

**RICHARDT EDUARDT SEIDE**

**INFLUÊNCIA DO ACABAMENTO SUPERFICIAL E DO  
ÂNGULO DE SAÍDA NAS FORÇAS DE EXTRAÇÃO DE  
PEÇAS INJETADAS**

**JARAGUÁ DO SUL, 2014**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA  
E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA  
CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - GERALDO WERNINGHAUS  
CURSO SUPERIOR DE TECNÓLOGO EM FABRICAÇÃO  
MECÂNICA**

**RICHARDT EDUARDT SEIDE**

**INFLUÊNCIA DO ACABAMENTO SUPERFICIAL E DO  
ÂNGULO DE SAÍDA NAS FORÇAS DE EXTRAÇÃO DE  
PEÇAS INJETADAS**

Trabalho de conclusão de curso  
submetido ao Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia de  
Santa Catarina como parte dos  
requisitos de obtenção do título de  
Tecnólogo em Fabricação  
Mecânica.

Professor Orientador:  
Rubens Hesse, Dr.

**JARAGUÁ DO SUL, 2014**

CDD 668.4  
S458i

Seide, Richardt Eduardt

Influência do acabamento superficial e do ângulo de saída nas forças de extração de peças injetadas / Richardt Eduardt Seide; orientação de Rubens Hesse. – Jaraguá do Sul, 2015.

1 v. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso Superior (Tecnologia em Fabricação Mecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Moldes de injeção. 2. Forças de extração. 3. Coeficiente de atrito. 4. Rugosidade. I. Hesse, Rubens. II. Título.

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC  
Biblioteca - Campus Jaraguá do Sul – Geraldo Werninghaus  
Catalogado por: Khrisna Vivianne da Silva CRB 14/1229

# INFLUÊNCIA DO ACABAMENTO SUPERFICIAL E DO ÂNGULO DE SAÍDA NAS FORÇAS DE EXTRAÇÃO DE PEÇAS INJETADAS

**RICHARDT EDUARDT SEIDE**

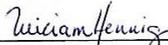
Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do curso Tecnólogo em Fabricação Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Jaraguá do Sul, 10 de Dezembro de 2014.

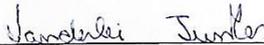
## **Banca Examinadora:**



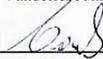
Rubens Hesse, Dr.



Miriam Hennig, Me.



Vanderlei Junkes, Me.



Carlos Roberto Alexandre, Eng.

Este trabalho é dedicado à todos os  
que colaboraram com a minha  
formação acadêmica.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu pai, pelo apoio e os valores a mim incididos.

À minha família.

À minha namorada Camila Laffin, pela incansável motivação e paciência.

Aos meus colegas do IF-SC, pelos momentos de estudo.

Ao professor orientador Rubens Hesse, Dr., pelo aprendizado e companheirismo.

À professora Miriam Hennig, Me., pela dedicação e orientações na realização deste trabalho.

Aos colegas e amigos de empresa que de alguma forma ajudaram na construção deste trabalho.

Aos colaboradores dos departamentos de ferramentaria, laboratório P&D e engenharia de produtos da empresa WEG.

À empresa WEG Equipamentos Elétricos S/A.

Ao IF-SC – Câmpus Jaraguá do Sul - Geraldo Werninghaus.

Aos professores do IFSC, pelos conhecimentos repassados.

À todos que contribuíram para a minha formação.

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo referente às influências que o acabamento superficial e o ângulo de saída desempenham em um molde de injeção, tem como objetivo inicial verificar se existe alguma equação de estimativa da força necessária para a retirada da peça injetada que está sobre a superfície da cavidade do molde, conhecida como força de extração, para então validar essa equação através da comparação de forças previstas com as forças reais de extração. Para isso, foi projetado e construído um molde de injeção de termoplásticos capaz de produzir peças em condições de produção, possibilitando ainda a variação dos parâmetros pertencentes à superfície moldante. Foram coletados dados de força em três momentos e realizada a quantificação da força necessária para a retirada das peças injetadas, analisando-as com base em correlações do aumento ou diminuição das rugosidades e dos ângulos de saída. Dentre os dados coletados, o parâmetro rugosidade média da superfície moldante obteve maior correlação com o valor da força. Como maior contribuição desse estudo, validaram-se teorias literárias, como a de que quanto menor o nível de rugosidade, menores serão as forças de extração. Mas a teoria que pressupõe que quando o nível de rugosidade máximo for reduzido a menos de 1 $\mu$ m exista aumento das forças de extração não foi comprovada para os materiais estudados - as forças continuam a diminuir a partir desse valor de rugosidade. A metodologia seguida não foi a mais favorável para obter-se a precisão requerida nos valores de força, mas de qualquer forma pôde-se observar as influências dos parâmetros que foram alterados durante o processo, atingindo-se assim o objetivo principal. Como sugestão para trabalhos futuros, cita-se a possibilidade de desenvolver e acoplar no mesmo molde um sistema de aquisição de dados de força com maior precisão, que permita verificar outras variáveis do processo de injeção como, por exemplo, pressões de injeção e compactação, tempos e temperaturas de injeção e extração.

**Palavras-chave:** Moldes de injeção. Forças de extração. Coeficiente de atrito. Rugosidade.

## ABSTRACT

This paper presents a study related to the influences that the surface finish and the exit angle play in an injection mold, in order to verify if there is any way to estimate the force required to remove the molded part that is on the surface of mold cavity, known as the withdrawal force. To this end, was designed and built up a thermoplastic injection molding capable of producing parts in a production conditions, and allowing the variation of the parameters belonging to moldante surface. We collected force data at three time points and analyzed to evaluate the force required for removal of the molded parts, analyzing them based on the increase or decrease of roughness and output angles correlations. Among the data collected, the average surface roughness parameter moldante obtained the highest correlation with the value of the force. As major contribution of this study, validated to literary theories, such as that the lower the level of roughness, the lower the extraction forces. But the theory which assumes that when the maximum roughness level is reduced to less than  $1\mu\text{m}$  there is increased extraction forces has not been proven for the materials studied - the forces continue to decline from that roughness value. The methodology followed was not the most favorable for the precision required in the force values, but either way we could observe the influences of the parameters that have changed during the process, thus hitting the main goal. As a suggestion for further work, cite the opportunity to develop and engage the same mold a system of data acquisition force more precisely for verifying other injection process variables such as, for example, injection and compression pressures, times and temperatures of injection and extraction.

***Keywords: Injection molds. Ejection forces. Coefficient of friction. Roughness.***

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Máquina injetora.....	17
Figura 2 - Etapas do processo de injeção .....	18
Figura 3 - Molde de injeção .....	19
Figura 4 - Componentes básicos de um molde.....	19
Figura 5 - Representação de injeção direta .....	21
Figura 6 - Representação de bucha de injeção .....	22
Figura 7 - Macho e fêmea que formam a cavidade .....	22
Figura 8 – Força de extração decorrente da contração do material plástico sobre superfície do macho. ....	24
Figura 9 - Exemplo de extração por placa.....	26
Figura 10 - Representação das direções do perfil de rugosidade. ....	33
Figura 11 - Pontos de contato de superfícies rugosas.....	36
Figura 12 - Projeto dos componentes fabricados (em corte) .....	40
Figura 13 - Fabricação dos componentes do molde .....	41
Figura 14 - Usinagem de desbaste dos postigos machos utilizando o método de torneamento .....	41
Figura 15 - Usinagem de acabamento dos postigos machos utilizando o método de lixamento no sentido contrario da extração .....	42
Figura 16 - Usinagem de acabamento dos postigos machos utilizando o método de eletroerosão por penetração .....	42
Figura 17 - Usinagem de acabamento dos postigos machos utilizando o método de retificação cilíndrica .....	42
Figura 18 - Postigos com acabamento superficial polido. ....	43
Figura 19 - Postigos com acabamento superficial retificado .....	43
Figura 20 - Postigos com acabamento superficial erosionado.....	43
Figura 21 - Ângulo de saída do postigo macho .....	44
Figura 22 - Sistema de injeção direta centralizada.....	45
Figura 23 - Pino de extração do canal com retenção com perfil Z.....	46
Figura 24 - Sistema de extração por anel .....	46
Figura 25 - Sistema de refrigeração na placa alojamento do postigo macho .....	47
Figura 26 - Sistema de refrigeração na placa alojamento do postigo fêmea.....	47
Figura 27 - Máquina injetora com sistema de visualização de forças efetivas. ....	48
Figura 28 – Obtenção da força de extração na máquina de ensaios de tração .....	48
Figura 29 - Peça plástica contraída sobre a superfície do postigo macho. ....	49

Figura 30 - Instrumento utilizado para verificação da rugosidade dos postigos.....	50
Figura 31 - Instrumento utilizado para verificação da rugosidade das peças injetadas.....	50
Figura 32 - Topografia da superfície moldante do postigo macho erosionado com angulo de saída de 1°.....	53
Figura 33 - Topografia da superfície moldante do postigo macho retificado com angulo de saída de 1°.....	53
Figura 34 - Topografia da superfície moldante do postigo macho polido com angulo de saída de 1°.....	53
Figura 35 - Topografia da superfície moldante do postigo macho erosionado com angulo de saída de 0,5°.....	53
Figura 36 - Topografia da superfície moldante do postigo macho retificado com angulo de saída de 0,5°.....	54
Figura 37 - Topografia da superfície moldante do postigo macho polido com angulo de saída de 0,5°.....	54
Figura 38 - Topografia da superfície moldante do postigo macho erosionado com angulo de saída de 0,25°.....	54
Figura 39 - Topografia da superfície moldante do postigo macho retificado com angulo de saída de 0,25°.....	54
Figura 40 - Topografia da superfície moldante do postigo macho polido com angulo de saída de 0,25°.....	54
Figura 41 - Topografia da superfície moldante com acabamento erosionado.....	55
Figura 42 - Topografia da superfície moldante com acabamento retificado.....	55
Figura 43 - Topografia da superfície moldante com acabamento polido.....	55
Figura 44 - Evolução da força de extração.....	58
Figura 45 - Evolução das forças médias de extração.....	59
Figura 46 - Evolução das forças de extração em virtude da variação de rugosidade média.....	59
Figura 47 - Evolução das forças de extração em virtude da rugosidade média nos postigos macho com ângulo de saída de 1°.....	60
Figura 48 - Evolução das forças de extração em virtude da rugosidade média nos postigos macho com ângulo de saída de 0,5°.....	60
Figura 49 - Evolução das forças de extração em virtude da rugosidade média nos postigos macho com ângulo de saída de 0,25°.....	61
Figura 50 - Evolução das forças de extração em virtude da rugosidade média nos postigos machos.....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Componentes do molde injeção (lado da injeção).....	20
Tabela 2 - Componentes do molde injeção (lado extração) .....	20
Tabela 3 - Coeficiente de atrito PA 66 em aço.....	35
Tabela 4 - Coeficiente de atrito PA 66 em aço retificado e polido .....	35
Tabela 5 - Denominação dos postigos machos.....	39
Tabela 6 - Rugosidades obtidas no processo de fabricação dos postigos macho.....	52
Tabela 7 - Forças de extração coletadas.....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ISO	- <i>International standard organisation</i>
N	- Newton (unidade de medida de tensão)
Fe	- Força de extração
A	- Coeficiente de expansão térmica do plástico
T <sub>m</sub>	- Temperatura de fusão do material de moldagem
T <sub>e</sub>	- Temperatura de extração do material de moldagem
D	- Diâmetro do macho (núcleo)
E	- Módulo de Elasticidade do material plástico no T <sub>e</sub>
A	- Área de contato entre o macho e a peça plástica
μ	- Coeficiente de atrito entre o material de moldagem e o macho
t	- Espessura da peça plástica
ν	- Coeficiente de Poisson plástico
Δ <sub>dr</sub>	- Contração da peça plástica
S <sub>m</sub>	- Espessura da peça plástica
f	- Coeficiente de atrito entre o material de moldagem e o macho
mm	- Milímetro
R <sub>a</sub>	- Rugosidade Média
R <sub>z</sub>	- Parâmetro médio da Rugosidade
R <sub>máx</sub>	- Profundidade máxima da rugosidade
P <sub>c</sub>	- Pressão de contato

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	Justificativa	15
1.2	Definição do Problema	15
1.3	Objetivos	15
1.3.1	Objetivo Geral	15
1.3.2	Objetivos Específicos	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>17</b>
2.1	Moldagem por injeção	17
2.1.1	Máquina de injeção	17
2.1.2	Ciclo de injeção	17
2.2	Moldes	18
2.2.1	Componentes do molde	19
2.3	Sistema de injeção do molde	21
2.3.1	Injeção direta	21
2.3.2	Canal de injeção	21
2.3.3	Bucha de injeção	22
2.4	Cavidades	22
2.4.1	Superfície das cavidades	23
2.4.2	Materiais das cavidades	23
2.5	Sistema de extração	24
2.5.1	Extração por pinos	25
2.5.2	Extração por bucha	25
2.5.3	Extração por placa	25
2.6	Temperatura de extração	26
2.7	Forças de extração	26
2.8	Modelos de previsão de forças de extração	27
2.9	Resfriamento de moldes	28
2.9.1	Tempo de refrigeração	29
2.10	Contração	29
2.11	Conicidade ou ângulo de saída	30
2.12	Usinagem de moldes	30
2.12.1	Eletroerosão	31
2.12.2	Retificação	31
2.12.3	Polimento	31
2.13	Rugosidade	32
2.14	Atrito	33
2.14.1	Atrito estático	34
2.14.2	Coefficiente de atrito	34
2.15	Contato entre superfícies	35

