

Moldes para Injeção de Substrato Polimérico



Luís Alexandre Ferreira de Anunciação

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Conceção e Desenvolvimento de Produto

Orientador: Doutor Carlos Alexandre Bento Capela

Leiria, Setembro de 2014



Dissertação
Mestrado em Engenharia da Conceção e Desenvolvimento de Produto

Moldes para Injeção de Substrato Polimérico

Luís Alexandre Ferreira de Anunciação

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Conceção e Desenvolvimento de Produto realizada sob a orientação do Doutor Carlos Alexandre Bento Capela, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria

Leiria, Setembro de 2014

À Minha Família

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Carlos Alexandre Bento Capela, por me apoiar e conceder a possibilidade de desenvolver este estudo, pelo seu contributo científico, pelo incansável apoio, compreensão, amizade e disponibilidade ao longo de todo o trabalho;

Ao colega André Santos do Mestrado de Engenharia em Conceção e Desenvolvimento de Produto, pelo apoio prestado das mais variadas formas durante trabalhos.

À minha Família, Clara, Rafael e Constança, que me permitiram em detrimento do tempo passado com eles, a possibilidade de desenvolver este projeto com entusiasmo e conhecimento científico;

À empresa Neológica pelos recursos técnicos e humanos disponibilizados e pela compreensão e importância que este projeto tem para mim, em especial ao Engenheiro Fernando Marques e ao Engenheiro João Marques. Aos colegas do departamento de projeto da Neológica: Fátima, Helder e José Figueira.

A realização deste estudo não seria possível sem a ajuda de todos: Docentes, Família, Amigos e Colegas de trabalho, aos quais quero deixar aqui o meu agradecimento.

A todos o meu sentido agradecimento,

Muito Obrigado a Todos,

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

O principal objetivo deste trabalho, é a execução de moldes de injeção de substrato polimérico, utilizando PA6, PA66 GF30 e ABS_Digital. A utilização destes materiais para o processamento por injeção de materiais poliméricos, nomeadamente polipropilenos, apresenta as seguintes vantagens: facilidade, rapidez e baixo custo na execução das zonas moldantes. Deste modo é possível obter peças protótipos por moldação, por injeção com materiais de produção para séries de grandes produções. Como principais desvantagens tem-se: baixa resistência à temperatura quando comparados com os materiais tradicionais utilizados no fabrico das zonas moldantes (alumínio e aço), baixo tempo de vida útil e dificuldades de execução de pormenores nas zonas moldantes.

Neste trabalho foram maquinadas buchas e cavidades por fresagem CNC, em material PA6 e PA66 GF30. Estas, montadas numa estrutura, foram utilizadas para injetar materiais termoplásticos. Posteriormente, as zonas moldantes foram revestidas superficialmente por forma a aumentar a durabilidade das zonas moldantes dos moldes e, também, melhorar o acabamento das peças processadas.

Foram, também, obtidas zonas moldantes por impressão 3D de ABS_Digital pelo processo 3D PolyJet® da Stratasys®, montadas numa estrutura metálica e posteriormente utilizados no processamento de injeção de termoplásticos.

Os resultados obtidos foram analisados da viabilidade do processo de execução das zonas moldantes, da moldação por injeção, extração das peças injetadas, qualidades das peças processadas e número de peças processadas.

Palavras-chave: *injeção, poliamida, polipropileno, moldes, revestimento, temperatura.*

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

The main objective of this work studies is the execution of polymeric substrate molds, using PA6, PA66GF30 and Digital ABS. The using of these materials for polymeric injection process, special for polypropylene have as principals advantages: easy, fast and low cost manufacture of molding zones. In this way it is possible to get prototype injected parts using high production materials. As principal disadvantages we have low temperature resistance compare with aluminum or with steel, low tool life, difficult to make details.

In this work study were executed cores and cavities through CNC milling process, in PA6 and PA66GF30 materials. These parts were assembled in a mold base were used to inject polymeric materials. After that it the surfaces were coated to improve mold durability and improve surface finishing.

It was produced molding part of ABS_Digital using 3D printing from PolyJet® Stratasys®, also assembled in metallic mold base and after that used in polymeric injection materials.

The results were analyzed the feasibility of the implementation process of mold inserts areas of injection molding, ejection of the molded parts, qualities and quantities of processed parts.

Key-Words: injection, polyamide, polypropilene, molds, coatings, temperature

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice de Figuras

Figura 1 - Protótipo executado por FDM	6
Figura 2 - Maquinação de ABS	7
Figura 3 - Molde de silicone	8
Figura 4 - Injetora Demag de 35 Toneladas.....	9
Figura 5 - Lado móvel de molde de injeção montado na máquina de injeção.....	10
Figura 6 - Molde protótipo de alumínio	14
Figura 7 - Prensa para termoformação	15
Figura 8 - Molde de rotomoldagem	16
Figura 9 - Unidade repetitiva da poliamida 6.6	21
Figura 10 - Unidade repetitiva do polipropileno	22
Figura 11 - Molde modelado em ABS por processo de FDM	23
Figura 12 - Molde em ABS Digital por processo PolyJet®	24
Figura 13 - a) Molde em ABS_Digital por processo PolyJet® b) Molde em ABS por processo FDM	25
Figura 14 - Revestimento cerâmico Cera-Shibo	28
Figura 15 - Teorias de adesão: a) químico b) uma combinação de químico + mecânico	30
Figura 16 - Transferência de calor por condução num sólido	31
Figura 17 - Transferência de calor por convecção.....	32
Figura 18 - Transferência de calor por radiação.....	33
Figura 19 - Equipamento Zwick	38
Figura 20 - Geometria e dimensões dos provetes: (a) Provetes para ensaios de flexão; (b) Provetes para ensaios de compressão	39
Figura 21- Equipamento DMA utilizado nos estudos	39
Figura 22- Provetes para ensaios de DMA.....	39
Figura 23 - Exemplos de provetes da norma DIN EN ISO 527	43
Figura 24 - Modelação 3D do provete 5A da DIN EN ISO 527	43
Figura 25 - Estrutura metálica utilizada nos moldes com elementos moldantes em material polimérico	44
Figura 26 - Fixação frontal do elemento moldante em material polimérico.....	45
Figura 27 - Simulação de enchimento para o material PP GF30	46
Figura 28 - Simulação de programa CNC utilizado na maquinação de PA6 e PA66GF30.	47
Figura 29 - Impressora 3D PolyJet®	48
Figura 30 - Sequência de ciclos enchimento de injeção	50
Figura 31 - Maquina de injeção Demag 35T utilizada no ensaio de injeção.....	51
Figura 32 - - Injeção de PP sobre molde com superfícies moldantes em PA66 GF30	52

Figura 33 - Peças de PP injetadas em molde com zona moldante fabricado em PA66 GF30	52
Figura 34 - Peças de PP T20 injetadas em molde ABS Digital (superfície moldante)	53
Figura 35 - a) Temperatura após extração da peça injetada; b) Aplicação de ar comprimido no arrefecimento superfícies moldantes, durante 7 segundos; c) Temperatura das superfícies moldantes após arrefecimento.....	55
Figura 36 - Superfícies moldantes de ABS_Digital: a) Após produção termicamente controlada; b) Após 25 moldações em ciclo contínuo.....	55
Figura 37 - Estado das superfícies moldantes em PA6, após 25 moldações em ciclo contínuo	56
Figura 38 - Roturas de superfícies moldantes: a) Rotura da parede do canal de alimentação de superfícies moldantes em PA66 GF30; b) Rotura da parede do canal de alimentação de superfícies moldantes em de PA6	56
Figura 39 - Deformação da moldação injetada como resultado de não se ter refrigerado a superfície moldante	57
Figura 40 - Superfícies moldantes em PA6 GF30 e com revestimento Cera-Shibo (a) Temperatura inicial (27 °C); (b) Temperatura após primeira injeção (46 °C); c) Temperatura após segunda injeção sem arrefecimento (59 °C)	58
Figura 41 - Peça plástica obtida por injeção, com as superfícies moldantes em PA6 GF30 e com revestimento de Cera-Shibo - peça com uma boa textura superficial	58
Figura 42 - Rotura do revestimento do Cera-Shibo aplicado nas superfícies moldantes em PA6 GF30.....	59
Figura 43 - (a) Temperatura da peça moldada; (b) Temperatura da superfície moldante	60
Figura 44 - Importância da temperatura, pressão e tempo	62
Figura 45 - Variação do módulo à flexão versus temperatura para os diferentes materiais analisados	63
Figura 46 - Variação do Tan Delta versus temperatura para os diferentes materiais analisados.....	64
Figura 47 - Curvas típicas de variação da tensão à flexão versus deslocamento ara os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS Digital	65
Figura 48 - Valores do módulo à flexão para os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS Digital, utilizados no fabrico das zonas moldantes dos moldes.....	66
Figura 49 - Curvas típicas de variação da tensão à compressão versus deslocamento ara os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS Digital	67
Figura 50 - Valores do módulo à compressão para os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS Digital, utilizados no fabrico das zonas moldantes dos moldes.....	67

Índice de Quadros

Tabela 1 - Combinações de adesão Poliamidas com diversos polímeros	36
Tabela 2- Propriedades da Poliamida 6.....	36
Tabela 3 - Propriedades da Poliamida Ertalon 66 GF 30	37
Tabela 4 - Propriedades do ABS_Digital	37
Tabela 5 - Propriedades do Polipropileno Braskem CP204	41
Tabela 6 - Propriedades do Polipropileno Advance Composites ADX 5300	41
Tabela 7 - Propriedades do Polipropileno Hostacom X G3 U12	42
Tabela 8 - Dados obtidos em simulação reológica	46
Tabela 9 - Parâmetros de injeção de PP GF30 em molde de PA6	54
Tabela 10 - Parâmetros de injeção de PP GF30 em molde de ABS Digital	54
Tabela 11- Valores de Tg obtidos a partir das curvas de variação do tan delat versus temperatura,	64
Tabela 12 - Resultados obtidos nos ensaios de flexão em 3 pontos para os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS Digital.....	65
Tabela 13 - Resultados obtidos nos ensaios de compressão para os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS	66
Tabela 14 - Custos de matéria-prima e de fabrico: análise comparativa	68

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de Siglas

PA6	Poliamida 6
PA66 GF30	Poliamida 66 com 30% Fibra de Vidro
ABS Digital	Acrilonitrilo Butadieno Estireno Digital
PP	Polipropileno
PP T20	Polipropileno com 20% Talco
PP GF30	Polipropileno com 30% de Fibra de Vidro
3D	Três Dimensões
CNC	Computer Numeric Controle
T_g	Temperatura transição vítrea ($^{\circ}\text{C}$)
T_m	Temperatura fusão ($^{\circ}\text{C}$)
Kg	Quilograma
g	Gramma
h	Hora
J	Joule
m	Metro
min	Minuto
mm	Milímetro
s	Segundo
MPa	Mega Pascal
$^{\circ}\text{C}$	Temperatura (graus Celsius)
K	Temperatura (Kelvin)

ta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Estrutura Geral.....	3
2	Revisão da literatura	5
2.1	Introdução	5
2.2	Processos de produção de peças protótipos.....	6
2.2.1	Fabrico de peças poliméricas por processo aditivo	6
2.2.2	Execução de peças poliméricas por processo subtrativo	6
2.2.3	Execução de peças poliméricas por processo formativo	7
2.3	Moldação por injeção	8
2.3.1	Processamento por injeção	8
2.3.2	Moldes de injeção	9
2.4	Processos de produção de peças protótipos por injeção	12
2.4.1	Produção de pequenas quantidades	12
2.4.2	Ferramentas de ligação	12
2.4.3	Moldes de injeção rápidos e de baixo custo.....	13
2.5	Moldação de polímeros por outros processos.....	14
2.5.1	Moldes para termoformação	14
2.5.2	Moldes para rotomoldação	15
2.5.3	Moldes para sopro.....	16
2.5.4	Moldes para materiais termoendurecíveis.....	17
2.5.5	Moldes para borrachas.....	17
2.6	Materiais poliméricos	18
2.6.1	Classificação de polímeros.....	18
2.6.2	Poliamida	21
2.6.3	Polipropileno	22
2.7	Moldes por processo aditivo de impressão 3D	23
2.7.1	Moldes executados por impressão FDM	23
2.7.2	Moldes executados por impressão 3D PolyJet®	23
2.7.3	Comparativo FDM versus PolyJet para execução de moldes protótipos	24
2.8	Revestimentos para polímeros.....	25
2.8.1	Pintura	25
2.8.2	Metalização de polímeros	26
2.8.3	Metalização de Poliamidas	27
2.8.4	Cera-Shibo®	27
2.9	Adesão de materiais.....	28

2.9.1	Forças atrativas Intermoleculares	28
2.9.2	Forças de Van Der Waals.....	29
2.9.3	Há diferentes teorias para explicar o mecanismo adesão química e / ou mecânica	29
2.10	Dissipação térmica	30
2.10.1	Transferência de Calor	30
2.10.2	Condução	31
2.10.3	Convecção.....	32
2.10.4	Radiação.....	33
3	Materiais e procedimentos experimentais.....	35
3.1	Materiais poliméricos utilizados para os moldes	35
3.1.1	Poliamida PA6 e PA6.6 - Nylon.....	35
3.1.2	Resina PolyJet ABS Digital	37
3.1.3	ENSAIO ESTATICO EM FLEXÃO EM 3 PONTOS.....	37
3.1.4	Ensaio de DMA (DYNAMIC MECHANICAL ANALYSIS)	39
3.2	Materiais poliméricos utilizados no processamento por injeção	40
3.2.1	Caraterísticas do Polipropileno Copolimero Braskem CP 204 (PP)	40
3.2.2	Caraterísticas do Polipropileno com carga de 20% de talco ADX 5300 (PP T20)	41
3.2.3	Caraterísticas do Polipropileno com carga de 30% de fibra de vidro Hostacom X G3 U12 (PP GF30)	42
3.3	Geometria da peça a moldar	42
3.3.1	Provetes norma DIN EN ISO 527	42
3.4	Concepção do molde de injeção com zonas moldantes em material polimérico.....	43
3.4.1	Modelação de zonas moldantes	43
3.4.2	Concepção de molde.....	45
3.4.3	Análise reológica	45
3.4.4	Processo Subtrativo – Maquinação CNC	47
3.4.5	Processo Aditivo – Impressão 3D PolyJet.....	48
3.5	Injeção e procedimentos de optimização de parâmetros	49
3.5.1	Optimização de parâmetros de injeção	49
4	Discussão de Resultados	51
4.1	Ensaio de injeção e conclusões experimentais	51
4.1.1	Ensaio realizado na maquina de injeção Demag 35T	51
4.1.2	Ensaio em equipamento de injeção Inauton 90T.....	53
4.1.3	Ensaio realizado em Demag 35T para avaliar parâmetros de processamento	54
4.1.4	Análise da vida das superficies moldantes.....	55
4.1.5	Moldes com superficies moldadas em material polimérico com revestimento cerâmico Cera Shibo	57
4.1.6	Análise da vida das superficies moldantes com revestimento cerâmico Cera-Shibo	59
4.2	Extração mecânica de peças injetadas com superficies moldantes em substrato em material polimérico.....	59
4.3	Parâmetros de injeção: pressão, velocidade e estabilidade de almofada de material a injetar 60	
4.4	Rotura e danificação de zonas moldantes	61
4.4.1	Efeito da Velocidade e Pressão de Injeção.....	61

4.4.2	Efeito da Temperatura das zonas moldantes	61
4.4.3	Efeito dos gases	62
4.5	Propriedades Mecânicas	62
4.5.1	Resultados DMA dos materiais utilizados na construção de zonas moldantes	63
4.5.2	Resultados de ensaios de flexão em 3 pontos.....	64
4.5.3	Resultados dos ensaios á compressão.....	66
4.6	Análise de Custos e Tempos de Execução	68
5	Conclusão	69
5.1	Conclusões	69
5.2	Trabalhos futuros.....	70
	Bibliografia	71
	Anexos.....	73

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

1 Introdução

1.1 Enquadramento

O consumo de produtos em materiais termoplásticos tem aumentado gradualmente todos os anos e as provisões para os próximos mantêm a tendência. A indústria transformadora de materiais plásticos, em especial o processamento por injeção, necessita de maior número de modelos de componentes face á enorme procura das diferentes áreas industriais, que necessitam de responder à procura de novos produtos e produtos personalizados. Numa fase inicial são necessários componentes protótipos por forma a desenvolver esses produtos, o mais aproximado ao produto final, utilizando material semelhante ao da produção em grande escala. Existe também um aumento da procura de produtos personalizados para de pequenas produções de peças.

O “time to market” tem sido reduzido em face das necessidades das empresas surpreenderem o mercado e a concorrência. As novas tecnologias têm melhorado a performance técnica e consequentemente a capacidade de resposta de novos produtos, aumentando assim as expetativas dos consumidores. Contudo os custos e tempos de desenvolvimento são mais reduzidos e influenciam naturalmente, a decisão de viabilidade de novos projetos. Um dos custos de maior impacto no processamento de componentes plásticos por injeção é naturalmente o custo relativo ao projeto e fabrico do molde (Rosato, et al., 2000). Assim, e face á procura de soluções mais rápidas de desenvolvimento de produtos, baratas e fiáveis, elaborou-se um estudo das potencialidades de moldes de substrato polimérico (zonas moldantes) para injeção de termoplásticos para pequenas produções de peças funcionais. O número de peças obtidas e a qualidade das mesmas foi o fator chave para a avaliação do desempenho dos moldes (zonas moldantes) de base polimérica. Numa primeira fase foi avaliado o desempenho mecânico dos moldes de base polimérica no processo de injeção e, os resultados mostraram ser possível a injeção de peças plásticas com boa qualidade, em que o molde e o sistema de mecânico de extração (zonas moldades de base polimérica e peças plásticas) funcionaram de forma correta.

1.2 Objetivos

Com este trabalho pretendeu-se melhorar o conhecimento do comportamento mecânico de moldes com zonas moldantes em substrato polimérico na injeção de peças de polipropileno (PP). Foram utilizados 3 materiais diferentes na construção das zonas moldantes que mostraram ser adequados para o processamento por injeção de peças em PP. Os principais objetivos foram os seguintes:

- Analisar o comportamento dos materiais injetados nos diferentes moldes, com superfícies moldantes com diferentes materiais. O aumento da rigidez do material ocorre durante e após a injeção dos materiais (com a diminuição da temperatura verifica-se o aumento da rigidez). Durante a fase de injeção, este aumento ocorre no contato do material fundido com o material das superfícies moldantes e o próprio material injetado vai “revestir” o material utilizado no fabrico das superfícies moldantes do molde. Após a fase de injeção entra-se, naturalmente, na fase do arrefecimento. Os materiais utilizados no fabrico das zonas moldantes (base polimerica) são maus condutores térmicos quando comparados com os materiais de base metálica (alumínio e aço com condutividades 100 vezes superiores). É importante avaliar este comportamento no desempenho do molde e na qualidade de peças plásticas processadas.
- Avaliar o comportamento do material injetado e do material utilizado no fabrico das superfícies moldantes. Durante a fase da extração da peça injetada é possível avaliar o funcionamento mecânico do molde bem como a qualidade das peças plásticas processadas, no que se refere à eventual degradação do material utilizado nas superfícies moldantes e empenos das peças injetadas.
- Avaliar diferentes opções de construção das superfícies moldantes de moldes de injeção: processo subtrativo e processo aditivo. No processo subtrativo as superfícies moldantes foram maquinadas por fresagem por controlo numérico por computador (CNC). No processo aditivo, as superfícies moldantes foram obtidas por impressão tridimensional (3D printing) numa impressora PolyJet da Stratasys.
- Avaliar a vida útil das superfícies moldantes dos moldes de substrato polimérico (determinação do nº de peças produzidas com qualidade).
- Avaliar experimentalmente as propriedades mecânicas dos materiais utilizados na construção das superfícies moldantes dos moldes de injeção.
- Avaliar a utilização do revestimento utilizado no acabamento das superfícies

moldantes em termos do aumento da vida dos mesmos (nº de peças produzidas com qualidade).

1.3 Estrutura Geral

O presente trabalho está organizado de forma a ter uma introdução relativa à utilização de peças plásticas processadas por injeção, aumento do consumo e da diversificação dos produtos plásticos nos diversos setores industriais. São referidos os principais processos de fabrico utilizados no processamento de materiais poliméricos para baixas e grandes produções de peças plásticas. Os resultados experimentais e teóricos, relativos ao fabrico e processamento por injeção com moldes de substrato polimérico, são apresentados e analisados.

Deste modo os capítulos referentes a este trabalho estão organizados do seguinte modo:

- CAPITULO 1 – Introdução

Neste capítulo é feita uma introdução relativa á utilização de moldes de substrato polimérico para obtenção de peças injetadas. São apresentados os objetivos e a estrutura geral deste estudo.

- CAPITULO 2 – Revisão bibliográfica

É realizada uma revisão bibliográfica relativa aos processos utilizados no fabrico de peças plásticas, tipos de materiais e suas propriedades mecânicas e físicas. É, também, feita uma revisão sobre revestimentos a aplicar aos materiais poliméricos.

- CAPITULO 3 – Materiais e procedimentos experimentais

Neste capítulo são referidos os procedimentos utilizados no fabrico das superfícies moldantes dos moldes, equipamento utilizados no processamento por injeção dos polímeros, equipamentos de caracterização mecânica e física dos materiais processados (materiais utilizados no fabrico das superfícies moldantes), normas, etc.

- CAPITULO 4 – Resultados e discussão

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados experimentais relativos aos ensaios de injeção realizados com os moldes para os diferentes materiais. São também analisados os comportamentos mecânicos dos materiais utilizados na construção das superfícies moldantes dos moldes de injeção utilizados neste trabalho.

- **CAPITULO 5 – Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros**

São apresentadas as principais conclusões do trabalho realizado e ainda propostas para trabalhos futuros.

2 Revisão da literatura

2.1 Introdução

O consumo de produtos poliméricos por injeção, apresenta um crescimento constante de utilização nos mais diversos setores (automóvel, alimentar, elétrico, aeronáutico, farmacêutico, etc...). No entanto os mercados fazem duras exigências em relação aos novos produtos. Para corresponder a tais exigências o processo de desenvolvimento deve garantir os seguintes parâmetros: forma; ajuste; funcionalidade e viabilidade. A forma refere-se a como vemos e "sentimos" a peça, inclui fatores como o peso, e o acabamento superficial. O ajuste são as formas e dimensões precisas da peça e a sua interação com outros componentes. A funcionalidade, que por sua vez, está relacionada com as características físicas da peça, como a resistência, rigidez, resistência química, entre outros... Todos estes parâmetros de qualidade são analisados a partir da realização de testes, bem como o processo utilizado para realização dos mesmos. Finalmente, a viabilidade é uma medida da execução de forma rentável dos processos de produção considerados no desenvolvimento e fabrico da peça plástica. Todos estes fatores podem e devem ser atingidos no decorrer do desenvolvimento dos protótipos.

