



DISSERTAÇÃO

**Dissertação de Mestrado em
Engenharia da Conceção e Desenvolvimento de Produto**

Moldes e sistemas de alimentação: casos de estudo

André Filipe Sousa Santos

Leiria, Setembro de 2014

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.



DISSERTAÇÃO

**Dissertação de Mestrado em
Engenharia da Conceção e Desenvolvimento de Produto**

Moldes e sistemas de alimentação: casos de estudo

André Filipe Sousa Santos

Licenciado em Engenharia Mecânica

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia da Conceção e Desenvolvimento de Produto.

Trabalho realizada sob a orientação científica do Doutor Carlos Alexandre Bento Capela, Professor Coordenador da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, Setembro de 2014

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Agradecimentos

Este trabalho de investigação, apesar do seu carácter individual, primou pela ajuda do meu orientador, Professor Carlos Alexandre Bento Capela, sem o qual não seria possível realizar esta dissertação. Os seus conselhos, conhecimentos, paciência, amizade, apoio, bem como a sua disponibilidade, muitas das vezes a horas e dias pouco convenientes, mostraram-se fulcrais na edificação e no propósito deste trabalho. A ele presto um agradecimento muito especial.

À empresa Geco Moldes Lda., Sr. António Febra, Eng. Tiago Febra e Eng.^a Mariana Febra, a quem agradeço a colaboração na realização dos trabalhos relativos ao fabrico do molde de injeção.

Agradeço à empresa Neológica Lda., Engenheiros Fernando Marques, Luís Anunciação e Fátima Alves pela colaboração na realização deste trabalho de dissertação.

Ao Engenheiro Domingos Granja da empresa ThyssenKrupp Portugal, pela disponibilização de informação técnica relativa à seleção de aços específicos para moldes.

À empresa Meusburger Georg GmbH & Co KG, agradeço a colaboração, disponibilidade e contribuição na realização deste trabalho.

À empresa Codi Lda., Engenheiros Moisés Domingues, Rosa Fernandes e Carlos Matos, agradeço a disponibilização na impressão 3D.

À empresa SimulFlow Lda., Engenheiros Teresa Neves, Edson Nascimento e Hélder Cordeiro, agradeço o apoio e a cedência da licença do software Moldex3D.

À Associação Nacional da Indústria dos Moldes – Cefamol, agradeço a disponibilização de informação técnica relativa à indústria dos moldes.

Aos Colegas, Nuno Ascenso, Jorge Santos e Lécio Lourenço pelo apoio na realização deste trabalho.

Aos Professores Carlos Neves, Rui Rúben, Mário Correia e Eng. Felisbelo Lisboa, pelo incentivo e/ou contributo nesta dissertação.

Aos meus Colegas e Amigos, João Santos, Luís Faria, Pedro Sousa, Melissa Santos e Celinia Gomes, Tiago Febra, Mariana Febra e Elizabeth Fernandes pela amizade, paciência e apoio.

Aos restantes Professores, Amigos e Colegas que de alguma forma colaboraram com sugestões e conhecimento no enriquecimento deste trabalho.

Agradeço, especialmente aos meus Pais Francisco e Júlia e ao meu Irmão Luís, todo o vosso apoio e paciência na realização nesta dissertação.

A todos Vós um muito Obrigado!

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Resumo

A indústria de moldes é um dos setores industriais mais dinâmicos do nosso país. O processo de moldação por injeção de componentes plásticos, apresenta hoje peças técnicas com valor acrescentado, principalmente, nos casos das indústrias automóvel e aeronáutica. Por forma a aprofundar os conhecimentos relativos ao fabrico de moldes e de técnicas de processamento de plásticos foi realizado uma revisão bibliográfica sobre esta temática.

Foi projetado e fabricado um molde em aço para a produção de provetes, com o objetivo de desenvolver e caraterizar materiais a processar por injeção e, realizado um estudo de simulação (software Moldex3D) do processo de injeção com sistemas de alimentação por canais frios e misto.

No âmbito das jornadas MECDP 2014, foi desenvolvido o conceito de um porta-chaves alusivo ao evento e, no desenvolvimento deste produto foram utilizadas técnicas de fabrico rápido, impressão 3D e moldes em silicone.

Foram processados por injeção (provetes) e caraterizados física e mecanicamente os seguintes materiais: poliamida 6 (PA6) e compósitos de matriz PA6 com diferentes frações em peso de fibra de vidro. Os valores de tensão máxima e de módulo à flexão e em tração, obtidos nos ensaios estáticos, mostraram que estes aumentam com o aumento da fração em peso das fibras de vidro. Os resultados obtidos estão em concordância com os resultados realizados nos ensaios de análise mecânica dinâmica (DMA). Os valores de temperatura de transição vítrea (Tg) apresentam uma tendência crescente com o aumento da fração em peso da fibra de vidro.

Palavras-chave: plásticos; poliamida 6; compósitos; caracterização de materiais; moldes de injeção; simulação; sistemas de alimentação.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Abstract

Molds industry is one of the most dynamic sectors of our country. The injection molding process of plastics components nowadays demands technical parts with added value, especially in automobile and aeronautics industries. To extend the knowledge of manufacturing molds and plastic processing techniques, a literature review was conducted.

It was designed and manufactured a steel mold to produce specimens to develop and characterize materials obtained by injection process. It was realized a simulation study of the injection process with feed systems by cold runner and mixed (cold runner and hot runner) using the software Moldex3D.

For the MECDP 2014 conference was developed the concept of a keychain commemorating the event. In the development state were used rapid manufacturing, 3D printing and silicone molds technics.

It were injected (specimens) and characterized physically and mechanically specimens in polyamide 6 (PA6) and composites of PA6 matrix with different weight fractions of glass fiber. The maximum stress and the modulus of flexion and tensile were obtained in mechanical static tests. The results showed that these values increased with the increase of the glass fiber weight fraction, which are in agreement with the results of Dynamic Mechanical Analysis (DMA) tests. The glass transition temperature (T_g) values show a growing trend with the increase of weight fraction of glass fiber.

Key-words: plastics; polyamide 6; composites; characterization of materials; injection molds; simulation; feed systems.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Índice de figuras

Figura 1.1 – Seção de fresagem da fábrica Aníbal H. Abrantes, referenciada à década 1970 (Barata, 2014).	3
Figura 1.2 – Capas dos livros dos primeiros 4 congressos da indústria de moldes: a) I congresso; b) II congresso; c) III congresso; d) IV congresso (Cefamol, 1985; Cefamol, 1987; Cefamol, 1989; Cefamol, 1993).	3
Figura 2.1 – Classificação geral dos polímeros (Michaeli, et al., 2001; Davim, 1998).	8
Figura 2.2 – Principais tipos de reforço usados nos materiais compósitos: a) fibras longas; b) fibras curtas, <i>whiskers</i> ; c) partículas; d) tecidos/malhas (Capela, 2003).	9
Figura 2.3 – Termoformação com fêmea assistido por vácuo (Harper, 2006; Bralla, 1998).	10
Figura 2.4 – Termoformação com macho assistido por vácuo (Harper, 2006; Bralla, 1998).	11
Figura 2.5 – Termoformação por dupla folha de material termoplástico (Harper, 2006; Bralla, 1998).	11
Figura 2.6 – Termoformação por pressão da folha termoplástica (Harper, 2006; Bralla, 1998). 11	
Figura 2.7 – Termoformação mecânica de folha termoplástica (Harper, 2006; Bralla, 1998). ...	11
Figura 2.8 – Etapas do processo de rotomoldação (Pisanu, et al., 2008; Kutz, 2011).	12
Figura 2.9 – Moldação por extrusão-sopro de materiais termoplásticos (Harper, 2006; Rosato, et al., 2003).	13
Figura 2.10 – Moldação por injeção-sopro de materiais termoplásticos (Harper, 2006; Rosato, et al., 2003).	14
Figura 2.11 – Esquema do processo de moldação por compressão de materiais termoendurecíveis (Society of Plastic Industry, Inc., 1991).	14
Figura 2.12 – Esquema do processo de moldação por transferência (Society of Plastic Industry, Inc., 1991).	15
Figura 2.13 – Máquina de injeção com o molde montado.	16
Figura 2.14 – Ciclo de moldação por injeção (Jones, 2008; Cunha, et al., 2003).	18
Figura 2.15 – (A) Vista de molde (Menezes, 1985; Cefamol, 2006).	20
Figura 2.16 – (B) Vista de molde (Menezes, 1985; Cefamol, 2006).	21
Figura 2.17 – (C) Vista de molde (Menezes, 1985; Cefamol, 2006).	21
Figura 2.18 – (D) Vista de molde (Menezes, 1985; Cefamol, 2006).	22
Figura 2.19 – (E) Vista de molde (Menezes, 1985; Cefamol, 2006).	22
Figura 2.20 – (F) Vista de molde (Menezes, 1985; Cefamol, 2006).	22
Figura 2.21 – Rasgo para marcação numa peça paralelepípedica (Menezes, 1985).	23
Figura 2.22 – Rasgo de marcação numa peça de seção circular (Menezes, 1985).	23
Figura 2.23 – Esquema de marcação das chapas da estrutura de um molde (Menezes, 1985).	24

Figura 2.24 – Geometria e dimensões dos rasgos a maquinar nas chapas da estrutura do molde: a) Rasgos; b) Chanfro (Eusébio, 1985).	24
Figura 2.25 – Classificação geral dos aços para ferramentas (Soares, 2009).	25
Figura 2.26 – Moldação obtida num molde de canais frios de duas placas (Provenza, 1976). ...	28
Figura 2.27 – Tipos de bicos utilizados nas máquinas de injeção: a) bico de ponta esférica; b) bico de ponta plana ou chata (Provenza, 1976).	29
Figura 2.28 – Montagem do injetor do molde e bico da máquina de injeção (Provenza, 1976). 29	
Figura 2.29 – Injeção no molde com bico longo aquecido (Provenza, 1976).	29
Figura 2.30 – Sistemas de extração do jito (Pye, 1989).	30
Figura 2.31: Canais típicos usados para a alimentação das cavidades moldantes (Provenza, 1976).	30
Figura 2.32 – Dimensionamento de um poço frio (Provenza, 1976).	31
Figura 2.33 – Balanceamento de moldações de multi-cavidades (Provenza, 1976).	31
Figura 2.34 – Injeção em banana de uma peça de plástico (Unger, 2006).	32
Figura 2.35 – Sistema de alimentação com canais isolados (sem aquecimento) (Jones, 2008). .	32
Figura 2.36 – Sistema de alimentação com canais semi-isolados (com aquecimento) (Jones, 2008).	33
Figura 2.37 – Sistemas de alimentação usados nos moldes de injeção de termoplásticos (Frenkler, et al., 2001).	34
Figura 2.38 – Sistema de injeção com canais quentes sem bicos valvulados (Polimold Industrial S. A., 2004; Cunha, et al., 2003).	34
Figura 2.39 – Sistema de canais quentes com bicos valvulados (Polimold Industrial S. A., 2004).	35
Figura 2.40 – Efeito no enchimento de uma peça sobre o ar que se encontra dentro da cavidade: a) enchimento sem fugas de gases; b) enchimento com fugas de gases (t = tempo).	36
Figura 2.41 – Escapes de gases em torno de uma linha de junta (Cefamol, 2006).	37
Figura 2.42 – Escape de gases em zonas localizadas (Cefamol, 2006).	37
Figura 2.43 – Marcação dos canais de refrigeração num molde de injeção.	39
Figura 2.44 – Designação das posições relativas a um molde de injeção.	40
Figura 2.45 – Distância do canal de refrigeração a outros componentes mecânicos.	40
Figura 2.46 – Forma de colocação dos engates rápidos no molde.	41
Figura 2.47 – Simetria de circuitos de refrigeração em relação à cavidade.	41
Figura 2.48 – Diferença de temperaturas entre a saída e a entrada.	41
Figura 2.49 – Projeto de canais de refrigeração; d, diâmetro do canal de refrigeração; P, distância entre canais; D, distância do canal à zona moldante (Cefamol, 2006).	41
Figura 2.50 – Relação da taxa de fluxo de calor com a taxa de fluxo do refrigerante (Technik, 2010).	42
Figura 2.51 – Classificação dos processos de prototipagem rápida em função do processo de fabrico (Bártolo, et al., 2002; Gebhardt, 2003).	43

Figura 2.52 – Classificação dos processos de prototipagem rápida em função do estado físico da matéria-prima (Bártolo, et al., 2002; Gebhardt, 2003).....	44
Figura 2.53 – Centro de maquinação (fresagem) com a possibilidade de se utilizar um 4 eixo rotativo, Roland MDX-540 (Roland DGA Corporation, 2014).....	44
Figura 3.1 – Fotos dos vários materiais processados por injeção: a) PA6 + FV0; b) PA6 + FV15; c) PA6 + FV30; d) PA6 + FV60; em mm.	48
Figura 3.2 – Molde de duas placas para moldação dos provetes; a) lado da extração; b) lado da injeção.	49
Figura 3.3 – Máquina de injeção Euro Inj Série D-080 da Lien Yu.	49
Figura 3.4 – Estufa para secagem do material da HEK – GMBH.	50
Figura 3.5 – Máquina de injeção BA 350 CDK da Battenfeld.	50
Figura 3.6: Equipamento para medição da densidade (Mettler-Toledo AG, Laboratory & Weighing Technologies, 2004; Mettler-Toledo AG, Laboratory & Weighing Technologies, 2010).	51
Figura 3.7: Balança eletrônica de precisão AG204 da Mettler-Toledo com o equipamento de medição de densidade (Mettler-Toledo AG, Laboratory & Weighing Technologies, 2010).	51
Figura 3.8 – Representação esquemática do ensaio de tração: a) esquema; b) diagrama de corpo livre; c) dimensões do provete utilizados no ensaio de tração.....	52
Figura 3.9 – Máquina eletromecânica universal de ensaios Z100 da Zwick e sistema da amarras pneumáticas.	53
Figura 3.10 – Curvas tensão de deformação obtida nos ensaios de tração no material Ultraquartz (Capela, 2003).....	53
Figura 3.11 – Representação esquemática do ensaio flexão em 3 pontos: a) esquema; b) diagrama de corpo livre; c) dimensões do provete utilizados no ensaio de flexão.	54
Figura 3.12 – Máquina eletromecânica universal de ensaios Z100 da Zwick com o dispositivo de flexão em 3 pontos montado.	54
Figura 3.13 – Relação entre tan delta, modulus, loss modulus e o módulo complexo (Menard, 2008).	55
Figura 3.14: Modos de aplicação da carga para os diferentes ensaios DMA: a) tração; b) flexão em 3 pontos; c) compressão; d) corte; e) fadiga (Menard, 2008).	55
Figura 3.15 – Curvas típicas da variação do <i>modulus</i> (E'), <i>loss modulus</i> (E'') e do tan delta (δ) com a temperatura (Menard, 2008).....	56
Figura 3.16 – Equipamento Tritec 2000 DMA da Triton Technology com o módulo de flexão em 3 pontos montado.	56
Figura 3.17 – Dimensões dos provetes utilizados no ensaio de DMA em flexão em 3 pontos. ...	56
Figura 4.1 – Curvas de variação da densidade experimental e teórica (lei das misturas) em função da fração em peso do conteúdo de fibras curtas de vidro.	59
Figura 4.2 – Fotos relativas aos ensaios de tração realizados com os materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.	60

Figura 4.3 – Curvas típicas de variação da tensão versus extensão e para o material PA6 e compósitos de matriz PA6 com diferentes frações em peso de fibras curtas de vidro.	62
Figura 4.4 – Valores do módulo à tração para o material PA6 e compósitos de matriz PA6 com diferentes frações em peso de fibras curtas de vidro.	62
Figura 4.5 – Fotos relativas aos ensaios de flexão em 3 pontos realizados com os materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.	63
Figura 4.6 – Curvas típicas de variação da tensão versus deslocamento (ensaio de flexão em 3 pontos) e para o material PA6 e compósitos de matriz PA6 com diferentes frações em peso de fibras de vidro.	64
Figura 4.7 – Valores do módulo à flexão em três pontos para o material PA6 e compósitos de matriz PA6 com diferentes frações em peso de fibras curtas de vidro.	65
Figura 4.8 – Fotos relativas aos ensaios de DMA em flexão em 3 pontos, realizados com os materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro: a) PA6 + FV0; b) PA6 + FV15; c) PA6 + FV30; PA6 + FV60.	65
Figura 4.9 – Variação do módulo em flexão em três pontos versus temperatura e para o material PA6 e compósitos de matriz PA6 com diferentes frações em peso fibras curtas de vidro.	66
Figura 4.10 – Variação do tan delta versus temperatura e para o material PA6 e compósitos de matriz PA6 com diferentes frações em peso fibras curtas de vidro.	66
Figura 5.1 – Molde de canais frios para o processamento de provetes (tração e flexão); a) Vista isométrica dos dois lados do molde (injeção e extração); b) Vistas em planta e corte longitudinal e transversal do molde.	69
Figura 5.2 – Resultados comparativos ente CF e CQ + CF: a) e b) tempo de enchimento; c) e d) temperaturas no final da injeção; e) e f) distribuição das temperaturas.	72
Figura 5.3 – Pressão na cavidade moldante: a) CF; b) CQ + CF; c) distribuição da pressão nos CF; d) distribuição da pressão nos CF + CQ.	73
Figura 5.4 – Efeito no sistema de refrigeração nos dois casos: a) e b) tempo necessário para a moldação ser extraída após solidificação; c) e d) temperatura do líquido de refrigeração.	74
Figura 5.5 – Peças plásticas: a) provete de tração; b) provete de flexão; dimensões em milímetros.	75
Figura 5.6 – Desenho esquemática em desenho 2D, relativo ao molde dos provetes.	76
Figura 5.7 – Representação esquemática e numeração da estrutura utilizada no molde dos provetes (<i>Meusburger</i>).	76
Figura 5.8 – Molde dos provetes; a) lado da extração – lado móvel; b) lado da injeção – lado fixo; c) cavidade; b) bucha; e) postigos moldantes; f) lado móvel com a extração avançada.	79
Figura 5.9 – Moldações obtidas com o molde dos provetes com os materiais (PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro).	79
Figura 5.10 – Esquícios relativos ao desenvolvimento do produto porta-chaves.	80
Figura 5.11 – Esquícios finais dos modelos finais do porta-chaves.	80
Figura 5.12 – Análise comparativa das dimensões de alguns porta-chaves existentes no mercado.	81

Figura 5.13 – Modelo ou master obtido em madeira balsa, utilizado no fabrico dos moldes em silicone para obter porta-chaves em resina epóxida.....	81
Figura 5.14 – Impressora 3D Objet 30 Pro da Stratasys: a) equipamento; b) câmara de construção do protótipo; c) peça obtida pela tecnologia PolyJet em VeroClear RGD810, com boa definição de pormenores.....	82
Figura 5.15 – Processo de fabrico do molde em silicone: a) modelo ou protótipo; b) caixa para vazamento do silicone; c) definição do plano de junta do molde, escape de ar e canal de alimentação; d) mistura do silicone + endurecedor; e) do silicone + endurecedor em vácuo; f) vazamento; g) processo de cura; h) desmoldação do molde da caixa; i) abertura do molde, pela linha de junta, com recurso a bisturi.	82
Figura 5.16 – Molde em silicone e protótipos obtidos; a) molde em silicone para a versão madeira do porta-chaves; b) molde em silicone para a versão impressa do porta-chaves; c) protótipo em madeira após cura; d) protótipo impresso após cura; e) protótipo madeira após acabamento; f) protótipo impresso após acabamento.	83
Figura 5.17 – Molde para produção do porta-chaves versão impressa 3D; a) e b) são a bucha e cavidade obtidas tecnologia PolyJet numa Objet 30 Pro em VeroClear RGD810; c) e d) são blocos para fazer altura nas chapas das buchas e das cavidades; e) lado móvel; f) lado fixo.	84
Figura 5.18 – Sequência de enchimento das peças em PP (Braskem Polypropylene CP 204) obtidas com as zonas moldantes do porta-chaves em VeroClear RGD810.....	85
Figura 5.19 – Zonas moldantes em VeroClear RGD810 após injeção: a) bucha; b) cavidade....	85
Figura 5.20 – Molde com os elementos moldantes em aço montados na estrutura do molde de injeção: a) lado móvel; b) lado fixo; c) bucha do porta-chaves; d) cavidade do porta-chaves. ...	86
Figura 5.21 – Peças processadas por injeção com zonas moldantes em aço: a) e b) Moldações; c) e d) porta-chaves (separados do gito e dos canais).	86

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Índice de tabelas

Tabela 2.1 – Numeração e designação dos componentes dos moldes para plásticos (Menezes, 1985; Cefamol, 2006).	19
Tabela 2.2 – Dimensões das arestas, cantos e rasgos (Eusébio, 1985).	24
Tabela 2.3: Seleção de aços para moldes de injeção de peças plásticas (Capela, et al., 2008; Granja, et al., 2010).....	27
Tabela 2.4 – Folgas de escapes de gases para os diversos materiais plásticos (Cefamol, 2006; The Dow Chemical Company, 1992; Sabic Innovative Plastics, 2008).....	38
Tabela 2.5 – Processos de prototipagem rápida (Kruth, et al., 1998; Bártolo, et al., 2002; Alves, et al., 2001).....	45
Tabela 3.1 – Materiais utilizados na caracterização mecânica e física.	48
Tabela 3.2 – Designação comercial dos materiais processados: PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.	49
Tabela 4.1 – Dados relativos às massas utilizadas no cálculo das densidades dos materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.	58
Tabela 4.2 – Resultados experimentais relativos aos valores médios de densidade, e desvios padrão dos materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.	59
Tabela 4.3 – Valores de densidades obtidos a partir da Lei das Misturas (Moura, et al., 2005). 59	
Tabela 4.4 – Propriedades da fibra de vidro do tipo E, consideradas no estudo (Moura, et al., 2005).	59
Tabela 4.5 – Densidades experimentais, teóricas e diferenças da PA6 e seus compósitos.	60
Tabela 4.6 – Resultados experimentais relativos aos ensaios de tração dos materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.	61
Tabela 4.7 – Resultados experimentais relativos aos valores médios da tensão máxima e do módulo à tração, desvios padrão, dos materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.	61
Tabela 4.8 – Resultados experimentais relativos aos ensaios de flexão em três pontos dos materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.	63
Tabela 4.9 – Resultados relativos aos valores médios da tensão máx. e do módulo à flexão, desvios padrão, dos materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras de vidro.	64
Tabela 4.10 – Temperaturas de transição vítrea (Tg) da PA6 e dos seus compósitos com fibras curtas.	66
Tabela 5.1 – Dados considerados na análise computacional relativa ao processo de moldação por injeção por canais frios (CF) e canais quentes mais canais frios (CQ + CF).	68
Tabela 5.2 – Temperaturas de processamento e propriedades mecânicas da PA6 + FV30 (Durethan BKV 30 H2.0) consideradas na análise computacional (CoreTech System Co., Ltd., 2013).	70

Tabela 5.3 – Tempos das várias fases do ciclo de moldação obtidos a partir do software Moldex3D R12.0 de canais frios (CF) e do sistema misto (CQ + CF).	70
Tabela 5.4 – Diferentes volumes e massas das duas moldações obtidas por canais frios (CF) e sistema misto (CQ + CF).....	70
Tabela 5.5 – Lista de materiais do molde dos provetes.....	77

Lista de siglas

3DP	Impressão a 3 dimensões;
A. H. A.	Aníbal Henriques Abrantes;
b	Base;
C	Cavilha;
CF	Canal frio;
CQ	Canal quente;
d	Diâmetro do canal;
DMA	Análise mecânica dinâmica;
E	Extrator;
E	Módulo de elasticidade;
E*	Módulo complexo;
E'	Modulus ou módulo da componente em fase;
E''	<i>Loss modulus</i> ou módulo da componente desfasada (módulo de perda);
FDM	Modelação por deposição de fundido;
FV	Fibra de vidro;
h	Altura
I	Momento de inércia;
IJP	Impressão a jato de tinta;
K. O.	Haste da máquina da injeção que aciona a extração do molde;
L	Comprimento;
LOM	Fabricação de objetos por camadas;
m	Massa;
Nit.	Nitruração;
Ø	Diâmetro;
P	Carga aplicada;
P	Parafuso;
PA	Poliamida;
PR	Perno de retorno;
PR	Prototipagem rápida;
SGC	<i>Solid ground curing</i> ;
SLA / SL	Esterolitografia;
SLS	Sinterização seletiva por laser;
T	Temperatura;

t	Tempo/instante;
V	Volume;
Y	Distância à linha neutra;
δ	Ângulo de fase (tan delta);
ε	Extensão;
ρ	Densidade;
σ	Tensão.

Índice

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
Índice de figuras	xi
Índice de tabelas	xvii
Lista de siglas	xix
Índice	xxi
Capítulo 1 Introdução	1
1.1 Enquadramento.....	2
1.2 Objetivos	4
1.3 Estrutura.....	5
Capítulo 2 Estado da Arte	7
2.1 Materiais plásticos	8
2.1.1 Materiais compósitos de matriz polimérica.....	8
2.2 Moldes e processos para produção de peças plásticas	10
2.2.1 Termoformação.....	10
2.2.2 Rotomoldação.....	12
2.2.3 Moldação por sopro	12
2.2.4 Moldação por compressão.....	13
2.2.5 Moldação por transferência	15
2.3 Moldação por injeção	16
2.4 Moldes para injeção e sua normalização.....	19
2.4.1 Estrutura e componentes	19
2.4.2 Marcação de peças	23
2.4.3 Normalização das arestas, cantos e aberturas para separação das chapas e calços da estrutura	24
2.6 Materiais para moldes	25
2.6.1 Materiais para moldes de injeção.....	25
2.6.2 Seleção de aços	26
2.7 Sistemas de alimentação e escape de gases.....	28
2.7.1 Sistemas de alimentação com canais frios.....	28

2.7.2	Sistemas de alimentação com canais isolados	32
2.7.3	Sistemas de canais quentes	33
2.7.4	Sistema de escape de gases.....	36
2.8	Sistema refrigeração e controlo de temperatura das zonas moldantes	39
2.9	Sistema de extração	42
2.10	Prototipagem rápida.....	43
2.10.1	Classificação dos processos.....	43
2.10.2	Processos de fabrico.....	44
Capítulo 3 Materiais e procedimentos experimentais		47
3.1	Materiais processados por injeção	48
3.2	Processamento dos materiais por injeção.....	48
3.3	Caracterização mecânica e física dos materiais processados por injeção	50
3.3.1	Determinação da densidade dos materiais processados	50
3.3.2	Ensaio à tração: determinação da resistência mecânica e do módulo	52
3.3.3	Ensaio à flexão em 3 pontos: determinação da resistência mecânica e do módulo à flexão	53
3.3.4	Análise mecânica dinâmica: determinação do módulo versus temperatura e da temperatura de transição vítrea	55
Capítulo 4 Apresentação e discussão dos resultados.....		57
4.1	Poliamida 6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.....	58
4.1.1	Valores de densidade dos diferentes materiais processados por injeção.....	58
4.1.2	Resultados obtidos nos ensaios mecânicos de tração dos materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro	60
4.1.3	Resultados obtidos nos ensaios mecânicos de flexão em três pontos dos materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.....	62
4.1.4	Análise mecânica dinâmica: determinação das curvas de variação do módulo em a temperatura e determinação de Tg.....	65
Capítulo 5 Casos de estudo		67
5.1	Caso de estudo 1: molde de provetes para a realização de ensaios de tração e de flexão	68
5.1.1	Simulação computacional.....	68
5.1.2	O molde para processamento de provetes	75
5.2	Caso de estudo 2: conceção e desenvolvimento de um porta-chaves	80
Capítulo 6 Conclusão		87
6.1	Conclusões	88

6.2	Trabalhos futuros.....	89
	Referências bibliográficas.....	91
	Anexos	97
Anexo A	Propriedades e parâmetros de processamento de materiais plásticos.....	98
Anexo B	Ficha de especificações da PA6 + FV0.....	101
Anexo C	Ficha de especificações da PA6 + FV15	102
Anexo D	Ficha de especificações da PA6 + FV30.....	103
Anexo E	Ficha de especificações da PA6 + FV60.....	106
Anexo F	Densidade da água em função da temperatura.....	109
Anexo G	Ficha de especificações da máquina de injeção Euro Inj Série D-080 da Lien Yu..	110
Anexo H	Componentes do moldes dos provetes	111

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Capítulo 1 Introdução

1.1 Enquadramento

A indústria Portuguesa de Moldes tem vindo a revelar-se uma área de negócios interessante e em expansão, com desafios na área do desenvolvimento e conceção de novos produtos e recurso a novas tecnologias de fabrico. Esta indústria, no passado, dedicava-se exclusivamente ao projeto e produção de moldes, sem acrescentar valor significativo aos moldes fabricados. Hoje, com as exigências atuais do mercado, é necessário projetar e fabricar o molde, mais importante, desenvolver e concretizar a ideia de produto que o cliente pretende comercializar. Assim, as empresas de moldes devem evoluir no sentido de terem equipas multidisciplinares nas áreas do desenvolvimento e design, engenharia, marketing, sem esquecer o *know how* acumulado com a experiência de projeto e de fabrico de moldes de injeção (Faustino, 2014).

O *cluster* relativo ao fabrico e comercialização de moldes da Marinha Grande/Leiria tem um papel importante em termos económicos, sociais e de ensino na região. Tudo começou com os irmãos Aires Roque e Aníbal Henriques Abrantes que iniciaram o fabrico de moldes para vidro e plástico na indústria local, Marinha Grande. A necessidade de combustível para a indústria vidreira, fez com que a região da Marinha Grande fosse eleita como destino da fábrica de vidros de Coima, que até então estava sediada em Lisboa (1741) (Barata, 2014).

Até ao princípio da década 20, os moldes utilizados no fabrico de peças em vidro, na Marinha Grande, eram fabricados em Lisboa, Figueira da Foz e no estrangeiro. Em 1922, Aires Roque vem de Lisboa para trabalhar na Nacional Fábrica de Vidros e, em 1924, o administrador da Nacional Fábrica de Vidros, Acácio Calazans Duarte propôs a Roque fabricar os moldes que até ai eram produzidos no estrangeiro (Barata, 2014). Mais tarde (1929), Aires Roque fundou uma empresa (Aires Roque & Irmão) com Aníbal Henrique Abrantes, para o fabrico de moldes para vidro (Barata, 2014).

Mais tarde, com o desenvolvimento das tecnologias e do *know how*, surgiu em Leiria a primeira fábrica de plásticos (Nobre & Silva, 1935), em que Aníbal H. Abrantes (A. H. A.) foi contactado para fabricar moldes para o fabrico de plásticos. Só, após o fim da II guerra mundial (1946), devido ao potencial dos plásticos, A. H. A. Dedicou-se exclusivamente ao fabrico de moldes para plásticos. É de notar, que Portugal foi durante sete anos o único país a fabricar moldes para o processamento de plásticos. Em 1953, foi inaugurada a empresa de moldes com o nome do seu fundador, Aníbal H. Abrantes. Este foi responsável pela introdução de muitos materiais/produtos de origem plástica em Portugal, como pentes, tampas para garrafas, embalagens, brinquedos e artigos domésticos. A empresa de moldes, Aníbal H. Abrantes, foi considerada por muitas pessoas, a escola de moldes em Portugal, uma vez que, muitos dos seus antigos colaboradores são hoje proprietários de muitas empresas da região de Leiria e da Marinha Grande. Na Figura 1.1 pode-se observar a seção de fresagem da empresa A. H. A. com tecnologia existentes nos anos 70 (Barata, 2014; Matos, 2013).

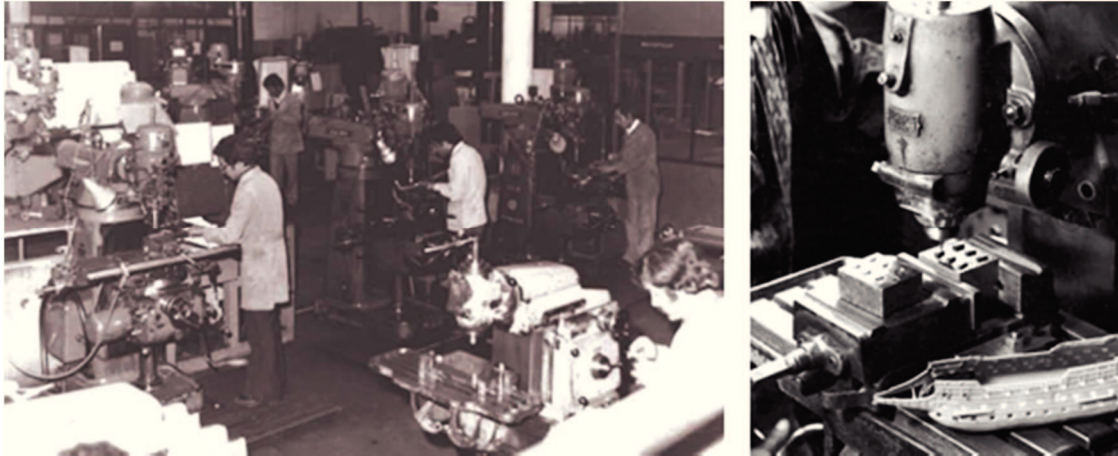


Figura 1.1 – Seção de fresagem da fábrica Aníbal H. Abrantes, referenciada à década 1970 (Barata, 2014).

Por forma a registar e partilhar informações relativas ao projeto e fabrico de moldes foram realizados congressos (Figura 1.2) que marcaram de forma muito significativa o conhecimento tecnológico relativo à produção de moldes.

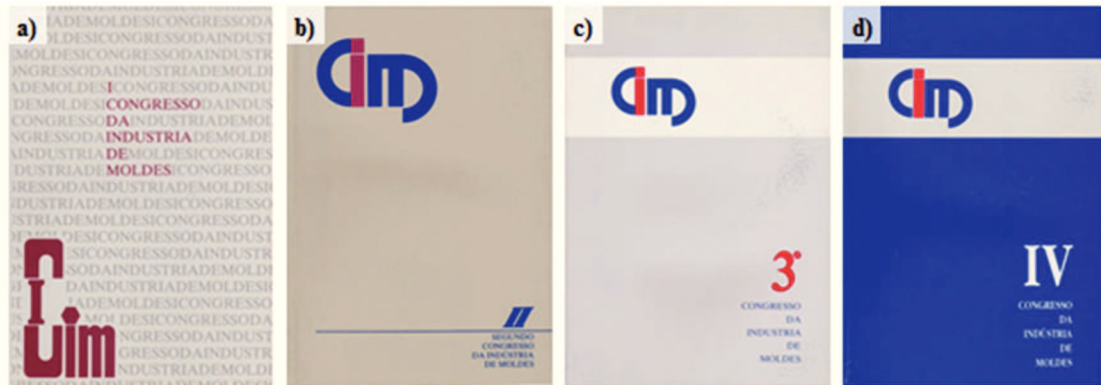


Figura 1.2 – Capas dos livros dos primeiros 4 congressos da indústria de moldes: a) I congresso; b) II congresso; c) III congresso; d) IV congresso (Cefamol, 1985; Cefamol, 1987; Cefamol, 1989; Cefamol, 1993).

O fabrico e o processamento de moldes é uma área extremamente exigente em termos de conhecimento científico, técnico, desenvolvimento de produto e conhecimento de mercados. A caracterização dos materiais processados por injeção com e sem reforço, em termos das suas propriedades físicas e mecânicas, são áreas de estudo importantes e atuais que podem condicionar o projeto de moldes. O conhecimento técnico de fabrico de moldes é, naturalmente, uma área extremamente relevante no projeto e produção de moldes. É referir a importância dos *softwares* de modelação, análise estrutural e análises reológicas no projeto atual de moldes. Como já referido, o *know how* acumulado com a experiência de projeto, maquinação (processos convencionais e não convencionais), acabamento de superfícies, injeção (ensaios), montagem e ajustamento, é extremamente relevante no sucesso do molde de injeção.

No presente trabalho de dissertação são abordados alguns conceitos relativos ao projeto e fabrico de molde, sistemas de alimentação (canais frios e canais quentes) processamento e caracterização de materiais com e sem reforço.

1.2 Objetivos

O fabrico de moldes utilizados no processamento de termoplásticos por injeção é uma área tecnológica extremamente importante no fabrico de componentes plásticos e de peças técnicas para as várias indústrias. As peças plásticas processadas, com geometrias simples ou complexas, podem ser obtidas a partir de um único material termoplástico ou através da conjugação de vários materiais com sistemas de alimentação mais ou menos complexos. Uma seleção correta do sistema de alimentação bem como um bom projeto e seleção dos materiais, a utilizar no fabrico do molde pode representar ganhos significativos de produção, com peças com boa qualidade. Consequentemente, neste trabalho de dissertação foram estabelecidos os seguintes objetivos:

- Analisar os diferentes tipos de moldes, sistemas de alimentação, critérios utilizados no projeto de moldes e processamento por injeção: estado da arte;
- Casos de estudo:
 - Projetar e fabricar um molde para o processamento de provetes para caracterização de materiais em tração e em flexão;
 - Desenvolver um porta-chaves para as jornadas MECDP 2014 e projetar zonas moldantes para o fabrico deste produto por injeção;
 - Realizar estudos computacionais relativos aos sistemas de alimentação considerados no projeto do molde dos provetes;
- Processar e caracterizar em termos físicos e mecânicos materiais termoplásticos com diferentes frações em peso de fibra de vidro.

1.3 Estrutura

O presente trabalho de dissertação está dividido em seis Capítulos. No primeiro Capítulo é introduzido o tema deste trabalho e são apresentados os principais objetivos.

No segundo Capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica relativa aos vários tipos de moldes para o processamento de plásticos, materiais termoplásticos (e compósitos), materiais utilizados no fabrico de moldes de injeção (aços e ligas), procedimentos gerais utilizados no projeto, sistemas de alimentação em moldes de injeção (canais frios e canais quentes) e técnicas de fabrico rápido de protótipos e moldes.

O terceiro Capítulo diz respeito aos materiais processados e aos equipamentos e procedimentos experimentais considerados na caracterização física.

No quarto Capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios descritos no Capítulo 3. Neste estudo é analisado o comportamento mecânico da poliamida 6 (PA6) e compósitos de matriz PA6 com as várias frações mássicas de fibra de vidro processados por injeção.

O quinto Capítulo refere-se a dois casos de estudo realizados. No primeiro caso, é apresentado o projeto e fabrico de um molde de provetes para caraterização de materiais a processar. É, também, realizado um estudo de simulação do processo de injeção em termos de enchimento, compactação, refrigeração e análise de empenos nas moldações obtidas pelo *software Moldex3D*. No segundo caso de estudo, é apresentado a conceção e desenvolvimento de um simples porta-chaves (jornadas MECDP 2014), em termos de conceito, produção de protótipos e ainda a sua produção industrial (fabrico por injeção).

No sexto Capítulo são apresentadas as conclusões deste trabalho de dissertação, bem como os trabalhos futuros.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Capítulo 2 Estado da Arte

2.1 Materiais plásticos

Os termoplásticos são os materiais mais utilizados no processamento de plásticos (cerca de 70 % dos plásticos processados). Os produtos plásticos mais utilizados são: filmes, perfis, embalagens, utensílios domésticos, cablagens elétricas, componentes para eletrodomésticos, tampas, brinquedos, componentes para automóveis (Belofsky, 1995; Simth, 1998).

Os plásticos podem ser classificados como materiais termoplásticos, termoendurecíveis e elastômeros. Os plásticos (termoplásticos e termoendurecíveis) e elastômeros são os nomes dados a polímeros orgânicos sintéticos produzidos a partir de compostos orgânicos de baixo peso molecular, chamados de monómeros (por exemplo: etileno, estireno, cloreto de vinil). A produção dos plásticos e elastômeros pode mesmo ser baseada em substâncias macromoleculares naturais (por exemplo: borracha natural, celulose, proteínas). Naturalmente, os plásticos possuem características diferentes, que têm influência no processamento. Na Figura 2.1 é apresentada uma classificação geral dos materiais poliméricos (Michaeli, et al., 2001).

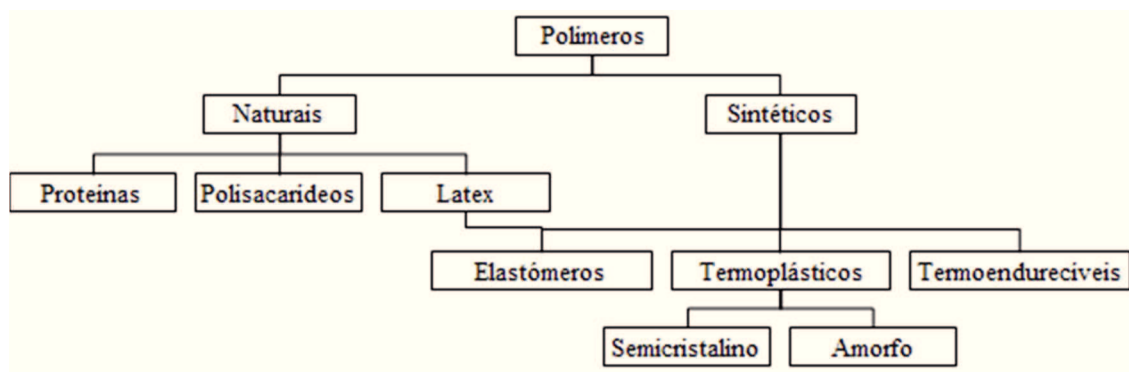


Figura 2.1 – Classificação geral dos polímeros (Michaeli, et al., 2001; Davim, 1998).

Os termoplásticos (*thermos* = quente, *plasso* = forma, deformável) podem ser reprocessados, sem perda significativa das suas propriedades mecânicas e físicas. Os termoplásticos amorfos (*amorph* = sem forma) são semelhantes aos vidros, no que respeita à estrutura molecular. Eles são distinguidos dos termoplásticos semicristalinos, pelo uma vez que estes apresentam um aspeto leitoso e aparência opaca. Quando um plástico é transparente como o vidro, é normalmente seguro assumir que é termoplástico amorfo (Michaeli, et al., 2001).

Os plásticos termoendurecíveis não podem ser reprocessados, dado o tipo de ligações moleculares. As tomadas elétricas são processadas com plásticos termoendurecíveis por compressão. Na Tabela A.1 e na Tabela A.2 do Anexo A, são apresentadas as propriedades e os parâmetros de processamento de materiais plásticos, considerados no projeto de moldes.

