

isec
Engenharia

MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

PROVISÓRIO

**Acompanhamento do Processo de
Construção e Ensaio de um Molde na SF
Moldes**

Autor

Daniel Tavares da Silva

Orientador

Professor Doutor Pedro Miguel Soares Ferreira

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

Coimbra, março de 2024

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA



isec

Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Acompanhamento do Processo de Construção e Ensaio de um Molde na SF Moldes

Relatório de Estágio de Natureza Profissional para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos

Autor

Daniel Tavares da Silva

Orientador

Professor Doutor Pedro Miguel Soares Ferreira

Supervisor na empresa SF Moldes

Engenheiro Jorge Manuel Costa Cardoso

AGRADECIMENTOS

A entrega deste relatório de estágio é o desfecho de uma longa etapa do percurso académico no curso de Engenharia Mecânica que realizei no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, a conclusão desta etapa é resultado dos conhecimentos que lá me foram transmitidos. Além dos conhecimentos que me fez adquirir, fez-me evoluir muito como pessoa, obrigou-me a sair de casa, e a aprender a viver e a ser autónomo numa cidade que não conhecia.

Este percurso não teria sido possível sem a contribuição de várias pessoas, que me apoiaram antes e durante a realização do curso.

Aos meus pais, por todo o apoio e carinho que me deram nas alturas mais difíceis desta caminhada, e que além de saberem que iriam passar por muitos esforços ao longo deste período para me darem esta oportunidade, sempre me incentivaram a avançar com a minha vontade de estudar Engenharia Mecânica. Sem o vosso apoio nada disto teria sido possível.

À minha irmã, pela alegria que me transmitiu nos dias mais difíceis.

A toda a minha família, pelo vosso animo, apoio e incentivo durante toda esta fase.

A todos os professores do ISEC que lecionaram as unidades curriculares que frequentei ao longo da licenciatura e mestrado em Engenharia Mecânica, pelos conhecimentos transmitidos. Em especial ao orientador deste estágio, Professor Doutor Pedro Ferreira, pelo apoio prestado ao longo do estágio e na realização deste relatório.

À SF Moldes e ao Engenheiro Jorge Cardoso, pela prontidão demonstrada quando me ofereceram a oportunidade de realizar o estágio curricular na empresa. A toda a equipa da SF Moldes, que diretamente ou indiretamente me transmitiram conhecimentos técnicos e experiência durante o estágio, especialmente aos seguintes: Andrea Rocha, António Bastos, Cristina Coimbra, Fernando Pinho, Milton Guedes, Rui Barbosa e Rui Teixeira.

Aos meus amigos mais próximos, André Brandão, Diogo Costa, Marcelo Almeida e Márcio Tavares pelos bons momentos que partilhamos ao longo deste percurso vivido em Coimbra, que para sempre irei recordar, assim como pela entreeajuda e apoio nos momentos mais difíceis. A todos os restantes colegas e amigos que de uma forma ou de outra me apoiaram durante esta caminhada.

Por fim e não menos importante, aos professores do curso profissional de Programação e Maquinação da escola secundária Soares Basto, pelos conhecimentos transmitidos, que fomentaram o meu interesse por esta área de formação. Em especial às professoras Ana Gomes e Marisa Ferreira pelo apoio prestado perante a minha vontade de ingressar no ensino superior.

RESUMO

O crescimento da utilização de materiais poliméricos para o fabrico de componentes na indústria automóvel a que assistimos nos últimos anos, fundamentado pela necessidade de substituição de componentes metálicos para a redução de peso dos automóveis, proporcionou o aumento da utilização do processo de injeção, devido à elevada eficiência que este processo nos oferece.