A moldação de peças plásticas pelo processo de injeção tradicional está relacionada, principalmente, com a quantidade (Rosato, et al., 2000). Executar uma ferramenta de aço temperado, de alto desempenho e várias cavidades, é um processo lento e dispendioso, mas assim que o molde é construído, as máquinas de injeção podem produzir centenas de milhares de peças rapidamente e com custos mais reduzidos. Os mercados de produções em grande escala estão cada vez mais a procurar este tipo de produção por forma a rentabilizar os investimentos, mas o que acontece quando o número de peças é inferior?

Na produção por injeção de pequenas produções, o investimento inicial de produção continua a ser o mesmo. O custo elevado de todo o fabrico do molde é, no entanto, amortizado sobre um menor número de peças, o que se vai traduzir num custo por peça maior. Em teoria, quando o custo por peça é suficientemente grande, o processo torna-se impensável do ponto de vista económico. No entanto, em muitos casos, não existe alternativa ao processo tradicional de injeção com molde. Agora vem o desafio deste trabalho: encontrar uma forma de reduzir os custos de produção com moldes de injeção.

2.2 Processos de produção de peças protótipos

2.2.1 Fabrico de peças poliméricas por processo aditivo

Nas primeiras fases de desenvolvimento, a forma e o ajuste podem ser rapidamente avaliados através de vários tipos de protótipos, tais como: estereolitografia, sinterização seletiva a laser ou modelagem por fusão e deposição. Infelizmente, enquanto os processos de desenvolvimento avançam e o acabamento superficial e as tolerâncias se vão tornando cada vez mais importantes, os processos de camadas usados na prototipagem são cada vez menos eficientes em ir ao encontro das características das peças que serão, posteriormente, produzidas. Os maiores obstáculos a estes processos são, no entanto, os testes da funcionalidade da peça, que requerem, por sua vez, o uso de materiais de engenharia e processos de produção adequados. É de referir que os processos de prototipagem podem não identificar possíveis problemas que podem surgir durante a fase de fabrico dos moldes de injeção. A figura 1 apresenta o protótipo de uma ferramenta, executado por impressão 3D de FDM.



Figura 1 - Protótipo executado por FDM (Stratasys, 2014)

2.2.2 Execução de peças poliméricas por processo subtrativo

Quando o número de peças necessárias desce para a casa das unidades, uma outra alternativa de prototipagem torna-se disponível. A prototipagem de primeiro corte, que oferece uma

maquinação CNC completamente automatizada diretamente de modelos CAD 3D do cliente. O sistema converte o modelo CAD em diretrizes para o equipamento de fresagem, que corta a peça, ver figura 2, diretamente de um bloco do material pretendido para a mesma; tal como acontece com a moldação por injeção rápida, este processo também produz protótipos a partir de qualquer material que exista em bloco, o que torna possível atingir as características e aparências do material que irá, posteriormente, ser utilizado na produção. Como a peça final não é constituída por camadas, o seu comportamento é muito semelhante ao de uma injetada através de um molde tradicional. Sendo estas ideais para testes funcionais da peça.



Figura 2 - Maquinação de ABS (super-prototype, 2013)

2.2.3 Execução de peças poliméricas por processo formativo

Consiste em obter a forma através do vazamento de um material (resinas) no estado quase líquido (de baixa viscosidade), sobre um molde com a geometria negativa. O molde também é obtido por processo semelhante, neste caso o vazamento do material do molde (usualmente silicone) será sobre um modelo semelhante á peça a moldar, geometria positiva. As resinas utilizadas para obtenção das peças, são resinas com características mecânicas diferentes dos materiais de produção série, resultam da mistura de vários produtos que em reação permitem a solidificação dentro do molde. No entanto apresentam propriedades que permitem a sua utilização em peças protótipos e também para peças de utilização final. Algumas das propriedades são: boa resistência mecânica, multifuncionalidade, facilidade de utilização, viscosidades compatíveis com o vazamento por gravidade, alta capacidade de aglutinação de cargas, grande estabilidade dimensional, fidelidade de reprodução, resistência à compressão, resistência aos raios U.V. e à intempérie, resistência química, resistência à temperatura, translúcidos e pode ser pigmentável (Hangue, et al., 2000).



Figura 3 - Molde de silicone (Sofitel, 2013)

2.3 Moldação por injeção

2.3.1 Processamento por injeção

Moldação por injeção é um processo repetitivo de transformação de polímeros. O material plástico apresenta-se em granulado ou em pó, e deverá estar isento de humidade. É colocado na tremonha de alimentação que permite o acesso ao fuso, que faz o aquecimento e a mistura, o qual deve estar constantemente tapado para evitar poeira e outras sujidades. O fundido é empurrado para o interior do molde, através de um sistema em pressão. No interior do molde o material adquire a geometria do molde e arrefece devido às trocas de calor com as superfícies moldantes. Após o arrefecimento, o material solidifica, e é feita a abertura do molde pela linha de separação entre a cavidade e a bucha. No final da abertura do molde é acionada a extração da peça.

O processo permite a fabricação de produtos em massa, sendo a necessidade de acabamento praticamente nula. Em contra partida, os moldes são caros, complexos e é necessário um conhecimento técnico para a realização do processamento de injeção.

As máquinas de moldação por injeção para plásticos foram derivadas da moldagem de metais (fundição em moldes). A primeira patente para moldação por injeção foi concedida nos Estados Unidos, em 1872, a John e Isaiah Hyatt que a usaram para moldar celulósido. Em 1878, John Hyatt

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

usou o primeiro molde de múltiplas cavidades (Bryce, 1999). Em 1920, na Alemanha iniciou-se a moldagem por injeção de termoplásticos. No entanto no ano de 1946, James Hendry construiu a primeira máquina com fuso que substituiu o êmbolo da máquina dos irmãos Hyatt (Bryce, 1999). O fuso foi colocado dentro do cilindro e permite misturar o material antes de ser injetado, o que provocou grandes desenvolvimentos nesta tecnologia de processamento de polímeros.

As máquinas de injeção são constituídas, normalmente, por uma unidade injetora que está do lado fixo da máquina, onde está o fuso e o sistema de aquecimento da matéria plástica. Do lado móvel que movimenta a abertura e o fecho do molde encontra-se também o módulo de extração. A figura 4 representa uma máquina de injeção de força de fecho de 35 toneladas.



Figura 4 - Injetora Demag de 35 Toneladas

2.3.2 Moldes de injeção

Molde é a designação da ferramenta utilizada no processo de injeção, é constituído geralmente por duas partes, o lado fixo ou lado da injeção (cavidade) e o lado móvel ou lado da extração (bucha), no entanto em moldes mais complexos esta designação pode ser alterada. Também podem ter zonas que são negativas á abertura da máquina e desta forma ser necessário usar componentes tais como movimentos e balancés, a figura 5 apresenta o lado móvel de um molde com movimentos acionados por guiamento inclinado durante a abertura da máquina (Dym, 1987).

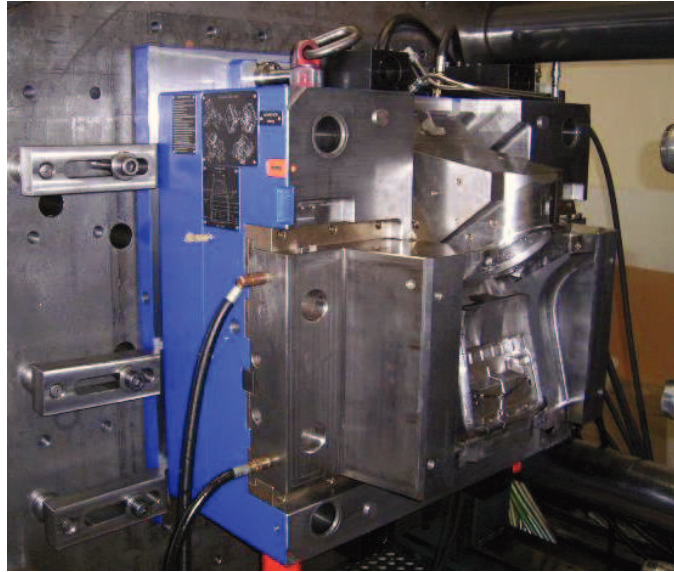


Figura 5 - Lado móvel de molde de injeção montado na máquina de injeção

O molde é constituído por uma estrutura que garante a solidez do molde e permite a montagem dos componentes. O guiamento mantém o alinhamento cavidade-bucha no fecho e abertura, o travamento garante a posição de fecho durante a injeção. A alimentação permite o percurso do material fundido desde o bico da máquina de injeção até á zona moldante, podendo ser de injeção por canal quente direto, por canais frios ou sistema misto de canais quentes e canais frios.

Ponto de injeção

A zona entre o canal de alimentação e a zona moldante é o ponto de injeção ou ataque. Estes ataques podem variar em tipo e na sua localização, que por sua vez influencia o aspeto final e a própria maneira de como se irá fazer a extração da peça. Também são da principal importância para o processo de injeção pela influência na pressão e pela taxa de corte exercida sobre o material.

Exemplo de tipos de injeção:

1. Injeção lateral
2. Injeção direta
3. Injeção submarino
4. Injeção Bayer (em gancho)
5. Injeção com válvula (valve-gate)

Extração das peças moldadas

A extração retira a moldação da zona da bucha na maioria dos casos, podendo também ser utilizada extração do lado da cavidade. Pode utilizar diversos componentes para fazer a extração de peças, tais como extratores, aros e barras extratoras, balancés ou sistemas pneumáticos. Os extratores são geralmente de geometria circular pela facilidade de execução do alojamento, também pode ser retangulares ou em meia-lua. Os aros e barras extratoras permitem atuar em maior área e sobre a espessura das peças. Balancés têm como função moldar zonas negativas no interior das peças e auxiliam a extração da peça. Sistemas pneumáticos são aplicados para eliminar o vácuo através da injeção de ar comprimido (Cunha, 2003).

Refrigeração

O arrefecimento do molde deve ser estável e controlado, maquinam-se canais para o curso do refrigerante (normalmente água) de forma equilibrada tanto na bucha como na cavidade, acompanhando o máximo da forma da peça possível, sendo depois mantida constante através de termo reguladores ou refrigeradores para temperaturas abaixo da temperatura ambiente. Nos moldes metálicos a refrigeração apresenta a vantagem de poder reduzir o tempo de ciclo de processamento, devido aos materiais serem condutores térmicos, o que permite dissipar a energia térmica transferida do material fundido para o molde, no entanto a ausência de refrigeração pode danificar o molde após alguns ciclos, devido á dilatação dos componentes por aumento da energia térmica (Zeng, 2013).

Escapes de gases

Durante a injeção, o ar que existir no interior do molde é “empurrado” pelo fundido; ao ser comprimido e sem ter por onde escapar será necessário uma maior pressão de injeção para preencher a cavidade, o que muitas vezes resulta no aquecimento excessivo dos polímeros, degradando-os. Na superfície de partição deverão ser feitos canais para o escape do ar, geralmente colocados nas últimas zonas a serem enchidas pelo material injetado. As dimensões de profundidade destas aberturas para o polipropileno devem ter de 0,015 mm a 0,025mm.

Materiais de construção

Os moldes são geralmente construídos em aços de alta liga para series exigentes e mais longas, utiliza-se aços ao carbono para séries menos exigentes e mais curtas. Geralmente quando trabalhamos com moldes protótipos ou para series, extraordinariamente, curtas usam-se ligas como o alumínio ou mais recentemente, moldes híbridos, com materiais metálicos e não-metálicos.

2.4 Processos de produção de peças protótipos por injeção

2.4.1 Produção de pequenas quantidades

Uma produção nem sempre se traduz em centenas de milhares de peças. Em alguns casos, as quantidades de produção são mais baixas, rondando os milhares ou apenas centenas de peças, mas, ainda assim, apenas as é possível produzir, através de moldes de injeção para atingir o nível de características mecânicas pretendido. Os equipamentos médicos são um bom exemplo para estas situações. Muitas vezes exigem, propriedades, qualidades do material, bem como a estética de peças moldadas por injeção, mas o alto custo de produção do molde tradicional pode ser impossibilitado, sem as economias de compensação de produção em grandes quantidades.

2.4.2 Ferramentas de ligação

Projetos aprovados para produção em massa são os candidatos ideais para os tradicionais moldes em aço com várias cavidades, no entanto, devido ao acelerado ritmo dos mercados, completar o desenvolvimento e executar os testes necessários para colocar os produtos no mercado é essencial. Os volumes de produção podem justificar o custo do molde em aço, mas o tempo necessário para a fabricação do molde acaba por se tornar um problema, pois não permite uma produção piloto ou testes de mercado.

Neste contexto, ferramentas de ligação, refere-se á “ligação” entre moldes para pequenas e grandes produções, conceito conhecido por *bridge tooling* (Hilton, 2000). O objetivo é fornecer dezenas, inclusive, milhares de protótipos de peças moldadas por injeção, em material de produção série, tão rapidamente e a baixo custo, quanto possível. Hoje em dia o mercado exige este tipo de processamento. O que permite às empresas receber uma produção inicial e fazer alguns testes de comercialização, enquanto espera a finalização do molde final para a produção de grandes volumes –

um processo que, normalmente, demora até 12 semanas (ou mais). E também permite a afinação das linhas de montagem para produtos de elevado volume de produção.

2.4.3 Moldes de injeção rápidos e de baixo custo.

Os moldes de injeção rápida vão de encontro destes objetivos de rapidez a baixo custo. O processo envolve a fresagem de alumínio em vez do tradicional aço. É também um processo automatizado para eliminar atrasos e melhorar a redução de custos. Este processo é muitas vezes referido como “maquinação suave”, o que por sua vez é enganador, pois nada é suave em relação ao alumínio.

Quando a maquinação de um molde de produção tem um prazo de finalização de três ou quatro meses, as ferramentas de ligação podem providenciar uma solução para produzir centenas, milhares ou, até mesmo, centenas de milhares de peças para testes piloto ou testes de mercado. Os moldes em alumínio, na maioria dos casos, podem ser fresados de acordo com as especificações idênticas às do aço convencional. Foi comprovado que possuem um poder de produção considerável, como referido acima, sem a degradação perceptível do molde, desde que haja controlo no processo e manutenção adequada.

Moldes em alumínio atendem a vários requisitos de produção, incluindo ciclos curtos. Como é um verdadeiro processo de injeção, a injeção rápida pode ter em conta a utilização de todos os tipos de materiais usados, também, na produção de grandes volumes. Ao produzir as peças com todas as características das peças de moldes de injeção tradicional, permite aos *designers* avaliar a forma, o encaixe, a funcionalidade, a viabilidade como se fossem moldadas na injeção tradicional, mas com um custo, substancialmente, reduzido em relação a um molde de aço convencional. No entanto todas as operações de execução de um molde em aço, têm de ser executadas num molde de alumínio, a grande vantagem é a velocidade de maquinação ser superior, 2 a 4 vezes. Já custos de matéria-prima podem ficar equiparados, o alumínio tem um peso específico de 2697 kg/m³ e o aço de 7860 kg/m³, ou seja o alumínio tem 34,3% do peso específico do aço, no entanto tem um preço por kg de 200% face a um aço de construção equivalente em dureza.

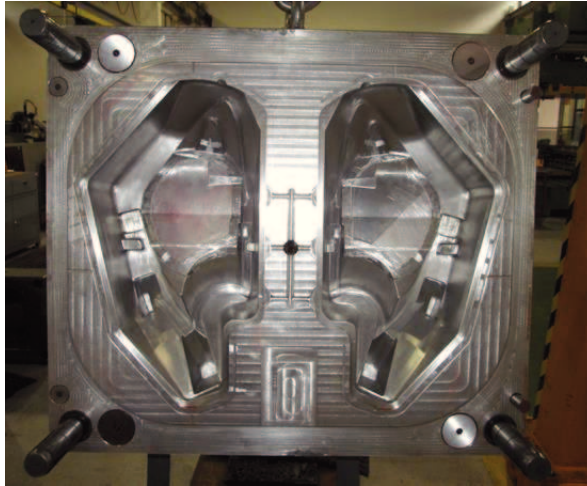


Figura 6 - Molde protótipo de alumínio

2.5 Moldação de polímeros por outros processos

Existem diferentes processos de transformação de matérias plásticas, a sua escolha depende de vários fatores, tais como: geometria das peças, dimensões, materiais, custos, tempo de execução, etc..

Alguns destes processos são aqui apresentados para elucidar as suas aplicações.

2.5.1 Moldes para termoformação

Nos moldes de termoformação, o processo consiste em colocar uma folha da matéria aquecida, no caso de polímeros amorfos a temperatura deve ser acima do T_g e para os polímeros semi-cristalinos a temperatura deve ser próxima do T_m . A folha é fixa com a ajuda de um aro, sobre um molde-fêmea (cavidade) com pequenos orifícios ligados a um sistema de vácuo. Estes orifícios atuam ao exercer uma pressão atmosférica que força a folha a tomar a forma do molde-fêmea, conseguindo assim a peça pretendida. Os materiais mais utilizados, são poliestireno, polipropileno e PET. Este tipo de moldação inclui muitas variantes como por exemplo o diâmetro dos orifícios que, quando demasiado grandes podem resultar na entrada de material no sistema de vácuo ou, quando demasiado pequenos não exercer a força necessária para que a folha adquira a forma desejada. Existem também desvantagens em relação à texturização que não é possível devido à baixa pressão de contacto. O aro de fixação pode ser seguro por um sistema de grampos ou (para produções maiores) através de um sistema pneumático que opera sobre o molde. A figura 7 apresenta uma prensa de termoformação (Sores, et al., 2002).



Figura 7 - Prensa para termoformação (Amut, 2012)

2.5.2 Moldes para rotomoldação

É possível rotomoldar materiais como: polietileno, poliamida, policarbonato, ABS e polipropileno. O baixo custo deste processo torna-o muito procurado principalmente para séries pequenas e de peças com grandes espessuras, a rondar as dezenas de quilos. Funcionando através da força centrífuga e não utiliza pressões elevadas. É colocado num molde (já com a forma da peça) o material em pó, que após a rotação do recipiente se irá espalhar por toda a área, sendo posteriormente aquecido adquirindo permanentemente a forma do recipiente e quando arrefecido resulta na peça final com uma fácil extração. Durante o aquecimento e arrefecimento dos moldes, a velocidade de rotação ronda as 20 rpm e a relação de velocidade entre os eixos é de quatro para um (4:1). O fecho é auxiliado por grampos com bordos de ajustamento que permitem o ajuste rigoroso das secções do molde (Cunha, 2003). Existem respiradouros para evitar o fluxo de ar, resultante das mudanças de temperatura no aquecimento e arrefecimento, e são preenchidos com lã de vidro para evitar a saída de material. Após concluído o arrefecimento, procede-se á desmontagem do molde para obter a peça. A figura 8 apresenta uma máquina de rotomoldagem em funcionamento, com molde montado.



Figura 8 - Molde de rotomoldagem (Asperbras, 2013)

2.5.3 Moldes para sopro

A extrusão-sopro consiste numa extrusora a que se adapta uma cabeça de extrusão que produz uma manga - o párison - que se forma através de pressão interior contra o molde que reproduz a forma exterior da peça. O processo pode ser explicado através do enchimento de um balão de ar comum dentro de uma caixa. O balão neste caso é o párison que é insuflado com ar até tomar as formas das paredes da caixa onde está colocado o párison. De seguida é arrefecido mantendo assim a forma da caixa que normalmente têm a forma de garrafas, frascos, bidões, etc...

Um molde para sopro apresenta uma estrutura semelhante à de tantos outros tipos de moldação diferindo no material em que são produzidos. Para moldar materiais menos rígidos, os moldes são feitos em alumínio, enquanto para materiais mais rígidos opta-se por usar algumas partes do molde em aço. As principais desvantagens deste processo envolvem o delicado enchimento do párison e o facto de este não permitir muitos pormenores ou detalhes mais finos. O nível de contração das peças é relativamente pequeno (1.8 – 2.5%). As linhas de partição são normalmente deslocadas para planos ou retas para evitar deformações. Uma característica destes moldes é a existência de um pinch-off, dispositivo que faz o corte do excesso do material no párison (Sores, et al., 2002) (Berins , 1991).

2.5.4 Moldes para materiais termoendurecíveis

Estes moldes, caracterizam-se pela necessidade de constante calor durante o ciclo de processamento. Em moldes mais complexos é comum existir um sistema independente de aquecimento e controlo da temperatura, pelo que também necessário um isolamento externo para evitar a perda de temperatura do molde. O maior inconveniente neste tipo de moldes é a existência de rebarbas (excesso de material) tanto horizontais como verticais dependendo da complexidade do molde. As peças são posteriormente introduzidas em tambores rotativos que com a ajuda de grânulos de madeira ou plástico aliados á agitação removem as rebarbas finas muito usuais nas peças (Cunha, 2003). Alguns dos principais termoendurecíveis são os polímeros baseados no formaldeído, os poliuretanos e os silicones. As contrações dos materiais variam, sendo normalmente indicadas pelo cliente ou fabricante da matéria-prima (Berins , 1991). Os materiais não permitem reutilização e apresentam principais características a dureza e a resistência ao calor.

2.5.5 Moldes para borrachas

As borrachas dividem-se nos seguintes tipos:

- Termoplásticas (destinadas a termoplásticos mais vulgares)
- Vulcanizáveis (processamento semelhante aos materiais termoendurecíveis)

As principais diferenças encontram-se na localização e preparação do material antes de este ser transferido ou injetado, sendo que, neste tipo de molde o material é preparado dentro do próprio molde devido à sua especificidade.

Molde de transferência é dividido em três partes: uma fixa (bucha), uma móvel (cavidade) e a camara de transferência (pistão). É de notar que durante a extração o jito e a almofada de material normalmente são retirados pois possuem uma saída negativa. Devido á acumulação de gases é comum à maquinação de folgas e espaços para o material em excesso. Estes moldes, para permitir a fluidez e vulcanização do material, são dotados de sistemas de aquecimento e sensores controladores da temperatura. Este tipo de moldes é mais usado para produzir o-rings em multi-cavidades. Uma boa limpeza é crucial para o bom funcionamento do molde entre os ciclos para retirar as partículas de borracha vulcanizada. (Berins , 1991).

2.6 Materiais poliméricos

A palavra **polímeros** vem da palavra grega *polumeres*, que significa “ter muitas partes”. Os polímeros são substâncias formadas por macromoléculas que apresentam unidades estruturais denominadas monômeros, que se repetem sucessivamente. Um polímero pode ser definido como sendo um material composto por unidades relativamente simples idênticas ou não (monômeros), repetidas várias vezes. Existem polímeros naturais, como o amido e a celulose, formados por um grande número de moléculas de glicose. Outro polímero natural é a borracha natural, cujas unidades de repetição é o isopropeno. O processo de criação dos polímeros denomina-se polimerização. Em termos gerais, podem considerar-se dois mecanismos fundamentais de polimerização: polimerização com crescimento em cadeia (adição ou radicalar) e polimerização com crescimento em etapas (passo-a-passo ou condensação), no entanto, existem outros mecanismos de menor relevância como a polimerização por coordenação, em que se utilizam catalisadores metálicos (Bryce, 1999) (Powel, 1998).