2.1.1 Materiais compósitos de matriz polimérica

O desenvolvimento dos materiais compósitos, bem como das técnicas de processamento a eles associados, constituiu um dos mais importantes avanços na história dos materiais. Os compósitos são materiais multifuncionais que possuem propriedades físicas e mecânicas fora do comum, podendo ser moldadas por injeção, de forma a satisfazerem uma determinada aplicação. Muitos compósitos possuem grande resistência a temperatura superior à temperatura ambiente, à

corrosão, à oxidação e ao desgaste. Além disso, os processos de produção de compósitos estão hoje bem adaptados à fabricação de estruturas complexas, o que permite a consolidação das peças com custos de fabricação reduzidos (Capela, 2003).

Atualmente os materiais compósitos são muito utilizados não só na indústria aeroespacial mas também num crescente número de aplicações de Engenharia Mecânica, tais como motores de combustão interna, componentes de máquinas, vasos de pressão, componentes dimensionalmente estáveis, equipamentos industriais de processos que requerem resistência à corrosão a alta temperatura, componentes sujeitos a oxidação e desgaste, estruturas náuticas, equipamentos de esporte e lazer, e aparelhos aplicados em biomedicina (Capela, 2003).

Na Figura 2.2 estão ilustrados os principais tipos de reforço utilizados nos materiais compósitos: a) fibras longas alinhadas; b) fibras descontínuas, *whiskers* (fibras muito curtas); c) partículas; d) numerosas arquiteturas de fibras produzidas por tecnologia têxtil, tais como tecidos e malhas (Capela, 2003).

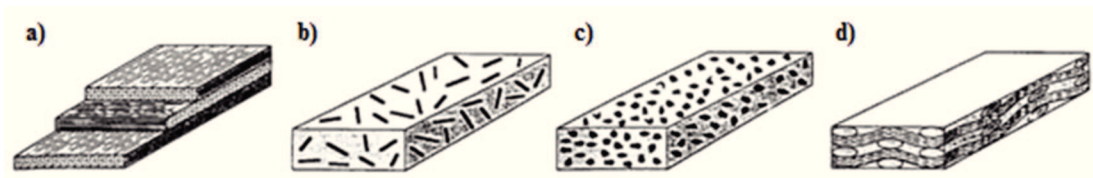


Figura 2.2 – Principais tipos de reforço usados nos materiais compósitos: a) fibras longas; b) fibras curtas, *whiskers*; c) partículas; d) tecidos/malhas (Capela, 2003).

A composição de materiais diferentes pode proporcionar a obtenção de um material com propriedades significativamente melhores. A utilização de fibras como reforço de matrizes poliméricas traduz-se na obtenção de materiais com resistência e rigidez mais elevadas e deste modo podem suportar maiores cargas de serviço. Os materiais de reforço utilizados nestes compósitos são na maior parte dos casos fibras de elevada resistência, rigidez e de diâmetros muito pequenos. São também utilizadas fibras curtas (*whiskers*) e partículas. As fibras curtas e as partículas conferem ao compósito uma menor resistência e rigidez (são usadas com orientações aleatórias), mas podem conduzir a um processo de fabrico mais fácil. Para além das fibras (vidro, carbono, sisal, aramida), pode-se ainda usar cargas minerais (metálicas, talco, microesferas de vidro) (Capela, 2003; Davim, 1998).

As matrizes poliméricas apresentam normalmente valores inferiores de rigidez e resistência do que os materiais de reforço, mas são mais fáceis de moldar. Estas protegem os reforços do meio ambiente e fazem a transferência de carga entre os elementos de reforço. A seleção adequada do material da matriz e do material do reforço permite obter um novo material com boas propriedades físicas e mecânicas e de fácil processamento. As matrizes utilizadas tradicionalmente no fabrico industrial da maioria dos compósitos são de materiais termoendurecíveis. No entanto, o fato destes materiais não serem recicláveis bem como algumas limitações destes materiais conduziu nos últimos anos à procura de matrizes termoplásticas com boas propriedades e facilidade de processamento (Capela, 2003).

2.2 Moldes e processos para produção de peças plásticas

Os materiais plásticos podem ser enformados com ferramentas próprias a condições de pressão e de temperatura específicas. O tipo de processo de produção de componentes plásticos e ferramenta considerada é condicionado pelo material plástico (termoplástico, termoendurecível ou elastômero), qualidade do produto final e função do componente processado (Sors, et al., 1981).

Para o processamento de plásticos, existem diversos processos que permitem dar forma aos materiais plásticos, como: moldação por compressão; moldação por transferência; moldação por injeção; extrusão; moldação por insuflação (ou por sopro); rotomoldação; termoformação (Sors, et al., 1981).

No processamento de um dado produto é, necessário, combinar vários processos de forma a otimizar o processo produtivo de um ou vários componentes desse produto (Sors, et al., 1981)

2.2.1 Termoformação

A termoformação consiste no aquecimento de uma folha de termoplástico e na sua deformação por vácuo e, podendo ser assistida mecanicamente. Em seguida é arrefecida no molde para manter a forma e os detalhes do elemento moldante e só depois é extraída. Os produtos termoformados são, em geral, embalagens, louças, copos, componentes para automóveis e embalagens genéricas (blister) (Harper, 2006; Bralla, 1998).

Dentro deste processo de termoformação existem algumas variantes, que dependem essencialmente do tipo ferramenta utilizada e da forma como é aplicada força sobre o filme de material termoplástico, para ajudar a sua deformação: termoformação com fêmea (Figura 2.3) ou com macho (Figura 2.4) assistido por vácuo; termoformação por dupla folha (Figura 2.5); termoformação por pressão (Figura 2.6); termoformação mecânica (Figura 2.7) (Harper, 2006; Bralla, 1998).

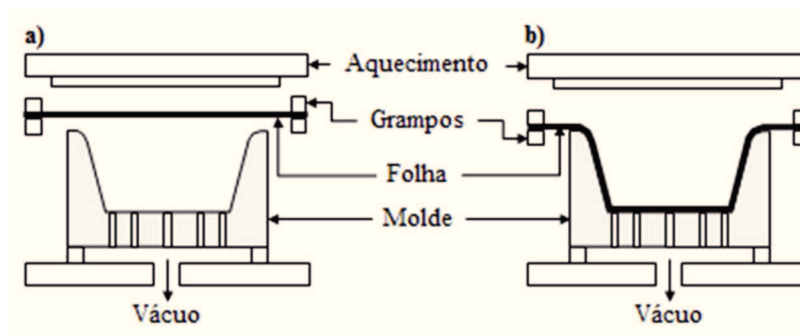


Figura 2.3 – Termoformação com fêmea assistido por vácuo (Harper, 2006; Bralla, 1998).

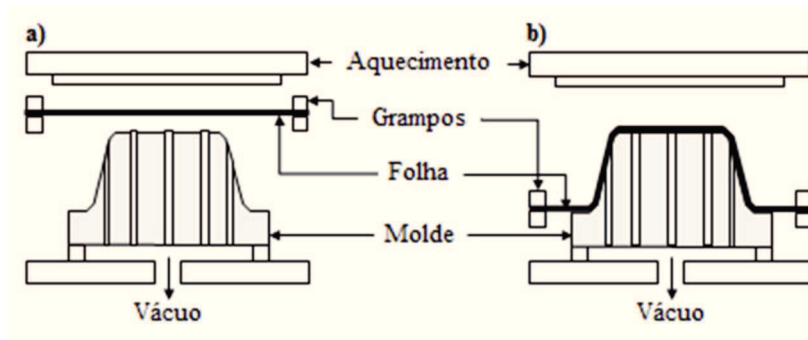


Figura 2.4 – Termoformação com macho assistido por vácuo (Harper, 2006; Bralla, 1998).

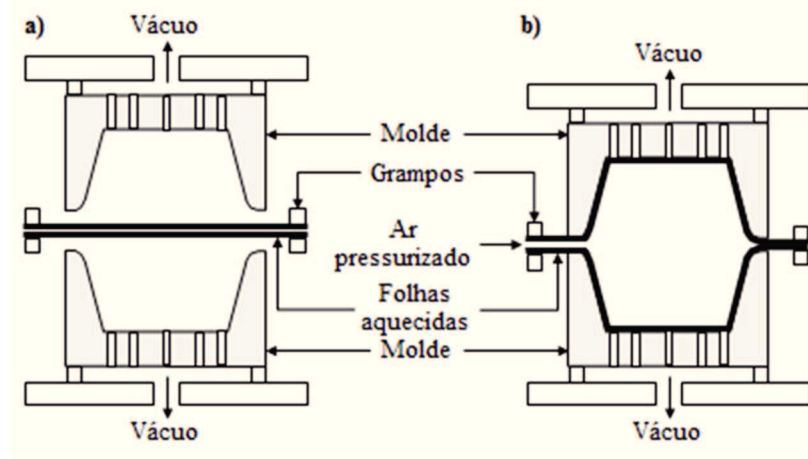


Figura 2.5 – Termoformação por dupla folha de material termoplástico (Harper, 2006; Bralla, 1998).

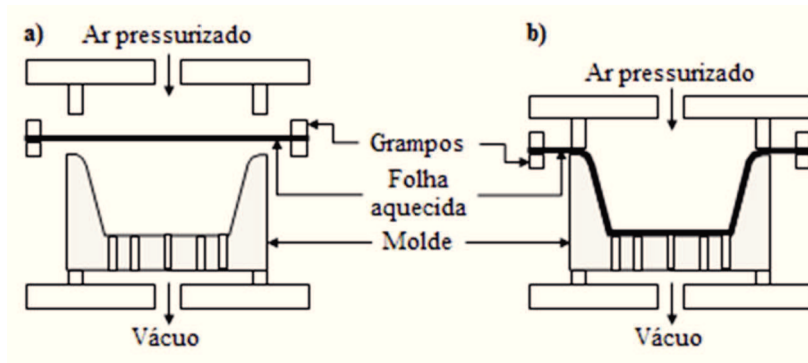


Figura 2.6 – Termoformação por pressão da folha termoplástica (Harper, 2006; Bralla, 1998).

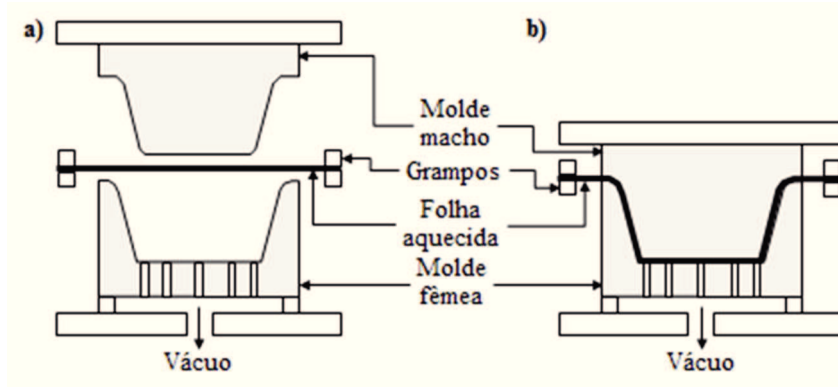


Figura 2.7 – Termoformação mecânica de folha termoplástica (Harper, 2006; Bralla, 1998).

2.2.2 Rotomoldação

A moldação rotacional, rotomoldação, é um processo utilizado na obtenção de peças ocas sem aplicação de outro processo em simultâneo. Os produtos obtidos são totalmente encapsulados e, são utilizados em peças de grandes dimensões, como por exemplo, caixotes de lixo e ecopontos. A peça é obtida pela rotação do molde completamente fechado e por ação de calor. Os materiais utilizados neste processo são materiais termoplásticos em pó. Este processo de rotomoldação é constituído por quatro etapas (Pisanu, et al., 2008; Kutz, 2011):

- 1) **Carga/carregamento**, Figura 2.8 a): o plástico em pó é colocado dentro do molde oco que é fechado;
- 2) **Aquecimento e rotação**, Figura 2.8 b): o molde é colocado num forno em rotação biaxial para assim garantir o aquecimento uniforme no interior do molde; quando o material plástico alcançar a temperatura de amolecimento, este começa a aderir às paredes internas do molde;
- 3) **Arrefecimento e rotação**, Figura 2.8 c): com o molde ainda em rotação, este é retirado do forno para começar a arrefecer; este pode ser realizado à temperatura ambiente, ou sob a ação ar sobre pressão; o controlo do arrefecimento é importante porque influencia as propriedades e a existência de empenos da peça;
- 4) **Desmoldação**, Figura 2.8 d): após o arrefecimento do molde e da peça, a rotação biaxial termina, para poder ser desmoldada a peça do molde.

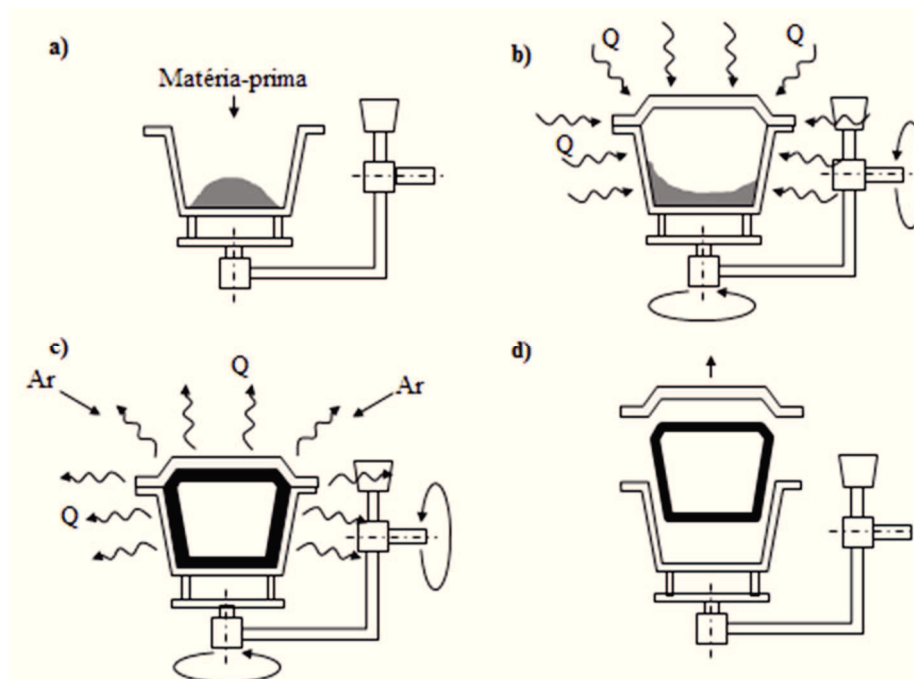


Figura 2.8 – Etapas do processo de rotomoldação (Pisanu, et al., 2008; Kutz, 2011).

2.2.3 Moldação por sopro

A moldação por sopro é um processo que permite a obtenção de peças ocas. Este processo é utilizado sobretudo pela indústria das embalagens, fabrico de garrafas de

refrigerantes em PET, garrações, embalagens para produtos de higiene e depósitos de combustível dos automóveis. Este processo, pode ter varias variantes (Harper, 2006; Rosato, et al., 2003):

Moldação por extrusão-sopro

Este processo envolve a formação de um manga por extrusão, de secção circular e, após o fecho do molde sobre a manga, esta é insuflado por ar comprimido. A injeção de ar faz com que a manga se deforme até obter-se a forma interior das paredes do molde. Após a remoção de calor do molde (processo de refrigeração), a peça plástica é extraída. Na Figura 2.9 pode observar o processo de moldação por extrusão-sopro de forma esquemática (Harper, 2006; Rosato, et al., 2003).

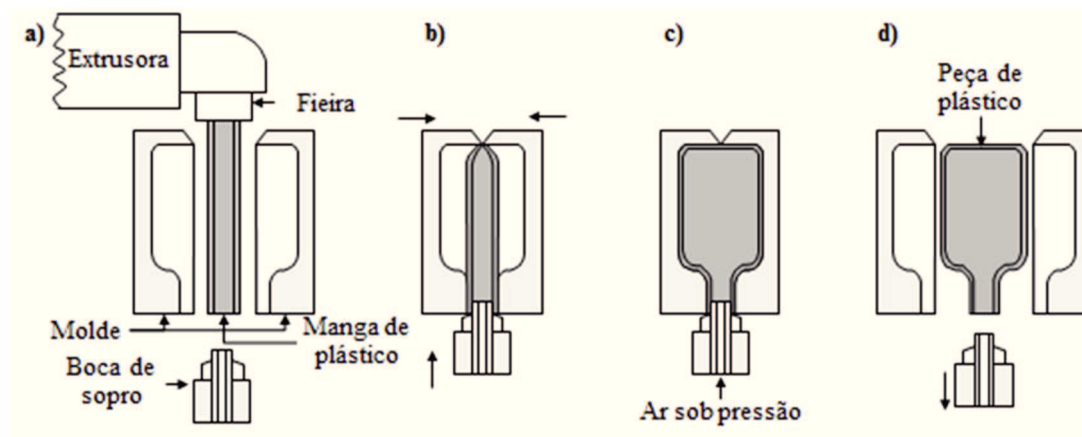


Figura 2.9 – Moldação por extrusão-sopro de materiais termoplásticos (Harper, 2006; Rosato, et al., 2003).

Moldação por injeção-sopro

Neste processo, é utilizada uma pré-forma obtida pelo processo de injeção por moldação, que é aquecida e, posteriormente insuflado ar comprimido (Figura 2.10, no ponto 1) e 2). A moldação por sopro permite, pois, a combinação de processos, tendo como resultado a simplificação do projeto do produto e a consequente redução de custos (Harper, 2006; Rosato, et al., 2003).

2.2.4 Moldação por compressão

A moldação por compressão é um processo para produção de elevadas serie de peças., em material termoendurecível (Kutz, 2011). O material utilizado neste processo é colocado diretamente na cavidade do molde. Este material, depois de ter sido colocado na cavidade é aquecido e sujeito a pressão para conformara a peça ou as peças. As máquinas (prensas) utilizadas no processo de moldação por compressão funcionam, em geral na vertical. O material utilizado no processamento (carga) pode ser em granulado ou uma pré-forma de material

plástico. Em ambos os casos, o tamanho da carga é calculado de modo a minimizar os desperdícios. Normalmente, os desperdícios resultantes deste processo são relativamente baixos, o que é uma vantagem deste processo. O custo do molde, de forma geral, também é baixo, desde que a peça a processar não apresente formas complexas. A baixa taxa de fluxo também é um fator positivo, uma vez que esta situação minimiza o desgaste da ferramenta (Kutz, 2011).

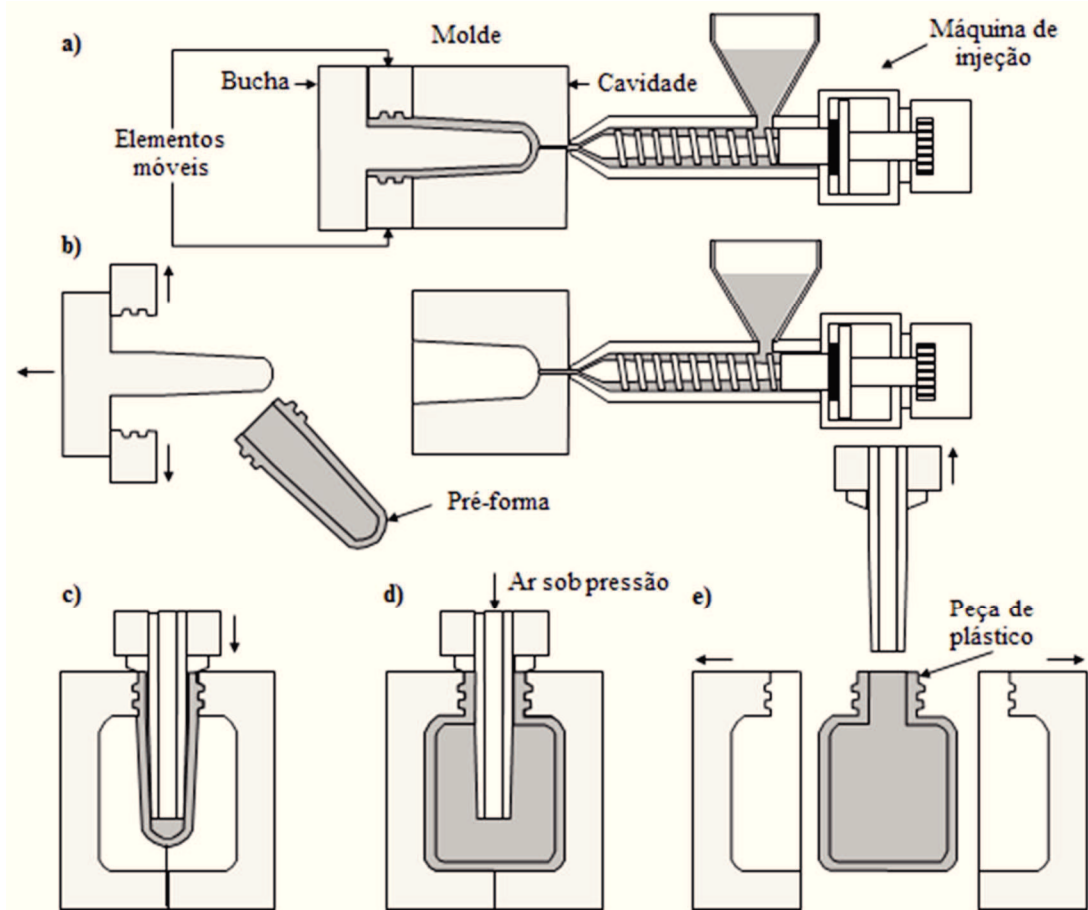


Figura 2.10 – Moldagem por injeção-sopro de materiais termoplásticos (Harper, 2006; Rosato, et al., 2003).

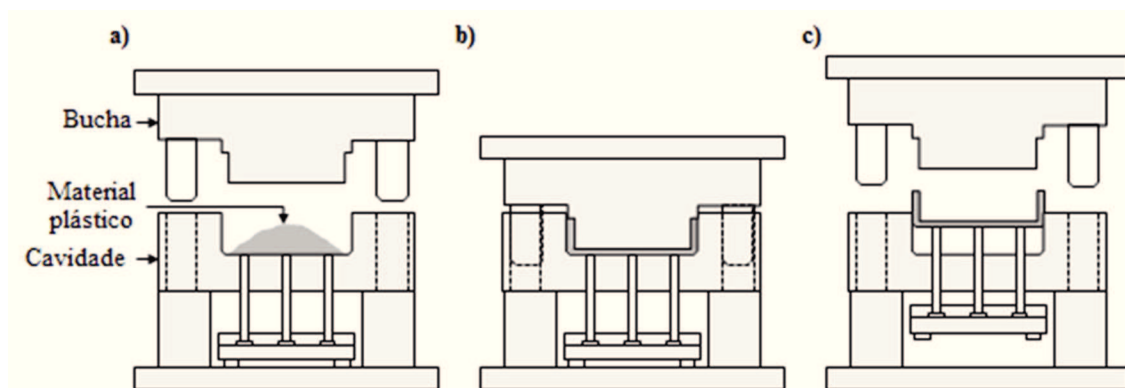


Figura 2.11 – Esquema do processo de moldagem por compressão de materiais termoendurecíveis (Society of Plastic Industry, Inc., 1991).

2.2.5 Moldação por transferência

A moldação por transferência é um processo em que se obtêm peças formadas num molde fechado, com material termoendurecível, que é transportado sobre ação de pressão, num estado plástico (aquecido), de uma câmara até às cavidades moldantes por meio de canais (Society of Plastic Industry, Inc., 1991). Na Figura 2.12 é apresentado esquematicamente o processo de moldação por transferência.

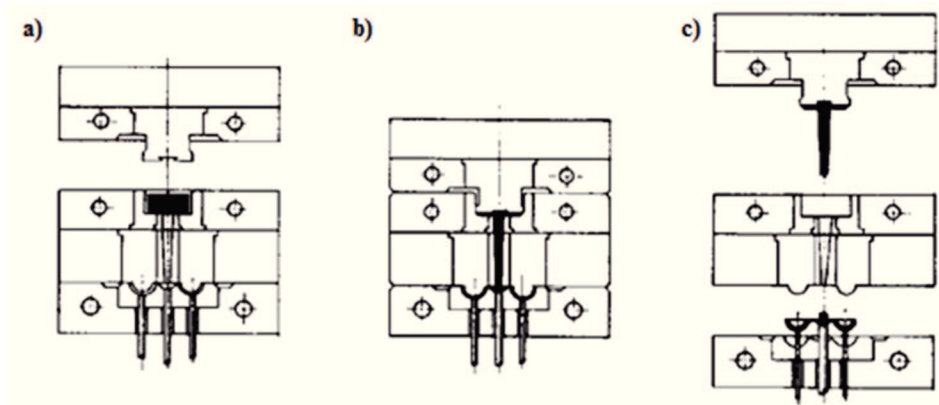


Figura 2.12 – Esquema do processo de moldação por transferência (Society of Plastic Industry, Inc., 1991).

2.3 Moldação por injeção

Atualmente é já possível processar peças por injeção até 20 kg com áreas projetadas de 1 m². Nos últimos anos, o tipo de produtos processados passaram de objetos simples, como brinquedos para objetos mais complexos, como os componentes para indústria eletrônica. Além do aumento da complexidade dos objetos moldados, também surgiram novos materiais, alguns deles com um processamento bastante complexo. Houve naturalmente uma evolução, quer das peças obtidas, quer dos materiais, quer das tecnologias de moldação. O processo de moldação por injeção é um dos processos mais utilizados na transformação e no processamento de materiais plásticos, nomeadamente os termoplásticos. Este pode ser usado para produção de quase todo o tipo de peças plásticas com geometrias bastantes complexas, uma vez que possibilita a produção de moldações com paredes muito finas. As principais vantagens do processo de moldação por injeção são: obtenção do produto final a partir da matéria-prima, sem necessidade de processos intermédios; não é necessário dar acabamento às moldações; processo automatizado; elevada cadência de produção; baixos custos para grandes produções (Menges, et al., 2000; Harada, 2004).

Normalmente a matéria-prima usada neste processo vem sobre a forma de granulado que é colocado na tremonha da máquina de injeção e de seguida é plasticizado pela unidade de plasticização. O ciclo de moldação por injeção é um processo de elevada cadência produtiva. Permite obter moldações recorrendo a dois equipamentos fundamentais (Figura 2.13), a ferramenta de trabalho, designado por molde e a máquina de injeção (Menges, et al., 2000).

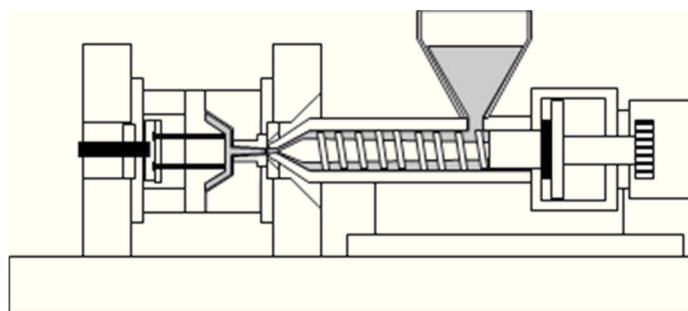


Figura 2.13 – Máquina de injeção com o molde montado.

Cada uma das fases são apresentadas de forma ilustrativa na Figura 2.14 e descrita nos pontos seguintes:

Fase 1: Fecho – O molde fecha rapidamente, mas na aproximação do lado móvel ao lado fixo este move-se de forma a que não danifique qualquer elemento moldante (tais como os movimentos de elementos móveis, pré-aberturas e zonas de ajustamento) (Jones, 2008).

Fase 2: Injeção – O enchimento do molde ocorre em pouco tempo relativamente ao ciclo completo. Na injeção deve-se ter cuidado com as pressões usadas, uma vez grandes pressões de injeção provocam grandes tensões de corte, podendo provocar degradação do material fundido. Ainda pode introduzir tensões no material, dando origem a moldações com grandes empenos e deformações após a extração desta. A pressão de injeção/enchimento ideal deve ser inferior a 100 MPa. A injeção do material decorre do movimento linear do fuso da unidade de plasticização, que injeta o para o interior da cavidade moldante (Goodship, 2004; Jones, 2008).

Fase 3: Pressurização – Nesta fase é aplicada uma 2.^a pressão (ou pressão de compactação) de tal forma a compensar a contração do material injetado. Esta compensação permite obter moldações dentro das especificações e tolerâncias do artigo (Jones, 2008; Harada, et al., 2012).

Fase 4: Plasticização – Nesta fase é processado o material plástico para ser injetado no ciclo seguinte, com o recuo do fuso (Menges, et al., 2000; Jones, 2008; Harada, et al., 2012).

Fase 5: Arrefecimento – Esta fase ocorre após a fase de pressurização (compactação). O tempo de arrefecimento é função do tipo de material injetado, complexidade da geometria da moldação (espessura da peça), sistema de refrigeração considerado e tipo de materiais utilizados no fabrico das zonas moldantes do molde. Esta fase só termina quando a moldação atingir a temperatura de extração, ou seja, quando a moldação reunir condições de ser extraída sem se verificar distorção desta (Jones, 2008; Harada, et al., 2012).

Fase 6: Abertura – Nesta fase dá-se a abertura do molde e esta deve ser realizado com uma velocidade inicial relativamente baixa e, em seguida, pode-se fazer o movimento o mais rápido possível por forma a otimizar o ciclo de moldação (Jones, 2008).

Fase 7: Extração – Nesta fase, o sistema de extração é atuada, com o acionamento hidráulico (maquina de injeção) da haste do K. O., ocorrendo a extraída da peça (Menges, et al., 2000; Harada, et al., 2012).

Fase 8: Pausa – Esta fase corresponde ao tempo entre o fim do ciclo e o início do próximo ciclo. É desejável que este tempo seja nulo (Cunha, et al., 2003).

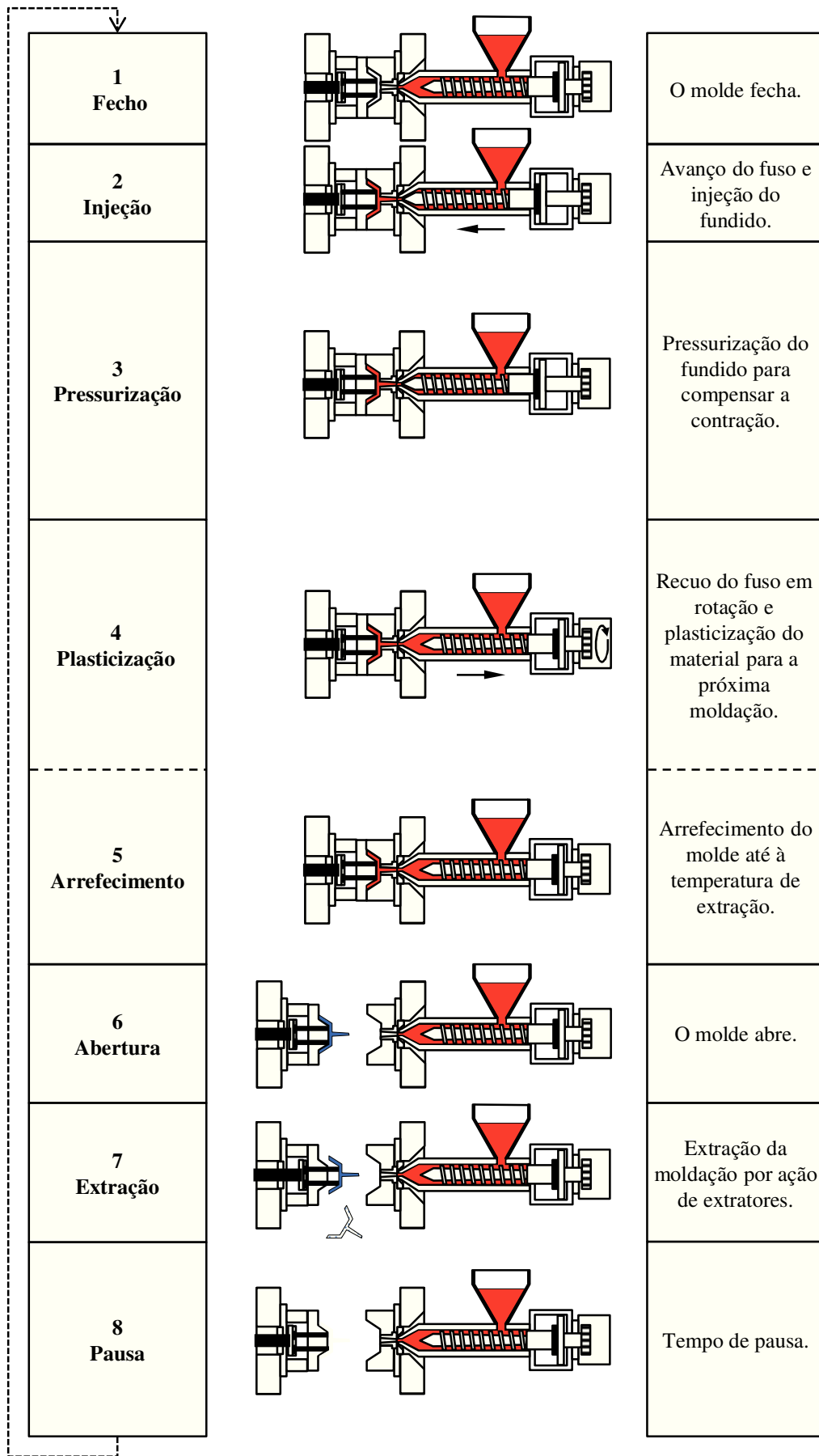


Figura 2.14 – Ciclo de moldação por injeção (Jones, 2008; Cunha, et al., 2003).

2.4 Moldes para injeção e sua normalização

2.4.1 Estrutura e componentes

Os moldes de injeção permitem moldar peças plásticas e são constituídos por diferentes sistemas, nomeadamente, estrutura, zonas e elementos moldantes, sistemas de alimentação (canais frios ou quentes), sistema de extração e acessórios. Consequentemente é importante ter uniformidade nas designações e nas numerações dos diferentes componentes dos vários sistemas mecânicos. Menezes (Menezes, 1985) propôs que esta identificação fosse feita apenas por um número, conforme se pode ver na Tabela 2.1

Tabela 2.1 – Numeração e designação dos componentes dos moldes para plásticos (Menezes, 1985; Cefamol, 2006).

Numeração	Designação	Figura*
0	Barra de transporte	D
1	Chapa de aperto da injeção	B, C, D, E e F
1A	Chapa do carburador/sistema de canais quentes	E
2	Chapa das cavidades	A, B, C e D
3	Chapa das buchas	A, B, C, D e F
4	Chapa de reforço das buchas	B e C
5 e 6	Calço	A, C, D e E
7	Chapa dos extratores	A, C, D e E
8	Chapa de aperto dos extratores	A, B, C, D e E
9	Chapa de aperto da extração	A, B, C, D e E
10	Chapa móvel da injeção	C
11	Chapa extratora	B e F
12 a 15	Suporte	A e D
16	Guia principal	A, B, C, D e F
17 a 19	Guia	-
20 a 22	Guia inclinada	B e F
23 e 24	Guia das chapas extradoras	E
25	Casquilho da guia principal	A e B
26 a 28	Casquilho	B e D
29	Casquilho da guia das chapas extradoras	E
30 e 31	Perno de retorno	D
32	Anel de centragem	A, B, C, D, E e F
33	Injetor principal	A, D, E e F
34	Anel de ajuste do injetor	C
35 a 37	Injetor secundário	D e E
38 a 40	Torpedo	D
41 a 45	Limitador de curso	C
46	Barra de prisão ou granzépio	-
47	Deslizador da barra de prisão	-
48	Travamento da cavidade	E
49	Travamento da bucha	E
50 e 51	Barra de fecho	D
52 a 55	Bloco de encosto	B
56 a 60	Chapa de ajuste	B

Numeração	Designação	Figura*
61 a 65	Barra de deslize	A e B
66 a 69	Barra limite	B
70	Carburador ou distribuidor	E
71	Perno do carburador	E
72 a 74	Espaçador do carburador	E
75	Haste extratora	B e C
76 a 78	Perno de prisão	C
79	Casquilho do perno de prisão	C
80 a 85	Elemento móvel	B
86 a 89	Aro extrator (barra extratora)	F
90 a 94	Separador da injeção (casquilho)	A
95 a 99	Separador da extração (casquilho)	A
100 a 199	Cavidades	A, B, C, D, E e F
100A, 100B, etc.	Postiço das cavidades	E e F
100A-1, 100A-2, etc.	Postiço do postiço das cavidades	-
200 a 299	Buchas	A, B, C e D
200A, 200B, etc.	Postiço das buchas	B
200A-1, 200A-2, etc.	Postiço do postiço das buchas	-
300 a 309	Extrator fixo	C e E
310 a 319	Extrator tubular	C e E
320 a 329	Extrator balancé	A
330 a 339	Ligações de refrigeração	A
340 em diante	Peças não incluídas na presente lista	6
P1, P2, etc.	Parafuso contido na peça 1/2/etc.	-
C1, C2, etc.	Cavilha contida na peça 1/2/etc.	-
E1, E2, etc.	Extrator 1/2/etc.	-
PR1, PR2, etc.	Perno roscado contido na peça 1/2/etc.	-

* A – Figura 2.15; B – Figura 2.16; C – Figura 2.17; D – Figura 2.18; E – Figura 2.19; F – Figura 2.20.

Para os componentes tais como, tampões, records, tacos, botões de encosto, molas, vedantes (o-rings), vedante, cilindros hidráulicos, cilindros pneumáticos, mecanismos de fecho, mecanismos de retorno da extração e motores, podem ser atribuídos as referências acima da numeração 340.

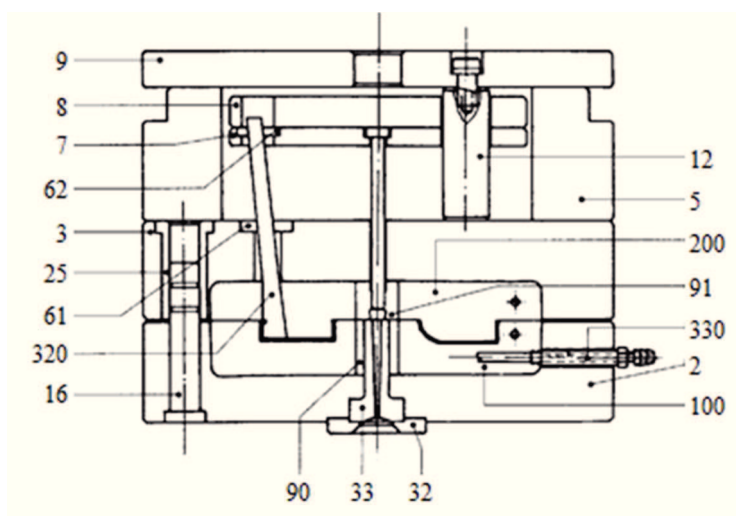


Figura 2.15 – (A) Vista de molde (Menezes, 1985; Cefamol, 2006).

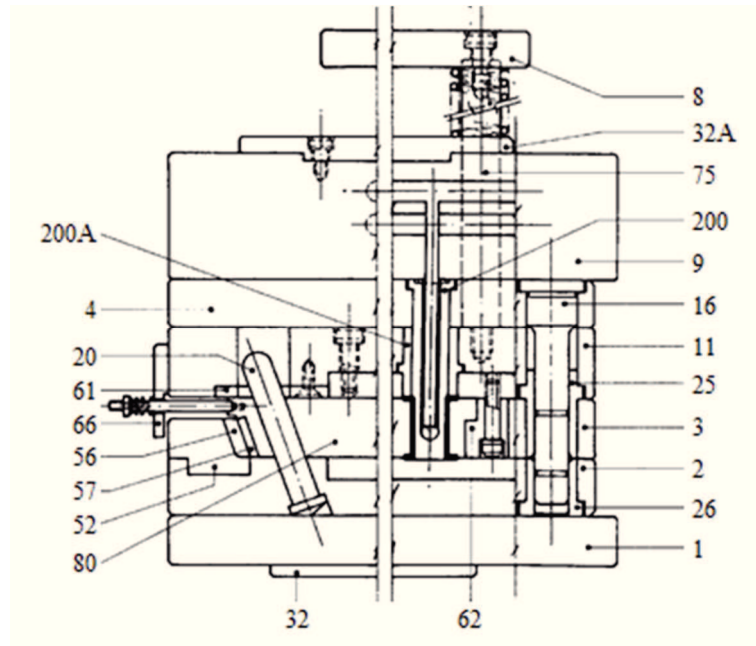


Figura 2.16 – (B) Vista de molde (Menezes, 1985; Cefamol, 2006).

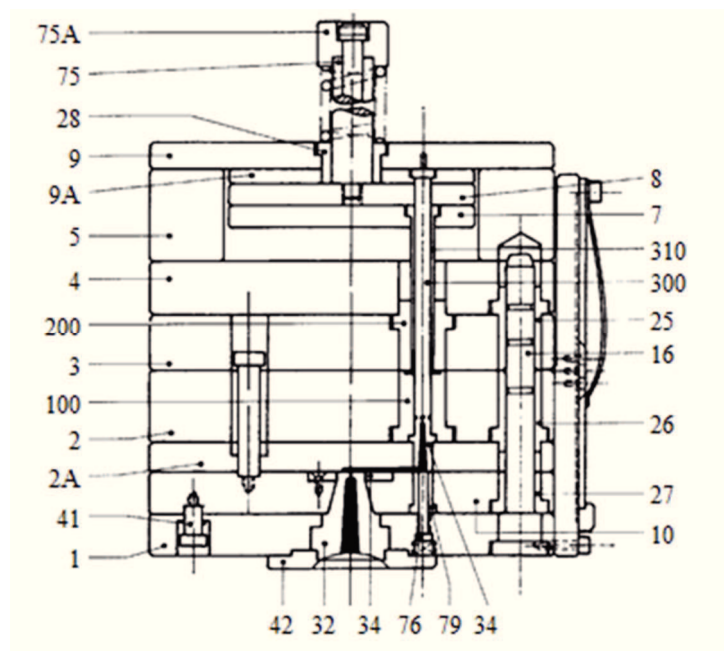


Figura 2.17 – (C) Vista de molde (Menezes, 1985; Cefamol, 2006).

