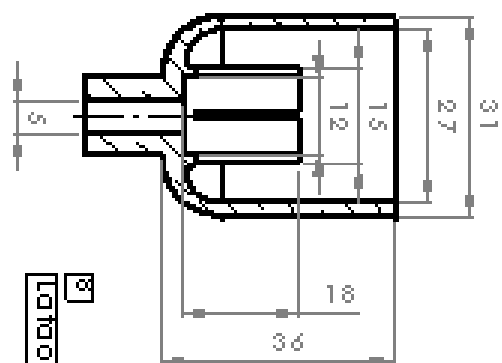
SILVA, Arlindo et al. **Desenho técnico moderno.** Rio de Janeiro: GEN, 2011. 475 p.

STEFANELLI, Eduardo J. **Software online de tolerância e ajustes: metrologia.** Disponível em: <<http://www.stefanelli.eng.br/webpage/metrologia/p-afastamento-tolerancia-ajuste-nbr-6158-simulador-autoavaliacao.html>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

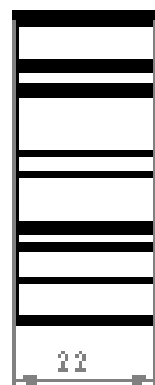
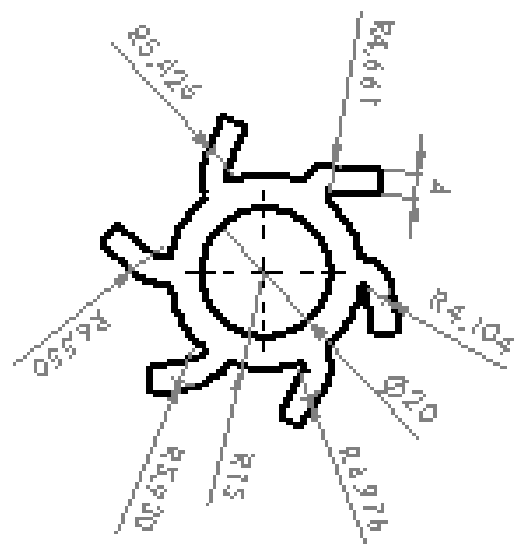
APÊNDICE A – DESENHO DE CONJUNTO E DETALHES