2.6.1 Classificação de polímeros

Os polímeros podem ser classificados em 3 grupos. Termoplásticos, elastômeros e termoendurecíveis (ou termorrígidos) (Powel, 1998).

Termoplásticos permitem moldar e ser reutilizados, repetido o processo de moldação.

Elastômeros são classificados entre os termoplásticos e os termoendurecíveis, é um polímero que apresenta propriedades elásticas, obtidas depois da reticulação. Suporta grandes deformações antes da rotura. O termo borracha é um sinónimo usual de elastômero.

Os termoendurecíveis são de alta dureza e comportamento frágil, porém bastante resistentes, sendo muito estáveis a variações de temperatura. Uma vez transformados (moldados), não mais se fundem. O aquecimento do polímero acabado promove decomposição do material antes de sua fusão, tornando impossível sua reciclagem.

Aplicação de polímeros

Os polímeros são aplicados em todas as indústrias devido a uma ampla gama de propriedades.

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

Plásticos: possuem estrutura molecular de dois tipos: longas moléculas, quer lineares, quer ramificadas, e moléculas de rede tridimensional. Exemplos: polietileno, PVC, poliamida, etc. São aplicados na indústria automóvel, na eletrónica, na medicina, construção etc..

Elastômeros: apresentam moléculas grandes e flexíveis, que tendem a se enrolar de maneira caótica. Quando submetidos a uma tensão, as moléculas desses polímeros desenrolam-se e deslizam umas sobre as outras. Quando a tensão cessa, as moléculas voltam à estrutura inicial. Exemplos: borracha natural e sintética. São aplicados no fabrico de pneus, vedantes, teclados, etc...

Termoindurecíveis: são aplicados em componentes técnicos de controlo térmico, eléctrico. No caso dos poliuretanos que se apresentam em várias formas, entre as quais espumas que são utilizadas em colchoaria, ou em revestimento em alternativa á pele natural.

Comportamento à temperatura

Os termoplásticos podem ser amolecidos e remoldados repetidamente. Industrialmente, podem ser reaproveitados para produção de novos artigos. Exemplos: poliestireno, polietileno, PVC. Termofixos ou Termoendurecíveis não podem ser amolecidos pelo calor após terem sido produzidos, normalmente a produção e moldação devem ser feitas numa única etapa. Exemplos: baquelite, fórmica, poliuretanos, etc.

Tipo de monómero

Homopolímeros têm somente uma espécie de monómero presente na estrutura do polímero. Copolímeros têm diferentes tipos de monómeros são empregados na sua estrutura.

Estrutura molecular

Polímeros lineares e ramificados podem ser mais ou menos cristalinos e incluem alguns dos materiais também usados como fibras por exemplo o nylon (poliamida), polietileno, policloreto de vinilo, poliestireno, etc. Ao serem aquecidos, estes polímeros amolecem e por esta razão são chamados de termoplásticos. Polímeros de rede tridimensional (ou resinas) são altamente reticulados para formar uma estrutura tridimensional rígida, mas irregular, como nas resinas fenolformaldeído. Uma amostra de tal material é essencialmente uma molécula gigante; por aquecimento não amolece, visto que o aquecimento exigiria a rotura de ligações covalentes. Na

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

realidade, o aquecimento pode causar formação de mais ligações reticulantes e tornar o material ainda mais duro. Por esta razão, estes polímeros chamados termoindurecíveis (Powel, 1998).

Morfologia no estado sólido

Amorfos: as moléculas são orientadas aleatoriamente e estão entrelaçadas (lembram um prato de spaghetti cozido). Os polímeros amorfos são, geralmente transparentes. Exemplo o ABS.

Semicristalinos: as moléculas exibem um empacotamento regular, ordenado, em determinadas regiões. Como pode ser previsto, este comportamento é mais comum em polímeros lineares, devido a sua estrutura regular. Devido às fortes interações intermoleculares, os polímeros semicristalinos são mais duros e resistentes; como as regiões cristalinas espalham a luz, estes polímeros são mais opacos (Powel, 1998). O surgimento de regiões cristalinas pode, ainda, ser induzido por um “esticamento” das fibras, no sentido de alinhar as moléculas. Exemplo a poliamida (Young , et al., 2011).

Método de preparação de polímeros

Polímeros de adição: São polímeros formados por sucessivas adições de monômeros. As substâncias utilizadas na produção desses polímeros apresentam obrigatoriamente pelo menos um dupla ligação entre carbonos. Durante a polimerização, na presença de catalisador, aquecimento e aumento de pressão, ocorre a rotura de uma ligação e a formação de duas simples ligações. São muitos os polímeros de adição presentes no nosso dia-a-dia, como por exemplo: Polietileno (PE); Policloreto de vinilo (PVC); Polipropileno (PP); Poliestireno (PS); Teflon ou Politetrafluoretileno (PTFE); Poliacetato de vinilo (PVA)

Polímeros de condensação: são polímeros formados, geralmente, pela reação entre dois monômeros diferentes, com a eliminação de moléculas pequenas, por exemplo, a água. Nesse tipo de polimerização, os monômeros não precisam apresentar dupla ligação entre carbonos, mas é necessária a existência de dois tipos de grupos funcionais nos dois monômeros diferentes. Como exemplos temos: Polietileno Tereftalato; Poliamida; Silicone; Polifenol; Policarbonato.

Polímeros de rearranjo: este tipo de polímero requer um ou mais monômeros que sofrerão um rearranjo em suas estruturas, na medida em que ocorrer a polimerização. Os polímeros de rearranjo comuns são: Poliuretanos (espuma e espuma rígida) e algumas Poliamidas (Young , et al., 2011).]

2.6.2 Poliamida

A poliamida é um polímero que foi desenvolvido por W. H. Carothers e sua equipa, na empresa Dupont nos Estados Unidos da América, que sintetizaram a poliamida em 1935, ao que deram o nome de Nylon, como é geralmente conhecido, a sua designação técnica é poliamida 66 (PA66). A DuPont iniciou a comercialização em 1940 para injeção de polímeros. Posteriormente na Alemanha foi desenvolvida a poliamida 6 (PA6) em 1952.

A produção da poliamida é feita a partir de uma polimerização por condensação de um grupo amina e um ácido carboxílico ou cloreto de acila. A reação tem como subproduto água ou ácido clorídrico.

Existe uma grande variedade de poliamidas, cuja nomenclatura está associada ao número de átomos de carbono da respetiva unidade repetitiva. As poliamidas mais comuns são a PA6 e PA66 devido á elevada tenacidade, resistência ao desgaste e á fadiga. Mas através da modificação das estruturas químicas (comprimento das cadeias e organização química), muitas outras famílias de poliamidas são obtidas, tais como: PA4.6, PA6.10, PA10, PA11 e PA12 (Powel, 1998).

As poliamidas 6 e 6.6 apresentam elevada absorção de água, sendo o comportamento mecânico e dimensional dependente do teor de humidade. A água apresenta um efeito plastizador devido á sua interação com os grupos de amida (através da formação de pontes de hidrogénio) provocando a diminuição do Tg do polímero e aumentando a sua tenacidade (Young , et al., 2011). A figura 9 representa a unidade repetitiva da poliamida 6.6 (Resinex, 2013).

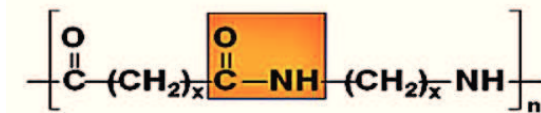


Figura 9 - Unidade repetitiva da poliamida 6.6 (Resinex, 2013)

As principais características das poliamidas são: a resistência ao envelhecimento a temperaturas elevadas; elevada resistência e rigidez; ductilidade funcional a temperaturas baixas; elevada fluidez e fácil enchimento do molde; comportamento auto-extinguível; excelentes propriedades dielétricas; resistência à abrasão; resistência química excecional; elevada resistência a combustíveis; gorduras e materiais aromáticos; elevada barreira ao oxigénio absorção de água; excelente balanço entre custo e desempenho.

As principais aplicações da PA 6, PA 66 e outras poliamidas são: a indústria automóvel com coberturas e proteções do motor, condutas de ar moldadas por sopro, grelhas, pegas de porta,

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

tampões de roda. Indústria elétrica e eletrônica: disjuntores e interruptores, conectores industriais, blocos de terminais, interruptores, carcaças e componentes internos.

2.6.3 Polipropileno

O polipropileno teve a sua introdução em 1954, pela criação do professor Natta. Iniciou a comercialização em 1957 com a marca Moplen da Montedison e desde então tem-se tornado num dos mais importantes polímeros termoplásticos da atualidade, continuando ainda como o polímero de maior crescimento. Hoje em dia o polipropileno é o terceiro termoplástico mais vendido no mundo (abaixo do polietileno de baixa densidade e do PVC). Por outro lado, o polipropileno coloca-se ao lado do ABS, ou seja, numa zona de transição entre os plásticos de grande consumo e os plásticos de engenharia (existem estimativas que consideram que $\frac{1}{4}$ do consumo do polipropileno são para aplicações técnicas). A grande característica deste material é a constante evolução tecnológica do produto, processo e seus catalisadores. Desde o início da sua produção comercial -1960 - surgiram quatro processos de polimerização e os catalisadores estão na 4ª geração (Bryce, 1999) (Powel, 1998).

O polipropileno deve ser visto hoje como um conjunto de três tipos: homopolímero, copolímero alternado e o copolímero estatístico (ou randômico). Os três polímeros - homopolímero, copolímero alternado e o copolímero estatístico, podem ser modificados e adaptados às utilizações específicas através das técnicas de formulação ou compostagem.

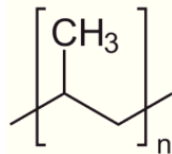


Figura 10 - Unidade repetitiva do polipropileno (Resinex, 2013)

O polipropileno é o termoplástico mais dinâmico a nível mundial, tanto ao nível tecnológico como a ao nível de consumo, apresentando, portanto, perspectivas otimistas de crescimento. Desta forma foi o material eleito neste estudo, para ser utilizado na injeção. Tem a propriedade, única entre todos os polímeros, de formar articulações integrais altamente resistentes à fadiga. Usando esta propriedade, podem moldar-se caixas com tampas articuladas numa só peça.

As principais aplicações são: a embalagem alimentar, copos, tabuleiros; Mobiliário: cadeiras e mesas de jardim; utensílios Domésticos: recipientes de armazenamento, caixas; embalagem Industrial: garrafas para detergentes, baldes; cápsulas e tampas; setor automóvel: Consolas, peças interiores, para-choques.

2.7 Moldes por processo aditivo de impressão 3D

Nos últimos 2 anos com a generalização das impressoras 3D, pelo desenvolvimento atingido e pela redução de custos desta tecnologia, têm sido executadas experiências ao nível da fabricação de moldes de injeção por processo aditivo de polímeros. São apresentados os dois processos de impressão 3D, em que há dados experimentais e em que já há divulgação de conhecimento teórico.

Os processos apresentados são o Fuse Deposit Modeling (FDM) e o processo de impressão PolyJet® da Stratasys®, ambos os processos já têm dados experimentais e servem de base para os trabalhos a realizar nesta dissertação de mestrado.

2.7.1 Moldes executados por impressão FDM

A Fuse Deposit Modeling (FDM) tem-se generalizado nos últimos anos, o que permitiu expôr as potencialidades do processo e conseqüentemente aumentou os campos de aplicação. Um dos campos já testado e apresentado é nomeadamente a execução de moldes para injeção. O material utilizado é filamento de ABS, no entanto devido ao material ser amorfo o comportamento mecânico acima de 80°C torna-se instável para estas aplicações (Stratasys, 2014).

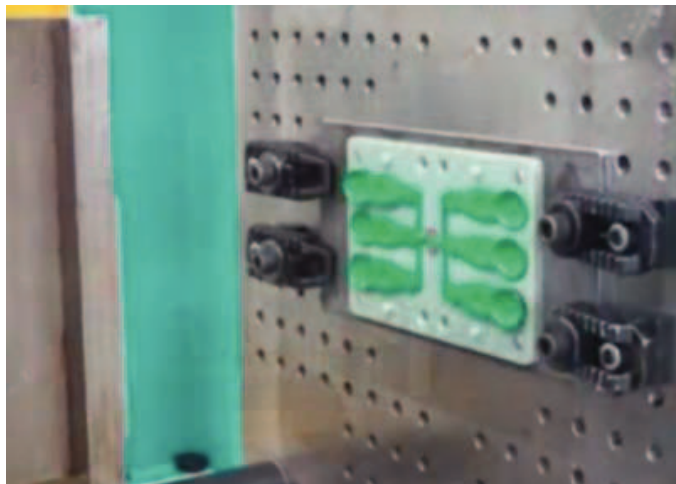


Figura 11 - Molde modelado em ABS por processo de FDM (Stratasys, 2013)

2.7.2 Moldes executados por impressão 3D PolyJet®

A tecnologia Polyjet permite criar moldes com detalhes, precisão e de geometrias complexas. Impressão 3D de ABS digital é suficientemente resistente para injetar séries de 10 a 100 moldações. O molde pode ser instalado diretamente na máquina de injeção e caso durante seja necessário

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

modificar os componentes moldantes, durante o ensaio, podemos substituir os mesmos sem necessidade de desmontar o molde da máquina. Esta opção é uma das vantagens deste tipo de molde, que permite corrigir os erros de desenho, compensar empenos e contrações resultantes do processo de injeção.

A tecnologia PolyJet é método exclusivo de impressão 3D, fornecido pelas impressoras Object 3D printers da Stratasys que dá aos utilizadores a possibilidade de criar moldes de injeção para baixas quantidades, rapidamente e com facilidade. A impressão PolyJet cria objetos 3D através da deposição de sucessivas layers de fotopolímero líquido nas configurações desejadas. O plástico é curado (solidificado) com luz Ultra-Violeta. Uma vez completamente curados, os moldes podem ser imediatamente colocados nas máquinas de injeção e utilizados para injetar peças utilizando o material especificado para o produto final. A precisão destas peças, permite e dá a possibilidade de criar protótipos realísticos, que podem ser testados como produtos finais obtendo resultados de produtos de série. Também é possível obter níveis de acabamentos finais possibilitando a fabricação de peças de séries reduzidas, que se enquadram na atual necessidade de produtos exclusivos únicos ou de pequenas séries de produção. A possibilidade de poder substituir outros materiais por materiais poliméricos com propriedades exclusivas, é uma vantagem cada vez mais procurada. A figura 12, apresenta um molde executado por tecnologia PolyJet®, a grande vantagem é de o ABS_Digital ser termoendurecível quando comparado com o ABS utilizado em FDM, que é termoplástico amorfo (Stratasys, 2013).

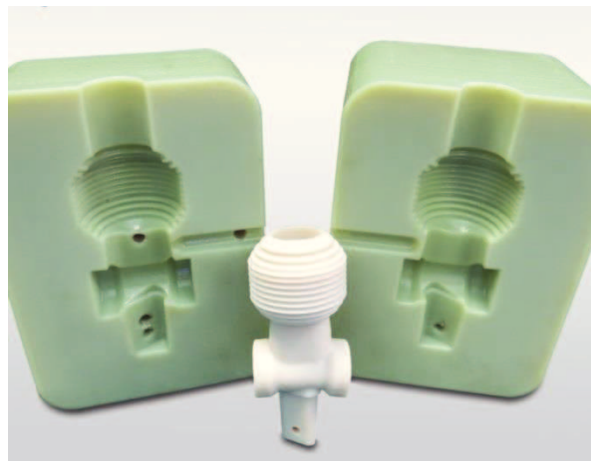


Figura 12 - Molde em ABS Digital por processo PolyJet® (Stratasys, 2013)

2.7.3 Comparativo FDM versus PolyJet para execução de moldes protótipos

Exemplo de dois moldes protótipos para extrusão. Na figura 13 a, as zonas moldantes executadas por impressão PolyJet estão inseridas numa estrutura metálica. Na figura 13 b, um molde

imprimido por completo em ABS por processo FDM (Stratasys, 2013).

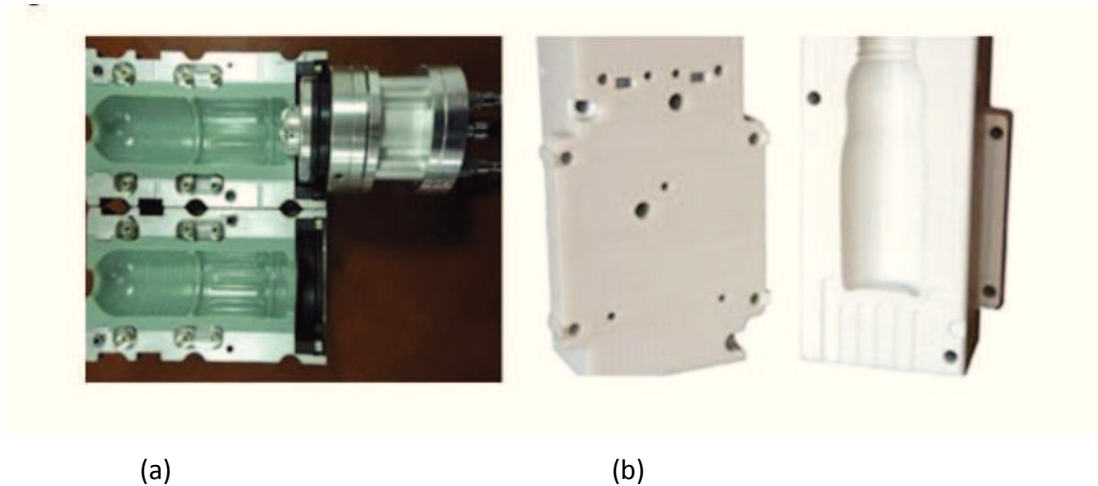


Figura 13 - a) Molde em ABS_Digital por processo PolyJet® b) Molde em ABS por processo FDM (Stratasys, 2013)

2.8 Revestimentos para polímeros

A proteção superficial é decisivo para a durabilidade do substrato, especialmente neste tipo de ferramentas em que utilizamos substratos com propriedades semelhantes aos materiais a moldar. Neste domínio necessitamos de utilizar revestimentos (coatings) que permitam melhorar as propriedades da ferramenta, em particular necessitamos do aumento da vida útil da ferramenta, da estabilidade dimensional, melhoramento do acabamento superficial entre outros. Existem diversos revestimentos para materiais poliméricos, sendo este um campo de estudo que necessita um estudo continuado e que futuramente será sem dúvida uma área de forte desenvolvimento, no entanto iremos abordar alguns que justificam a sua seleção (Ryntz, et al., 2003).

2.8.1 Pintura

A utilização de tintas especiais permitem revestimentos duradouros para diversas aplicações, são o tipo de revestimento mais comum e que apresentam várias soluções no mercado. De fácil aquisição e com uma excelente relação entre preço e qualidade, são sem dúvida um dos revestimentos a considerar. Podem ser de uma família de produtos (líquidos, viscosos ou sólidos em pó) e, após aplicação sob a forma de uma fina camada, a um substrato, converte-se num filme sólido opaco. As tintas são usadas para proteger e dar cor a objetos ou superfícies. Os pigmentos são sólidos granulares que numa tinta contribuem para a cor, tenacidade e textura. Podem ser classificados em naturais ou sintéticos. Os pigmentos naturais incluem vários tipos de argilas, carbonatos de cálcio, mica, sílicas e talcos. Os pigmentos sintéticos incluem as moléculas orgânicas

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

fabricadas pelo homem, argilas calcinadas e sílicas sintéticas. Os pigmentos opacos, para além da sua função decorativa, também conferem proteção ao substrato, ao impedirem os efeitos nocivos, tais como raios ultravioleta (Ryntz, et al., 2003).

Aditivos para tintas

A tinta pode possuir uma grande variedade de aditivos, que são usados em pequenas quantidades e providenciam um grande efeito no produto. Alguns exemplos incluem aditivos para modificar a tensão superficial, melhorar propriedades do fluxo, melhorar a aparência final, melhorar a estabilidade dos pigmentos, conferir propriedades anticongelantes e aumentar a resistência à temperatura. Outros tipos, de aditivos, incluem catalisadores, espessantes, estabilizadores, emulsionadores, textura, promotores de aderência, estabilizadores ultravioletas (Ryntz, et al., 2003).

2.8.2 Metalização de polímeros

Os revestimentos metálicos fornecem proteção superficial ao polímero e melhoram a resistência mecânica, à corrosão, ao aquecimento, aos raios ultravioletas e aos solventes. Adicionalmente pode ser interessante fazer uso das propriedades isolantes dos termoplásticos e da condutividade dos diferentes revestimentos metálicos, sejam químicos ou eletrolíticos, para aplicações como em circuitos impressos ou proteções eletrostáticas e eletromagnéticas. Também se pode escolher materiais plásticos como o ABS, para substituir peças metálicas com a vantagem de reduzir o peso e o custo de energia associado com as diversas fases da formação do metal e do polimento mecânico das peças, bem como o custo de transporte. Adicionalmente a isso, uma peça em ABS tem uma aparência naturalmente nivelada, desta maneira não é exigido um depósito muito espesso se comparado com uma peça de Zamac, onde a superfície porosa tem que ser corrigida. A metalização de materiais plásticos tem na maioria das utilizações, funções estéticas, em áreas como decoração e perfumaria que podem receber acabamentos metálicos diversos. No entanto na aparência, a utilização dos plásticos ainda é muito recente para substituir completamente os metais e a forte imagem associada a eles.

A metalização química de um substrato não condutor consiste em depositar um filme metálico condutivo sobre ele, através da imersão em uma solução que contenha algum metal capaz de ser reduzido sobre a superfície do material. Para conseguir isto, diversos métodos têm sido desenvolvidos, sendo os mais difundidos:

- Metalização inicial por imersão em diferentes soluções, sem a aplicação de corrente externa (processos químicos).

- Deposição de fina camada de metal condutor por meio eletrolítico (processo de eletrodeposição).

Na primeira fase, a superfície de substrato plástico é consideravelmente aumentada pela criação de micro-poros. Estes poros servem como pontos de ancoragem para a deposição metálica criada na segunda fase. Desta forma é possível produzir um depósito metálico por meio químico (sem corrente elétrica). Uma película fina (0.2 – 0.5 μm) de níquel é depositada para tornar a superfície condutora. Esta camada condutora pode então ser reforçada pela eletrodeposição.

Plásticos são substratos não condutores e não são todos equivalentes em termos de metalização, nem todos os plásticos podem ser satisfatoriamente metalizados. O tipo de plástico mais “metalizável” é o copolímero Acrilonitrila-Butadieno-Estireno, conhecido como ABS (Ryntz, et al., 2003).

2.8.3 Metalização de Poliamidas

Linhas recentes de metalização de poliamida usam um solvente orgânico inicial baseado na fase ataque. Estes solventes agem removendo a carga mineral da peça com uniformidade formando uma superfície rugosa. Esta fase é seguida por uma fase condicionadora para prevenir o arraste destes solventes para a próxima fase da linha. O restante da sequência é geralmente similar ao do ABS, o que facilita a inserção deste processo em uma linha existente. Então, a fase condicionadora é seguida pela fase catalisadora (Pd / Sn coloidal ou paládio iônico), a fase aceleradora, níquel químico e então a sequência eletrolítica. Este processo tem a vantagem de eliminar completamente o cromo hexavalente na fase de condicionamento, mas exige o uso de solventes orgânicos (Ryntz, et al., 2003).