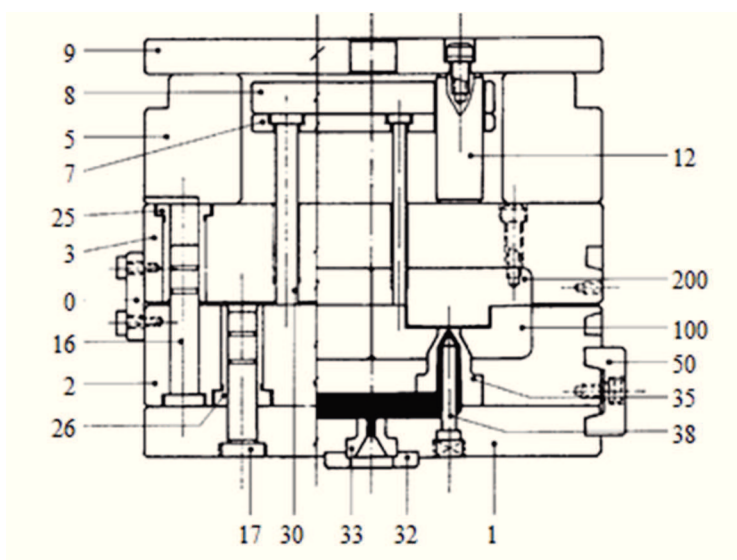


Figura 2.18 – (D) Vista de molde (Menezes, 1985; Cefamol, 2006).

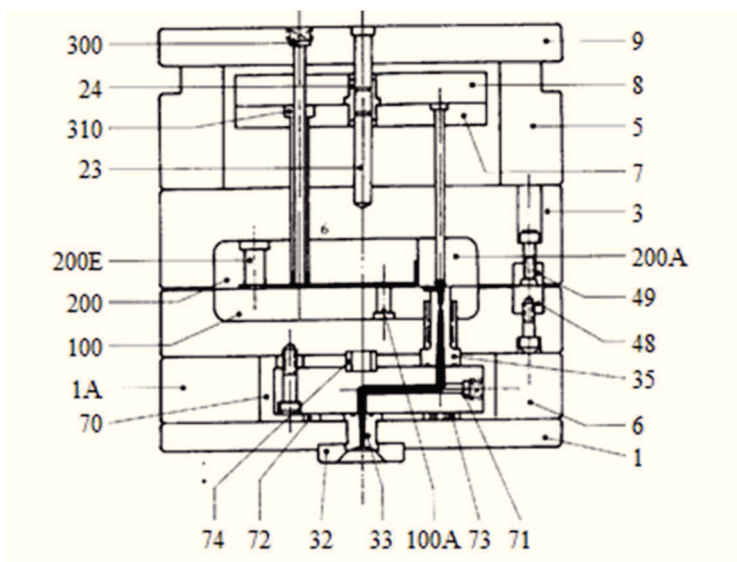


Figura 2.19 – (E) Vista de molde (Menezes, 1985; Cefamol, 2006).

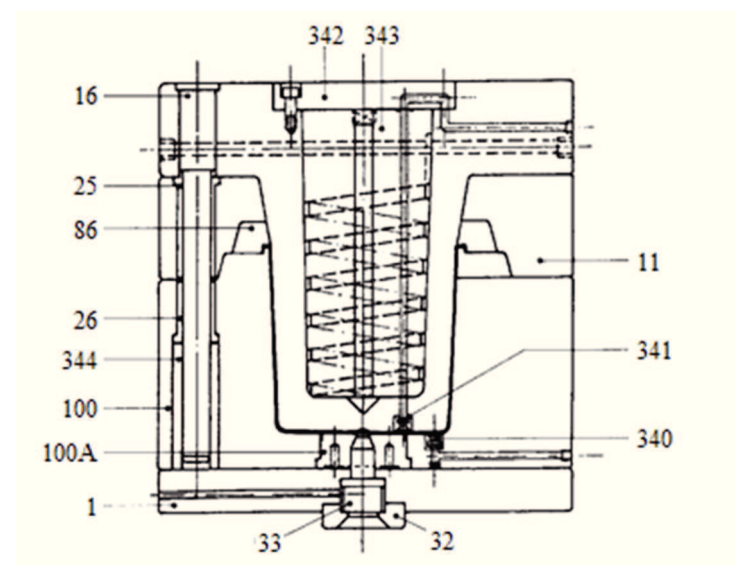


Figura 2.20 – (F) Vista de molde (Menezes, 1985; Cefamol, 2006).

2.4.2 Marcação de peças

Todos os componentes mecânicos do molde devem ser identificados de tal forma que seja mais fácil o seu fabrico, a sua operação e sua manutenção. Em termos gerais, a identificação de um componente é feita da seguinte forma (Menezes, 1985):

- Número da peça (de acordo com a normalização da designação de componentes, por exemplo: 009 ou 9);
- Especificação do material (número DIN, por exemplo: 1.1730);
- Número do molde (normalmente constituído por quatro algarismos, por exemplo: 1245).

A identificação do componente, normalmente é realizada após a primeira operação de maquinação. O rasgo para a identificação do componente deve ser maquinação numa zona que não interfira com operações posteriores maquinação, assim como zonas/faces funcionais do componente. De seguida são apresentados os tipos de rasgos mais usuais para a marcação de peças (Menezes, 1985):

- Peças com secção transversal retangular (Figura 2.21);

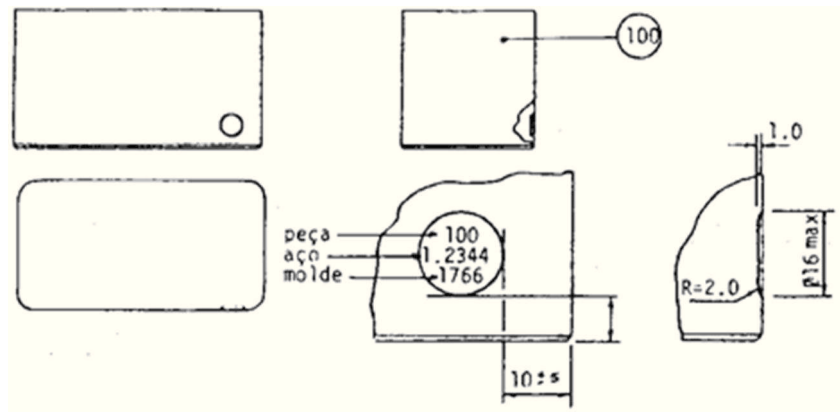


Figura 2.21 – Rasgo para marcação numa peça paralelepédica (Menezes, 1985).

- Peças com secção transversal circular (Figura 2.22);

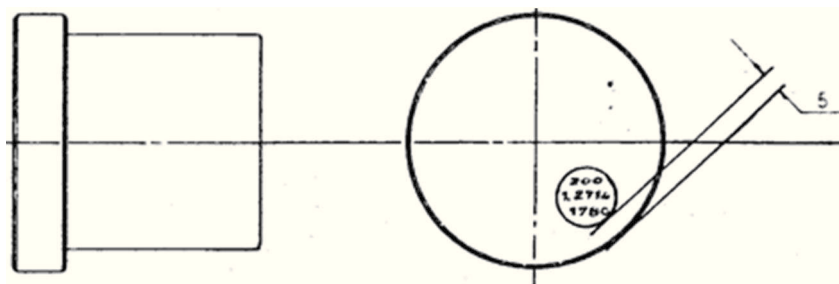


Figura 2.22 – Rasgo de marcação numa peça de secção circular (Menezes, 1985).

- Estrutura (chapas 1, 1A, 2, 3, 4, 7, 8 e 9, calços 5 e 6);

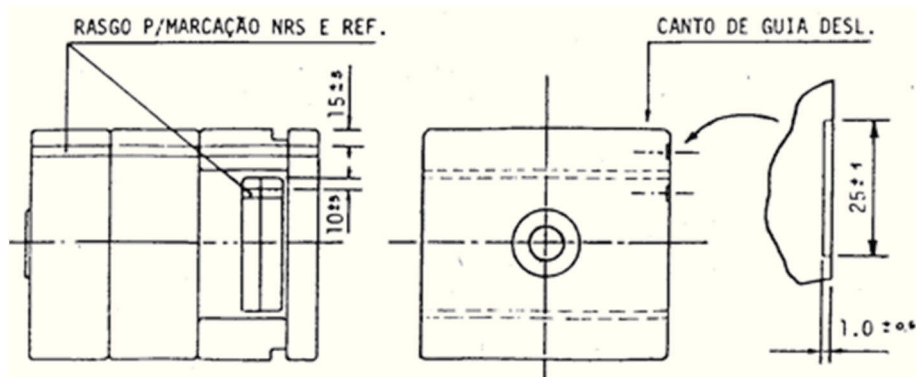


Figura 2.23 – Esquema de marcação das chapas da estrutura de um molde (Menezes, 1985).

2.4.3 Normalização das arestas, cantos e aberturas para separação das chapas e calços da estrutura

A chapa que se encontra em contacto com uma outra deve ter uma abertura para ser possível utilizar uma chave de fendas por forma a poder separar as duas chapas. Na Figura 2.24 a) pode-se observar a geometria e as variáveis a considerar na maquinação do rasgo. Na Tabela 2.2 são apresentados os valores relativos às dimensões dos rasgos. Em todas as chapas da estrutura do molde devem ser quebradas as arestas e cantos, de forma a evitar eventuais danos.

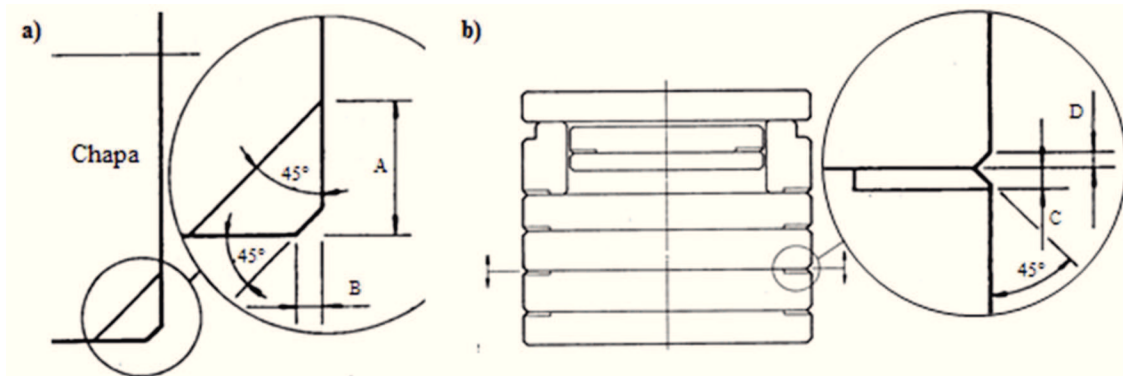


Figura 2.24 – Geometria e dimensões dos rasgos a maquinar nas chapas da estrutura do molde: a) Rasgos; b) Chanfro (Eusébio, 1985).

Tabela 2.2 – Dimensões das arestas, cantos e rasgos (Eusébio, 1985).

Dimensão da estrutura	Dimensões [mm]			
	A	B	C	D
Com comprimento, largura ou diâmetro inferior ou igual a 300 mm	21	4	3	2
Com comprimento, largura ou diâmetro superior a 300 mm	26	6	4	3

2.6 Materiais para moldes

Os moldes de injeção de plásticos são ferramentas para a produção de peças para as diferentes áreas e indústrias. A seleção de materiais para moldes é extremamente importante pois uma adequada seleção pode permitir um bom desempenho do molde, com tempos de ciclo de moldação relativamente baixos e vidas mais longas. Naturalmente, uma correta seleção de materiais pode apresentar custos mais elevados de fabrico do molde mas, pode obter melhores resultados em termos de qualidade e tempos de produção dos produtos moldados (Capela, et al., 2008).

2.6.1 Materiais para moldes de injeção

Os aços utilizados no fabrico de moldes para injeção de plásticos são, em geral, de três tipos: aços de construção, aços pré-tratados e aços de têmpera. Em algumas situações, nas zonas moldantes ou elementos moldantes, podem ser utilizados ligas de alta condutividade térmica por forma a se ter menores tempos de refrigeração e, conseqüentemente, menor tempo de ciclo de moldação. Para além das propriedades intrínsecas a cada material, pode-se aplicar tratamentos térmicos e superficiais, que melhoram as suas propriedades mecânicas. Existem ainda, outros tipos de tratamentos aplicáveis aos componentes mecânicos de um molde, como os revestimentos, niquelagem e a deposição física de vapor (Capela, et al., 2008).

Os aços utilizados para ferramentas em geral são os indicados na Figura 2.25.

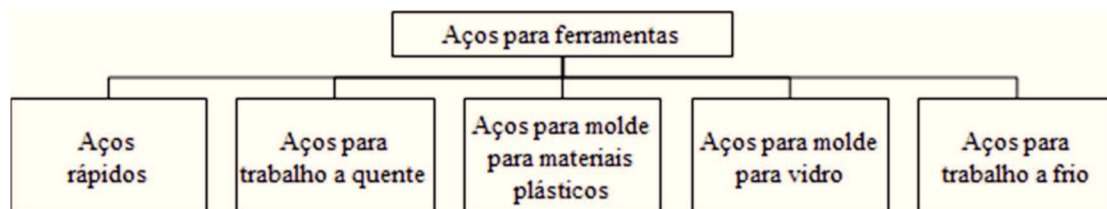


Figura 2.25 – Classificação geral dos aços para ferramentas (Soares, 2009).

Aços construção

Estes aços são utilizados, em geral, na construção mecânica. São normalmente utilizados no fabrico das estruturas dos moldes de injeção. Podem, também, ser utilizados no fabrico de zonas moldantes quando se pretendem obter pequenas séries de peças de pequena complexidade.

Aços pré-tratados

Os aços pré-tratados são utilizados no fabrico de zonas e elementos moldante de séries médias de peças técnicas. A maquinação (desbaste e fresado acabado) destes aços tem custos mais baixos que a maquinação de aços de têmpera, pelo são mais utilizados os aços de têmpera. Estes apresentam valores de dureza entre os 30 e 40 HRC (Capela, et al., 2008; Soares, 2009)

Aços de têmpera

Os aços para têmpera apresentam maior dureza e excelente resistência ao desgaste após o tratamento térmico de têmpera que os aços pré-tratados. Estes aços são utilizados quando se pretendem ter elevadas produções de peças plásticas. Apresentam, relativamente aos aços pré-tratados algumas desvantagens: custos com os tratamentos térmicos (têmpera + revenidos), custos com a maquinação das sobre espessuras consideradas para o pós-tratamento térmico. Estes aços são fornecidos no estado recozido e posteriormente maquinados. Apresentam durezas entre 200 e os 230 HB (durezas aproximadamente inferiores a 21 HRC). Após o tratamento térmico (têmpera + revenido) pode-se obter aços temperados com durezas entre os 50 e os 60 HRC (Capela, et al., 2008; Thyssen Portugal - Aços e Serviços, Lda., 1997; Soares, 2009).

Aços de cementação

Os aços de cementação são utilizados quando se pretende que os componentes mecânicos possuem elevada dureza superficial e resistência mecânica e no núcleo menor dureza e maior tenacidade. Consequentemente, estes aços caracterizam-se por apresentarem uma elevada dureza superficial, boa maquinabilidade abaixo da camada cementada e excelente aptidão para o polimento. O tratamento de cementação deve ser realizado de acordo com os procedimentos adequados de forma a se obter uma boa dureza superficial. Este tipo de aços destina-se essencialmente a moldes de pequenas dimensões, a postigos, casquilhos, cavilhas (Soares, 2009; Thyssen Portugal - Aços e Serviços, Lda., 1997).

2.6.2 Seleção de aços

A seleção de aços para o fabrico de moldes de injeção é uma fase importante a ser considerada no projeto pois uma adequada seleção pode permitir vidas mais longas, bons acabamentos superficiais (polimento das zonas e elementos moldantes), menores tempos de refrigeração e menores tempos de ciclo de moldação (Capela, et al., 2008).

Na seleção dos aços para as zonas moldantes deve-se seguir a seguinte metodologia (Tabela 2.3): aços para zonas moldantes; aços para estrutura; aços e outros materiais para postigos; aços e outros materiais para componentes normalizados.

Tabela 2.3: Seleção de aços para moldes de injeção de peças plásticas (Capela, et al., 2008; Granja, et al., 2010).

Tipos de matérias plásticas	Termoplásticos				Termoendurecíveis		
	Aplicações gerais	Plásticos de engenharia	Reforçados	Ignição retardada	Plásticos cloro-vinil e fluorados	Aplicações gerais	Reforçados
Propriedades das matérias plásticas		Abrasivos	Fibra de vidro Pós metálicos muito abrasivos	Geração de gases corrosivos		Abrasivo	Fibra de vidro Pós metálicos muito abrasivos
Propriedades requeridas para os moldes	Moldes simples Baixa tenacidade	Alta precisão Resistência ao desgaste Alta tenacidade Alta resistência ao desgaste			Alta resistência à corrosão	Resistência ao desgaste Alta tenacidade Alta resistência ao desgaste	
Curto (1 – 30000 ciclos)	1.1191 1.1730	1.2311+ Nit. 1.2738 + Nit. 1.2711 1.2714		1.1191 1.1730 1.2311 1.2738		1.2311+ Nit. 1.2738+ Nit. 1.2711+ Nit. 1.2714+ Nit.	
Médio (30000 – 250000 ciclos)	1.2311 1.2738 + Nit.	1.2311+ Nit. 1.2738 + Nit. 1.2711 1.2714		1.2083 1.2316		1.2711+ Nit. 1.2714+ Nit. 1.2343 1.2344 1.2362	
Longa (> 250000 ciclos)	1.2311 1.2738 + Nit.	1.2711+ Nit. 1.2714+ Nit. 1.2343 1.2344 1.2362		1.2083 1.2316 1.2361		1.2711+ Nit. 1.2714+ Nit. 1.2343+ Nit. 1.2344+ Nit. 1.2362+ Nit.	
Grandes produções (> 500000 ciclos)	1.2311 1.2738 1.2767 1.2721 1.2343 1.2344 1.2709	1.2711+ Nit. 1.2714+ Nit. 1.2343+ Nit. 1.2344+ Nit. 1.2362+ Nit.		1.2083 1.2316 1.2361		1.2711+ Nit. 1.2714+ Nit. 1.2343+ Nit. 1.2344+ Nit. 1.2362+ Nit.	

2.7 Sistemas de alimentação e escape de gases

2.7.1 Sistemas de alimentação com canais frios

No processamento de peças termoplásticas com canais frios (CF), a moldação resultante é naturalmente constituída pelas peças, canais, ataques e jito de alimentação (ver Figura 2.26). Em 2004, aproximadamente 70 % dos moldes eram de canais frios, tendo este valor vindo a ser alterado com o aumento de sistemas canais quentes e mistos. No caso de um molde com uma só cavidade, pode apenas existir necessário um jito, em função do tipo de peça. Um gito aquecido (bico aquecido, canais quentes) é por vezes usado para alimentar um sistema de canais frios. Tipicamente, um molde canais frios de três placas inclui um outro gito que liga o canal frio e a ou as peças moldadas (Beaumont, 2004).

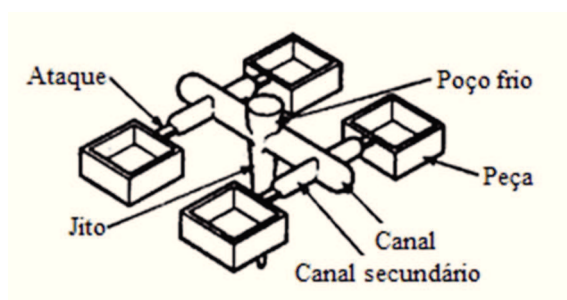


Figura 2.26 – Moldação obtida num molde de canais frios de duas placas (Provenza, 1976).

Os moldes de canais frios são os moldes mais simples e os mais comuns na indústria. É do ponto de vista construtivo mais barato, mais fácil de operar e necessita de menor manutenção do que um molde de sistemas de canais quentes. As mudanças de material e de cor são facilmente executadas pelo sistema de canais e pela peça que são refrigerados e extraídos a cada ciclo, não deixando vestígios do material que se encontrava lá anteriormente (Beaumont, 2004).

Um molde de canais frios pode ter uma linha de partição simples (plano de junta), que abre durante cada ciclo de moldação para ser possível extrair a moldação. No caso de um molde de uma só cavidade, esta está normalmente, centrada com o injetor do sistema de injeção da máquina. No caso de moldes de múltiplas cavidades, os canais são alimentados pelo injetor, que por sua vez levam o material à peça por canais maquinados no plano de junta (Beaumont, 2004).

Jito

No projeto do injetor (que dá origem após o processamento ao jito) deve-se ter em atenção o ângulo de saída do canal do jito do injetor, o tipo de bico utilizado na máquina de injeção e a forma de extração do injetor do molde/máquina (Provenza, 1976).

Em qualquer tipo de molde, deve-se conhecer qual o tipo de bico injeção é que a máquina de injeção tem para, deste modo, poder selecionar o injetor para o molde (frio ou aquecido) com a calote esférica correspondente, Figura 2.27 a), ou de ponta plana, Figura 2.27 b), permitindo assim um bom funcionamento durante o ciclo de moldação (Provenza, 1976).

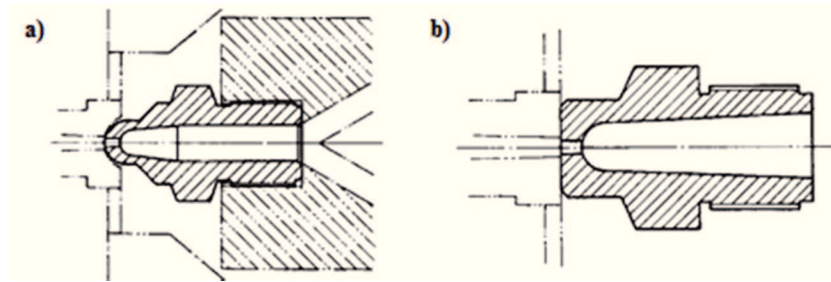


Figura 2.27 – Tipos de bicos utilizados nas máquinas de injeção: a) bico de ponta esférica; b) bico de ponta plana ou chata (Provenza, 1976).

Tipicamente o diâmetro do furo do bico da máquina de injeção é função do material plástico a utilizar e, pode ter valores entre os 3 e os 8 mm. Os bicos mais utilizados na indústria são os bicos de ponta esférica. Na utilização destes, o projetista deve ter em atenção que o diâmetro de entrada do injetor deve ser ligeiramente maior que o diâmetro de saída do bico da máquina de injeção. Na Figura 2.28 pode observar-se a forma correta de utilização de injetores do molde e bicos da máquina de injeção. Uma seleção correta de um bico esférico e de um injetor permitem uma melhor vedação entre os dois componentes (Provenza, 1976).

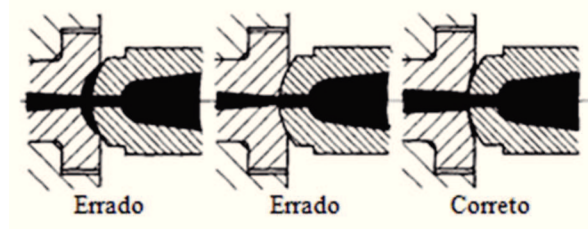


Figura 2.28 – Montagem do injetor do molde e bico da máquina de injeção (Provenza, 1976).

Existem casos em que é necessário utilizar bicos mais compridos, como é caso dos moldes em que existe um sistema de extração do lado da injeção e se pretende eliminar praticamente o jito, ou mesmo não utilizar um injetor. Neste tipo de situações recorrer-se a bicos mais compridos, com aquecimento por resistências elétricas, que permite um melhor controlo da temperatura nesta zona (Provenza, 1976).

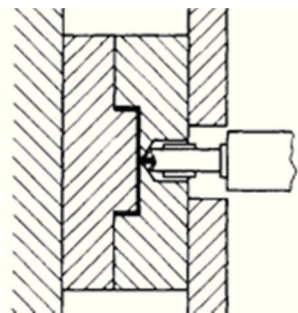


Figura 2.29 – Injeção no molde com bico longo aquecido (Provenza, 1976).

O injetor ao ser preenchido pelo material plástico necessita quando arrefecido de ser extraído para se poder iniciar um novo ciclo.

Na Figura 2.30 são apresentados os vários sistemas de extração do jito, com diferentes sistemas de prisão de jito.

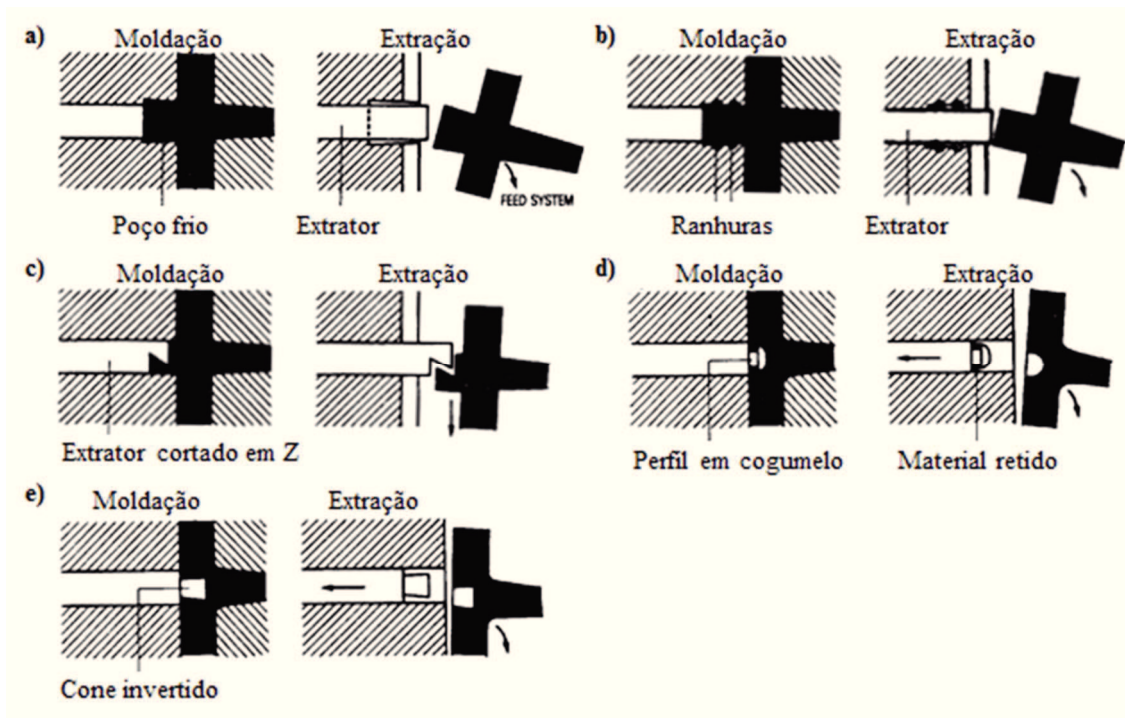


Figura 2.30 – Sistemas de extração do jito (Pye, 1989).

Canais

O injetor alimenta os canais que conduzem o material fundido até às zonas moldantes (Provenza, 1976). Na Figura 2.31 são apresentadas as seções típicas de canais de alimentação.

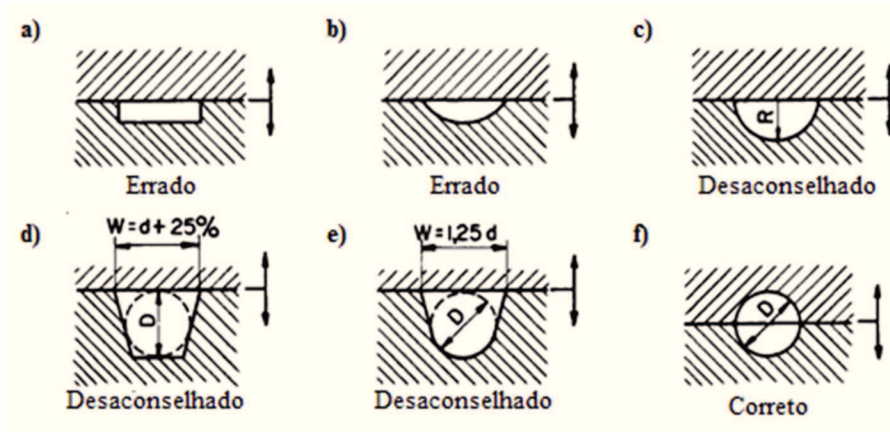


Figura 2.31: Canais típicos usados para a alimentação das cavidades moldantes (Provenza, 1976).

Na Figura 2.32 é apresentado o dimensionamento do poço frio. Este tem como principal função receber a frente de material (Provenza, 1976).

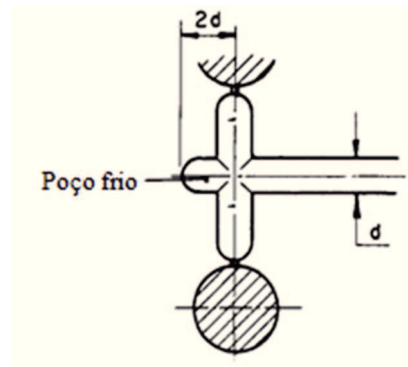


Figura 2.32 – Dimensionamento de um poço frio (Provenza, 1976).

Ao projetar um sistema de alimentação, nos moldes de injeção de duas ou mais cavidades, é importante que todo o sistema de canais de alimentação esteja balanceado e que o material fundido chegue a todas as cavidades ao mesmo tempo (Provenza, 1976). Na Figura 2.33 são apresentadas soluções relativas ao balanceamento de multi-cavidades.

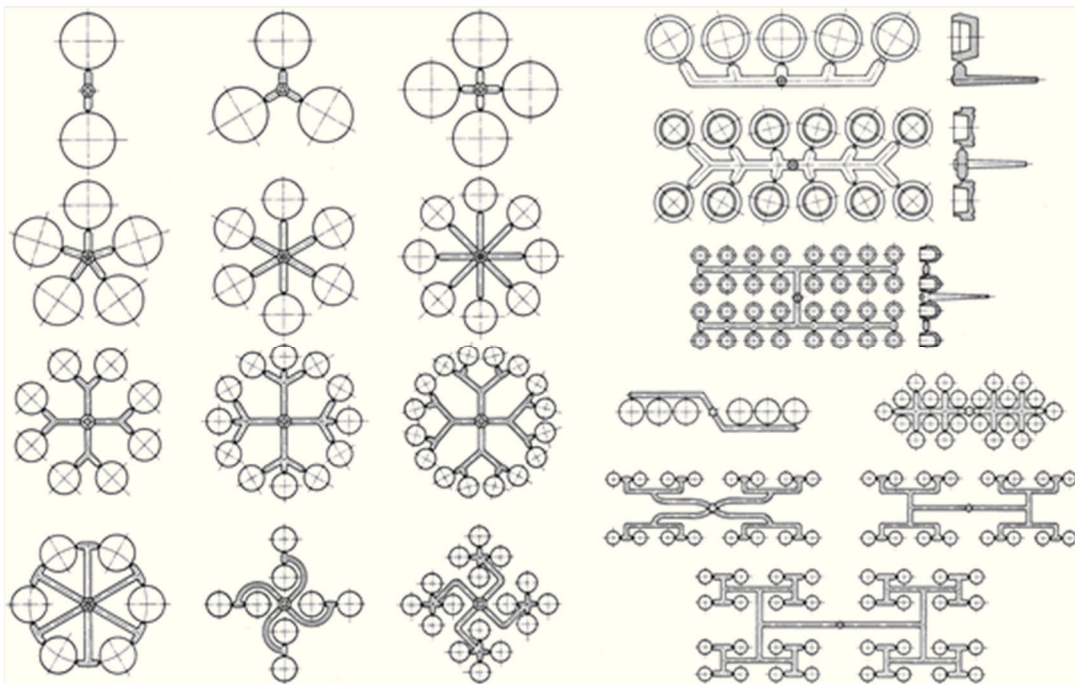


Figura 2.33 – Balanceamento de moldações de multi-cavidades (Provenza, 1976).

Ataques

O dimensionamento dos ataques é realizado de acordo com o tipo de marca que se pretende deixar na moldação, tipo de material que se está a injetar e com a geometria e complexidade da peça moldada. Como tipos de ataques pode-se fazer o ataque direto, em leque, em submarina (para cima ou para baixo) ou em banana (Provenza, 1976). Na Figura 2.34 é apresentado um exemplo de uma injeção em banana.



Figura 2.34 – Injeção em banana de uma peça de plástico (Unger, 2006).

2.7.2 Sistemas de alimentação com canais isolados

Um sistema de canais isolados é aplicado em molde três placas. O sistema de alimentação, ou seja, o canal, está maquinado entre as duas chapas e, tem dois jitos, um do injetor e outro para alimentação da peça. Estes canais normalmente são mais largos que os usados com sistemas de canais quentes. Existem, em geral, dois tipos de canais isolados: os isolados e os semi-isolados (Jones, 2008).

Este tipo de moldes são utilizados, em geral, na produção de grandes séries, pois se existir mudança de material, é necessário desmontar o molde para retirar os canais que solidificaram no seu interior (Jones, 2008).

Canais isolados

Com utilização de temperaturas relativamente altas do lado fixo do molde, consegue-se manter o sistema de alimentação à temperatura de processamento do material entre ciclos de moldação. Quando ocorrer a sua interrupção, este tem de ser desmontado para remoção e limpeza dos canais (Jones, 2008). Na Figura 2.35 é apresentado um sistema de alimentação com canais isolados sem aquecimento.

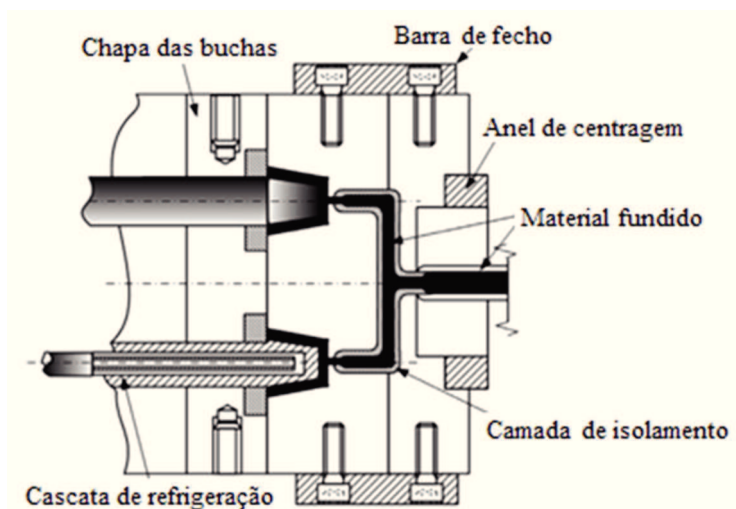


Figura 2.35 – Sistema de alimentação com canais isolados (sem aquecimento) (Jones, 2008).

Canais semi-isolados

Este sistema de canais, também é designado por canais isolados modificados que são em geral utilizados em moldes bico de alfinete. Este tipo de alimentação surgiu como uma melhoria em relação ao sistema de canais isolados, pois havia o problema da solidificação dos canais. Deste modo, colocou-se uma resistência no seu sistema de alimentação (torpedo aquecido) por forma a manter a temperatura do material mais elevada, evitando assim a sua solidificação. Este sistema permite um melhor controlo de temperaturas e uma produção com menos paragens que o sistema anterior (Jones, 2008). Na Figura 2.36 é apresentado um sistema de alimentação de canais semi-isolados.

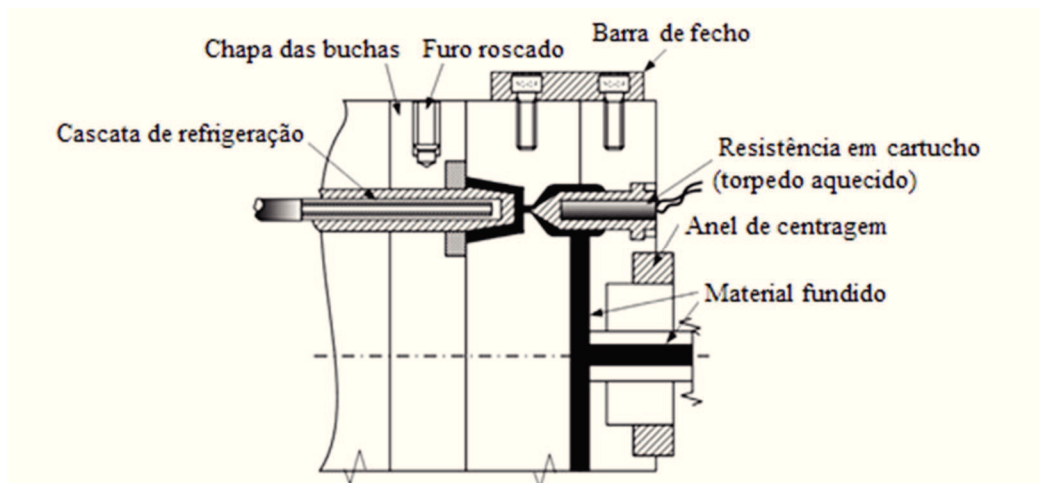


Figura 2.36 – Sistema de alimentação com canais semi-isolados (com aquecimento) (Jones, 2008).

2.7.3 Sistemas de canais quentes

O sistema de canais quentes tem ter um papel importante na injeção de peças técnicas complexas, produção de grandes séries e para o processamento de peças com grandes comprimentos de fluxo. Apesar do custo que envolve estes sistemas de canais quentes, estes podem ser amortizados com o aumento da produtividade, diminuição de custos com materiais a processar, qualidade e capacidade de se obter peças com formas complexas e materiais difíceis de processar (Frenkler, et al., 2001). Na Figura 2.37 são apresentados os sistemas de alimentação utilizados nos moldes de injeção de termoplásticos.

Os sistemas de injeção de canais quentes podem ser caracterizados com o fato de, durante o ciclo de moldação, os canais de alimentação do material plástico estarem nas condições de processamento iguais à do cilindro de plasticização da máquina de injeção. Estes sistemas requerem a existência de meios para aquecer e manter estável a temperatura ao longo de todo o trajeto do fluxo do fundido, desde o cilindro da máquina de injeção até à cavidade do molde. Por outro, no sistema de canais frios, o sistema de alimentação (canais e gito) é extraído em conjunto com a peça (ou peças). O sistema de canais quentes apresenta algumas vantagens que serão abordadas mais à frente (Sousa, 1994).

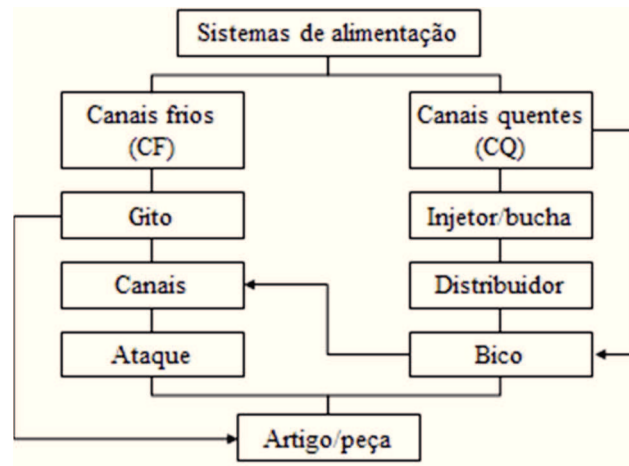


Figura 2.37 – Sistemas de alimentação usados nos moldes de injeção de termoplásticos (Frenkler, et al., 2001).

A utilização de moldes com sistemas de canais quentes remonta ao início dos anos 40, altura em que *E. R. Knowles* patenteou o seu princípio de funcionamento. Contudo, não foi fácil a implementação destes sistemas no mercado, já que o seu custo era relativamente elevado. Estes sistemas inicialmente utilizavam componentes não normalizados e pouco fiáveis. O controlo de temperaturas era, também, deficiente, pois apresentava grandes perdas de calor para o exterior e a qualidade dos componentes plásticos processados não a pretendida, pois não existia uma homogeneidade de temperaturas que permitisse uma estabilização do processo de injeção. Com a evolução da tecnologia de canais quentes ao longo dos anos, foi tornando-se indispensável ao processamento de componentes plásticos de grande complexidade em termos da sua geometria e materiais a utilizar no seu processamento. Esta tecnologia é hoje em dia ferramenta fundamental para quem quer moldar peças de qualidade com custos relativamente baixos. No projeto de sistemas de injeção com canais quentes pode-se considerar três componentes fundamentais (Figura 2.38), que são: distribuidor; bicos; sistema de aquecimento; sistema de controlo de temperaturas (Sousa, 1994; Unger, 2006; Knowles, 1938).

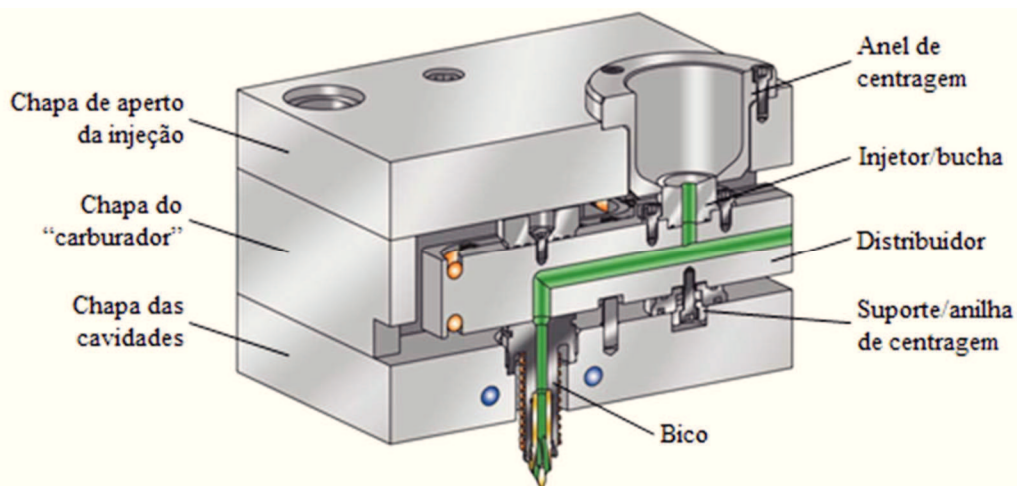


Figura 2.38 – Sistema de injeção com canais quentes sem bicos valvulados (Polimold Industrial S. A., 2004; Cunha, et al., 2003).

O distribuidor e os bicos têm como objetivo transportar o plástico desde o injetor da máquina de injeção até à cavidade do molde. O controlo de temperaturas tem como função assegurar que, ao longo de todo o percurso, se garantem as condições de temperatura ideais para

que o escoamento ocorra às condições processamento da moldação considerada (Sousa, 1994). Na Figura 2.39 é apresentada a estrutura típica de um sistema de canais quentes com bicos valvulados inserido num molde de injeção.

