

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**



Trabalho de Conclusão de Curso

**ESTUDO DE CASO DE UMA PEÇA POLIMÉRICA APLICADA NA
INDÚSTRIA MÉDICA**

BERNARDO RODRIGUES CORREA TAVARES

Pelotas, 2018

BERNARDO RODRIGUES CORREA TAVARES

**ESTUDO DE CASO DE UMA PEÇA POLIMÉRICA APLICADA NA
INDÚSTRIA MÉDICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia de
Materiais da Universidade Federal de
Pelotas, como requisito parcial para a
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Materiais

Orientadora: Profa. Dra. Amanda Dantas de Oliveira

Pelotas, 2018

BERNARDO RODRIGUES CORREA TAVARES

**ESTUDO DE CASO DE UMA PEÇA POLIMÉRICA APLICADA NA
INDÚSTRIA MÉDICA**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 17/12/2018

Banca examinadora:

Profa. Dra. Amanda Dantas de Oliveira (Orientadora)
Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. Fabrício Aulo Ogliari
Doutor em Odontologia pela Universidade Federal de Pelotas

Engenheira Gabriela Escobar Hochmuller da Silva
Engenheira de Materiais pela Universidade Federal de Pelotas

Dedico esse trabalho a todos aqueles que mesmo tendo a ciência que eu tenho um parafuso a menos, sabiam que no final eu seria capaz deste feito e me incentivaram a continuar minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe, Jane Estrela, que sempre me incentivou a estudar, me mostrou a importância disso desde pequeno e não mediu esforços para que eu pudesse chegar até aqui. Pelo apoio incondicional, pela fé em mim e por nunca ter duvidado de que eu chegaria até aqui.

A minha avó, Evanir Tavares, que assim como minha mãe, sempre me incentivou a estudar e sempre se preocupou com meus estudos.

A minha namorada, Paula Silva, que foi de ajuda inestimável nos momentos de necessidade, pelo apoio nesse momento difícil, por aguentar meu nervosismo e por sempre estar lá quando eu precisei.

A minha professora orientadora Profa. Dra. Amanda Oliveira, pela atenção fornecida, por se preocupar em me ajudar e estar sempre disponível para corrigir meus erros.

Aos meus amigos que, as vezes mesmo sem saber, me ajudaram a passar por esses momentos mais difíceis e por, de uma forma ou de outra, estarem sempre me incentivando a ser alguém melhor e continuar meus estudos.

RESUMO

TAVARES, Bernardo Rodrigues Correa. **Estudo de caso de uma peça polimérica aplicada na indústria médica**. 2018. 54f. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas 2018.

Uma visão geral sobre conceitos básicos de polímeros, classificações, formas de processamento e defeitos observados no processo de moldagem por injeção são apresentados neste trabalho. O trabalho foi realizado em uma empresa localizada na cidade de Pelotas, RS. Esta empresa produz principalmente produtos aplicados na área médica, tais como, equipamentos para diálise e bombas de infusão. Dentre os polímeros que são utilizados para a obtenção destes produtos e que foram utilizados no presente trabalho, pode-se destacar o copolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS), o poliacetal, a poliamida 6,6, policloreto de vinila (PVC), entre outros. O principal processo de conformação de polímeros empregado nesta empresa é o de moldagem por injeção. Serão então apresentados neste trabalho algumas das peças produzidas pela empresa, o maquinário utilizado pela empresa, bem como alguns parâmetros de processo e os defeitos mais comumente observados nos produtos que a empresa produz. Por fim, será apresentado um estudo de caso de um problema de produção enfrentado durante o trabalho prático na empresa, as formas que foram utilizadas para sancionar este problema, o destino final das peças com defeitos e também como são reprocessados os resíduos da produção.

Palavras-chave: Polímeros, processamento, moldagem por injeção

ABSTRACT

TAVARES, Bernardo Rodrigues Correa. **Estudo de caso de uma peça polimérica aplicada na indústria médica**. 2018. 54f. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas 2018.

An overview of the basic concepts of polymers, classifications, forms of processing and defects observed in the injection molding process are presented in this paper. The work was carried out in the medical company located in the city of Pelotas, RS. This company mainly produces products applied in the medical field, such as, dialysis equipment and infusion pumps. Among the polymers that are used to obtain these products and which were used in the present work, we can highlight the acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer (ABS), polyacetal, polyamide 6.6, polyvinyl chloride (PVC), among others. The main process of polymer forming used in medical company is injection molding. Some of the pieces produced by medical company, the machinery used by the company, as well as some process parameters and the defects most commonly observed in the products that the company produces, will be presented in this work. Finally, a case study will be presented of a production problem faced during the practical work in the company, the forms that were used to sanction this problem, the final destination of defective parts and also how the production residues are reprocessed.

Keywords: Polymers, processing, injection

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1- Monômero cloreto de vinila e unidade de repetição do PVC. | 18 |
| Figura 2 - Preparação da resina de ABS..... | 19 |
| Figura 3 - Monômeros e Polímero ABS..... | 20 |
| Figura 4 - Monômeros MABS..... | 21 |
| Figura 5 - Polimerização do PE..... | 22 |
| Figura 6 - Cadeias do polietileno..... | 23 |
| Figura 7- Polimerização do Poliacetal. | 23 |
| Figura 8 - Reação de polimerização do nylon 6,6. | 25 |
| Figura 9 - Máquinas injetoras da “empresa médica” | 33 |
| Figura 10 - Moldes de injeção. | 33 |
| Figura 11 - Fluxograma de fluxo de processo para injeção..... | 35 |
| Figura 12 - Ficha de parâmetros de processo..... | 37 |
| Figura 13 - Injeção de cabos com PVC..... | 38 |
| Figura 14 - Injeção de componentes com inserto..... | 39 |
| Figura 15 - Partes que compõem um equipo. | 41 |
| Figura 16 - Bombas de infusão com estrutura polimérica. | 42 |
| Figura 17 – Peças a base de polímeros utilizadas na montagem dos eletromédicos. | 43 |
| Figura 18 – Presença de bolhas em peça moldada por injeção..... | 45 |
| Figura 19 – Presença de trincas em peça moldada por injeção..... | 45 |
| Figura 20 - Defeito de processamento do tipo short shot. | 46 |
| Figura 21 – Defeito do tipo marca de queima em algumas peças moldadas por injeção..... | 46 |
| Figura 22 - Defeito de processamento do tipo efeito diesel. | 47 |
| Figura 23 - Defeito de processamento do tipo marcas de fluxo. | 47 |
| Figura 24 – Presença de rebarbas em peça moldada por injeção. | 48 |
| Figura 25 – a) Moinho; b) resíduos; c) material reprocessado. | 51 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Propriedades PVC..... | 29 |
| Tabela 2 - Propriedades ABS..... | 29 |
| Tabela 3 - Propriedades MABS..... | 30 |
| Tabela 4 - Propriedades PE | 30 |
| Tabela 5 - Propriedades POM..... | 31 |
| Tabela 6 - Propriedades PA | 32 |
| Tabela 7 - Fluxograma de decisão: problemas de processo ou produto..... | 44 |
| Tabela 8 - Acompanhamento peça Alavanca Porta Texturizada Módulo de Infusão. | 49 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 14 |
| 2.1. POLÍMERO | 14 |
| 2.2. POLIMERIZAÇÃO..... | 14 |
| 2.2.1. Polimerização de adição..... | 14 |
| 2.2.2. Polimerização de condensação | 15 |
| 2.3. ORIGEM..... | 15 |
| 2.4. CLASSIFICAÇÃO..... | 16 |
| 2.4.1. Quanto estrutura molecular | 16 |
| 2.4.2. Quanto ao número de meros..... | 16 |
| 2.4.3. Quanto ao comportamento mecânico: plásticos, elastômeros e fibras. 17 | |
| 2.5. POLICLORETO DE VINILA (PVC)..... | 17 |
| 2.6. ACRILONITRILA BUTADIENO ESTIRENO (ABS) | 19 |
| 2.7. COPLÍMERO DE METIL METACRILATO ACRILONITRILA BUTADIENO ESTIRENO (MABS) | 21 |
| 2.8. POLIETILENO (PE)..... | 22 |
| 2.9. POLIACETAL (POM)..... | 23 |
| 2.10. POLIAMIDA (PA)..... | 25 |
| 2.11. TÉCNICAS DE CONFORMAÇÃO DE POLÍMEROS | 26 |
| 2.11.1. Extrusão | 26 |
| 2.11.2. Moldagem por Compressão e por Transferência..... | 26 |
| 2.11.3. Moldagem por sopro..... | 27 |
| 2.11.4. Fiação..... | 27 |
| 2.11.5. Filmes | 27 |
| 2.11.6. Termoformagem | 27 |
| 2.11.7. Rotomoldagem | 27 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 29 |
| 3.1. MATERIAIS | 29 |
| 3.1.1. Policloreto de Vinila (PVC) | 29 |
| 3.1.2. Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) | 29 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.1.3. | Metil Metacrilato de Acrilonitrila Butadieno Estireno (MABS) | 30 |
| 3.1.4. | Polietileno (PE) | 30 |
| 3.1.5. | Poliacetal (POM)..... | 31 |
| 3.1.6. | Poliamida (PA)..... | 31 |
| 3.1.7. | Maquinários e moldes..... | 32 |
| 3.2. | MÉTODOS | 33 |
| 3.2.1. | Moldagem por Injeção | 34 |
| 4. | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 38 |
| 4.1. | PROCESSAMENTO NA INDÚSTRIA MÉDICA | 38 |
| 4.2. | PEÇAS PRODUZIDAS..... | 40 |
| 4.3. | DEFEITOS DE PROCESSAMENTO..... | 43 |
| 4.4. | PROBLEMAS DE PRODUÇÃO PRESENCIADOS | 45 |
| 4.4.1. | Bolhas..... | 45 |
| 4.4.2. | Trincas..... | 45 |
| 4.4.3. | Short Shot..... | 46 |
| 4.4.4. | Marcas de queima (Degradação) | 46 |
| 4.4.5. | Efeito Diesel (Pintas pretas) | 47 |
| 4.4.6. | Marcas de fluxo | 47 |
| 4.4.7. | Rebarbas | 48 |
| 4.5. | ESTUDO DE CASO | 48 |
| 4.6. | RESÍDUOS | 50 |
| 5. | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 52 |
| 6. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 53 |

1. INTRODUÇÃO

A sobrevivência e evolução da raça humana depende de sua capacidade de criar alternativas e métodos de contornar as dificuldades e simplificar a vida. Os avanços científicos em diversas áreas como saúde, transporte, alimentação e outras, garantiram que fosse possível não apenas sobreviver, mas aprimorar a forma de vida conhecida. Os materiais necessários para alcançar a evolução e sua disponibilidade são tão importantes que a pré-história humana é dividida em idade da pedra, idade do ferro e idade do bronze. (HAGE JR, 1998)

Mesmo antes do ser humano pensar em macromoléculas ou sintetizar qualquer tipo de material, a utilização dos polímeros já era algo constante na vida humana. O primeiro contato do homem com os polímeros se deu por meio das fibras naturais, como a madeira, a borracha e as fibras de plantas. O avanço tecnológico proporcionou uma maior variedade de polímeros sendo criados, sintetizados e processados. Esses polímeros, com suas propriedades inovadoras, passaram a substituir muitos materiais utilizados até então, ocupando um espaço significativo na vida humana.

Os principais polímeros analisados neste trabalho são: PVC, ABS/MABS, polietileno, poliacetal e poliamida. Esses polímeros podem ser processados por diversas técnicas, entre elas extrusão, moldagem por compressão, moldagem por sopro e injeção. A moldagem por injeção teve enfoque neste trabalho uma vez que é o principal processo utilizado pela empresa na qual foi realizado o mesmo. Diferentes parâmetros de processo foram analisados para diferentes tipos de polímeros e diferentes tipos de peças, com a intenção de evitar e/ou corrigir os principais tipos de defeitos e problemas identificados. Além disso, é explicado como os resíduos obtidos pela empresa são reprocessados.

No estudo de caso que será apresentado são mostrados os métodos utilizados para correção dos defeitos de processamento da peça “Alavanca Porta Texturizada Módulo Infusão LF Smart” produzida, que utilizou o polímero poliacetal para a sua obtenção. O estudo de caso foi realizado a partir de

conhecimentos adquiridos durante o trabalho prático na indústria médica, colocando em prática toda a teoria estudada ao longo da graduação.

O presente trabalho foi estruturado da seguinte forma: Introdução ao tema, revisão bibliográfica partindo dos conceitos químicos básicos até os principais métodos de processamento de polímeros, metodologia e resultados e discussão, neste último item será apresentado o estudo de caso realizado na empresa e os principais defeitos observados nas peças moldadas por injeção.

O objetivo geral deste trabalho foi realizar uma breve revisão bibliográfica sobre os conceitos básicos de polímeros para que se possa entender da melhor forma possível o processamento destes materiais, ligando o conteúdo teórico com os conhecimentos adquiridos na prática.