2.8.4 Cera-Shibo®

Cera-Shibo é um revestimento cerâmico, desenvolvido pela Eschmann Textures com a finalidade obter acabamentos de superfícies moldantes. Permite a reprodução de estruturas 100% fiéis ao modelo, num tempo de execução rápido comparativamente aos processos atuais de utilização de ácido. Também permite que possa ser removida e aplicada novamente sobre a mesma superfície, sem necessidade de polimento adicional e de remaqueação da superfície. Elimina as linhas de separação de componentes por ser um revestimento em película, que são geralmente zonas críticas pelo processo de ácido ou de foscagem. Permite ainda, a adição de material na superfície moldante, reduzindo assim a espessura das peças moldadas, face aos outros processos

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

que consistem em remover material das peças moldantes aumentando a espessuras das peças moldadas. Também é possível aplicar o revestimento Cera-Shibo em peças individuais de pequenas séries, aplicação em moldes de silicone, em moldes de propileno expandido, ferramentas de espuma, moldes de sopro e moldes de injeção (Eschmanntextures, 2013). A figura 14 apresenta algumas aplicações do revestimento Cera-Shibo.



Figura 14 - Revestimento cerâmico Cera-Shibo (Eschmanntextures, 2013)

2.9 Adesão de materiais

O entendimento do fenômeno de adesão entre dois corpos (ou substratos) requer conhecimentos sobre a natureza química dos seus constituintes, a reologia do meio, a geometria de contato e as propriedades físico-químicas das superfícies. Trata-se de um tópico altamente interdisciplinar, o que frequentemente provoca interpretações diferentes de um mesmo fenômeno por autores de áreas distintas. O próprio termo adesão pode assumir significados distintos. Forças intermoleculares atuantes numa interface causam o fenômeno da adesão. Por outro lado, o termo adesão também é empregado como referência à energia necessária para se romper uma junta adesiva. Ou seja, o primeiro significado refere-se a um fenômeno interfacial, enquanto o segundo está ligado à dissipação de energia ao longo de todo um volume da junta adesiva, quando esta é solicitada em um esforço de separação. Portanto, adesão é o fenômeno interfacial ou a energia de separação de dois substratos. Este fenômeno é importante para perceber a desmoldação ou extração do material injetado do material polimérico do molde e também para analisar a adesão entre o substrato e os revestimentos superficiais (Ryntz, et al., 2003; Zeng, 2013).

2.9.1 Forças atrativas Intermoleculares

As forças atrativas responsáveis pelo fenômeno físico-químico da adesão, são as forças fundamentais da natureza que unem átomos para formarem moléculas, e moléculas para formarem líquidos ou sólidos. Estas forças, quando atuam entre dois substratos, permitem a adesão de ambos.

Os adesivos são utilizados como um elo entre os substratos, que se ancoram em cada substrato em função das forças intermoleculares. Forças eletrostáticas surgem da interação entre átomos ou moléculas carregados eletricamente por cargas de sinais opostos. Trata-se de uma das maiores forças de interação entre átomos e moléculas (com exceção das ligações covalentes), com energia de rotura típica da ordem de 100 kcal/mol.

2.9.2 Forças de Van Der Waals

Uma das primeiras tentativas de descrição de gases não-ideais foi dada pela equação de Van Der Waals. As interações que provocam o desvio da lei dos gases ideais são denominadas forças de Van Der Waals, as quais são as seguintes: Interações Dipolo-Dipolo, a eletronegatividade diferenciada dos átomos que constituem uma molécula pode fazer com que esta apresente cargas virtuais (dipolo) em função de uma distribuição não uniforme dos elétrons. Força de dispersão (ou de London) trata-se da força de adesão mais comum, encontrada em praticamente todos os materiais. Surge da formação de dipolos instantâneos, provocando a formação de dipolos induzidos instantâneos, quando átomos ou moléculas com distribuição de cargas uniforme se aproximam. É responsável, por exemplo, pela coesão molecular de polímeros não-polares como o polietileno, borracha natural e borracha butílica (Zeng, 2013; Dalbin, et al., 2006).

2.9.3 Há diferentes teorias para explicar o mecanismo adesão química e / ou mecânica

A primeira considera que a superfície do plástico deve ser modificada quimicamente para criar grupos polares ou hidrofílicos, tais como grupos hidroxilas. A forte adesão entre o copolímero ABS e o depósito metálico foi atribuído às forças químicas, tais como as Forças de Van der Waals entre metal e a superfície plástica. A segunda é baseada em ancoragem mecânica. Neste caso, a rugosidade da superfície age como um tipo de travamento para segurar o metal depositado. Com sucessivos estágios de metalização, as cavidades ou micro-poros formados na superfície do plástico após o processo de condicionamento, são preenchidos por metal. Dessa forma, a aderência mecânica criada impede o destacamento do metal da superfície do material plástico. Na prática, é difícil separar os efeitos da aderência química e mecânica. Na realidade, a adesão obtida é definitivamente uma combinação destas duas hipóteses (figura 15).

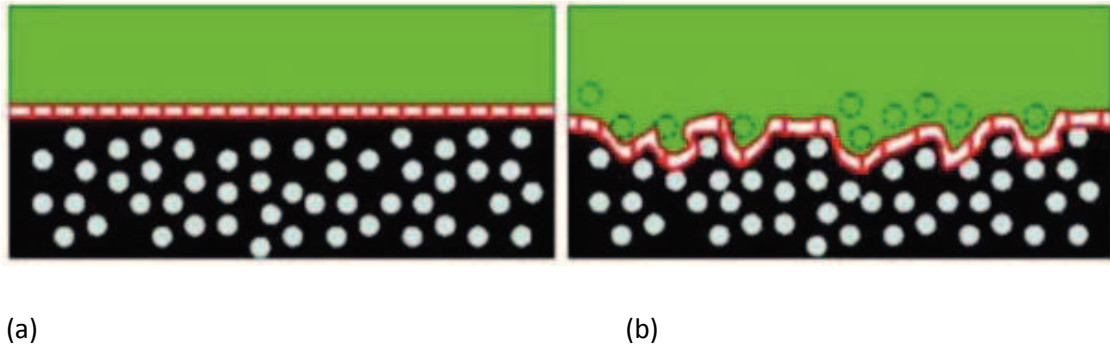


Figura 15 - Teorias de adesão: a) químico b) uma combinação de químico + mecânico (Dalbin, et al., 2006)

2.10 Dissipação térmica

A refrigeração é um dos pontos críticos nos moldes de substrato polimérico, por um lado para obter as peças processadas em condições semelhantes às peças de um molde em aço utilizando temperaturas semelhantes de injeção, por outro lado é uma das variáveis mais importantes para aumentar a durabilidade dos moldes de base polimérica.

Um aspecto que diferencia um molde de base polimérica de um molde em aço é a condutividade térmica, sendo que os polímeros utilizados apresentam valores de 0,2 W/m·K a 0,5 W/m·K, os aços variam na ordem de 100x mais, isto é para valores de 18 W/m·K a 40 W/m·K, esta diferença substancial da condutividade térmica coloca os polímeros no grupo dos materiais termicamente isolantes e os aços no grupo dos materiais termicamente condutivos.

Outro aspecto relevante na diferença dos polímeros para os metais ferrosos e para o alumínio é o ponto de fusão ser consideravelmente mais baixo, em geral na ordem das duas centenas de graus, no caso da poliamida varia entre os 220 °C e os 250 °C, enquanto para o aço o ponto de fusão varia entre 1410 °C e os 1540 °C e para o alumínio o ponto de fusão é de 659 °C.

2.10.1 Transferência de Calor

Transferência de Calor (ou Calor) é energia em trânsito devido a uma diferença de temperatura. Sempre que existir uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios ocorrerá transferência de calor.

Está implícito na definição acima que um corpo nunca contém calor, mas calor é identificado como tal quando cruza a fronteira de um sistema. O calor é portanto um fenômeno transitório, que cessa quando não existe mais uma diferença de temperatura.

Os diferentes processos de transferência de calor são referidos como mecanismos de transferência de calor. É necessário o entendimento dos mecanismos físicos que permitem a transferência de calor de modo a poder quantificar a quantidade de energia transferida na unidade de tempo (taxa).

Os mecanismos são:

- Condução e Radiação dependem somente de um ΔT .
- Convecção depende de um ΔT e transporte de massa.

2.10.2 Condução

Quando a transferência de energia ocorrer em um meio estacionário, que pode ser um sólido ou um fluido, em virtude de um gradiente de temperatura, usamos o termo transferência de calor por condução (Çengel, et al., 2012). A figura 16 ilustra a transferência de calor por condução através de uma parede sólida submetida à uma diferença de temperaturas T_1 e T_2 entre as faces.

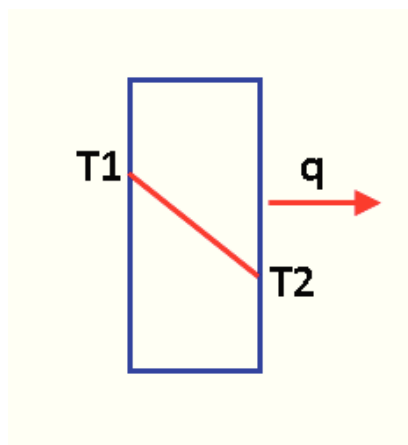


Figura 16 - Transferência de calor por condução num sólido

A condução pode ser definida como o processo pelo qual a energia é transferida de uma região de alta temperatura para outra de temperatura mais baixa dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes em contato direto. Este mecanismo pode ser visualizado como a transferência de energia de partículas mais energéticas para partículas menos energéticas de uma substância devido a interações entre elas. O mecanismo da condução pode ser mais facilmente entendido considerando, como exemplo, um gás submetido a uma diferença de temperatura.

2.10.3 Convecção

Quando a transferência de energia ocorrer entre uma superfície e um fluido em movimento em virtude da diferença de temperatura entre eles, usamos o termo transferência de calor por convecção. A figura 17 ilustra a transferência de calor por convecção quando um fluido T_f , escoar sobre uma placa aquecida á temperatura T_s .

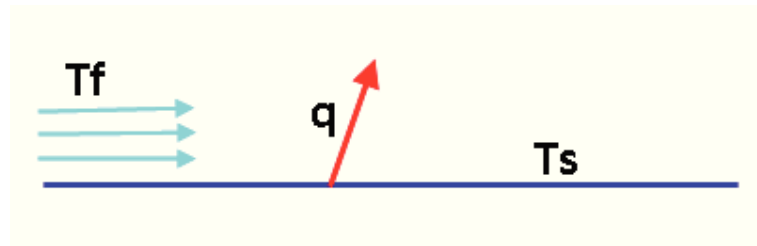


Figura 17 - Transferência de calor por convecção

1. A velocidade da camada de fluido próxima à superfície é muito baixa em razão das forças viscosas (atrito).
2. Nesta região o calor é transferido por condução. Ocorre portanto um armazenamento de energia pelas partículas presentes nesta região.
3. Na medida que estas partículas passam para a região de alta velocidade, elas são carregadas pelo fluxo transferindo calor para as partículas mais frias.

Dizemos que a convecção foi forçada, quando o movimento de mistura foi induzido por um agente externo, por exemplo um ventilador ou bomba hidráulica. Suponhamos que o ventilador seja retirado. Neste caso, as partículas que estão próximas à superfície continuam a receber calor por condução e armazenar a energia. Estas partículas têm sua temperatura elevada e, portanto a densidade reduzida. Já que são mais leves elas sobem trocando calor com as partículas mais frias (e mais pesadas) que descem. Neste caso dizemos que a convecção é natural (é óbvio que no primeiro caso a quantidade de calor transferido é maior).

Nota: Este exemplo é de grande importância, para explicar a eficiência da refrigeração dos moldes de substrato polimérico, ser feita por ar comprimido e também para explicar o aumento da temperatura superficial após cada ciclo de injeção.

2.10.4 Radiação

Quando, na ausência de um meio interveniente, existe uma troca líquida de energia (emitida na forma de ondas eletromagnéticas) entre duas superfícies a diferentes temperaturas, usamos o termo radiação. A figura 18 ilustra a transferência de calor por radiação entre duas superfícies a diferentes temperaturas.

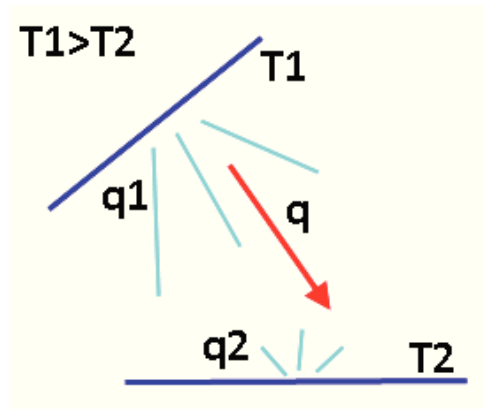


Figura 18 - Transferência de calor por radiação

Nota: Em moldes de injeção devemos considerar transferência de calor por condução e por convecção. Transferência de calor por radiação não é significativa no processamento por injeção.

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

3 Materiais e procedimentos experimentais

A utilização de materiais poliméricos no fabrico das superfícies moldantes para moldes de injeção, é o objetivo principal deste trabalho.

3.1 Materiais poliméricos utilizados para os moldes

3.1.1 Poliamida PA6 e PA6.6 - Nylon

A escolha utilização da poliamida para o fabrico das zonas moldantes dos moldes de injeção deve-se às suas propriedades mecânicas e físicas. Estes materiais apresentam (e os compósitos de matriz de poliamida com reforço), valores de rigidez significativos para temperaturas próximas da transição vítrea (T_g). Por outro lado, a poliamida apresenta uma baixa adesão com a maioria dos polímeros (utilizados no processamento por injeção) devido á sua baixa energia superficial. Na tabela 1, pode-se observar que existe apenas adesão entre a poliamida com poliamidas, PBT e TPE modificadas. Estes materiais apresenta uma boa resistência mecânica, química e ambiental o que permite a sua utilização na moldação por injeção de PP sobre superfícies de PA. As poliamidas 6 e 6.6 apresentam uma elevada absorção de água, sendo o comportamento mecânico e dimensional dependente do respetivo teor de humidade. Este material deve trabalhar saturado de humidade para reduzir a fragilidade mecânica. A maquinação, por arranque de apara, destes materiais para o fabrico de zonas moldantes é, também, exequível.

Neste trabalho de mestrado, foi utilizado PA6 pela facilidade de aquisição e custo. Foram, também, materiais compósitos PA66 GF30 (com 30% de carga de fibra de vidro), com uma temperatura de transição vítrea (T_g) mais elevada, melhor resistência mecânica e facilidade de ser maquinada por fresagem por arranque de apara, mas custo mais elevado (na ordem de 5 a 6 vezes o da PA6).

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

Tabela 1 - Combinações de adesão Poliamidas com diversos polímeros (Chanda, et al., 2006)

Combinação de materiais	ABS	ABS/PC	ASA	CA	EVA	PA6	PA6.6	PBT	PC	PE	PET	PMMA	POM	PP	PPO	PS	PSU	PVC	SAN	TPE-A	TPE-E	TPE-S	TPE-U	TPE-V	
ABS	Boa	Boa	Boa					Boa	Boa		Boa	Boa			Boa	Boa		Sem	Boa	Sem	Sem	Sem	M		Sem
ABS/PC																				Sem	Sem	Sem	M		Sem
ASA	Boa	Boa	Boa							Boa		Boa			Boa	Boa			Boa					Boa	
CA	Boa	Boa		Sem																					
EVA		Boa	Sem	Boa											Boa	Boa									
PA6						Boa	Boa			Sem			Sem							Sem	Sem	Sem	M		Sem
PA6GF30																				Sem	Sem	Sem	M		Sem
PA66						Boa	Boa		Boa	Sem			Sem			Boa				Sem	Sem	Sem	M		Sem
PA66GF30																				Sem	Sem	Sem	M		Sem
PA6.12																				Sem	Sem	Sem			
PA6.12GF30																				Sem	Sem	Sem	M		Sem
PBT							Boa	Boa	Boa											Sem	Sem	Sem	M		Sem
PC	Boa	Boa					Sem	Boa	Boa		Boa							Sem		Sem	Boa	Sem	M		Sem
PC/PBT																				Sem	Boa	Sem	M		Sem

Boa Adesão
 Baixa Adesão
 Sem Adesão

Poliamida 6

Este material apresenta uma boa combinação de resistência mecânica, resistência ao desgaste, rigidez e tenacidade. Estas características combinadas com a excelente resistência química, baixa condutibilidade térmica, boa maquinabilidade, faz com que este material seja muito utilizado no fabrico de elementos mecânicos e de manutenção industrial. Trata-se de um material de utilização universal, fácil obter, o que facilita a sua utilização no fabrico de componentes mecânicos.

Tabela 2- Propriedades da Poliamida 6

Propriedades	Normas	Valor	Unidade
Físicas			
Densidade	ISO 1183-1	1,13	g/cm ³
Mecânicas			
Módulo de Flexão (5mm / min)	ISO 178	-	MPa
Resistência á tração em cedência	ISO 527-1	-	MPa
Impacto Izod (23 °C)	ISO 180	-	Kj/m ²
Deformação	ISO 527-1	4,5	%
Térmicas			
Temperatura de deflexão térmica HDT (0,45 MPa)	ISO 75-1	-	°C
Temperatura de fusão (Tm)	ISO 11357-1	220	°C
Temperatura de Transição Vítre (Tg)	ISO 11357-3	60	°C

Poliamida 6.6 - Ertalon 66 GF 30

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

O material composto de matriz PA66 reforçada com 30% de fibra de vidro tem uma boa resistência mecânica ao calor, rigidez, fluência e boa estabilidade dimensional. Este material é utilizado no fabrico de casquilhos, isolantes elétricos, feiras, peças estruturais e protótipos. As principais características deste material são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades da Poliamida Ertalon 66 GF 30

Propriedades	Normas	Valor	Unidade
Físicas			
Densidade	ISO 1183-1	1,29	g/cm ³
Mecânicas			
Módulo de Flexão (5mm / min)	ISO 178	2700	MPa
Resistência á tracção em cedência	ISO 527-1	85	MPa
Impacto Izod (23 °C)	ISO 179-1	50	Kj/m ²
Deformação	ISO 527-1	5	%
Térmicas			
Temperatura de deflexão térmica HDT (1,8 MPa)	ISO 75-1	150	°C
Temperatura de fusão (Tm)	ISO 11357-1	260	°C
Temperatura de Transição Vítreá (Tg)	ISO 11357-3		°C

3.1.2 Resina PolyJet ABS Digital

A decisão da utilização deste material deveu-se ao facto de ser indicado como a melhor opção para execução de moldes de base polimérica por impressão 3D, conforme indicado anteriormente (ver capítulo 2.7). A referência dos materiais utilizados para produzir impressão em ABS Digital são RGD515 e RGD535, e as caraterísticas do material apresentam-se na tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades do ABS_Digital

Propriedades	Normas	Valor	Unidade
Físicas			
Densidade	ISO 1183-1	1,17-1,18	g/cm ³
Mecânicas			
Módulo de Flexão (5mm / min)	ASTM D790-04	1700-2200	MPa
Resistência á tracção em cedência	ASTM D638-03	55-60	MPa
Impacto Izod (23 °C)	D256-06	65-80	J/m
Deformação	D638-05	25-40	%
Dureza Rockwell (Escala M)	Escala M	67-69	
Térmicas			
Temperatura de deflexão térmica HDT (0,45 MPa)	D648-06	58-68	°C
Temperatura de deflexão térmica HDT (1,82 MPa)	D648-07	51-55	°C
Tg	DMA, E	47-53	°C
Temperatura Vicat (10N)	ISO 306	152	°C

3.1.3 ENSAIO ESTÁTICO EM FLEXÃO EM 3 PONTOS

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

Foi utilizada uma máquina servo – mecânica Zwick / Z100 (figura 19) nos ensaios de tração em flexão em 3 pontos. Esta máquina possui uma consola de controlo e interface a um computador, permitindo, através de um software, o controlo e tratamento de todos os parâmetros (carga, velocidade, deslocamento, etc.); permite também, a visualização do andamento da curva carga – deslocamento ao longo do ensaio, bem como o tratamento e armazenamento de resultados.

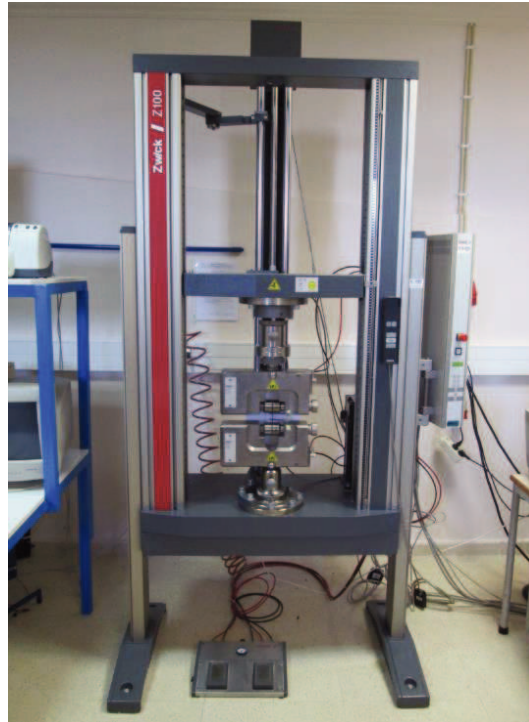
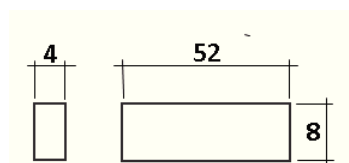


Figura 19 - Equipamento Zwick (ESTG)

As dimensões dos provetes foram obtidas segundo a norma ASTM D638 (figura 20). Os ensaios foram realizados à temperatura ambiente e em controlo de deslocamento, com a velocidade do carregamento em todos os ensaios de 1 mm/min, registando-se a força, deslocamento e extensão dos provetes.



(a)

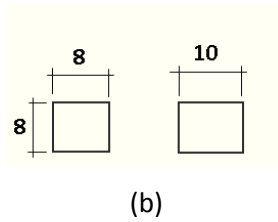


Figura 20 - Geometria e dimensões dos provetes: (a) Provetes para ensaios de flexão; (b) Provetes para ensaios de compressão

3.1.4 Ensaios de DMA (DYNAMIC MECHANICAL ANALYSIS)

A Dynamic Mechanical Analysis (DMA) é uma técnica onde são obtidas as variações do módulo (loss modulus, tan delta) com a temperatura, quando sujeito a um programa de temperatura controlada e sob o efeito de uma força mecânica que se altera com o tempo (Ferreira, et al., 2011). Os ensaios realizados, foram de flexão em 3 pontos, com variação de temperaturas entre os 20°C e os 180° C A norma alemã DIN53457 é a referência neste tipo de análise térmica. Equipamento de análise DMA apresentado na figura 21.