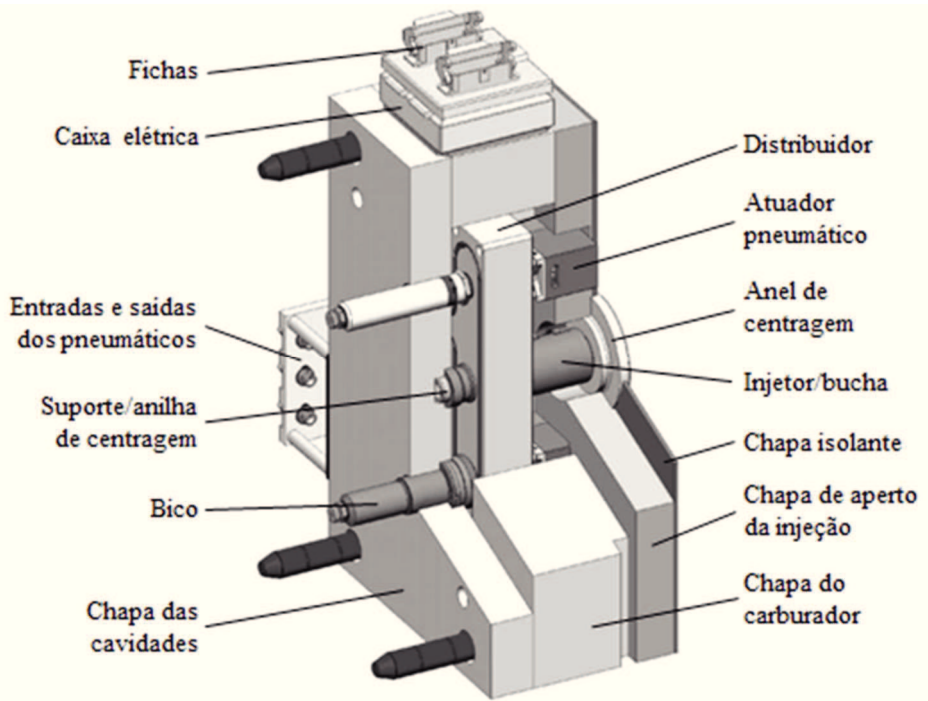


Figura 2.39 – Sistema de canais quentes com bicos valvulados (Polimold Industrial S. A., 2004).

Existe ainda um outro fator extremamente importante a ser considerado que é a montagem do sistema de injeção no molde. Na seleção de um sistema de injeção, para o processamento de um determinado componente plástico, deve-se ter em consideração os seguintes dados: forma e dimensões da peça a processar; material a moldar; número de cavidades; marca na peça relativa à injeção (ataque); frequência prevista para a mudança de cor (Sousa, 1994).

As vantagens e desvantagens dos canais quentes comparativamente com os canais frios são seguintes: tempo de ciclo reduzido; reduzida força de fecho; energia reduzida (plasticização, pressão de enchimento); material à temperatura de fusão/processamento diretamente na cavidade; aumento da capacidade de injeção; reduzida força de fecho; melhor automação; ambiente de trabalho limpo; pressões de injeção reduzidas; eliminação das linhas de soldadura com o recurso a sistemas valvulados; uso de moldes sandwich ou moldes de três placas (Beaumont, 2004).

As principais desvantagens destes sistemas são as seguintes (Beaumont, 2004):

- Exige operadores qualificados, com conhecimentos no processamento de injeção;
- Sensível à solidificação do ataque, à baba do ataque, balanceamento do fluxo e condições do fundido em cada ataque;
- Alto custo do sistema de canais quentes incluindo os controladores elétricos e os controladores hidráulicos ou pneumáticos requeridos pelos sistemas valvulados;
- Tem custo de manutenção dos sistemas de canais quentes e dos controladores;

- Interrupção do ciclo de injeção causado pela solidificação dos ataques danifica os componentes elétricos e derrama material;
- Não apresenta flexibilidade de uma realocização do ataque;
- Alguns materiais não são moldáveis com canais quentes, por exemplo, PVC rígido.

2.7.4 Sistema de escape de gases

Durante o processo de injeção, devem existir zonas por onde o ar existente, nas cavidades, possa escapar para o exterior. Se este ar não escapar para o exterior, este pode ficar incorporado no plástico e/ou aparecerem zonas queimadas, devidas ao fato de este ter sido comprimido, com o fluxo de plástico e ter sido sobreaquecido. As zonas maquinadas no plano de junta do lado da cavidade, para a saída de gases (escape de gases) de um molde injeção, devem ser dimensionadas em função do material e da complexidade da peça plástica a processar. Na Figura 2.40 é apresentado, de forma esquemática o enchimento de uma peça, com e sem escape de gases (Vaz, et al., 1987; Guedes, et al., 1986; Cefamol, 2006).

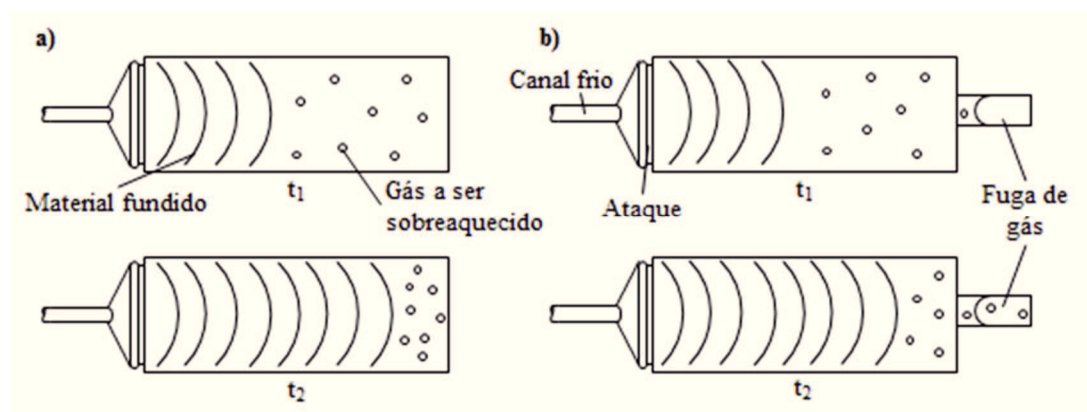


Figura 2.40 – Efeito no enchimento de uma peça sobre o ar que se encontra dentro da cavidade: a) enchimento sem fugas de gases; b) enchimento com fugas de gases (t = tempo).

O ponto ou os pontos de injeção devem ser localizados por forma a minimizar o risco do aprisionamento de ar na cavidade durante o processo de injeção. A localização e o número de espapes de gases devem ser previstos com base na geometria da peça plástica, tipo e fluxo do material a injetar. Os espapes de gases devem ser preferencialmente localizados nas seguintes zonas: plano de junta; nos extratores; nos pernos fixos ou móveis; nos postiços; nas extremidades de paredes de espessura reduzida; nas zonas mais afastadas do ponto de injeção; nas zonas de união de frentes de fluxo/fundido; em zonas de difícil enchimento. É de notar que os escapes de gases realizados em pernos ou postiços podem deixar marcas nas peças plásticas. Assim, deve ser analisado a influência destas na estética da peça. Os escapes de gases podem ser efetuados basicamente de duas formas (Vaz, et al., 1987; Cefamol, 2006):

- Em torno da linha de junta ou de um postição (Figura 2.41);

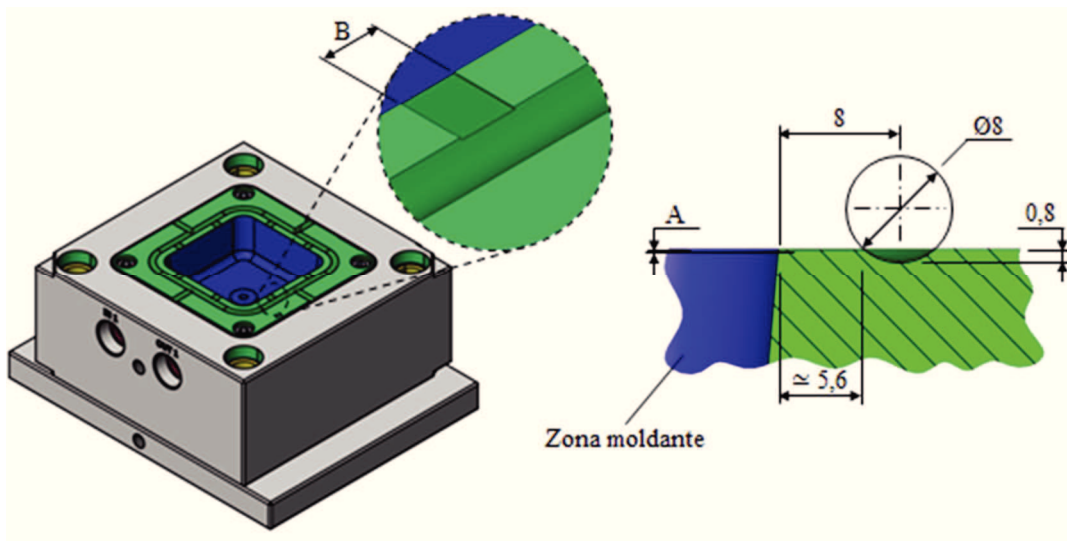


Figura 2.41 – Escapes de gases em torno de uma linha de junta (Cefamol, 2006).

- Em zonas localizadas/pontuais da linha de junta (Figura 2.42).

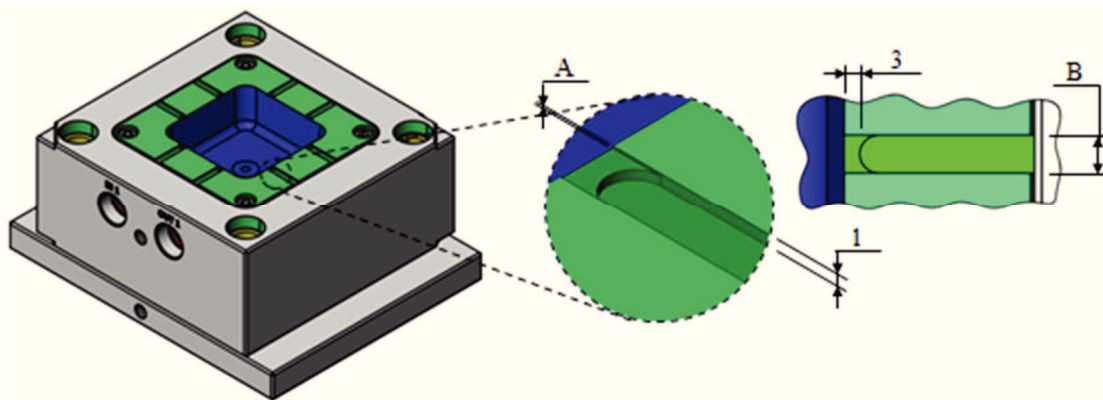


Figura 2.42 – Escape de gases em zonas localizadas (Cefamol, 2006).

Tipicamente, a largura dos rasgos dos escapes de gases (B; Figura 2.41 e Figura 2.42), deve ter pelo menos 4 mm e, o seu comprimento maior ou igual a 3 mm. Na Tabela 2.4 são apresentados os valores das folgas para escape de gases (variável A) indicadas na Figura 2.41 e Figura 2.42.

Como solução alternativa ao escape de gases mais tradicionais, já considerados, pode ser ponderada a colocação de postições moldantes, para assim o ar poder escapar pelas zonas de ajustamento. É de notar que, muitas das vezes, é necessário redirecionar o ar para o exterior por furos maquinados para o efeito.

Tabela 2.4 – Folgas de escapes de gases para os diversos materiais plásticos (Cefamol, 2006; The Dow Chemical Company, 1992; Sabic Innovative Plastics, 2008).

Abreviatura	Material	Folga do escape de gases, A [mm]
PMMA	Polimetilmetacrilato (acrílico)	0,015 a 0,05
PS	Poliestireno (HIPS)	0,015 a 0,038
SAN	Acrilonitrilo estireno	
SB	Butadieno estireno (K Resin)	0,025 a 0,03
PC	Policarbonato	0,038 a 0,076
PEI	Polieterimida	
PEEK	Polieteretercetona	
PPO	Polióxido de fenileno	
TPU	Termoplástico poliuretano	
PA	Poliamida amorfa (nylon amorfo)	
TPEE	Termoplástico poliéster elastómero	
PE	Poliétileno	
PP	Polipropileno	
PA	Poliamida (nylons)	
POM	Poliacetal/Poliximetileno	0,013 a 0,025
PBT/PBTP	Politereftalato de butileno	0,04 a 0,06
PET	Poliétilenotereftalato	
PPS	Polisulfureto de fenileno	
ABS	Acrilonitrilo butadieno estireno	
PVC	Poli cloreto de vinila	0,02 a 0,05
PC + ABS	Policarbonato + ABS	
PC	Policarbonato	

2.8 Sistema refrigeração e controlo de temperatura das zonas moldantes

A capacidade refrigeração e controlo da temperatura de um molde é um fator importante na produção de peças de plásticas técnicas de boa qualidade. A eficácia de um sistema refrigeração e de controlo de temperatura, quer seja através de circuitos de refrigeração, quer através de circuitos de aquecimento, influencia diretamente a qualidade da moldação obtida. Contudo, em alguns materiais plásticos, como os termoplásticos de engenharia (PC, PPO, PMMA, ABS, PA, POM, PBT, ...), a eficiência de um sistema de controlo de temperatura de um molde, tem efeitos significativos na dimensão das peças processadas, nas suas propriedades mecânicas e na minimização das tensões internas das peças de plástico (Dym, 1979).

O projeto de canais de refrigeração de moldes de injeção de termoplásticos é um dos aspetos mais importantes do projeto de um molde e conseqüente ciclo de moldação (a fase de refrigeração corresponde a cerca de 75% do ciclo de moldação). Um sistema de refrigeração mal projetado pode implicar a existência de defeitos visuais, alteração de propriedades físicas e mecânicas das peças de plástico, assim como uma baixa cadência de produção (Agazzi, et al., 2013; Liang, 2002).

Regras gerais

- Todos os circuitos de refrigeração devem ser numerados, de tal forma que sejam identificados. Junto de cada uma das entradas e saídas, deve ser marcado com IN (ou E) ou OUT (ou S) seguido com o número do circuito (exemplo: IN 1, OUT 1, E 1, S 1). É boa prática numerar os circuitos do lado da injeção com o número ímpar, e com o número par do lado da extração. Esta permite a qualquer momento adicionar circuitos sem saltar na numeração e associar qual dos lados pertence o circuito (Neto, 1985).

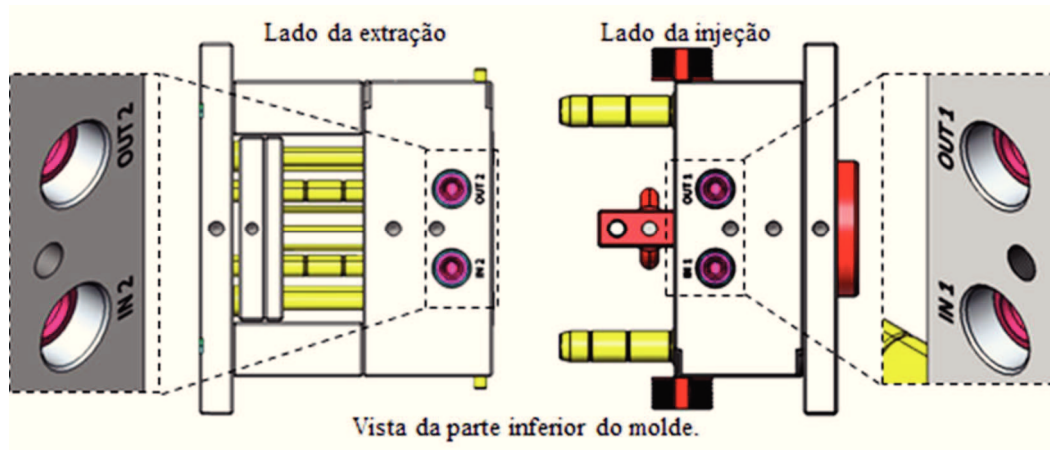


Figura 2.43 – Marcação dos canais de refrigeração num molde de injeção.

- Todos os componentes exteriores ao molde que pertencem ao circuito de refrigeração devem ser normalizados (*standard*) de acordo com um fornecedor de tal forma quando um componente se danifique seja facilmente substituível (Neto, 1985).
- A localização das entradas e das saídas dos circuitos de refrigeração devem ser preferencialmente localizados no lado oposto ao operador (Figura 2.44), ou seja, na

parte de trás da máquina de injeção, uma vez que são lá que se localizam os controladores de temperatura e de caudal. Como segunda alternativa pode-se localizar-se para a parte inferior do molde (Figura 2.44). Deve-se evitar que estas saem para o topo e para o lado do operador. No entanto se saírem para o topo do molde, devem ser projetados uns rasgos de escoamento de fluídos para dos lados do molde, pois, no topo do molde, normalmente localizam-se as fichas elétricas dos sistemas de canais quentes (Neto, 1985).

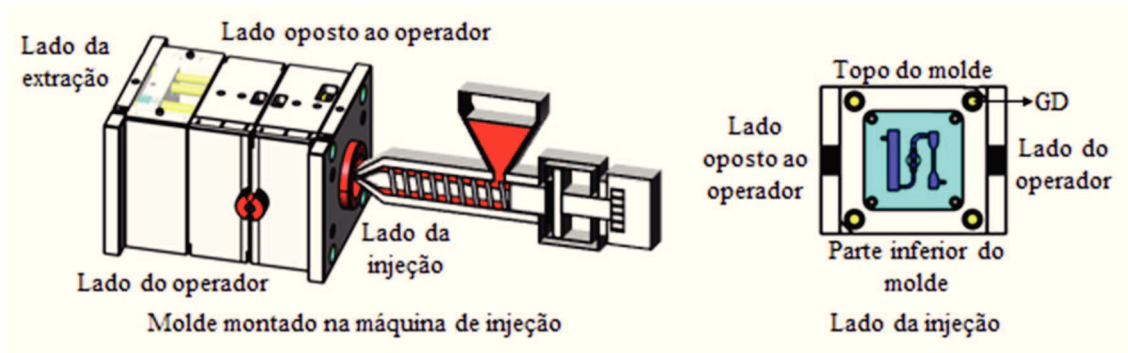


Figura 2.44 – Designação das posições relativas a um molde de injeção.

- O uso de vedantes (*o-rings*), deve ser evitado sempre que possível. O uso destes nas paredes de caixas, podem levar a que o vedante fique entalado e seja assim cortado, perdendo o seu efeito vedação. Sempre que o molde trabalhe a altas temperaturas devem ser usados vedantes *Viton* (*o-rings Viton*) (Neto, 1985).
- Os circuitos de refrigeração devem estar (é aconselhável) a uma distância mínima de 4 mm (d_e) dos extratores e a 15 mm (d_s) das superfícies moldantes ou das faces da chapa que os contenham (Figura 2.45) (Neto, 1985).

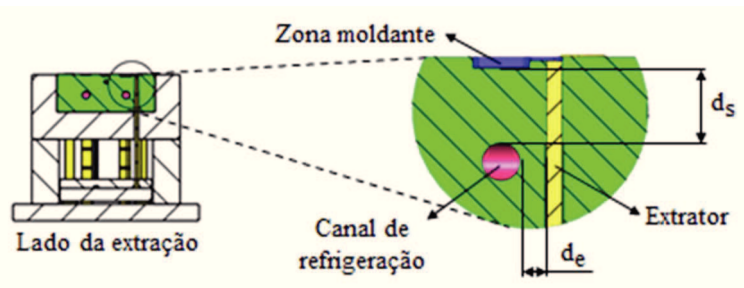


Figura 2.45 – Distância do canal de refrigeração a outros componentes mecânicos.

- As ligações de refrigeração, como engates rápidos (*records*), devem ser preferencialmente alojados em caixas maquinadas, de tal forma que o componente não ultrapasse os limites do molde (Neto, 1985).
- Os circuitos de refrigeração devem estar, preferencialmente, simétricos em relação ao plano de junta, ou seja, á cavidade e simétricos em relação às zonas moldantes (Figura 2.47). Estes circuitos também devem funcionar de forma independente (Figura 2.47) (Neto, 1985).
- A diferença de temperaturas entre líquido de refrigeração na entrada e na saída de um circuito de refrigeração não deve ultrapassar os 5 °C, mas também não deve ser inferior a 3 °C (Figura 2.48) (Technik, 2010; Menges, et al., 2000).

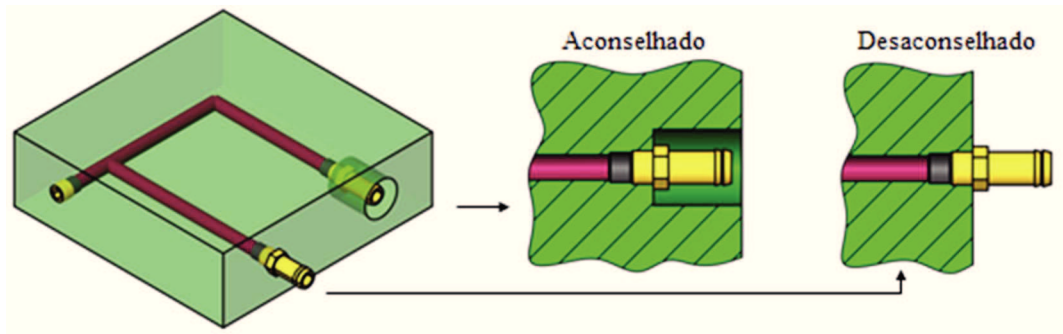


Figura 2.46 – Forma de colocação dos engates rápidos no molde.

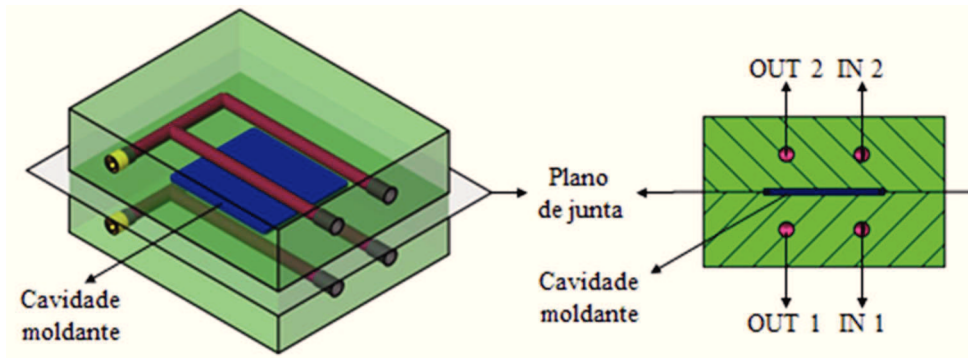


Figura 2.47 – Simetria de circuitos de refrigeração em relação à cavidade.

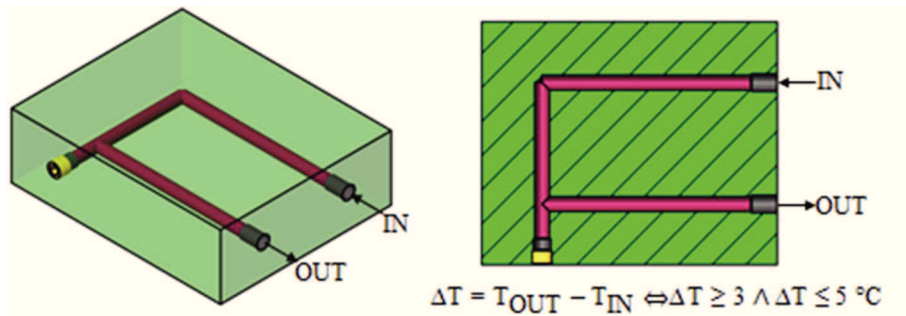


Figura 2.48 – Diferença de temperaturas entre a saída e a entrada.

- Os diâmetros dos canais de refrigeração a maquinar nas zonas moldantes devem ter diâmetros (d) de 10 a 14 mm, a uma distância perpendicular à zona moldante (D , de uma a duas vezes d). A distância entre canais (P) deve ser 3 a 5 vezes o diâmetro dos canais de refrigeração. Na Figura 2.49 pode-se observar esquematicamente uma seção da zona moldante, perpendicular ao sistema de injeção, onde estão indicadas as variáveis d , D e P (Cefamol, 2006).

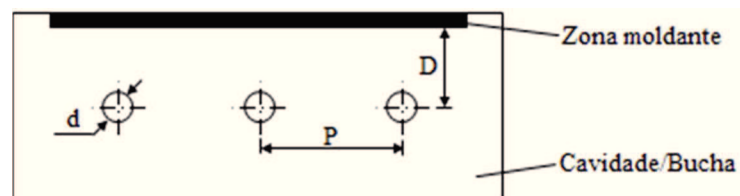


Figura 2.49 – Projeto de canais de refrigeração; d , diâmetro do canal de refrigeração; P , distância entre canais; D , distância do canal à zona moldante (Cefamol, 2006).

- O número de Reynolds num circuito deve estar compreendido entre 10000 e os 20000 Re , para se ter um regime turbulento e a refrigeração ser mais eficaz. O Número de Reynolds obtido é função do diâmetro do canal, da viscosidade do fluido e da taxa de

fluxo (Technik, 2010). Na Figura 2.50 é apresentada da relação da taxa de fluxo de calor com a taxa de fluxo do refrigerante.

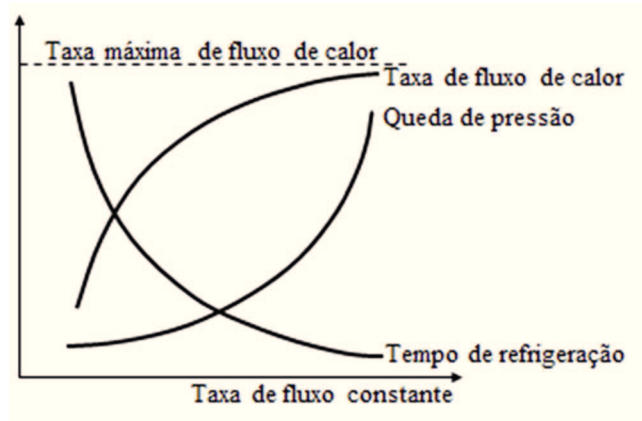


Figura 2.50 – Relação da taxa de fluxo de calor com a taxa de fluxo do refrigerante (Technik, 2010).

Para determinar o número de Reynolds (Re) em canais de refrigeração cuja secção transversal é circular pode utilizar a equação 2.1 (C-Mold, Advanced CAE Technology, Inc., 1999).

$$Re = \frac{\rho \cdot U \cdot d}{\eta} \quad 2.1$$

em que ρ é a densidade do refrigerante, U é a velocidade média do refrigerante, d é o diâmetro do canal de refrigeração e η é viscosidade dinâmica do refrigerante (C-Mold, Advanced CAE Technology, Inc., 1999).

2.9 Sistema de extração

O sistema de extração permite ejetar a moldação da bucha do molde. Este sistema é basicamente constituído por extratores montados entre as chapas 7 e 8 que trabalha na caixa formada pelas chapas 5 e 6. Este sistema é atuado pelo K. O., montado na chapa 8, pelo sistema hidráulico da máquina de injeção. Na fase projeto do molde, deve-se criar condições para que a peça fique do lado da extração (lado móvel da máquina de injeção). Os extratores são, em geral, colocados em zonas da peça de maior resistência em termos de extração e onde se prevê a dificuldade de ejetar a moldação. Devem apresentar o diâmetro maior possível, função da peça a processar. Devem ser guiados (furo maquinados à injeção) em cerca de 20 mm abaixo da superfície da bucha moldante. O ajustamento entre o extrator e o furo (em cerca de 20 mm) deve ser H7 – g6 de forma a não existir rebarba de material plástico. O curso da extração deve ser tal que permita a queda da moldação por ação da gravidade e sem que esta toque em algum elemento do molde (Cefamol, 2006).

2.10 Prototipagem rápida

O elevado consumo de produtos e o reduzido tempo de vida dos mesmos, leva a um aumento da competitividade entre as empresas no desenvolvimento de novos produtos. Este desenvolvimento é, também, acompanhado pela evolução dos processos tecnológicos. O desenvolvimento e produção de novos produtos no menor tempo possível e, a colocação no mercado dos novos produtos é a situação ideal para os consumidores (Ding, et al., 2004; Rosochowski, et al., 2000).

Nos últimos anos, tem-se assistido a um aumento significativo do desenvolvimento e produção de novos produtos em que as tecnologias de prototipagem rápida (PR ou RP, *rapid prototyping*) têm tido um papel determinante. Estas tecnologias permitem obter modelos ou protótipos de novos com custos não muito elevados e, que tem como vantagem a validação do produto em termos mecânico e de *design* (Ding, et al., 2004; Rosochowski, et al., 2000).

É de referir que muitos protótipos obtidos com recurso a tecnologias de PR apresentam propriedades muito semelhantes aos produtos finais obtidos por processos industriais de produção. Com a tecnologia de PR pode-se, melhorar todo o ciclo de desenvolvimento e conceção de produto, podendo prever eventuais falhas no produto e assim minimizar custos com o desenvolvimento e produção de novos produtos (Ding, et al., 2004; Rosochowski, et al., 2000).

2.10.1 Classificação dos processos

No que diz respeito às tecnologias de PR, estas podem ser classificadas de acordo com os processos de fabrico, Figura 2.51, ou de acordo com o estado físico da matéria-prima, Figura 2.52 (Bártolo, et al., 2002; Gebhardt, 2003).

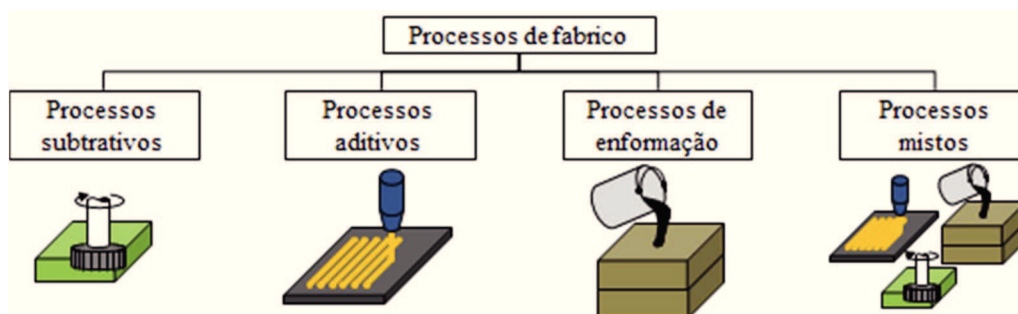


Figura 2.51 – Classificação dos processos de prototipagem rápida em função do processo de fabrico (Bártolo, et al., 2002; Gebhardt, 2003).

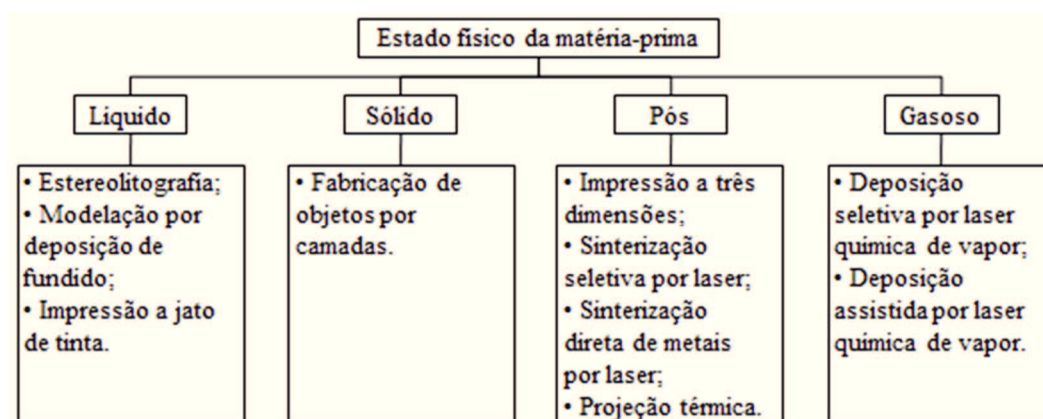


Figura 2.52 – Classificação dos processos de prototipagem rápida em função do estado físico da matéria-prima (Bártolo, et al., 2002; Gebhardt, 2003).

2.10.2 Processos de fabrico

No caso dos processos subtrativos, apresenta-se o processo de corte por arranque aparam, processo de fresagem (Figura 2.53) e o torneamento de materiais de baixa dureza e fáceis de maquinar como é, por exemplo o caso da madeira e dos poliuretanos rígidos.



Figura 2.53 – Centro de maquinação (fresagem) com a possibilidade de se utilizar um 4 eixo rotativo, Roland MDX-540 (Roland DGA Corporation, 2014).

É nos processos aditivos, onde se tem assistido a um maior desenvolvimento tecnológico, em termos de processos, equipamentos e materiais.

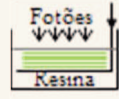

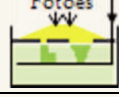

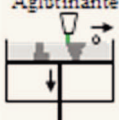
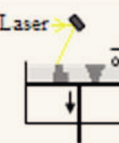

Pode-se indicar, a título de exemplo, os seguintes processos aditivos: estereo-litografia (*stereo-litography*, SL ou SLA); estereo-termo-litografia (*stereo-thermo-litography*, STLG); modelação por deposição de fundido (*fused desposition modeling*, FDM); impressão a três dimensões (*three dimensional printing*, 3DP); impressão a jato de tinta (*ink jet printing*, IJP); sinterização seletiva por laser (*selective laser sintering*, SLS); sinterização direta por laser de metais (*direct metal laser sintering*, DMLS também conhecido por fusão seletiva por laser, *selective laser melting*, SLM); *solid ground curing* (SGC); fabricação de objetos por camadas (*layer object manufacturing*, LOM); prototipagem por congelamento de água (*rapid freezing prototyping*, RFP) (Bártolo, et al., 2002; Gebhardt, 2003; Kruth, et al., 1998; Alves, et al., 2001).

Como processos de enformação, pode-se ter a maioria dos processos de vazamento, utilizados na produção de protótipos através do fabrico de molde em silicone ou de moldes realizados a partir de outros materiais e processos.

Nos processos mistos pode existir uma combinação de processos subtrativos, aditivos e de enformação (Bártolo, et al., 2002).

Na Tabela 2.5 são indicados alguns processos de prototipagem rápida em termos de de princípio de funcionamento.

Tabela 2.5 – Processos de prototipagem rápida (Kruth, et al., 1998; Bártolo, et al., 2002; Alves, et al., 2001).

Processo	Técnica de criação de camadas	Mudança de fase durante a solidificação da camada	Materiais	Esquema do processo
SLA	Deposição de uma camada líquida	Foto-polimerização	Foto-polímeros	
IJP	Deposição seletiva e solidificação de camadas de resina líquida	Solidificação por arrefecimento	Polímeros e ceras	
SGC	Solidificação da camada de resina líquida	Foto-polimerização	Foto-polímeros	
FDM	Extrusão contínua e deposição	Solidificação por arrefecimento	Polímeros (ABS, PA, PLA, ...), ceras e polímeros carregados	
3DP	Deposição seletiva de aglutinante sobre camadas de pó	Não há mudança de fase	Qualquer material em pó (polímeros, metais e cerâmicos) ligado a um aglutinante	
SLS	Sinterização seletiva de camada de pó	Sinterização a laser / fusão por laser e solidificação por arrefecimento	Polímeros (PC, PA, ...), polímeros carregados, pós metálicos com ligante	
LOM	Corte e deposição de folhas de material	Não há mudança de fase	Papel, polímeros, compósitos, cerâmicos e metais	

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Capítulo 3 Materiais e procedimentos experimentais

3.1 Materiais processados por injeção

Na seleção de materiais para aplicações em engenharia mecânica deve-se, naturalmente, conhecer as suas propriedades físicas e mecânicas. A engenharia dos materiais tem como principal objetivo o desenvolvimento e caracterização dos materiais para aplicação nas várias áreas industriais. Este estudo pode ser realizado do ponto de vista mecânico, físico, químico e térmico (Garcia, et al., 2000; Silva, 2012). A necessidade de utilização dos materiais implica o conhecimento dos seus limites, para ser possível a sua aplicação com segurança em novas situações. O desenvolvimento de materiais plásticos e de compósitos de matriz polimérica com fibras (curtas ou longas) ou partículas, tem vindo a ter um forte crescimento nas variáveis áreas industriais e em particular no setor automóvel.

Para o desenvolvimento deste trabalho (Moldes e sistemas de alimentação: casos de estudo) foi selecionado um conjunto de materiais para caracterização mecânica e física: a poliamida 6 (PA6) e os compósitos de matriz PA6 com varias frações em massa (ou em peso) de fibras curtas de vidro ($L/d=20$), com 15, 30 e 60 %, conforme se pode observar na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Materiais utilizados na caracterização mecânica e física.

Materiais	Designação abreviada	Matriz	Wt% da matriz	Reforço	Wt% de fibras
PA 6 com 0 % em fibra de vidro	PA6 + FV0		100		0
PA 6 com 15 % em fibra de vidro	PA6 + FV15	Poliamida 6 (PA6)	85	Fibra de vidro (FV)	15
PA 6 com 30 % em fibra de vidro	PA6 + FV30		70		30
PA 6 com 60 % em fibra de vidro	PA6 + FV60		40		60

Na Figura 3.1 são apresentadas fotos relativas aos vários materiais considerados neste estudo (Tabela 3.1) onde se pode observar a presença das várias frações mássicas de fibras curta de vidro, nas superfícies dos vários materiais processados por injeção: 0, 15, 30 e 60 wt%.

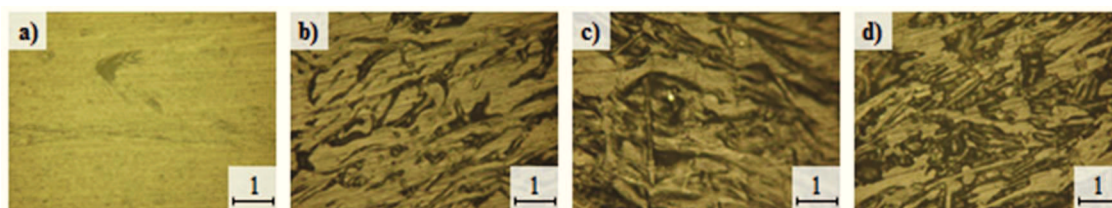


Figura 3.1 – Fotos dos vários materiais processados por injeção: a) PA6 + FV0; b) PA6 + FV15; c) PA6 + FV30; d) PA6 + FV60; em mm.

3.2 Processamento dos materiais por injeção

No processamento das poliamidas (PA6) e dos compósitos de PA6 com diferentes percentagens em peso de fibras curtas de vidro (Tabela 3.2), foi utilizado o processo de

moldação por injeção (Capítulo 2). No processamento destes materiais foram utilizadas as condições de processamento indicadas nas fichas de especificações em anexo (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 – Designação comercial dos materiais processados: PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.

Materiais	Designação comercial	Fabricante	Ficha de especificações
PA6 + FV0	Alamid 6 Z Natur	Leis Polytechnik	Anexo B
PA6 + FV15	Radilon BGK cE 15 K schwarz NV	Radici Plastics	Anexo C
PA6 + FV30	Durethan BKV 30 H2.0	Lanxess	Anexo D
PA6 + FV60	Durethan DP BKV 60 H2.0	Lanxess	Anexo E

No processamento por injeção da PA6 e dos compósitos com diferentes frações em peso de fibras curtas de vidro (Tabela 3.1), foi utilizado um molde de canais frios projetado e fabricado (Figura 3.2; ver Capítulo 5). O molde apresentado na figura é referenciado com o código M-2406, designação comum atribuída aos moldes em contexto industrial, onde M representa a designação do molde e 2406 o respetivo número de identificação.

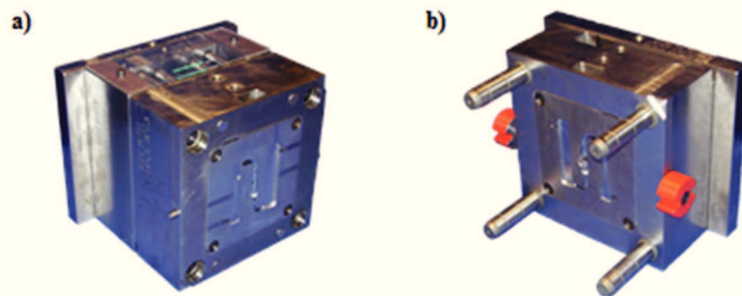


Figura 3.2 – Molde de duas placas para moldação dos provetes; a) lado da extração; b) lado da injeção.

Na injeção dos vários materiais (Tabela 3.1, Tabela 3.2) foi utilizada a máquina de injeção Euro Inj Série D-080 da Lien Yu, apresentada na Figura 3.3, máquina disponível nos laboratórios do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria. Foi, também, utilizada a máquina de injeção BA 350 CDK da Battenfeld (Figura 3.5), no processamento dos compósitos de PA6 com 30 e 60 wt% de fibras curtas de vidro, equipamento disponibilizado pela empresa Neológica (empresa sediada na Marinha Grande). Esta máquina de injeção apresenta a vantagem de ter um melhor controlo da temperatura do bico da unidade de injeção. O material antes de ser processado por injeção foi previamente estufado na estufa da HEK – GMBH (Figura 3.4).



Figura 3.3 – Máquina de injeção Euro Inj Série D-080 da Lien Yu.



Figura 3.4 – Estufa para secagem do material da HEK – GMBH.

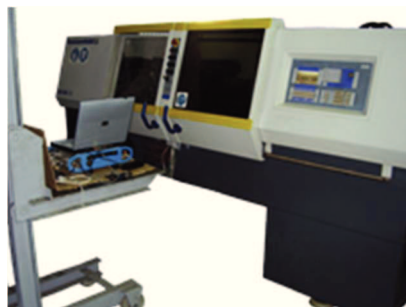


Figura 3.5 – Máquina de injeção BA 350 CDK da Battenfeld.

3.3 Caracterização mecânica e física dos materiais processados por injeção

Os materiais processados por injeção foram caracterizados em termos físicos e mecânicos. Foram determinadas as densidades dos diferentes materiais processados por forma a avaliar a qualidade da mistura e da técnica de processamento utilizada no fabrico dos materiais compósitos, de matriz PA6 com diferentes fações em peso de fibras curtas de vidro. No que se refere ao comportamento mecânico foram realizados ensaios de tração (tensão máx. à tração e módulo de elasticidade à tração), flexão em 3 pontos (tensão máx. à flexão e módulo de elasticidade à flexão) e ensaios de DMA em flexão em 3 pontos (análise mecânica dinâmica; variação do módulo com a temperatura e determinação da temperatura de transição vítrea, Tg).