<b>2.16</b>	<b>Influência dos parâmetros de injeção.....</b>	<b>36</b>
2.16.1	Temperatura no molde .....	36
2.16.2	Pressão de compactação ou recalque .....	36
2.16.3	Tempo de compactação .....	37
2.16.4	Pressão de injeção .....	37
<b>2.17</b>	<b>Projeto de produto .....</b>	<b>37</b>
<b>2.18</b>	<b>Materiais plásticos.....</b>	<b>37</b>
2.18.1	Termoplásticos.....	37
2.18.2	Poliamida (Nylon).....	38
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>39</b>
<b>3.1</b>	<b>Produto de estudo.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2</b>	<b>Projeto do molde .....</b>	<b>40</b>
<b>3.3</b>	<b>Fabricação do molde .....</b>	<b>41</b>
3.3.1	Acabamento superficial das zonas moldantes.....	43
3.3.2	Ângulo de saída .....	44
<b>3.4</b>	<b>Funcionamento do molde .....</b>	<b>44</b>
3.4.1	Sistema de injeção do molde.....	44
3.4.2	Sistema de extração do molde.....	45
3.4.3	Sistema de refrigeração do molde.....	46
<b>3.5</b>	<b>Injeção das peças .....</b>	<b>47</b>
<b>3.6</b>	<b>Medição das rugosidades.....</b>	<b>49</b>
<b>3.7</b>	<b>Aplicação.....</b>	<b>50</b>
<b>3.8</b>	<b>Materiais utilizados.....</b>	<b>51</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1</b>	<b>Parâmetros coletados .....</b>	<b>52</b>
4.1.1	Rugosidades .....	52
4.1.2	Contração das peças injetadas.....	56
4.1.3	Previsão das forças.....	56
4.1.4	Teste de forças .....	56
<b>4.2</b>	<b>Análise de dados .....</b>	<b>62</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>65</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Na produção de peças em série pelo processo de moldagem, vários métodos podem ser utilizados. O método utilizado com maior frequência é a injeção de termoplásticos. Nesse processo, o molde recebe o material plástico fundido sobre altas pressões em sua cavidade, cujo formato é idêntico ao formato da peça desejada.

A fabricação de moldes de injeção para produção de peças plásticas está sendo cada vez mais direcionada a garantir a qualidade do produto final sem que se façam necessários ajustes e melhorias no projeto e na fabricação do molde, a fim de eliminar erros que possam prejudicar a qualidade das peças injetadas após o *tryout*.

Desse modo, é importante entender a influência de todas as variáveis envolvidas no processo de injeção, sendo a força de extração uma variável importante no processo de injeção. Na prática considera-se essa força dependente da rugosidade e do ângulo de saída, o que não se confirma na literatura.

A geometria complexa de algumas cavidades impede o uso de técnicas de melhoria das superfícies moldantes ou, em alguns casos, torna esse processo lento. É preciso ressaltar que as empresas fabricantes de moldes de injeção, também conhecidas como ferramentarias, têm a necessidade de cumprir os prazos, sem abrir mão da qualidade do molde, inviabilizando o tempo gasto para realização desse processo. Isso torna viável conhecer as consequências do acabamento superficial e do ângulo de saída no processo de extração das peças, com a finalidade de evitar marcas indesejadas, deformações e quebras das peças injetadas.

Nesse caso, a proposta de monitorar as forças de extração e validar os métodos de previsão de forças existentes vem ao encontro da possibilidade de inserir um método mais eficaz de calcular as forças mínimas de extração.

Admitindo-se a rugosidade e o ângulo de saída como as variáveis contidas no molde, dentre todas as variáveis existentes no processo de moldagem por injeção, optou-se por estudar a influência dessas variáveis, tendo em vista que esses parâmetros são de responsabilidade direta das ferramentarias.

Uma revisão bibliográfica foi realizada ao longo de todo o trabalho, abordando temas como injeção de termoplásticos, moldes de injeção, sistemas de extração e atrito peça/molde.

## **1.1 Justificativa**

Atualmente, os prazos para as ferramentarias fabricarem os moldes estão sendo reduzidos, exigindo que as ferramentas necessitem menos ajustes e melhorias até sua aprovação. Além disso, para melhorar o acabamento superficial de um molde, requer-se alto tempo e custo, o que pode vir a não minimizar as forças de extração.

Desse modo, se aplicado um planejamento através de cálculos de previsão de forças na fase de desenvolvimento do sistema de extração do molde, para que seja possível avaliar os locais críticos de extração no molde, evitando desperdícios de tempo e custo na melhoria do acabamento e realizar o processo de extração da melhor maneira possível, desde o início de sua confecção, evitando que alguns problemas comuns ocorram.

Para tal, justifica-se o empenho em encontrar e validar uma maneira de prever as forças de extração, vinculando as variáveis do processo.

## **1.2 Definição do Problema**

Apesar dos avanços tecnológicos no setor, existem algumas incertezas no projeto de moldes que induzem a um dimensionamento ineficaz dos sistemas de extração para o processamento de peças plásticas. Na prática, surge a necessidade de corrigir os sistemas de extração do molde após os primeiros testes, por diversas razões, entre as quais o aparecimento de marcas, deformações ou até a quebra das peças plásticas. Considerando-se essas questões, surge a pergunta: qual a força para vencer o atrito entre o molde e a peça moldada, levando em consideração o acabamento superficial e o ângulo de saída?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Com base no estudo do comportamento das forças de extração, pretende-se desenvolver um molde de injeção de peças plásticas, com o intuito de avaliar e determinar as forças de extração de peças plásticas processadas por injeção, verificando qual a influência de diferentes rugosidades e ângulos de extração sobre a força de extração.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar levantamento bibliográfico relativo a moldes para injeção de termoplásticos, sistemas de extração, coeficientes de atrito estático e das variáveis relativas ao processamento de materiais termoplásticos;
- definir um produto para experimentos, tomando como base dados bibliográficos;
- estudar as possíveis variáveis, de modo a fazer previsões quanto às forças de extração;
- fabricar um molde de injeção que possibilite a mudança das superfícies moldantes, permitindo a variação dos ângulos de saída e dos acabamentos superficiais;
- testar o molde de injeção;
- descobrir as forças de extração através dos experimentos práticos;
- comparar os resultados experimentais com os resultados de modelos de previsão.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Na busca para alcançar os objetivos deste trabalho, faz-se indispensável a compreensão de assuntos relacionados a moldes de injeção que, por sua vez, indicam a necessidade de conhecer os processos envolvidos na injeção de peças plásticas e suas variáveis para identificar suas influências na medição das força de extração.

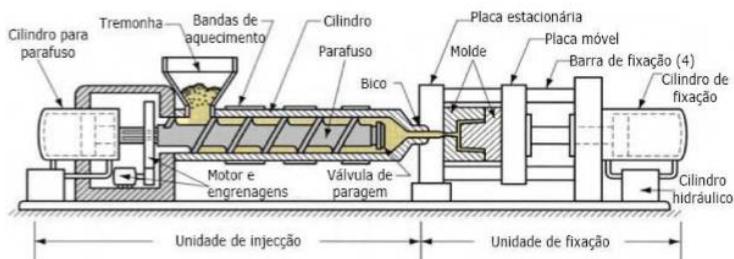
### 2.1 Moldagem por injeção

Na moldagem por injeção, o material plástico é processado, aquecido e injetado com muita pressão para dentro da cavidade do molde através do bico da máquina de injeção. (SORS; BARDÓCZ; RADNOTI, 2002).

#### 2.1.1 Máquina de injeção

A injetora é composta por um sistema capaz de homogeneizar e injetar o polímero fundido dentro do molde através de um canhão coberto de mantas elétricas geradoras de calor que aquecem o polímero. (MANRICH, 2005). Uma máquina de injeção é apresentada na

Figura 1.



**Figura 1 - Máquina injetora**

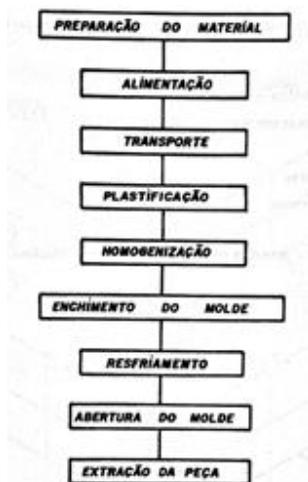
**Fonte: Paulo (2010)**

#### 2.1.2 Ciclo de injeção

No ciclo de injeção, o polímero é alimentado na injetora através de um funil de alimentação. A rosca da injetora transporta, através de giro, o polímero para o bico de injeção homogeneizando a quantidade

necessária de material fundido, que vem a ser injetado para dentro do molde através de um movimento da rosca para frente, agindo como um pistão. Após terminar de injetar o material, a rosca continua a exercer pressão sobre o injetado para empacotar todo o material na cavidade, retornando para a posição inicial após esse tempo. (MANRICH, 2005).

Os processos que compõem o ciclo de injeção estão ilustrados na Figura 2.



**Figura 2 - Etapas do processo de injeção**  
**Fonte: CRUZ (2006)**

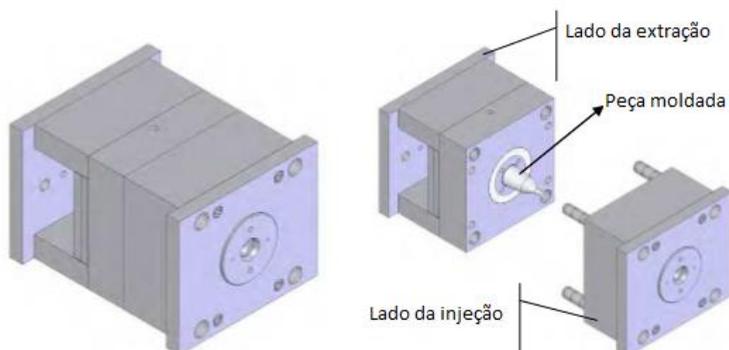
## 2.2 Moldes

Harada (2008) descreve um molde de injeção como um equipamento que possui cavidades com formas e dimensões específicas, com condições de produzir peças moldadas, recebendo nesta cavidade o material plástico fundido sob pressão, que depois de solidificado transforma-se na peça desejada.

Moldes são utilizados para produzir um grande número de componentes com a forma mais próxima possível da forma final deste componente (ALTAN et al, 1993 apud MILAN, J.C.G.; MACHADO, A.R.; BARBOSA, C.A., 1999).

O molde possui uma cavidade com o formato da peça desejada e normalmente está a temperaturas mais baixas, solidificando rapidamente a massa quente que preenche seus vazios. (MANRICH, 2005).

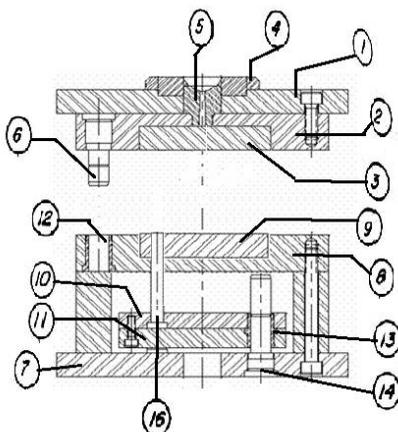
Um exemplo de molde de injeção é apresentado na Figura 3.



**Figura 3 - Molde de injeção**  
**Fonte: PAULO (2010)**

### 2.2.1 Componentes do molde

Na Figura 4 são numerados os principais componentes de um molde, nas Tabela 1 e Tabela 2 os componentes são relacionados com a sua função no molde. O molde de injeção é constituído por duas metades, lado da injeção e lado da extração.



**Figura 4 - Componentes básicos de um molde**  
**Fonte: adaptado de HARADA (2008)**

**Tabela 1 - Componentes do molde injeção (lado da injeção)**

<b>Lado da injeção</b>		
<b>Número</b>	<b>Descrição</b>	<b>Função</b>
1	Placa base superior	Fixar o conjunto superior na placa fixa da injetora
2	Placa alojamento do elemento fêmea	Alojar o elemento fêmea
3	Postiço Fêmea	Reproduzir o perfil externo da peça;
4	Anel de centralização	Centralizar o molde com a máquina de injeção
5	Bucha de injeção	Permite o escoamento do plástico para dentro da cavidade do molde
6	Colunas guias	Realizar a centralização dos lados do molde.