O processo de injeção consiste na plasticização e enchimento rápido de um material polimérico para o interior de um molde metálico, seguido de um tempo de arrefecimento e posterior remoção das peças. A qualidade do produto, a capacidade produtiva elevada, a repetibilidade do processo e o baixo desperdício tornam-no num processo de fabrico atrativo para a indústria automóvel, além do seu baixo custo em relação a processos alternativos. O crescimento do processo de injeção criou várias oportunidades para a indústria em geral. A indústria de moldes foi uma das mais beneficiadas, devido à procura do mercado para construir novos moldes para oferecer resposta ao crescimento da utilização de materiais poliméricos.

Um molde é uma ferramenta composta no mínimo por duas placas, macho e cavidade, tem como função produzir peças sempre com o mesmo formato e dimensões, resultado do preenchimento do espaço vazio entre o macho e a cavidade. O plano de partição do molde permite a abertura e o fecho do mesmo para remover a peça pelo acionamento de sistemas mecânicos.

O principal foco do trabalho desenvolvido durante o estágio foi o acompanhamento do processo construtivo e de ensaios de moldes para injeção de termoplásticos para a indústria automóvel. Para demonstrar as várias etapas do processo de fabrico de um molde para injeção de termoplásticos na SF Moldes, foi realizado e documentado neste relatório o acompanhamento do fabrico de um molde para uma peça polimérica de um pilar C de um automóvel. O fabrico de um molde nasce no projeto mecânico e, posteriormente, é implementado através da utilização de diversos processos de fabrico, nomeadamente maquinação. Após o fabrico e a encomenda dos componentes para a construção do molde, procede-se a montagem e o ajuste dos componentes do molde seguindo o seu projeto mecânico.

Por fim, nos ensaios realizados na máquina de injeção, observaram-se algumas falhas no funcionamento do molde em estudo, as quais foram analisadas. Após a identificação das falhas durante os ensaios, foram apresentadas medidas corretivas para corrigir as falhas de funcionamento do molde. Também durante esta fase foram realizados testes de funcionamento de molde e estabeleceu-se a janela do processo de injeção para as peças poliméricas do molde em estudo. Após as verificações de funcionamento, a correção de todas as falhas identificadas e a janela de processo estabelecida, o molde foi enviado para o cliente.

Palavras-Chave: Molde, Injeção de termoplásticos, Ensaios de moldes.

ABSTRACT

The growth of the use of plastic materials for the manufacture of components in the automotive industry that we have seen in recent years, based on the need to replace metallic components to reduce the weight of the cars, made an increase in the use of the injection moulding process, due to the high efficiency that this process offers us.

The injection moulding process consists of melting and quickly filling of a plastic material into a metal mould, followed by a cooling period and subsequent removal of the parts. The quality of the product, the high production capacity, the repeatability of the process and the low waste make it an attractive manufacturing process for the automotive industry, in addition of its low cost compared to alternative processes. The growth of the injection process has created several opportunities for the industry in general. The mould industry was one of the most benefited, due to the market demand to build new moulds to respond to the growth in the use of plastic materials.

A mould is a tool composed of at least two plates, core and cavity, as function is always produce parts with the same shape and dimensions, the result of the empty space filling between the core and the cavity. The mould split surface allows the mould to be opened and closed to remove the plastic part by the activation of mechanical systems.

The focus of the work developed during the internship was the follow up of construction process and trials of moulds for thermoplastic injection for automotive industry. To show the several stages of the manufacturing process of a mould for thermoplastic injection at SF Moldes, the follow up of the manufacturing of a mould for a C pillar plastic part of a car was realized and documented in this report. The manufacture of a mould was born at mechanical design, and it is subsequently implemented using various manufacturing processes, namely machining. To implement the project through manufacturing processes, the mould components are assembled and fitted.

Finally, on the trials realized in the injection machine, some failures in the functioning of the mould under study were observed, which were analysed. After the identification of the issues during the trials, it was presented corrective actions to fix the failures of the mould. Furthermore, the mould functionality was verified during this phase, and the injection process window was established for the polymer parts of the mould under study. After the verifications of the functionality, correction of every failures identified and establishment of the process window, the mould was sent to the customer.

Keywords: Mould, Thermoplastics injection, Mould trials.