3.3.1 Determinação da densidade dos materiais processados

A densidade é uma propriedade física que caracteriza um qualquer material e pode ser dada pela seguinte expressão (Silva, 2012):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad 3.1$$

em que m representa a massa do corpo e V, o volume desse mesmo corpo.

Na determinação da densidade de materiais compósitos de matriz de PA6 foi considerada a norma ASTM D792-08 *Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement (Test Method A - For testing solid plastics in water)*. Com base nesta norma, são apenas necessário pequenas amostras, com massas inferiores a 10 g e dimensões inferiores a 10×10×10 mm (American Society for Testing and Materials, 2010). De acordo com a norma citada, é necessário o seguinte material (Figura 3.6) para a realização de medições de densidade: balança analítica; conjunto de medição de densidades

(tina de vidro, termómetro, sistema de fixação e suspensão da amostra); água destilada; amostras de material.

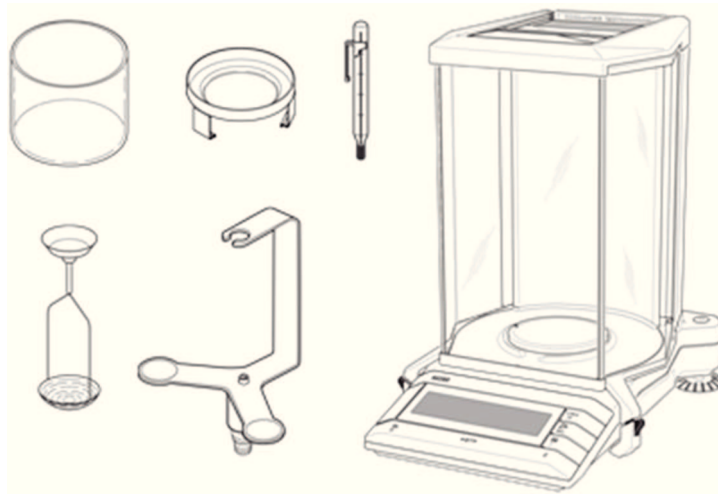


Figura 3.6: Equipamento para medição da densidade (Mettler-Toledo AG, Laboratory & Weighing Technologies, 2004; Mettler-Toledo AG, Laboratory & Weighing Technologies, 2010).

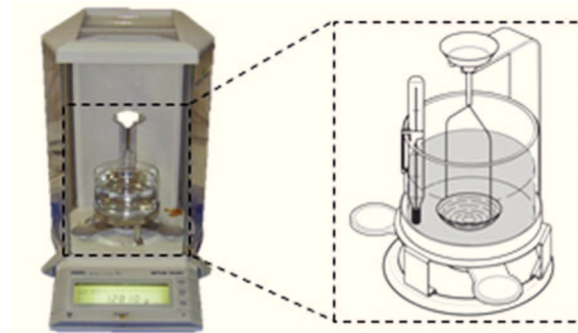


Figura 3.7: Balança eletrônica de precisão AG204 da Mettler-Toledo com o equipamento de medição de densidade (Mettler-Toledo AG, Laboratory & Weighing Technologies, 2010).

Na determinação da densidade pelo método referido na norma, deve-se medir em 1º lugar a massa aparente (m_a), ou seja, a massa não imersa em água, e depois a massa aparente da amostra imersa em água (m_b). A partir da equação 3.2 obtém-se o valor experimental da densidade do material (American Society for Testing and Materials, 2010; Mettler-Toledo AG, Laboratory & Weighing Technologies, 2010).

$$\rho = \frac{m_a}{m_a - m_b} \cdot \rho_{\text{água}@T^{\circ}\text{C}} \quad 3.2$$

em que, $\rho_{\text{água}@T^{\circ}\text{C}}$ representa a densidade da água para a temperatura ($T^{\circ}\text{C}$) de medição, que pode ser retirada da Tabela F.1 do Anexo F.

A medição dos valores de densidade dos vários materiais processados por injeção foi realizada com água destilada a 23°C , cuja densidade da água é $0,99756 \text{ g/cm}^3$, uma balança eletrônica de precisão AG204 da Mettler-Toledo e um conjunto de medição de densidades da Mettler-Toledo, conforme estão apresentados na Figura 3.6 e na Figura 3.7 (Mettler-Toledo AG, Laboratory & Weighing Technologies, 2004; Mettler-Toledo AG, Laboratory & Weighing Technologies, 2010).

3.3.2 Ensaio à tração: determinação da resistência mecânica e do módulo

O ensaio de tração consiste em solicitar uma amostra de material a cargas unidirecionais crescentes até à rotura (Figura 3.8 e Figura 3.9). Este ensaio é, normalmente, realizado em máquinas eletromecânicas, ou mesmo em máquinas hidráulicas, com diferentes capacidades de carga. A partir dos dados relativos aos valores de carga e de deslocamento obtidos a partir do *software* da máquina e das equações da resistência de materiais (equações 3.3 e 3.4), para uma dada velocidade de aplicação de carga e para a temperatura de ensaio, pode-se determinar as curvas de variação da tensão versus extensão, os valores de tensão máxima e os valores de módulo de elasticidade em tração. Este tipo de ensaios permite avaliar o comportamento do material e, conseqüentemente, quando selecionado para uma dada aplicação ser dimensionado por forma a não serem ultrapassados os seus limites de resistência mecânica (Garcia, et al., 2000).

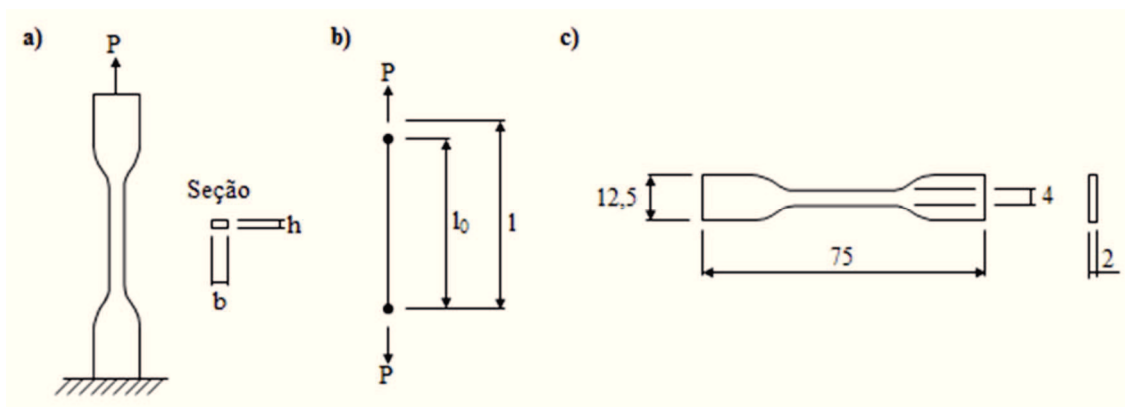


Figura 3.8 – Representação esquemática do ensaio de tração: a) esquema; b) diagrama de corpo livre; c) dimensões do provete utilizados no ensaio de tração.

Na determinação dos valores de tensão é utilizada a equação 3.3:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{b \cdot h} \quad 3.3$$

onde F representa a força aplicada, A é a área da secção transversal do provete, b a base e h a altura da secção transversal da amostra (Figura 3.8).

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad 3.4$$

onde, l é o comprimento da amostra para um determinado instante de aplicação de carga, l₀ é o comprimento inicial da amostra, Figura 3.8.

Os valores de extensão (gráfico tensão-extensão) são obtidos a partir da equação 3.4 e, os valores do módulo de elasticidade à tração são obtidos da figura. Após a obtenção dos valores de tensão-extensão, pode-se obter um gráfico semelhante ao apresentado na Figura 3.10. O ensaio de tração foi realizado na máquina universal eletromecânica de ensaios Z100 da Zwick (Figura 3.9) e, de acordo com a norma ASTM D638-10 *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. Os ensaios foram realizados com velocidades de 10 mm/min e à temperatura ambiente (American Society for Testing and Materials, 2010).

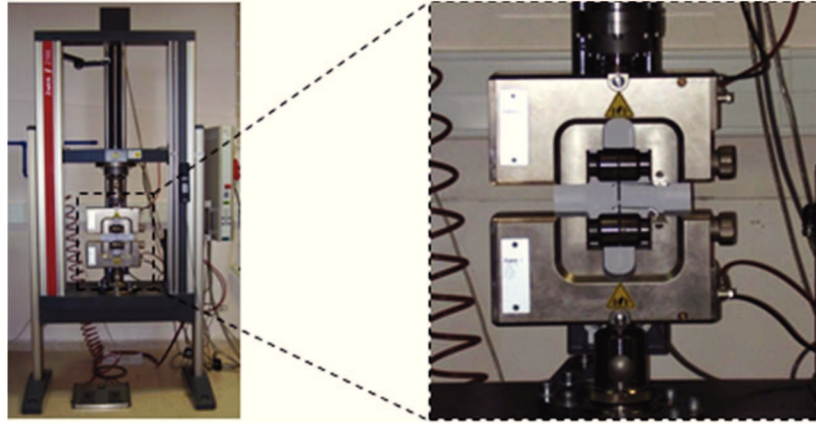


Figura 3.9 – Máquina eletromecânica universal de ensaios Z100 da Zwick e sistema da amarras pneumáticas.

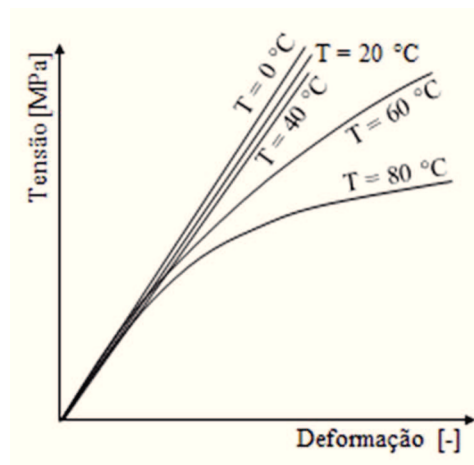


Figura 3.10 – Curvas tensão de deformação obtida nos ensaios de tração no material Ultra-quartz (Capela, 2003).

Na Figura 3.10 são apresentados curvas típicas do ensaio de tração para diferentes temperaturas de ensaio, de compósitos de matriz PMMA com partículas de sílica. A partir da figura é possível observar que com o aumento da temperatura de ensaio se verifica uma diminuição do módulo de elasticidade (Capela, 2003).

3.3.3 Ensaio à flexão em 3 pontos: determinação da resistência mecânica e do módulo à flexão

O ensaio de flexão em 3 pontos consiste na aplicação de uma carga sobre uma barra apoiada, em dois pontos, a meio vão (Figura 3.11).

Este ensaio pode ser realizado em máquinas eletromecânicas, com diferentes capacidades de carga em função dos materiais a serem ensaiados. A partir dos dados relativos aos valores de carga e de deslocamento obtidos a partir do software da máquina e das equações da resistência de materiais (equações 3.5 e 3.6), para uma dada velocidade de aplicação de carga e para a temperatura de ensaio, pode-se determinar as curvas de variação da tensão versus deslocamento, os valores de tensão máxima em flexão e os valores de módulo de elasticidade em flexão em 3 pontos. A determinação das propriedades dos materiais ensaiados permite a

seleção e o dimensionamento destes, para uma dada aplicação, de forma a não serem ultrapassados os seus limites de resistência mecânica (Garcia, et al., 2000).

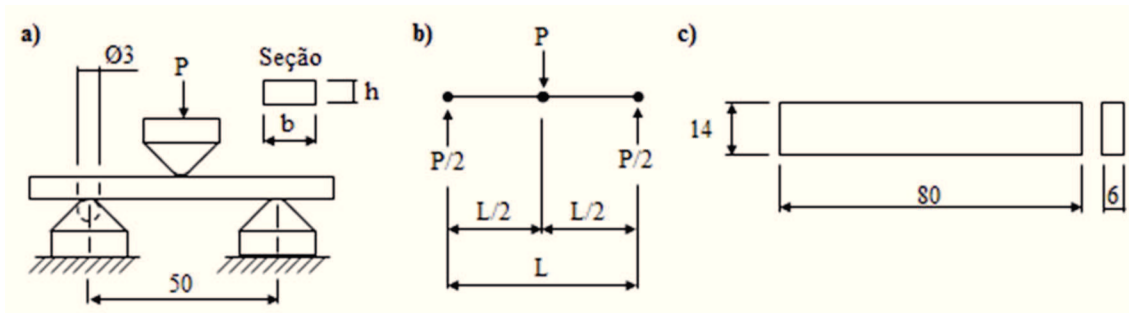


Figura 3.11 – Representação esquemática do ensaio flexão em 3 pontos: a) esquema; b) diagrama de corpo livre; c) dimensões do provete utilizados no ensaio de flexão.

Na determinação dos valores de tensão é utilizada a equação 3.5.

$$\sigma = \frac{M \cdot Y}{I} = \frac{\frac{P \cdot L}{4} \cdot Y}{\frac{b \cdot h^3}{12}} = \frac{\frac{P \cdot L}{4} \cdot \frac{h}{2}}{\frac{b \cdot h^3}{12}} = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad 3.5$$

onde P é a carga ou força aplicada, Y é a distância à linha neutra da tensão (h/2), L a distância entre apoios (vão), b a base e h a altura da seção transversal do provete.

O módulo de elasticidade à flexão foi calculado por regressão linear a partir da equação da linha elástica do estudo de vigas, equação 3.6.

$$E \cdot Y = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot I} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}} = \frac{P \cdot L^3}{4 \cdot b \cdot h^3} \quad 3.6$$

onde E é o módulo de elasticidade à flexão.

O ensaio de flexão foi realizado na máquina universal eletromecânica de ensaios Z100 da Zwick (Figura 3.12) e de acordo com a norma ASTM D790-03 *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials* (American Society for Testing and Materials, 2003). Os ensaios foram realizados com a velocidade de 2,5 mm/min e à temperatura ambiente.

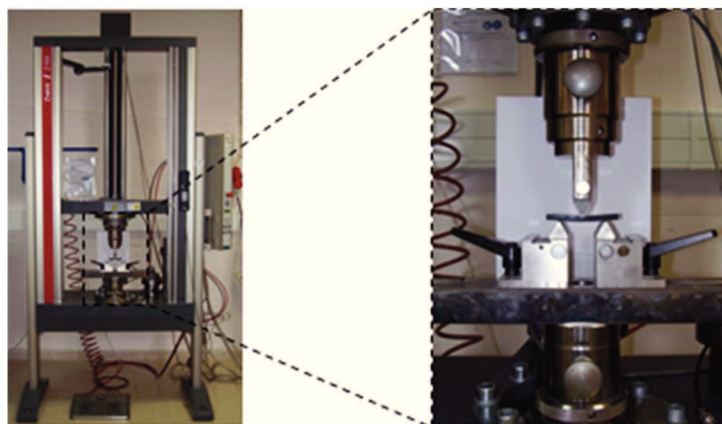


Figura 3.12 – Máquina eletromecânica universal de ensaios Z100 da Zwick com o dispositivo de flexão em 3 pontos montado.

3.3.4 Análise mecânica dinâmica: determinação do módulo versus temperatura e da temperatura de transição vítrea

A análise mecânica dinâmica (ensaios de DMA - Dynamic Mechanical Analysis) consiste na realização de um ensaio, numa gama de temperaturas, em que é aplicada uma tensão sinusoidal cuja amplitude é próxima da transição elasto-plástica. Este tipo de análises permite medir a amplitude da tensão, a amplitude da deformação e o ângulo de fase (δ) (Silva, et al., 2007). O E' é o módulo da componente em fase e E'' o módulo da componente desfasada (módulo de perda), pode-se verificar que estes valores correspondem à componente real e imaginária do módulo complexo, E^* (3.7 e 3.8):

$$E' = E^* \cdot \cos \delta \quad 3.7$$

$$E'' = E^* \cdot \sin \delta \quad 3.8$$

Um outro fator a ter em conta é o dado pela tangente do ângulo de fase ($\tan \delta$; Figura 3.13) é dada pela equação 3.9 (Menard, 2008):

$$\tan \delta = \frac{E''}{E'} \quad 3.9$$

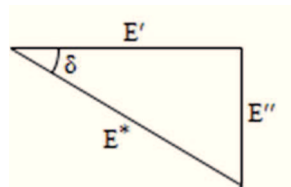


Figura 3.13 – Relação entre tan delta, modulus, loss modulus e o módulo complexo (Menard, 2008).

Existem diversos tipos de ensaios que se podem realizar numa máquina de DMA, conforme o tipo de sollicitação a que o provete é sollicitado (Figura 3.14).

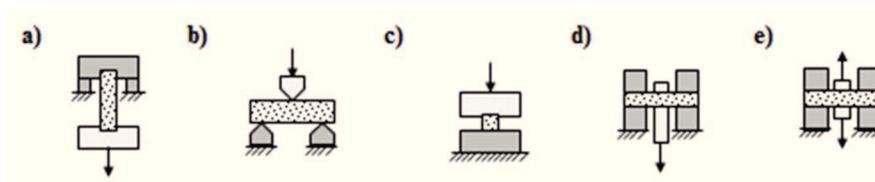


Figura 3.14: Modos de aplicação da carga para os diferentes ensaios DMA: a) tração; b) flexão em 3 pontos; c) compressão; d) corte; e) fadiga (Menard, 2008).

Na Figura 3.15 pode-se observar as curvas típicas da variação do modulus (E'), do loss modulus (E'') e do tan delta (δ) com aumento da temperatura.

Os ensaios de DMA foram realizados numa máquina Tritec 2000 DMA da Triton Technology (Figura 3.16), em flexão em 3 pontos e numa gama de temperaturas entre os 20 e os 140 °C. A determinação da temperatura de transição vítrea (T_g) foi obtida a partir do pico das curvas de variação do $\tan \delta$ versus temperatura. Estes ensaios foram realizados de acordo com a norma DIN 53457 (ISO 527). A geometria e as dimensões estão indicadas na Figura 3.17.

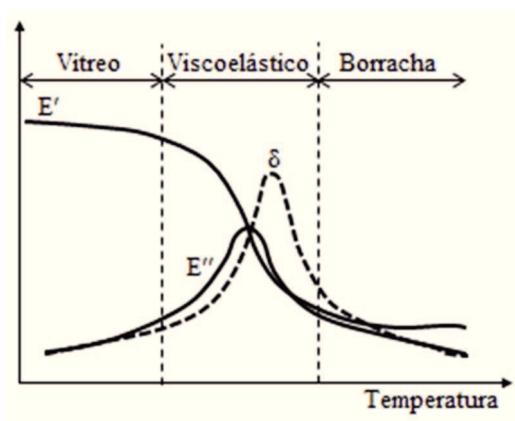


Figura 3.15 – Curvas típicas da variação do *modulus* (E'), *loss modulus* (E'') e do *tan delta* (δ) com a temperatura (Menard, 2008).



Figura 3.16 – Equipamento Tritec 2000 DMA da Triton Technology com o módulo de flexão em 3 pontos montado.

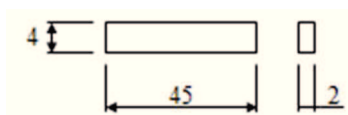


Figura 3.17 – Dimensões dos provetes utilizados no ensaio de DMA em flexão em 3 pontos.

Capítulo 4 Apresentação e discussão dos resultados

4.1 Poliamida 6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro

Neste Capítulo são apresentados e analisados os resultados relativos às propriedades físicas e mecânicas obtidas nos ensaios de medição da densidade, resistência mecânica, rigidez (ensaios de tração e ensaios de flexão em três pontos) e ensaios de DMA (determinação da variação do módulo com a temperatura e determinação da temperatura de transição vítrea, Tg).

4.1.1 Valores de densidade dos diferentes materiais processados por injeção

Na Tabela 4.1 são apresentados Dados relativos às massas utilizadas no cálculo das densidades dos materiais processados (PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro). Na Tabela 4.2 são apresentados os valores de densidade obtidos para os vários materiais processados. Os valores de densidade foram obtidos em termos dos seus valores médios e respetivos valores de desvio padrão. Os valores teóricos foram obtidos a partir da equação 4.1:

$$d_c = d_m \cdot wt_m + d_f \cdot wt_f \quad 4.1$$

em d_c é a densidade do compósito, d_m é densidade da matriz, wt_m é a fração em peso da matriz, d_f é a densidade das fibras de vidro e wt_f é a tração em peso das fibras curtas utilizadas no processo de mistura.

Na

Tabela 4.3, são apresentados os valores obtidos na literatura científica das densidades da PA6 e das fibras de vidro (Casaril, et al., 2007). Na

Tabela 4.4, são indicadas as propriedades das fibras do tipo E utilizadas no processamento dos compósitos de matriz PA6.

Tabela 4.1 – Dados relativos às massas utilizadas no cálculo das densidades dos materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.

Material	Ensaio	Massa da amostra ao ar [g]	Massa da amostra imersas em água [g]	Densidade [g/cm ³]
PA6 + FV0	1	0,1389	0,0071	1,0512
	2	0,1148	0,0086	1,0783
	3	0,0726	0,0016	1,0200
	4	0,0656	0,0023	1,0337
PA6 + FV15	1	0,0919	0,0161	1,2094
	2	0,1036	0,0174	1,1989
	3	0,0887	0,0157	1,2120
	4	0,0857	0,0139	1,1906
PA6 + FV30	1	0,0990	0,0232	1,3028
	2	0,0769	0,0201	1,3505
	3	0,0778	0,0185	1,3087
	4	0,0786	0,0184	1,3024
PA6 + FV60	1	0,1425	0,0595	1,7126
	2	0,1040	0,0430	1,7007
	3	0,1103	0,0456	1,7005

4	0,1006	0,0417	1,7037
---	--------	--------	--------

Tabela 4.2 – Resultados experimentais relativos aos valores médios de densidade, e desvios padrão dos materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.

Material	Densidade [g/cm ³]	Desvio padrão
PA6+ FV0	1,0458	0,0288
PA6+ FV15	1,2027	0,0101
PA6+ FV30	1,3161	0,0036
PA6+ FV60	1,7044	0,0061

Tabela 4.3 – Valores de densidades obtidos a partir da Lei das Misturas (Moura, et al., 2005).

Material	Densidade FV [g/cm ³]	FV wt [%]	Densidade da PA6 [g/cm ³]	PA6 wt [%]	d _c [g/cm ³]
PA6+ FV0		0		100	1,0700
PA6+ FV15	2,6	15	1,07	85	1,2995
PA6+ FV30		30		70	1,5290
PA6+ FV60		60		40	1,9880

Tabela 4.4 – Propriedades da fibra de vidro do tipo E, consideradas no estudo (Moura, et al., 2005).

Propriedade física e mecânicas	Valores
Densidade [g/cm ³]	2,6
Módulo de elasticidade [MPa]	73000
Tensão de rotura [MPa]	3400

Através da Figura 4.1 pode-se observar as curvas de variação da densidade experimental e teórica (lei das misturas) em função da fração em peso do conteúdo de fibras curtas de vidro e referentes aos dos materiais processados por injeção: PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.

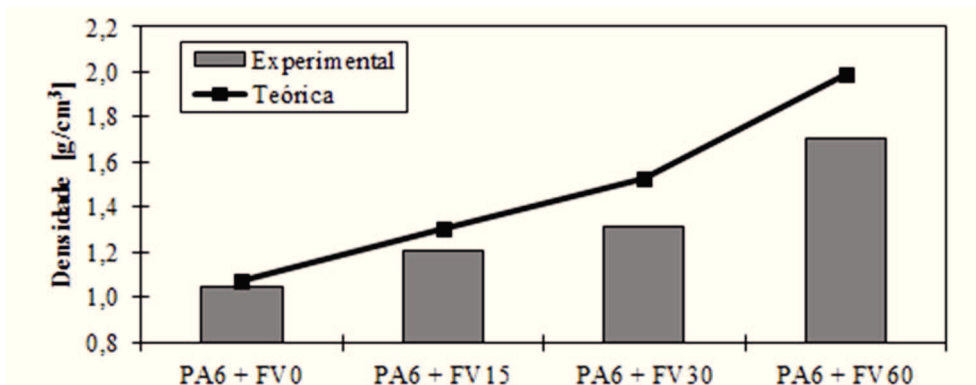


Figura 4.1 – Curvas de variação da densidade experimental e teórica (lei das misturas) em função da fração em peso do conteúdo de fibras curtas de vidro.

A partir da análise da Figura 4.1, pode-se-observar pequenas diferenças entre os valores teóricos e experimentais. Estas pequenas diferenças podem ser explicadas com erros no processo de mistura, processamento por injeção e dados considerados na lei das misturas.

Tabela 4.5 – Densidades experimentais, teóricas e diferenças da PA6 e seus compósitos.

Material	Densidade experimental [g/cm ³]	Densidade teórica [g/cm ³]	Diferenças [%]
PA6 + FV0	1,0458	1,0700	2,3
PA6 + FV15	1,2027	1,2995	7,4
PA6 + FV30	1,3161	1,5290	13,9
PA6 + FV60	1,7044	1,9880	14,3

4.1.2 Resultados obtidos nos ensaios mecânicos de tração dos materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro

Na Figura 4.2 pode-se observar os provetes referentes materiais PA6 e aos compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro ensaiados. A partir da figura pode-se observar a existência de maiores deformações nos provetes de PA6 e que a deformação dos provetes vai diminuindo com o aumento da fração em peso do conteúdo de fibras curtas de vidro (ver Figura 4.3).

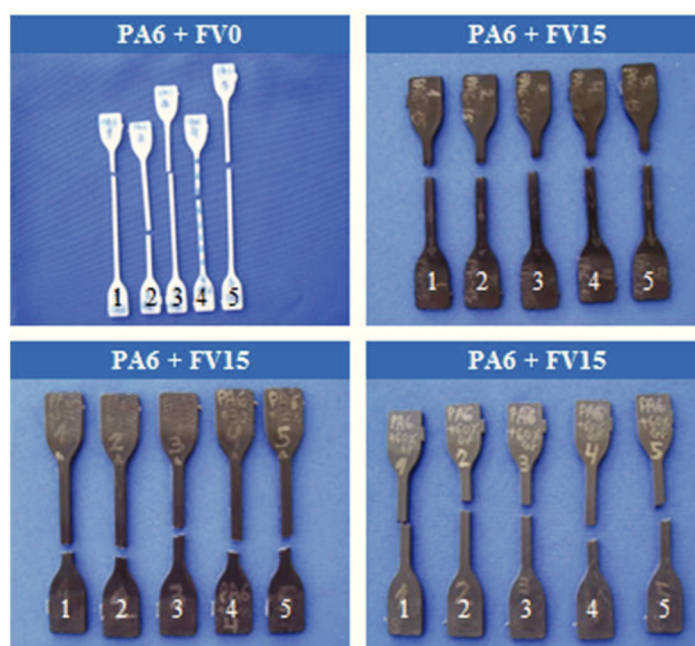


Figura 4.2 – Fotos relativas aos ensaios de tração realizados com os materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.

Na Tabela 4.6 são apresentados todos os resultados obtidos nos ensaios de tração com os materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com diferentes frações em peso fibras curtas de vidro. Na Tabela 4.7 pode ver os valores resultados experimentais relativos aos valores médios da tensão máxima e de módulo à tração, desvios padrão, dos materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.

Tabela 4.6 – Resultados experimentais relativos aos ensaios de tração dos materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.

Material	Ensaio	Tensão máx. à tração [MPa]	Módulo à tração [MPa]
PA6 + FV0	1	41,9	808,6
	2	41,0	834,9
	3	50,9	918,2
	4	41,1	817,0
	5	52,4	800,5
PA6 + FV15	1	48,1	1773,9
	2	48,7	1771,1
	3	49,7	1782,1
	4	48,5	1740,6
	5	47,7	1746,8
PA6 + FV30	1	93,1	3340,5
	2	92,5	3288,6
	3	91,9	3460,3
	4	90,9	3371,2
	5	90,6	3235,1
PA6 + FV60	1	161,1	8182,3
	2	167,8	8236,6
	3	163,5	8465,6
	4	164,4	7725,6
	5	165,8	8705,0

Tabela 4.7 – Resultados experimentais relativos aos valores médios da tensão máxima e do módulo à tração, desvios padrão, dos materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.

Material	Tensão máx. à tração [MPa]	Desvio padrão	Módulo à tração [MPa]	Desvio padrão
PA6+ FV0	45,4	5,7	835,8	47,8
PA6+ FV15	48,5	0,8	1762,9	18,1
PA6+ FV30	91,8	1,1	3339,1	85,3
PA6+ FV60	164,5	2,5	8263,0	364,8

Na Figura 4.3, são apresentadas de as curvas típicas tensão versus extensão para os diferentes materiais processados. A PA6 apresenta, relativamente aos compósitos de PA6 com diferentes frações em peso de fibras de vidro, valores de extensão e de tensão claramente inferiores. Com o aumento da fração em peso há um natural aumento dos valores de módulo (ver Tabela 4.7 e Figura 4.4) como dos valores de tensão máxima (as curvas deslocam-se para a esquerda). Estes resultados estão de acordo com os obtidos na literatura científica (Ferreira, et al., 2014; Ferreira, et al., 2011).

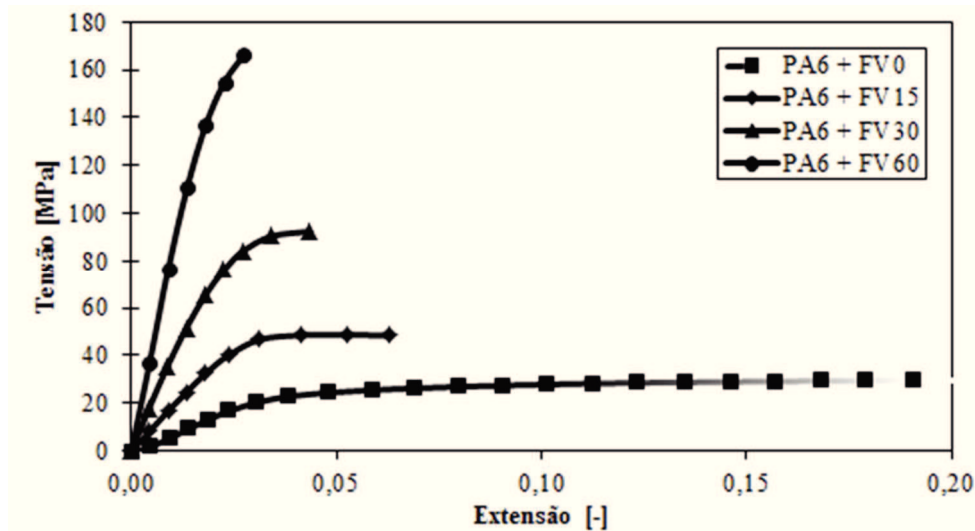


Figura 4.3 – Curvas típicas de variação da tensão versus extensão e para o material PA6 e compósitos de matriz PA6 com diferentes frações em peso de fibras curtas de vidro.

Na Figura 4.4 (e Tabela 4.7) pode-se observar os valores referentes aos valores do módulo à tração e que estes apresentam um aumento significativo com o aumento da fração em peso das fibras curtas de vidro.

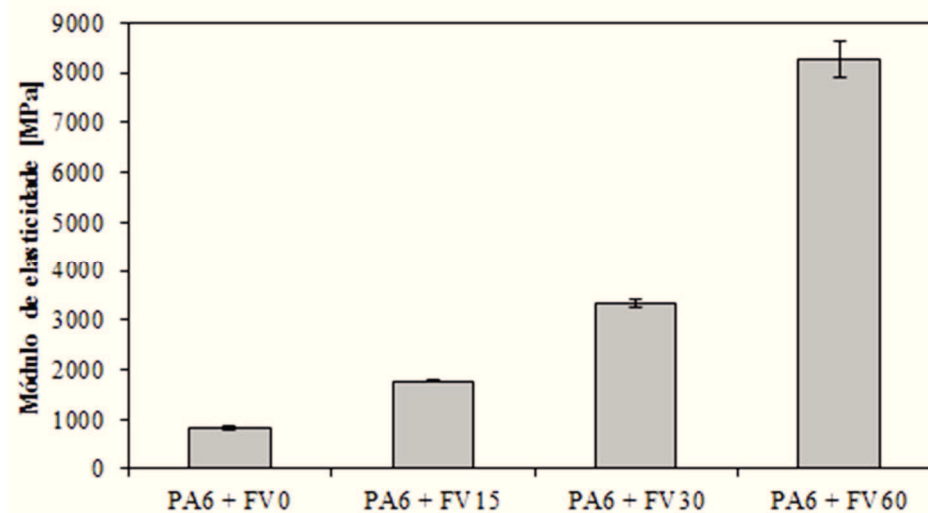


Figura 4.4 – Valores do módulo à tração para o material PA6 e compósitos de matriz PA6 com diferentes frações em peso de fibras curtas de vidro.

4.1.3 Resultados obtidos nos ensaios mecânicos de flexão em três pontos dos materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro

Na Figura 4.5 pode-se observar os provetes referentes materiais PA6 e aos compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro ensaiados flexão em três pontos. A partir da figura pode-se observar que os materiais para os valores de tensão máxima em flexão fraturam.

Na Tabela 4.6 são apresentados todos os resultados obtidos nos ensaios de flexão em três pontos com os materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com diferentes frações em peso de fibras curtas de vidro. Na Tabela 4.7 pode ver os valores resultados experimentais relativos aos

valores médios da tensão máx. e de módulo à flexão em três pontos, desvios padrão, dos materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.

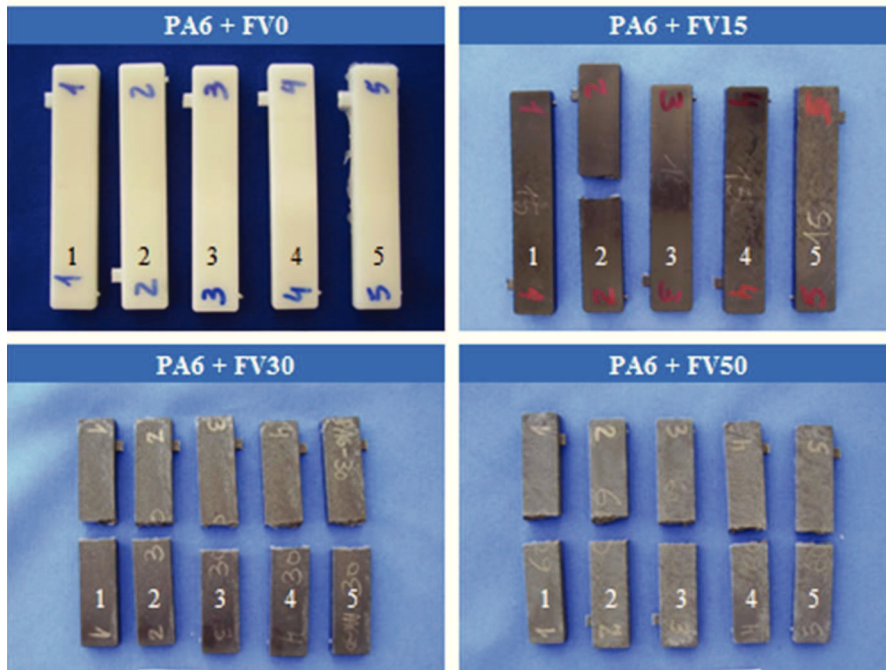


Figura 4.5 – Fotos relativas aos ensaios de flexão em 3 pontos realizados com os materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.

Tabela 4.8 – Resultados experimentais relativos aos ensaios de flexão em três pontos dos materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro.

Material	Ensaio	Tensão máx, à flexão [MPa]	Módulo à flexão [MPa]
PA6 + FV0	1	61,9	1237,2
	2	67,1	1453,7
	3	64,1	1373,4
	4	62,9	1365,1
	5	59,9	1232,1
PA6 + FV15	1	102,2	2178,2
	2	105,3	2296,0
	3	102,0	2109,2
	4	103,6	2271,8
	5	97,6	2210,8
PA6 + FV30	1	152,0	3965,1
	2	149,3	3943,3
	3	155,5	4102,9
	4	151,8	3974,2
	5	146,6	3913,4
PA6 + FV60	1	207,9	8465,0
	2	203,0	8484,9
	3	200,4	8327,6
	4	213,1	8765,0
	5	204,2	8153,1

Tabela 4.9 – Resultados relativos aos valores médios da tensão máx. e do módulo à flexão, desvios padrão, dos materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras de vidro.

Material	Tensão máx. à flexão [-]	Desvio padrão	Módulo à flexão [MPa]	Desvio padrão
PA6+ FV0	63,2	2,7	1332,3	95,6
PA6+ FV15	102,2	2,9	2213,2	74,7
PA6+ FV30	151,0	3,3	3979,8	72,7
PA6+ FV60	205,7	4,9	8439,1	225,4

Na Figura 4.6 são apresentadas de as curvas típicas tensão versus deslocamento em flexão em 3 pontos e para os diferentes materiais processados. A PA6 apresenta, relativamente aos compósitos de PA6 com diferentes frações em peso de fibras de vidro, valores de deslocamento e de tensão máxima claramente inferiores. Com o aumento da fração em peso há um natural aumento dos valores de módulo à flexão (ver Tabela 4.9 e Figura 4.7) como dos valores de tensão máxima (as curvas deslocam-se para a esquerda). Estes resultados estão de acordo com os obtidos na literatura científica (Ferreira, et al., 2014; Ferreira, et al., 2011) e apresentam a mesma tendência que os resultados obtidos nos ensaios de tração realizados.

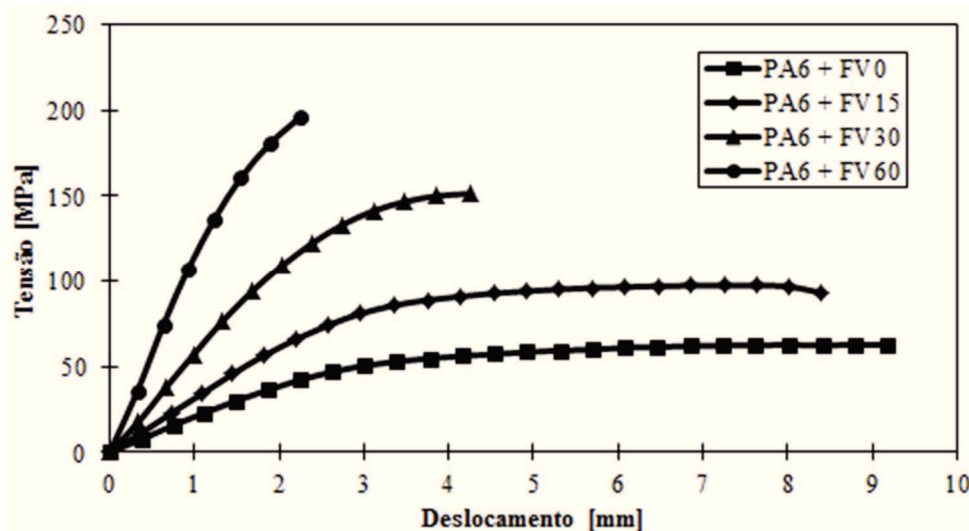


Figura 4.6 – Curvas típicas de variação da tensão versus deslocamento (ensaio de flexão em 3 pontos) e para o material PA6 e compósitos de matriz PA6 com diferentes frações em peso de fibras de vidro.

Na Figura 4.7 (e Tabela 4.9) pode-se observar os valores referentes aos valores do módulo à flexão em três pontos e que estes apresentam um aumento significativo com o aumento da fração em peso das fibras curtas de vidro. Estes resultados apresentam a mesma tendência que os resultados obtidos nos ensaios de tração.

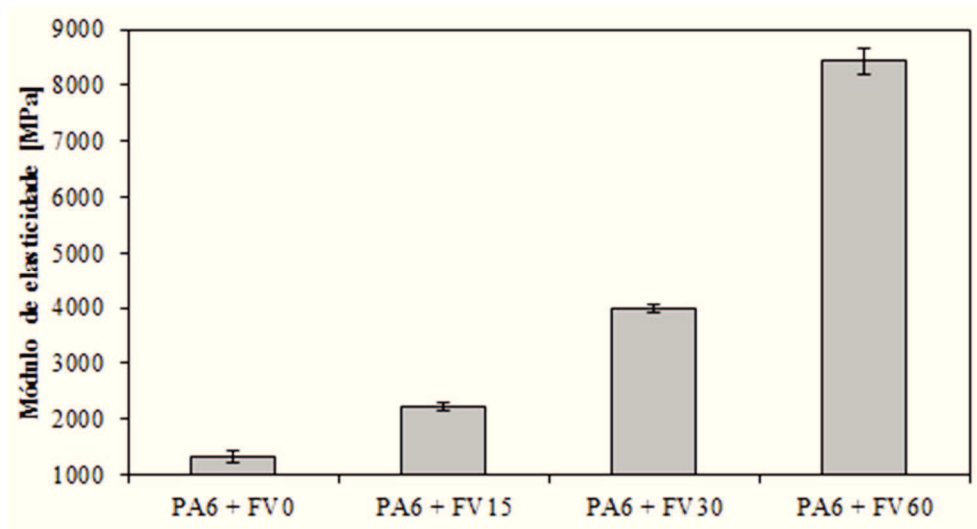


Figura 4.7 – Valores do módulo à flexão em três pontos para o material PA6 e compósitos de matriz PA6 com diferentes frações em peso de fibras curtas de vidro.

4.1.4 Análise mecânica dinâmica: determinação das curvas de variação do módulo em a temperatura e determinação de Tg

Na Figura 4.8 pode-se observar os provetes referentes materiais PA6 e aos compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro, realizados em ensaios de DMA em flexão em três pontos. Na Figura 4.9 pode-se observar a variação dos valores do módulo em flexão em 3 pontos versus temperatura e para o material PA6 e compósitos de matriz PA6 com diferentes frações em peso fibras curtas de vidro. Os resultados para a temperatura valores que estão em concordância com os ensaios estático de tração e de flexão em três pontos.

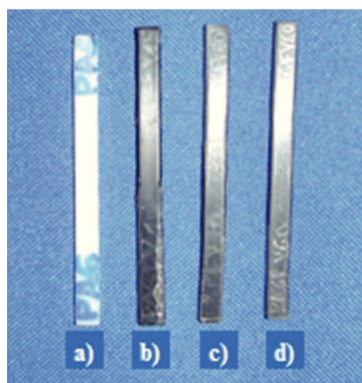


Figura 4.8 – Fotos relativas aos ensaios de DMA em flexão em 3 pontos, realizados com os materiais PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro: a) PA6 + FV0; b) PA6 + FV15; c) PA6 + FV30; PA6 + FV60.