Os objetivos específicos deste trabalho são apresentar os processos envolvidos na obtenção de peças produzidas pela empresa e que são aplicadas na área médica, os tipos de defeitos mais comumente observados nestas peças e como amenizar ou até mesmo impedir a presença destes defeitos. os diferentes tipos de ciclos, o maquinário da empresa, os polímeros mais utilizados pela empresa e suas propriedades.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. POLÍMERO

A palavra polímero origina-se do grego poli (muitos) e mero (unidade de repetição). Assim, um polímero é uma macromolécula compostas por muitas (dezenas de milhares) de unidades de repetição denominadas meros, ligadas por ligação covalente. A matéria prima para a produção de um polímero é o monômero, isto é, uma molécula com uma (mono) unidade de repetição. Dependendo do tipo do monômero (estrutura química), do número médio de meros por cadeia e do tipo de ligação covalente, poderemos dividir os polímeros em três grandes classes: Plásticos, Borrachas e Fibras. (CANEVAROLO, 2006 pagina 21).

2.2. POLIMERIZAÇÃO

É simplesmente o processo de reação de ligação dos monômeros que dá origem as longas cadeias de unidades repetidas, os polímeros. É classificada de acordo com o mecanismo de reação em polimerização de adição e polimerização de condensação (SALVADOR, 2000).

2.2.1. Polimerização de adição

Na polimerização de adição as unidades de repetição vão se ligando umas às outras na forma de cadeia para compor uma macromolécula. Três estágios estão envolvidos, a iniciação, a propagação e a terminação. Na iniciação um centro ativo capaz de propagação é formado pelo iniciador (catalisador) e uma unidade polimérica. A propagação envolve o crescimento linear da cadeia pela adição sequencial de unidades do monômero a essa cadeia molecular com crescimento ativo. A terminação se dá de duas formas, ou as extremidades ativas de duas cadeias que se propagam podem liga-se para formar uma molécula só ou as extremidades ativas podem reagir com outro radical e formar cadeias mortas. (CALLISTER. 2012). É através dessa técnica que a maioria dos polímeros utilizados na moldagem por injeção são

produzidos como, por exemplo, polietileno (PE), polipropileno (PP), policloreto de Vinila (PVC) e poliestireno (PS).

2.2.2. Polimerização de condensação

Esse tipo de polimerização consiste na formação de polímeros por reações químicas intermoleculares que ocorrem em etapas, e que podem envolver mais que uma espécie de monômero. Existe geralmente um subproduto com baixa massa molar como a água (H_2O), que é eliminado. Nenhum componente reagente apresenta a fórmula química da unidade repetida, e a reação intermolecular ocorre toda vez que a unidade repetida é formada. (CALLISTER, 2006). Os poliésteres e os fenóis-formaldeídos termofixos, as poliamidas e os policarbonatos são produzidos por esse tipo de síntese.

2.3. ORIGEM

Para a produção de polímeros, primeiro é necessário que se produzam os monômeros utilizados nas reações de polimerização. Esses monômeros podem ser obtidos a partir de três grandes grupos: os produtos naturais, o carvão mineral e, principalmente, o petróleo. (CANEVAROLO, 2006)

Como a esmagadora maioria dos polímeros produzidos atualmente são sintéticos e provenientes do petróleo, apenas este tipo de matéria prima será apresentado.

O petróleo é a fonte mais importante. Dele são obtidas várias frações (GLP, nafta, gasolina, querosene, óleo diesel, graxas parafínicas, óleos lubrificantes e piche), mas a que interessa para a produção dos polímeros é a Nafta. Após uma destilação fracionada do óleo cru para separação da nafta e um crackeamento térmico da mesma, em temperaturas de aproximadamente $800^{\circ}C$, várias frações gasosas contendo moléculas saturadas e insaturadas são geradas. As moléculas insaturadas (etileno, propileno, buteno e isobutileno) são separadas e aproveitadas para a síntese de polímeros. Dessas

3 principais moléculas (etileno, propileno e butadieno), praticamente toda a indústria petroquímica do polímero é desenvolvida. (CANEVAROLO, 2006).

2.4. CLASSIFICAÇÃO

Os polímeros podem ser classificados de diferentes formas. Quanto a sua estrutura molecular, quanto ao número de meros e quanto ao comportamento mecânico. (CANEVAROLO, 2006).

2.4.1. Quanto estrutura molecular

Com relação a estrutura molecular os polímeros podem ser classificados como lineares, ramificados, com ligações cruzadas ou reticulados.

Polímeros lineares são aqueles em que as unidades repetidas estão ligadas lado a lado do início ao fim da cadeia. Apresentam a forma de um espaguete. (CALLISTER, 2012).

Polímeros ramificados são polímeros que apresentam ramificações em suas cadeias principais. Essas ramificações são consideradas parte da molécula da cadeia principal, e influenciam diretamente no empacotamento e na massa específica do polímero. (CALLISTER, 2012).

Polímeros com ligações cruzadas são polímeros com cadeias lineares que estão unidas umas às outras através de ligações cruzadas covalentes em diversas posições. Essas ligações são geradas durante sua síntese e são irreversíveis. (CALLISTER, 2012).

Polímeros reticulados são polímeros que apresentam um grande número de ligações cruzadas formando uma rede tridimensional. Em geral, não são compostos por apenas um tipo estrutural específico. (CALLISTER, 2012).

2.4.2. Quanto ao número de meros

Homopolímero: são polímeros formados a partir de um único tipo de monômero. São criados através da polimerização de adição.

Copolímero: é um polímero que apresenta mais de um mero diferente na cadeia polimérica. (CANEVAROLO, 2006). Podem ser classificados em: copolímero aleatório, alternado, em bloco e enxertado.

2.4.3. Quanto ao comportamento mecânico: plásticos, elastômeros e fibras.

Os plásticos compõem o maior grupo de materiais poliméricos, podem ser de dois tipos os termoplásticos e os termofixos. Apresentam alguma rigidez estrutural sob carga e suas aplicações são as mais variáveis. Apresentam grande variedade de combinações de propriedades devido a sua estrutura, configuração, conformação, aditivos utilizados no seu processamento, entre outros. Devem ser utilizados abaixo da sua temperatura de transição vítrea (se forem amorfos), ou abaixo da sua temperatura de fusão (se forem semicristalinos). (CANEVAROLO, 2006).

Os elastômeros destacam-se pela sua grande elasticidade, semelhante a uma borracha. São capazes de deformações muito maiores que o seu tamanho original e, logo após o alívio da tensão, voltam a sua forma inicial. Essa propriedade se dá devido as ligações cruzadas e ramificadas presentes nesse tipo de polímero. (CANEVAROLO, 2006).

As fibras são polímeros capazes de serem estirados em longos filamentos com uma razão entre o comprimento e o diâmetro de 100:1. São geralmente utilizados em compósitos e na indústria têxtil, sendo tecidas ou costuradas em panos ou tecidos. Atendem a uma gama de propriedades físicas e químicas rigorosas para poderem serem utilizados na indústria têxtil. (CANEVAROLO, 2006).

2.5. POLICLORETO DE VINILA (PVC)

O PVC é sintetizado a partir do monômero etileno com adição de cloro durante sua síntese, através do processo de polimerização de adição, em que a dupla ligação do monômero é rompida iniciando o processo e dando origem ao polímero. (CANEVAROLO, 2006).

Existem diferentes tipos de PVC, podendo ser rígido ou flexível, opaco ou transparente, brilhante ou fosco, colorido ou não. Estas características são obtidas com a utilização de plastificantes, estabilizantes, pigmentos, entre outros aditivos, usados em sua formulação. A Figura 1 apresenta o monômero utilizado para a obtenção do PVC e a sua unidade de repetição.

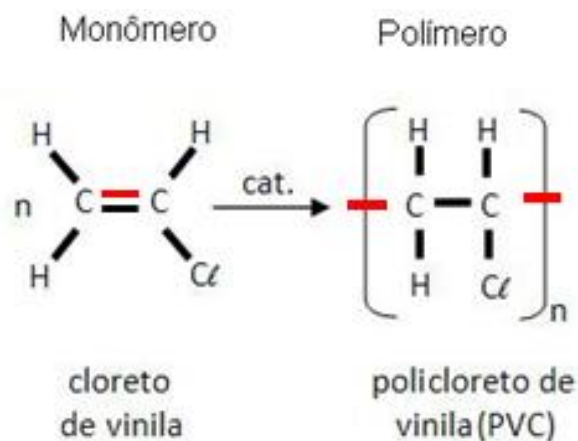


Figura 1- Monômero cloreto de vinila e unidade de repetição do PVC.

Fonte: FOGAÇA, 2018.

Principais propriedades do PVC:

- Resistente a ação de fungos, bactérias, insetos e roedores;
- Resistente à maioria dos reagentes químicos;
- Bom isolante térmico, elétrico e acústico;
- Impermeável a gases e líquidos.;
- Durável: sua vida útil em construções é superior a 50 anos;
- Não propaga chamas: é auto-extingüível.;
- Fabricado com baixo consumo de energia;
- Ele pode ser reciclado várias vezes com perda de poucas propriedades;
- O PVC é a resina de maior aplicação na área médica;

Aplicações:

O PVC possui uma vasta versatilidade de aplicação, podendo ser utilizado para fabricação de brinquedos, mangueiras, tubulações, materiais para construção civil, embalagens, luvas descartáveis, calçados, fabricação de

piscinas, revestimentos, perfis, recobrimento de fios e cabos, filmes, lacres, acessórios e dispositivos médico-hospitalares.

Nos produtos médico-hospitalares, o PVC é utilizado para a fabricação de embalagens para medicamentos, bolsas de sangue, tubos para transfusão e hemodiálise, artigos cirúrgicos, além de pisos de salas onde é indispensável o alto índice de higiene. (PVC, 2018).

2.6. ACRILONITRILA BUTADIENO ESTIRENO (ABS)

O ABS é um copolímero formado a partir de uma polimerização de condensação que envolve três monômeros diferentes. Primeiro a acrilonitrila é polimerizada com o estireno formando o SAN (copolímero de estireno acrilonitrila), para depois ser processada junto com o polibutadieno, formando o ABS. (FOGAÇA, 2018)

A produção do ABS e as propriedades desejadas variam para cada aplicação, já que cada monômero fornece uma propriedade diferente, portanto, as quantidades de cada monômero na mistura vão variar de acordo com a necessidade de cada propriedade no polímero final. A Figura 11 apresenta um esquema simplificado do processo de obtenção do ABS.

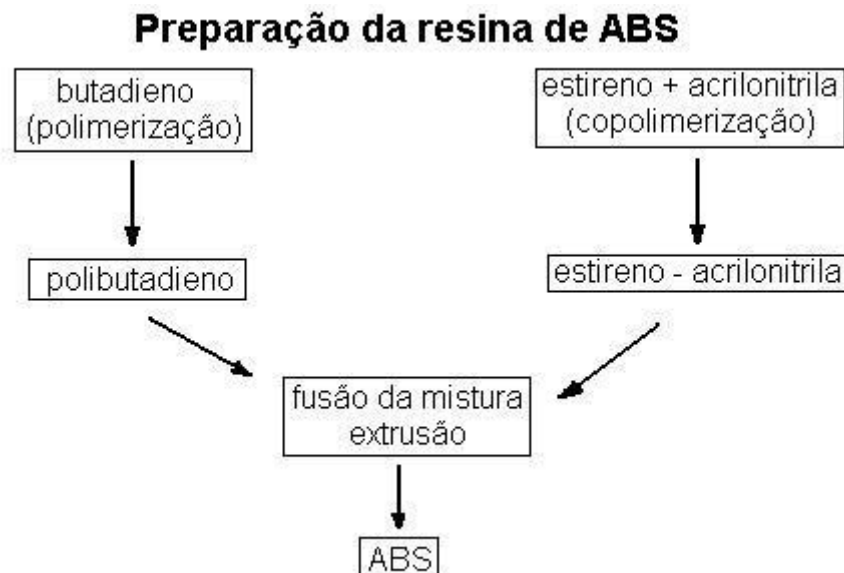


Figura 2 - Preparação da resina de ABS.

Fonte: (ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO, 2018).

O ABS é o material mais utilizado na injeção de componentes atualmente devido a seu custo (relativamente barato), ser resistente, leve e flexível ao mesmo tempo, além de poder receber qualquer tipo de cor, podendo ser opaco ou transparente. Por ser um termoplástico, o ABS pode ser facilmente amolecido e reprocessado diversas vezes. (ECYLE, 2018)

Principais propriedades do ABS:

- Fluidez (fornecida pelo Estireno);
- Resistência ao Impacto (fornecida pelo Butadieno);
- Resistência Térmica (fornecida pela Acrilonitrila);
- Boa processabilidade.

Aplicações:

As aplicações do ABS são vastas. Com apresenta boas propriedades de resistência e é um polímero relativamente barato, utiliza-se na fabricação de brinquedos, bens de consumo, telefones e capacetes de segurança, por exemplo.