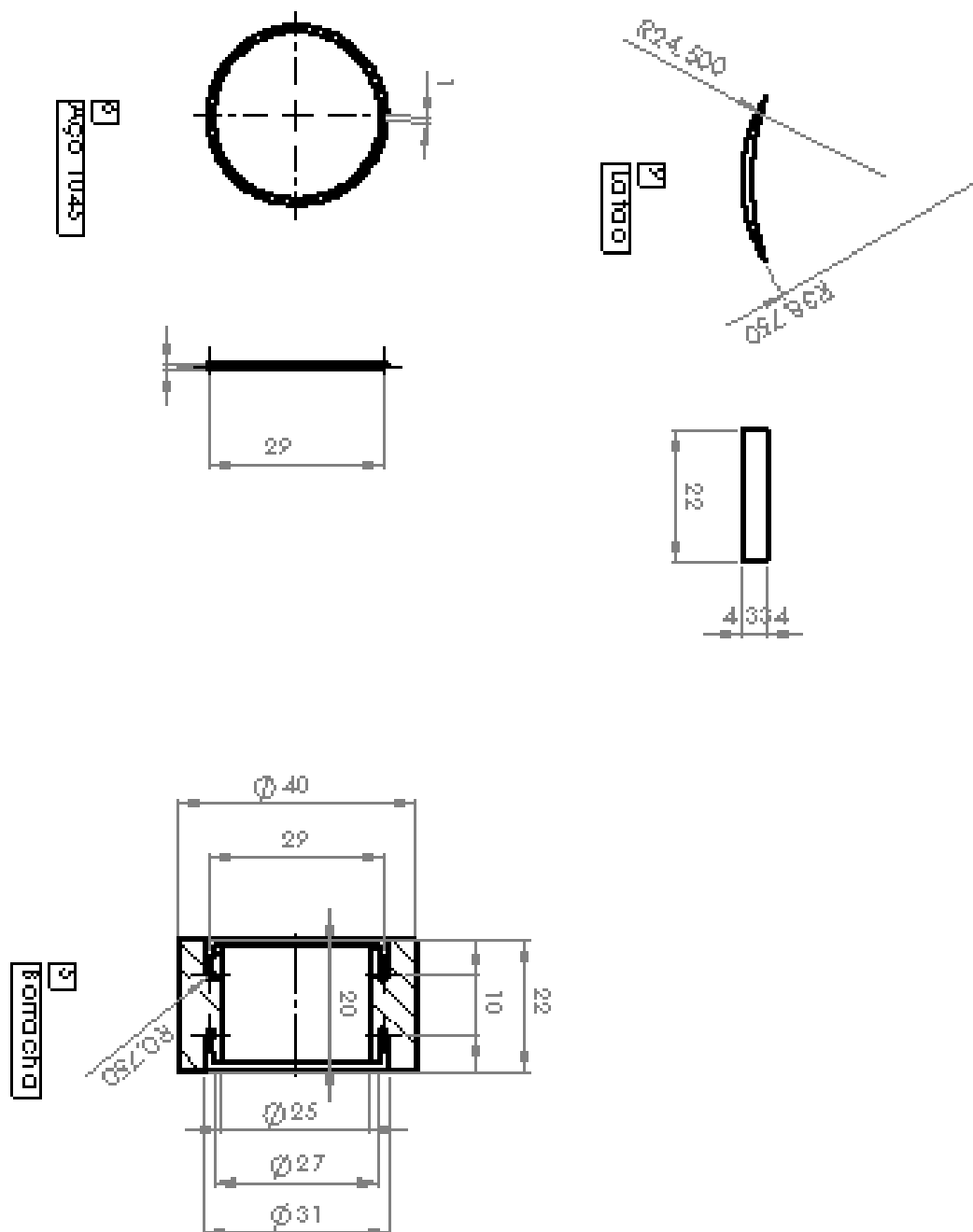


SEÇÃO A-A
ESCALA 1:2

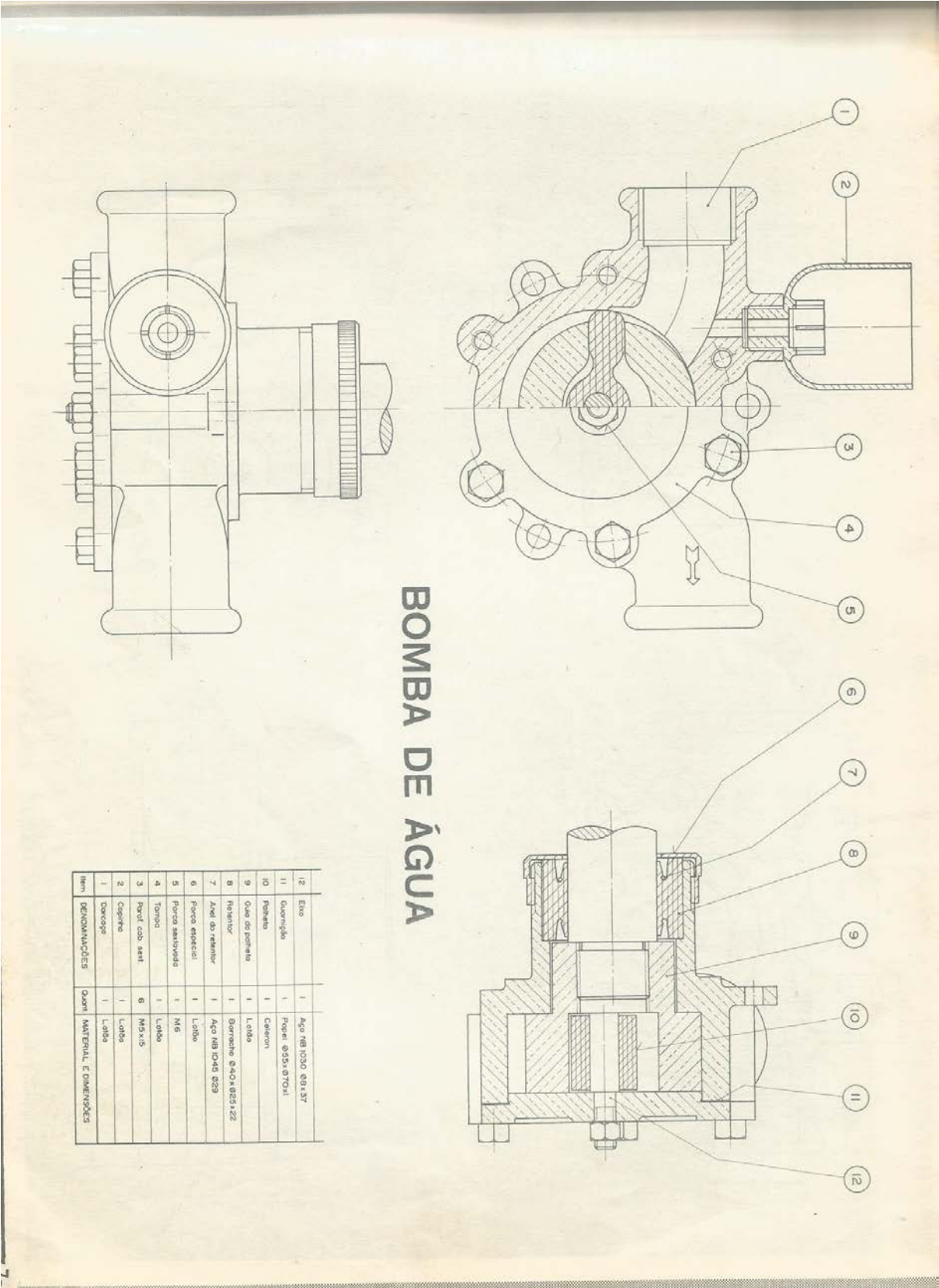


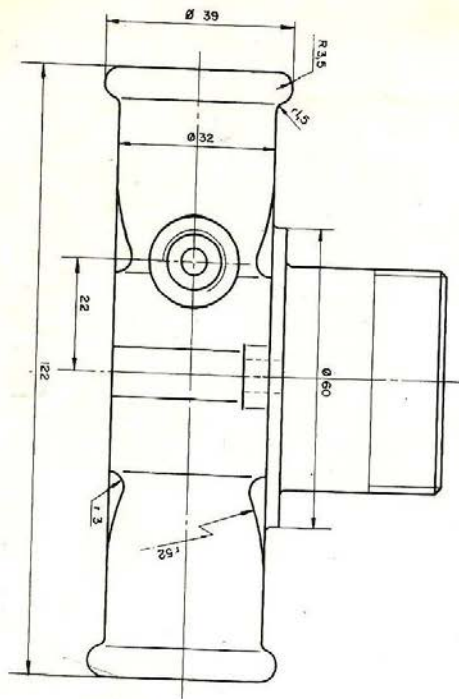