Índice

RESUMO.....	ii
ABSTRACT	iii
Índice.....	iv
Índice de figuras	vii
Índice de Tabelas	xv
1 Introdução	1
1.1 Produção de peças poliméricas através do processo de injeção	1
1.2 A gestão de projetos na indústria dos moldes.....	2
1.3 Objetivos do trabalho	2
1.4 Estrutura do trabalho.....	3
2 Molde	4
2.1 Classificação do molde	5
2.1.1 Tempo de serviço	5
2.1.2 Conceito de construção	5
2.1.3 Tipo de desmoldagem	14
2.2 Zona moldante	14
2.2.1 Contração e Empeno.....	14
2.2.2 Ângulos de saída.....	16
2.2.3 Plano de partição.....	19
2.2.4 Acabamento das zonas moldantes.....	20
2.3 Sistemas funcionais do molde.....	22
2.3.1 Centragem e guiamento	22
2.3.2 Injeção	28
2.3.2.1 Canais frios	28
2.3.2.2 Canais quentes	29
2.3.2.3 Aquecimento de sistemas de injeção com canais quentes	33
2.3.3 Extração	33
2.3.3.1 Extração simples.....	35
2.3.3.2 Extração com contra saídas.....	37

2.3.3.3	Mecanismos de extração	39
2.3.4	Refrigeração e controlo de temperatura	42
2.3.4.1	Arquitetura dos circuitos de refrigeração.....	43
2.3.4.2	Acessórios utilizados em circuitos de refrigeração de moldes	45
2.3.4.3	Relatórios de controlo de caudal.....	46
2.3.4.4	Placas de isolamento térmico	48
2.3.5	Circuitos de óleo	48
2.3.6	Escape de gases	50
2.3.6.1	Formas de realizar escape de gases	51
2.4	Materiais utilizados na construção de moldes.....	52
2.4.1	Aços.....	54
2.4.2	Ligas de alumínio.....	56
2.4.3	Ligas de cobre	56
2.5	Estandardização do molde.....	57
3	Processo de injeção de termoplásticos.....	61
3.1	Materiais poliméricos.....	61
3.2	Ciclo do processo de injeção	62
3.3	Máquina de injeção	64
3.3.1	Unidade de injeção	65
3.3.1.1	Fuso	65
3.3.2	Unidade de fecho.....	67
3.3.3	Unidade de comando.....	68
3.3.3.1	Parâmetros do processo de injeção.....	69
3.3.4	Unidade de potência.....	72
3.4	Equipamentos auxiliares à máquina de injeção	72
3.5	Defeitos comuns no processo de injeção.....	73
4	Acompanhamento do processo produtivo e de construção de um molde na SF Moldes S.A.....	78
4.1	A empresa SF Moldes.....	78
4.2	Departamentos e suas responsabilidades	78
4.3	Introdução ao projeto objeto de estudo	79

4.3.1	Local de aplicação do produto no automóvel	79
4.3.2	Características pretendidas para o produto	80
4.4	Informação necessária para iniciar o projeto do molde	82
4.4.1	Material polimérico.....	82
4.4.2	Máquina de injeção.....	83
4.4.3	Modelo 3D da peça polimérica	85
4.5	Evolução do projeto do molde.....	86
4.5.1	Estudo reológico	86
4.5.2	Definição das superfícies de junta e dimensões de aço da cavidade e macho	91
4.5.3	Definição de posições e elementos de extração.....	93
4.5.4	Desenvolvimento dos mecanismos e aplicação de acessórios e componentes no molde.....	95
4.6	Revisão do projeto	98
4.7	Compras e planeamento para o fabrico do molde	99
4.8	Fabrico e montagem do molde.....	99
4.9	Primeiro ensaio na máquina de injeção	102
4.9.1	Procedimentos a realizar antes do processo de injeção.....	102
4.9.1.1	Condições de processamento do material	106
4.9.2	Definição da força de fecho	109
4.9.3	Estudo de enchimento	110
4.9.4	Estudo de compactação	112
4.9.5	Estudo de arrefecimento.....	114
4.9.6	Avaliação dos resultados observados no ensaio e necessidades de melhoria	117
4.10	Resultados obtidos nos ensaios posteriores na máquina de injeção	128
4.11	Primeiro ensaio do molde com textura.....	130
5	Conclusão e trabalhos futuros.....	134