Voltado para a indústria médica, o ABS é utilizado nas peças em que não há muita solicitação mecânica, tanto na parte estrutural dos aparelhos eletrônicos, quantos nas pequenas peças que compõe os equipos.

A Figura 3 apresenta os monômeros utilizados na síntese do ABS e sua disposição no polímero formado. O estireno e a acrilonitrila formam o copolímero, enquanto o polibutadieno é adicionado depois formando a estrutura do ABS.

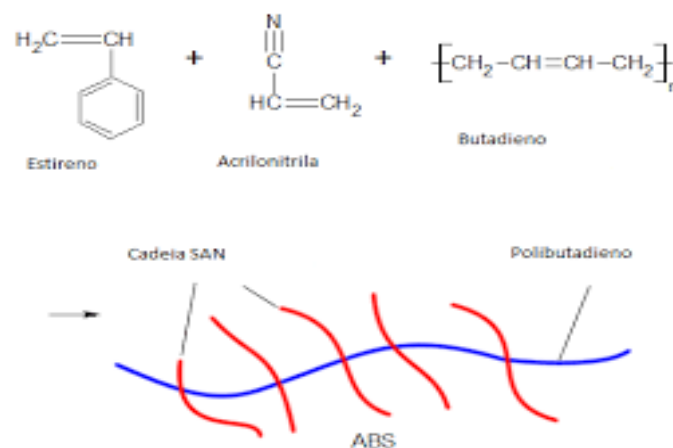


Figura 3 - Monômeros e Polímero ABS.

Fonte: MARTINS, 2018.

2.7. COPLÍMERO DE METIL METACRILATO ACRILONITRILA BUTADIENO ESTIRENO (MABS)

Muito parecido com o ABS, o MABS é um copolímero formado a partir de uma polimerização de condensação que envolve quatro unidades de repetição diferentes. Primeiro a acrilonitrila é polimerizada com o estireno formando o SAN, depois o monômero metil metacrilato é incorporado nessa mistura para depois ser processada junto com o polibutadieno, formando o MABS. (MABS, 2018).

Assim como na produção do ABS, a quantidade de cada monômero vai variar de acordo com a aplicação do produto final.

A grande diferença que ocorre com a adição do monômero de metil metacrilato são os níveis de transparência que o polímero consegue atingir após a sua síntese. O polímero refrata muito menos a luz, mas em contrapartida perde em resistência ao impacto. A seguir, a figura 4 com todos monômeros utilizados na fabricação do MABS.

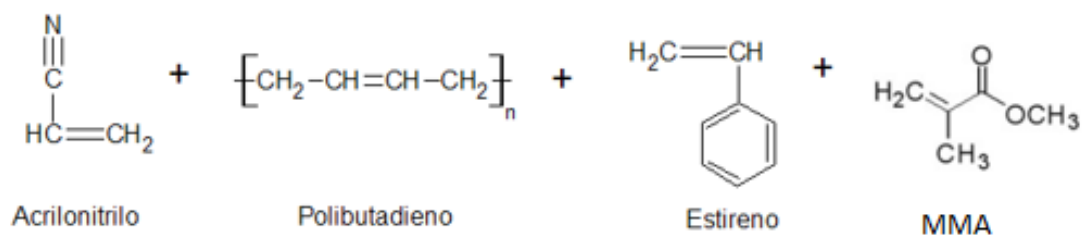


Figura 4 – Monômeros do MABS.

Fonte: MABS, 2018

Principais propriedades do MABS:

- Altamente transparente e brilhoso;
- Boa resistência química;
- Boa resistência ao impacto;
- Fácil Processamento (Fluidez);
- Ótimo acabamento superficial.

Aplicações:

As aplicações do MABS mais comuns são dispositivos médicos, embalagens cosméticas, tampas de máquina de lavar, produtos domésticos, entre outros.

Nos dispositivos médicos, a utilização do MABS se dá em peças de pouca solicitação mecânica, mas que é necessária a transparência da mesma para visualização do fluxo dos fluidos através dela.

2.8. POLIETILENO (PE)

O PE é o polímero mais simples, mais comum e mais utilizado mundialmente. É sintetizado a partir da polimerização de adição de monômeros de etilenos, ou etenos segundo a IUPAC. Apresenta cadeias lineares e cadeias ramificadas, sendo divididos em dois grupos: Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e Polietilenos de Baixa Densidade (PEBD), respectivamente. Outros tipos de PE podem ser citados como o Polietileno Linear de Baixa Densidade (PELBD), o Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (PEUAPM) e o Polietileno de Ultrabaixa Densidade (PEUBD). (FOGAÇA, 2018). A seguir, a Figura 5 mostra a polimerização do polietileno.

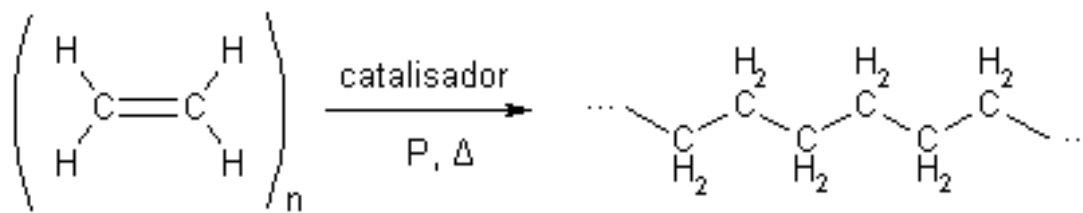


Figura 5 - Polimerização do PE.

Fonte: FOGAÇA, 2018

Propriedades do PE: mesmo com a diferença em suas cadeias, algumas propriedades são as mesmas para os dois tipos de PE. São elas: material atóxico, impermeável, inerte e possuem pouca estabilidade dimensional. As diferenças entre estes dois polietilenos são apontadas a seguir.

PEAD: Alta resistência a tensão, compressão e tração, são mais rígidos que o PEBD, baixa densidade em comparação a metais e outros materiais.

PEBD: Flexível e leve, transparente, mais baixo custo.

Aplicações:

Devido as diferentes propriedades geradas pelas cadeias ramificadas, os dois tipos de polietileno têm diferentes aplicações. Algumas delas são:

PEBD: Embalagens flexíveis, sacolas de todo tipo, filmes laminados, frascos para produtos farmacêuticos e hospitalares, entre outros.

PEAD: Caixotes para peixes, refrigerantes e cervejas, frascos para detergentes e shampoo, caixas d'água, embalagens para produtos de limpeza e óleos automotivos.

Os diferentes tipos de cadeiras do polietileno podem ser observados na figura a seguir.

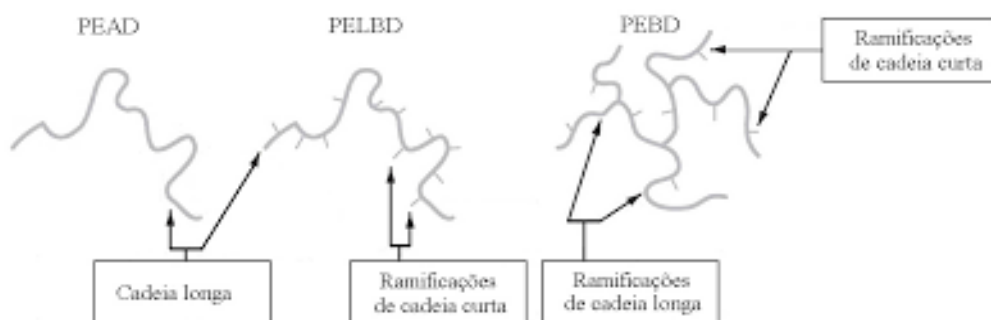


Figura 6 - Cadeias do polietileno.

Fonte: COUTINHO et al., 2003

2.9. POLIACETAL (POM)

Também conhecido por Polioximetileno, o POM é um polímero que pode ser produzido na forma de homopolímero ou copolímero, a partir de apenas um tipo de monômero (formaldeído) ou a partir de dois tipos de monômeros (óxido de etileno e 1,3 dioxolano). (PRODUTOS-POLIACETAL, 2018). Essa diferença na sua sintetização pode ser observada na figura 7 a seguir.

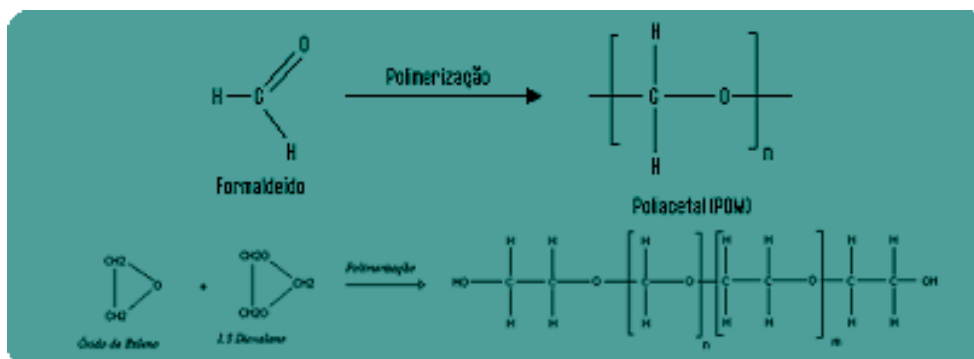


Figura 7- Polimerização do Poliacetal.

Fonte: PRODUTOS-POLIACETAL, 2018

O Poliacetal moldado por injeção é utilizado em componentes de engenharia de alto desempenho, como engrenagens pequenas, parafusos, válvulas, buchas, roldanas, dentre outros produtos, que geralmente são fabricados em metal devido a sua alta estabilidade dimensional, excelente resistência a escoamentos, à fadiga, à abrasão e a agentes químicos.

Principais propriedades do Poliacetal:

- Excelente estabilidade dimensional;
- Elevada rigidez;
- Boa resistência ao impacto e tração;
- Antiaderente;
- Boa resistência a deformação com o calor;
- Alta resistência a flexões alternadas;
- Baixo coeficiente de atrito;
- Absorve vibrações;
- Baixíssima absorção de umidade;
- Alta resistência ao desgaste;
- Boa resistência mecânica;
- Boa resistência dielétrica;
- Boa resistência a substâncias orgânicas;
- Tenacidade, mesmo em baixa temperatura;
- Alto módulo de elasticidade;
- Elevada resistência a agentes químicos.

Aplicações:

Algumas aplicações do poliacetal são: peças de alta precisão dimensional, engrenagens, buchas e mancais, flanges, roldanas, retentores, parafusos, conexões e válvulas.

Na indústria médica, a utilização do poliacetal se restringe às aplicações em equipamentos eletrônicos em que é necessária uma alta resistência ao desgaste e uma elevada rigidez, como a estrutura dos eletromédicos.

2.10. POLIAMIDA (PA)

Mais conhecida como nylon, a poliamida é um polímero formado por polimerização de condensação por um grupo amina e diversos outros tipos de grupos como, por exemplo, um ácido carboxílico ou cloreto de acila. Foi inicialmente utilizado como fibras sintéticas e depois passou a ser manufaturado como os plásticos tradicionais. (CANEVAROLO, 2006). Essa

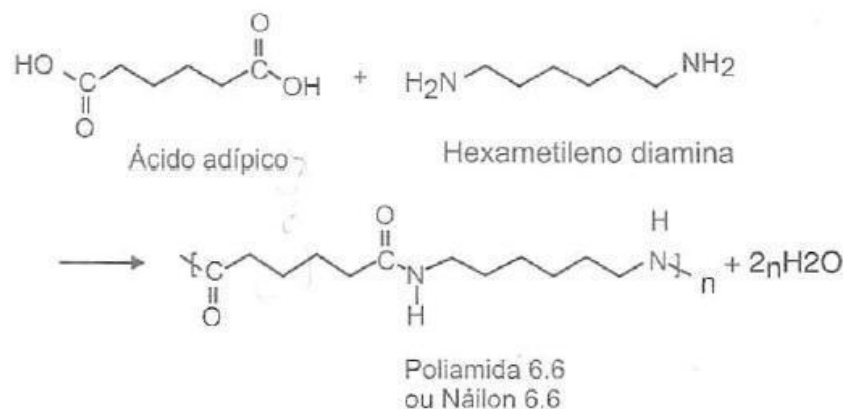


Figura 8 - Reação de polimerização do nylon 6,6.

Fonte: NYLON: NYLON 6,6, 2018

reação pode ser observada na figura a seguir.

A poliamida é um dos polímeros que mais necessita de atenção quanto a umidade, tanto antes do processamento, quanto após. Antes de injetar esse tipo de polímero, é necessário secá-lo em uma estufa ou funil secador por pelo menos 24 horas a uma temperatura de 80°C para evitar manchas de umidade na peça pronta.