**Tabela 2 - Componentes do molde injeção (lado extração)**

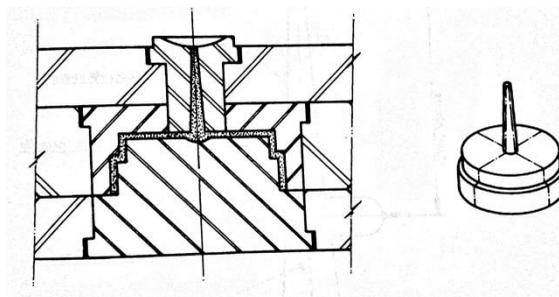
<b>Lado da extração</b>		
<b>Número</b>	<b>Descrição</b>	<b>Função</b>
7	Placa base inferior	Fixar o conjunto inferior na placa móvel da injetora
8	Placa alojamento do elemento macho	Alojar o elemento macho
9	Placa de extração	Impulsiona os pinos de extração;
10	Placa alojamento de extratores	Alojar os extratores ou haste extratora
11	Calço espaçador	Permitir o curso necessário das placas para realizar a extração do moldado
12	Postiço Macho	Confere a forma interna da peça plástica
13	Extratores	Permitem desmoldar as peças do macho
14	Aro extrator	Substitui os extratores
15	Postiços	Componentes com superfícies moldantes embutidas
16	Pilares de suporte	Suporta os esforços exercidos na placa alojamento do macho;
17	Bucha guia	Realiza em conjunto com a coluna guia, a centralização dos lados do molde.
18	Coluna guia	Guia a placa extratora, evitando esforços nos pinos extratores.
19	Bucha guia	Juntamente com a coluna, guia a placa extratora.

## 2.3 Sistema de injeção do molde

O sistema de injeção é composto pelo percurso total do material plástico fundido desde a máquina até a cavidade do molde. Está dividido em injeção direta e indireta. (HARADA, 2004).

### 2.3.1 Injeção direta

No sistema de injeção direta, o material plástico flui diretamente do canal da bucha de injeção para a cavidade do molde. (HARADA, 2004). A Figura 5 ilustra o funcionamento do sistema de injeção direta.



**Figura 5 - Representação de injeção direta**  
**Fonte: CRUZ (2006)**

### 2.3.2 Canal de injeção

Para que ocorra o fluxo de material plástico da máquina injetora para dentro das cavidades do molde, é imprescindível a construção de um canal de injeção. (HARADA, 2004).

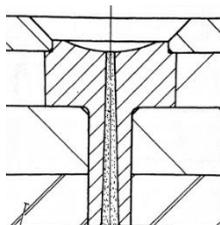
Ele deve ser projetado para o preenchimento correto da cavidade, facilitando a moldagem, para a obtenção de uma peça sem defeitos, de maneira a permitir um fluxo rápido e homogêneo, sem perda de temperatura e de pressão, preenchendo toda a cavidade ao mesmo tempo. (CRUZ, 2006).

O canal de injeção deve ser o mais curto possível para que seja utilizada a menor quantidade de material, o menor tempo para o fluxo de material e, conseqüentemente, um tempo menor de ciclo de injeção. (MANRICH, 2005).

### 2.3.3 Bucha de injeção

Na opinião de Manrich (2005), a bucha de injeção é um tronco de cone de cilindro divergente, com um ângulo de abertura de  $2^\circ$  a  $5^\circ$ . Já para Cruz (2006), a bucha de injeção com entrada direta tem de  $2^\circ$  a  $6^\circ$  de abertura, com um diâmetro de entrada de 3 a 6 mm. Conforme apresentado na Figura 6.

A bucha de injeção tem a função de ligar o bico de injeção do canhão da injetora aos canais de alimentação ou diretamente à cavidade. (MANRICH, 2005).

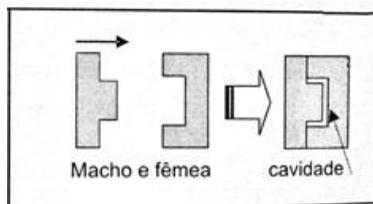


**Figura 6 - Representação de bucha de injeção**  
**Fonte: adaptado de CRUZ (2006)**

## 2.4 Cavidades

As cavidades do molde são divididas em duas partes: o elemento fêmea, que normalmente modela a parte externa da peça, e o elemento macho, que modela sua parte interna, conforme a Figura 7. (HARADA, 2004).

O formato complicado e os materiais com dureza relativamente alta fazem da fabricação das cavidades uma tarefa complexa. Além disso, os moldes para injeção devem ter um bom acabamento superficial e ter resistência à corrosão. (BECKER et al, 1990 apud MILAN J.C.G., MACHADO Á. R., BARBOSA C.A, 1999).



**Figura 7 - Macho e fêmea que formam a cavidade**  
**Fonte: adaptado de HARADA (2008)**

### 2.4.1 Superfície das cavidades

A superfície da cavidade do molde é o que gera o acabamento na peça injetada, sendo que o grau de polimento depende da aplicação do produto injetado. Superfícies polidas podem ser necessárias para várias aplicações, como injeção de peças que requerem alto grau de transparência, ao mesmo tempo em que diversas peças produzidas através de injeção de plásticos requerem textura, eliminando o polimento da superfície do molde (MESQUITA; BARBOSA, 2005 apud DOMINGUES JR. 2009).

Cruz (2002) sugere que o molde para plásticos apresente superfície polida ou lapidada, pois essas características vão determinar o acabamento das peças, facilitar o fluxo de plástico no interior do molde, diminuir a abrasão local e facilitar a extração das peças moldadas.

Paulo (2010) observou que o acabamento superficial tem influência no valor das forças de extração de peças plásticas, e também que ao diminuir as irregularidades da superfície do molde com a utilização do processo de polimento, conseqüentemente, diminui as marcas de arrastamentos de material.

### 2.4.2 Materiais das cavidades

O material utilizado na construção da cavidade é selecionado observando: “a precisão requerida; o número esperado de produção; o processo de obtenção da cavidade escolhida; acabamento e tratamento térmico disponível.” (HARADA, 2008. p. 106).

Quanto aos requisitos especiais que o aço necessita em moldes de injeção, estão a polibilidade e a resistência à corrosão e à abrasão. (HARADA, 2008).

No processo de injeção, o molde está sendo constantemente aquecido e resfriado durante o ciclo de injeção. Por isso, quanto maior a condutividade térmica de um aço, melhor este será para a confecção das partes moldantes do produto. (SILVA; MEI, 2010).

#### 2.4.2.1 Aços para trabalho a quente

Como visto anteriormente, os moldes de injeção são ferramentas que recebem o plástico fundido a temperaturas elevadas, aspecto que deve ser levado em consideração na escolha do material das cavidades. Por este motivo os aços de liga são muito utilizados na indústria de fabricação de moldes de injeção de polímeros.

Segundo Silva e Mei (2010), os aços de liga são utilizados em trabalhos a quente, e são caracterizados pela alta resistência a fadiga térmica; pela boa resistência a altas temperaturas; excelente tenacidade e ductilidade em todas as direções; boa usinabilidade e polibilidade; excelente temperabilidade e boa estabilidade dimensional durante a têmpera.

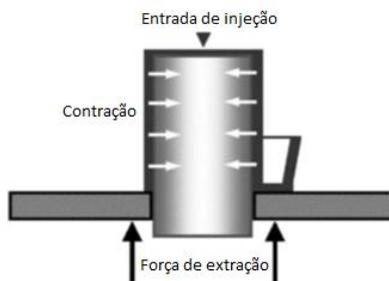
Dentre os aços para trabalho a quente, o aço H13 é o mais usual, contendo 0,4% C, 5,25% Cr, 1,4% Mo e 0,9%V. Apresenta uma densidade de 7.8 g/cm, uma condutividade térmica de 24.6 W/m°C e um módulo de elasticidade de 200000 MPa. (SILVA e MEI, 2010).

## 2.5 Sistema de extração

Após a injeção do plástico na cavidade do molde, dá-se uma pausa para solidificação do material. Após esse tempo, a injetora abre o molde e aciona uma haste acoplada à placa extratora, acionando assim o sistema de extração que empurra as peças injetadas para fora do molde. (CRUZ, 2002).

Devido à contração das peças injetadas sobre a parte macho do molde “Toda a peça injetada precisa ser extraída, e normalmente ela se solta do molde com o auxílio de extratores que a forcem para fora.” (MANRICH, 2005. p. 387).

De acordo com Harada (2008, p. 170) “se o produto moldado possui uma forma interna, sua contração se dará sobre o macho e será necessária uma técnica de extração efetiva.”. Conforme representado na Figura 8.



**Figura 8 – Força de extração decorrente da contração do material plástico sobre superfície do macho.**

**Fonte: Pouzada, Ferreira e Pontes (2006)**

Assegurar a remoção dos produtos acabados e resfriados é uma das tarefas mais importantes no projeto de um molde. A remoção rápida

do produto aumentará a quantidade de produção e eliminará a possível rachadura devido à contração do produto sobre o molde. (SORS; BARDÓCZ; RADNOTI, 2002).

A dificuldade de extração e os atritos dependem do tipo de plástico utilizado, do material do molde, dos parâmetros de processamento e dos aditivos utilizados. (HARADA, 2008).

A remoção do produto solidificado do molde pode ser realizada através de pinos extratores, placa extratora, luva extratora, ou até mesmo com ar comprimido. A solução mais adequada na prática da remoção deve ser selecionada, levando em consideração os formatos internos e externos do produto, a sua posição no molde e o tipo de canal de alimentação. (SORS; BARDÓCZ; RADNOTI, 2002).

### 2.5.1 Extração por pinos

Segundo Harada (2008) na extração por pinos o produto moldado é extraído pela aplicação de uma força provocada por uma ou várias barras cilíndricas conhecidas como pinos extratores, que são fixados em uma placa extratora.

Pinos de extração é o sistema mais usado em moldes devido à facilidade de confecção. (CRUZ, 2006).

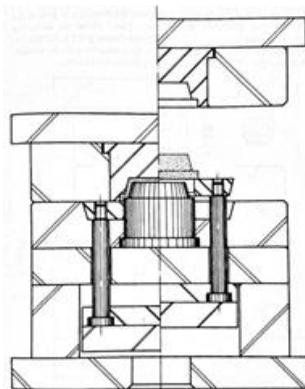
### 2.5.2 Extração por bucha

Segundo Cruz (2006), a extração por bucha é utilizada em moldes que injetam peças cilíndricas.

As buchas de extração são tubos de aço endurecidos e retificados, empregadas com a função de extrair o produto dos moldes de injeção. (HARADA, 2008).

### 2.5.3 Extração por placa

Segundo Cruz (2006), a extração por placa é utilizada em moldes que injetam peças cilíndricas quando existe fechamento na base da peça injetada. Um exemplo de extração por placa é apresentado na Figura 9.



**Figura 9 - Exemplo de extração por placa**  
**Fonte: CRUZ (2006)**

## 2.6 Temperatura de extração

Segundo Paulo (2010), quanto maior for a temperatura de extração, menores serão as forças de extração obtidas. No entanto, uma temperatura excessiva poderá manter a peça plástica sem a rigidez suficiente para sua extração, causando sua deformação. Utilizando temperaturas de extração muito baixas, a peça plástica está mais solidificada, gerando maior contração sob o macho, aumentando as forças de extração.

## 2.7 Forças de extração

Harada (2008, p. 171) considera como força de extração “a pressão necessária para extrair a peça injetada de dentro da cavidade”.

Segundo Paulo (2010) há algumas variáveis que influenciam as forças de extração, tais como, o tempo de compactação, o tempo de refrigeração, a pressão de compactação, a temperatura do molde de injeção, o acabamento superficial e a temperatura de extração. Para Harada (2008), a força de extração depende do ângulo de saída, da área de contato, do polimento das superfícies, da pressão de injeção e da presença de agentes desmoldantes.

Apesar de não existir nenhum método de cálculo para determinar o número de pinos necessários, a experiência indica que os pinos devem ter uma superfície de contato de 6 cm<sup>2</sup> para cada 600 cm<sup>2</sup> de área de contato lateral entre o plástico e o molde. (HARADA, 2008).

## 2.8 Modelos de previsão de forças de extração

No processo de extração, conforme apresentado anteriormente, as peças plásticas são forçadas a separar-se das superfícies moldantes. Para realizar esse processo deve-se, vencer o atrito existente entre a peça (plástico) e o molde (aço), sendo que o atrito aumenta ou diminui quando alterados alguns parâmetros de processamento, propriedades do material à temperatura de extração, ângulos de saída e acabamento das superfícies moldantes.

O conhecimento das forças envolvidas neste processo é indispensável para o correto dimensionamento dos sistemas de extração do molde, para que a qualidade funcional e dimensional das peças não seja prejudicada. Para tanto observa-se a existência de equações que possibilitam a correlação dos parâmetros que influenciam no processo de extração, as quais serão apresentadas a seguir.

De acordo com Glanvill (1965 apud Paulo, 2010), a força de extração pode ser calculada levando em consideração a pressão de contato ( $P_c$ ) que atua sobre a superfície do núcleo após a contração da peças, a área de contato ( $A_c$ ) entre o plástico e o aço no instante da extração e o coeficiente de atrito( $\mu$ ).

Paulo (2010) em sua análise experimental avaliou o modelo de previsão de forças de Glanvill, sendo que para alguns formatos de peças não registrou diferenças significativas entre o valor previsto e o valor real da força de extração. Entretanto, em outros formatos, registrou diferenças entre 15 a 25 %, variando o tipo de material processado.