Índice de figuras

Figura 1 – Representação dos cinco fatores que influenciam na qualidade da peça (Informa PLC, 2022a).....	1
Figura 2 - Elementos principais da estrutura de um molde para a injeção de termoplásticos.	4
Figura 3 - Exemplo de um molde sólido fabricado na SF Moldes. (a) – Cavidade; (b) – Macho.	6
Figura 4 - Exemplo da placa de um macho estruturado fabricado na SF Moldes.	7
Figura 5 - Composição de um molde de duas placas.	8
Figura 6 - Composição de um molde de três placas (V. Rosato et al., 2000).	8
Figura 7 - Exemplo de um <i>Split</i> molde fabricado na SF Moldes.....	9
Figura 8 - Exemplo de um molde família fabricado na SF Moldes.	9
Figura 9 - Exemplo de um molde <i>sandwich</i> fabricado na SF Moldes.....	10
Figura 10 - Exemplo de molde Bi-Material de transferência fabricado na SF Moldes.	11
Figura 11 - Exemplo de um molde Bi-Material de sistema de eclusas fabricado na SF Moldes.....	11
Figura 12 - Exemplo de um molde Bi-Material de sistema rotativo fabricado na SF Moldes.....	12
Figura 13 - Molde de desenroscamento. (a) - estrutura do molde; (b) - sistema de cremalheira e rodas dentadas (AUTOMATIC UNSCREW THREAD INJECTION MOLD, 2022).....	13
Figura 14 - Zona moldante definida após fecho do molde (M. Cunha et al., 2003)...	14
Figura 15 - Boas práticas para a redução da contração e empeno em peças poliméricas produzidas através do processo de injeção. (a) – uniformização de espessuras; (b) – transições suaves de geometria (Pontes et al., 2003).	16
Figura 16 - Exemplo de textura danificada/raspada.	19
Figura 17 - Secção de um exemplo de geometria do plano de partição na extremidade da zona moldante.....	19
Figura 18 - Exemplo de uma cavidade texturizada.	22
Figura 19 - Exemplo de anilhas de centragem aplicadas nas placas de encosto de um molde. (a) - anilha de centragem no lado da injeção; (b) - anilha de centragem do lado oposto à injeção.	23