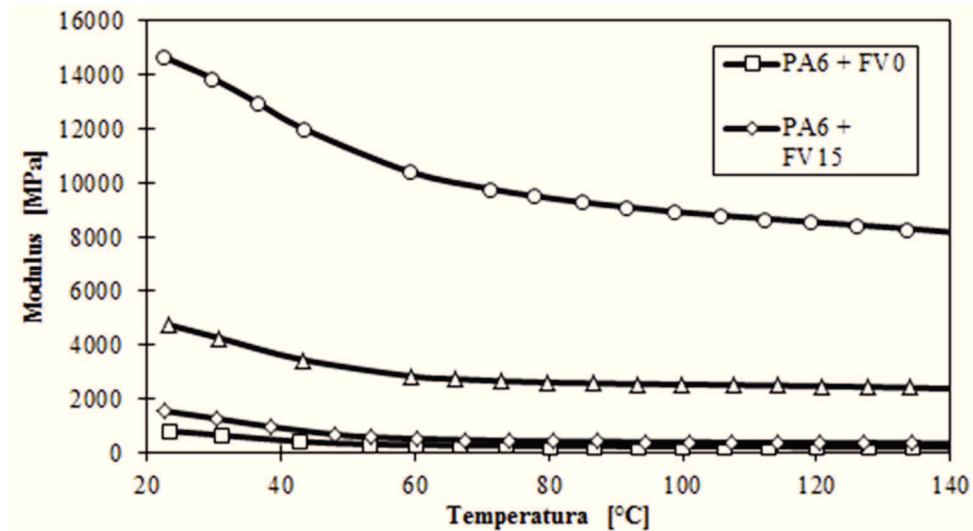


Figura 4.9 – Variação do módulo em flexão em três pontos versus temperatura e para o material PA6 e compósitos de matriz PA6 com diferentes frações em peso fibras curtas de vidro.

Na Figura 4.10 pode-se observar as curvas de variação do tan delta versus temperatura e para o material PA6 e compósitos de matriz PA6 com diferentes frações em peso fibras curtas de vidro. As temperaturas de transição vítrea podem ser determinadas a partir dos picos das curvas de tan delta (Tabela 4.10).

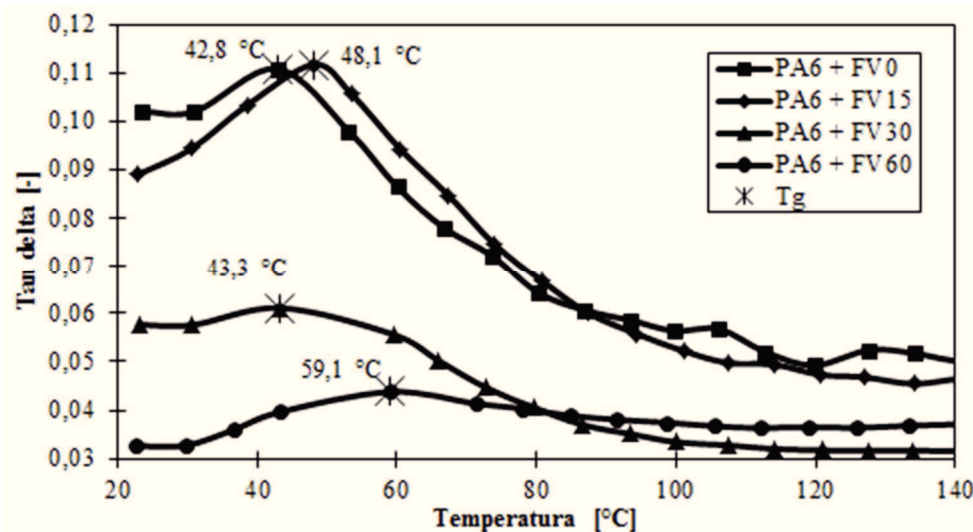


Figura 4.10 – Variação do tan delta versus temperatura e para o material PA6 e compósitos de matriz PA6 com diferentes frações em peso fibras curtas de vidro.

Tabela 4.10 – Temperaturas de transição vítrea (Tg) da PA6 e dos seus compósitos com fibras curtas.

Material	Temperatura de transição vítrea, Tg [°C]
PA6 + FV0	42,8
PA6 + FV15	48,1
PA6 + FV30	43,3
PA6 + FV60	59,1

Capítulo 5 Casos de estudo




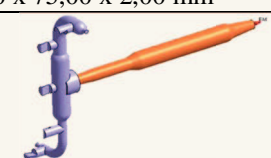
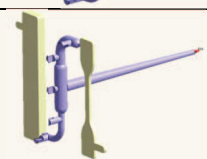
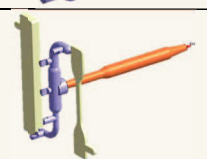
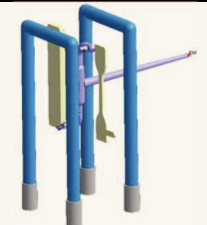

5.1 Caso de estudo 1: molde de provetes para a realização de ensaios de tração e de flexão

Foi desenvolvido e fabricado um molde de injeção de canais frios para a produção de moldações de diferentes materiais plásticos com diferentes frações mássicas de fibras curtas ou cargas (Figura 5.1 a) e b)). Pretende-se com o fabrico deste molde processar e caracterizar em termos físicos e mecânicos os diferentes materiais processados.

5.1.1 Simulação computacional

Por forma a otimizar o desempenho do molde foram realizadas estudos de análise computacional. Estes foram realizados a partir do *software Moldex3D R12.0* e os dados utilizados são os que estão indicados na Tabela 5.1 e na Tabela 5.2.

Tabela 5.1 – Dados considerados na análise computacional relativa ao processo de moldação por injeção por canais frios (CF) e canais quentes mais canais frios (CQ + CF).

Nome do estudo	CF	CQ + CF
Artigos Dimensões máximas do artigo.	 Dimensões provete de flexão: 23,75 x 80,00 x 6,00 mm	 Dimensões provete de tração: 22,50 x 75,00 x 2,00 mm
Sistema de alimentação	CF 	CQ + CF 
Artigo + Sistema de alimentação		
Material	PA6 + 30FV – Durethan BKV 30 H2.0 – Lanxess	
Fator de contração	0,69 %	
Sistema de refrigeração		
Tipo de estudo	Enchimento + Compactação + Refrigeração + Empenos	

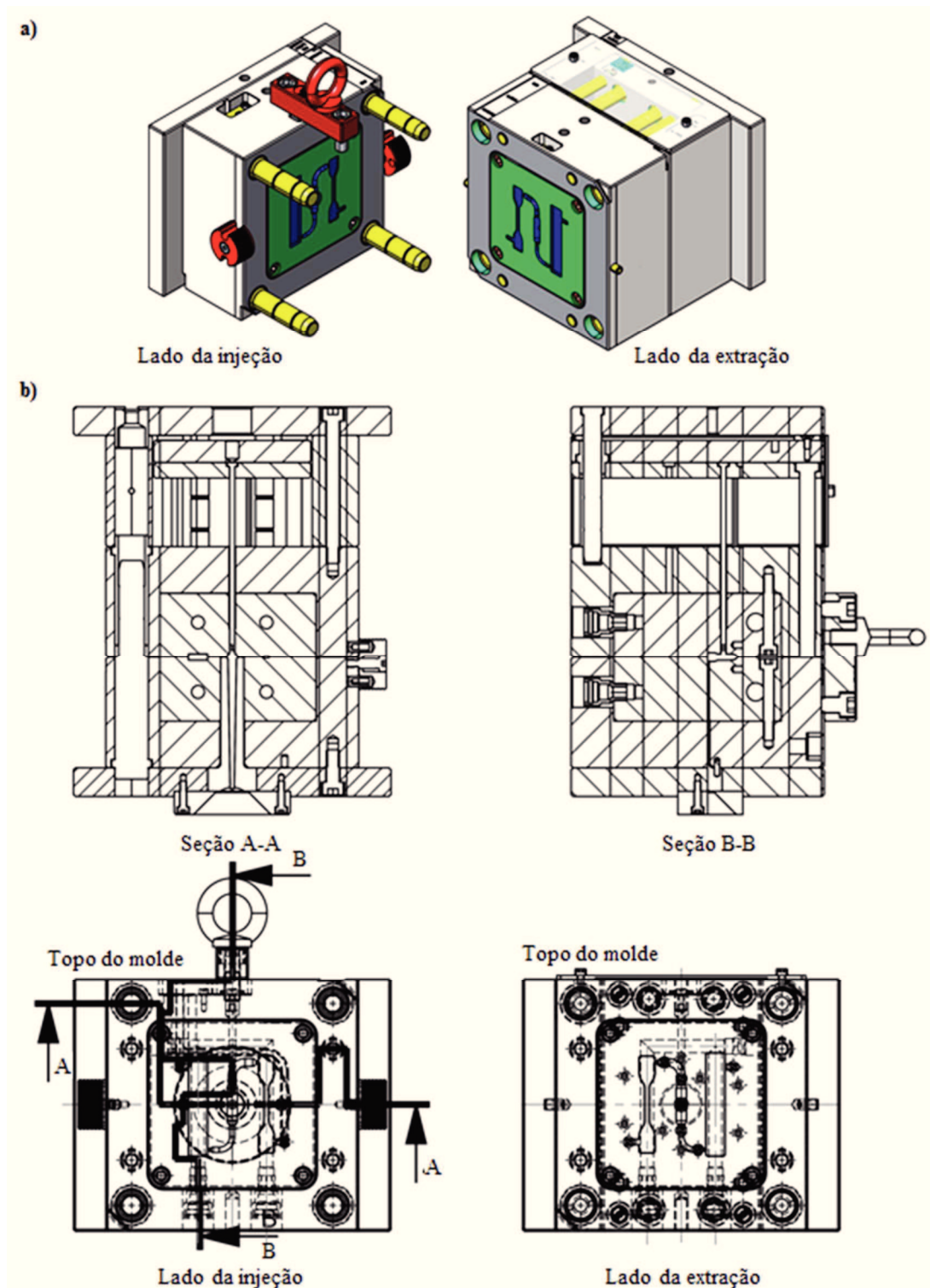


Figura 5.1 – Molde de canais frios para o processamento de provetes (tração e flexão); a) Vista isométrica dos dois lados do molde (injeção e extração); b) Vistas em planta e corte longitudinal e transversal do molde.

Pretende-se analisar os resultados obtidos com o processamento da moldação dos provetes da moldação dos provetes com o sistema de injeção por canais frios (CF) e o sistema misto, canal quente (bico aquecido) mais canais frios (CQ + CF). Neste estudo, foi utilizada uma malha de elementos finitos, a partir do *software Moldex3D R12.0 Designer* de nível 3, malha adequada a este tipo de estudos.

Tabela 5.2 – Temperaturas de processamento e propriedades mecânicas da PA6 + FV30 (Durethan BKV 30 H2.0) consideradas na análise computacional (CoreTech System Co., Ltd., 2013).

Descrição / Propriedade		Valor	
Identificação do material	Polímero	PA6	
	Nome comercial	Durethan BKV 30 H2.0	
	Produtor	Lanxess	
	Comentário	30%GF	
Condições de processamento	Temperatura de fusão	Mínima	270 °C
		Normal	280 °C
		Máxima	290 °C
	Temperatura do molde	Mínima	70 °C
		Normal	90 °C
		Máxima	110 °C
	Temperatura de extração	140 °C	
Temperatura de não escoamento	180 °C		
Propriedades mecânicas	Módulo de elasticidade	Longitudinal	8664 MPa
		Transversal	5316 MPa
	Relação comprimento/diâmetro da fibra de vidro	20	
	Porcentagem em peso da fibra de vidro	30 %	

Os tempos de ciclo da moldação obtidos, neste estudo, estão indicados na Tabela 5.3. Na Figura 5.2 pode-se observar os resultados comparativos, entre o sistema canais frios e o sistema misto (canal quente + canal frio), tempos de enchimento, temperaturas do material e distribuição das temperaturas no final da injeção.

Tabela 5.3 – Tempos das várias fases do ciclo de moldação obtidos a partir do software Moldex3D R12.0 de canais frios (CF) e do sistema misto (CQ + CF).

Tempo [s]	CF	CQ + CF
Enchimento	0,5	0,5
Compactação	4,0	5,0
Refrigeração	12,0	14,0
Tempo de abertura	5,0	5,0
Ciclo de moldação	21,5	24,5

A partir da análise da Tabela 5.4 é possível observar que o tempo total do ciclo de moldação é maior no sistema misto (CF + CQ) do que o de CF. Os valores obtidos não estão de acordo com o esperado, isto é, devia-se ter menores tempos de ciclo de moldação. Esta situação pode ser explicada com base no fato do sistema ser misto e, por outro lado, terem sido consideradas a mesma geometria e dimensões dos canais de alimentação e ataques.

Tabela 5.4 – Diferentes volumes e massas das duas moldações obtidas por canais frios (CF) e sistema misto (CQ + CF).

Parte	CF		CQ + CF		
	Volume [cm ³]	Massa [g]	Volume [cm ³]	Massa [g]	
Artigos	Provete de tração	1,33	1,63	1,33	1,65
	Provete de Flexão	7,23	8,45	7,23	8,54
Canal frio	4,99	6,33	3,40	4,35	
Total da moldação	13,55	16,41	11,96	14,54	

Já em relação ao tempo de compactação, também se confirma aumento no caso do sistema misto (CF + CQ) em relação aos CF. Naturalmente, os ataques no caso do sistema de CF solidificam mais cedo do que no sistema de canais quentes, implicando assim um menor tempo, dado que após a solidificação não se verifica a passagem de material no ataque.

Na opção de utilização por um sistema de canais quentes ou frios, deve-se saber qual o objetivo principal desta opção: otimizar o tempo de ciclo, poupar material, obter moldações de boa qualidade, necessidade de processamento de um dado material com problemas de processamento (temperatura de transição vítrea próxima da temperatura de processamento).

Na seleção de um sistema de canais quentes, é possível observar a existência de poupança de material em relação ao sistema de canais frios (Tabela 5.4). Na injeção dos provetes de flexão e de tração com canais frios, a moldação com o material estudado tem uma massa de 16,41 g, enquanto com um sistema de canais quentes, a moldação tem menos 1,87 gramas. Na produção de grandes séries, por exemplo de 1 milhão de moldações, está-se a falar de 1870 kg de material plástico que teria que ser reprocessado.

Através da Tabela 5.4, também se pode observar que com a utilização de um sistema de canais quentes, um aumento de densidades das peças processadas. O provete de tração processado, com um sistema CF + CQ, apresenta uma massa de aproximadamente 1,65 g e, no caso de um sistema CF apresenta 1,63 g, ocorreu deste modo um aumento da densidade. O mesmo aconteceu para o provete de flexão.

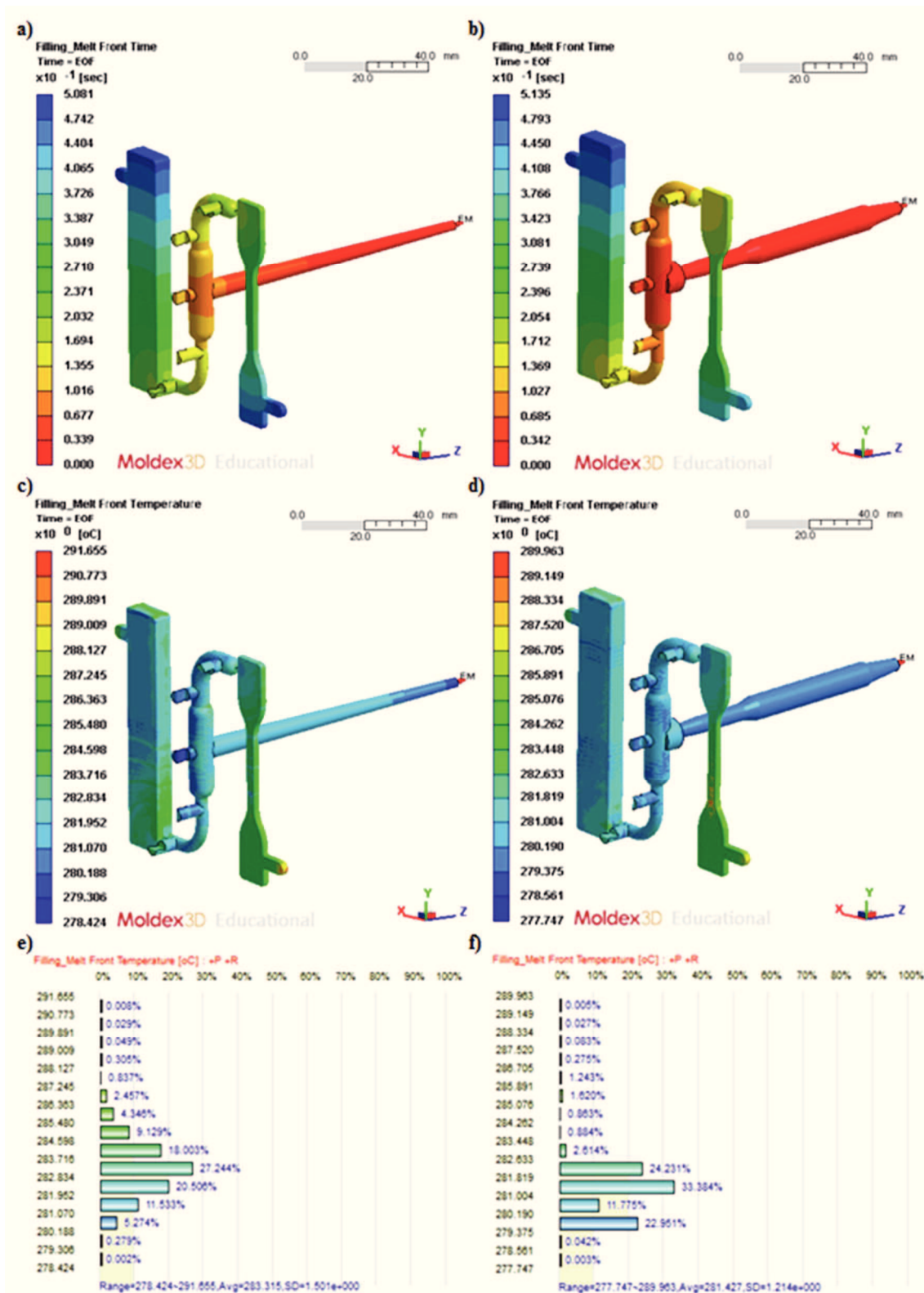


Figura 5.2 – Resultados comparativos ente CF e CQ + CF: a) e b) tempo de enchimento; c) e d) temperaturas no final da injeção; e) e f) distribuição das temperaturas.

No projeto de um sistema de alimentação, um fator importante a ter em conta, é o balanceamento relativo ao enchimento da moldação, ou seja, é conveniente que todas as peças terminem o seu enchimento ao mesmo tempo. A partir dos resultados obtidos, é possível

observar que o provete de tração e o de flexão acabam de encher praticamente ao mesmo tempo, quer no caso dos sistemas de CF (Figura 5.2 a)) ou no CF + CQ (Figura 5.2 b)).

Relativamente à temperatura da frente do fundido (Figura 5.2 c) e d)), é possível observar que, para os dois casos, as temperaturas se encontram dentro da janela de temperatura de processamento do material (270 aos 290 °C). Na Figura 5.2 e) e para o caso dos canais frios, pode-se observar que as temperaturas variam sobretudo entre 280 e os 287 °C (e que no sistema misto variam entre os 279 e 283 °C (Figura 5.2 f)). Em ambos os casos as temperaturas de processamento estão controladas e dentro da janela de processamento.

A partir da Figura 5.3 a) e b) pode-se observar, para os dois casos, um queda de pressão ao longo dos canais até à extremidade das peças, como é expetável. Estas resultam das restrições e obstáculos que condicionam a passagem do material fundido. Verifica-se, em geral, que existem pressões mais baixas no sistema misto (CF + CQ, Figura 5.3 a) e c)) do que nos CF (Figura 5.3 b) e d)), como é de esperar.

Para o enchimento e compactação da massa de fundido, no caso do molde de canais frios, é necessária uma força de fecho de 23,9 t enquanto que no molde com o sistemas de canais quentes é apenas necessária uma força de fecho de 19,6 t.

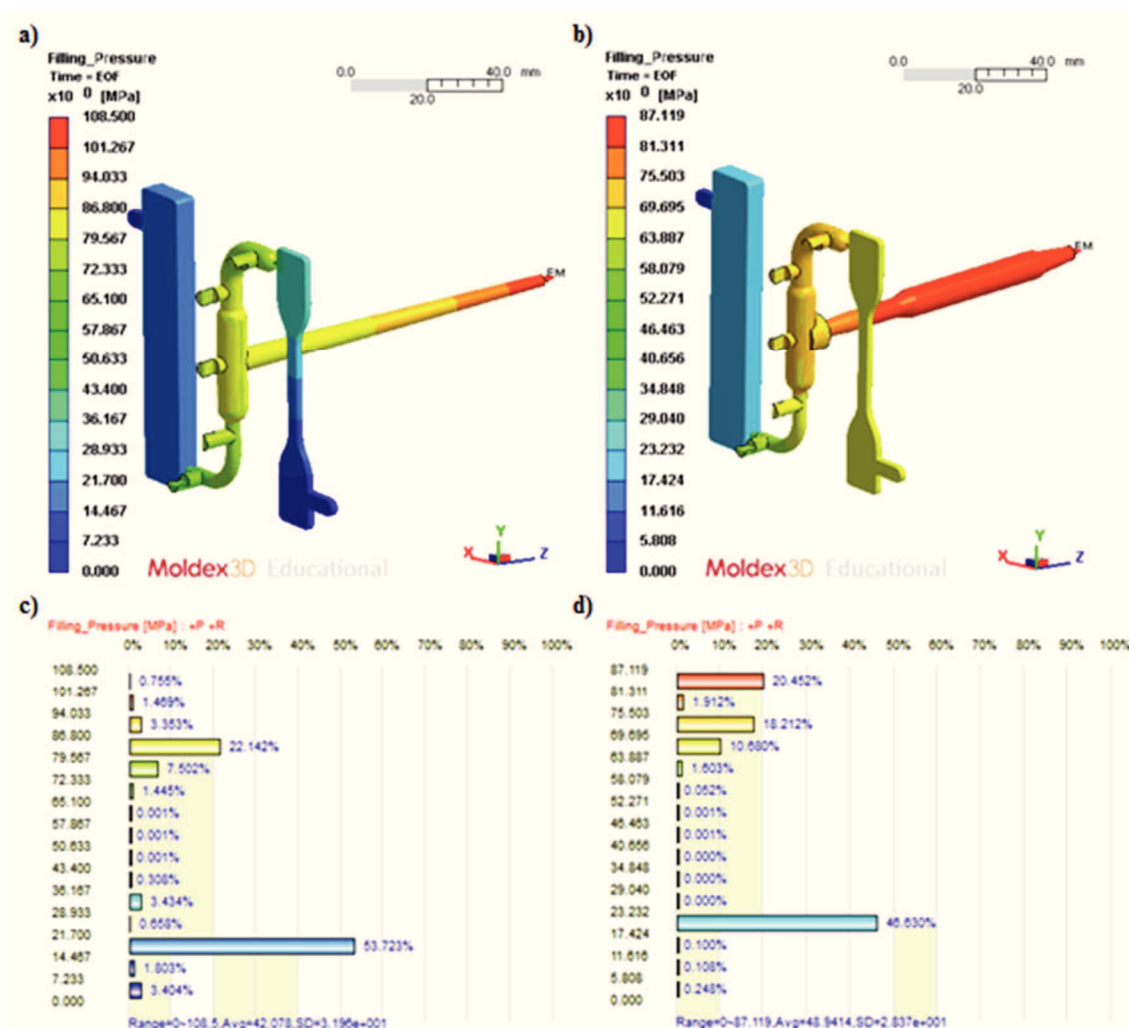


Figura 5.3 – Pressão na cavidade moldante: a) CF; b) CQ + CF; c) distribuição da pressão nos CF; d) distribuição da pressão nos CF + CQ.

Verifica-se a partir da Figura 5.4 a) que a moldação injetada com o sistema de canais frios (CF) pode ser extraída após os cerca dos 10 a 15 s. No caso do sistema misto (CF + CQ), Figura 5.4 b), a moldação por ser extraída entre os 12 e os 18 s. Em ambos os casos o provete de tração solidifica primeiro do que o provete de flexão, este necessita de mais tempo para ser extraído ser existir a deformação.

Com base na análise das temperatura dos circuitos de refrigeração, Figura 5.4 c) e d), pode-se constatar uma uniformidade de temperaturas, sem haver variações significativas de temperaturas entre a entrada e a saída água de refrigeração, sendo que esta variação não chega a ultrapassar 1 °C.

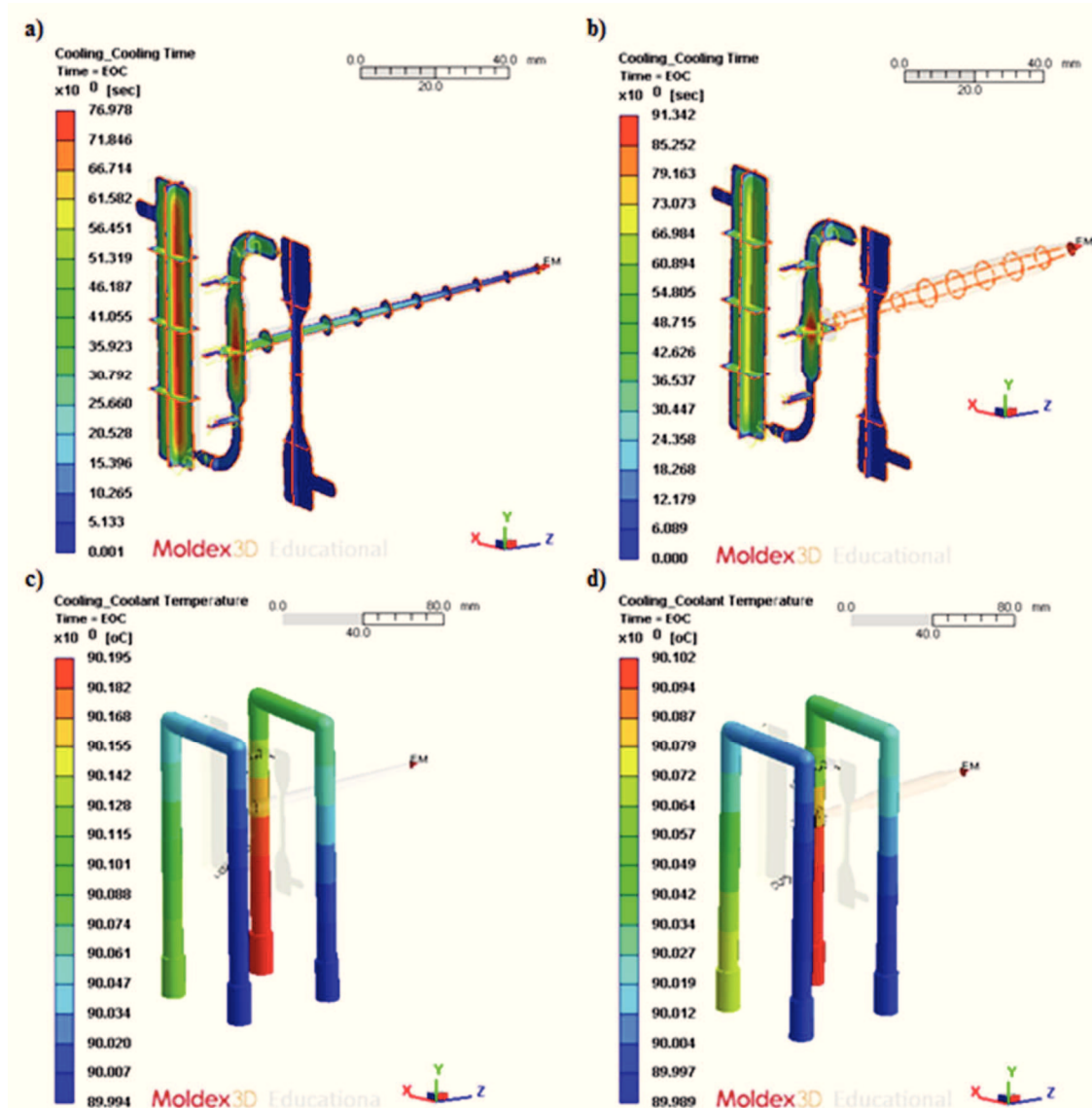


Figura 5.4 – Efeito no sistema de refrigeração nos dois casos: a) e b) tempo necessário para a moldação ser extraída após solidificação; c) e d) temperatura do líquido de refrigeração.

5.1.2 O molde para processamento de provetes

O molde em estudo foi realizado de acordo com as dimensões das peças que se pretendem injetar, um provete para tração (Figura 5.5 a)) e outro provete para flexão (Figura 5.5 b)), de acordo com as normas ASTM D638-10 (American Society for Testing and Materials, 2010) e ASTM D790-03 (American Society for Testing and Materials, 2003).

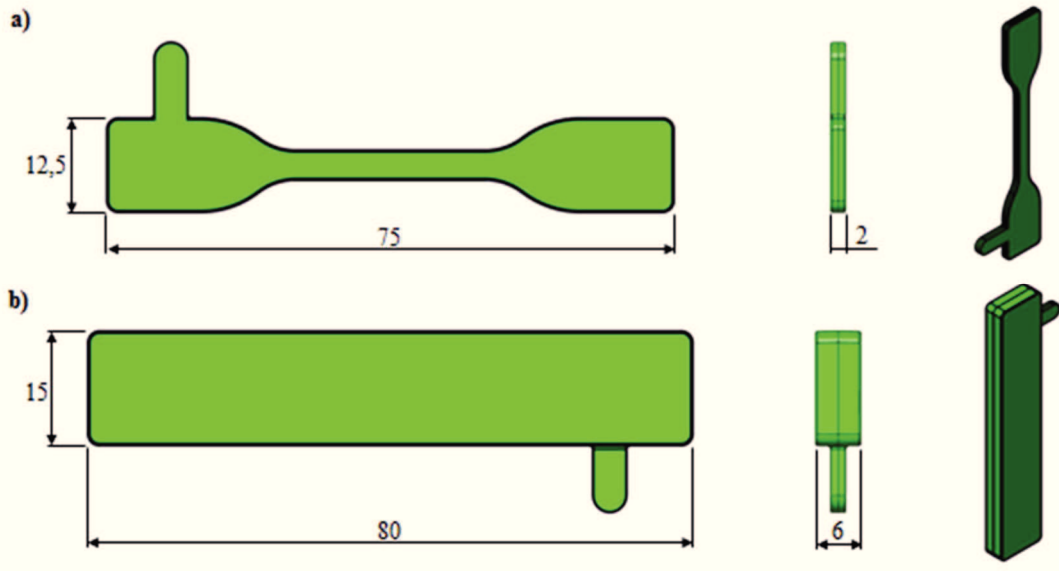


Figura 5.5 – Peças plásticas: a) provete de tração; b) provete de flexão; dimensões em milímetros.

O molde foi projetado e fabricado de acordo com os procedimentos e normas (específicos da indústria de moldes, Capítulo 2), informação técnica (fornecedores de materiais e acessórios). No projeto de um molde teve-se de ter em consideração os seguintes aspetos:

- As dimensões do artigo (geometria, dimensões e material da peça a injetar);
- O balanceamento do molde;
- O sistema de refrigeração;
- O sistema de injeção (CQ, CF ou misto);
- Molde com cavidades intermutáveis (apresentado no caso de estudo 1);
- O uso de engates rápidos das entradas e saídas dos circuitos de refrigeração da Stäubli RPL 08.1151 (ou sistemas compatíveis);
- Diâmetro do anel de centragem (neste caso $D=110$ mm);
- Raio do injetor de 15 mm (máquina);
- Injetor frio (canais frios);
- As especificações técnicas máquina de injeção Euro Inj Série D-080 da Lien Yu (Anexo G).

Na Figura 5.6 pode-se ver os desenhos (plantas, alçados e pormenores) relativos ao projeto do molde de injeção de canais frios, para o processamento da moldação de provetes de tração e de flexão. A modelação do molde e dos vários componentes foi feito com recurso ao *software SolidWorks 2014*.

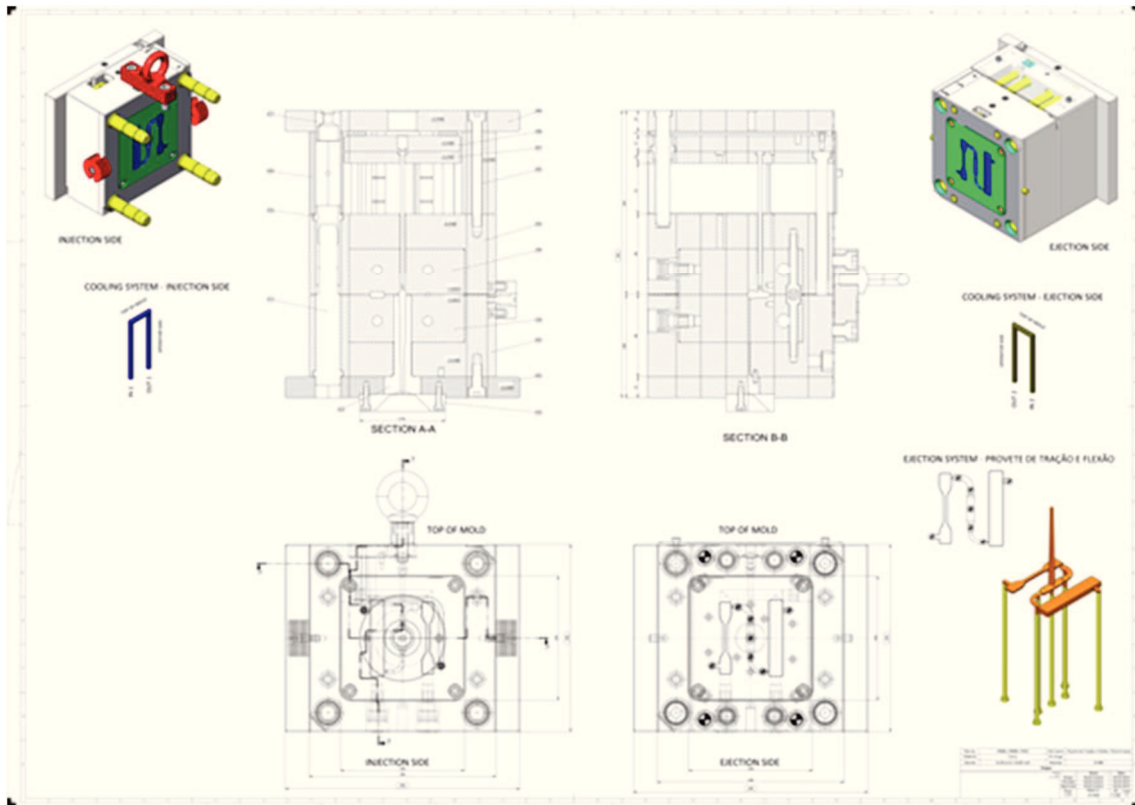


Figura 5.6 – Desenho esquemática em desenho 2D, relativo ao molde dos provetes.

Após a conclusão do projeto do molde foi realizada a lista de materiais, aços e componentes normalizados. A cavidade e a bucha foram projetadas em função das dimensões dos provetes, do sistema de alimentação de canais frios e das dimensões da estrutura mais adequada em termos de dimensões para a moldação pretendido (Figura 5.7, Tabela 5.5, Tabela H.1 do Anexo G).

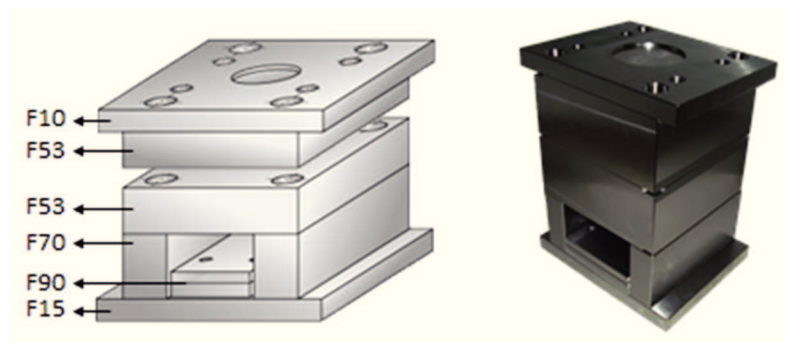


Figura 5.7 – Representação esquemática e numeração da estrutura utilizada no molde dos provetes (Meusburger).

Tabela 5.5 – Lista de materiais do molde dos provetes.

Ref.	Designação	Qtd.	Dimensões	Material	Obser.
0	Barra de transporte	1	NV2525 /100 /1730	Meusburger	-
1	Chapa aperto da injeção	1	F10 /196196 /22 /1730	Meusburger	-
2	Chapa das cavidades	1	F53 /196196 /86 /50 /1730	Meusburger	-
3	Chapa das buchas	1	F53 /196196 /86 /50 /1730	Meusburger	-
5	Calço	1	F70 /196196 /36 /86 /1730	Meusburger	-
6	Calço	1	F70 /196196 /36 /86 /1730	Meusburger	-
7	Chapa dos extratores	1	F90 /196196 /122 /1730	Meusburger	-
8	Chapa aperto dos extratores	1	F90 /196196 /122 /1730	Meusburger	-
9	Chapa aperto da extração	1	F15 /196196 /22 /1730	Meusburger	-
16	Guia principal	1	E1000 /18-86 /75	Meusburger	-
17	Guia principal	3	E1000 /20-86 /75	Meusburger	-
23	Guia das chapas da extração	4	E1020 /14x120	Meusburger	-
25	Casquilho da guia principal	1	E1100 /18-76	Meusburger	-
26	Casquilho da guia principal	3	E1100/20-76	Meusburger	-
27	Casquilho de centramento	4	E1160/26x30	Meusburger	-
29	Casquilho das chapas da extração	4	E1100 /14-17	Meusburger	-
30	Perno de retorno	4	E1710 /12x160	Meusburger	Compr. = 151,50
32	Anel de centragem	1	E1362 /90 /90 /26x18	Meusburger	-
33	Injetor principal	1	E1605 /18x86 /3	Meusburger	-
41	Parafuso limitador de curso	2	E1240 /6x16	Meusburger	-
50	Barra de fecho	2	E1936 /40	Meusburger	-
100	Cavidade	1	NF2660 /130130 /50 /12 /2311	Meusburger	-
100 A	Postiço da cavidade	2	Ø7,20x49	1.2311	-
200	Bucha	1	NF2660 /130130 /50 /12 /2311	Meusburger	-
330	Tampão	4	E2074/10/1/4	Meusburger	-
331	Engate rápido	4	RPL 08.1151	Stäubli	-
340	Olhal	1	E1270 /12	Meusburger	-
360	Chapa de acrílico de proteção da extração	1	E1920 /19686/2	Meusburger	-
380	Botão de encosto	4	E1500 /20	Meusburger	-
C03 3	Cavilha	1	Ø4x12	Standard	-
C05 0	Cavilha roscada	4	E1302 /8x16	Meusburger	-
E001	Extrator central do gito	1	E1710 /4x160	Meusburger	Compr. = 145
E002	Extrator	1	E1710 /4x160	Meusburger	Compr. = 145
E003	Extrator	2	E1710 /4x160	Meusburger	Compr. = 145

Ref.	Designação	Qtd.	Dimensões	Material	Obser.
E004	Extrator	1	E1710 /4x160	Meusburger	Compr. = 145
E005	Extrator	2	E1710 /4x160	Meusburger	Compr. = 145
E006	Extrator	1	E1710 /4x160	Meusburger	Compr. = 150
E007	Extrator	1	E1710 /4x160	Meusburger	Compr. = 150
E008	Extrator	6	E1710 /4x160	Meusburger	Compr. = 149,50
P000	Parafuso cabeça cilíndrica	2	M12x30	Standard	-
P002	Parafuso cabeça cilíndrica	4	M10x25	Standard	-
P003	Parafuso cabeça cilíndrica	4	M10x110	Standard	-
P007	Parafuso cabeça cilíndrica	4	M8x16	Standard	-
P032	Parafuso cabeça cilíndrica	2	M5x20	Standard	-
P100	Parafuso cabeça cilíndrica	4	M8x55	Standard	-
P200	Parafuso cabeça cilíndrica	4	M8x55	Standard	-
P360	Parafuso cabeça cilíndrica	2	M5x10	Standard	-
P371	Parafuso cabeça cilíndrica	2	M4x8	Standard	-
P376	Parafuso cabeça cilíndrica	2	M4x8	Standard	-
P380	Parafuso cabeça cónica	4	M5x10	Standard	-

Os diferentes elementos do molde foram maquinados por fresagem por corte por arranque de apara e as suas faces retificadas por retificação plana. As cavidades moldantes intermutáveis foram ajustadas às chapas 2 e 3. Na Figura 5.8 pode-se ver o molde com as cavidades intermutáveis montadas, as cavidades moldantes para o processamento dos provetes e o lado fixo do molde (lado da extração) com o sistema de extração atuado.