Um modelo de previsão de forças de extração é apresentado pela equação 1, que se baseia em várias propriedades do material plástico e do molde, considerando a coeficiente de contração térmica do plástico em todo o diâmetro, a temperatura de fusão do plástico, a temperatura de extração, o módulo de elasticidade do plástico, a área total de contato entre o molde e a peça plástica; coeficiente de atrito entre aço e plástico, o diâmetro da circunferência em torno do núcleo; espessura da peça plástica e o coeficiente de poisson do plástico. (GLANVILL; DENTON, 1965 apud PAULO, 2010)

$$F_e = \frac{\alpha \cdot (T_m - T_e) \cdot d \cdot E \cdot A \cdot \mu}{d \cdot \left[ \left( \frac{d}{2t} \right) - \left( \frac{d}{4t} \right) \cdot \gamma \right]} \quad (1)$$

Um modelo de equação para encontrar a força de extração é apresentada na equação 2, que segundo Menges, Michaeli, & Mohren (2001, apud Paulo, 2010), leva em consideração alguns aspectos da peça plástica, tais como: o módulo de elasticidade  $E(T)$ , a contração  $\Delta dr$ , a espessura  $Sm$  e o comprimento em contato com o molde  $C$ , além do coeficiente de atrito ( $f$ ).

$$FR = f \cdot E(T) \cdot \Delta dr \cdot Sm \cdot 2\pi C \quad (2)$$

## 2.9 Resfriamento de moldes

Para compreender os efeitos da temperatura sobre as forças de extração, é importante conhecer o conceito de resfriamento de moldes.

O resfriamento do molde é necessário para reduzir a temperatura do material plástico quente até um ponto de solidificação suficientemente rígido para permitir a extração da peça. A temperatura do molde deve ser mantida suficientemente baixa para obrigar o material quente a transferir seu calor de fusão sensível e latente às superfícies do molde. (HARADA, 2008, p. 188).

Os moldes se aquecem durante o ciclo de injeção, o que logo exige tempo maior para o produto solidificar-se, independente da espessura da parede. Para diminuir a temperatura do molde, realiza-se uma circulação de fluido, geralmente água, através de canais próximos das superfícies moldantes. Entretanto, os canais de refrigeração não devem ficar muito próximos da superfície moldante que se deseja resfriar, pois a temperatura da superfície será desigual. Eles devem ficar distantes da superfície do molde de 3 a 6 vezes o diâmetro do furo. (SORS; BARDÓCZ; RADNOTI, 2002).

A refrigeração é utilizada para obter boa estabilidade dimensional, baixo índice de deformação e boa estética da peça. Ela mantém o macho e a fêmea do molde em uma temperatura estabilizada, por estarem em contato direto com o material plástico aquecido. (CRUZ, 2002).

O valor característico para o resfriamento de um corpo mais quente que sua vizinhança é dado pela razão entre sua superfície e seu peso. (SORS; BARDÓCZ; RADNOTI, 2002).

A temperatura do molde e de sua superfície deve ser mantida constante, menor que o ponto de distorção do plástico, para que não sejam provocadas tensões por diferenças de temperatura, o que ocasionará produção de peças distorcidas (HARADA, 2008).

### 2.9.1 Tempo de refrigeração

Paulo (2010) evidenciou em sua análise experimental que o tempo de refrigeração tem influência no valor da força de extração. Quanto menor o tempo de refrigeração, menos força de extração será necessária. Isso ocorre devido ao material plástico ter maior rigidez e maior contração ao ser mais resfriado, aumentando assim a pressão de contato da peça plástica sobre a superfície do molde.

## 2.10 Contração

Contração é a diferença entre as dimensões da peça injetada após ter alcançado o equilíbrio térmico em temperatura ambiente, comparando-se com o tamanho da cavidade em que a peça foi injetada. (HARADA, 2008)

Essa propriedade é característica dos materiais plásticos que, ao serem esfriados, se contraem, resultando num produto final menor que o molde original. Assim o tamanho do molde a ser confeccionado a partir das dimensões do projeto deve levar em consideração a contração do material. (HARADA, 2008, p. 23).

A contração da peça acabada é volumétrica, ou seja, resulta em uma diminuição em todas as dimensões do produto conforme o coeficiente de contração do material, que pode variar de acordo com o tamanho da espessura da parede da peça e o sentido do fluxo de material. (HARADA, 2008).

Manrich, (2005, p. 327), de maneira geral indica que “para polímeros amorfos o encolhimento considerado ideal está na faixa de 0,3 a 0,8 %, enquanto que para os semicristalinos, está na faixa de 0,6 a 2,2%.”.

Segundo Cruz (2002) e Harada (2006) os materiais plásticos, em sua variedade, têm diferentes valores de contração, dependendo do seu fabricante.

Segundo Manrich (2005), a equação abaixo permite calcular a dimensão que se deve ter no molde (H), para obter uma determinada dimensão da peça (h), sabendo-se o valor da contração do polímero injetado.

$$H = \frac{h}{(1 - C_{méd})} \quad (3)$$

## 2.11 Conicidade ou ângulo de saída

Harada (2008) sugere que em todas as superfícies perpendiculares à linha de separação do molde deva existir uma conicidade adequada para facilitar a saída do produto no molde. Sendo conveniente projetar as paredes com ângulo de 0,5° a 1° por lado.

Manrich (2005) recomenda utilizar conicidade de 0,5° no mínimo para polímeros cristalinos, enquanto os polímeros amorfos requerem conicidade mínima de 1,5°.

Glanvill (1994) indica que a conicidade é necessária para assegurar que a peça seja retirada do molde com mais facilidade, além de evitar que as marcas de usinagem ou polimento formem interferências na extração. Manrich (2005) reforça que a peça deva encontrar-se com ângulo de saída, para que quando submetida ao processo de extração, não incida no atrito entre as paredes do molde e da peça injetada, requerendo altas forças para que o sistema de extração empurre o produto pronto para fora do molde.

Para Manrich (2005, p. 391) “A conicidade é mais importante ainda quando a peça tiver rugosidade superficial ou textura específica.”.

Existem algumas divergências quanto à nomenclatura deste termo. Harada (2008) trata esse ângulo como conicidade, enquanto Manrich (2005) trata o termo como ângulo de saída ou ângulo de extração.

## 2.12 Usinagem de moldes

Com relação à fabricação de moldes de injeção, os componentes com superfícies moldantes são fabricados principalmente a partir de aços endurecidos, sendo usinado na sua condição recozido, seguido de um tratamento térmico, para obter a dureza exigida pelo processo, exigindo um posterior processo de usinagem para acabamento das

superfícies, processo esse que pode ser realizado pela retificação ou eletroerosão das superfícies em contato com o produto, podendo ainda ser necessário um procedimento de polimento manual ou mecanizado das superfícies em contato com o produto. (RAMOS, 2004 apud VICENTE, 2012).

### 2.12.1 Eletroerosão

O processo de usinagem por eletroerosão retira o material por meio de descargas elétricas, utilizando eletrodos de cobre ou grafite, com perfis idênticos ao da cavidade a ser fabricada.

“É baseada no fato reconhecido de que um arco gerado na abertura de um circuito elétrico une as partículas de metal quente.” (SORS; BARDÓCZ; RADNOTI, 2002, p. 418).

Segundo Harada (2004), esse processo não origina acabamentos polidos nas superfícies usinadas. Entretanto Sors, Bardócz e Radnoti (2002) indicam que a aspereza média de superfície obtida na eletroerosão é de 0,5 a 1 $\mu$ m.

### 2.12.2 Retificação

A retificação é um processo de remoção de material pelo meio de abrasão, onde o material da peça é removido através da ação de grãos abrasivos de alta dureza e com arestas de forma e orientação irregular aglomerados em uma roda chamada de rebolo.

O processo de retificação garante a fabricação de componente com tolerâncias dimensionais e geométricas superiores quando comparado com processos de usinagem com geometria definida como torneamento e fresamento, no entanto é pouco eficiente, devido a baixa taxa de remoção de material. (MACHADO et al, 2011).

Machado et al (2011) avalia o tamanho médio dos grãos abrasivos como O principal responsável pela rugosidade alcançada na superfície da peça retificada é, quanto menor o grão abrasivo, menor a rugosidade alcançada, cujos valores de rugosidade média (Ra) variam de 0,15  $\mu$ m a 2,5  $\mu$ m.

### 2.12.3 Polimento

O polimento é empregado em moldes para atender os requisitos estéticos de brilho e transparência, e também os requisitos mecânicos,

tais como superfícies lisas para reduzir quebras por fadiga ou sobrecarga (MACHADO et. al., 2011). Na fabricação de moldes, o polimento gera um aspecto espelhado na peça, além de facilitar sua extração, reduzindo o risco de suas quebras (KLOCKE et.al., 2005 apud VICENTE, 2012).

Para o polimento de molde é comum utilizar-se do processo de lixamento, tendo como objetivo a redução da rugosidade superficial, por meio da movimentação de abrasivos com diferentes tamanhos de grãos em condições controladas de direção, pressão, tempo e velocidade. (MACHADO et. al., 2011).

O polimento pode ser classificado como um processo de usinagem que utiliza ferramenta com geometria não definida para remoção de material na forma de cavacos. (MACHADO et al. 2011).

A qualidade final da superfície polida de um aço depende de fatores como: a técnica de polimento, o tipo de aço-ferramenta e o tratamento térmico aplicado no material. Em geral, pode-se dizer que a técnica de polimento é o fator mais importante. (VILLARES METAIS, 2012).

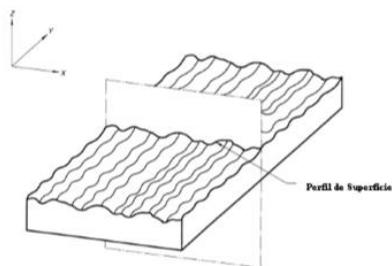
### **2.13 Rugosidade**

O entendimento da forma com que interagem as rugosidades de duas superfícies em contato é essencial para qualquer estudo de atrito.

Inicialmente, é interessante esclarecer que de maneira geral as superfícies são compostas de picos e vales, com amplitude típica de um micrometro, essa amplitude é chamada de rugosidade superficial. (HUTCHINGS, 1992 apud SANTANA, 2009).

A rugosidade tem valores distintos para a direção vertical e horizontal, isso evidencia a mudança do perfil de maior interesse na análise de uma superfície, sendo ela definida pela trajetória de retirada de material. (HUTCHINGS,1992 apud CALAO, 2011).

Uma representação gráfica dos valores de rugosidade em direções diferentes é apresentada na Figura 10.



**Figura 10 - Representação das direções do perfil de rugosidade.**  
**Fonte: CALAO (2011)**

Sasaki et al (tradução nossa, 2000) observa a relação entre a rugosidade da superfície do macho e da força de extração. A força de extração diminui à medida que a rugosidade do macho diminui, porém com a elevada diminuição da rugosidade na superfície do macho, as forças começam a aumentar devido às forças de adesão.

Pouzada, Ferreira e Pontes (tradução nossa, 2006) confirmam essa teoria em seu experimento, observando que o coeficiente de atrito tende a aumentar com o aumento da rugosidade, como uma influência do efeito mecânico das asperezas da superfície. No entanto, verifica-se que quando a rugosidade é reduzida ao nível de  $R_t$  abaixo de  $1 \mu\text{m}$ , há um aumento no valor do coeficiente de atrito, pelo fato de haver um efeito das forças de adesão entre as superfícies.

O uso de uma rugosidade de superfície do núcleo que confere o mínimo de força de extração produz produtos moldados com o mínimo de deformação causado por essas forças. (SASAKI et al, 2000).

## 2.14 Atrito

Para compreender os efeitos causados pelo acabamento superficial sobre as forças de extração, é importante conhecer o conceito de atrito.

Atrito é uma força que resiste ao movimento de duas superfícies em contato que deslizam uma em relação à outra. A força de atrito atua tangente à superfície de contato e sua direção se opõe ao movimento possível ou existente entre as superfícies (HIBBELER, 2011).

Os coeficientes de atrito se alteram de acordo com o movimento, o atrito estático ocorre pela força de oposição antes do início do movimento, e o coeficiente de atrito cinético está relacionado com a

força de oposição à continuação do movimento, uma vez que o movimento já iniciou. (HUTCHINGS, 1992 apud CALAO, 2011).

Beer (1994) afirma que o atrito seco ocorre quando existe contato de superfícies de corpos rígidos sem qualquer envolvimento de lubrificação. Portanto, considera-se o atrito decorrente do contato entre o aço das superfícies do molde e o plástico da peça injetada como sendo um atrito seco, sendo possível a aplicação das leis que a conceituam, tais como: o atrito estático normalmente é maior do que o atrito cinético, a força de atrito é diretamente proporcional à força normal e a força de atrito é independente da área de contato. (HIBBELER, 2011).

#### 2.14.1 Atrito estático

Devido aos ângulos de saída utilizados na cavidade do molde, a força de extração é significativamente reduzida após ser iniciada a retirada da peça. Portanto, é interessante conceituar o atrito estático na fase de extração da moldagem por injeção.