10, 11 e 12
Neoprene

4
A90 1045

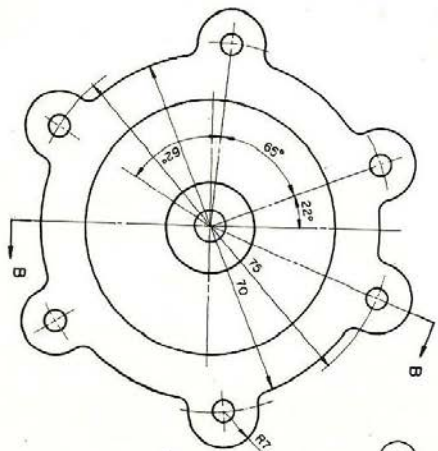
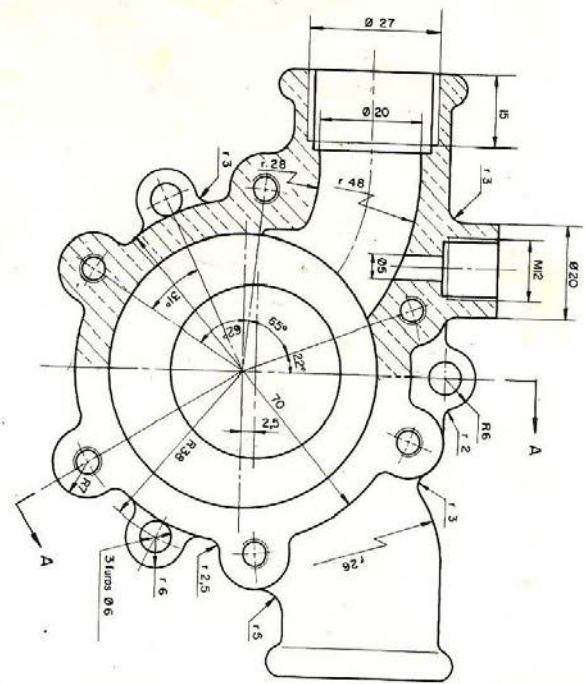


ANEXO A – PROJETO INICIAL





1



4