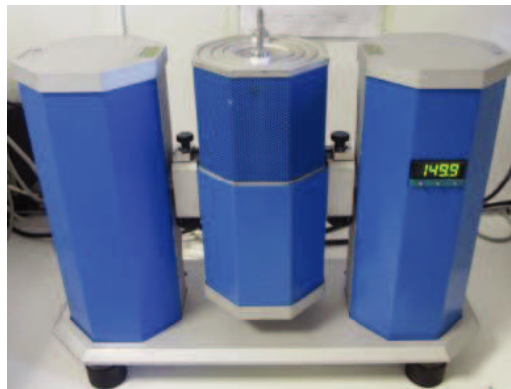


Figura 21- Equipamento DMA utilizado nos estudos

Os provetes ensaiados têm dimensões A (42mm), B e C (4x4 mm; 3x3 mm; 2x2 mm) e apresentam a geometria da figura 22.

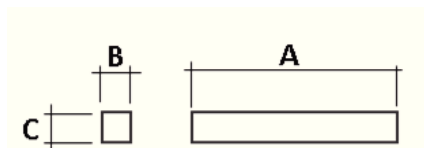


Figura 22- Provetes para ensaios de DMA

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

Com este tipo de análise pode-se obter a temperatura de transição vítrea (T_g) de um material. A temperatura de transição vítrea é a propriedade do material onde se pode obter a temperatura da passagem do estado vítreo para um estado “maleável”. A transição vítrea é um importante parâmetro nas áreas de processamento de materiais poliméricos por injeção, sendo o seu conhecimento bastante importante na análise do comportamento dos moldes de injeção de base polimérica e, também do processamento das peças moldadas.

3.2 Materiais poliméricos utilizados no processamento por injeção

Os materiais utilizados no processamento das peças plásticas deste trabalho, são todos da família dos polipropilenos, pela sua grande utilização nos diversos setores industriais, características técnicas e custo, o tornam como um dos mais utilizados. Também a sua evolução técnica, tem permitido que estes substituam outros materiais mais caros e difíceis de processar tais como poliamidas, o ABS e, também, materiais usais como polietileno e o polistireno.

A escolha dos materiais para este trabalho, foi para 3 tipos de polipropilenos, utilizados em diferentes áreas, com diferentes características técnicas e deste modo validar a utilização destes com moldes com substrato polimérico. Os materiais são os seguintes: polipropileno copolímero CP 204 da Braskem (PP), polipropileno com carga de 20% de talco ADX 5300 da Advance Composites (PP T20) e o polipropileno com carga de 30% de fibra de vidro Hostacom X G3 U12 da Basell (PP GF30).

3.2.1 Características do Polipropileno Copolímero Braskem CP 204 (PP)

Este material é utilização genérica, utilizado no fabrico de componentes de consumo doméstico e, pertence à família dos copolímeros heterofásicos. O CP 204 é um copolímero heterofásico de propeno e eteno, de alto índice de fluidez e reologia especial, aditivado para uso geral. As características do material são apresentadas na tabela 5.

Tabela 5 - Propriedades do Polipropileno Braskem CP204

Propriedades	Normas	Valor	Unidade
Físicas			
Índice de fluidez (230 C /2.16Kg)	ISO 1133	22	g/10 min
Densidade	ISO 1183-1	0,90	g/cm ³
Mecânicas			
Módulo de Flexão (5mm / min)	ISO 178	1300	MPa
Resistência á tração em cedência	ISO 527-1	28	MPa
Impacto Izod (23 °C)	ISO 180	4,5	KJ/m ²
Impacto IZod (-20 °C)	ISO180	2,9	KJ/m ²
Deformação	ISO 527-1	8	%
Dureza Rockwell (Escala R)	ISO 2039-2	92	
Térmicas			
Temperatura de deflexão térmica HDT (0,455 MPa)	ISO 75-1	89	°C
Temperatura de deflexão térmica HDT (1,820 MPa)	ISO 75-1	55	°C
Temperatura Vicat (10N)	ISO 306	152	°C

3.2.2 Carateristicas do Polipropileno com carga de 20% de talco ADX 5300 (PP T20)

Este material é um polipropileno copolimero para utilização especifica na industria automóvel (em especial para a Volkswagen) para peças interiores com visibilidade e para peças que tem contacto com os ocupantes. Tem como principais carateristicas principais, boa resistência ao impacto, boa resistencia mecânica. Na tabela 6 são apresentadas as propriedades carateristicas deste material.

Tabela 6 - Propriedades do Polipropileno Advance Composites ADX 5300

Propriedades	Normas	Valor	Unidade
Físicas			
Índice de fluidez (230 C /2.16Kg)	ISO 1133	20	g/10 min
Densidade	ISO 1183	1,03	g/cm ³
Mecânicas			
Módulo de Flexão (5mm / min)	ISO 178	1300	MPa
Resistência á tração em cedência	ISO 527	22	MPa
Impacto Izod (23 °C)	ISO 180-A	40	Kj/m ²
Deformação			
Térmicas			
Temperatura de deflexão térmica HDT (0,45 MPa)	ISO 75-1	110	°C
Temperatura Vicat (10N)			

3.2.3 Características do Polipropileno com carga de 30% de fibra de vidro Hostacom X G3 U12 (PP GF30)

Este material é um polipropileno copolímero com 30% de carga de fibra de vidro e, é utilizado no fabrico de componentes técnicos para indústria elétrica, permite operar com estes componentes a temperaturas mais elevadas que os PP tradicionais (Ferreira, et al., 2011). Pode ser utilizado como substituto da poliamida 6 com carga de fibra de vidro em algumas aplicações técnicas. Apresenta uma elevada rigidez, baixa deformação a elevadas temperaturas. Na tabela 7 são apresentadas as propriedades deste material.

Tabela 7 - Propriedades do Polipropileno Hostacom X G3 U12

Propriedades	Normas	Valor	Unidade
Físicas			
Índice de fluidez (230 C /2.16Kg)	ISO 1133	16,5	g/10 min
Densidade	ISO 1183-1	1,14	g/cm ³
Mecânicas			
Módulo de Flexão (5mm / min)	ISO 178	4500	MPa
Resistência á tração em cedência (50mm/min)	ISO 527-1	55	MPa
Impacto Izod (23 °C)	ISO 179	45	Kj/m ²
Deformação	ISO 527-1	6,0	%
Térmicas			
Temperatura de deflexão térmica HDT (0,45 MPa)	ISO 75A-1	142	°C
Temperatura Vicat (10N)	ISO 306	150	°C

3.3 Geometria da peça a moldar

3.3.1 Provetes norma DIN EN ISO 527

A peça escolhida para ser moldada por injeção foi um provete 5A da norma DIN EN ISO 527 (figura 23). Uma das razões desta escolha foi a simplicidade da peça, pois foi necessário executar vários moldes para avaliar o comportamento das zonas moldantes de base polimérica. Esta peça tem, também, a vantagem de poder ser utilizada em ensaios mecânicos de tração, por forma a poder determinar as propriedades mecânicas.

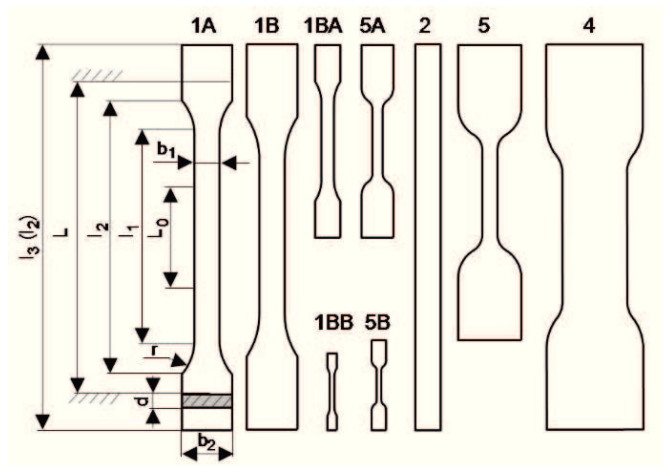


Figura 23 - Exemplos de provetes da norma DIN EN ISO 527 (Altstadt, et al., 2011)

A partir da norma DIN EN ISO 527 foi selecionado o provete 5A, figura 24, devido às suas dimensões se enquadrarem na área moldante da estrutura e, desta forma poder caracterizar o comportamentos mecânicos dos diferentes materiais processados por em substrato polimerico.

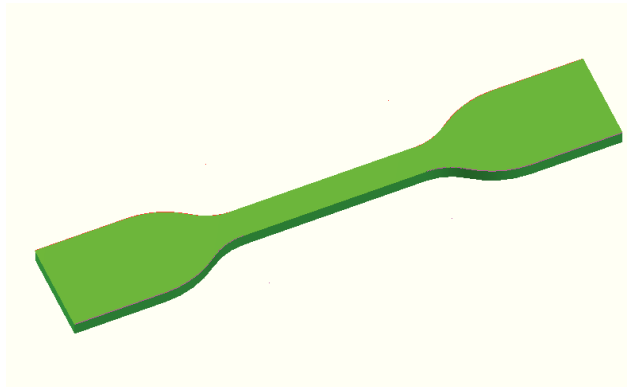


Figura 24 - Modelação 3D do provete 5A da DIN EN ISO 527

3.4 Conceção do molde de injeção com zonas moldantes em material polimérico

3.4.1 Modelação de zonas moldantes

Este trabalho consiste em criar um molde com estrutura em aço e com cavidades e buchas em materiais poliméricos. Este conceito é baseado no Bridge Tooling (BT) que considera a execução

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

de um molde com componentes finais e componentes protótipos que poderão ser substituídos posteriormente. A utilização de uma estrutura pré existente, figura 25, permite a diluição dos custos de fabrico de uma estrutura no processamento de diferentes peças plásticas com diferentes zonas moldantes em material polimérico. Desta forma é possível standardizar o processo de conceção de molde de injeção, com zonas moldantes em material polimérico, com o tamanho das peças a injetar e a complexidade das mesmas. Reduzir custos e tempos de fabrico e, aumentar a durabilidade dos moldes traduz o conceito de Bridge Tooling (BT). Este processo, com recurso à utilização de estruturas pré-concebidas, reduz o tempo de troca e montagem de elementos moldantes em material polimérico, o que para pequenas produções é fundamental para manter a rentabilidade e rapidez do processo. Existem várias soluções no mercado de estruturas com conceção similar e que permite a standardização da conceção de zonas moldantes.



Figura 25 - Estrutura metálica utilizada nos moldes com elementos moldantes em material polimérico

No projeto de um molde de injeção com zonas moldantes em material polimérico, utiliza-se os conceitos de projeto e de fabrico dos moldes em aço, que consiste na modelação com um software CAD os diferentes componentes do molde. Neste trabalho, foi utilizado um software para modelação do molde e posteriormente houve a conversão do ficheiro nativo em ficheiros IGES, STEP e STL. A extensão IGES permite converter os elementos para software CAM de maquinação CNC. A extensão STL serve para converter para software de análise reológica e para o software de impressão 3D.

3.4.2 Concepção de molde

Um molde é constituído por uma estrutura metálica, acessórios metálicos e zonas moldantes poliméricas. As zonas moldantes foram executadas em diferentes materiais, com diferentes processos de fabrico. As zonas moldantes são intermutáveis, isto é, permitem a sua substituição e, para isso ser possível, foi desenvolvida um sistema de fixação, que permiti que estes possam ser removidos mantendo-se a estrutura fixa à máquina de injeção (prato fixo e prato móvel). Desta forma é possível mudar as zonas moldantes rapidamente. Na figura seguinte (figura 26), é apresentada uma imagem relativa à modelação do molde com fixação frontal.

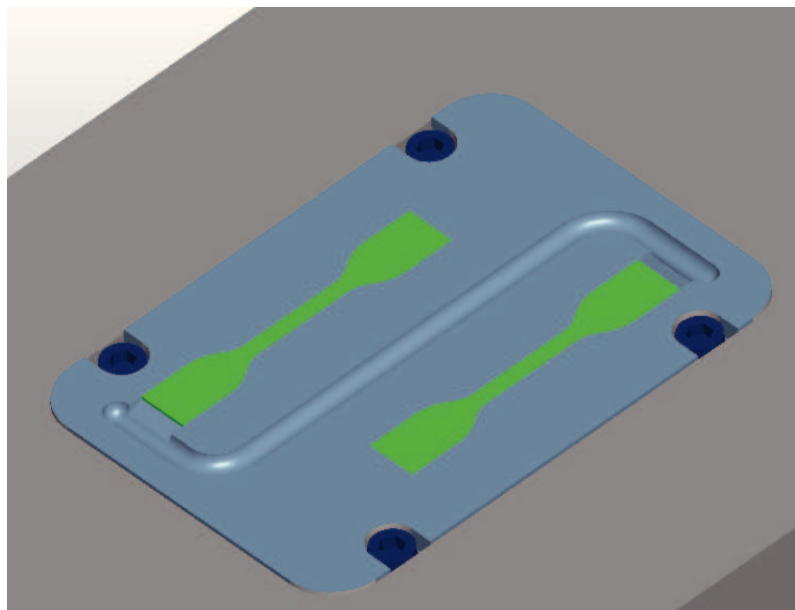


Figura 26 - Fixação frontal do elemento moldante em material polimérico

3.4.3 Análise reológica

A análise reológica permite fazer um estudo de enchimento e simulação da injeção dos materiais, no entanto ainda há poucas opções para simular injeção de um polímero sobre uma zona moldante de material polimérico. O programa de simulação utilizado foi o Simpoe-Mold®. A tabela 8 apresenta valores obtidos para os 3 materiais simulados:

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

Tabela 8 - Dados obtidos em simulação reológica

Material a injetar	PP	PP com 20% talco	PP com 30% fibra de vidro
Tempo de injeção	2,19seg.	2,25seg.	2,17seg.
Pinj final enchimento	16,92MPa	55,35MPa	13,45Mpa
Shear Stress	0,10MPa	0,46MPa	0,07MPa
Shear rate	1616 1/s	1637 1/s	1623 1/s
Arrefecimento	43,19seg.	29,25seg.	17,17seg.
Temper. final enchimento	110,56°C	106,82°C	193,69°C
Tempo de ciclo	50,39seg.	36,52seg.	24,35seg.
Peso	6,8g	6,66g	8,05g

Nota: O volume do conjunto canal frio mais provetes é de 7,43cm³.

Na simulação reológica realizada (figura 27), é possível observar o enchimento das peças plásticas a processar por injeção com material PP GF30. Conforme indicado na tabela 8, o tempo total relativo ao enchimento é de 2,17 seg e, a conclusão do enchimento nas duas cavidades foi igual (peças com geometria igual).

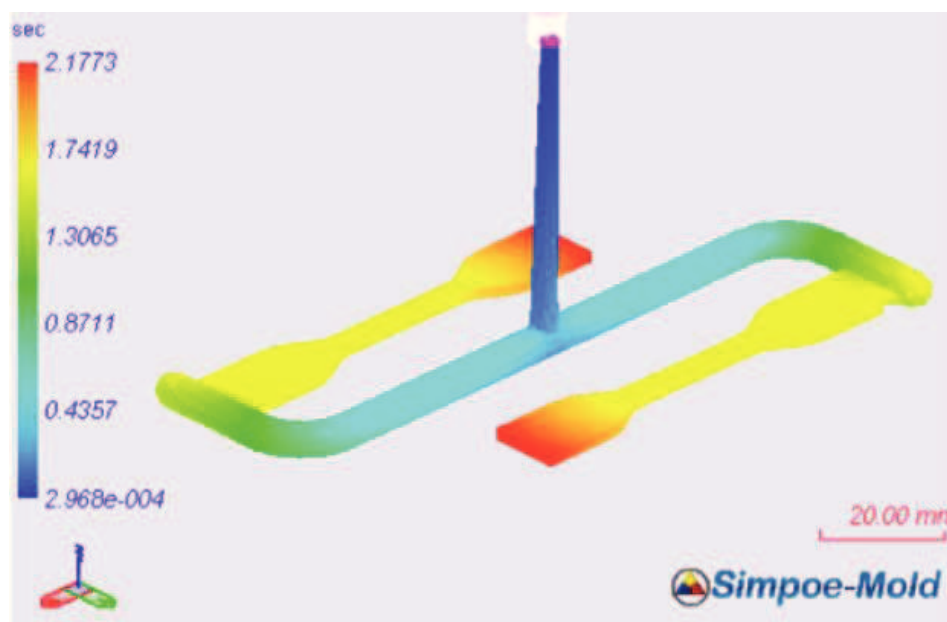


Figura 27 - Simulação de enchimento para o material PP GF30

Esta análise permite fornecer informação sobre o enchimento durante o tempo de 1ª injeção nos diferentes locais da zona moldante.

3.4.4 Processo Subtrativo – Maquinação CNC

As zonas moldantes em material PA6 e PA6.6GF30 foram executadas utilizando um processo subtrativo SRP (Subtractive Rapid Prototyping) em que o processo utilizado foi o maquinação por fresagem CNC (Computer Numerical Control) para obter as formas geométricas das zonas moldantes. O software utilizado, foi o Gcode para maquinação em CNC, recorrendo a várias estratégias de maquinação tais como desbaste em níveis Z (Roughing Z-Level), que permitiram remover ao bloco de material inicial a zona de vazio da geometria 3D. O programa gera contornos que permitem que em cada nível Z se possa remover todo o material em excesso. Outra estratégia, foi a utilizar-se contornos de níveis Z (Z-Level Finishing), que já permitem realizar pré-acabamento e até acabamento das zonas moldantes. Este, consiste em definir um percurso em que a ferramenta está sempre tangente á superfície da geometria 3D, num nível Z constante e, por fim a utilização da estratégia cópia (Parallel Finishing), figura 28, que utiliza um angulo de direção da ferramenta escolhido inicialmente. Este ângulo está definido com o sistema internacional de medição angular. Foram utilizadas ferramentas de 6mm, 4mm e 2mm de diametro, esfericas e com raios de topo. A utilização de ferramentas adequadas para maquinação de polimeros e, em especial a poliamida, é um critério relevante para o sucesso da maquinação em tempos de execução, com qualidade superficial.

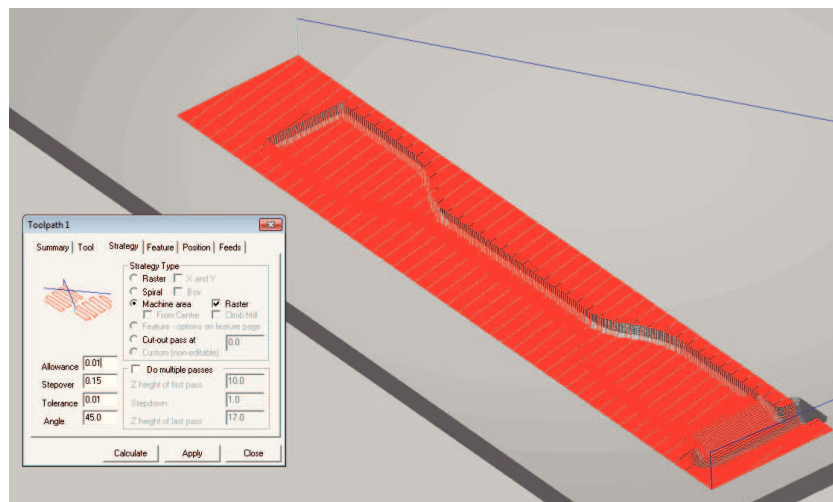


Figura 28 - Simulação de programa CNC utilizado na maquinação de PA6 e PA66GF30.

Quando se fala em peças protótipos, a qualidade do acabamento superficial deverá ser definida em função dos parâmetros de maquinação, pois para uma melhor qualidade de superfície deve-se adequar os parâmetros e o tempo de execução. A qualidade superficial é medida em rugosidade superficial (Ra) e tal como nos moldes de base metálica poderá haver acabamento manual caso se pretendam superfícies com menor rugosidade (com melhor acabamento).

3.4.5 Processo Aditivo – Impressão 3D PolyJet

O processo de impressão 3D PolyJet está descrito no capítulo 2.7.2. Neste trabalho, foi utilizada uma impressora Connex 500 da Stratasys® no fabrico das zonas moldantes. Este processo, consiste em adicionar material por camadas de 30 micrones com uma precisão de 0,1mm que são depositadas na localização geométrica do modelo digital. Em algumas geometrias, é necessário utilizar materiais de suporte para apoiar a construção da peça. A geometria 3D das peças a imprimir é processada por programa próprio da impressora (Objet Studio™) que cria o código de execução. O material polimérico é colocado através de cabeças de impressão. Através de uma luz ultravioleta é feita a cura do fotopolímero termoendurecível, após a colocação de cada camada. Os materiais utilizados nos moldes de impressão 3D foram ABS_digital RGD 535 e RGD 515. A escolha destes materiais foi baseada nas recomendações da Stratasys® como sendo a melhor escolha para impressão de moldes para injeção. O material ABS_digital combina resistência e tenacidade assim como a resistência mecânica a temperaturas mais elevadas. À semelhança do ABS_digital, outros materiais, como o FullCure 720 e o Vero podem ser utilizados em zonas moldantes em moldes de injeção. No entanto, quando utilizados em peças com geometrias mais complexas, os moldes obtidos com estes materiais têm uma duração mais curta quando comparados com o ABS_digital. Desta forma utilizando a experiência existente na Stratasys®, utilizou-se os materiais que são considerados os mais eficazes na impressão 3D de moldes de injeção. Foram também consideradas as recomendações de impressão em modo brilhante para garantir a suavidade das superfícies, orientar as peças no software Object Studio™ para que as superfícies brilhantes sejam maximizadas. Foi, também, orientado a direção das zonas moldantes do molde, de modo a garantir que o fluxo do polímero seja no mesmo sentido que as linhas de impressão. O ABS_digital pode, segundo informação da Stratasys®, processar polímeros até 300° C. São considerados pela Stratasys como materiais ideais para esta tecnologia o polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), ABS, elastómero termoplástico (TPE), poliamida (PA), poliacetal (POM), policarbonato com ABS (PC+ABS) e polipropileno com fibra de vidro (PP+GF). A utilização destes materiais enquadra-se nos objetivos do trabalho a realizar no âmbito do MECDP. A figura 29 apresenta uma impressora Stratasys® PolyJet®



Figura 29 - Impressora 3D PolyJet®

No entanto, de acordo com a Stratasys®, a utilização destes materiais com temperaturas de processamento acima de 250°C ou com elevada viscosidade, irá ter-se vidas do molde mais curtas e, em alguns casos, menor qualidade da peça acabada. Por outro lado, a temperatura do molde não deve exceder os 58°C das superfícies moldantes para não acelerar a degradação das mesmas.