As poliamidas de interesse comercial são os de números 6,6; 6,9; 6,10; 6,11. As poliamidas são identificadas por um sistema de numeração que indica o número de átomos de carbono em cada um dos monômeros. Por exemplo, havendo seis átomos de carbono no hexametilenodiamina e no ácido adípico, a poliamida correspondente é a 6,6. (NYLON: NYLON 6,6, 2018)

Principais propriedades da poliamida

- Alta resistência à fadiga;
- Boa resistência ao impacto;

- Alta temperatura de fusão;
- Baixo coeficiente de atrito;
- Resistência às intempéries;
- Ótimas propriedades mecânicas;
- Alta fluidez;
- Impermeáveis aos gases;
- Higroscópicas.

Aplicações:

As aplicações mais comuns das poliamidas são fibras para a indústria têxtil, engrenagens, peças automotivas, buchas, lacres, roupas, carcaças e componentes internos, interruptores, pegas de portas e tampões de rodas.

Referente a indústria médica, a poliamida é utilizada na parte estrutural de equipamentos médicos eletrônicos em que é necessária uma boa resistência a fadiga, como em portas e alavancas.

2.11. TÉCNICAS DE CONFORMAÇÃO DE POLÍMEROS

2.11.1. Extrusão

A moldagem por extrusão consiste na fabricação de segmentos contínuos com seção transversal de geometria constante, por exemplo mangueiras, tubos e barras. Os pellets são colocados no funil para serem fundidos devido a ação termomecânica das placas de aquecimento e atrito gerado pelas roscas. Após fundido, o material é introduzido na matriz, a qual possui o formato desejado da peça, em seguida é resfriado com água ou sopradores de ar. (CALLISTER, 2012).

2.11.2. Moldagem por Compressão e por Transferência

Uma quantidade apropriada de polímero é colocada entre os moldes macho e fêmea do molde. As peças são aquecidas e pressionadas uma contra outra, transformando o polímero em um líquido viscoso que escoar na cavidade e adquire o formato do molde. Na moldagem por transferência a diferença é

que o material é fundido em uma câmara de transferência aquecida e depois injetado no interior da câmara do molde. (CALLISTER, 2012).

2.11.3. Moldagem por sopro

Na moldagem por sopro formas pré-moldadas (parisons) são colocadas em um molde bipartido com a cavidade na forma desejada, aquecidos e ar comprimido é pressionado no interior da peça, fazendo com que ela se expanda e adquira a forma do molde. Muito utilizado na fabricação de garrafas. (SHACKELFORD, 2008).

2.11.4. Fiação

Na fiação um polímero fundido é bombeado através de uma placa com muitos orifícios (fieira), em que após passar se forma uma única fibra, que se solidifica rapidamente devido ao resfriamento por sopradores de ar ou água. (ASKELAND, 2014).

2.11.5. Filmes

Os filmes podem ser produzidos de duas formas: pode ser por extrusão através de um fino rasgo na matriz seguida de uma operação de laminação com rolos ou extrusão através de uma matriz anelar e sopro em um tubo contínuo. (ASKELAND, 2014).

2.11.6. Termoformagem

Na termoformagem uma fina lâmina de polímero é colocada sobre o molde que, dependendo da técnica utilizada, pode ter uma ou duas partes, e uma pressão é exercida sobre a lâmina, forçando-a sobre as paredes do molde e obtendo sua forma. (OLIVEIRA, 2018).

2.11.7. Rotomoldagem

No processamento por rotomoldagem uma quantidade de polímero preestabelecido é colocada dentro do molde, que é fechado e colocado dentro de uma câmara de aquecimento. O molde fica girando constantemente enquanto a temperatura funde o polímero e faz com que ele se adere as

paredes do molde. Após o tempo necessário, o molde é retirado da câmara, ainda girando, e resfriado. Depois de resfriado, é retirado manualmente com o auxílio de desmoldantes. (OLIVEIRA, 2018).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

Os seguintes polímeros foram utilizados no trabalho:

3.1.1. Policloreto de Vinila (PVC)

O polímero PVC utilizado na moldagem por injeção da “empresa médica” é fornecido pela empresa Braskem, sob o nome comercial Norvic S80SA, com as propriedades detalhadas na tabela 1.

| COMPOSTOS DE PVC BRASKEM | | | |
|---|--|------------------------|--|
| Propriedades de referência | Método | Unidades | Valores |
| Densidade | ISO/R 1183 | g/cm ³ | 1,10 - 1,45 |
| Resistência a tração | ISO/R 527 | Mpa | 10,0 - 25,0 |
| Elongação | ISO/R 527 | % do comp. Original | 150 - 400 |
| Dureza | ASTM D 785 (Dureza Rockwell); ASTM D 2240 (Dureza Shore); | BS, Shore, Rockwell | Amolecimento BS: 15 – 90; Shore A: 50 – 95; Rockwell R: 5 – 80 |
| Condutividade termica | ASTM C 177 | W/m.°C | 0,14 – 0,17 |
| Coefficiente de expansão térmica linear | ASTM 696 | °C ⁻¹ | 10 x 10 ⁻⁵ – 25 x 10 ⁻⁵ |
| Calor específico | ASTM C 351 | J/g.°C | 1,0 – 2,0 |

Tabela 1 - Propriedades PVC

Fonte: BRASKEM, 2018

3.1.2. Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS)

O polímero ABS utilizado na moldagem por injeção da “empresa médica” é fornecido pela empresa Ineos Styrolution, sob o nome comercial Novodur, com as propriedades detalhadas na tabela 2.

| TEST METHOD | UNIT | PROPERTIES | | | | PROCESSING | | | | MECHANICAL | | | | | | THERMAL | | | |
|-------------------|------|------------|---|---|------------------|------------------|----------------|------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|--|--|---|-------------------------------|--|---|---|---|
| | | Density | Mechanical injection molding expansion (E) - flow molding (E) | Melt volume rate, MVR (220 °C / 10 L/g) | Melt temperature | Mold temperature | Mold thickness | Residual modulus | Stress at yield / at break | Strain at yield / at break | Flexural strength | Charpy unnotched impact strength (23 °C / 30 °C) | Charpy notched impact strength (23 °C / 30 °C) | Impact notched impact strength (H 100 / 30) | Ball and ring impact strength | Five deflection temperature (unnotched) (MD A) (100 MPa) | Five deflection temperature (notched) (MD B) (10 MPa) | Heat deflection temperature (5% deflection) (MD A) (10 MPa) | Heat deflection temperature (5% deflection) (MD B) (10 MPa) |
| NOVODUR HD 15 | ABS | 1050 | M | 15 | 220-260 | 30-80 | 0.4-0.7 | 2300 | 38 / n.d. | 2.5 / >15 | - | 170 / 90 | 14 / 6 | 16 / 6 | 102 | 93 | 99 | 100 | 102 |
| NOVODUR HD M203FC | ABS | 1050 | M | 31 | 230-260 | 60-80 | 0.4-0.7 | 2400 | 46 / n.d. | 2.6 / >15 | 70 | 110 / 90 | 15 / 7 | 15 / 7 | 105 | 94 | 98 | 99 | 101 |
| NOVODUR M210TF | ABS | 1040 | M | 30 | 230-260 | 60-80 | 0.4-0.7 | 2050 | 42 / n.d. | 2.4 / >15 | 60 | n.d. (*) | 17 / 11 | 17 / 11 | 90 | 94 | 98 | 95 | 98 |
| NOVODUR P21MC | ABS | 1030 | M | 25 | 230-260 | 60-80 | 0.4-0.7 | 2200 | 40 / n.d. | 2.4 / >15 | 62 | n.d. (*) | 24 / 14 | 23 / 12 | 90 | 94 | 96 | 95 | 98 |

Tabela 2 - Propriedades ABS

Fonte: INEOS STYROLUTION, 2018

Medical

Chemical resistance

Food contact

Electroplating

Enhanced flow

* no break
 ** not determined
 *** 4h@80 °C
 **** Styrene-Methylmethacrylate/Methylmethacrylate-Butadiene-Styrene

3.1.3. Metil Metacrilato de Acrilonitrila Butadieno Estireno (MABS)

O polímero MABS utilizado na moldagem por injeção da “empresa médica” é fornecido pela empresa Ineos Styrolution, sob o nome comercial Terlux, com as propriedades detalhadas na tabela 3.

| TEST METHOD | PROPERTIES | | | | PROCESSING | | | | MECHANICAL | | | | THERMAL | | | OPTICAL | | | |
|-----------------|--------------------------|-------------------|---|---|---------------------------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------------------|--|-----------------------------|--|---|--|-------------------------------------|-----------------------|
| | Polymer abbreviation | Density | Molecular weight, equilibrium 25 °C (g/gc, lb/lb) | Method: impact molding (all extrusion) (B) (low molding fill) | Melt volume flow rate (230 °C / 10kg) | Mold temperature | Mold temperature | Mold shrinkage | Tensile modulus | Stress at yield | Strain at break | Charpy impact strength (23 °C) | Charpy unnotched impact strength (23 °C) | Halevisius ball indentation | Heat deflection temperature, HD 7 (1.80 MPa) | Heat deflection temperature, HD 15 (0.43 MPa) | Heat deflection temperature, P2 (0.05) | Light transmission (2 mm thickness) | Haze (2 mm thickness) |
| UNIT | | kg/m ³ | % | cm ³ /10 min | °C | °C | % | MPa | MPa | % | kJ/m ² | kJ/m ² | MPa | °C | °C | °C | % | % | - |
| General purpose | TERLUX 2802 | MABS | 1080 0.35 | M, E, B 2 | 230-260 | 50-80 | 0.4-0.7 | 2000 | 48 | 12 | 5 | 120 | 70 | 90 | 94 | 93 | 89 | 2 | 1.54 |
| | Easy flow | TERLUX 2812 | MABS | 1080 0.35 | M, E, B 8 | 230-260 | 50-80 | 0.4-0.7 | 1900 | 42 | 20 | 5 | 110 | 75 | 87 | 93 | 87 | 89 | 2 |
| High impact | TERLUX 2802 Q434 | MABS | 1080 0.35 | M, E, B 2 | 230-260 | 50-80 | 0.4-0.7 | 2000 | 48 | 20 | 10 | 150 | 70 | 90 | 94 | 93 | 87 | 3 | 1.54 |
| | Easy flow | TERLUX 2812 Q434 | MABS | 1080 0.35 | M, E, B 8 | 230-260 | 50-80 | 0.4-0.7 | 1900 | 42 | 22 | 8 | 120 | 75 | 87 | 93 | 87 | 3 | 1.54 |
| Health-care* | TERLUX HD 2802 / HD 2822 | MABS | 1080 0.35 | M, E, B 2 | 230-260 | 50-80 | 0.4-0.7 | 2000 | 48 | 12 | 5 | 120 | 70 | 90 | 94 | 93 | 89 | <3 | 2 |
| | Easy flow | TERLUX HD 2812 | MABS | 1080 0.35 | M, E, B 8 | 230-260 | 50-80 | 0.4-0.7 | 1900 | 42 | 20 | 5 | 110 | 75 | 87 | 93 | 87 | 89 | <3 |

*For healthcare applications, INEOS Styrolution offers a Full-Service HD package providing reliable formulations, global regulatory approval support, compatibility testing to specific chemicals, technical support (processing, design, calculation), enhanced quality control processes (cleaning, sampling frequency and documentation) and high performance property profiles.

Tabela 3 - Propriedades MABS

Fonte: INEOS STYROLUTION, 2018

3.1.4. Polietileno (PE)

O polímero PE utilizado na moldagem por injeção da “empresa médica” é fornecido pela empresa Braskem, sob o nome comercial Polietileno Linear de Baixa Densidade LL6800N, com as propriedades detalhadas na tabela 4.

Polietileno Linear de Baixa Densidade LL6800N

Propriedades de Controle:

| | Método ASTM | Unidades | Valores |
|------------------------------|-------------|-------------------|---------|
| Índice de fluidez (190/2,16) | D 1238 | g/10 min | 0,75 |
| Densidade | D 792 | g/cm ³ | 0,921 |

Propriedades Típicas:

Propriedades de Referência do Filme^a

| | Método ASTM | Unidades | Valores |
|---|-------------|----------|-----------|
| Tensão de Ruptura (DM/DT) | D 882 | MPa | 40/40 |
| Alongamento de Ruptura (DM/DT) | D 882 | % | 1180/1330 |
| Módulo Secante a 1% (DM/DT) | D 882 | MPa | 200/240 |
| Resistência ao Impacto por Queda de Dardo | D 1709 | g/F50 | 490 |
| Resistência ao Rasgo Elmendorf (DM/DT) | D 1922 | gF | 870/2080 |
| Opacidade | D 1003 | % | 19 |
| Brilho - Ângulo 60° | D 2457 | - | 100 |

(a) Filme de 100 µm de espessura, obtido em extrusora de 40 mm, com razão de sopro de 2,2:1 (DM = Direção de Extrusão e DT = Direção Transversal à Extrusão);

Tabela 4 - Propriedades PE

Fonte: BRASKEM, 2018

3.1.5. Poliacetal (POM)

O polímero POM utilizado na moldagem por injeção da “empresa médica” é fornecido pela empresa Heraform, sob o nome comercial POM Heraform R900 NAT com as propriedades detalhadas na tabela 5.