A força de atrito estático é a resultante do grande número de interações que agem em toda a extensão de contato de duas superfícies, sendo que essas ocorrem devido às irregularidades das superfícies em contato e, também, de certa forma, pela atração molecular. (BEER, 1994).

#### 2.14.2 Coeficiente de atrito

O coeficiente de atrito é apontado na norma ASTM G 40, como "a razão adimensional da força de atrito entre dois corpos e a força normal que está pressionando os corpos". (ASM HANDBOOK, 1992 apud CALAO, 2011).

O coeficiente de atrito é independente da área de contato entre as superfícies, no entanto depende fortemente da natureza das superfícies de contato. (BEER, 1994).

O coeficiente de atrito entre os materiais estudados, o aço e a poliamida, tem uma variação em torno de 0,20 até 0,54 como pode ser observado nas Tabela 3 e 4.

**Tabela 3 - Coeficiente de atrito PA 66 em aço**

Material <sup>(a)</sup>		Test geometry <sup>(b)</sup>	Friction coefficient		Ref
Fixed specimen	Moving specimen		Static	Kinetic	
Steel, carbon	Nylon 6	POF	0.54	0.37	21
Steel, mild	Nylon 6	TW	0.22	0.26	16
Steel, carbon	Nylon 6/6	POF	0.53	0.38	21
Steel, mild	Nylon 6/6	TW	0.20	0.28	16
Steel, carbon	Nylon 6/10	POF	0.53	0.38	21

Fonte: Adaptado de ASM Handbook

**Tabela 4 - Coeficiente de atrito PA 66 em aço retificado e polido**

Propriedades Físicas	Unidades	Normas	Nylon 6.0	Nylon 6.6
- Coeficiente de atrito p/ aço retific. e polid. c/ resina a seco	---	---	0,42 (0,38)	0,40 (0,32)

Fonte: Adaptado de Vaziri et al 1988 apud Pouzada et al 2006

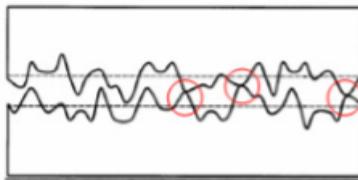
## 2.15 Contato entre superfícies

Após a injeção do material plástico, verifica-se a ocorrência de contato entre as paredes da superfície moldantes e da peça injetada. Para a retirada da peça solidificada, deve ser realizada uma força para vencer o atrito estático e dar início ao deslizamento da peça. As superfícies moldantes com rugosidade superficial elevada ocasionam o fenômeno de retenção, e rugosidades superficiais muito baixas facilitam a adesão entre o aço e a peça plástica. (FERREIRA et al, 2002 apud PAULO, 2010, p.48).

Segundo Pouzada, Ferreira e Pontes (tradução nossa, 2006), a peça plástica tende a reproduzir de perto a textura da superfície do molde após o resfriamento. Essa situação não é considerada na maioria dos estudos para obtenção do coeficiente de atrito, podendo levar a uma variação significativa do seu coeficiente.

Segundo Beer (1994) não existe nenhuma superfície perfeitamente lisa. Quando duas superfícies estão em contato, sempre aparecem forças tangenciais ao tentar mover uma superfície em relação à outra. Essas forças de atrito têm limites e não irão impedir o movimento se as forças tangenciais forem suficientemente grandes.

Quando duas superfícies planas e paralelas são colocadas em contato apenas por meio de sua força peso, e considerando que a mesma não seja suficiente para ultrapassar a tensão de escoamento, o contato inicial ocorre só em poucos pontos, conforme Figura 11. Quando a força normal é aumentada, a aproximação das superfícies é maior e uma grande quantidade de asperezas entra em contato. (HUTCHINGS, 1992 apud CALAO, 2011)



**Figura 11 - Pontos de contato de superfícies rugosas**

**Fonte: Adaptado de SANTANA (2009)**

## **2.16 Influência dos parâmetros de injeção**

Embora o objetivo deste trabalho não seja em verificar a influência dos parâmetros de injeção nas forças de extração, torna-se inevitável o seu estudo para compreensão de fatores que tenham alguma correlação com os resultados a serem obtidos.

### **2.16.1 Temperatura no molde**

Temperaturas altas reduzem tensões internas, originam superfícies mais brilhantes e minimizam as linhas de junção e de fluxo. Moldes com menor temperatura requerem menor tempo de ciclo, mas causam a quebra das peças dentro do molde. A temperatura mínima recomendada para um molde de injeção de termoplásticos é de 20°C e a máxima é de 70°C. (HARADA, 2008).

Segundo Pontes (2004, tradução nossa) a temperatura da superfície do macho influencia consideravelmente na força de extração, diminuindo a força necessária para a retirada do produto quando a temperatura da superfície aumenta. Esse efeito é causado pelo aumento da temperatura do material, causando uma redução do módulo de elasticidade e da contração. Paulo (2010) confirma a influência da temperatura do molde no valor das forças de extração, observando que as forças variam inversamente com o aumento da temperatura do molde.

### **2.16.2 Pressão de compactação ou recalque**

Harada (2008) atribui uma diminuição da contração da peça quando utilizada uma maior pressão de compactação, devido ao aumento de material pressurizado na cavidade do molde.

A diminuição da contração teria como consequência a redução da força de extração, mas Paulo (2010) verificou que em paralelo a este fator, o aumento da pressão de compactação pode aumentar a força de extração devido ao aumento do agarramento da peça na superfície do molde.

### 2.16.3 Tempo de compactação

O aumento do tempo de compactação da peça plástica provoca um natural aumento da força de extração. O tempo de compactação só pode ter efeito até os pontos de injeção estarem solidificados. A partir desse momento deixam, naturalmente, de ter influência sobre a peça plástica e, conseqüentemente, no valor de sua extração. (PAULO, 2010).

### 2.16.4 Pressão de injeção

A pressão necessária para preencher as cavidades de material plástico é influenciada pelo formato e dimensão da peça a ser injetada e da viscosidade do material. (HARADA, 2008).

## 2.17 Projeto de produto

Segundo Harada (2008) as diferenças de espessuras em diferentes partes da peça causam uma contração não uniforme. Ressalta-se também que as curvas nos produtos moldados eliminam concentração de tensões.

## 2.18 Materiais plásticos

Harada (2008, p. 19) conceitua os materiais plásticos como “compostos de resinas naturais ou sintéticas que, através de pressão e calor, podem fluir e adquirir uma forma determinada.”.

Os materiais plásticos são divididos em termoplásticos e termofixos, condicionados pelas suas características tecnológicas.

### 2.18.1 Termoplásticos

Segundo Canevarolo Jr. (2006), os termoplásticos são plásticos com a capacidade de amolecer e fluir quando aquecidos e pressurizados.

Os termoplásticos podem ser fundidos e solidificados inúmeras vezes, sem que ocorra uma grande variação das suas propriedades. (HARADA, 2008).

### 2.18.2 Poliamida (Nylon)

Canevarolo Jr. (2006) conceitua a poliamida como um termoplástico de engenharia, devido à sua alta resistência mecânica e estabilidade dimensional. A poliamida é um material com estrutura cristalina.

Segundo Glanvill (1994), a contração da poliamida após o resfriamento é de 1,0 a 2,5 %. Já para Cruz (2006), a contração para a poliamida 6,6 é de 1,5 %. Sorz et al (2002) traz faixas de contrações mais abrangentes, de 0,8 a 3,0 %.

Sorz et al. (2002) menciona também que a poliamida têm temperaturas de injeção numa gama entre 200°C a 270°C, e uma temperatura de molde ótima entre 60°C a 100°C. Já Cruz (2006) é mais incisivo e estabelece as temperaturas de injeção da poliamida próximas a 255°C, enquanto a do molde se mantém a 90°C.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Em paralelo à revisão bibliográfica, o desenvolvimento deste projeto envolve ainda as etapas de projeto do produto, projeto do molde, fabricação dos componentes, medição dos parâmetros superficiais dos componentes moldantes, previsão das forças de extração, injeção das peças e obtenção dos dados de força.

A etapa de ensaios prevê o aprofundamento teórico-prático na compreensão dos fatores diretamente relacionados com os efeitos da contração e do coeficiente de atrito.

Para alcançar plenamente os objetivos propostos, foram desenvolvidos e usinados nove postigos machos, diferenciados apenas pelo acabamento na superfície moldante (três ângulos de saída x três rugosidades) e, em cada um deles, foi injetada uma peça, em momentos alternados, devido ao transporte da peça contraída sobre o postigo macho até a máquina de ensaios de força.

A Tabela 5 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** representa como cada postigo macho foi denominado.

**Tabela 5 - Denominação dos postigos machos.**

<b>Postigo macho</b>	<b>Ângulo de saída</b>	<b>Acabamento superficial</b>
0,25E	0,25°	Erosionado
0,25R	0,25°	Retificado
0,25P	0,25°	Polido
0,5E	0,5°	Erosionado
0,5R	0,5°	Retificado
0,5P	0,5°	Polido
1E	1°	Erosionado
1R	1°	Retificado
1P	1°	Polido

**Fonte: o autor (2014)**

#### 3.1 Produto de estudo

Para este trabalho foi definido um produto de material polimérico, com uma geometria bastante típica. Essa geometria possui forma tubular com paredes de 2 mm, observando que, segundo Harada (2008), as diferenças de espessuras em várias partes da peça causam

uma contração não uniforme e que as curvas nos produtos moldados eliminam concentração de tensões.

O material é injetado em um ponto de entrada centralizado para que ocorra um fluxo de material fundido mais homogêneo.

### 3.2 Projeto do molde

Para o desenvolvimento deste estudo, foi projetado e fabricado um molde de injeção para materiais termoplásticos, com a possibilidade de processar peças plásticas em condições reais de produção. Sendo responsável por receber o material plástico fundido, realizar o resfriamento das zonas moldantes e possibilitar a extração da peça moldada. A principal característica do molde é a de possuir uma fácil intercambialidade de postigos macho e fêmea, ou seja, permitir que sejam realizadas as trocas dos postigos sem a necessidade de retirada do molde da máquina.

Todas as placas que estruturam o molde foram utilizadas de outro molde que já havia sido fabricado, cujas placas tinham dimensões normalizadas. No entanto, o postigo macho e fêmea tiveram que ser fabricados. Com o intuito de facilitar a fabricação, permitindo operações de torneamento, retificação e eletroerosão que garantissem uma superfície homogênea em relação ao acabamento superficial, o produto foi projetado com geometria de perfil circular.

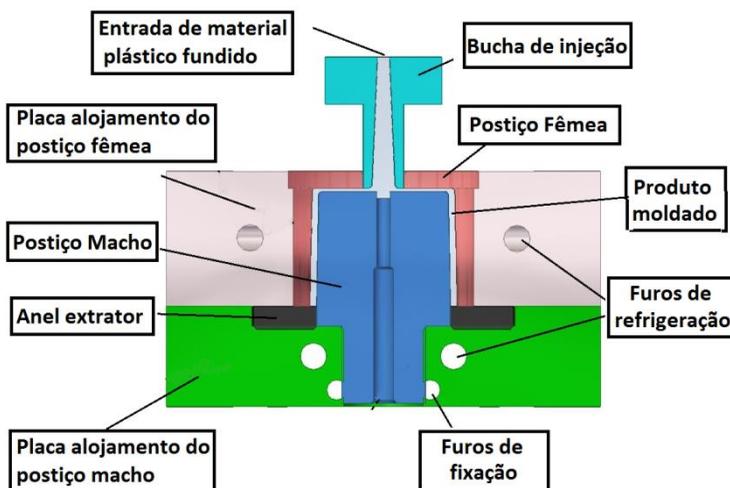


Figura 12 - Projeto dos componentes fabricados (em corte)

**Fonte: o autor (2014)**

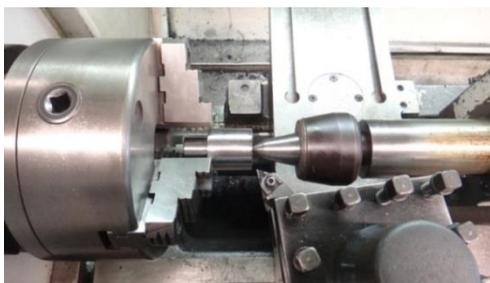
### **3.3 Fabricação do molde**

Como as placas que compõem a estrutura do molde foram utilizadas de outro molde, foi necessária somente a fabricação dos postigos macho e fêmea e das placas alojamentos de postigos (Figura 13).