No fabrico dos moldes em PolyJet® existem, também, detalhes que podem melhorar a performance do molde e que deve ser considerados na fase de projeto: aumento dos ângulos de saída, tanto quanto a peça o permita, irá facilitar a extração e reduzir o esforço sobre a ferramenta; aumentar os pontos de injeção para reduzir tensões (o ponto de injeção deverá localizar-se por forma a que o material ao entrar na cavidade não colida diretamente com castelos pequenos ou finos); evitar a utilização de injeção submarina ou em bico de alfinete, de preferência utilizar Jito direto ou injeção lateral ou á junta da peça.

O acabamento final após a impressão pode ser realizado, caso necessário. No caso dos moldes realizados no âmbito deste trabalho, não foram efetuados acabamentos adicionais às superfícies moldantes. A montagem do molde foi feita na mesma estrutura de aço utilizando o conceito Bridge Tooling.

3.5 Injeção e procedimentos de otimização de parâmetros

3.5.1 Otimização de parâmetros de injeção

Após conclusão dos moldes procedeu-se aos ensaios de injeção com moldes com zonas moldantes e material polimérico. Este processo é o mais utilizado no processamento de plásticos e depende da combinação de diversos parâmetros (ver capítulo 2.4). No caso específico dos moldes com zonas moldantes em substrato polimérico, existem alguns parâmetros que devem ser controlados e adequados aos materiais utilizados no fabrico dos moldes com zonas moldantes em material polimérico. Os parâmetros a controlar durante os ensaios foram:

A velocidade relativa à 1ª injeção deve permitir fazer o enchimento das zonas moldantes. Deve ser utilizada uma velocidade inicial baixa (10% a 20% ou 10 mm/s a 20 mm/s), para proteger as zonas moldantes, nas zonas mais sensíveis e de maior detalhe tais como ponto de injeção ou pormenores de rigor dimensional. A pressão de 1ª injeção deve iniciar com valores baixos (10 a 20 bar) para proteger as superfícies moldantes de deformações e, posteriormente aumentar gradualmente após análise das peças obtidas após cada ciclo de injeção.

A carga de material de injeção é também um parâmetro que deve ser considerado no início, 30 a 50% do volume e, posteriormente, aumentar até 95% do volume da peça a moldar. Caso haja

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

dificuldade no enchimento deve-se aumentar a pressão de injeção e\ou a velocidade de injeção. O balanceamento entre estes parâmetros é fundamental para o sucesso no início dos ensaios, evitando eventuais danos nas zonas moldantes. Na figura 30 observa-se a sequência de enchimento realizada durante um ensaio de injeção.



Figura 30 - Sequência de ciclos enchimento de injeção

Após um enchimento de 95% da moldação, aplica-se a 2ª pressão de injeção, também designada por pressão de manutenção, obtendo-se o enchimento completo da moldação. É necessário controlar o peso da peça e avaliar até que valor existe uma variação significativa por forma a estabilizar o processo. Os moldes com zonas moldantes metálicas permitem maiores pressões de injeção mas, também, têm limitações mesmo que sejam aços com tratamentos térmicos, pois podem ceder às pressões de injeção.

Um dos parâmetros de controlo da estabilidade do processo é a almofada de material processado para injetar.

A temperatura do molde requer um controle inicial neste tipo de moldes, em 1º lugar, para evitar a degradação e a deformação das zonas moldantes; em segundo lugar porque vai permitir estabilizar o tempo de arrefecimento durante o ciclo de injeção. A variação da temperatura do molde durante processamento, pode alterar a qualidade das peças, pelo que se deve procurar estabilizar a sua temperatura.

4 Discussão de Resultados

4.1 Ensaio de injeção e conclusões experimentais

4.1.1 Ensaio realizado na máquina de injeção Demag 35T

O primeiro ensaio foi realizado numa máquina Demag 35 Toneladas de força de fecho (figura 31). Este primeiro ensaio teve como objetivo analisar a desmoldação dos materiais injetados sobre os materiais utilizados no fabrico das superfícies moldantes dos moldes e confirmar o baixo valor de adesão entre os materiais injetados (PP, PP T20 e PP GF30) e os materiais poliméricos (utilizados nas zonas moldantes, PA6, PA6 GF30 e ABS Digital).

Consequentemente, procedeu-se á montagem do molde na máquina de injeção (utilizando grampos de aperto, da mesma forma de molde série) sendo aqui evidente a grande vantagem de utilizar uma estrutura de molde em aço. A outra vantagem da utilização da estrutura em aço é o de se poder ajustar a alta pressão de fecho no molde, em que a pressão é exercida sobre as superfícies dos insertos poliméricos e em simultâneo sobre as zonas de contato da estrutura em aço. Assim, após a fase de montagem e aquecimento das resistências do cilindro de plasticização da máquina de injeção, para os valores mínimos de processamento do polipropileno (na ordem dos 210 graus), iniciou-se o processo de injeção. Foram feitas descargas para obter limpeza de material degradado e iniciou-se uma série de injeções curtas. Utilizando a primeira pressão de injeção e aumentado a dosagem obteve-se amostras com percentagens de enchimento até 95%, posteriormente procedeu-se à aplicação da segunda pressão de injeção (pressão de manutenção).



Figura 31 - Máquina de injeção Demag 35T utilizada no ensaio de injeção

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

Foram utilizados 3 diferentes superfícies moldantes (PA6, PA6.6 GF30 e ABS_Digital PolyJet) montados numa estrutura de molde de injeção neste ensaio, e foram utilizados 3 materiais (PP, PP T20 e PP GF30) no processamento. Os resultados obtidos foram satisfatórios pois o principal objetivo foi completamente atingido: a extração das peças plásticas (das superfícies moldantes de base polimérica dos moldes) com forma geometria pretendida. Molde PA66 GF30 e injeção de PP representado na figura 32.

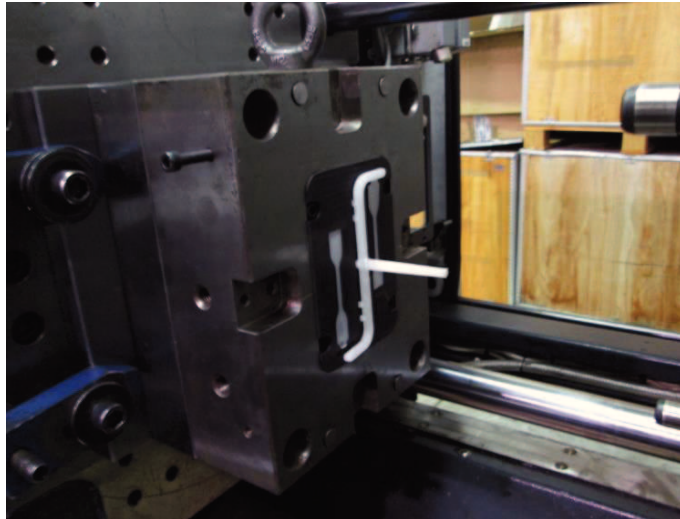


Figura 32 - - Injeção de PP sobre molde com superfícies moldantes em PA66 GF30

Este ensaio permitiu o planeamento dos ensaios a realizar posteriormente. Na análise efetuada das amostras obtidas, foi realizado o controlo dimensional e pesados os provetes (peças plásticas processadas). Na figura 33, mostra uma sequência de injeção de provetes em PP em molde com zona moldante fabricado em PA6.6GF30.



Figura 33 - Peças de PP injetadas em molde com zona moldante fabricado em PA66 GF30

4.1.2 Ensaio em equipamento de injeção Inauton 90T

Foram utilizados 3 moldes (com superfícies moldantes em: PA6, PA6 GF30 e ABS_Digital). Este ensaio teve como objetivo produzir quantidade de 25 peças de cada em PP, PP T20 e PP GF30 e, avaliar o desempenho destes moldes em serviço. Após a montagem e afinação, iniciou-se o processo de injeções curtas para afinação dos parâmetros de injeção: pressões de enchimento e manutenção, velocidade da primeira injeção e controle do tempo de arrefecimento.

A primeira injeção foi estabilizada nos 30 bar e 40mm/s de velocidade de injeção. A pressão de manutenção foi estabilizada aos 10 bar e aplicada durante 2 segundos. Desta forma foram realizadas 25 moldações em PP homopolimero da Braskem. Optou-se por manter o material fundido na máquina e substituir as zonas moldantes no molde, visto que o molde foi preparado a ser possível trocar as zonas moldantes. Desta forma evita-se ter de substituir o material fundido o que iria obrigar a fazer descargas do fuso e proceder á limpeza do mesmo, gastando muito material face ao número de amostras pretendido. Foram obtidas peças, com processo estabilizado, sem alterações de forma e sem problemas superficiais. O controlo da temperatura superficial foi medido, ciclo após ciclo e o arrefecimento foi realizado por ar comprimido, de forma a manter a estabilidade térmica superficial nas zonas moldantes (materiais serem maus condutores de calor quando comparados com os materiais tradicionais utilizados no fabrico das superfícies moldantes). As tabelas 9 e 10 apresentam os 15 ciclos iniciais de processamento de PP GF30 em molde PA6 e molde de ABS Digital (figura 34).

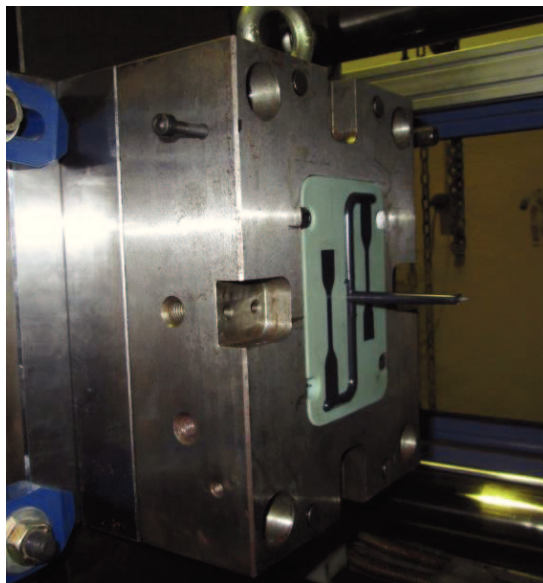


Figura 34 - Peças de PP T20 injetadas em molde ABS Digital (superfície moldante)

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

Tabela 9 - Parâmetros de injeção de PP GF30 em molde de PA6

Injeção de PP GF30 em molde de PA6						
Ciclo	Tempo de ciclo (s)	Tempo inj. (s)	Pressão inj. (Bar)	Tempo de manut. (s)	Pressão manut. (Bar)	Almofada (mm)
1	68,76	0,75	10	2	10	14,54
2	91,11	0,95	10	2	12	2,68
3	52,50	0,95	15	2	12	3,15
4	56,18	0,95	20	2	13	3,37
5	53,91	0,95	20	2	13	3,24
6	54,25	0,95	20	2	20	3,48
7	99,00	0,95	20	2	20	3,02
8	49,95	0,95	20	2	20	3,37
9	50,31	0,95	20	2	25	3,49
10	51,76	0,95	20	2	25	3,73
11	48,1	0,95	20	2	30	3,63
12	52,98	0,95	20	2	30	4,28
13	51,65	0,95	20	2	30	2,04
14	53,16	0,95	20	2	30	3,11
15	54,10	0,95	20	2	30	3,76

Tabela 10 - Parâmetros de injeção de PP GF30 em molde de ABS Digital

Injeção de PP GF30 em molde de ABS Digital						
Ciclo	Tempo de ciclo (s)	Tempo inj. (s)	Pressão inj. (Bar)	Tempo de manut. (s)	Pressão manut. (Bar)	Almofada (mm)
1	99,00	0,77	10	2	10	11,56
2	94,23	0,71	12	2	10	10,19
3	99,00	0,56	13	2	10	11,63
4	61,88	0,77	15	2	10	9,45
5	64,85	1,41	20	2	10	7,91
6	63,74	0,5	20	2	10	11,91
7	88,09	0,5	20	2	15	11,85
8	76,34	0,4	20	2	15	3,26
9	99	0,39	20	2	15	3,81
10	55,06	0,39	20	2	20	3,73
11	70,57	0,39	20	2	20	2,97
12	89,05	0,41	20	2	20	3,01
13	56,52	0,41	20	2	20	3,12
14	50,77	0,42	20	2	20	3,05
15	99,00	0,43	20	2	20	3,16

4.1.3 Ensaio realizado em Demag 35T para avaliar parâmetros de processamento

O objetivo deste ensaio foi avaliar pressões de enchimento, estabilidade da almofada e degradação das zonas moldantes recorrendo a um equipamento de injeção Demag 35T, que permite medir em produção as variações da almofada de injeção, medir os tempos de ciclo de produção e avaliar a fadiga dos moldes ao aumento de temperatura. Foram utilizados 3 moldes (com superfícies moldantes em: PA6, PA6 GF30 e ABS_Digital) com objetivo de produzir uma quantidade de 25 peças

de cada em PP, PP T20 e PP GF30, em ciclo termicamente controlado e com arrefecimento (ar comprimido), por forma a avaliar o tempo de ciclo e o valor da almofada. O arrefecimento foi realizado com ar comprimido, técnica adequada a este tipo de moldes (materiais com baixa condutibilidade térmica e, conseqüentemente, é necessário remover parte da energia térmica á superfície das zonas moldantes por convecção). Pode-se observar na figura 36 a redução da temperatura superficial de 60°C para 42°C, com a aplicação de ar comprimido durante 7 segundos a uma pressão de 6 bar.

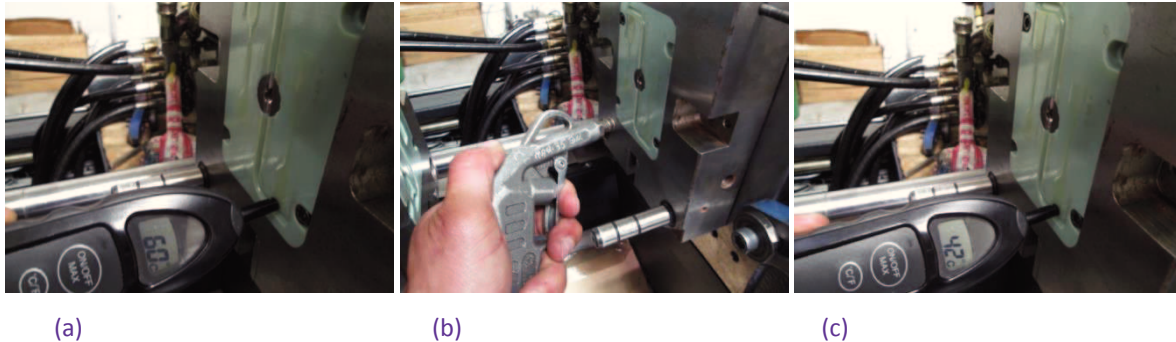


Figura 35 - a) Temperatura após extração da peça injetada; b) Aplicação de ar comprimido no arrefecimento superfícies moldantes, durante 7 segundos; c) Temperatura das superfícies moldantes após arrefecimento

4.1.4 Análise da vida das superfícies moldantes

Com o objetivo de determinar a vida das superfícies moldantes, procedeu-se à análise do estado destas, após a realização de 25 ciclos de injeção, mantendo constantes os parâmetros de processamento. Como fim da vida das superfícies moldantes consideraram-se as seguintes situações: alterações da geometria de peça/superfícies moldantes; empenos das peças plásticas processadas; rotura dos canais de alimentação (cavidade com 2 peças). Foi possível observar que as superfícies moldantes em ABS Digital do molde (figura 36) apresentaram alterações superficiais e que as peças processadas apresentaram deformação.



Figura 36 - Superfícies moldantes de ABS_Digital: a) Após produção termicamente controlada; b) Após 25 moldações em ciclo continuo

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO



Figura 37 - Estado das superfícies moldantes em PA6, após 25 moldações em ciclo contínuo

No processamento por injeção, com superfícies moldantes em PA6, é possível observar deformações e zonas queimadas resultantes da combustão de gases (figura 37). O controlo da almofada de material a injetar, cada ciclo, permite avaliar a estabilidade de enchimento. No início, começou-se com injeções curtas e posteriormente, com aumentos graduais de enchimento até 95% do volume. Após esta fase, aplicou-se a segunda pressão para por forma a garantir o enchimento e compactação das peças. No caso de se verificar redução da almofada de material a injetar ou a peça apresentar falhas de enchimento, conclui-se que é necessário injetar mais material ou aumentar a pressão de manutenção. Com o ciclo de moldação estabilizado, se existir variação da almofada de material a injetar, pode-se concluir fuga de material fundido na ligação do bico da máquina com o injetor do molde ou uma rotura dos canais de alimentação do molde (figura 38).



(a)

(b)

Figura 38 - Roturas de superfícies moldantes: a) Rotura da parede do canal de alimentação de superfícies moldantes em PA66 GF30; b) Rotura da parede do canal de alimentação de superfícies moldantes em de PA6

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

Na produção de peças em ciclo contínuo sem arrefecimento por ar comprimido, não há, naturalmente, dissipação da energia térmica acumulada nas superfícies moldantes. Consequentemente, pode-se observar que com o aumento da temperatura, o material das zonas moldantes apresenta, naturalmente, deformações e, a moldação obtida completamente deformada (figura 39). Por outro lado, o aumento da temperatura das zonas moldantes, consequência da não remoção de calor devido ao processamento em cada ciclo de moldação, vai ter como consequência a deformação das peças quando o sistema de extração mecânico é acionado, se mantivermos constante o tempo de ciclo de moldação.



Figura 39 - Deformação da moldação injetada como resultado de não se ter refrigerado a superfície moldante

4.1.5 Moldes com superfícies moldadas em material polimérico com revestimento cerâmico Cera Shibo

Com o objetivo de estudar o comportamento de moldes com superfícies moldantes com textura, foram realizados ensaios em dois moldes com superfícies moldantes em PA6 e PA6.6 GF 30 e com revestimento Cera-Shibo da Eschmann Textures.

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

O ensaio com superfícies moldantes em PA6 GF30 e com revestimento Cera-Shibo foi realizado na ESTG e, tendo em consideração a experiência acumulada de injeção, nomeadamente as pressões de enchimento e manutenção, a velocidade da primeira injeção e controle do tempo de arrefecimento. Foram realizadas 20 moldações em material PP T20, em que a análise térmica das superfícies moldantes foi feita ciclo após ciclo como podemos observar na figura 40.



(a) (b) (c)
Figura 40 - Superfícies moldantes em PA6 GF30 e com revestimento Cera-Shibo a) Temperatura inicial (27 °C); b) Temperatura após primeira injeção (46 °C); c) Temperatura após segunda injeção sem arrefecimento (59 °C)

Com o molde, com as superfícies moldantes em PA6 e com revestimento de Cera-Shibo, foi possível obter peças com uma boa textura superficial (figura 41), comparável às peças injetadas em molde com superfícies moldantes metálicas. As indústrias precisam de poder ter bons acabamentos superficiais para poder acrescentar valor às peças plásticas injetadas. Muitos dos componentes utilizados na indústria automóvel necessitam deste tipo de acabamento, que além da componente estética também apresenta um aumento em termos da vida das superfícies moldantes, aumentando a resistência superficial das superfícies moldantes.



Figura 41 - Peça plástica obtida por injeção, com as superfícies moldantes em PA6 e com revestimento de Cera-Shibo - peça com uma boa textura superficial

4.1.6 Análise da vida das superfícies moldantes com revestimento cerâmico Cera-Shibo

Com o objetivo de determinar a vida das superfícies moldantes com revestimento cerâmico Cera-Shibo, procedeu-se à análise do estado destas, após a realização de 10 ciclos de injeção, mantendo constantes os parâmetros de processamento. É possível observar a existência de uma bolha de gás entre o revestimento e a superfície moldante (figura 43).

A principal causa para este defeito poderá estar relacionado com o material utilizado como material aderente (revestimento e o substrato polimérico) não ser o mais adequado para a gama de temperaturas e pressões utilizadas no processamento. No entanto, não se enquadra neste trabalho o estudo deste tipo de defeitos. Este estudo poderá ser alvo de análise em trabalhos futuros.



Figura 42 - Rotura do revestimento do Cera-Shibo aplicado nas superfícies moldantes em PA6

4.2 Extração mecânica de peças injetadas com superfícies moldantes em substrato em material polimérico

No processamento das peças plásticas, a fase de extração correspondeu às expectativas iniciais: não houve forças de adesão que deformassem as peças durante o processo de extração (superfícies moldantes em PA6, PA66+GF30 e ABS Digital). O controlo da temperatura superficial da peça moldada e da superfície moldante foi feito após a fase de extração, onde se obteve diferenças de temperaturas de 13 °C entre a peça moldada com 58 °C e a superfície moldante com 45°C (figura 43), após um tempo de 40s de arrefecimento. Com redução do tempo de arrefecimento obtêm-se

Luís Alexandre Ferreira de Anunciação

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

deformação das peças devido á temperatura existente nas peças moldadas.

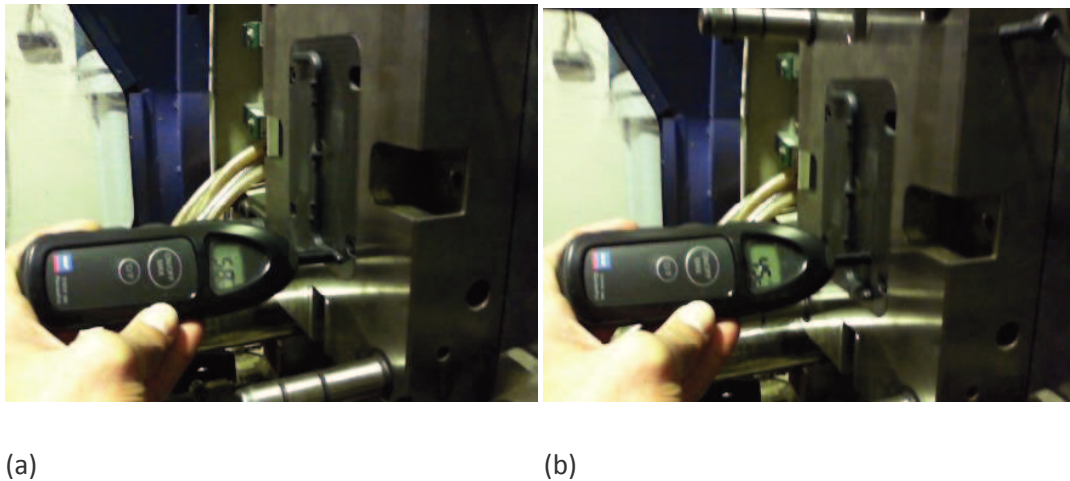


Figura 43 - (a) Temperatura da peça moldada; (b) Temperatura da superfície moldante

A viabilizar de se utilizar este tipo de moldes (com superfícies moldantes em material polimérico) é o de se obter peças plásticas por injeção com as geometrias pretendidas (superfícies moldantes em material polimérico), com materiais iguais aos utilizados em de utilização série (superfícies moldantes em aço ou alumínio), mas com tempos de ciclo maiores devido a maior tempo de arrefecimento.