HERAFORM R900 NAT

| | <i>Material code</i> | <i>Colour code</i> | | |
|-------------------------------------|----------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| <i>PROPERTY</i> | | | <i>STANDARD</i> | <i>UNIT</i> |
| <i>Physical Properties</i> | | | | |
| Density | | | ISO 1183 | Kg/m ³ |
| Water absorption, immersion at 23°C | 2mm thk | | ISO 62 | % |
| Melt Volume Rate | 190°C / 2.16kg | | ISO 1133 | g/10' |
| <i>Mechanical Properties</i> | | | | |
| Tensile Modulus | 1mm/min | | ISO 527-2/1A | MPa |
| Stress at Yield | 50mm/min | | ISO 527-2/1A | MPa |
| Nominal Strain at Break | 50mm/min | | ISO 527-2/1A | % |
| Charpy Notched Impact Strength | +23°C | | ISO 179/1 eA | KJ/m ² |
| <i>Thermal Properties</i> | | | | |
| Melting Temperature | 10°C/min | | ISO 11357-1-3 | °C |
| Heat Deflection Temperature | 1.8 MPa | | ISO 75/2 A f | °C |
| Vicat Softening Temperature | 50°C/h | | ISO 306/B50 50N | °C |
| <i>Flammability Properties</i> | | | | |
| Flammability | 1.6mm | | UL 94 | class |
| Automotive interior flammability | Burn rate | | FMVSS302 | mm/min |

Tabela 5 - Propriedades POM

Fonte: HERAFORM, 2018

3.1.6. Poliamida (PA)

O polímero PA utilizado na moldagem por injeção da “empresa médica” é fornecido pela empresa Resinex, sob o nome comercial Ravamid A NC com as propriedades detalhadas na tabela 6.

| Ravamid® A NC | | | |
|---|----------------------|-------------------|-------------------------|
| Ravago Group - Polyamide 66 | | | |
| ASTM & ISO Properties ¹ | | | |
| Physical | Nominal Value | Unit | Test Method |
| Density / Specific Gravity | 1.14 | g/cm ³ | ASTM D792 |
| Density | 1.14 | g/cm ³ | ISO 1183 |
| Molding Shrinkage - Flow | 1.5 to 2.0 | % | ASTM D955 |
| Humidity | < 0.25 | % | ISO 960 |
| Mechanical | Nominal Value | Unit | Test Method |
| Tensile Strength (Yield) | 65.0 | MPa | ASTM D638 |
| Tensile Stress (Yield) | 65.0 | MPa | ISO 527-2 |
| Tensile Strength (Break) | 62.0 | MPa | ASTM D638 |
| Tensile Stress (Break) | 62.0 | MPa | ISO 527-2 |
| Tensile Elongation (Break) | 50 | % | ASTM D638 |
| Tensile Strain (Break) | 50 | % | ISO 527-2 |
| Flexural Modulus | 2200 | MPa | ASTM D790 |
| Flexural Modulus | 2200 | MPa | ISO 178 |
| Impact | Nominal Value | Unit | Test Method |
| Notched Izod Impact (Area) (23°C) | 7.00 | kJ/m ² | ASTM D256 |
| Notched Izod Impact Strength (23°C) | 7.0 | kJ/m ² | ISO 180/1A |
| Thermal | Nominal Value | Unit | Test Method |
| Deflection Temperature Under Load (1.8 MPa, Unannealed) | 70.0 | °C | ASTM D648 |
| Heat Deflection Temperature (1.8 MPa, Unannealed) | 70.0 | °C | ISO 75-2/A |
| Vicat Softening Temperature | 220 | °C | ASTM D1525 ² |
| Vicat Softening Temperature | 220 | °C | ISO 306/B50 |

Tabela 6 - Propriedades PA

Fonte: RESINEX, 2018

3.1.7. Maquinários e moldes

A empresa conta com 9 injetoras, 6 da marca Engel, que se distinguem pela força de fechamento do molde, e 3 da marca Sandretto (Figura 22). As forças de fechamento das máquinas Engels são de 28 kN, 60 kN e 110 kN. As forças de fechamento das máquinas Sandretto são de 80 kN e 110 kN. As máquinas são distribuídas conforme a necessidade da força de fechamento para cada peça e material utilizado. A primeira injetora, a Engel Victory 28, por exemplo, é utilizada para moldes pequenos e materiais como ABS e o MABS em que não é necessária uma força de fechamento tão grande. As máquinas mais robustas, como a Engel Victory 110 ou a Sandretto 110, são mais utilizadas para peças que necessitam de uma força de fechamento maior, como as peças de PVC.



Injetora Engel Victory 28ton



Injetora Engel Victory 60ton



Injetora Engel 110 ton

Injetora Sandretto 110 ton

Figura 9 - Máquinas injetoras da empresa médica.

Fonte: acervo pessoal.

O estoque de moldes conta com mais de 70 peças disponíveis. Esses moldes vão de pequenos tamanhos, como o molde da peça “Alça da Trava LF Smart” (Figura 23 b) que pesa apenas 32kg, mede 16x20x16cm e tem apenas 4 cavidades, a moldes muito maiores como o da peça “Protetor da Ponta Perfurante GII” (Figura 23 a), que pesa 450kg, mede 43x36x44cm e tem 16 cavidades. Há moldes com uma cavidade, geralmente de peças estruturais, e moldes com até 32 cavidades, de pequenas peças descartáveis utilizadas na montagem dos equipos.



a) Molde "Protetor da Ponta Perfurante"



b) Molde "Alça da Trava LF Smart"

Figura 10 - Moldes de injeção.

Fonte: acervo pessoal.

3.2. MÉTODOS

Há uma grande variedade de técnicas para processamento/conformação de polímeros. Qual método escolher para processar determinada peça

depende de diversos fatores, entre eles: se o material é termoplástico ou termofixo; temperatura de amolecimento; estabilidade térmica do material; e geometria e tamanho do produto acabado.

Além da forma de processamento principal deste trabalho, a moldagem por injeção, as demais formas de processamento de termoplásticos são descritas de forma sucinta posteriormente.

A moldagem é o método mais comum para a conformação de polímeros plásticos. Dentre as várias técnicas de moldagem usadas pode-se citar a moldagem por compressão, transferência, sopro, injeção e extrusão. Em cada uma delas, um plástico granulado ou finamente peletizado é forçado, em uma temperatura elevada e sob pressão, a escoar para o interior, preencher e assumir a forma da cavidade de um molde. (CALLISTER, p. 522, 2012).

3.2.1. Moldagem por Injeção

A moldagem por injeção é o processo mais comum na indústria de polímeros e é o principal processo para transformação de polímeros em produtos. Com pequenas variações no processo, é possível moldar tanto termoplásticos como termofixos. Sua principal vantagem é a velocidade com que as peças podem ser produzidas, com ciclos da ordem de 10 segundos apenas, além da fabricação de peças com geometrias complexas. A técnica de moldagem por injeção ocorre da seguinte forma: a injetora é alimentada com o polímero desejado através do funil de alimentação. Dali o polímero passa para dentro do cilindro onde será aquecido até que ocorra a sua fusão, devido aos aquecedores existentes no cilindro e a força termomecânica aplicada pela rosca. Após fundido, ele passa pelo bico de injeção e é pressionado para dentro do molde. Com a pressão ainda constante e dentro do molde, o polímero passa por um tempo de resfriamento para que, quando aberto o molde, ele ainda mantenha sua estrutura. Passado esse tempo, a unidade de fechamento se encarrega de abrir o molde e ejetar a peça pronta, finalizando o ciclo de injeção. (OLIVEIRA, 2018). Após finalizar e ejetar a peça, o ciclo inicia-se novamente até que a quantidade de peças planejadas seja atingida, o que pode variar de lotes de 400 peças até 400.000 peças. A seguir, um fluxograma com o passo a passo do processo de injeção.

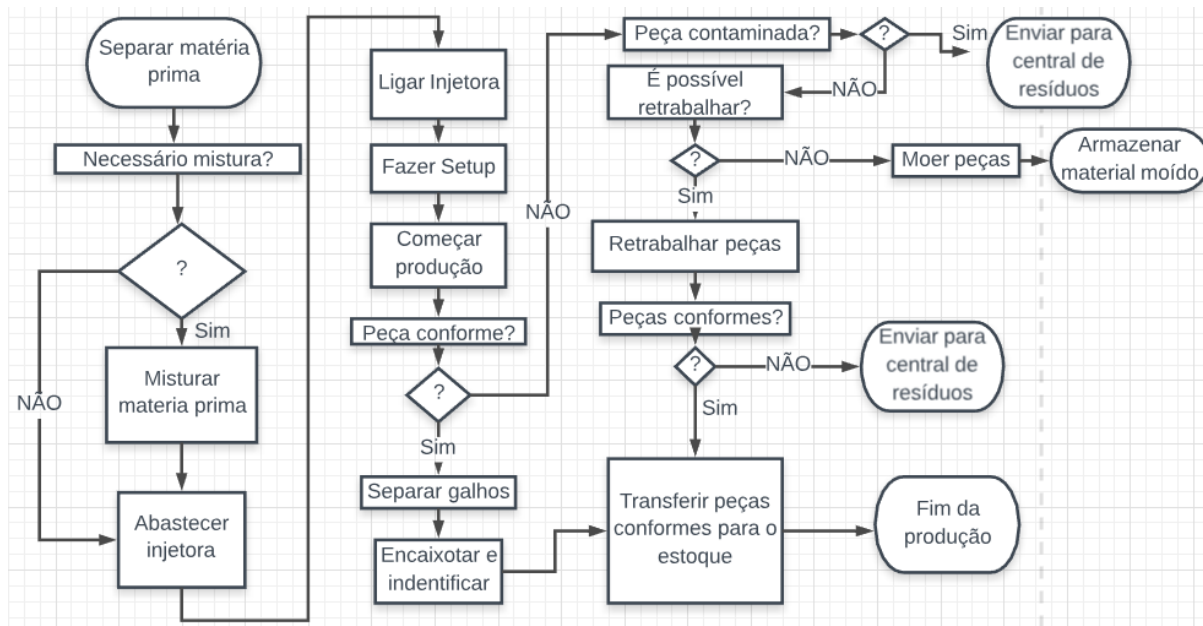


Figura 11 - Fluxograma de fluxo de processo para injeção.

Fonte: Acervo pessoal

3.2.1.1. Composição de injetoras

Para explicar de maneira concisa a moldagem por injeção, deve-se conhecer as máquinas responsáveis por esse tipo de processamento, as injetoras.

As máquinas injetoras são compostas por 3 unidades: a unidade de injeção, a unidade do molde, e a unidade de fechamento.

Unidade de injeção: composta pelo funil de alimentação, o cilindro ou barril de plastificação, resistências elétricas para aquecimento do cilindro, a rosca ou pistão, válvula de prevenção de retorno (ou anel de bloqueio), sistema hidráulico para mover a rosca ou pistão para frente e para trás e bico de injeção. (OLIVEIRA, 2018). Sua principal função é fundir e injetar o polímero na cavidade do molde.

Unidade do molde: composta pela placa estacionária, barras de sustentação, bucha e canais de alimentação, sistema de alimentação e sistema de resfriamento. Sua principal função é dar forma ao polímero fundido. (OLIVEIRA, 2018).

Unidade de fechamento: composta pelo sistema hidráulico responsável pela abertura e fechamento do molde, placa móvel, braços articulados, coluna

guia e sistema de extração. Sua principal função é abrir e fechar o molde a cada ciclo e extrair as peças injetadas. (OLIVEIRA, 2018).

Cada unidade tem sua função e as três precisam estar alinhadas e com bom funcionamento para que o produto final esteja de acordo com o projeto. Para que a máquina funcione de maneira adequada, cabe ao operador estabelecer e regular os parâmetros de processo em cada máquina para cada tipo de peça e material. O que funciona para o ABS, não vai ser a mesma coisa para o PVC, mesmo que a peça seja igual, por isso é preciso estar sempre atento as primeiras produções para se certificar que a processo está ocorrendo de forma correta ou se é necessário modificar algum parâmetro de processamento.

3.2.1.2. Parâmetros de processamento

Os parâmetros de processamento são variáveis como tempo, temperatura, pressão e velocidades que é necessário configurar nas máquinas injetoras para cada peça e para cada tipo de polímero para garantir uma boa produção. (OLIVEIRA, 2018).