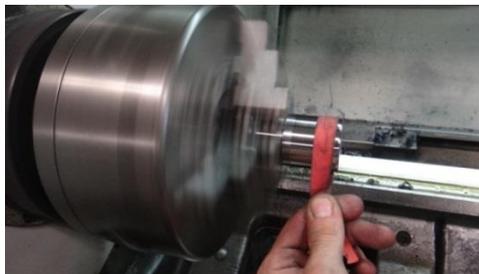


**Figura 13 - Fabricação dos componentes do molde**  
**Fonte: o autor (2014)**

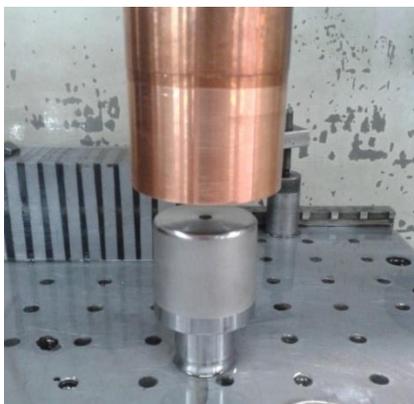
Na fabricação dos postigos, utilizou-se primeiramente o processo de torneamento para desbaste (Figura 14) e, posteriormente, para dar o acabamento nas superfícies moldantes, utilizou-se os processos de usinagem por retificação (Figura 17), usinagem por eletroerosão (Figura 16) e polimento manual (Figura 15).



**Figura 14 - Usinagem de desbaste dos postigos machos utilizando o método de torneamento**  
**Fonte: o autor (2014)**



**Figura 15 - Usinagem de acabamento dos postigos machos utilizando o método de lixamento no sentido contrario da extração**  
**Fonte: o autor (2014)**



**Figura 16 - Usinagem de acabamento dos postigos machos utilizando o método de eletroerosão por penetração**  
**Fonte: o autor (2014)**



**Figura 17 - Usinagem de acabamento dos postigos machos utilizando o método de retificação cilíndrica**  
**Fonte: o autor (2014)**

### 3.3.1 Acabamento superficial das zonas moldantes

Como observado, o produto injetado contrai sobre a parte macho, enquanto a parte fêmea não influencia nas forças de extração. Por esse motivo, decidiu-se que as superfícies moldantes da parte macho fossem fabricadas por diferentes processos para obter-se qualidades superficiais distintas. Conforme descrito anteriormente, os postigos macho passaram por processos de acabamento na usinagem por retificação, usinagem por eletroerosão e polimento manual, pois, dessa maneira, pode-se obter superfícies moldantes que forneçam acabamentos diferenciados uns dos outros, principalmente nos valores e perfis de rugosidades. A diferença dos acabamentos superficiais pode ser observada se comparadas as Figura 18, Figura 19 e Figura 20.



**Figura 18 - Postigos com acabamento superficial polido.**  
Fonte: o autor (2014)



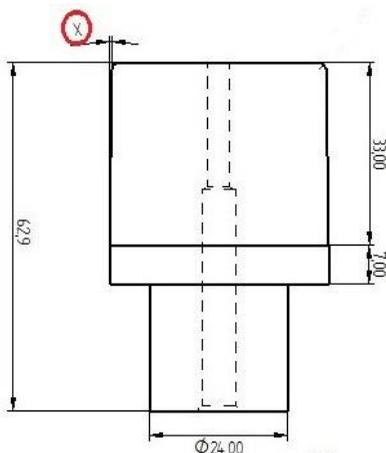
**Figura 19 - Postigos com acabamento superficial retificado**  
Fonte: o autor (2014)



**Figura 20 - Postigos com acabamento superficial erosionado**  
Fonte: o autor (2014)

### 3.3.2 Ângulo de saída

Optou-se por construir as superfícies moldantes com ângulos de saída menores em relação aos ângulos de saída citados pelos autores Harada (2008) e Manrich (2005). Desse modo, pode-se verificar se os ângulos recomendados são realmente os mais eficientes para facilitar a extração das peças injetadas. Sendo assim, esses conjuntos macho e fêmea foram fabricados com ângulos de saída de  $0,25^\circ$ ,  $0,5^\circ$  e  $1^\circ$ . A Figura 21 representa com a letra X o ângulo de saída no posticho macho.



**Figura 21 - Ângulo de saída do posticho macho**  
**Fonte: o autor (2014)**

## 3.4 Funcionamento do molde

Com o objetivo de avaliar as forças de extração de peças plásticas, foi construído o molde com enfoque no mecanismo de extração, minimizando a observação do restante dos mecanismos do molde.

Por esse motivo, o dimensionamento do sistema de extração foi desenvolvido de forma a garantir a extração correta das peças plásticas e possibilitar a medição das forças envolvidas na atuação desse sistema.

### 3.4.1 Sistema de injeção do molde

Considerou-se que o sistema de injeção consistiria em uma injeção direta (Figura 22), em função do produto não exigir utilização

após os testes e pelo baixo custo. Assim sendo, utilizou-se uma bucha de injeção, que originou em cada ciclo de injeção um cone de material, cujas dimensões seriam iguais para todas as versões, ficando ele agarrado às peças após a abertura do molde. Neste caso, a peça e o canal não serão separados após ser concluída sua extração.

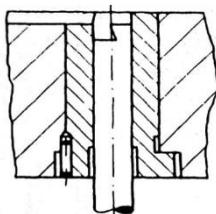


**Figura 22 - Sistema de injeção direta centralizada**  
**Fonte: o autor (2014)**

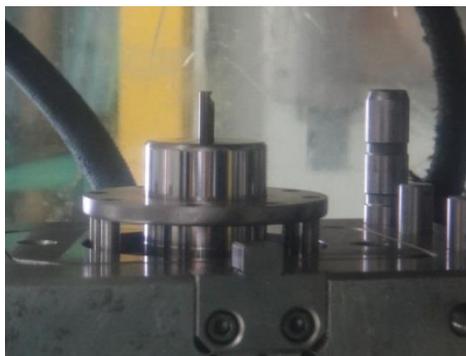
#### 3.4.2 Sistema de extração do molde

No sistema de extração, optou-se por utilizar um anel extrator com o intuito de ter-se uma melhor distribuição das forças de extração, e para garantir que não ocorram deformações na zona de contato. Uma das alternativas seria utilizar o sistema convencional com pinos extractores; entretanto, o anel extrator (Figura 24) garante o contato em todo o diâmetro da peça.

A peça não deve de forma alguma ficar presa no lado da injeção do molde, uma vez que não existe qualquer sistema para removê-la da parte fêmea. Em determinados conjuntos macho/fêmea deste trabalho, as superfícies moldantes da fêmea têm um acabamento menos liso se comparado com as superfícies do macho. Por esse motivo, fez-se necessário o desenvolvimento de um método para reter a peça sobre o macho, sem que isso interfira na superfície de moldagem. Para tal, foi utilizado um pino de extração do canal com retenção de perfil Z (Figura 23).



**Figura 23 - Pino de extração do canal com retenção com perfil Z**

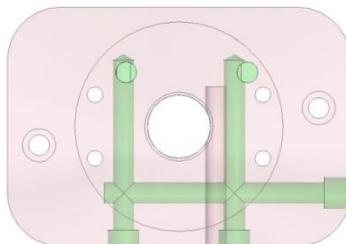


**Figura 24 - Sistema de extração por anel**  
**Fonte: o autor (2014)**

### 3.4.3 Sistema de refrigeração do molde

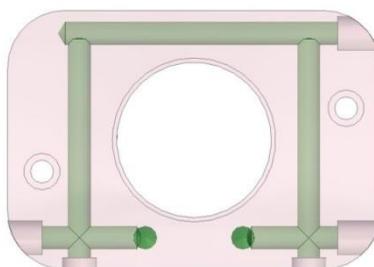
Na refrigeração não foram adotadas as estratégias mais recomendadas, devido às dificuldades encontradas no projeto, em decorrência da utilização de postigos removíveis. Nos dois lados do molde foram adotados circuitos que permitissem refrigerar as peças indiretamente, através da circulação de água através das placas que cercavam os postigos macho e fêmea.

Nas Figura 25 e 26, pode ser observado o percurso do fluido no interior das placas que alojam os postigos macho e fêmea. A água entra pela estrutura do molde, percorre o circuito interior e sai novamente pela estrutura do molde. A circulação de água tem o objetivo de retirar o calor das zonas moldantes para solidificar o material plástico.



**Figura 25 - Sistema de refrigeração na placa alojamento do poste macho**

**Fonte: o autor (2014)**



**Figura 26 - Sistema de refrigeração na placa alojamento do poste fêmea.**

**Fonte: o autor (2014)**

### **3.5 Injeção das peças**

Para a injeção das peças, escolheu-se uma máquina injetora da marca Arburg com capacidade para injetar as peças plásticas no molde (Figura 27), Numa primeira decisão utilizou-se o sistema de visualização de forças efetivas da injetora para obtenção das forças de extração.



**Figura 27 - Máquina injetora com sistema de visualização de forças efetivas.**

**Fonte: o autor (2014)**

No entanto, ao iniciar a injeção das peças, percebeu-se que o valor da força exibido no painel da máquina era instantâneo, não possibilitando uma visualização com precisão. A única maneira viável encontrada para obtenção dos dados de forças necessárias para extração das peças foi através de uma máquina de ensaios de tração e compressão, conforme exibido na Figura 28.



**Figura 28 – Obtenção da força de extração na máquina de ensaios de tração**

**Fonte: o autor (2014)**

Para a extração das peças plásticas na máquina de ensaios de tração, foi necessário que após a pressurização do material plástico fundido para dentro da cavidade, o molde permanece fechado enquanto o sistema de refrigeração atua durante 15 segundos, absorvendo o calor das zonas moldantes até que o material esteja solidificado. Nesta etapa, a máquina abre o molde e o ciclo é interrompido antes que a máquina realize a extração das peças injetadas. É possível, dessa forma, que o postição macho possa ser sacado com a peça plástica acoplada e contraída sobre a sua superfície, de acordo com a Figura 29, possibilitando assim a fixação na máquina de ensaios, e a separação dos corpos. O software que acompanha o equipamento registra todos os valores necessários para a posterior análise.



**Figura 29 - Peça plástica contraída sobre a superfície do postição macho.**

**Fonte: o autor (2014)**

### **3.6 Medição das rugosidades**

O registro das rugosidades da superfície moldante dos postições machos foram obtidos utilizando-se um medidor de rugosidade Perthometer S2 da marca Mahr, representado na Figura 30.



**Figura 30 - Instrumento utilizado para verificação da rugosidade dos postiços**  
**Fonte: o autor (2014)**

Já os registros das rugosidades replicadas na peça plástica foram realizados utilizando-se um medidor de rugosidade da marca Tesa, representado na Figura 31.



**Figura 31 - Instrumento utilizado para verificação da rugosidade das peças injetadas**  
**Fonte: o autor (2014)**

### **3.7 Aplicação**

A aplicação do estudo foi realizada na empresa *Weg Drives & Controls* em Jaraguá do Sul – SC, a qual possui produção de peças plásticas através do processo de moldagem por injeção.

O molde de testes foi projetado, fabricado e montado no departamento de ferramentaria da *Weg Motores*, departamento responsável pela fabricação de moldes para a *Weg Drives & Controls*.

### **3.8 Materiais utilizados**

Os elementos macho e fêmea foram construídos utilizando um aço AISI H13. Além de ser o aço mais utilizado na indústria de moldes, apresenta uma boa condutibilidade térmica, boas características de usinagem e permite um bom acabamento superficial.

Para a injeção das peças, foi utilizado o material poliamida (PA66), sendo um dos materiais plásticos mais utilizado para injeção nas indústrias, principalmente de eletrônicos, pois apresenta ótimas propriedades mecânicas se comparadas com a de outros materiais plásticos.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os dados obtidos durante o processo de fabricação dos postigos e da extração das peças injetadas, bem como as análises realizadas.

Foram realizados três testes em nove superfícies diferentes, nas quais modificaram-se o acabamento superficial e os ângulos de saída, assim como realizou-se a análise das forças necessárias para a retirada da peça injetada após sua contração.

Para cada formato de peça foram coletadas três amostras.

### 4.1 Parâmetros coletados

#### 4.1.1 Rugosidades

Com o objetivo de obter dados reais sobre a influência da rugosidade das superfícies moldantes nas forças de extração, foram avaliados os valores das rugosidades.

Todos os dados coletados e calculados foram lançados em uma planilha eletrônica com o objetivo de poder analisá-los em conjunto.

O registro dos valores de rugosidade obtidos para, posteriormente, poder analisá-los em conjunto com as forças de extração está apresentado na Tabela 6.

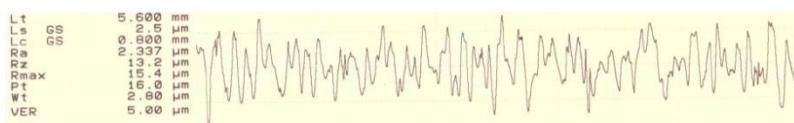
**Tabela 6 - Rugosidades obtidas no processo de fabricação dos postigos macho.**

Postigo macho	Rugosidade Média Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rugosidade Máxima Rt ( $\mu\text{m}$ )
0,25E	2,421	16,60
0,25R	0,212	1,82
0,25P	0,061	1,02
0,5E	3,149	23,30
0,5R	0,167	1,52
0,5P	0,092	1,80
1E	2,337	15,40
1R	0,204	1,81
1P	0,055	1,20

Fonte: o autor (2014)

Para facilitar a visualização dos dados coletados, foram gerados gráficos que apresentam os perfis das rugosidades nas áreas moldantes dos postigos macho, sendo que eles foram acabados pelos processos de eletroerosão por penetração, retífica cilíndrica e polimento.