4.3 Parâmetros de injeção: pressão, velocidade e estabilidade de almofada de material a injetar

As pressões utilizadas no processamento por injeção com moldes com superfícies moldantes em substrato em material polimérico, foram mais reduzidas quando comparados com os moldes (com superfícies moldantes metálicas) para a produção em serie de peças plásticas. No início do processamento e, por segurança, pretendeu-se obter peças com valores mínimos de pressão e de velocidade de injeção. O ponto de injeção (ataque) é, como é expetável, o local de maior pressão (e, conseqüentemente com maior temperatura), pelo que a utilização de ataques de maior seção transversal, se tem menores pressões de injeção e, pode ocorrer a solidificação do material no ataque, podendo existir o risco de não ser possível o enchimento completo da moldação. No entanto, como o tempo de arrefecimento é maior para este tipo de moldes (zonas moldantes em material polimérico), não é plausível existir o problema de não se ter a moldação com o enchimento

completo. A pressão máxima de injeção utilizada com este tipo de moldes, foi de 12 bar de pressão (durante 0,95s) e a 2ª pressão foi de 30 bar (durante 2s), para o molde com as superfícies moldantes em PA6 (e injeção de PP+GF30).

4.4 Rotura e danificação de zonas moldantes

As roturas dos moldes com superfícies moldantes em substrato polimerico podem ser causadas por diversos fatores que devem ser minimizados/controlados durante o processo de injeção. Os parâmetros de processamento devem ser ajustados a estes tipos de moldes (zonas moldantes em material polimérico. Pressões, velocidades, temperaturas de processamento, temperaturas do molde (extração), propriedades mecânicas das zonas moldantes e desenho e geometria dos canais (evitar ângulos a 90°, por exemplo), podem ter como consequência a rotura das zonas moldantes em substrato polimérico.

O aumento da velocidade de injeção (material a injetar por unidade de tempo), influencia, naturalmente, a taxa de corte do material, podendo aumentar significativamente a temperatura do material no ponto de injeção (ataque), podendo ocorrer deformação desta zona como resultado da pequena diferença de temperaturas de transição vítrea dos materiais a injetar e os materiais poliméricos utilizados no fabrico das zonas moldantes deste tipo de moldes de injeção.

4.4.1 Efeito da Velocidade e Pressão de Injeção

Este parâmetro deve ser ajustado em função do tipo de material a injetar, do material utilizado no fabrico das zonas moldantes, complexidade das peças a processar, desenho e geometria dos canais de alimentação e tipo de máquina de injeção. Fatores como velocidade de injeção, temperatura de injeção e a pressão de compactação, são os mais importantes porque são controlados diretamente na máquina de injeção (Capela, 2011).

4.4.2 Efeito da Temperatura das zonas moldantes

O controlo da temperatura em moldes de substrato polimérico é fator muito importante a ter em conta e deve ser controlado com alguma periodicidade. Se a temperatura aumentar significativamente, consequências dos ciclos contínuos de injeção de material polimérico, sem

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

refrigeração, pode ter como consequência uma diminuição significativa das propriedades mecânicas das zonas moldantes e consequente rotura das mesmas. Por outro lado, a extração da moldação com temperaturas elevadas pode comprometer o funcionamento mecânico do sistema de extração ou a moldação apresentar elevadas deformações. A importância da temperatura no processo de injeção de zonas moldantes de substrato polimérico face às pressões e aos tempos do processamento é demonstrado na figura 44.

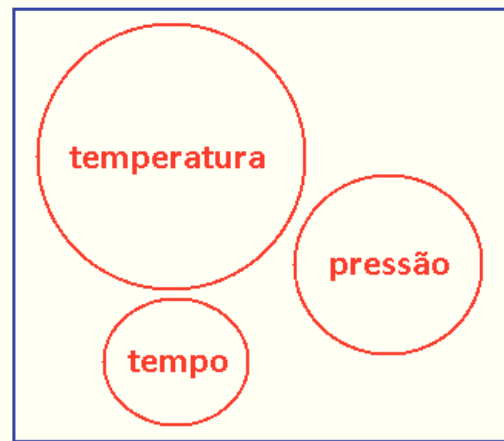


Figura 44 - Importância da temperatura, pressão e tempo

4.4.3 Efeito dos gases

O escoamento do ar existente no volume da zona moldante é necessário para permitir o enchimento completo da moldação sem zonas queimadas. Estas zonas, que podem comprometer a produção de peças plásticas com qualidade, resultam do ar atmosférico existente no interior do molde, que é comprimido com a injeção do material polimérico. Consequentemente, é necessário permitir o fácil escoamento do gás existente durante o tempo injeção.

4.5 Propriedades Mecânicas

O conhecimento das propriedades mecânicas dos materiais a utilizar no fabrico das cavidades moldantes é importante por forma a seleccionar os materiais a utilizar e, também, para se poder justificar o seu comportamento quando utilizados em serviço (materiais: PA6, PA66 GF30 e ABS Digital).

Os resultados das propriedades mecânicas, módulo de elasticidade à flexão, $E_{flexão}$ e tensão máxima à flexão, $\sigma_{max.flexao}$, são apresentados em seguida para os materiais ensaiados: PA6, PA66 GF30 e ABS Digital referentes aos materiais utilizados no fabrico das zonas moldantes.

4.5.1 Resultados DMA dos materiais utilizados na construção de zonas moldantes

O conhecimento da variação da rigidez (módulo elasticidade) com a temperatura e da temperatura de transição vítrea (T_g) dos materiais utilizados no fabrico das cavidades moldantes é extremamente importante por forma a poder seleccionar o material mais indicado. Assim, foram realizados um conjunto de ensaios de DMA. A partir destas análises, foi possível determinar as curvas de variação do módulo á flexão com a temperatura (figuras 45 e 46) para os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS Digital.

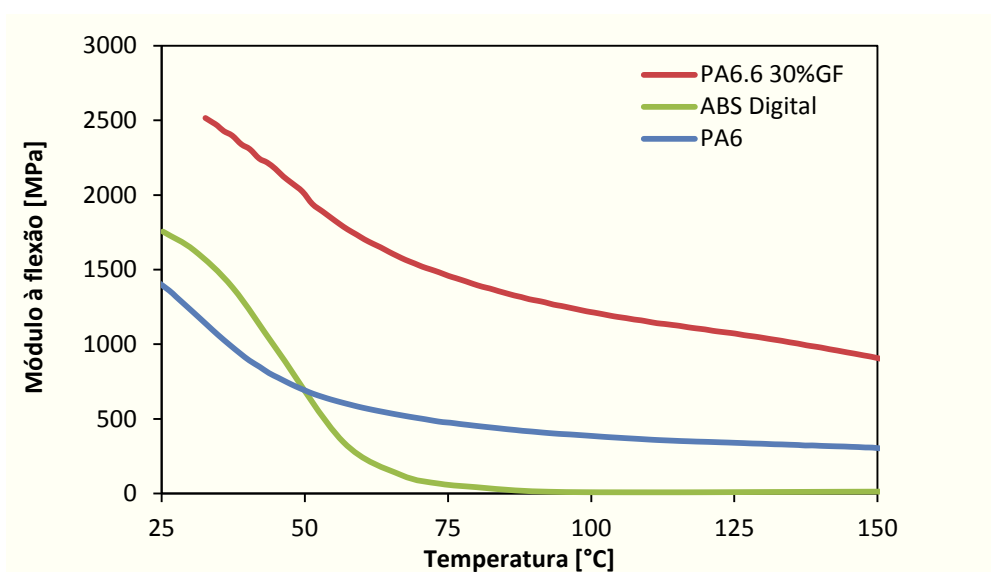


Figura 45 - Variação do módulo à flexão versus temperatura para os diferentes materiais analisados

A partir da figura 46, pode-se observar que o material PA6.6 30%GF apresenta maiores valores de rigidez quando comparados com os outros dois materiais. O ABS Digital apresenta, para a temperatura de 25° C, valores de módulo superiores ao PA6 mas inferiores ao material PA6.6 30%GF. Mas para a temperatura de cerca de 50° C á uma inversão clara das curvas referentes aos ABS Digital e PA6, apresentado (a partir desta temperatura) o material ABS Digital valores de rigidez extremamente baixos.

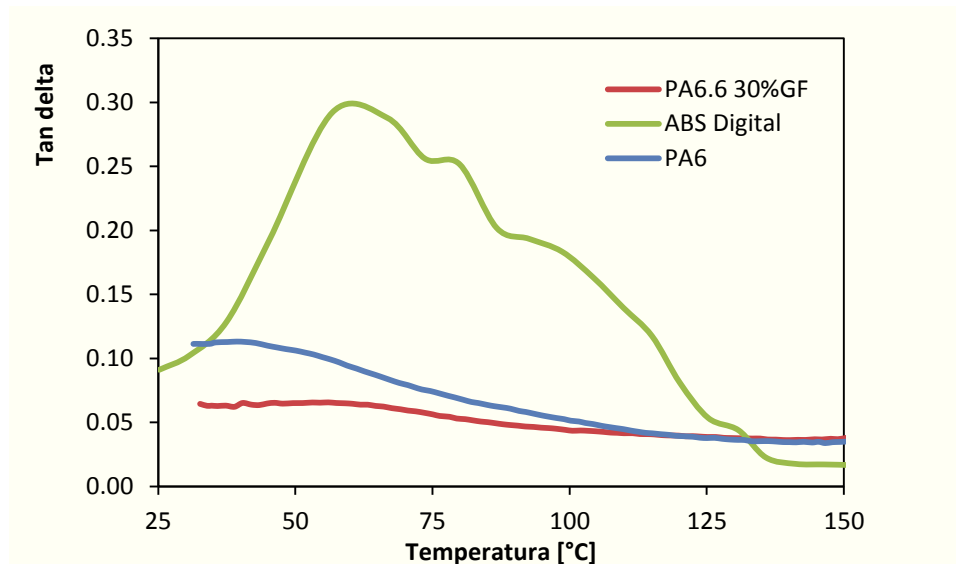


Figura 46 - Variação do Tan Delta versus temperatura para os diferentes materiais analisados

As temperaturas de transição vítrea são obtidas a partir dos picos de tan delta versus temperatura (figura 47 e tabela 11). O ABS Digital apresenta o maior valor de Tg e a PA6 apresenta o menor valor. Os resultados de Tg obtidos a partir da literatura científica são ligeiramente aos obtidos a partir dos resultados deste trabalho.

Tabela 11- Valores de Tg obtidos a partir das curvas de variação do tan delta versus temperatura,

Material	Tg [°C]
PA6.6 30%GF	50.2
ABS Digital	61.3
PA6	35.9

4.5.2 Resultados de ensaios de flexão em 3 pontos

Foram realizados ensaios de flexão em 3 pontos realizados (para os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS Digital) e os resultados obtidos são indicados na tabela 12 (e figuras 48 e 49). Na tabela são apresentados os valores relativos aos ensaios realizados, os valores médios de tensão máxima em flexão e os respectivos desvios padrão.

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

Tabela 12 - Resultados obtidos nos ensaios de flexão em 3 pontos para os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS Digital

		Tensão máxima [MPa]	Módulo de elasticidade [MPa]
PA6.6 30%GF	1	106.3	2278.3
	2	106.3	2357.0
	3	97.2	1899.6
	Média	103.3	2178.3
	Desvio padrão	5.3	244.5
ABS Digital	1	54.0	1148.0
	2	62.8	1461.7
	3	57.8	1254.7
	Média	58.2	1288.1
	Desvio padrão	4.4	159.5
PA6	1	37.3	719.0
	2	44.8	768.0
	3	41.5	615.4
	Média	41.2	700.8
	Desvio padrão	3.7	77.9

Na figura 47 são apresentados as curvas típicas de tensão versus deslocamento para os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS Digital. Pode-se observar que o material PA6.6 GF30 apresenta os melhores resultados em termos de variação da tensão com o deslocamento. O PA6 apresenta os menores valores de tensão versus deslocamento apresentando, no entanto, os maiores valores de deslocamento.

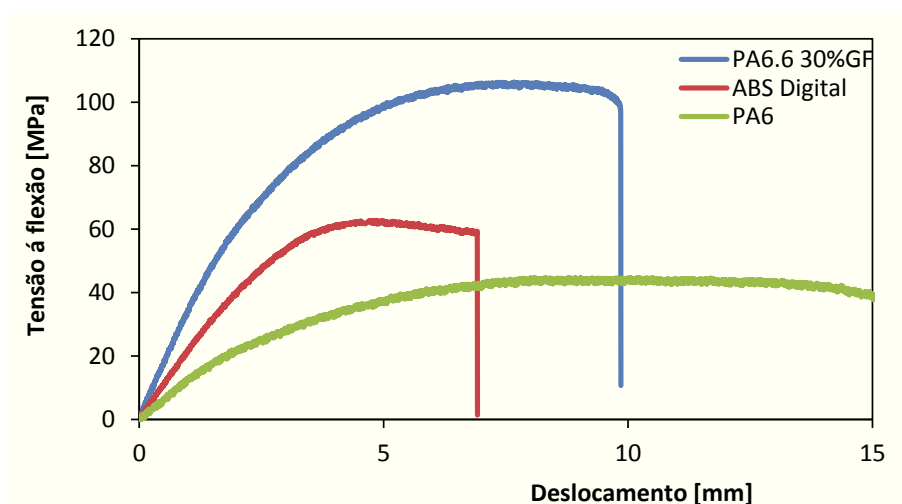


Figura 47 - Curvas típicas de variação da tensão à flexão versus deslocamento para os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS Digital

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

Na figura 48 são apresentados os valores módulo à flexão para os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS Digital. Pode-se observar que o material PA6.6 GF30 apresenta os melhores resultados em termos de módulo à flexão. O PA6 apresenta os menores valores de módulo à flexão em 3 pontos.

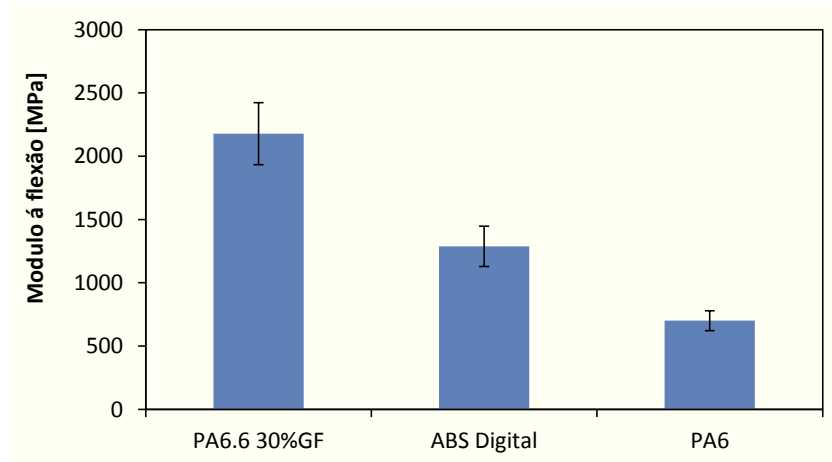


Figura 48 - Valores do módulo à flexão para os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS Digital, utilizados no fabrico das zonas moldantes dos moldes

4.5.3 Resultados dos ensaios á compressão

Foram realizados ensaios de compressão (para os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS Digital) e os resultados obtidos são indicados na tabela 13 (e figuras 50 e 51). Na tabela são apresentados os valores relativos aos ensaios realizados, os valores médios de tensão máxima em compressão e os respetivos desvios padrão.

Tabela 13 - Resultados obtidos nos ensaios de compressão para os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS

		Tensão máxima [MPa]	Módulo de elasticidade [MPa]
PA6.6 30%GF	1	133.8	2441.4
	2	143.9	2875.2
	3	138.3	2434.9
	Média	138.7	2583.8
	Desvio padrão	5.1	252.4
ABS Digital	1	214.5	1087.6
	2	222.4	779.2
	3	215.4	927.9
	Média	217.4	931.5
	Desvio padrão	4.3	154.2
PA6	1	502.2	472.2
	2	566.7	768.6
	3	645.5	534.1
	Média	571.4	591.6
	Desvio padrão	71.7	156.3

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

Na figura 49 são apresentados as curvas típicas de tensão à compressão versus deslocamento para os para os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS Digital. Pode-se observar que o material PA6.6 GF30 apresenta os melhores resultados em termos de variação da tensão com o deslocamento.

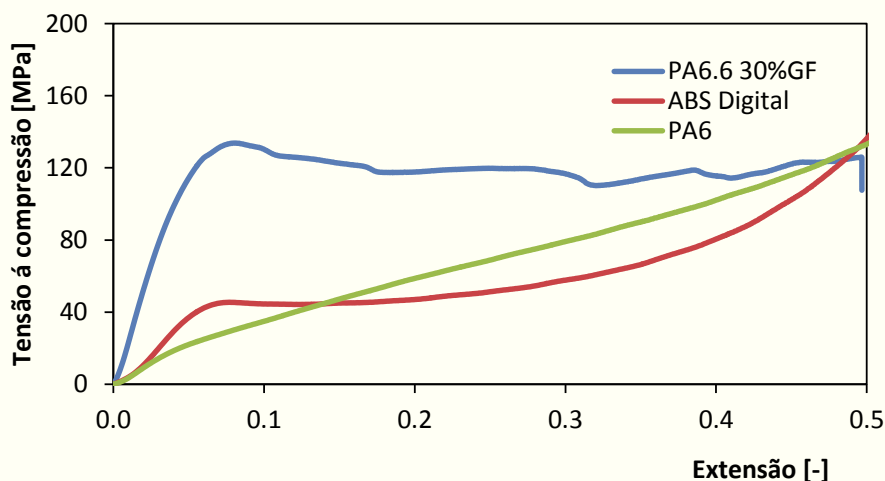


Figura 49 - Curvas típicas de variação da tensão à compressão versus deslocamento para os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS Digital

Na figura 51 são apresentados os valores módulo à compressão para os para os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS Digital. Pode-se observar que o material PA6.6 GF30 apresenta os melhores resultados em termos de módulo à flexão. O PA6 apresenta os menores valores de módulo à flexão em 3 pontos.

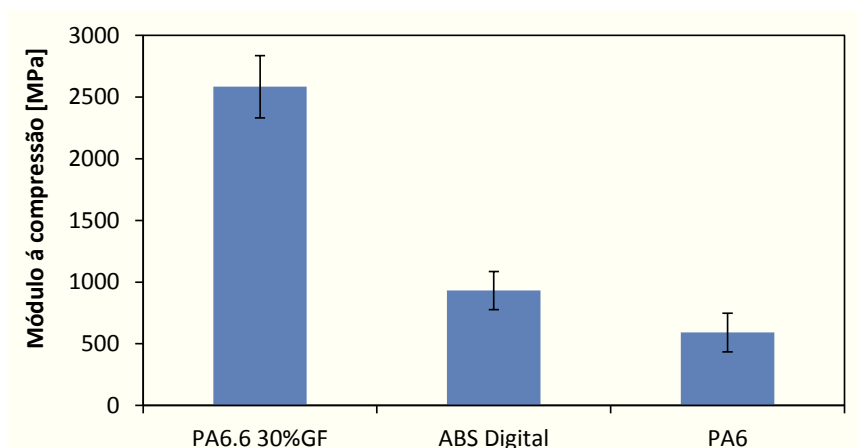


Figura 50 - Valores do módulo à compressão para os materiais PA6.6 GF30, PA6 e ABS Digital, utilizados no fabrico das zonas moldantes dos moldes

4.6 Análise de Custos e Tempos de Execução

Os custos associados à utilização de uma determinada tecnologia são, naturalmente, determinantes na sua aplicação, quando comparadas com outras tecnologias mais tradicionais. Os custos envolvidos no desenvolvimento e fabrico de uma ferramenta condicionam a aplicação dessa tecnológica, cabendo a decisão da sua utilização ao fabricante de moldes que olha para esta tecnologia como um investimento que tem que ter retorno.

Relativamente a este trabalho e como os custos que envolvem o fabrico de componentes com esta tecnologia, são apresentados (tabela 15) os seguintes custos: os custos referentes aos materiais a utilizar no fabrico das zonas moldantes (polímeros e compósitos); os custos de utilização deste tipo de equipamentos; os tempos de fabrico e, também custos e tempos de fabrico comparativos com os materiais tradicionais e os de substrato polimérico.

Tabela 14 - Custos de matéria-prima e de fabrico: análise comparativa

Material	Processo Fabrico	Peso (kg)	Custo Matéria Prima (€)/Kg	Custo (€)	Tempo Execução (h)	Preço hora (€)	Custo Fabrico (€)	Custo Total (€)
PA6	Fresagem CNC	0,528	7,35	3,88	5,5	20	110	113,88
PA66 GF30	Fresagem CNC	0,603	40	24,12	5,5	20	110	134,12
ABS_Digital	Impressão 3D	0,552	198	109,30	3,75	50	187,5	296,80
Aluminio	Fresagem CNC	1,26	4,5	5,67	22	30	660	665,67
Aço	Fresagem CNC	3,66	2,5	9,15	32	30	960	969,15

**Custos orçamentados para molde em Aço e Alumínio*

5 Conclusão

5.1 Conclusões

No âmbito do trabalho de dissertação, foram executadas zonas moldantes em três materiais poliméricos para a injeção de componentes plásticos. Os materiais utilizados foram: PA6, PA66 GF30 e ABS_Digital. Na execução dos moldes de PA6 e PA66 GF30 foi utilizando o processo subtrativo de fresagem CNC. Para obter as peças em ABS_Digital foi utilizado o processo aditivo de impressão 3D.

Foram moldadas peças em 3 materiais diferentes, polipropileno e compósitos de polipropileno com cargas de Talco e de Fibra de Vidro, utilizando o processo de injeção.

Zona moldante em PA6

Foi possível com estas zonas moldantes, montadas numa estrutura metálica adequada para o efeito, moldar PP, PP T20 e PP GF30, obtendo cerca de 75 moldações por injeção com qualidade. As peças foram extraídas, com tempo de refrigeração de 40 segundos, não tendo existido adesão entre os materiais injetados e o material do molde. O controlo da temperatura da superfície moldante foi crucial no sucesso do processo de injeção, na gama de temperaturas de Tg

Zona moldante em PA66 GF30

Nestas zonas moldantes foram injetados os mesmos materiais e foram obtidos melhores resultados em termos de vida das zonas moldantes que podem ser explicadas com base deste material apresentar Tg e valores módulo à flexão superiores aos do material de PA6 também utilizado no fabrico de zonas moldantes. Neste caso, foi também, possível reduzir o tempo de refrigeração para 35 segundos.

Zona moldante em ABS_Digital

Com estas zonas moldantes foi possível moldar os 3 materiais, tendo sido obtidas peças com

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

boa qualidade, mas com um tempo de refrigeração 45 segundos. As peças foram extraídas e não existiu adesão entre o material injetado e o material das zonas moldantes. Embora este material tenha um Tg superior aos dois materiais anteriores mas, não pode ser utilizado a temperaturas superiores a 60°C.

Zona moldante em PA6 com revestimento cerâmico Cera-Shibo

As zonas moldantes com revestimento cerâmico Cera-Shibo, permitiram obter peças com textura superficial. A durabilidade do revestimento foi, no entanto, baixa tendo sido obtidas apenas 20 peças com bom acabamento, consequência da rotura entre o revestimento e o substrato e do aumento da temperatura.