Os parâmetros de processamento chaves que mais se devem prestar atenção na hora de injetar uma peça são: temperatura do fundido, temperatura do molde, pressões de injeção e empacotamento, e tempos de injeção, congelamento e empacotamento. Além desses, há inúmeros outros parâmetros que devem ser analisados e modificados caso esteja ocorrendo algum problema de produção da peça. Dentre estes parâmetros pode-se citar a velocidade de abertura e fechamento do molde, velocidade e força de extração, dosagem de material, aquecimento do cilindro e modo de comutação. Para uma melhor visualização é apresentado a seguir uma imagem da tela de parâmetros da injetora Engel.

| LIFEMED | | FICHA DE PARÂMETROS DE PROCESSO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|----------|---------|-------|------|----------|----------|----------|----------|---------|---------------|-----|------------|-----|----|----|----|----|----|----|---------------------------|----|----|----|----|----|--|--|--|--|-------------------------|----|----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|
| PEÇA | Emboleta Corta Fluxo (10002621) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MÁQUINA | Egrel 2 – 60 ton | PESO PEÇA | 1,1977 g | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° DE CAVIDADES | 2/4 | PESO GALHO | 3,3609 g | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TEMPO DE CICLO | 16,6 s | DATA | 17/09/18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MATÉRIA-PRIMA | Polímero de Acetal – Poliacetal (10004112) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ALTURA DO MOLDE | 434,2 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FORÇA DE FECHAMENTO | 600 kN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SISTEMA DE EXTRACÇÃO | Enate Rápido | ABERTURA DO MOLDE | 250 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| UNIDADE DE INJEÇÃO VELOCIDADE AVANÇO: 50 mm/s VELOCIDADE RECUO: 50 mm/s Posição do curso do bico injetor: 101,4 mm Posição de encosto do bico alcançada: <input type="checkbox"/> Cur. bic: 0 mm Tempo de formação da força: 1 s Forç. encost: 28 kN Força de manutenção na desmoldagem: 0 kN Tempo de retardo de recuar: 0 s | | FUNIL SECADOR PV 1: 51 +/- 10°C PV 2: 50 +/- 10°C ÁGUA DE RESFRIAMENTO ÁGUA DE TORRE: x ÁGUA DE TERMOREGULADOR: x TEMPERATURA TERMOREGULADOR +/- 10°C VAZÃO D'ÁGUA PLACA FIXA: 35 L/min PLACA MÓVEL: 50 L/min | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| COMUTAÇÃO Comutar em dependência do volume: <input checked="" type="checkbox"/> Volume de comutação: 10 cm³ Volume de comutação dos ciclos de entrada: 57,7 cm³ Volume atual de comutação: 0,00 cm³ | | CONTROLADOR DE TEMPERATURA ZONA 1: +/- 10°C ZONA 2: +/- 10°C ZONA 3: +/- 10°C ZONA 4: +/- 10°C ZONA 5: +/- 10°C ZONA 6: +/- 10°C ZONA 7: +/- 10°C ZONA 8: +/- 10°C ZONA 9: +/- 10°C ZONA 10: +/- 10°C ZONA 11: +/- 10°C ZONA 12: +/- 10°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TEMPERATURAS <table border="1"> <tr> <td>245,0</td> <td>245,0</td> <td>240,0</td> <td>235,0</td> <td>40,0</td> </tr> <tr> <td>245,0 °C</td> <td>244,9 °C</td> <td>240,0 °C</td> <td>235,0 °C</td> <td>40,0 °C</td> </tr> <tr> <td>Val.teór: 230</td> <td>190</td> <td>180</td> <td>170</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td colspan="5">°C</td> </tr> <tr> <td>Tolerância de posição: 30</td> <td>30</td> <td>30</td> <td>30</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td colspan="5">°C</td> </tr> <tr> <td>Tolerância negativa: 20</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td colspan="5">°C</td> </tr> </table> | | 245,0 | 245,0 | 240,0 | 235,0 | 40,0 | 245,0 °C | 244,9 °C | 240,0 °C | 235,0 °C | 40,0 °C | Val.teór: 230 | 190 | 180 | 170 | 40 | °C | | | | | Tolerância de posição: 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | °C | | | | | Tolerância negativa: 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | °C | | | | | INIEÇÃO Pressão injeccao: P: 43,1 bar Limite específico da pressão de injeção: 800 bar Pressão específica de injeção valor de pico: 1899,3 bar Parar injeção no limite de pressão: <input type="checkbox"/> Pressão específica de injeção aumentada: <input checked="" type="checkbox"/> Monitoração do tempo de injeção: <input checked="" type="checkbox"/> Mínimo tempo de injeção: 0 s Máximo tempo de injeção: 5 s | |
| 245,0 | 245,0 | 240,0 | 235,0 | 40,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 245,0 °C | 244,9 °C | 240,0 °C | 235,0 °C | 40,0 °C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Val.teór: 230 | 190 | 180 | 170 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| °C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tolerância de posição: 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| °C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tolerância negativa: 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| °C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table border="1"> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>VELOCIDADE</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>20</td> </tr> </table> | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | VELOCIDADE | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VELOCIDADE | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

SERÃO PERMITIDAS VARIÁÇÕES DE 10% PARA MAIS OU PARA MENOS DOS PARÂMETROS

Figura 12 - Ficha de parâmetros de processo.

Fonte: Acervo pessoal.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. PROCESSAMENTO NA INDÚSTRIA MÉDICA

O processamento de termoplásticos na “empresa médica” acontece diariamente em 9 máquinas injetoras simultaneamente, produzindo produtos para duas linhas diferentes de produção: os equipos (uso descartável) e os eletromédicos (estruturais). Por ser uma empresa voltada para a fabricação de produtos médico/hospitalares, o controle de qualidade é muito mais rigoroso que na maioria das indústrias. É vital que o ambiente de produção seja o mais limpo possível, que os funcionários usem sempre EPIs, vestimentas de esterilização e práticas para evitar a contaminação das peças produzidas. Inclusive, além dos defeitos de injeção usuais, outros defeitos foram adicionados à lista devido a esse rigor de qualidade. Defeitos esses que podemos citar a sujidade, sujidade do extrator, pelo e cabelo.

Devido a vasta gama de peças produzidas, muitas variações na produção e defeitos de fabricação podem ser observadas. Uma dessas variações que mais chama atenção são os diferentes tipos de ciclos. Há o ciclo automático, o ciclo o manual devido a extração e o ciclo manual devido a colocação de insertos.

O ciclo principal, o automático, funciona sem a necessidade de um operador por perto. A máquina se encarrega de toda a produção, ciclo após ciclo, das peças de forma totalmente automática.

O ciclo manual devido a extração ocorre quando é necessário retirar as peças manualmente da injetora, devido a um cuidado maior com a peça, impedindo-a de danificá-la enquanto é extraída ou devido a máquina não conseguir realmente fazer a extração, como por exemplo a injeção das extremidades dos cabos (Figura 13).

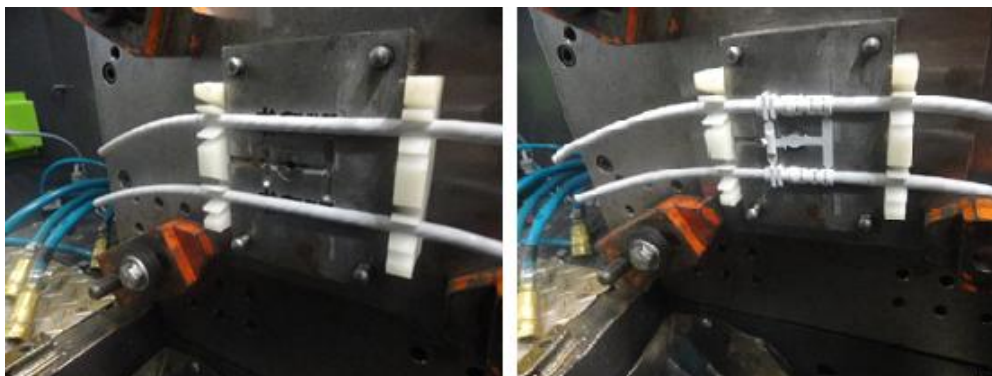


Figura 13 - Injeção de cabos com PVC.

O ciclo manual devido a colocação de insertos ocorre quando é necessário colocar alguma peça, geralmente de metal, no interior do molde antes de começar um ciclo. Após colocar o inserto, fecha-se a máquina e inicia-se o ciclo. O polímero é injetado ao redor do inserto fazendo com que ele fique fixo no interior da peça. Após a peça ser ejetada, deve-se abrir a máquina, colocar os insertos manualmente e começar o ciclo novamente.

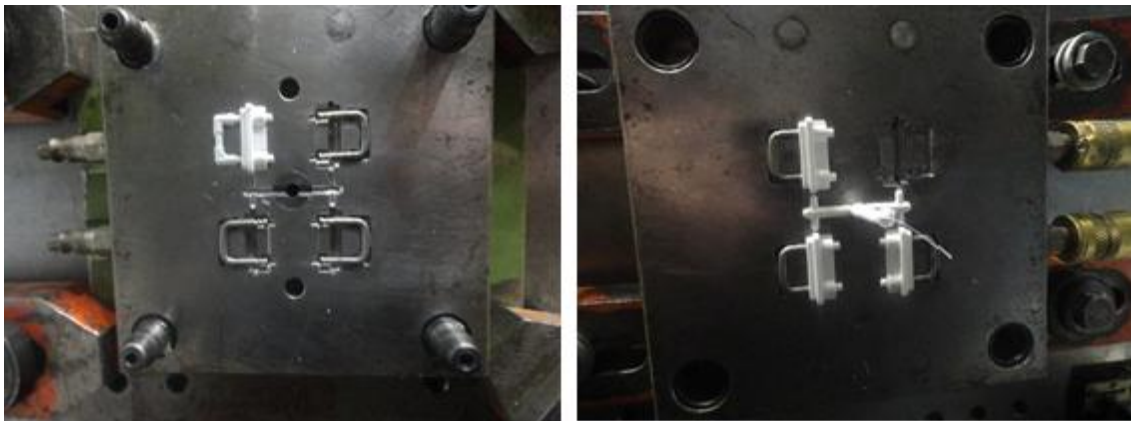


Figura 14 - Injeção de componentes com inserto.

Fonte: acervo pessoal.

Para manter o bom funcionamento, manutenções periódicas são feitas em todas as máquinas para evitar a degradação da maquinário e possíveis pausas prolongadas na produção. Manutenção preditiva, manutenção preventiva e manutenção corretiva são os tipos de serviços feitos.

A manutenção preditiva é a mais importante, pois ela está um degrau anterior a manutenção preventiva. Neste tipo de manutenção analisa-se se a máquina está trabalhando da forma como deveria, se está bem lubrificada, se há algum tipo de falha, as vezes imperceptível sem uma análise mais detalhada.

A manutenção preventiva ocorre durante 3 dias. O profissional da manutenção desmonta toda a carcaça exterior para dar o devido cuidado e limpeza a máquina, evitando assim uma possível falha e ao mesmo tempo prolongando a vida útil do maquinário

A manutenção corretiva acontece quando ocorre algum problema inesperado com a máquina. É necessário corrigir o problema para que a máquina volte ao seu funcionamento normal e a produção continue. Um tipo de manutenção corretiva é a limpeza do cilindro da injetora.

A limpeza do cilindro a princípio parece ser uma tarefa complicada, mas não faz jus a expectativa. Devido a uma troca de polímero, congelamento de polímero no interior do cilindro ou algum outro motivo, é necessário fazer a limpeza do mesmo para que a produção continue. Para isso, é ligado o aquecimento do cilindro e o material é purgado (expelido para fora do cilindro pela rosca através do bico sem estar acoplado no molde para retirada do excesso). Após isso é adicionado um polímero mais duro ao funil de alimentação, para que este material, por ser mais viscoso, arraste o material anterior e faça a limpeza do cilindro retirando o material degradado. Depois desse processo, coloca-se a máquina em funcionamento até que as peças estejam livres de quaisquer imperfeições e inicia-se a produção efetivamente.

4.2. PEÇAS PRODUZIDAS

No setor de injeção da “empresa médica” se produz peças com as mais variadas geometrias e funções, utilizando os diversos tipos de polímeros já citados anteriormente. Cada peça produzida faz parte de uma linha de produção diferente que pode ser dividido em duas grandes partes: Equipos e Eletromédicos.

Os equipos são equipamentos utilizados na administração de infusão de medicamentos intravenosos. É primordial que esses equipamentos sejam produzidos com elevado rigor de qualidade para que nenhum defeito de processamento possa vir prejudicar a saúde de algum paciente.

Na produção dos equipos utiliza-se somente 3 tipos de materiais: o ABS, MABS e o PVC. A Figura 3 apresenta uma imagem do conjunto completo e de cada peça que compõe um equipo. Cada peça requer uma característica específica do polímero a ser utilizado. O ABS é utilizado em peças que necessitam de maior rigidez, O MABS é utilizado em peças rígidas e que ao mesmo tempo também sejam transparentes, pois é necessário observar o fluxo através delas, já as peças de PVC são aquelas que têm a maior área e ficarão em contato mais tempo com o líquido, sendo as mais indicadas devido a sua resistência a fungos e bactérias.