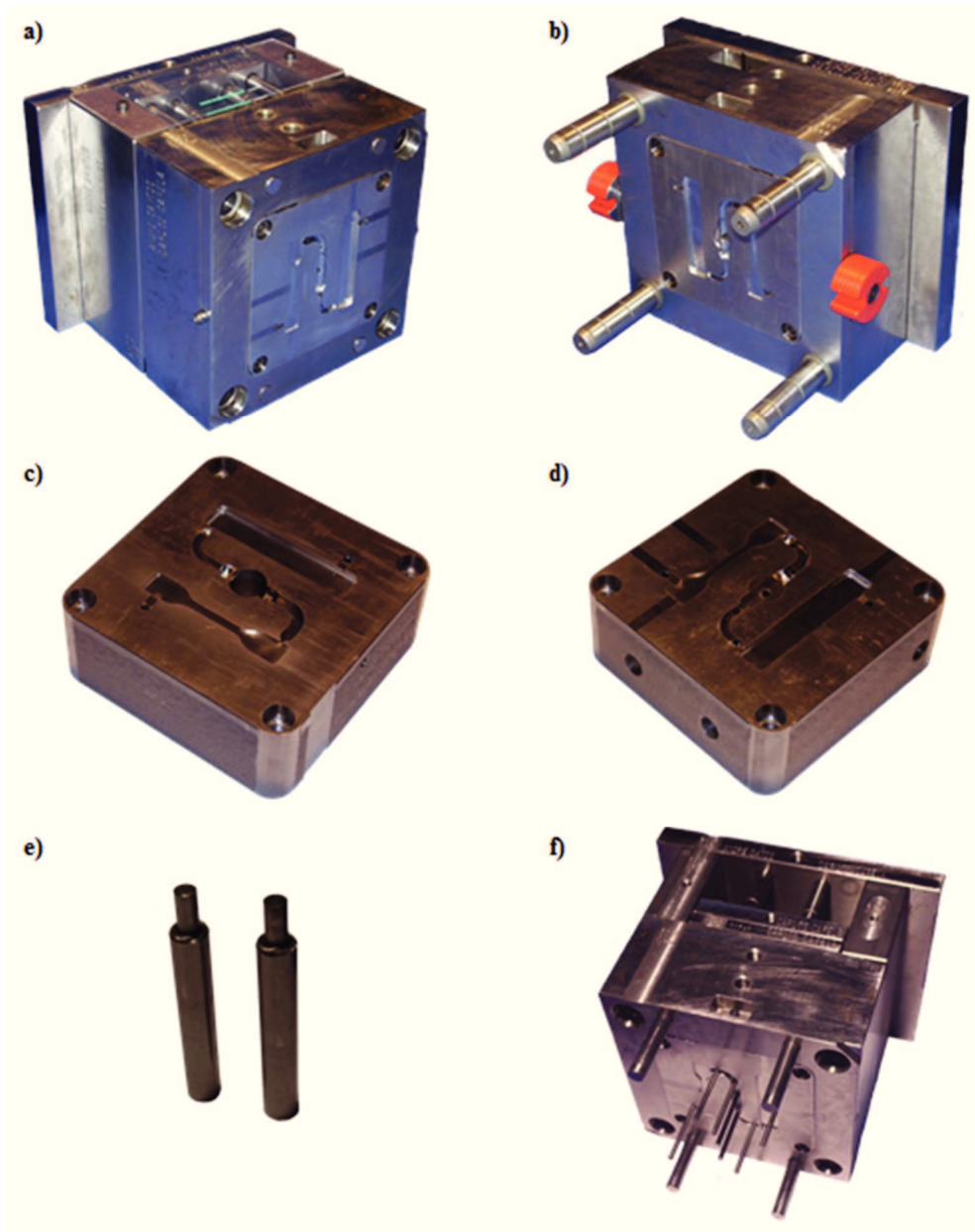


Figura 5.8 – Molde dos provetes; a) lado da extração – lado móvel; b) lado da injeção – lado fixo; c) cavidade; d) bucha; e) postigos moldantes; f) lado móvel com a extração avançada.

Na Figura 5.9 são apresentadas as várias moldações obtidas no processamento por injeção dos diferentes materiais (PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro).

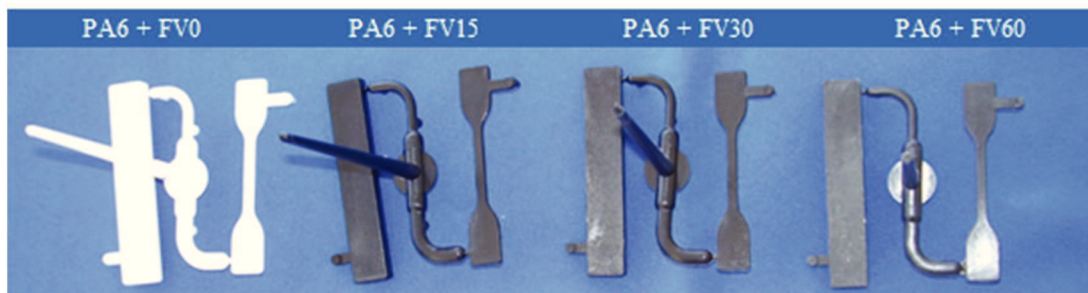


Figura 5.9 – Moldações obtidas com o molde dos provetes com os materiais (PA6 e compósitos de matriz PA6 com fibras curtas de vidro).

5.2 Caso de estudo 2: conceção e desenvolvimento de um porta-chaves

Na preparação das jornadas do Mestrado em Engenharia da Conceção e Desenvolvimento do Produto (MECDP 2014), pensou-se em oferecer aos vários participantes um produto alusivo ao evento. O produto a desenvolver deveria ser simples, exequível e que na sua conceção fossem utilizadas técnicas de desenvolvimento e fabrico rápido (técnicas utilizadas no MECDP). O produto a desenvolver teve como base o conceito de porta-chaves, pelo fato da produção deste ser simples, ser possível o seu fabrico num molde de duas placas e poder ter uma produção significativa de peças plásticas. O conceito de produto alusivo ao evento (MECDP 2014), foi desenvolvido com recurso aos processos de prototipagem rápida e, como se pensou em utilizar a estrutura do molde do dos provetes (com o mesmo sistema de extração, sistema de alimentação e refrigeração), com as restrições relativas às dimensões dos elementos moldantes a fabricar.

O conceito do produto para o evento teve como pontos de partida o Homem, enquanto criador, ser pensante, que cria e desenvolve ideias de novos produtos. A Figura 5.10 reflete este conceito: o Homem, a ideia, o pensamento, a inovação e a alusão ao evento MECDP 2014.

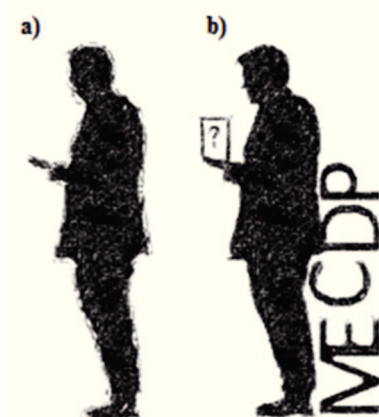


Figura 5.10 – Esquícios relativos ao desenvolvimento do produto porta-chaves.

No desenvolvimento do porta-chaves foram, também, introduzidas algumas alterações que reforçam a ligação do produto ao MECDP: a lâmpada como símbolo de ideia e do desenvolvimento e, também, as iniciais do curso do MECDP (Figura 5.10 e Figura 5.11).



Figura 5.11 – Esquícios finais dos modelos finais do porta-chaves

Com os desenhos relativos ao desenvolvimento do produto concluídos, foi necessário proceder à sua modelação com recurso ao software SolidWorks 2014. Neste sentido foi necessário realizar um estudo relativo às dimensões mais adequadas, conforme se pode observar na Figura 5.12. Assim, foram analisadas as dimensões de alguns porta-chaves e, foi possível constatar que o porta-chaves com a dimensão de 77 mm de altura seria a mais adequada.



Figura 5.12 – Análise comparativa das dimensões de alguns porta-chaves existentes no mercado.

Foram, também, obtidos protótipos físicos em madeira (Figura 5.13, dada a simplicidade da geometria do produto em desenvolvimento), por impressão 3D (Figura 5.14; *Objet 30 Pro* da *Stratasys*) e em resina epóxida (Figura 5.15; moldes em silicone).



Figura 5.13 – Modelo ou master obtido em madeira balsa, utilizado no fabrico dos moldes em silicone para obter porta-chaves em resina epóxida.

O protótipo obtido por tecnologia de impressão 3D da *Stratasys* (impressora *Objet 30 Pro*; Figura 5.14 a), b)). O material utilizado neste processo foi o *VeroClear RGD810*, transparente, com boa resistência e, que permitiu o fabrico de um protótipo (porta-chaves; Figura 5.14 c)) com muito boa qualidade de impressão da peça e de pequenos detalhes definidos na modelação.

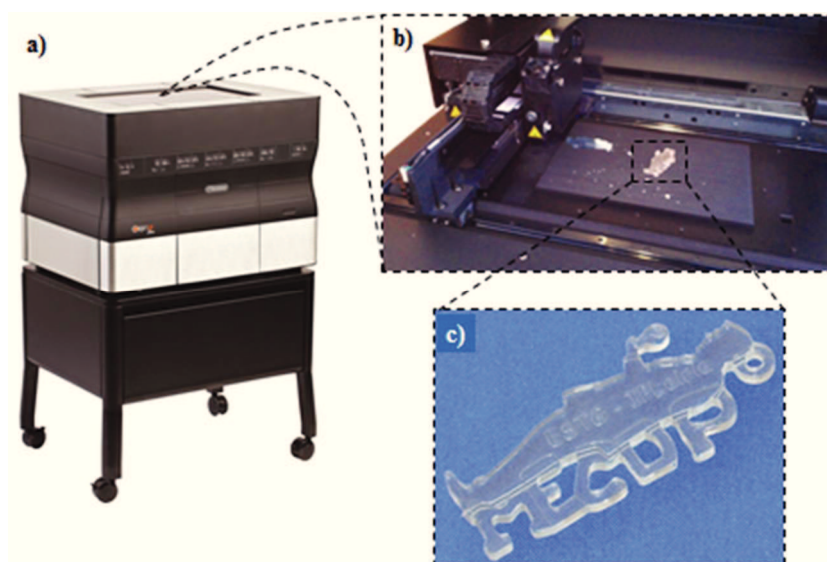


Figura 5.14 – Impressora 3D Objet 30 Pro da Stratasys: a) equipamento; b) câmara de construção do protótipo; c) peça obtida pela tecnologia PolyJet em VeroClear RGD810, com boa definição de pormenores.

Depois da obtenção do protótipo pela tecnologia de impressão 3D, foi, também, utilizada a tecnologia de fabrico rápido (moldes em silicone) para obtenção de peças e, poder comparar estas com as obtidas com as obtidas com o modelo em madeira.

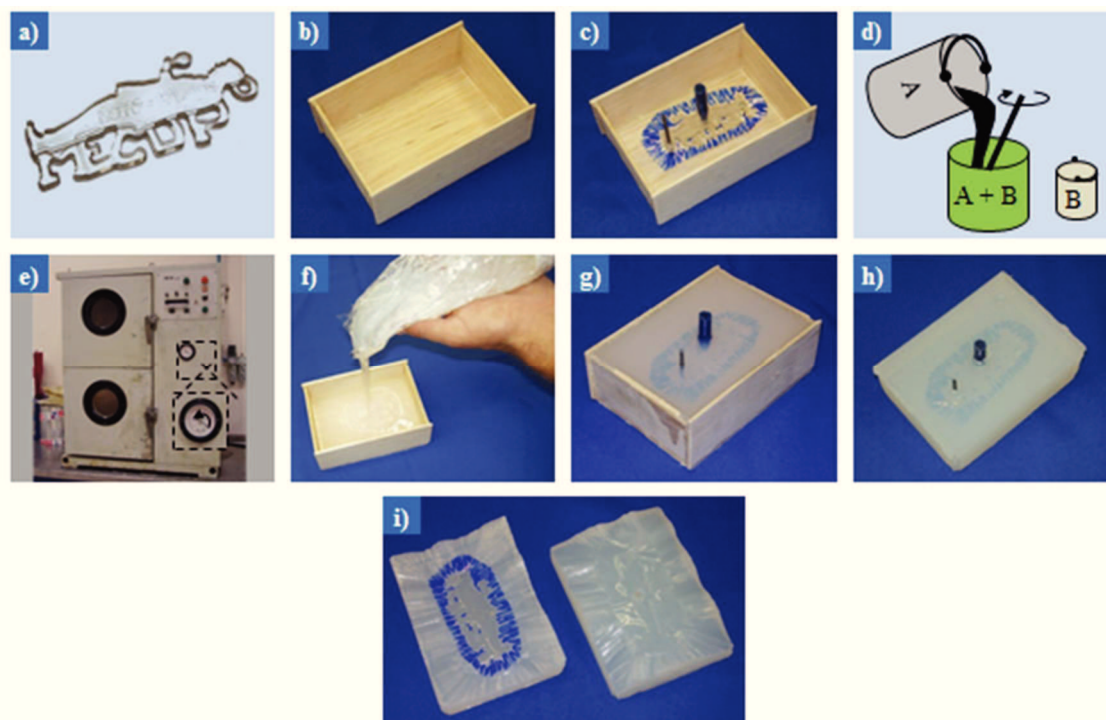


Figura 5.15 – Processo de fabrico do molde em silicone: a) modelo ou protótipo; b) caixa para vazamento do silicone; c) definição do plano de junta do molde, escape de ar e canal de alimentação; d) mistura do silicone + endurecedor; e) do silicone + endurecedor em vácuo; f) vazamento; g) processo de cura; h) desmoldação do molde da caixa; i) abertura do molde, pela linha de junta, com recurso a bisturi.

Na Figura 5.17 a) e b) pode-se ver os elementos moldantes do molde de injeção, obtidos por impressão 3D (tecnologia PolyJet numa Objet 30 Pro em VeroClear RGD810) para produção de porta-chaves. Na Figura 5.17 c) e d) são apresentados blocos maquinados em PU

para fazer altura nas chapas das buchas e das cavidades. Na mesma figura, e) e f) pode-se ver lado móvel e lado fixo do molde utilizados no processamento.

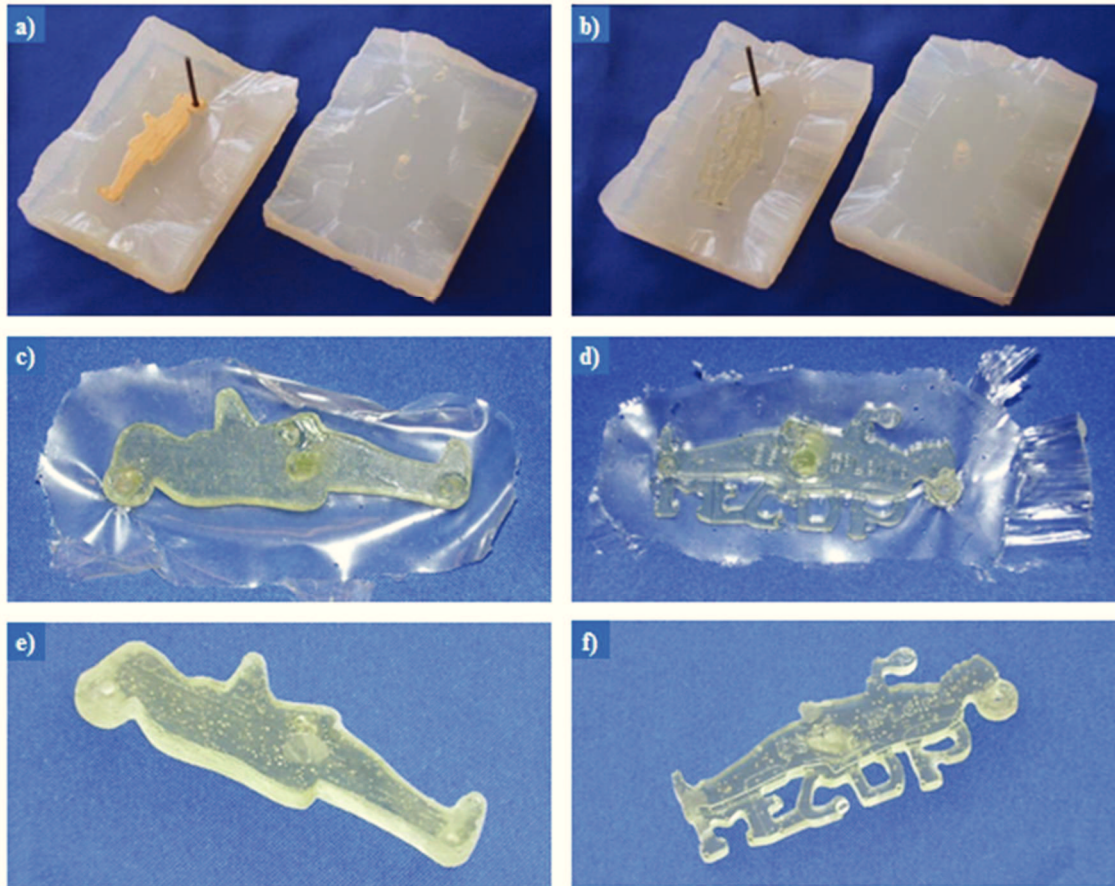


Figura 5.16 – Molde em silicone e protótipos obtidos; a) molde em silicone para a versão madeira do porta-chaves; b) molde em silicone para a versão impressa do porta-chaves; c) protótipo em madeira após cura; d) protótipo impresso após cura; e) protótipo madeira após acabamento; f) protótipo impresso após acabamento.

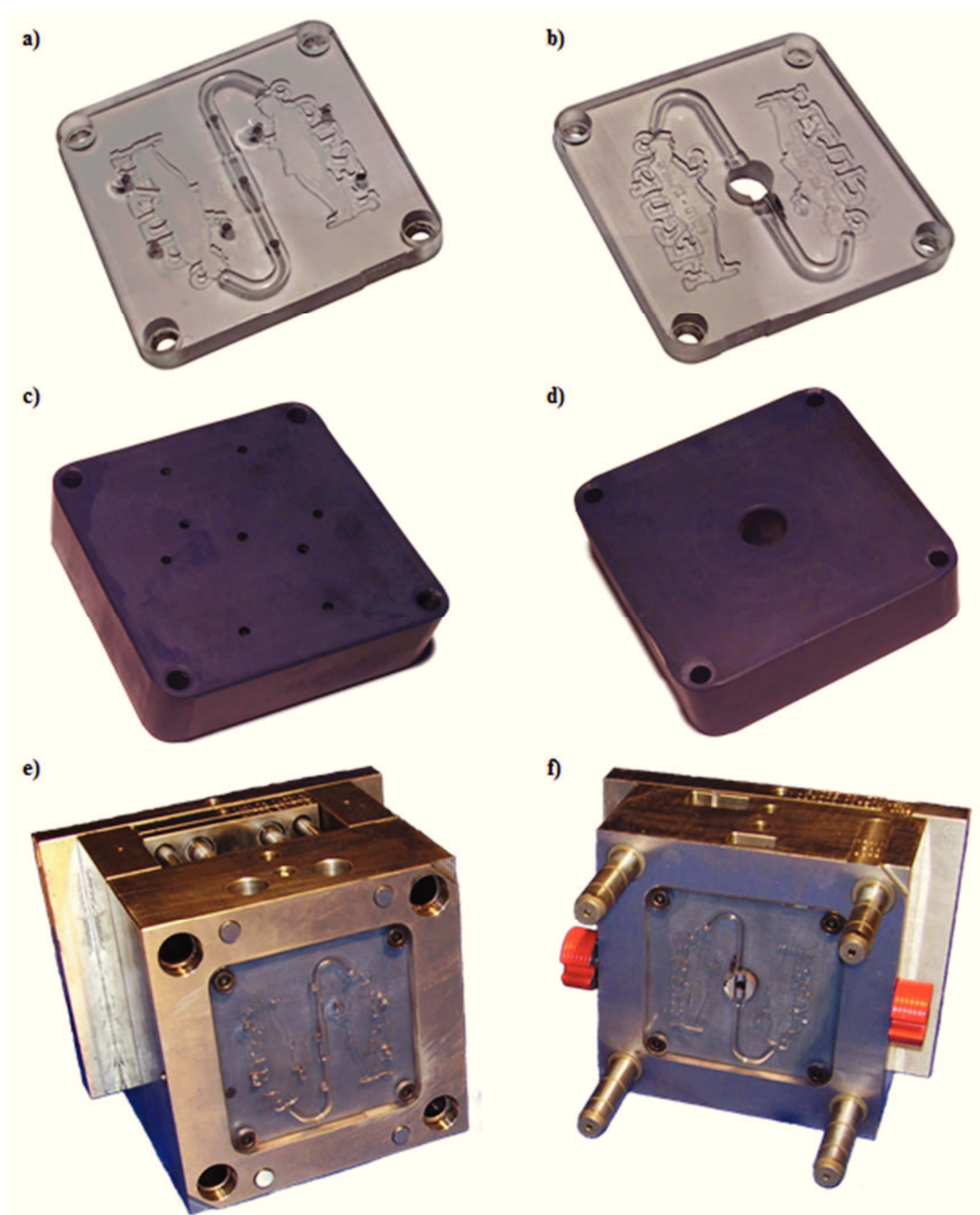


Figura 5.17 – Molde para produção do porta-chaves versão impressa 3D; a) e b) são a bucha e cavidade obtidas tecnologia PolyJet numa Objet 30 Pro em VeroClear RGD810; c) e d) são blocos para fazer altura nas chapas das buchas e das cavidades; e) lado móvel; f) lado fixo.

A análise das peças relativas ao porta-chaves com zonas moldantes obtidas por impressão 3D pode ser feita a partir da Figura 5.18 e da Figura 5.19. Na Figura 5.18 pode-se observar a sequência de enchimento das peças em PP (*Braskem Polypropylene CP 204*).

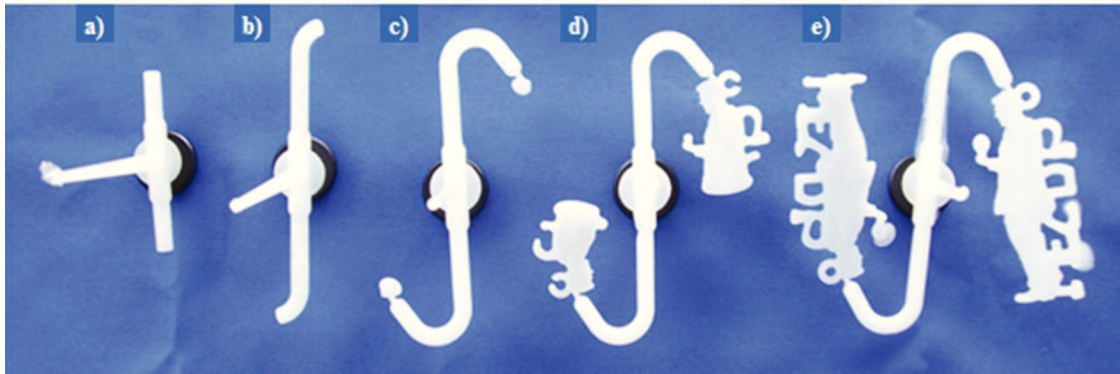


Figura 5.18 – Sequência de enchimento das peças em PP (Braskem Polypropylene CP 204) obtidas com as zonas moldantes do porta-chaves em VeroClear RGD810.

Após a injeção de 25 moldações, o molde com as zonas moldantes obtidas por impressão 3D apresentou sinais evidentes de degradação (Figura 5.19). Estes sinais, prendem-se com o aparecimento de fissuras nos canais de alimentação por onde o fluxo do material plástico fundido passa.

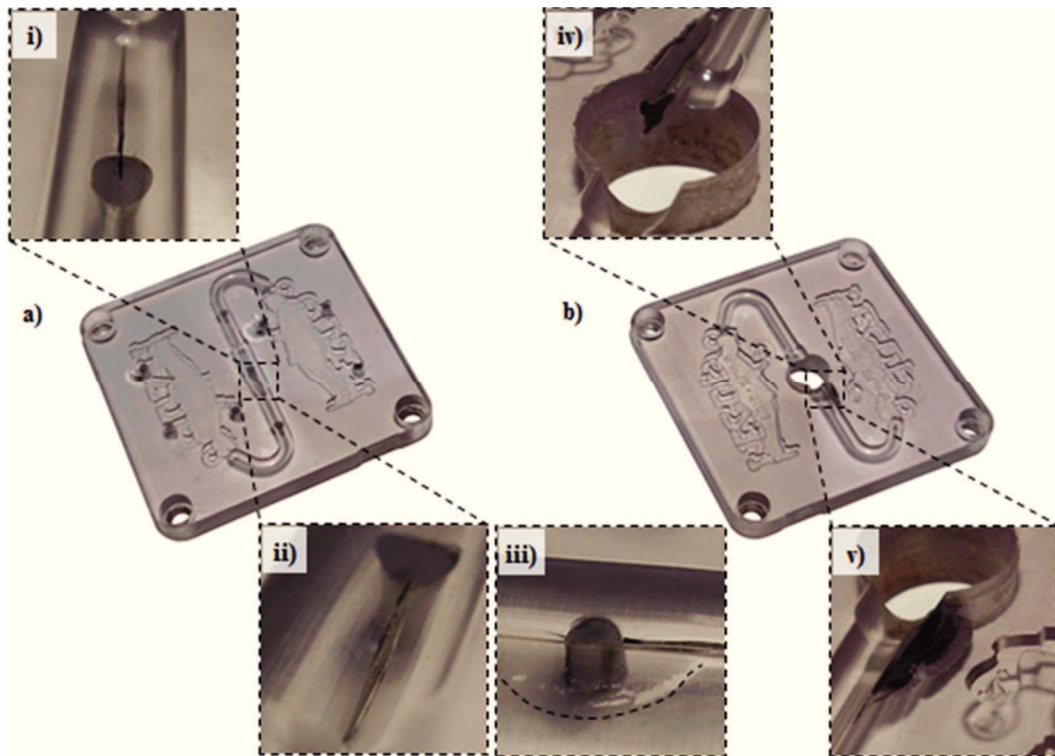


Figura 5.19 – Zonas moldantes em VeroClear RGD810 após injeção: a) bucha; b) cavidade.

Na Figura 5.20 a) e b) pode-se ver a parte de extração (móvel) e a parte de injeção (fixa). Na Figura 5.20 c) e d) pode-se observar os elementos moldantes em aço do molde de injeção, obtidos por processos de maquinação por corte de aparas, para produção elevada de porta-chaves.

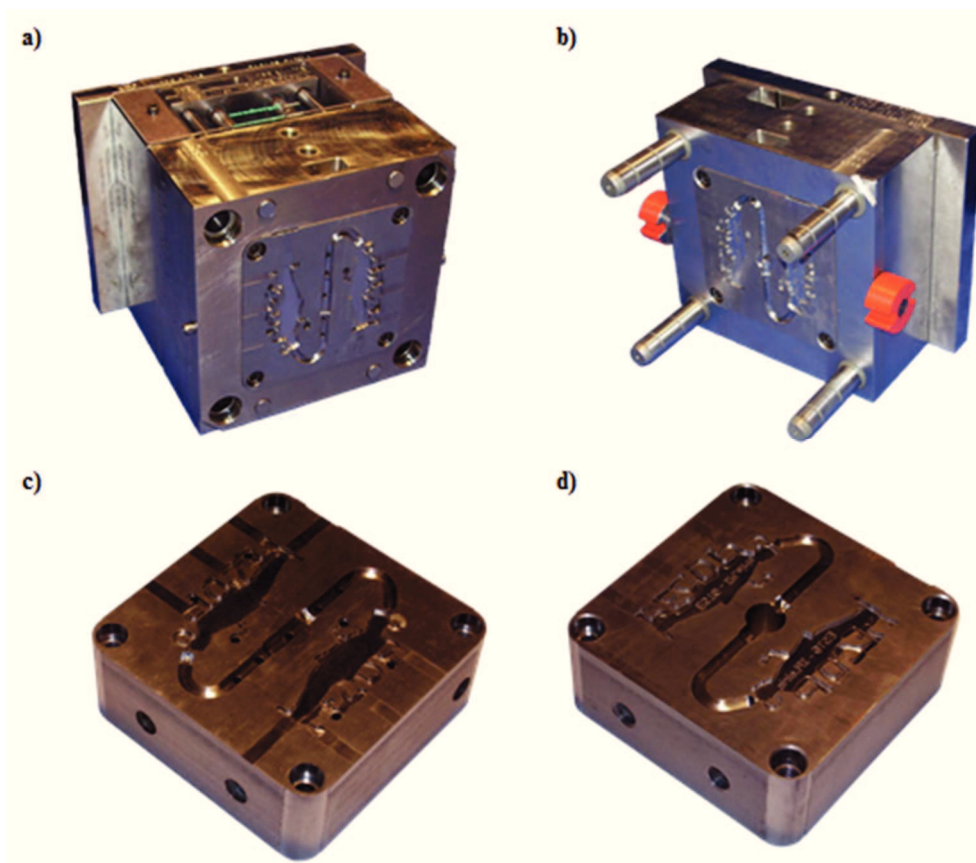


Figura 5.20 – Molde com os elementos moldantes em aço montados na estrutura do molde de injeção: a) lado móvel; b) lado fixo; c) bucha do porta-chaves; d) cavidade do porta-chaves.

Na Figura 5.21 pode-se ver os resultados em termos de moldações e peças acabadas (porta-chaves) obtidas por injeção com zonas moldantes em aço. Este tipo de molde permite uma produção elevada de peças com boa qualidade.

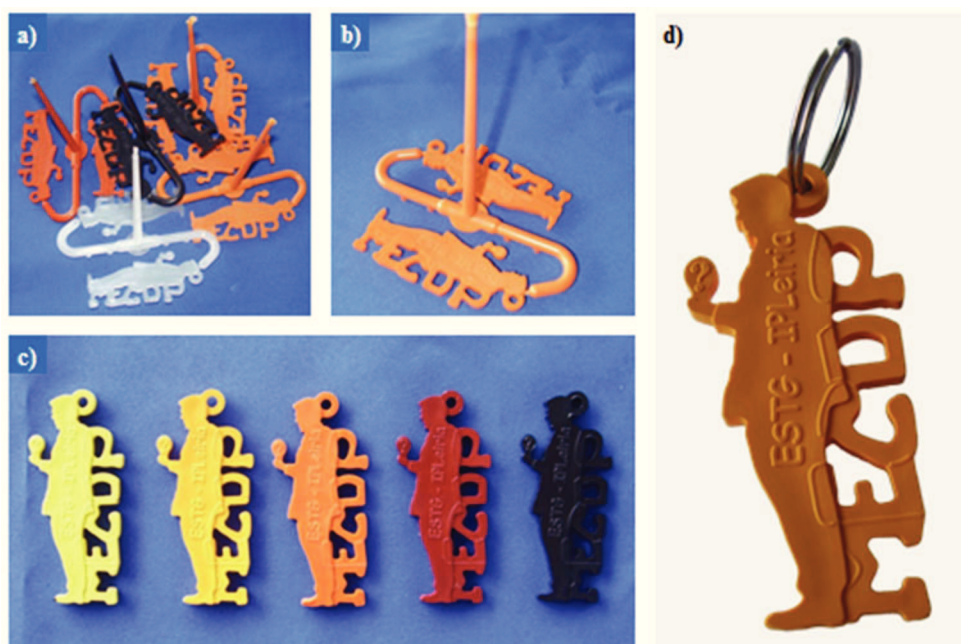


Figura 5.21 – Peças processadas por injeção com zonas moldantes em aço: a) e b) Moldações; c) e d) porta-chaves (separados do gito e dos canais).

Capítulo 6 Conclusão

6.1 Conclusões

Neste trabalho de dissertação é analisado o comportamento mecânico da poliamida 6 (PA6) e compósitos de matriz PA6 com as várias frações mássicas de fibra de vidro processados por injeção. Nos dois casos de estudo realizados são apresentados os seguintes estudos: projeto e fabrico de um molde de provetes para caracterização de materiais a processar e um estudo de simulação do processo de injeção com base no software Moldex3D; conceção e desenvolvimento de um simples porta-chaves.

Caraterização mecânica e física da PA6 e compósitos com fibras de vidro

Foram processados por injeção os seguintes materiais: PA6 + FV15, FV6 + FV30 e PA6 + FV60;

As diferenças de densidade experimentais e teóricas observadas não são significativas e os desvios podem ser explicadas com base nas condições de mistura e de processamento dos materiais processados.

Foi realizado um estudo por forma a determinar o comportamento mecânico dos diferentes compósitos de matriz PA6 com diferentes frações em peso de fibra de vidro. O comportamento mecânico destes compósitos foi caracterizado por ensaios de flexão em três pontos estáticos (temperatura ambiente) e ensaios de DMA numa gama de temperaturas de 20 a 160° C.

Os valores de tensão máxima e de módulo à flexão e em tração, obtidos nos ensaios estáticos aumentam com o aumento da fração em peso das fibras de vidro. Por outro lado, pode-se observar que os valores de rigidez estáticos estão em concordância com os resultados obtidos nos ensaios de DMA.

Com base nos ensaios de DMA foi possível observar uma diminuição significativa da rigidez com o aumento da temperatura para todos os materiais processados. Foi possível observar um aumento da rigidez com o aumento da fração em peso da fibra de vidro.

Foram obtidos os valores de Tg relativos aos diferentes materiais processados a partir das curvas de Tan Delta. Os valores de Tg apresentam uma tendência crescente com o aumento da fração em peso da fibra de vidro.

Casos de estudo

Caso de estudo 1: molde de provetes para a realização de ensaios de tração e de flexão

Foi projetado e fabricado um molde em aço para a produção de provetes, com o objetivo de desenvolver e caracterizar materiais a processar por injeção.

Foi realizado um estudo de simulação (software Moldex3D) do processo de injeção com sistemas de alimentação por canais frios (CF) e misto (CF+CQ). A partir da análise dos resultados foi possível concluir: no processo de injeção com o sistema misto CF+CQ, as

pressões de injeção as forças de fecho são mais baixas e, por outro lado, as peças processadas são mais compactas.

Caso de estudo 2: conceção e desenvolvimento de um porta-chaves

Neste caso, foi desenvolvido o conceito de um porta-chaves para o evento jornadas MECDP 2014. No desenvolvimento deste produto foram utilizadas técnicas de fabrico rápido, impressão 3D e moldes em silicone. A utilização de cavidades moldantes impressas tecnologia polyjet (e montadas na estrutura do molde dos provetes) revelou-se ser uma boa solução para a produção por injeção de pequenas series (cerca de 50 moldações).

Foram, também, fabricadas cavidades moldantes em aço (e montadas na estrutura do molde dos provetes) e produzidas por injeção, uma serie de 1000 porta-chaves.

6.2 Trabalhos futuros

Caraterização mecânica e física da PA6 e compósitos com fibras de vidro

Realizar estudos de absorção de água, absorção de energia (ensaios de impacto) e de fadiga.

Casos de estudo

Relativamente ao molde de provetes, para se ter um melhor controlo do processo de moldação, seria interessante considerar um sistema de alimentação constituído por um pequeno distribuidor com dois bicos aquecidos.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Referências bibliográficas

Bibliografia referenciada e consultada

Agazzi, Alban, et al. 2013. *Optimal cooling design in injection moulding process - A new approach based on morphological surfaces*. s.l. : Applied Thermal Engineering, 2013.

Alves, Fernando Jorge, et al. 2001. *ProtoClick! Prototipagem Rápida*. Porto : INEGI - Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, 2001. ISBN: 9729537615.

American Society for Testing and Materials. 2010. *ASTM D638-10 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. West Conshohocken : ASTM, 2010.

—. **2003.** *ASTM D790-03 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. West Conshohocken : ASTM, 2003.

—. **2010.** *ASTM D792-08 Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement*. West Conshohocken : ASTM, 2010.

Barata, Alexandra. 2014. História da Indústria na região de Leiria - Moldes. 20 de Março de 2014. Revista que faz parte integrante da edição 1549 do Jornal de Leiria..

Bártolo, Paulo e Mateus, Artur. 2002. O Estado da Arte dos Processos Aditivos de Prototipagem Rápida: Introdução. *O Molde*. 2002, Vol. 53.

Beaumont, John P. 2004. *Runner and Gating Design Handbook: tools for successful injection molding*. Munich : Carl Hanser Verlag, 2004. ISBN: 1569903476.

Belofsky, Harold. 1995. *Plastics: Product Design and Process Engineering*. Munich, Vienna, New York : Carl Hanser Verlag, 1995. ISBN: 9781569901791.

Bralla, James G. 1998. *Design for Manufacturability Handbook*. United States of America : McGraw-Hill, 1998. ISBN: 9780070071391.

Capela, C., et al. 2008. Materiais Avançados para Moldes. *O Molde*. Setembro, 2008, Vol. N.º 78.

Capela, Carlos Alexandre. 2003. *Comportamento em serviço de peças entalhadas em compósitos acrílicos sujeitas a solicitações termo-mecânicas*. Coimbra : Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, 2003.

Casari, Alexandre, et al. 2007. *Análise micromecânica dos compósitos com fibras curtas e partículas*. Rio de Janeiro : Revista Matéria, 2007. 15177076.

Cefamol. 1989. *3.º Congresso da Indústria de Moldes*. Marinha Grande : PME/DGI/ICEP, 1989.

—. **1985.** *I Congresso da Indústria de Moldes*. Marinha Grande : Sociedade Financeira Portuguesa, 1985.

—. **1987.** *II Congresso da Indústria de Moldes*. Marinha Grande : Sociedade Financeira Portuguesa, 1987.

—. **1993.** *IV Congresso da Indústria de Moldes*. Marinha Grande : Associação Nacional da Indústria de Moldes, 1993.

—. **2006.** *Manual de Boas Práticas da Indústria de Moldes*. Junho. Marinha Grande : Cefamol - Associação Nacional da Indústria de Moldes, 2006.

C-Mold, Advanced CAE Technology, Inc. 1999. *C-Mold Design Guide, A Resource for Plastics Engineers*. New York : C-Mold, Advanced CAE Technology, Inc., 1999.

- CoreTech System Co., Ltd. 2013.** *Moldex3D - Molding Inovation (Versão: Moldex3D R12.0 SP3)*. [Software] Taiwan : s.n., 2013.
- Cunha, António M., et al. 2003.** *Manual do Projectista para Moldes de Injeção de Plástico, Fascículo 3: Tipificação de Moldes*. Marinha Grande : Centimfe - Centro Tecnológico da Indústria de Moldes, Ferramentas Especiais e Plásticos, 2003.
- Cunha, António, Pontes, António J. e Brito, António M. 2003.** *Manual do Projectista para Moldes de Injeção de Plástico, Fascículo 2: Moldação por Injeção e Materiais Plásticos*. Marinha Grande : Centimfe - Centro Tecnológico da Indústria de Moldes, Ferramentas Especiais e Plásticos, 2003.
- Davim, J. Paulo. 1998.** *Tecnologia dos Materiais Plásticos*. Lisboa : Universidade Aberta, 1998. ISBN: 9726742668.
- Ding, Yucheng, et al. 2004.** An Integrated Manufacturing System for Rapid Tooling Based on Rapid Prototyping. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2004, pp. 281-288.
- Dym, Joseph B. 1979.** *Injection Molds and Molding, A Practical Manual*. New York : Van Nostrand Reinhold Company, 1979. ISBN: 0442222238.
- Eusébio, João Vicente. 1985.** Normalização nos Moldes para Matérias Plásticas. *I Congresso da Indústria de Moldes*. 1985, pp. 181-201.
- Faustino, João. 2014.** Investimento das empresas garante referência internacional. *Molplas & Tecna - Exposalão*. Anual, Maio de 2014, p. 7.
- Ferreira, N., et al. 2011.** Caracterização mecânica de compósitos com fibras processados por injeção para o fabrico de componentes automóvel. *X Congresso Ibero-Americano em Engenharia Mecânica*. 2011.
- Ferreira, N., et al. 2014.** Effect of Water and Fiber Length on the Mechanical Properties of Polypropylene Matrix Composites. *Fibers and Polymers (Springer)*. 2014, Vol. 15.
- Frenkler, Daniel e Zawistowski, Henryk. 2001.** *Hot Runners in Injection Moulds*. Shawbury : Rapra Technology Limited, 2001. ISBN: 1859572081.
- Garcia, Amauri, Spim, Jaime Alvares e Santos, Carlos Alexandre. 2000.** *Ensaio dos Materiais*. Rio de Janeiro : LTC, 2000. ISBN: 9788521612216.
- Gebhardt, Andreas. 2003.** *Rapid Prototyping*. München : Hanser, 2003. ISBN: 3446212590.
- Goodship, Vanessa. 2004.** *Practical Guide to Injection Moulding*. Shropshire : Rapra Technology Limited and ARBURG Limited, 2004. ISBN: 9781859574447.
- Granja, Domingos e Nogueira, Albano. 2010.** Novos Materiais e Novas Aplicações com a Nitruração Iónica ou por Plasma. *O Molde*. Outubro, 2010, Vol. N.º 87.
- Guedes, Benedito e Filkauskas, Mario E. 1986.** *O Plástico*. São Paulo : Livros Érica Editora LTDA, 1986. ISBN: 8571940800.
- Harada, Júlio e Ueki, Marcelo M. 2012.** *Injeção de Termoplásticos: Produtividade com Qualidade*. São Paulo : Artliber Editora, 2012. ISBN: 9788588098671.
- Harada, Júlio. 2004.** *Moldes para Injeção de Termoplásticos: Projetos e Princípios Básicos*. São Paulo : Artliber Editora Ltda., 2004. ISBN: 8588098180.
- Harper, Charles A. 2006.** *Handbook of Plastics Technologies, The Complete Guide to Properties and Performance*. New York, Chicago, San Francisco, Lisbon, London, Madrid,

- Mexico City, Milan, New Delhi, San Juan, Seoul, Singapore, Sydney, Toronto : McGraw-Hill, 2006. ISBN: 9780071460682.
- Jones, Peter. 2008.** *The Mould Design Guide*. Shropshire : Smithers Rapra Technology Limited, 2008.
- Knowles, Edward R. 1938.** *Injection Molding Device (Patent No. 2,253,627)*. New Jersey : United States Patent Office, 1938.
- Kruth, J. P., Leu, M. C. e Nakagawa, T. 1998.** Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 1998.
- Kunststoff-Institut Lüdenschied. 2013.** *Guide to Surface Defects on Thermoplastic Injection-Moulded Parts*. Lüdenschied : Horshler Verlagsgesellschaft, 2013.
- Kutz, Myer. 2011.** *Applied Plastics Engineering Handbook: Processing and Materials*. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo : Elsevier, 2011. ISBN: 9781437735147.
- Liang, Ji-Zhao. 2002.** *An optimal design of cooling system for injection mold*. s.l. : Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2002.
- Matos, Joaquim Domingues. 2013.** Um pouco da história da indústria de moldes para plásticos. *O Molde*. Trimestral, Abril de 2013, Vol. 97, pp. 60-61.
- Menard, Kevin P. 2008.** *Dynamic Mechanical Analysis - A Practical Introduction*. Boca Raton : CRC Press, 2008. ISBN: 9781420053128.
- Menezes, Joaquim. 1985.** Numeração e Designação dos Diferentes Componentes de Moldes para Matérias Plásticas. *I Congresso da Indústria de Moldes*. 1985, pp. 159-167.
- Menges, Georg, Michaeli, Walter e Mohren, Paul. 2000.** *How to Make Injection Molds*. Munich : Hanser, 2000. ISBN: 3446212566.
- Mettler-Toledo AG, Laboratory & Weighing Technologies. 2004.** *AG Balances - Operating Instructions*. Greifensee : s.n., 2004.
- . **2010.** *Density Kit for Solids and Liquids Determination - Operating Instructions*. Greifensee : s.n., 2010.
- Michaeli, W., et al. 2001.** *Training in Injection Molding*. Munich : Hanser Publishers, 2001. ISBN: 9781569903025.
- Mold-Masters. 2008.** *Mold-Masters Hot Runner Systems*. 2008.
- Moura, Marcelo F., Morais, Alfredo B. e Magalhães, António G. 2005.** *Materiais Compósitos - Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico*. Porto : Publindústria, 2005. ISBN: 9789728953003.
- Neto, Henrique. 1985.** *Especificações técnicas gerais para moldes de injeção de matérias plásticas*. s.l. : I Congresso da Indústria de Moldes, 1985.
- Pisanu, L., Ueki, M. M. e Melo, T. J. 2008.** *Influência do envelhecimento acelerado nas propriedades de peças obtidas pelo processo de rotomoldagem*. 18.º. Pernambuco : 18.º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2008.
- Polimold Industrial S. A. 2004.** *Sistema/Projetos de câmara quente*. São Paulo : s.n., 2004.
- Provenza, Francesco. 1976.** *Moldes para Plásticos*. São Paulo : Editora F. Provenza, 1976.
- Pye, Ronald G. 1989.** *Injection Mould Design, A Design Manual for the Thermoplastics Industry*. New Delhi : East-West Press, 1989. ISBN: 8176710105.