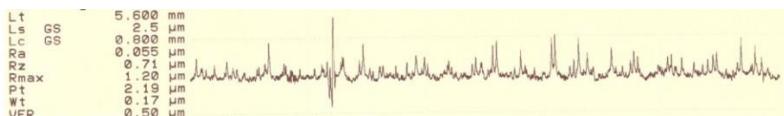
Como o maior interesse deste estudo está voltado às influências da rugosidade na extração de peças injetadas pelo meio do coeficiente de atrito, apresentam-se os resultados da rugosidade obtidas na superfície moldante através dos processos de usinagem para acabamento. Nas Figura 32 à Figura 40 podem-se observar a topografia das superfícies em cada processo de obtenção das superfícies moldantes.



**Figura 32 - Topografia da superfície moldante do postigo macho erosionado com ângulo de saída de 1°**  
Fonte: o autor (2014)



**Figura 33 - Topografia da superfície moldante do postigo macho retificado com ângulo de saída de 1°**  
Fonte: o autor (2014)



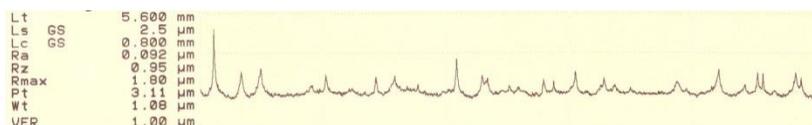
**Figura 34 - Topografia da superfície moldante do postigo macho polido com ângulo de saída de 1°**  
Fonte: o autor (2014)



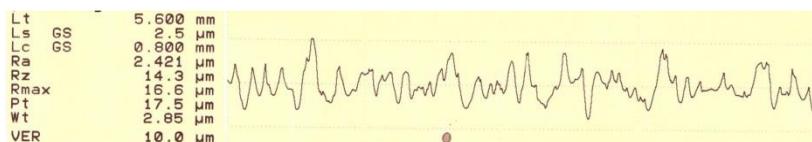
**Figura 35 - Topografia da superfície moldante do postigo macho erosionado com ângulo de saída de 0,5°**  
Fonte: o autor (2014)



**Figura 36 - Topografia da superfície moldante do postição macho retificado com angulo de saída de 0,5°**  
**Fonte: o autor (2014)**



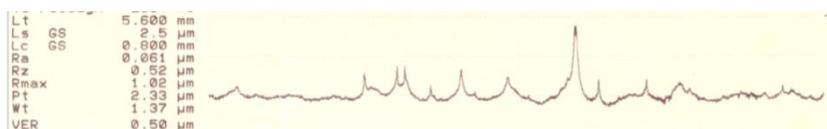
**Figura 37 - Topografia da superfície moldante do postição macho polido com angulo de saída de 0,5°**  
**Fonte: o autor (2014)**



**Figura 38 - Topografia da superfície moldante do postição macho erosionado com angulo de saída de 0,25°**  
**Fonte: o autor (2014)**



**Figura 39 - Topografia da superfície moldante do postição macho retificado com angulo de saída de 0,25°**  
**Fonte: o autor (2014)**



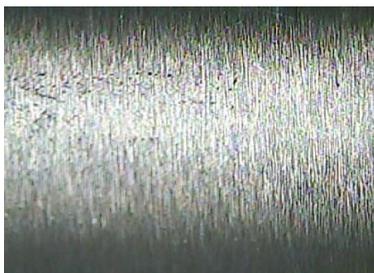
**Figura 40 - Topografia da superfície moldante do postição macho polido com angulo de saída de 0,25°**  
**Fonte: o autor (2014)**

Nas Figura 41, 43 e 44, podem-se observar, através das imagens obtidas com o auxílio de um microscópio, a topografia das superfícies nos três diferentes processos de obtenção das superfícies moldantes.



**Figura 41 - Topografia da superfície moldante com acabamento erosionado.**

**Fonte: o autor (2014)**



**Figura 42 - Topografia da superfície moldante com acabamento retificado.**

**Fonte: o autor (2014)**



**Figura 43 - Topografia da superfície moldante com acabamento polido.**

**Fonte: o autor (2014)**

#### 4.1.2 Contração das peças injetadas

No projeto de moldes para injeção, é fundamental conhecer o valor da contração, não só para calcular as dimensões das zonas moldantes, mas também para projetar o sistema da extração. A contração da peça sobre as zonas moldantes tem, naturalmente, influência no valor das forças de extração da peça plástica, pois determina a pressão de contato que a peça injetada exerce sobre a superfície do macho.

No presente trabalho, a contração das peças é analisada com base nas dimensões finais das peças processadas. Utilizando a equação indicada no item 2.10, obteve-se o valor de contração 0,15%.

$$40,00 = \frac{39,94}{1 - Cméd}$$

$$Cméd = 0,0015 = 0,15\%$$

#### 4.1.3 Previsão das forças

A estimativa das forças de extração foi calculada a partir da equação 1, mencionada no item 2.8.

O resultado dos cálculos de estimativa indica que a força necessária para extração seja aproximadamente 920,5 N.

$$Fe = \frac{6 \cdot 10^{-6} \cdot (260 - 24) \cdot 40 \cdot 3000 \cdot 4398,23 \cdot 0,40}{40 \cdot \left[ \left( \frac{40}{4} \right) - \left( \frac{40}{8} \right) \cdot 0,39 \right]}$$

$$Fe = 920,5 \text{ N} \quad (1)$$

#### 4.1.4 Teste de forças

A Tabela 7 apresenta os valores das forças de extração coletados para as diferentes superfícies moldantes. A coleta dos valores de força foi realizada em quatro etapas (teste 1, 2, 3 e 4). Sendo que nas três primeiras etapas foram testados os postigos machos E, R e P, já na quarta etapa os postigos P foram melhorados, realizando novamente o processo

de polimento, desta vez com uma maior observância, reduzindo a rugosidade máxima ( $R_{m\acute{a}x}$ ) a um nível menor que  $1\mu m$ , sendo que esses postigos foram denominados de PP.

**Tabela 7 - Forças de extração coletadas**

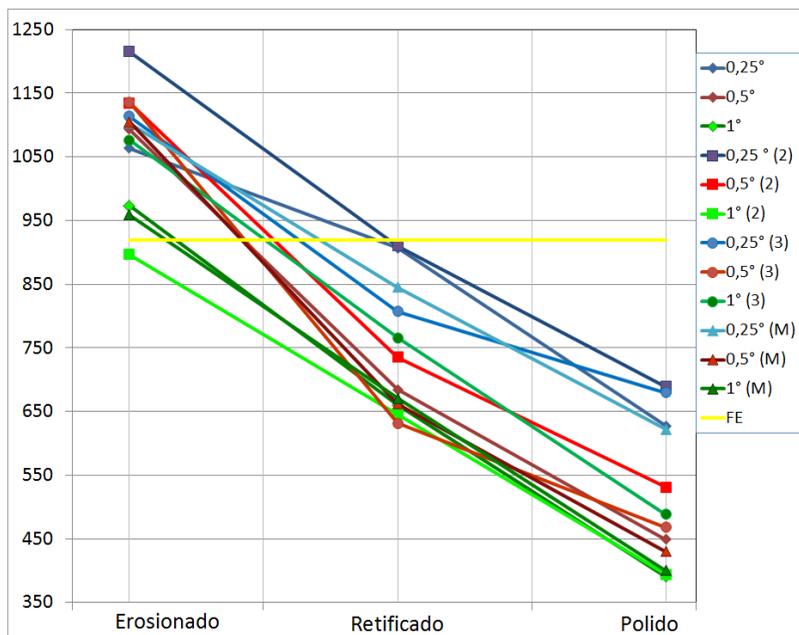
Postiço macho	Força extração (1) N	Força extração (2) N	Força extração (3) N	Força extração (4) N	Força extração (M) N
0,25E	1063,7	1215,1	1114	1019,7	1103,13
0,25R	906,9	910	807,2	755,8	844,98
0,25P	627,2	688,9	680		665,37
0,25PP				491,9	491,90
0,5E	1093,4	1134,5	1136,3	1055,7	1104,98
0,5R	684	735,2	631,3	598,4	662,23
0,5P	449	531,3	467,9		482,73
0,5PP				272	272,00
1E	973,4	896,9	1076,3	889,5	959,03
1R	660,3	645,5	766,1	611,8	670,93
1P	390,7	394,2	488,4		424,43
0,5PP				327,3	327,00

**Fonte: o autor (2014)**

Ao lançar os valores das forças encontradas nas três primeiras etapas de coleta (teste 1, 2 e 3) em um dos eixos do gráfico de dispersão e os diferentes tipos de acabamento da superfície moldante do postiço macho em outro eixo, criou-se uma relação entre os valores, de modo a perceber uma tendência ao aumento das forças de extração como consequência do aumento das rugosidades.

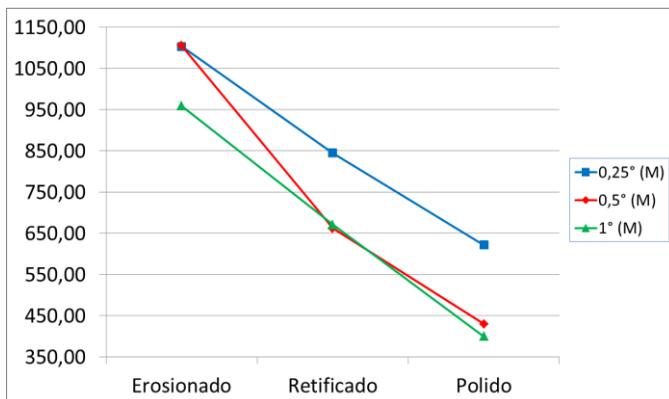
A Figura 44 apresenta o gráfico de dispersão que relaciona as forças de extração (eixo  $y$ ) com o acabamento superficial (eixo  $x$ )

durante as 3 etapas da coleta de dados. Diferenciados pelas cores da linha, sendo azul para ângulos de saída  $0,25^\circ$ , vermelho para  $0,5^\circ$  e verde para  $1^\circ$ . Também é apresentada na cor amarela, a força estimada de extração, obtida através de equações de previsão, conforme visto anteriormente.



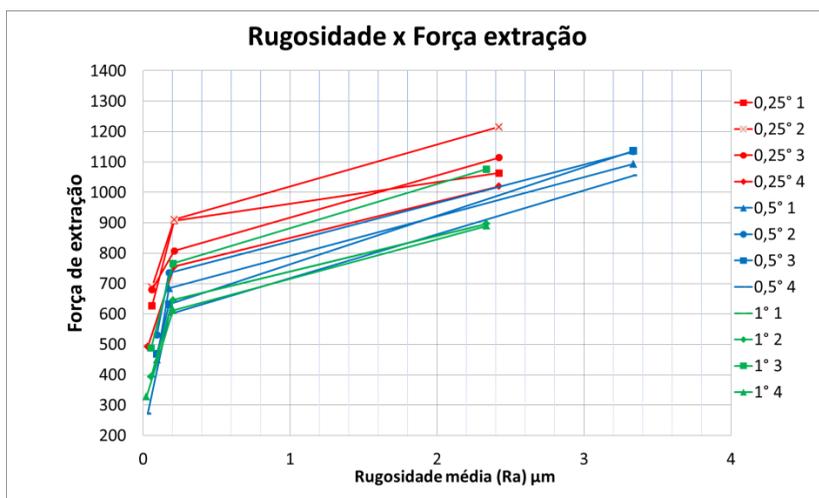
**Figura 44 - Evolução da força de extração**  
**Fonte: o autor (2014)**

Para uma melhor visualização do gráfico anterior, realizou-se uma média entre as forças para cada tipo de acabamento, conforme apresentado no gráfico de dispersão da Figura 45, que relaciona a média das forças de extração (eixo y) com o acabamento superficial (eixo x).



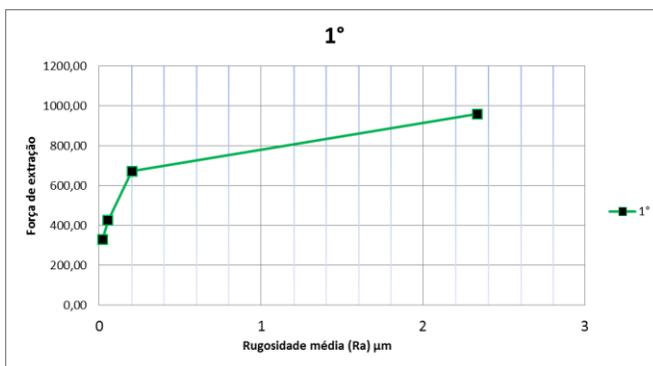
**Figura 45 - Evolução das forças médias de extração**  
**Fonte: o autor (2014)**

Ao analisar a superfície através da rugosidade da superfície moldante do postigo macho e lançar os seus valores no eixo x do gráfico de dispersão e as diferentes forças no eixo y, criou-se uma relação entre os valores. Na Figura 46 pode-se observar no gráfico a direção das forças. Para rugosidades mais baixas, pode-se observar que as forças são naturalmente mais baixas.