Os equipos são constituídos pelas seguintes peças:

- Alojamento macho (MABS)
- Alojamento fêmea (MABS)

- Terminal Luer Lock (MABS)
- Conector Torre (MABS)
- Pinça roller (ABS)
- Roda roller (ABS)
- Injetor lateral (MABS)
- Ponta perfurante (ABS)
- Corpo Câmara Enteral (PVC CRISTAL)
- Tubo (PVC)

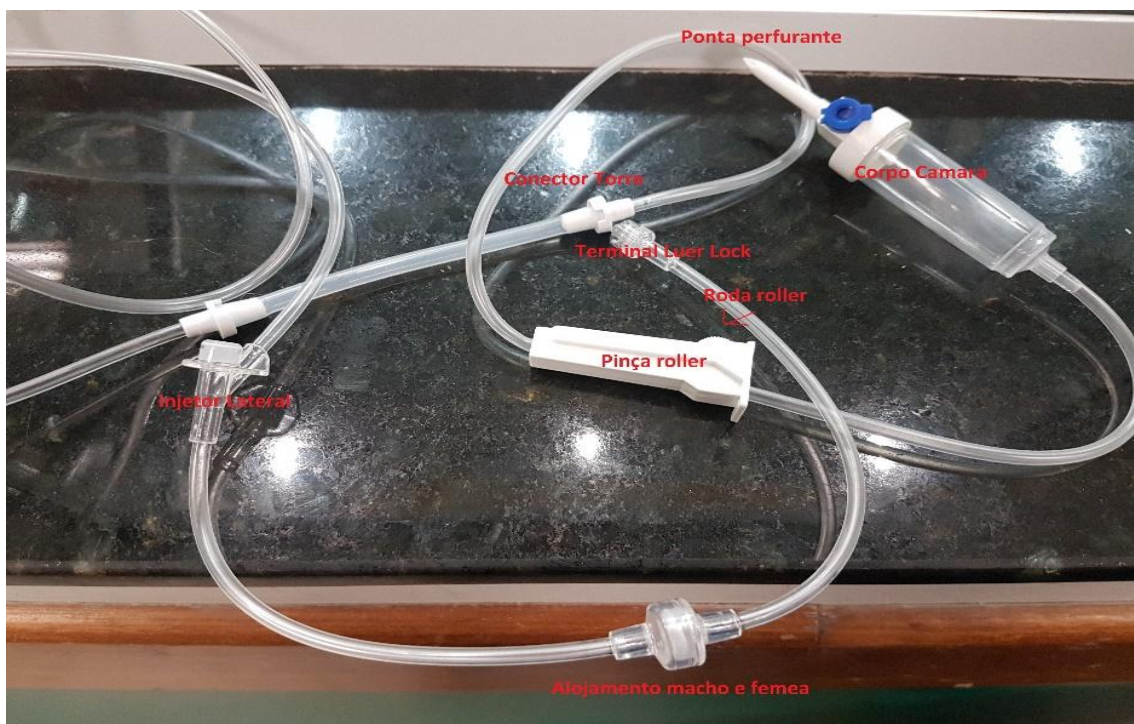


Figura 15 - Partes que compõem um equipo.

Fonte: acervo pessoal.

Os eletromédicos são a parte da produção voltada aos equipamentos eletrônicos. Eles são produzidos inteiramente na empresa, desde a injeção das peças que compõem um eletromédico, seus circuitos integrados até a sua montagem.

Na produção destes equipamentos eletrônicos, em que é necessária uma estrutura mais resistente, a maioria dos polímeros utilizados são diferentes daqueles utilizados nos equipos, dentre eles destacam-se o poliacetal, ABS, PEAD e a poliamida. O poliacetal é utilizado em estruturas mais solicitadas mecanicamente devido as suas propriedades que lhe conferem excelente

estabilidade estrutural e resistência mecânica. O policarbonato para os visores dos equipamentos. O ABS para as partes interiores de fixação de outras peças. A poliamida 6,6 para peças que necessitam de alta resistência a fadiga, por estar sempre sendo solicitada mecanicamente e o PEAD para uma simples tampa, em que não necessita de grandes propriedades para exercer sua função, que é apenas de encobrir outra peça.

Os eletromédicos são constituídos por algumas das peças a seguir:

- Alavanca Porta Texturizada Módulo Infusão LF Smart (poliamida 6,6)
- Frente Mecanismo Peristáltico LF Smart (40% ABS + 60% Poliacetal)
- Tampa Cabo Sensor LF Smart (Poliacetal)
- Contra Porta LF Line GII (ABS)
- Tampa Conector Graduado (PEAD)
- Visor LF Smart (PC)

A seguir, exemplos de eletromédicos e das peças produzidas e seus materiais.



Bomba de Infusão LF Smart



Bomba de Infusão Smart Touch

Figura 16 - Bombas de infusão com estrutura polimérica.

Fonte: acervo pessoal.



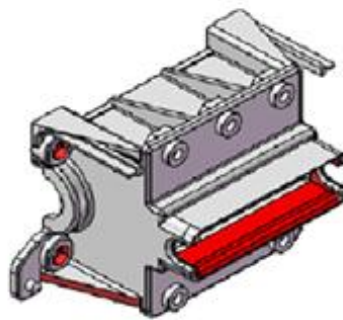
Contra Porta LF Line GII (ABS)



Gabinete Frontal LF 2001 GII (ABS)



**Alavanca Porta Texturizada
LF Smart (Nylon 6,6)**



**Frente Mecanismo Peristaltico
(40% ABS + 60% Poliacetal)**

Figura 17 – Peças a base de polímeros utilizadas na montagem dos eletromédicos.

Fonte: acervo pessoal.

4.3. DEFEITOS DE PROCESSAMENTO

Muitos são os problemas enfrentados durante o processamento de polímeros, e suas causas podem variar não só de um, mas de diversos fatores relacionados. Parâmetros de processamento, presença de umidade, sujeidade, pigmentação errada e queda de energia na empresa são algumas das causas para vários defeitos em peças poliméricas, que, dependendo da situação e do seu uso, devem ser reprocessadas ou descartadas, desperdiçando tempo de produção e/ou material, gerando prejuízo para a empresa.

Os defeitos apresentados e classificados pela empresa são: rebarba, rebarba extrator, peça incompleta (short shot), sujeidade, sujeidade extrator, pinta preta, pinta branca, mancha preta, mancha de pigmento, tonalidade, marcas longitudinais, marcas transversais, marcas de fluxo, risco, trinca/quebra, bolha, fiapo do galho, cisco, pelo, cabelo, obstrução, vazamento, deformação soldagem filtro, deformação remanche, remanche esbranquiçado, gomino virado, olho de peixe, tubo brilhoso, tubo opaco, dimensional, tensão, erro de manuseio, irregularidade no corte, entre outros.

Para resolver esses defeitos/problemas de fabricação de peças, foi elaborado uma tabela (Tabela 7) com indicações de quais parâmetros devem ser modificados para diminuir ou evitar a presença de defeitos nas peças.

A tabela é composta pelas linhas de problemas, que devem ser identificados após análise da peça defeituosa, pelas colunas de soluções, que indica o que deve ser modificado para solucionar o problema em questão, e as caixas coloridas, com a ordem numérica de quais soluções devem ser modificadas primeiro e a cor indicando a forma como devem ser modificadas.

| PROBLEMAS | SOLUÇÕES | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|------------------|---------------|---------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|-----------------------|------------------|-----------------|--|
| | Temperatura do material | Pressão de injeção | Velocidade de injeção | Volume de dosagem | Pressão de recalque | Tempo de recalque | Tempo de resfriamento | Temperatura do molde | Rotação da rosca | Contrapressão | Força de fechamento | Descompressão da rosca | Umidade do material | Contaminação do material | Resfriamento do molde | Projeto do molde | Projeto da peça | |
| | DIMINUIR | AUMENTAR | MODIFICAR | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Estrias prateadas | 2 | | 3 | | | | | | 4 | | | 1 | 5 | | | | |
| | Estrias coloridas | 1 | | 3 | | | | | 4 | 2 | | | | 6 | | 5 | | |
| | Delaminação | 2 | | 3 | | | | | | | | | | 1 | | | | |
| | Linha de solda fraca | 1 | | 3 | | | | 2 | | | | | | | | 4 | 5 | |
| | Bolhas | 2 | | | | | | | 5 | 3 | | 1 | 4 | | | 6 | | |
| | Rechupes | 4 | | | 3 | 1 | 2 | | | | | | | | | 5 | 6 | |
| | Vazios | 4 | | | 3 | 1 | 2 | | | | | | | | | 5 | 6 | |
| Acabamento superficial | 1 | | 3 | | 4 | 5 | 7 | 2 | | | | 6 | | 9 | 8 | 9 | | |
| Trincas | 2 | 5 | 6 | | 3 | 4 | 7 | 1 | | | | | 7 | | 8 | 9 | | |
| Marca de queima | 3 | 2 | 1 | | | | | | | | 4 | | | | 5 | | | |
| Agarre na cavidade | 1 | 3 | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | | | | | | | 9 | 8 | | | |
| Marcas onduladas | 1 | | 3 | | 4 | | | 2 | | | | | | | 5 | 4 | | |
| Fluxo a frio | 1 | | 3 | | | | | 2 | | | | | | | 4 | 5 | | |
| Peça incompleta | 2 | | 4 | 1 | | | | 3 | 5 | | | | | | 6 | 7 | | |
| Rebarbas | 3 | 5 | 2 | 6 | 4 | | | | | 7 | 1 | | | | | | | |
| Esguichamento | 3 | | 2 | | | | | | | | | | | | | 1 | | |
| Marcas de material frio | | | | | | | | | 1 | | | 2 | | | | 3 | | |
| Empenamento | 3 | 4 | 5 | | | | 2 | 1 | | | | | | | 6 | 7 | 8 | |

Tabela 7 - Fluxograma de decisão: problemas de processo ou produto

Fonte: "Empresa Médica"

4.4. PROBLEMAS DE PRODUÇÃO PRESENCIADOS

4.4.1. Bolhas

Formação de buracos, vazios (Figura 18), devido descompressão muito rápida e/ou desempenho de plastificação muito ruim.



Figura 18 – Presença de bolhas em peça moldada por injeção.

Fonte: acervo pessoal.

4.4.2. Trincas

Rachaduras e pedaços do material quebrados (Figura 19). Defeito relacionado as temperaturas de processamento, tanto a temperatura do molde quanto do polímero, além da pressão de recalque. Um ajuste nesses parâmetros deve ser suficiente para solucionar o problema.



Figura 19 – Presença de trincas em peça moldada por injeção.

Fonte: acervo pessoal.

4.4.3. Short Shot

Defeito que aparece longe do bico de injeção, devido à longas distâncias de fluxo (onde há diminuição da temperatura de frente de fluxo e possível aprisionamento do ar). Caracterizado pelo envio incompleto de material na cavidade do molde, fazendo com que falte material em parte da peça.; É geralmente causado por restrições ao fluxo devido a canais que se congelam ou canais de alimentação mal dimensionados; caminhos de fluxo muito longos ou complexos; temperatura do fundido muito baixa; ou seja, todos os fatores que aumentam a resistência ao escoamento do polímero fundido, ou impeçam introdução de material suficiente na cavidade do molde.



Figura 20 - Defeito de processamento do tipo short shot.

Fonte: acervo pessoal.

4.4.4. Marcas de queima (Degradação)

São defeitos relacionados a degradação térmica do material (Figura 21), causados por tempos de residência muito longos, altas temperaturas e/ou cisalhamento muito intenso (na unidade de plastificação da injetora ou no escoamento dentro da cavidade do molde).



Figura 21 – Defeito do tipo marca de queima em algumas peças moldadas por injeção.

Fonte: acervo pessoal.

4.4.5. Efeito Diesel (Pintas pretas)

Ocorrem onde o ar não pode escapar ou porque os canais de ventilação ou as folgas são insuficientes e em regiões de encontro de frentes de fluxo. Ao final da injeção esse ar é comprimido e aquecido, atingindo altas temperaturas, que causam as marcas de queimado (Figura 22).



Figura 22 - Defeito de processamento do tipo efeito diesel.

Fonte: acervo pessoal.

4.4.6. Marcas de fluxo

Ocorrem devido a elevada velocidade de resfriamento, temperatura do fundido muito baixa, velocidade de injeção muito baixa e/ou temperatura do molde muito baixa.



Figura 23 - Defeito de processamento do tipo marcas de fluxo.

Fonte: acervo pessoal.

4.4.7. Rebarbas

São sempre criadas em junções, canais de ventilação e pinos ejetores.;
Causas: Largura excessiva de canais de ventilação, força de fechamento insuficiente, pressão interna do molde muito alta, viscosidade do fundido muito baixa.