5.2 Trabalhos futuros

Processar um conjunto de novos materiais, utilizando as mesmas zonas moldantes fabricadas com os materiais considerados no trabalho de dissertação:

- Injeção de WPC (Wood Plastic Composite) de base PP.
- Aplicar revestimento de PVD (Physical Vapor Deposition) em zonas moldantes de substrato de PA6 e avaliar a sua vida útil.
- Aplicar revestimento metálico sobre substrato polimérico.
- Sobremoldação de vidro em moldes de substrato de poliamida.

(Inicia em página ímpar)

Bibliografia

- Amut. 2012.** thermoforming-machines-series. *www.amut.it*. [Online] 2012.
<http://www.amut.it/en/thermoforming-machineries/thermoforming-machines-series-amp>.
- Asperbras. 2013.** Industria de PVC e Rotomoldagem. *www.asperbras.com.br*. [Online] 2013.
<http://www.asperbras.com.br/index.php/negocios/industria-de-pvc-e-rotomoldagem>.
- Berins , Michael L. . 1991.** *Plastics Engineering Handbook Of The Society Of The Plastics Industry*. 1991.
- Bryce, Douglas M. 1999.** *“Plastic Injection Molding: Manufacturing Startup and Management*. 1999.
- Capela, Fernando R. 2011.** *Optimização de sistemas bi-material obtidos por moldação por injeção*. Aveiro : Universidade de Aveiro, 2011.
- Çengel, A. Yunus e Ghajar, J. Afshin. 2012.** *Transferênciade Calor e Massa*. s.l. : McGraw Hill Brasil, 2012.
- Chanda, Manas e Roy, Salil K. 2006.** *Plastics Technology Handbook, Fourth Edition*. Boca Raton : CRC Press, 2006.
- Cunha, A. 2003.** *Manual do projectista para moldes de injeção de plástico*. s.l. : Centimfe, 2003.
- Dalbin, Sandrine e Pommier, Nicolas. 2006.** *Metalização em Plástico - Coventya*. 2006.
- Dym, J.B. 1987.** *Injection Molds and Molding: A Practical Manual*. 1987.
- Eschmanntextures. 2013.** Cera-Shibo. *www.eschmanntextures.com*. [Online] 2013. [Citação: 20 de Março de 2014.] <http://eschmanntextures.com/tecnologie/cera-shibo/>.
- Ferreira, J. A. M., Capela, C. e Costa, J. D. 2011.** Dynamic Mechanical Analysis of Hybrid Fibre/Glass Microsheres Composites. *Strain*. 47, 2011.
- Ferreira, N., et al. 2011.** Caraterização Mecânica de Compósitos com Fibras Processadas por Injeção Para o Fabrico de Componentes Automóvel. *Cibem*. 10, 2011.
- Hangue, R. J. M. e Reeves, P. E. 2000.** *Rapid Prototyping, Tooling and Manufacturing*. 2000.
- Hilton, Peter Hilton. 2000.** *Rapid Tooling: Technologies and Industrial Applications*. 2000.
- Marques, Luisa. 2009.** *O que são polimeros e proque são interessantes*. 2009.
- Powel, Peter C. 1998.** *Engineering with Polymers*. 1998.
- Quadrant. 2011.** Ficha Técnica PA - ERTALON 66 GF30. *Ertalon 66 GF 30*. 20 de Janeiro de 2011.

MOLDES PARA INJEÇÃO DE SUBSTRATO POLIMÉRICO

Resinex. 2013. Poliamida. *www.resinex.pt*. [Online] 2013. [Citação: 14 de Janeiro de 2014.] <http://www.resinex.pt/tipos-de-polimeros/pa.html>.

— **2013.** Polipropileno. *www.resinex.pt*. [Online] 2013. [Citação: 14 de Janeiro de 2014.] <http://www.resinex.pt/tipos-de-polimeros/pp.html>.

Rosato, Dominick V. , Rosato, Donald V. e Ro, Marlene G. 2000. *Injection Molding Handbook*. s.l. : Springer, 2000.

Ryntz, Rose A., Yaneff , Philip V. e yaneff, Philip V. 2003. *Coating of Polymers and Plastics*. 2003.

Smith, William F. 1998. *Principios de Ciencia e Engenharia dos Materiais*. Lisboa : MacGraw Hill, 1998.

Sofitel. 2013. Vacuum Casting Silicone Mold Platinum Cure Silicone for Tyre Mold Making. *sofitel.manufacturer.globalsources.com*. [Online] 11 de 2013.

<http://sofitel.manufacturer.globalsources.com/si/6008842606249/pdtl/Casting-mold/1088697635/Vacuum-Casting-Silicone-Mold-Platinum-Cure-Silicone.htm>.

Sores, L., L. Bardocz, L. e Radnoti , I. . 2002. *Plastic Molds and Dies*. 2002.

Stratasys. 2013. injection-molding. *www.stratasys.com*. [Online] 2013. [Citação: 19 de Dezembro de 2013.] <http://www.stratasys.com/applications/manufacturing-tooling/injection-molding>.

— **2014.** *www.stratasys.com*. *Stratasys*. [Online] 2014. [Citação: 20 de Dezembro de 2014.] <http://www.stratasys.com>.

super-prototype. 2013. *www.super-prototype.com/index.php?cPage=service*. 2013.

Vasconcelos, Pedro V., Lino, F. Jorge e Neto, Rui J. L. 2004. *Estudo de injeção de termoplásticos em moldes produzidos em compósitos de base epoxídica de alta temperatura*. Viana do Castelo : Dep. de Ciências de Engenharia ESTG / IPVC, 2004.

Young , R. J. e Lovell , P. A. 2011. *Introduction to Polymers*. 2011.

Zeng, Hongbo. 2013. *Polymer Adhesion, Friction, and Lubrication*. 2013.

Zheng, Rong, Tanner, Roger I. e Xi-Jun, Fan. 2011. *“Injection Molding: Integration of Theory and Modeling Methods*. 2011.

Anexos

(Inicia em página ímpar)

ANEXO A - FICHA TÉCNICA PA6

TECHNICAL DATA SHEET

PA6

DIN abbreviation: PA6

Designation: Polyamide 6 (extruded)

Colour, filler: Opaque

Description: Semi crystalline extruded nylon with high toughness.


	Unit	Test method DIN EN ISO/ASTM	Value
Mechanical			
Density	g/cm ³	527 / D792	1,13
Tensile strength at yield	MPa	527 / D638	85 / 60
Tensile strength at break	MPa	527 / D638	
Elongation at break	%	527 / D638	70 / 200
Modulus of elasticity in tension	MPa	527 / D638	3000 / 1800
Modulus of elasticity in flexure	MPa	178 / D790	
Ball indentation hardness	MPa	2039 / 1	160 / 70
Impact strength	kJ/m ²	179 / D256	No br.
Creep rupture strength after 1000 hrs with static load	MPa		45
Time yield limit for 1% elongation after 1000 hrs.	MPa		4,50
Coefficient of friction against hardened and ground steel p=0,05 N/mm ² , v=0,6 m/s	-----		0,38 0,45
Wear conditions as above	µm/km		0,23
Thermal			
Crystalline melting point	°C	DIN 53 736	220
Glass transition temperature	°C	DIN 53 736	60 / 5
Heat distortion temperature	°C	R 75	75
Method A	°C	R 75	190
Method B			
Max. service temperature	°C		60
Short term	°C		100
Long term			
Coefficient of thermal conductivity	W/(m.K)		0,23
Specific heat	J/(g.K)		1,70
Coefficient of thermal expansion	10 ⁻⁵ / K	DIN 53 483 / D696	8
Electrical			
Dielectric constant at 10s Hz		DIN 53 483	3,70 / 7
Dielectric loss factor at 10s Hz		DIN 53 483	0,031 / 0,30
Specific volume resistance	Ω . cm	DIN 60093	10 ¹³
Surface resistance	Ω	DIN 60093	10 ¹²
Dielectric strength 1 mm	kV/mm	ASTM 149	50 / 20
Tracking resistance		53 480	CTI 600
Others			
Moisture absorption (standard)	%	62	3
Water absorption at saturation 23 °C	%	62	9,50
Resistance to hot water, washing soda		Limited resistance	
Flammability (UL standard 94)		HB	
Resistance to weathering		Not resistant	

ANEXO B- FICHA TÉCNICA PA66 GF30

PRODUCT DATA SHEET

>> POLYAMIDE [PA 66-GF30]

ERTALON® 66-GF30



Compared with virgin PA 66, this 30 % glass fibre reinforced and heat stabilised nylon grade offers increased strength, stiffness, creep resistance and dimensional stability whilst retaining an excellent wear resistance. It also allows higher max. service temperatures.

Physical properties (indicative values *)

PROPERTIES	Test methods	Units	VALUES
Colour	-	-	black
Density	ISO 1183-1	g/cm ³	1.29
Water absorption:			
- after 24/96 h immersion in water of 23 °C (1)	ISO 62	mg	30 / 56
- at saturation in air of 23 °C / 50 % RH	ISO 62	%	0.39 / 0.74
- at saturation in water of 23 °C	-	%	1.7
- at saturation in water of 23 °C	-	%	5.5
Thermal Properties (2)			
Melting temperature (DSC, 10 °C/min)	ISO 11357-1/3	°C	260
Glass transition temperature (DSC, 20 °C/min) - (3)	ISO 11357-1/2	°C	-
Thermal conductivity at 23 °C	-	W/(K.m)	0.30
Coefficient of linear thermal expansion:			
- average value between 23 and 60 °C	-	m/(m.K)	50 x 10 ⁻⁶
- average value between 23 and 100 °C	-	m/(m.K)	60 x 10 ⁻⁶
Temperature of deflection under load:			
- method A, 1.8 MPa	+ ISO 75-1/2	°C	150
Max. allowable service temperature in air:			
- for short periods (4)	-	°C	200
- continuously - for 5,000 / 20,000 h (5)	-	°C	120 / 110
Min. service temperature (6)	-	°C	-20
Flammability (7):			
- "Oxygen index"	ISO 4589-1/2	%	
- according to UL 94 (3/1.6 mm thickness)	-		HB / HB
Mechanical Properties at 23 °C (8)			
Tension test (9):			
- tensile stress at yield / tensile stress at break (10)	+ ISO 527-1/2	MPa	NYP/85
	++ ISO 527-1/2	MPa	-
- tensile strength (10)	+ ISO 527-1/2	MPa	85
- tensile strain at yield (10)	+ ISO 527-1/2	%	NYP
- tensile strain at break (10)	+ ISO 527-1/2	%	5
	++ ISO 527-1/2	%	-
- tensile modulus of elasticity (11)	+ ISO 527-1/2	MPa	5000
	++ ISO 527-1/2	MPa	2700
Compression test (12):			
- compressive stress at 1 / 2 / 5 % nominal strain (11)	+ ISO 604	MPa	43 / 77 / 112
Charpy impact strength - Unnotched (13)	+ ISO 179-1/1eU	kJ/m ²	50
Charpy impact strength - Notched	+ ISO 179-1/1eA	kJ/m ²	5
Ball indentation hardness (14)	+ ISO 2039-1	N/mm ²	165
Rockwell hardness (14)	+ ISO 2039-2	-	M 76
Electrical Properties at 23 °C			
Electric strength (15)	+ IEC 60243-1	kV/mm	27
	++ IEC 60243-1	kV/mm	18
Volume resistivity	+ IEC 60093	Ohm.cm	> 10 ¹⁶
	++ IEC 60093	Ohm.cm	> 10 ¹⁵
Surface resistivity	+ IEC 60093	Ohm	> 10 ¹⁶
	++ IEC 60093	Ohm	> 10 ¹⁵
Relative permittivity ε _r - at 100 Hz	+ IEC 60250	-	3.9
	++ IEC 60250	-	6.9
- at 1 MHz	+ IEC 60250	-	3.6
	++ IEC 60250	-	3.9
Dielectric dissipation factor tan δ - at 100 Hz	+ IEC 60250	-	0.012
	++ IEC 60250	-	0.19
- at 1 MHz	+ IEC 60250	-	0.014
	++ IEC 60250	-	0.04
Comparative tracking index (CTI)	+ IEC 60112	-	475
	++ IEC 60112	-	475

Note: 1 g/cm³ = 1,000 kg/m³; 1 MPa = 1 N/mm²; 1 kV/mm = 1 MV/m; NYP: there is no yield point.

AVAILABILITY: see "Delivery Programme"

Ertalon® is a registered trademark of the **Quadrant Group**.

This product data sheet and any data and specifications presented on our website shall provide promotional and general information about the Engineering Plastic Products (the "Products") manufactured and offered by Quadrant Engineering Plastic Products ("Quadrant") and shall serve as a preliminary guide. All data and descriptions relating to the Products are of an indicative nature only. Neither this data sheet nor any data and specifications presented on our website shall create or be implied to create any legal or contractual obligation.

Any illustration of the possible fields of application of the Products shall merely demonstrate the potential of these Products, but any such description does not constitute any kind of covenant whatsoever, irrespective of any tests that Quadrant may have carried out with respect to any Product. Quadrant does not possess expertise in evaluating the suitability of its materials or Products for use in specific applications or products manufactured or offered by the customer respectively. The choice of the most suitable plastic material depends on available chemical resistance data and practical experience, but often preliminary testing of the finished plastics part under actual service conditions (right chemical, concentration, temperature and contact time, as well as other conditions) is required to assess its final suitability for the given application.

It thus remains the customer's sole responsibility to test and assess the suitability and compatibility of Quadrant's Products for its intended applications, processes and uses, and to choose those Products which according to its assessment meet the requirements applicable to the specific use of the finished product. The customer undertakes all liability in respect of the application, processing or use of the aforementioned information or product, or any consequence thereof, and shall verify its quality and other properties.

Quadrant Engineering Plastic Products

global leader in engineering plastics for machining

www.quadrantplastics.com

Copyright © 2011 The Quadrant group of companies. All rights reserved. - Date of issue / revision: January 20, 2011

ANEXO C - FICHA TÉCNICA ABS_DIGITAL




Materials Simulating Engineering Plastics

Digital ABS, Green (RGD5160-DM, RGD5161-DM) made of RGD515 & RGD535
 Digital ABS, Ivory (RGD5130-DM, RGD5131-DM) made of RGD515 & RGD531

ASTM	Units	Metric	Units	Imperial
Tensile strength	D-638-03	MPa	55-80	psi
Elongation at break	D-638-06	%	25-40	%
Modulus of elasticity	D-638-04	MPa	2600-3000	psi
Flexural Strength	D-790-03	MPa	65-75	psi
Flexural Modulus	D-790-04	MPa	1700-2200	psi
HDT, °C @ 0.45MPa	D-648-06	°C	58-68	°F
HDT, °C @ 0.45MPa after thermal post treatment procedure A	D-648-06	°C	82-90	°F
HDT, °C @ 1.82MPa	D-648-06	°C	92-95	°F
HDT, °C @ 0.45MPa after thermal post treatment procedure B	D-648-07	°C	51-55	°F
HDT, °C @ 1.82MPa	D-256-06	J/m	65-80	ft lb/inch
Izod Notched Impact	DMA, E _a	°C	47-53	°F
Tg	Scale D	Scale D	85-87	Scale D
Shore Hardness (D)	Scale M	Scale M	67-69	Scale M
Rockwell Hardness	ASTM D792	g/cm ³	1.17-1.18	
Polymerized density	USP281	%		

High Temperature Material (RGD525)

ASTM	Units	Metric	Units	Imperial
Tensile strength	D-638-03	MPa	70-80	psi
Elongation at break	D-638-06	%	10-15	%
Modulus of elasticity	D-638-04	MPa	3200-3500	psi
Flexural Strength	D-790-03	MPa	110-130	psi
Flexural Modulus	D-790-04	MPa	3100-3500	psi
HDT, °C @ 0.45MPa	D-648-06	°C	63-67	°F
HDT, °C @ 0.45MPa after thermal post treatment procedure A	D-648-06	°C	75-80	°F
HDT, °C @ 1.82MPa	D-648-07	°C	65-57	°F
Izod Notched Impact	D-256-06	J/m	14-16	ft lb/mch
Water Absorption, %	D-570-98 24hr	%	1.2-1.4	%
Tg	DMA, E _a	°C	62-65	°F
Shore Hardness D	Scale D	Scale D	87-88	Scale D
Rockwell Hardness	Scale M	Scale M	78-83	Scale M
Polymerized density	ASTM D792	g/cm ³	1.17-1.18	
Ash content	USP281	%	0.38-0.42	%

Materials Simulating Standard Plastics

RGD720

Transparent Materials


ASTM	Units	Metric	Units	Imperial
Tensile strength	D-638-03	MPa	50-65	psi
Elongation at break	D-638-06	%	15-25	%
Modulus of elasticity	D-638-04	MPa	2000-3000	psi
Flexural Strength	D-790-03	MPa	80-110	psi
Flexural Modulus	D-790-04	MPa	2700-3300	psi
HDT, °C @ 0.45MPa	D-648-06	°C	45-50	°F
HDT, °C @ 1.82MPa	D-648-07	°C	45-50	°F
Izod Notched Impact	D-256-06	J/m	20-30	ft lb/inch
Water Absorption	D-570-98 24hr	%	1.5-2.2	%
Tg	DMA, E _a	°C	48-50	°F
Shore Hardness (D)	Scale D	Scale D	83-86	Scale D
Rockwell Hardness	Scale M	Scale M	73-76	Scale M
Polymerized density	ASTM D792	g/cm ³	1.18-1.19	
Ash content	USP281	%	0.01-0.02	%

VeroClear RGD810

ASTM	Units	Metric	Units	Imperial
Tensile strength	D-638-03	MPa	50-65	psi
Elongation at break	D-638-06	%	10-25	%
Modulus of elasticity	D-638-04	MPa	2000-3000	psi
Flexural Strength	D-790-03	MPa	75-110	psi
Flexural Modulus	D-790-04	MPa	2200-3200	psi
HDT, °C @ 0.45MPa	D-648-06	°C	45-50	°F
HDT, °C @ 1.82MPa	D-648-07	°C	45-50	°F
Izod Notched Impact	D-256-06	J/m	20-30	ft lb/inch
Water Absorption	D-570-98 24hr	%	1.1-1.5	%
Tg	DMA, E _a	°C	52-54	°F
Shore Hardness (D)	Scale D	Scale D	83-86	Scale D
Rockwell Hardness	Scale M	Scale M	73-76	Scale M
Polymerized density	ASTM D792	g/cm ³	1.18-1.19	
Ash content	USP281	%	0.02-0.06	%

Find material properties for color materials on the Color Digital Materials Data Sheet.

ANEXO D – FICHA TÉCNICA PP



Data Sheet
Review 10 (September/12)

Polypropylene CP 204

Sub-group:
Heterophasic Copolymer

Description:
CP 204 is a high melt flow rate heterophasic copolymer with general purpose additive package. This product exhibits excellent processing performance, with good stiffness and impact strength balance.

Applications:
Thin-walled parts; Easy mould filling; Twisted closures.

Processing:
Injection Moulding

Control Property:

	ISO Method	Units	Values
Melt Flow Rate (230°C/2.16 kg)	1133	g/10 min	22

Typical Properties^{a)}:

	ISO Method	Units	Values
Density	1183-1	g/cm ³	0.900
Flexural Modulus	178	MPa	1300
Tensile Strength at Yield	527-1	MPa	28
Tensile Elongation at Yield	527-1	%	8
Rockwell Hardness (R Scale)	2039-2	-	92
Notched Izod Impact Strength at 23°C	180	kJ/m ²	4.5
Notched Izod Impact Strength at -20°C	180	kJ/m ²	2.9
Deflection Temperature under Load at 0.455 MPa	75-1/75-2	°C	89
Deflection Temperature under Load at 1.820 MPa	75-1/75-2	°C	55
Vicat Softening Temperature at 10 N	306	°C	152

a) Injection molded specimen according to ISO 294.

Final Remarks:

1. This resin meets the requirements for olefin polymers as defined in 21 CFR, section 177.1520 issued by FDA – Food and Drug Administration in force on the date of publication of this specification. The additives present are covered in appropriate regulation by FDA.
2. The information presented in this Data Sheet reflects typical values obtained in our laboratories, but should not be considered as absolute or as warranted values. Only the properties and values mentioned on the Certificate of Quality are considered as guarantee of the product.
3. In some applications, Braskem has developed tailor-made resins to reach specific requirements.
4. In case of doubt regarding utilization, or for other applications, please contact our Technical Assistance.
5. For information about safety, handling, individual protection, first aids and waste disposal, please see MSDS. CAS Registry number: 9010-79-1.
6. The mentioned values in this report can be changed at any moment without Braskem previous communication.
7. Braskem does not recommend this grade for packages, parts or any kind of product manufacture that will be used for storage or contact with solution that will have internal contact with human body.
8. This resin does not contain the substance Bisphenol A (BPA, CAS # No. 80-05-7) in its composition.

ANEXO E – FICHA TÉCNICA PP T20



Advanced Composites, Inc.
1062 Fourth Avenue Sidney, Ohio 45365 Phone: (937) 492-9167 Fax: (937) 496-4837

**** EXPERIMENTAL DATA ****


ADX-5300

High Flow, High Stiffness, High Impact, Scratch Resistant TPO for VW Interior

Physical Properties ¹	Test Method	Unit	Typical Value
Melt Flow Index	ISO 1133	g/10min	20.0
Specific Gravity	ISO 1183	-	1.030
Tensile Yield Strength	ISO 527	MPa	22
Flexural Modulus	ISO 178	MPa	2000
Notched Izod Impact 23°C	ISO 180-A	kJ/m ²	40
Heat Deflection Temp. 0.45 MPa	ISO 75	°C	110

¹Typical data values are based on Advanced Composites, Inc. laboratory results and may not necessarily reflect performance in actual parts.

ANEXO F – FICHA TÉCNICA PP GF30



Hostacom X G3 U10 100001

Compounded Polyolefin

Product Description
Hostacom X G3 U10 is a 30% glass coupled PP homopolymer with high flow, high stiffness, low creep under load at elevated temperatures.

Product Characteristics

Status	Commercial: Active
Test Method used	ISO
Availability	Europe, North America, Latin America

Typical Properties	Method	Value	Unit
Physical			
Density	ISO 1183	1.14	g/cm ³
Melt volume flow rate (230°C/2.16Kg)	ISO 1133	15	cm ³ /10min
Mechanical			
Tensile Modulus (Secant)	ISO 527-1, -2	6500	MPa
Tensile Stress at Yield (50 mm/min)	ISO 527-1, -2	80	MPa
Tensile Strain at Yield (50 mm/min)	ISO 527-1, -2	3.0	%
Impact			
Charpy unnotched impact strength (23 °C, Type 1, Edgewise)	ISO 179	25	kJ/m ²
Charpy notched impact strength (23 °C, Type 1, Edgewise, Notch A)	ISO 179	6.0	kJ/m ²
Thermal			
Heat deflection temperature A (1.80 MPa) Unannealed	ISO 75A-1, -2	140	°C
Vicat softening temperature (A50 (50°C/h 10N))	ISO 306	130	°C

Notes
Typical properties; not to be construed as specifications.