- Roland DGA Corporation. 2014.** *Roland*. [Online] 2014. [Citação: 18 de Agosto de 2014.] <http://www.rolanddga.com/>.
- Rosato, Dominick V. e Rosato, Donald V. 2003.** *Plastics Engineered Product Design*. Oxford, New York, Tokyo : Elsevier, 2003. ISBN: 1856174166.
- Rosochowski, A. e Matuszak, A. 2000.** Rapid Tooling: The State of the Art. *Journal of Materials Processing Technology*. 2000, pp. 191-198.
- Sabic Innovative Plastics. 2008.** *Injection Molding Processing Guide*. Shanghai : Sabic Innovative Plastics, 2008.
- Silva, Lucas Filipe. 2012.** *Comportamento Mecânico dos Materiais*. Porto : Publindústria, 2012. ISBN: 9789897230240.
- Silva, Lucas Filipe, Magalhães, António G. e Moura, Marcelo F. 2007.** *Juntas Adesivas Estruturais*. Porto : Publindústria, 2007. ISBN: 9789728953218.
- Simth, William F. 1998.** *Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais*. Lisboa : Mc-Graw Hill de Portugal, 1998. ISBN: 9728298684.
- Soares, Joaquim Pinto. 2009.** *Aços para Ferramentas - Características, Tratamentos, Aplicações*. Porto : Engebook, 2009. ISBN: 978-989-2015-42-2.
- Society of Plastic Industry, Inc. 1991.** *Plastics Engineering Handbook*. [ed.] Michael L. Berins. New York : Van Nostrand Reinhold, 1991. ISBN: 0442317999.
- Sors, László, Bardócz, László e Radnóti, István. 1981.** *Plásticos, Moldes & Matrizes*. São Paulo : Hemus Editora Ltda., 1981. ISBN: 8528900193.
- Sousa, José Pires. 1994.** *O Sistema de Injeção de Canais Quentes: a melhor solução em geral, para moldar peças de qualidade e custos reduzidos*. Leiria : Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, 1994. Trabalho de pesquisa para provas públicas para professor adjunto.
- Technik, Jirí. 2010.** *Injection mold cooling configuration*. Romania : Acta Technica Corviniensis - Bulletin of Engineering, 2010.
- The Dow Chemical Company. 1992.** *Designing With Thermoplastics*. Michigan : Dow Plastics, 1992.
- Thermoplay S.p.A. 2011.** *Thermoplay Hot Runner Systems - Edition 01/2011*. Pont S. Martin : s.n., 2011.
- Thyssen Portugal - Aços e Serviços, Lda. 1997.** *Aços-ferramenta*. 3.^a ed. Carregado : Thyssen Portugal, 1997.
- Unger, Peter. 2006.** *Gastrow Injection Molds, 130 Proven Designs*. 4. Munich : Hanser Publishers, 2006. ISBN: 9781569904022.
- . 2006. *Hot Runner Technology*. Munchen : Carl Hanser Verlag, 2006. ISBN: 1569903956.
- Vaz, Emanuel Eduardo, Vaz, João Pedro e Vaz, Hugo Filipe. 1987.** *Moldes, Cunhos e Cortantes, Injeção de Plásticos*. Porto : Livraria Lopes da Silva, 1987.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Anexos

Anexo A Propriedades e parâmetros de processamento de materiais plásticos

Tabela A.1 – Propriedades dos plásticos mais relevantes para projeto de molde. (Cefamol, 2006; Thermoplay S.p.A, 2011; Mold-Masters, 2008; Kunststoff-Institut Lüdenscheid, 2013; Jones, 2008).

Material	Estado	Nome	Nomes comerciais	Contração [%]	Densidade [g/cm ³]	Comprimento de fluxo*
ABS	A	Acrilonitrilo Butadieno Estireno	Absolac, Astalac, Bulksam, Cevian, Cycolac, Kraskastic, Lustran, Magnum, Novodur, Polyflam, Polylac, Polyman, Shinko-Lac, Sinkral, Starex, Stylac, Tairilac, Taitalac, Terluran, Toyolac	0,4 - 0,9	1 - 1,2	30 - 150
CA	A	Acetato de Celulose	-	-	-	-
CAB	A	Acetato Butirato de Celulose	Cellidor B, Tenite	0,4 - 0,7	1,16 - 1,22	-
CP	A	Propinato de Celulose	-	-	-	-
PA	A	Poliamida Amorfa	CS, Reny, Rilsan Clear, Trogamid, Zytel	-	-	-
PC	A	Polycarbonato	Apec, Calibre, Cycoloy, Durolon, Emerge, FC, Iupilon, Iupizeta, Lexan, Luvocom, Lubricomp, Lupoy, Makrolon, Novarex, Panlite, Starex, Sinvet, Stat-Kon, Tairilite, Trirex, Tarflon, Thermocomp, Wonderlite, Xantar	0,5 - 0,7	1,19 - 1,20	30 - 100
PC + ABS	A	Polycarbonato + Acrilonitrilo Butadieno Estireno	Astaloy, Bayblend, Cucoloy, Emerge, Infino, Iupilon, Koblend, Lupoy, Multilon, Novalloy, Pulse, Tairilac, Thermocomp, Triloy, Wonderloy, Xantar	-	-	-
PEI	A	Politerimida	Ultem	0,5 - 0,7	1,27 a 1,42	-
PES	A	Polietersulfona	Ultrason, Radel	0,6	1,2 - 1,37	60 - 120
PMMA ou TPX	A	Polimetilmetacrilato	Acrypet, Acryrex, Altuglas, Acrylgas, Cyrolite, Delpet, Diakon, Oroglas, Plex, Plexalloy, Plexigas, Vedril, XT Polymer, Zylar	0,4 - 0,8	1,1 - 1,20	130 - 150
PPO ou PPE	A	Poli Óxido de Fenileno	Iupiace, Lemalloy, Lubricomp Noryl, Noryl, Stat-Kon Noryl, Thermocomp Noryl, Vestoran, Xyron	0,5 - 0,7	1,06 - 1,10	-
PS	A	Poliestireno	Edistir, Lacqrene, Polyflan, Polyrex, Polystyrol, Polystyron, Styron, Styroblend	0,4 - 0,7	1,0 - 1,1	-
PSU ou PSO	A	Polisulfona	Mindel, Polysulfon, Radel, Udel, Ultrason	0,7 - 0,8	1,2 - 1,24	-
PVC "hart" Rígido	A	Poli Cloreto de Vinilo Rígido	Colorite, Geon, Georgia Gulf, Hostalit, Lacovyl, Lucalor, Nakan, Norvic, Welvic	0,2 - 0,5	1,2 - 1,4	100
PVC "weich" Flexível	A	Poli Cloreto de Vinilo Flexível	Colorite, Geon, Georgia Gulf, Hostalit, Lacovyl, Lucalor, Nakan, Norvic, Welvic	0,2 - 0,5	1,2 - 1,4	100
SAN	A	Estireno Acrilo Nitrilo	Gesan, Kibisan, Kostil, Luran, Lustran, Tyril	0,2 - 0,7	1,07 - 1,30	-
SB	A	Estireno Butadieno	K-Resin, Polystyrol, Styroblend, Styrolux	0,4 - 0,7	1,03 - 1,06	-
TPU	A	Elastómero de Poliuretano Termoplástico	Desmopan, Elastollan, Isoplast	0,8 - 2	1,2 - 1,3	-
PE - HD	S	Polietileno de Alta Densidade	Alathon, Athlon, BorPure, Borealis, Daplen, Dowlex, Eltex, Hi-Zex, Lacqtene, Lumicene, Lupolen, Marlex, Purell, Scolefin, Unithene	1,2 - 2,2	0,94 - 0,97	250
PE - LD	S	Polietileno de Baixa Densidade	Borealis, Daplen, Mirathen, Marlex, Lupolen, Lotrene, Lacqtene	1,5 - 3,5	0,91 - 0,94	275


Material	Estado	Nome	Nomes comerciais	Contração [%]	Densidade [g/cm ³]	Comprimento de fluxo*
PA 6	S	Poliamida Polímero de E-Caprolactame	Akulon, Amilan, Anjacom, Capron, Celstran, Durethan Gelon, Grilon, Kepamid, Miramid, Nivionplast, Novamid, Nypel, Orgalloy, Radiflam, Radilon, Run, Schulamid, Staramid, Technyl, Ube Nylon, Ultramid, Wellamid, Zytel	0,5 - 2,1	1,1 - 1,4	140 - 340
PA 6.6	S	Poliamida Polímero de Hexametil endiamina e do Ácido Adípico	Akulon, Amilan, Bergamid, Celstran, Durethan, Gelon, Grilon, Kepamid, Leona, Lubriloy, Minlon, Nylatron, Orgalloy, Radiflam, Radilon, Schulamid, Staramid, Technyl, Torzen, Ultramid, Vydyne, Wellamid, Zytel,	0,8 - 1,5	1,1 - 1,4	240 - 260
PA 6.10	S	Poliamida Polímero de Hexametil endiamina e do Ácido Sebáico	Grilon, QCL	-	-	-
PA 11	S	Poliamida Polímero do Ácido Amino-11 Undecanóico	Rilsan	0,3 - 1,5	1,03 - 1,08	-
PA 12	S	Poliamida Polímero de Dodecanolactama - 1, 12	Cristamid, Grilamid, Grilflex, Lauramid, Rilsan, Vestamid,	0,3 - 1,5	1,03 - 1,08	-
PEEK	S	Polieteretercetona	KetaSpire, Victrex	0,7 - 1,2	1,30	200
LCP	S	Polímero de Cristal Líquido	Sumikasuper, Vectra, Zenite	0,1 - 1	1,4 - 1,9	370
LCP + GF	S	Polímero de Cristal Líquido + Fibra de Vidro	LD, Novaccurate, Sumikasuper, Siveras, Ueno, Vectra, Zenite,	-	-	-
PBT ou PBTP	S	Poli Tereftalato de Butileno	Arnite, Celanex, Crastin, Duranex, Lupox, Lutrel, Novadur, Pocan, Radiflam, Raditer, Ultradur, Valox, Vestodur	1,5 - 2,0	1,30 - 1,38	160 - 200
PC + PBT	S	Polycarbonato + Poli Tereftalato de Butileno		-	-	-
POM	S	Poliximetileno ou Poliformaldeído ou Poliacetal	Celcon, Delrin, Duracon, Fulton, Hostaform, Iupital, Kepital, Luvocom, Lucel, Tenac, Tepcon, Ultraform	1 - 3,5	1,40 - 1,42	100 - 200
PP	S	Polipropileno	Appryl, Aplax, Borcom, Borealis, Bormed, CO, Corton, Cosmoplene, Caltex, Clyrell, Daplen, Domolen, Exxtral, Ferro, Finalloy, Glabalene, HR, Hifax, Hostacom, Hostalen, Luban, Lupol, Marlex, Moplen, Ployflam, Polifort, Popelen, Prime Polypro, Pro-fax, Qenos, Sabic, Tairipro	1 - 2,5	0,9 - 0,91	200 - 300
PPS	S	Poli Sulfureto de Fenileno	Fortron	0,1 - 0,7	1,3 - 1,34	150
PPS + GF	S	Poli Sulfureto de Fenileno + Fibra de Vidro	Fortron, FZ, Luvocom, Novapps, Primef, RTP, Ryton, Supec, Torelina			
PLA	B	Ácido Poliláctico	Ingeo, Nature Works	-	-	-
PA 6.12	B	Poliamida Polímero de Hexametil endiamina e do Ácido Dodecanóico	Grilon, Vestamid, Zytel	-	-	-

Legenda: A – amorfo; S – semicristalino; B – biopolímero parcial ou total; * – comprimento de fluxo por 1 mm de espessura.

Tabela A.2 – Valores típicos parâmetros de processamento dos plásticos (Cefamol, 2006; Thermoplay S.p.A, 2011; Mold-Masters, 2008; Kunststoff-Institut Lüdenscheld, 2013; CoreTech System Co., Ltd., 2013).

Material	Temperatura de fusão [°C]	Temperatura do molde [°C]	Flange temperature [°C]	Specific back pressure [bar]	Peripheral speed [m/min]	Peripheral speed [m/s]	Temperatura de secagem [°C]	Tempo de secagem [h]
ABS	220 - 260	40 - 80	30 - 50	70 - 150	18	0,3	80	2 - 3
CA	180 - 220	50 - 80	40	80 - 100	18	0,3	60 - 65	2 - 3
CAB	180 - 220	50 - 80	40	80 - 100	36	0,6	60	2 - 3
CP	180 - 220	50 - 80	40	80 - 100	36	0,6	60	2 - 3
PA Amorfa	260 - 300	70 - 100	60 - 80	50 - 100	36	0,6	100 - 120	6 - 12
PC	280 - 320	80 - 120	70 - 90	50 - 150	18	0,3	120	2 - 3
PC + ABS	250 - 290	60 - 90	60 - 80	50 - 150	12	0,2	90 - 110	2 - 4
PEI	340 - 425	140 - 180	100 - 120	40 - 80	30	0,5	150	4 - 6
PES	330 - 370	100 - 150	100 - 120	30 - 80	36	0,6	190	3
PMMA ou TPX	220 - 260	50 - 80	50 - 60	30 - 90	18	0,3	80	3
PPO ou PPE	270 - 310	70 - 120	40	60 - 80	18	0,3	110	2
PS	190 - 280	20 - 80	20 - 30	150 - 300	60	1	8	1 - 2
PSU ou PSO	310 - 390	95 - 115	100 - 120	80 - 120	36	0,6	120 - 135	2 - 3
PVC "hart" Rígido	170 - 210	20 - 60	30 - 50	70 - 200	12	0,2	70	1
PVC "weich" Flexível	140 - 200	20 - 60	40	70 - 200	18	0,3	70	1
SAN	220 - 260	20 - 80	40	30 - 90	18	0,3	80	2 - 3
SB	180 - 280	20 - 80	20 - 30	50 - 100	30	0,6	80	1 - 2
TPU	190 - 220	30 - 65		80 - 310	-	-	100 - 110	2
PE - HD	180 - 300	10 - 60	20 - 30	15 - 45	60	1	-	-
PE - LD	180 - 260	10 - 60	20 - 30	15 - 45	60	1	-	-
PA 6	240 - 270	40 - 90	60 - 80	70 - 120	36	0,6	80	3 - 5
PA 6.6	270 - 320	40 - 90	60 - 80	50 - 150	36	0,6	80	3 - 5
PA 6.10	230 - 280	30 - 60	60 - 80	50 - 150	36	0,6	80	3 - 5
PA 11	200 - 250	20 - 100	60 - 80	50 - 150	36	0,6	85	4 - 6
PA 12	200 - 250	20 - 100	60 - 80	50 - 200	36	0,6	85	4 - 6
PEEK	350 - 380	150 - 180	100 - 120	2,0 - 50	12	0,2	150	2 - 3
LCP	295 - 385	80 - 120	60 - 80	0 - 30	12	0,2	150	4 - 6
LCP + GF	320 - 350	80 - 120	60 - 80	0 - 30	12	0,2	170	4 - 6
PBT ou PBTP	250 - 280	60 - 120	80	70 - 120	12	0,2	120	2 - 3
PC + PBT	255 - 270	40 - 80	40 - 60	50 - 120	24	0,4	110 - 120	2 - 4
POM	180 - 225	40 - 120	30 - 40	30 - 90	36	0,6	100	2 - 3
PP	200 - 260	10 - 60	20 - 30	150 - 450	54	0,9	-	-
PPS	310 - 320	140 - 160	100 - 120	15 - 30	24	0,4	110 - 120	2 - 4
PPS + GF	330 - 350	140 - 160	100 - 120	15 - 30	24	0,4	130 - 150	2 - 4
PLA	170 - 210	25 - 60	20 - 50	20 - 60	60	1	50 - 60	4 - 6
PA 6.12	230 - 290	30 - 100	40 - 80	3,5 - 7	3 - 12	0,05 - 0,2	80 - 110	2 - 4

Anexo C Ficha de especificações da PA6 + FV15


RADICIPLASTICS

Technisches Datenblatt / Technical Datasheet

Material	Radilon BGK cE 15 K schwarz NV			
Polyamid 6 mit 15% Glaskugel, wärmealterungsstabilisiert, leichtfließend, leicht schlagzähmodifiziert				
	Methode Method	Einheit Unit	Richtwert Standard Value	Meßbedingungen Testconditions
Mechanische Eigenschaften / Mechanical Characteristics				
E-Modul / Zugversuch Modulus of elasticity / tensile test	ISO 527-2/1A	Mpa	3200 1400	DAM konditioniert / conditioned <small>Prüfgeschwindigkeit: 1 mm/min Test speed: 1 mm/min</small>
Zugfestigkeit Tensile yield strength	ISO 527-2/1A	MPa	60 35	DAM konditioniert / conditioned <small>Prüfgeschwindigkeit: 5 mm/min Test speed: 5 mm/min</small>
Reißdehnung Elongation	ISO 527-2/1A	%	>10 >15	DAM konditioniert / conditioned <small>Prüfgeschwindigkeit: 5 mm/min Test speed: 5 mm/min</small>
E-Modul / Biegeversuch Modulus of elasticity / Flexural strength	ISO 178	MPa	2900 1300	DAM konditioniert / conditioned <small>Prüfgeschwindigkeit: 2 mm/min Test speed: 2 mm/min</small>
Biegefestigkeit Flexural strength	ISO 178	MPa	/	DAM konditioniert / conditioned <small>Prüfgeschwindigkeit: 2 mm/min Test speed: 2 mm/min</small>
Schlagzähigkeit / Charpy Impact strength / Charpy	ISO 179/1 eU 23°C	KJ/m ²	55 /	DAM konditioniert / conditioned
	ISO 179/1 eU -30°C	KJ/m ²	/	DAM konditioniert / conditioned
Kerbschlagzähigkeit / Charpy Impact strength notched / Charpy	ISO 179/1 eA 23°C	KJ/m ²	8 /	DAM konditioniert / conditioned
	ISO 179/1 eA -30°C	KJ/m ²	/	DAM konditioniert / conditioned
Thermische Eigenschaften / Thermal Characteristics				
Schmelztemperatur Melting temperature	ISO 3146/C2	°C	220	Aufheizrate 10°C/min Heating rate: 10°C/min
Formbeständigkeit in Wärme Heat deflection temperature	ISO 75 0,45MPa 1,8MPa	°C	160 65	
Feuerbeständigkeit / Burning behaviour				
Flamschutzprüfung Fire protection class	UL 94	/	HB	
Andere Eigenschaften / Other Characteristics				
Wasseraufnahme Water absorption	ISO 62	%	2,5 ±0,2	Sättigung 23°C, 50% relative Luftfeuchte, Dicke: 1 mm Saturation 23°C, 50% relative humidity Thickness: 1 mm
Dichte Density	ISO 1183	g/cm ³	1,22	
Polymer Kurzzeichen Polymer abbreviation	-		PA6-I GB15	
<small>DAM = spritztrocken / dry as moulded</small>				
<small>Den Angaben dieser Druckschrift liegen unsere derzeitigen Erfahrungen und Kenntnisse zugrunde. Wegen der Vielzahl möglicher Einflüsse bei der Verarbeitung und Anwendung unserer Produkte kann von eigenen Prüfungen und Versuchen nicht befreit werden. Rechtlich verbindliche Zusicherungen bestimmter Eigenschaften oder der Eignung für einen bestimmten Einsatzzweck können aus unseren Angaben nicht abgeleitet werden. Schutzrechte, bestehende Gesetze und Bestimmungen sind in eigener Verantwortung zu beachten. The information submitted in this publication is based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application, these data do not relieve from the responsibility of carrying out own tests and experiments. Any legally binding assurance of certain properties or suitability of a specific purpose cannot be implied from our information. Proprietary rights and existing laws and legislation are to be observed in own responsibility.</small>				
Datum: 16/03/12				

RADICI PLASTICS GmbH, Glockengiessereiwall 2, D-20095 Hamburg, Tel.: (040) 30 95 41-0, FAX: (040) 30 95 41-99, E-mail: headoffice-hh@radiciplastics.de

Figura C.1 – Ficha de especificações da poliamida 6 carregada com 15 % de fibra de vidro.

Anexo D Ficha de especificações da PA6 + FV30

DATA SHEET		LANXESS Energizing Chemistry			
Durethan BKV 30 H2.0 901510					
PA 6, 30 % glass fibres, injection moulding, heat-ageing stabilized					
ISO Shortname: ISO 1874-PA 6,GHR,14-090,GF30					
Property	Test Condition	Unit	Standard	guide value	
				d.a.m.	cond.
Rheological properties					
C Molding shrinkage, parallel	60x60x2; 280 °C / MT 80 °C; 600 bar	%	ISO 294-4	0.3	
C Molding shrinkage, transverse	60x60x2; 280 °C / MT 80 °C; 600 bar	%	ISO 294-4	0.69	
Post-shrinkage, parallel	60x60x2; 120 °C; 4 h	%	ISO 294-4	0.06	
Post-shrinkage, transverse	60x60x2; 120 °C; 4 h	%	ISO 294-4	0.13	
Mechanical properties (23 °C/50 % r. h.)					
C Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	9500	5800
C Tensile Stress at break	5 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	170	100
C Tensile Strain at break	5 mm/min	%	ISO 527-1,-2	3.0	6.0
C Tensile creep modulus	1 h	MPa	ISO 899-1		5100
C Tensile creep modulus	1000 h	MPa	ISO 899-1		4100
C Charpy impact strength	23 °C	kJ/m²	ISO 179-1eU	75	90
C Charpy impact strength	-30 °C	kJ/m²	ISO 179-1eU	65	60
C Charpy notched impact strength	23 °C	kJ/m²	ISO 179-1eA	10	20
C Charpy notched impact strength	-30 °C	kJ/m²	ISO 179-1eA	< 10	10
Izod impact strength	23 °C	kJ/m²	ISO 180-1U	65	80
Izod impact strength	-30 °C	kJ/m²	ISO 180-1U	60	55
Izod notched impact strength	23 °C	kJ/m²	ISO 180-1A	10	20
Izod notched impact strength	-30 °C	kJ/m²	ISO 180-1A	<10	<10
Flexural modulus	2 mm/min	MPa	ISO 178-A	9300	5000
Flexural strength	2 mm/min	MPa	ISO 178-A	270	160
Flexural strain at flexural strength	2 mm/min	%	ISO 178-A	4.0	6.0
Flexural stress at 3.5 % strain	2 mm/min	MPa	ISO 178-A	260	140
C Puncture maximum force	23 °C	N	ISO 6603-2	1000	1230
C Puncture maximum force	-30 °C	N	ISO 6603-2	860	
C Puncture energy	23 °C	J	ISO 6603-2	3	6
C Puncture energy	-30 °C	J	ISO 6603-2	3	
Ball indentation hardness		N/mm²	ISO 2039-1	210	100
Thermal properties					
C Melting temperature	10 °C/min	°C	ISO 11357-1,-3	222	
C Temperature of deflection under load	1.80 MPa	°C	ISO 75-1,-2	200	
C Temperature of deflection under load	0.45 MPa	°C	ISO 75-1,-2	215	
Vicat softening temperature	50 N; 120 °C/h	°C	ISO 306	> 200	
C Coefficient of linear thermal expansion, parallel	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	0.2	
C Coefficient of linear thermal expansion, transverse	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	1.0	



Figura D.1 – Página 1 da ficha de especificações da poliamida 6 carregada com 30 % de fibra de vidro.

DATA SHEET		LANXESS Energizing Chemistry		
Durethan BKV 30 H2.0 901510				
Property	Test Condition	Unit	Standard	guide value d.s.m. cond.
C Burning behavior UL 94 (1.6 mm)		Class	UL 94	HB
C Burning behavior UL 94	3.2 mm	Class	UL 94	HB
C Oxygen index	Method A	%	ISO 4589-2	22
Glow wire test (GWFI)	1.5 mm	°C	IEC 60695-2-12	700
Burning behavior US-FMVSS302	>=1.0 mm		ISO 3795	passed
C Vicat softening temperature	50 N; 50 °C/h	°C	ISO 306	200
Electrical properties (23 °C/50 % r. h.)				
C Relative permittivity	100 Hz	-	IEC 60250	4.2 12
C Relative permittivity	1 MHz	-	IEC 60250	3.8 4.4
C Dissipation factor	100 Hz	10 ⁻⁴	IEC 60250	100 2550
C Dissipation factor	1 MHz	10 ⁻⁴	IEC 60250	170 780
C Volume resistivity		Ohm m	IEC 60093	1E13 1E10
C Surface resistivity		Ohm	IEC 60093	1E14 1E13
C Electric strength	1 mm	kV/mm	IEC 60243-1	35 30
C Comparative tracking index CTI	Solution A	V	IEC 60112	425
Other properties (23 °C)				
C Water absorption (Saturation value)	Water at 23 °C	%	ISO 62	7.0
C Water absorption (Equilibrium value)	23 °C; 50 % RH	%	ISO 62	2.1
C Density		kg/m ³	ISO 1183	1360
Bulk density		kg/m ³	ISO 60	700
Processing conditions for test specimens				
C Injection molding-Melt temperature		°C	ISO 294	280
C Injection molding-Mold temperature		°C	ISO 294	80
Processing recommendations				
Drying temperature dry air dryer		°C	-	80
Drying time dry air dryer		h	-	2-6
Residual moisture content		%	Acc. to Karl Fischer	0.03-0.12
Melt temperature (Tmin - Tmax)		°C	-	270-290
Mold temperature		°C	-	80-120

C These property characteristics are taken from the CAMPUS plastics data bank and are based on the international catalogue of basic data for plastics according to ISO 10350.

Page 2 of 3
Edition 18.07.2013

Figura D.2 – Página 2 da ficha de especificações da poliamida 6 carregada com 30 % de fibra de vidro.

DATA SHEET



Durethan BKV 30 H2.0 901510

Disclaimer
Standard Disclaimer

The manner in which you use and the purpose to which you put and utilize our products, technical assistance and information (whether verbal, written or by way of production evaluations), including any suggested formulations and recommendations, are beyond our control. Therefore, it is imperative that you test our products, technical assistance and information to determine to your own satisfaction whether they are suitable for your intended uses and applications. This application-specific analysis must at least include testing to determine suitability from a technical as well as health, safety and environmental standpoint. Such testing has not necessarily been done by us. Unless we otherwise agree in writing, all products are sold strictly pursuant to the terms of our standard conditions of sale. All information and technical assistance is given without warranty or guarantee, and is subject to change without notice. It is expressly understood and agreed that you assume and hereby expressly release us from all liability, in tort, contract or otherwise, incurred in connection with the use of our products, technical assistance and information. Any statement or recommendation not contained herein is unauthorized and shall not bind us. Nothing herein shall be construed as a recommendation to use any product in conflict with patents covering any material or its use. No license is implied or in fact granted under the claims of any patent.

Typical Properties
Property data is provided as general information only. Property values are approximate and are not part of the product specifications.

Flammability
Flammability results are based on small-scale laboratory tests for purposes of relative comparison and are not intended to reflect the hazards presented by this or any other material under actual fire conditions.

Health and Safety
Appropriate literature has been assembled which provides information concerning the health and safety precautions that must be observed when handling LANXESS products mentioned in this publication. Before working with these products, you must read and become familiar with the available information on their hazards, proper use, and handling. This cannot be overemphasized. Information is available in several forms, e.g., material safety data sheets (MSDS) and product labels. Consult your LANXESS Corporation representative or contact the Product Safety and Regulatory Affairs Department at LANXESS. For materials that are not LANXESS products, appropriate industrial hygiene and other safety precautions recommended by their manufacturer(s) must be followed.

LANXESS Corporation | Pittsburgh, PA 15275
© LANXESS Corporation

Page 3 of 3
Edition 18.07.2013

X

Figura D.3 – Página 3 da ficha de especificações da poliamida 6 carregada com 30 % de fibra de vidro.


Anexo E Ficha de especificações da PA6 + FV60

DATA SHEET		LANXESS		Energizing Chemistry	
Durethan DP BKV 60 H2.0 EF 900116					
PA 6, 60 % glass fibres, injection moulding, improved flowability, heat-ageing stabilized					
ISO Shortname: ISO1874-PA 6,GHR,10-220,GF60					
Property	Test Condition	Unit	Standard	guide value	cond.
Rheological properties					
C Molding shrinkage, parallel	60x60x2; 280 °C / MT 80 °C; 600 bar	%	ISO 294-4	0.28	
C Molding shrinkage, transverse	60x60x2; 280 °C / MT 80 °C; 600 bar	%	ISO 294-4	0.46	
Post- shrinkage, parallel	60x60x2; 120 °C; 4 h	%	ISO 294-4	0.02	
Post- shrinkage, transverse	60x60x2; 120 °C; 4 h	%	ISO 294-4	0.06	
Mechanical properties (23 °C/50 % r. h.)					
C Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	20500	13100
C Tensile Stress at break	5 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	230	150
C Tensile Strain at break	5 mm/min	%	ISO 527-1,-2	2.4	3.1
C Charpy impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	90	90
C Charpy impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	90	90
C Charpy notched impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eA	16	
C Charpy notched impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eA	16	
Izod impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 180-1U	80	80
Izod impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 180-1U	80	80
Izod notched impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 180-1A	16	20
Izod notched impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 180-1A	16	
Flexural modulus	2 mm/min	MPa	ISO 178-A	20000	13100
Flexural strength	2 mm/min	MPa	ISO 178-A	370	245
Flexural strain at flexural strength	2 mm/min	%	ISO 178-A	3.0	4.0
Ball indentation hardness		N/mm ²	ISO 2039-1	255	155
Thermal properties					
C Melting temperature	10 °C/min	°C	ISO 11357-1,-3	221	
C Temperature of deflection under load	1.80 MPa	°C	ISO 75-1,-2	213	
C Temperature of deflection under load	0.45 MPa	°C	ISO 75-1,-2	220	
C Temperature of deflection under load	8.00 MPa	°C	ISO 75-1,-2	190	
Vicat softening temperature	50 N; 120 °C/h	°C	ISO 306	210	
C Coefficient of linear thermal expansion, parallel	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	0.12	
C Coefficient of linear thermal expansion, transverse	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	0.75	
Electrical properties (23 °C/50 % r. h.)					
C Relative permittivity	100 Hz	-	IEC 60250	5.3	11.2
C Relative permittivity	1 MHz	-	IEC 60250	4.7	5.1
C Dissipation factor	100 Hz	10 ⁻⁴	IEC 60250	164	2149
C Dissipation factor	1 MHz	10 ⁻⁴	IEC 60250	177	651
C Volume resistivity		Ohm m	IEC 60093	5.8E12	8E9

Page 1 of 3
Edition 18.07.2013

Figura E.1 – Página 1 da ficha de especificações da poliamida 6 carregada com 60 % de fibra de vidro.

DATA SHEET



LANXESS
Energizing Chemistry

Durethan DP BKV 60 H2.0 EF 900116

Property	Test Condition	Unit	Standard	guide value	
				d.s.m.	cond.
C Electric strength	1 mm	kV/mm	IEC 60243-1	33	33
C Comparative tracking index CTI	Solution A	V	IEC 60112	600	
Other properties (23 °C)					
C Water absorption (Saturation value)	Water at 23 °C	%	ISO 62	3.6	
C Water absorption (Equilibrium value)	23 °C; 50 % RH	%	ISO 62	1.1	
C Density		kg/m ³	ISO 1183	1710	
Bulk density		kg/m ³	ISO 60	750	
Processing conditions for test specimens					
C Injection molding-Melt temperature		°C	ISO 294	280	
C Injection molding-Mold temperature		°C	ISO 294	80	
Processing recommendations					
Drying temperature dry air dryer		°C	-	80	
Drying time dry air dryer		h	-	2-6	
Residual moisture content		%	Acc. to Karl Fischer	0.05-0.20	
Melt temperature (Tmin - Tmax)		°C	-	270-290	
Mold temperature		°C	-	80-120	

C These property characteristics are taken from the CAMPUS plastics data bank and are based on the international catalogue of basic data for plastics according to ISO 10350.

Page 2 of 3
Edition 18.07.2013

X

Figura E.2 – Ficha de especificações da poliamida 6 carregada com 60 % de fibra de vidro.

DATA SHEET

LANXESS
Emerging Chemistry

Durethan DP BKV 60 H2.0 EF 900116

Disclaimer

Standard Disclaimer

The manner in which you use and the purpose to which you put and utilize our products, technical assistance and information (whether verbal, written or by way of production evaluations), including any suggested formulations and recommendations, are beyond our control. Therefore, it is imperative that you test our products, technical assistance and information to determine to your own satisfaction whether they are suitable for your intended uses and applications. This application-specific analysis must at least include testing to determine suitability from a technical as well as health, safety and environmental standpoint. Such testing has not necessarily been done by us. Unless we otherwise agree in writing, all products are sold strictly pursuant to the terms of our standard conditions of sale. All information and technical assistance is given without warranty or guarantee, and is subject to change without notice. It is expressly understood and agreed that you assume and hereby expressly release us from all liability, in tort, contract or otherwise, incurred in connection with the use of our products, technical assistance and information. Any statement or recommendation not contained herein is unauthorized and shall not bind us. Nothing herein shall be construed as a recommendation to use any product in conflict with patents covering any material or its use. No license is implied or in fact granted under the claims of any patent.

Developmental Product

Any product designated as a developmental product is not considered part of the LANXESS Corporation line of standard commercial products. Complete commercialization and continued supply are not assured. The purchaser/user agrees that LANXESS Corporation reserves the right to discontinue this product without prior notice.

Typical Properties

Property data is provided as general information only. Property values are approximate and are not part of the product specifications.

Flammability

Flammability results are based on small-scale laboratory tests for purposes of relative comparison and are not intended to reflect the hazards presented by this or any other material under actual fire conditions.

Health and Safety

Appropriate literature has been assembled which provides information concerning the health and safety precautions that must be observed when handling LANXESS products mentioned in this publication. Before working with these products, you must read and become familiar with the available information on their hazards, proper use, and handling. This cannot be overemphasized. Information is available in several forms, e.g., material safety data sheets (MSDS) and product labels. Consult your LANXESS Corporation representative or contact the Product Safety and Regulatory Affairs Department at LANXESS. For materials that are not LANXESS products, appropriate industrial hygiene and other safety precautions recommended by their manufacturer(s) must be followed.

LANXESS Corporation | Pittsburgh, PA 15275

© LANXESS Corporation

Page 3 of 3

Edition 18.07.2013

Figura E.3 – Página 3 da ficha de especificações da poliamida 6 carregada com 60 % de fibra de vidro.


Anexo F Densidade da água em função da temperatura

Tabela F.1 – Valores de densidade em g/cm^3 da água destilada em função da temperatura (Mettler-Toledo AG, Laboratory & Weighing Technologies, 2010).

	Casa decimal da temperatura									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
10	0,99973	0,99972	0,99971	0,99970	0,99969	0,99968	0,99967	0,99966	0,99965	0,99964
11	0,99963	0,99962	0,99961	0,99960	0,99959	0,99958	0,99957	0,99956	0,99955	0,99954
12	0,99953	0,99951	0,99950	0,99949	0,99948	0,99947	0,99946	0,99944	0,99943	0,99942
13	0,99941	0,99939	0,99938	0,99937	0,99935	0,99934	0,99933	0,99931	0,99930	0,99929
14	0,99927	0,99926	0,99924	0,99923	0,99922	0,99920	0,99919	0,99917	0,99916	0,99914
15	0,99913	0,99911	0,99910	0,99908	0,99907	0,99905	0,99904	0,99902	0,99900	0,99899
16	0,99897	0,99896	0,99894	0,99892	0,99891	0,99889	0,99887	0,99885	0,99884	0,99882
17	0,99880	0,99879	0,99877	0,99875	0,99873	0,99871	0,99870	0,99868	0,99866	0,99864
18	0,99862	0,99860	0,99859	0,99857	0,99855	0,99853	0,99851	0,99849	0,99847	0,99845
19	0,99843	0,99841	0,99839	0,99837	0,99835	0,99833	0,99831	0,99829	0,99827	0,99825
20	0,99823	0,99821	0,99819	0,99817	0,99815	0,99813	0,99811	0,99808	0,99806	0,99804
21	0,99802	0,99800	0,99798	0,99795	0,99793	0,99791	0,99789	0,99786	0,99784	0,99782
22	0,99780	0,99777	0,99775	0,99773	0,99771	0,99768	0,99766	0,99764	0,99761	0,99759
23	0,99756	0,99754	0,99752	0,99749	0,99747	0,99744	0,99742	0,99740	0,99737	0,99735
24	0,99732	0,99730	0,99727	0,99725	0,99722	0,99720	0,99717	0,99715	0,99712	0,99710
25	0,99707	0,99704	0,99702	0,99699	0,99697	0,99694	0,99691	0,99689	0,99686	0,99684
26	0,99681	0,99678	0,99676	0,99673	0,99670	0,99668	0,99665	0,99662	0,99659	0,99657
27	0,99654	0,99651	0,99648	0,99646	0,99643	0,99640	0,99637	0,99634	0,99632	0,99629
28	0,99626	0,99623	0,99620	0,99617	0,99614	0,99612	0,99609	0,99606	0,99603	0,99600
29	0,99597	0,99594	0,99591	0,99588	0,99585	0,99582	0,99579	0,99576	0,99573	0,99570
30	0,99567	0,99564	0,99561	0,99558	0,99555	0,99552	0,99549	0,99546	0,99543	0,99540

Anexo G Ficha de especificações da máquina de injeção Euro Inj Série D-080 da Lien Yu

DET NORSKE VERITAS



EC TYPE-EXAMINATION **ANNEX**

Annex to Certificate no.: 97-OSL-SM-0020

Date of Examination : 27.02.97
 Place of Examination : Manufacturer's site
 Surveyor : Robin Shih

1 Description of the Machinery

System	Description	D-065	D-080	D-100	D-120	D-140	D-170
General	Pump Drive Motor (kW)	7.5	11	15	18.5	22	30
	Hydraulic Pressure (bar)	140	140	140	140	140	140
	Heating Capacity (kW)	4.4	5.5	6.9	8.1	3	10.9
	Number of Heating Zones	3+N	3+N	3+N	3+N	3+N	4+N
	Oil Filling (l)	220	300	265	280	330	450
	Machine Dimension (LxWxH) (m)	3.8x1.05 x 1.5	4x1.1x 1.6	4.6x1.2x 1.58	5.4x1.25 x 1.3	5.8x1.3x 1.9	6.2x1.35 x 2.0
	Machine Weight, Dry (kg)	3500	4300	5600	6500	7500	10000
	Noise Level (dBA)	72.1	72.3	73.3	73.3	73.3	73.3
Clamping	Max Locking Force (tonne)	65	80	100	120	140	170
	Max Opening Stroke (mm)	270	320	355	390	430	475
	Min Mould Height (mm)	100	130	130	150	150	150
	Max Mould Height (mm)	360	400	430	460	525	550
	Max Daylight (mm)	630	720	785	850	955	1125
	Space Between Tie Bar (mm)	320x320	360x360	410x410	430x430	470x470	510x510
	Diameter of Tie Bar (mm)	55	60	70	80	90	100
	Max Ejector Forward Force (tonne)	2.74	2.74	3.32	3.95	3.95	7.03
	Max Ejector Stroke (mm)	80	90	110	130	130	150
	Injection	Screw Diameter (mm)	32	36	40	45	50
Screw L/D ration		20	20	20	20	20	20
Swept Volume (cc)		128	183	251	349	471	617
Max Shot Weight (g)		115	164	226	314	424	555
Max Injection Pressure (bar)		1777	1722	1680	1662	1722	1691
Max Injection Rate (g/sck)		65	85	103	134	162	199
Screw Stroke (mm)		160	180	200	220	240	260

Description of the Injection Moulding Machine is given in DNV Certification file 41210533 and TCF, Ref. no.: CEM-030-1.

2 Conditions

Before the above described machinery is placed on the market and/or put into service the manufacturer has to ensure that all other relevant EEC/EC Directives are complied with.

The examination has not considered optional accessories.

- o0o -

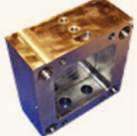
Det Norske Veritas Region Norge AS, Head office: Veritas v. 1, 1322 HOVIK, Norway
 Form no.: 89/392-140-a












Annex to Certificate no.: 96-OSL-SM-0020
 bolus/verifik/LIEN-YUANX Page 1/1


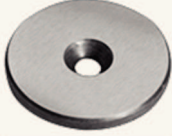





Figura G.1 – Ficha de especificações da máquina de injeção Euro Inj Série D-080 da Lien Yu.

Anexo H Componentes do moldes dos provetes

Tabela H.1 – Componentes do molde dos provetes.

Designação	Fotografia
Barra de transporte	
Chapa de aperto da injeção	
Chapa das cavidades	
Chapa das buchas	
Calços	
Chapa dos extratores	
Chapa aperto dos extratores	
Chapa aperto da extração	
Guias principais	
Guia das chapas da extração	

Designação	Fotografia
Casquilhos das guias principais	
Casquilho de centramento	
Casquilho das chapas da extração	
Perno de retorno	
Anel de centragem	
Injetor principal	
Parafuso limitador de curso	
Barra de fecho/segurança	
Tampão	
Engate rápido	
Olhal	

Designação	Fotografia
Chapa de acrílico de proteção da extração	
Botão de encosto	
Cavilha	
Cavilha roscada	
Extrator	
Parafuso cabeça cilíndrica	
Parafuso cabeça cónica	

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Moldes e sistemas de alimentação: casos de estudo

André Filipe Sousa Santos