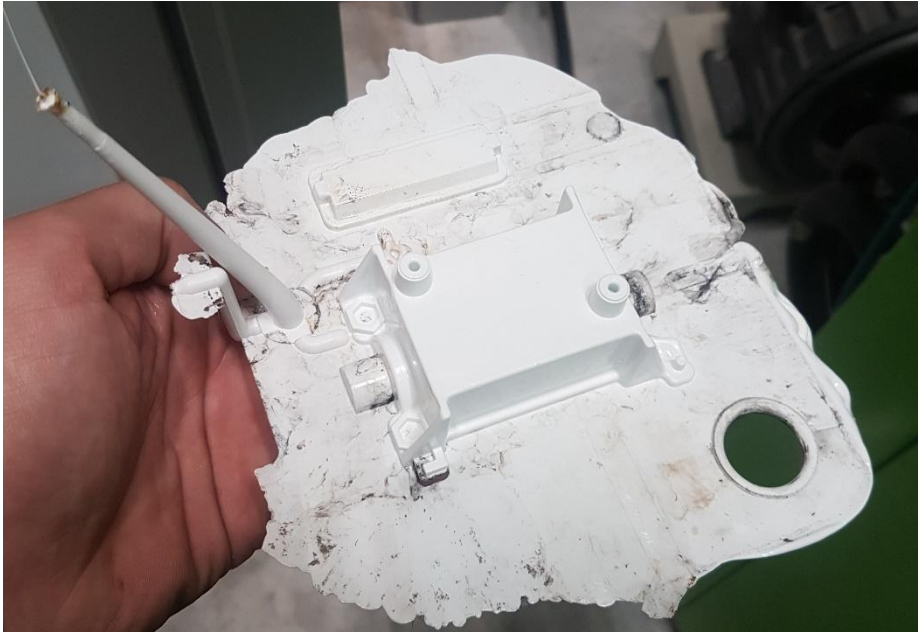


Figura 24 – Presença de rebarbas em peça moldada por injeção.

Fonte: acervo pessoal.

4.5. ESTUDO DE CASO

Acompanhamento na produção da peça "Alavanca Porta Texturizada. Módulo Infusão Verde LF Smart"

Dia 19/10/2018 foi realizada a OP (Operação de Produção) para a produção de 500 peças "Alavanca Porta Text. Módulo Infusão Verde", produzidos com a poliamida 6,6 , devido a um problema no retrabalho do lote anterior. Sendo esta uma peça em que constantemente apresenta problemas, foi realizado um acompanhamento durante e após a produção da peça para tentar descobrir as causas e resolver os problemas de dimensionamento por ela apresentados.

Foi medido o comprimento de 10 peças com um paquímetro eletrônico em 5 ocasiões. Logo após ela sair da injetora, 10 minutos após sair, 20 minutos após sair, 4 horas após sair e 72 horas após sair. O peso da peça foi medido em duas ocasiões, as quais serão comentadas a seguir.

Dois fenômenos podem ser observados com essa variação de tempo: a diminuição do tamanho da peça devido a retração térmica e um irrisório aumento de peso devido a absorção de umidade por parte da poliamida, um material altamente higroscópico.

Vale ressaltar que a medida do peso foi realizada em um ambiente de umidade controlada (Laboratório Mecânico Eletromédicos), em uma umidade de aproximadamente 40%. Mediu-se o peso em uma balança de precisão logo após ser levada para esse ambiente, e a segunda medida foi feita 2 horas e 30 minutos após a primeira, com o intuito de observar a absorção de umidade do material e possíveis modificações estruturais.

Os resultados das medições estão apresentados na Tabela 2.

| Alavanca Porta Texturizada Modulo Infusao LF Smart Verde | | | | | | | | |
|---|---------------------|----------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|
| | | | Comprimento (mm) x Tempo | | | | Peso (g) x Tempo | |
| | Peça | Horario | Inicial | 10 minutos | 20 minutos | 4:00 horas | Inicial | 2:30 horas |
| | 1 | 10:08 | 147,12 | 146,92 | 146,88 | 146,88 | 19,848 | 19,859 |
| | 2 | 10:12 | 147,25 | 147 | 146,96 | 146,96 | 19,931 | 19,942 |
| | 3 | 10:14 | 147,02 | 146,87 | 146,85 | 146,82 | 19,826 | 19,837 |
| | 4 | 10:16 | 147,22 | 146,95 | 146,91 | 146,84 | 19,865 | 19,876 |
| Rebarbadas | 5 | 10:47 | 146,92 | 146,78 | 146,77 | 146,73 | 19,92 | 19,9326 |
| | 6 | 10:49 | 146,98 | 146,8 | 146,78 | 146,73 | 19,919 | 19,9325 |
| | 7 | 10:51 | 146,99 | 146,81 | 146,79 | 146,77 | 19,822 | 19,8345 |
| | 8 | 10:53 | 147 | 146,84 | 146,82 | 146,78 | 19,921 | 19,9344 |
| | 9 | 10:56 | 147,03 | 146,84 | 146,81 | 146,78 | 19,889 | 19,9025 |
| | 10 | 10:57 | 146,92 | 146,78 | 146,75 | 146,73 | 19,909 | 19,9233 |
| | | | | | | | | |
| | Média total: | | 147,05 | 146,859 | 146,832 | 146,802 | 19,885 | 19,89738 |

| | | |
|------------------------------------|---------------|---------------|
| Varição Comprimento (mm/%): | -0,243 | 0,1655 |
| Varição Peso (g/%): | 0,0125 | 0,0628 |

Tabela 8 - Acompanhamento peça Alavanca Porta Texturizada Módulo de Infusão.

Fonte: "Empresa médica"

Passadas 72 horas após as peças serem produzidas, elas foram medidas novamente e não apresentaram nenhuma modificação estrutural. Diferente do esperado, foi constatado que mesmo absorvendo certa quantidade de umidade, não houve um aumento na dimensão que justificasse o não

encaixe da peça no suporte. Pelo contrário, mesmo absorvendo um pouco de umidade, houve uma retração da peça desde a última medição. Vale ressaltar que o material ficou no funil de secagem durante aproximadamente 3 horas a uma temperatura de 80°C para diminuir a presença de umidade inicial.

As 4 primeiras peças não sofreram rebarbamento e as outras 6 peças passaram por esse processo e isso sim foi responsável pelo encaixe da peça no suporte. Observou-se que não a parte superior, mas a inferior da extremidade traseira da peça que causava o empenamento. Então como a peça tem as extremidades arredondas, fica inviável medir a peça para ver a tolerância, uma vez que a parte superior é a maior. A única forma de saber se a peça encaixava no suporte foi testando uma a uma.

Neste caso, foi feito um retrabalho rebarbando e retirando um pouco de material das extremidades da parte inferior traseira da peça, ocasionando em um encaixe satisfatório no suporte.

Como só foram observados esses dois fenômenos, de retração térmica e absorção de umidade, além de não ter tido acesso a dados como o projeto da peça, as condições do molde ou variação dos parâmetros de injeção, ainda não é possível dizer as causas desse problema com absoluta certeza, mas pelo menos se pode descartar a modificação estrutural pela absorção de umidade.

Algumas das causas que ainda podem ser estudadas são a modificação de alguns parâmetros de injeção, como força de fechamento do molde, velocidade de injeção e temperatura do material, além de analisar as condições do molde se estão satisfatórias para a produção da peça.

4.6. RESÍDUOS

Visando um melhor aproveitamento de suas matérias-primas, sustentabilidade, redução de custos e partindo do princípio em que se está trabalhando com a injeção de um material totalmente reciclável, o reprocessamento dos termoplásticos utilizados na produção é feito de forma consistente na “empresa médica”. Todo material não degradado, não conformado, os galhos e material descartado por perdas técnicas, são reprocessados, moídos em um moinho, pesados, e embalados para que possam ser utilizados em outras produções, diminuindo assim o prejuízo gerado por essas perdas. A seguir, a figura mostra o a máquina onde são

reprocessados esses materiais, os galhos das peças injetadas e os materiais já reprocessados e embalados.



Figura 25 – a) Moinho; b) resíduos; c) material reprocessado.

Fonte: acervo pessoal.

Já os materiais que não podem ser reprocessados, como as purgas, são identificados e transferidos para a central de resíduos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de tantos tipos diferentes de polímeros, diferentes propriedades, diferentes custos, diferentes comportamentos no processamento, este trabalho se soma a literatura atual deixando explicações e demonstrações acerca do processamento de polímeros, com foco maior na moldagem por injeção, em especial na área médica.

Através da parte prática vivenciada na “empresa médica”, aumentou-se o conhecimento acerca dos polímeros utilizados no processamento de moldagem por injeção, com o foco na área médica, onde houve um grande cuidado para que as diferenças entre o processamento comum fossem evidenciadas e os problemas apresentados tivessem uma solução.

Por meio das atividades desenvolvidas e dos exemplos abordados, os quais foram presenciados durante o contato com a parte prática do processamento de polímeros, todas as variáveis acerca do assunto foram abordadas e o objetivo de explicá-las foi atingido de forma satisfatória.

Mesmo com os grandes avanços tecnológicos e científicos, ainda são muitos os desafios encontrados nas indústrias de transformação de polímeros. É necessário muito planejamento, estudo e mão de obra qualificada para enfrentar esses desafios, minimizar os problemas e corrigir os defeitos que, mesmo com todo o cuidado, dificilmente irão deixar de surgir durante o processo de fabricação de produtos com polímeros. Formas de minimizar a ocorrência dos defeitos de processamento, otimização da produção e pesquisa de melhoria dos polímeros utilizados na área médica seriam de grande importância para estudos futuros, pois há pouco conteúdo sobre o tema na literatura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO (ABS). Disponível em: <<https://www.tudosobreplasticos.com/materiais/abs.asp>>. Acesso em: 21 nov. 2018.

ANDRADE, Cristina et al. **Compêndio da Nomenclatura Macromolecular.** Rio de Janeiro: E-papers Serviços, 2012. 193 p.

ASKELAND, Donald R.; WRIGHT, Wendelin J. **Ciência e engenharia dos materiais.** 2º ed., São Paulo: Cengage Learning, 2014. 653p.

CALLISTER, William D. Jr.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 8º ed., Rio de Janeiro: LTC, 2012. 817 p.

CANEVAROLO, Sebastião V. Jr. **Ciência dos polímeros: um texto básico para engenheiros.** 2º ed. São Paulo: Artliber Editora, 2006. 280 p.

COUTINHO, Fernanda M. B.; MELLO, Ivana L.; SANTA MARIA, Luiz C. de. **Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações.** 2003. 13 p. Artigo Científico (Graduação em Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282003000100005>. Acesso em: 25 nov. 2018.

ECYCLE, Equipe. **Plástico ABS: você sabe onde ele está presente e do que é feito?.** Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/5756-plastico-abs>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Constituição e aplicações do polímero ABS.** Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/constituicao-aplicacoes-polimero-abs.htm>>. Acesso em: 22 nov. 2018

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Polietileno.** Disponível em: <<https://www.manualdaquimica.com/quimica-organica/polietileno.htm>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Polímero PVC (Policloreto de Vinila).** Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/polimero-pvc-policloreto-vinila.htm>>. Acesso em: 21 nov. 2018

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Isomeria geométrica cis-trans.** Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/isomeria-geometrica-cistrans.htm>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

HAGE JR., Elias. **Aspectos históricos sobre o desenvolvimento da ciência e da tecnologia de polímeros.** Polímeros, São Carlos, v. 8, n. 2, p. 6-9, Junho 1998. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14281998000200003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 dez 2018.

MABS. Disponível em: <<https://www.mexpolimeros.com/mabs.html>>. Acesso em: 24 nov. 2018.

MARTINS, Priscila Alves. **Obtenção de ABS por polimerização em enxerto**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Obtencao-de-ABS-por-polimerizacao-em-enxerto-Modificado-Fonte_fig3_276914965>. Acesso em: 24 nov. 2018.

NYLON: Nylon 6,6. Disponível em: <<http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/linha%20tempo/Nylon/nylon66.html>>. Acesso em: 27 nov. 2018.

OLIVEIRA, Amanda. **Aula 9: Moldagem por Injeção 1**. 2018, 38 Slides

OLIVEIRA, Amanda. **Aula10: Moldagem por Injeção 2**. 2018, 31 Slides

OLIVEIRA, Amanda. **Aula 11: Moldagem por Injeção 3**. 2018, 30 Slides

RAMOS, Josy Eliziane. **Polímeros**, 2017. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/12810830>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

PRODUTOS - POLIACETAL. Disponível em: <<http://www.cormatec.com.br/produtos-poliacetal.php>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

PVC. Disponível em: <<https://www.portalsaofrancisco.com.br/meio-ambiente/pvc>>. Acesso em: 21 nov. 2018.

ROCHA, W. **Química 2000**. 2º edição. Brasil: Editora Científica Nacional, 1999.

SALVADOR, Edgard; USBERCO, João. **Química Geral**. São Paulo: Editora Saraiva, 2000. 560 p.

SARDELLA, Antônio. **Química**. 5º ed. São Paulo: Editora Ática, 2003.

SHACKLED FORD, James F. **Ciência dos materiais**. 6º edição, São Paulo, Pearson Prendice Hall, 2008. 557 p.