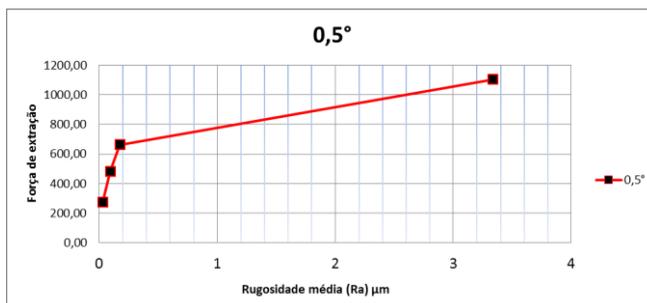


**Figura 46 - Evolução das forças de extração em virtude da variação de rugosidade média.**  
**Fonte: o autor (2014)**

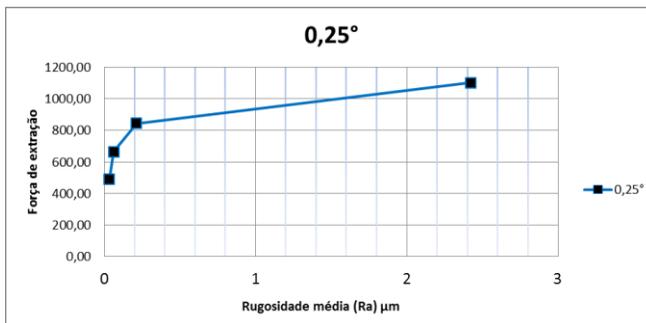
Para uma melhor visualização do gráfico anterior, realizou-se uma média das forças obtidas na extração para cada posição macho. No gráfico de dispersão da Figura 47 são apresentadas as forças obtidas nos testes com os postigos macho com ângulo de saída de  $1^\circ$ ,  $0,5^\circ$  e  $0,25^\circ$ , respectivamente, relacionando a média dessas forças (eixo y) com a rugosidade média da superfície moldante (eixo x).



**Figura 47 - Evolução das forças de extração em virtude da rugosidade média nos postigos macho com ângulo de saída de  $1^\circ$ .**  
Fonte: o autor (2014)

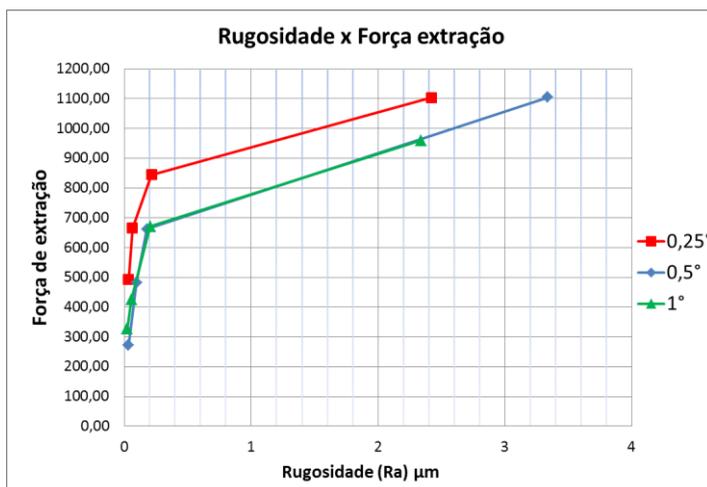


**Figura 48 - Evolução das forças de extração em virtude da rugosidade média nos postigos macho com ângulo de saída de  $0,5^\circ$ .**  
Fonte: o autor (2014)



**Figura 49 - Evolução das forças de extração em virtude da rugosidade média nos postigos macho com ângulo de saída de  $0,25^\circ$ .**  
**Fonte: o autor (2014)**

Na quarta etapa de coleta (teste 4), onde os postigos macho com acabamento polido receberam novamente o processo de polimento, desta vez com uma maior observância, pois foi necessário conferir se, de fato, ao reduzir a rugosidade máxima ( $R_{\text{máx}}$ ) a um nível menor que  $1\mu\text{m}$ , as forças de extração tendem a aumentar devido ao aumento da adesão de material plástico na superfície do molde. O gráfico de dispersão que relaciona a média das forças de extração (eixo  $y$ ) com a rugosidade média (eixo  $x$ ) é apresentado na Figura 50.



**Figura 50 - Evolução das forças de extração em virtude da rugosidade média nos postigos machos.**  
**Fonte: o autor (2014)**

## 4.2 Análise de dados

Neste tópico são apresentadas as análises realizadas a partir dos dados coletados e apresentados anteriormente.

Relacionando as diferentes topografias e rugosidades apresentadas nas superfícies moldantes, percebe-se que o processo de usinagem por eletroerosão utilizados neste estudo gera superfícies moldantes com rugosidades elevadas se comparado com os processos de retificação e polimento, além do que a taxa de remoção de material é relativamente menor, necessitando assim de maior tempo para obtenção das superfícies moldantes.

Em contrapartida, observou-se que nos postigos macho com acabamento erosionado, as forças de extração não seguiam uma tendência de crescimento. Supõe-se que seja em virtude do método de remoção de material no processo quando, ao contrário do processo de retificação, a ferramenta não segue uma trajetória ao longo da superfície do postigo macho, formando uma superfície com perfil de rugosidade de direções indefinidas, como pode ser notado na Figura 41.

Com base nos resultados obtidos através dos testes de força e dimensionamento da rugosidade das superfícies moldantes, observa-se que a força de extração diminui consideravelmente à medida que a rugosidade diminui. Supõe-se que essa diminuição ocorra devido à diminuição do tamanho dos picos positivos e negativos da rugosidade. A força a ser compartilhada por esses picos continua a mesma, mas como são menores, deformam com menos carga, perdendo contato entre as superfícies no início da fase de extração.

A diminuição das forças foi notada também para os diferentes ângulos de saída, percebe-se que a diferença entre as forças de extração para os diferentes tipos de rugosidade é relativamente igual nos três ângulos de saída estudados. No entanto, percebe-se que as forças decrescem quando o ângulo de saída é mais acentuado, aspecto que facilita a extração das peças. Caracterizando que o ângulo de saída influencia ligeiramente as forças de extração, com amplitude menor se comparada com a rugosidade.

Na análise dos métodos de previsão das forças de extração da peça plástica injetada, pode ser observado que não há variações para as diferentes superfícies aqui estudadas. Isso porque em nenhum dos métodos de previsão de forças é considerada a rugosidade da superfície, muito menos o ângulo de saída da superfície moldante, tornando o resultado único para cada método de previsão.

Pode-se observar que a força de extração está diretamente dependente do módulo de elasticidade do plástico à temperatura de extração, do coeficiente de atrito entre o plástico e a superfície do molde, da espessura e da contração da peça injetada. Neste trabalho as peças foram extraídas da superfície moldante em temperaturas menores em relação às temperaturas reais de extração, sendo assim a peça teve maior tempo de solidificação e menor dilatação térmica, que pode ter originado uma contração levemente maior, o que pode ter causado alguma alteração nas forças de extração em relação à força de extração real de um molde aquecido.

Outra observação em relação à contração foi compreendida após a medição das peças injetadas, sendo que sua porcentagem de contração conferida diferencia das contrações trazidas na literatura, ficando a peça final menos contraída em relação aos cálculos de contração recomendados. A diminuição dessa contração pode ser compreendida por alguns fatores conhecidos, como o fato da pressão de compactação aplicada nos testes ser de aproximadamente metade da pressão de injeção e devido ao material plástico poliamida ser isotrópico, absorvendo umidade, ocasionando menor contração. Como os cálculos de previsão de força tendem a ser realizados antes de saber a contração real do produto injetado, leva-se em consideração a contração expressada na literatura, esse fator pode alterar o valor da força prevista, portanto deve-se prever corretamente a porcentagem de contração do material e verificar os parâmetros de injeção que serão utilizados, aumentando assim a assertividade da previsão das forças.

Verifica-se que não houve arrastamento ou marcas de arranhões na superfície das peças moldadas quando observadas em microscópio. Observa-se também que, as peças não replicam a rugosidade superficial do postigo macho.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho pretendeu-se obter as forças experimentais e estimadas para realizar a extração de peças plásticas processadas por injeção.

Consequentemente, foi desenvolvido, projetado e fabricado um molde de injeção para materiais termoplásticos, com a possibilidade de processar o termoplástico conhecido como poliamida, com o objetivo de avaliar experimentalmente as forças de extração. Apesar do sistema de extração por anel extrator ser eficiente para extrair as peças plásticas, não foi possível retirar os dados de força diretamente da máquina, devido à velocidade em que é passada pelo visor.

O planejamento do sistema de extração do molde, quando realizado, leva em consideração todas as variáveis do processo, e ajuda a evitar que aconteçam problemas como arranhões, deformações ou quebra de peças. Pode ainda diminuir o tempo de fabricação do molde, ocasionado pela redução do tempo médio utilizado no processo de polimento das superfícies moldantes, trazendo benefícios para as ferramentarias e para as empresas de injeção.

Acompanhando o comportamento dos dados obtidos, pôde-se perceber que os valores de forças coletados apresentam variações consideráveis, que podem estar relacionados com o método de obtenção dos dados. Percebe-se, no entanto, a tendência da diminuição da força de extração com a melhoria do acabamento superficial.

Por fim, este trabalho atinge parcialmente o seu objetivo ao demonstrar que as metodologias de previsão das forças existentes não levam em consideração a rugosidade e o ângulo de saída, mas apresenta de forma demonstrativa a força necessária para a extração das peças injetadas, apontando para o projetista de moldes as técnicas mais apropriadas de extração.

Este trabalho contém apenas uma pequena amostra de dados, o que não traz a precisão suficiente para a afirmação das teorias aqui descritas. Sugere-se para trabalhos futuros o uso de um molde, adaptado a um método de obtenção de forças utilizando sensores de carga, de modo a obter uma amostragem efetiva com forças reais e com menor variação.

Além disso, sugere-se que o coeficiente de atrito real para cada par de superfícies e o módulo de elasticidade real do material plástico sejam conhecidos, para que os cálculos de previsão alcancem maior precisão.

## REFERÊNCIAS

BEER, Ferdinand Pierre. **Mecânica vetorial para engenheiros**. 5.ed. São Paulo: Pearson, 1994.

CALAO, Luis Fernando Montañez, **Coefficiente de atrito estático do par aço AISI H13 temperado e revenido e recobrimento de cromo duro: ensaios em plano inclinado**, Dissertação de mestrado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

CANEVAROLO JR., Sebastião V., **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 5. ed. São Paulo: Artliber, 2006.

CRUZ, Sérgio da. **Moldes de injeção**. 2. ed. Curitiba: Hemus, 2002.

DOMINGUES JR. G. **Polibilidade de aços para moldes de plásticos**, dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2009.

GLANVILL A.B., DENTON E.N.. **Moldes de injeção**. 3.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1994.

HARADA, Júlio. **Moldes para injeção de termoplásticos**. São Paulo: Artliber, 2004.

HIBBELER, R.C.. **Estática: Mecânica para engenharia**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2011.

MACHADO et. al., **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 2. ed. São Paulo: Bluncher, 2011.

MANRICH, Silvio. **Processamento de termoplásticos**. São Paulo: Artliber, 2005.

MILAN, J.C.G., MACHADO A.R., BARBOSA C.A.. **Usinabilidade dos aços para matrizes de injeção de plástico**, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 1999. XV COBEM.

PAULO, Vitor Jorge Palhais Soares, **Determinação das forças de extração em moldes de injeção de termoplásticos**. Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Mecânica, 2010. Tese de doutorado.

PONTES A.J., POUZADA A.S.. **Ejection Force in Tubular Injection Moldings. Part I: Effect of Processing Conditions**, IPC/Institute for Polymers

and Composites Department of Polymer Engineering University of Minho, Guimarães, Portugal, 2004.

POUZADA A.S., FERREIRA E.C., PONTES A.J., **Friction properties of molding thermoplastics**. Polymer Testing, 2006. 25: p. 1017 – 1023, Guimarães, Portugal, 2006.

SANTANA, Janaina Silva de, **Avaliação tribológica dos polímeros NBR, PTFE e PTFE gravitado em contato com o aço AISI 52100**, dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2009.

SASAKI T. et al. **An experimental study on ejection forces of injection molding**. Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology, Koriyama, Japan, 24, 270–273, 2000.

SILVA, A.L.V da C. e, MEI, P.R., **Aços e ligas especiais**, 3. ed. São Paulo: Bluncher, 2010.

SORS, L., BARDÓCZ, L., RADNOTI, I. **Plásticos Moldes e Matrizes**. São Paulo: Hemus, 1998.

Villares Metals, **Catálogo Aços para Moldes**, 2012. Disponível em: <[http://www.villaresmetals.com.br/portuguese/files/Cat\\_Acos\\_Moldes.pdf](http://www.villaresmetals.com.br/portuguese/files/Cat_Acos_Moldes.pdf)>. Acesso em: 14 out. 2014.

VICENTE, L.N., **Análise do efeito da metodologia de interpolação da trajetória da ferramenta de usinagem na etapa de polimento de moldes e matrizes**, Dissertação de Mestrado. Santa Bárbara d'Oeste, 2012.