Figura 20 - Exemplo guiamento com guias circulares. (a) - guia circular (HASCO, 2022b), (b) - casquilho para guia circular auto-lubrificante (HASCO, 2022b) e (c) – Guias circulares aplicadas num molde fabricado na SF Moldes.	24
Figura 21 - Guia prismática com réguas de ajuste utilizada pela SF Moldes. (a) - Modelo 3D; (b) - Aplicação no molde.	24
Figura 22 - Guia prismática com rolamento utilizada pela SF Moldes. (a) - Modelo 3D; (b) - Aplicação no molde.	25
Figura 23 - Travamento. (a) - Modelo 3D; (b) - Molde.	25
Figura 24 - Exemplos de blocos de travamento (HASCO, 2022a). (a) - quadrado; (b) - redondo cónico; (c) - quadrado inclinado.	26
Figura 25 - Exemplo de guiamento de uma placa de extração, através de guias circulares e casquilhos.	27
Figura 26: Exemplos de guiamento para placas de extração de grandes dimensões. (a) – guiamento com guias e casquilhos e com rolamentos para suportar o peso da placa de extração; (b) – guiamento com guias e casquilhos e com réguas de deslizamento para suportar o peso da placa de extração.	27
Figura 27 - Exemplos de aplicação de canais frios: (a) – Jito direto maquinado na parte de trás da placa moldante do lado fixo (Pontes et al., 2004); (b) – Canais frios maquinados na placa moldante até à zona moldante, exemplo aplicado na SF Moldes.	28
Figura 28 - Exemplo de sistema de injeção de canais quentes utilizado pela SF Moldes.	30
Figura 29 - Exemplo de sistema de injeção com canais quentes de bicos de injeção aberto: (a) – Geometria interior de um bico aberto (GÜNTHER Heisskanaltechnik GmbH, 2022a); (b) – exemplo de construção de um sistema de injeção com canais quentes (GÜNTHER Heisskanaltechnik GmbH, 2022b).	31
Figura 30 - Exemplo de sistema de injeção de canais quentes e bicos sequenciais: (a) – Esquema de funcionamento das válvulas (YUDO, 2022b); (b) – exemplo construtivo de um sistema de injeção de bicos sequenciais (YUDO, 2022a); (c) – exemplo de geometrias de agulhas de vedação dos bicos de injeção (Baptista et al., 2022a)	32
Figura 31 – Exemplificação da sequência de abertura dos bicos de injeção (YUDO, 2022b). (a) – Início do enchimento, apenas os dois bicos centrais estão abertos; (b) – posteriormente abrem mais dois bicos; (c) – no final do enchimento, todos os bicos abertos; (d) – fase final da compactação, fecho dos bicos.	32
Figura 32 - Exemplo de locais de aplicação de resistências elétricas num sistema de injeção com canais quentes e bicos sequenciais: (a) – Injetor principal; (b) – Distribuidor; (c) – Bicos de injeção.	33

Figura 33 - Tipos de acionamento da placa de extração utilizados na SF Moldes: (a) – Placa de extração acionada por KO (<i>knockout</i>) da máquina de injeção; (b) – Placa de extração acionada por cilindros hidráulicos; (c) – Placa de extração acionada por <i>Latch-Locks</i>	34
Figura 34 - Conjunto de sistema de extração apenas com mecanismos de extração simples.....	35
Figura 35 - Exemplo de pontos corretos de aplicação dos extratores. (Pontes et al., 2004).	37
Figura 36 - Exemplos de movimentos laterais: (a) – Movimento lateral acionado por cilindro hidráulico; (b) – Movimento lateral acionado por guia inclinada.....	38
Figura 37 - Exemplo de movimento submarino com conjugação de acionamento hidráulico e mecânico.....	38
Figura 38 - Exemplos de levantadores (Pontes et al., 2004): (a) – Levantador normalizado; (b) – Levantador com eixo rotativo com acionamento por barra; (c) – Levantador com eixo rotativo com acionamento por cavilha.....	39
Figura 39 - Exemplos de elementos de extração flexíveis (Pontes et al., 2004): (a) – extratores flexíveis; (b) – buchas retrácteis; (c) – pinças.	39
Figura 40 - Sistemas de dupla extração (Pontes et al., 2004): (a) – Extração dupla espanhola; (b) – Extração dupla no K.O.	40
Figura 41 - Esquema de funcionamento de um acelerador de extração (THE TOOL HUB, 2022a).....	41
Figura 42 - Esquema de funcionamento de um retardador de extração (Pontes et al., 2004).	41
Figura 43 - Medição da temperatura das superfícies do molde com um termómetro de contacto.....	42
Figura 44 - Racores RTC Type 090 (RTC Couplings GmbH, 2022c).....	45
Figura 45 - Exemplo de palhetas utilizadas para poços frios: (a) – Palheta utilizada em poços; (b) – esquema de montagem de uma palheta num furo (RTC Couplings GmbH, 2022a).	45
Figura 46 - Bujões de fecho de circuito (RTC Couplings GmbH, 2022c): (a) – bujão roscado para fecho de circuito; (b) – taco (utilizado para obstruir furações em posições intermédias dos furos).....	46
Figura 47 - Exemplos de ligações por mangueiras: (a) – ligações dos circuitos de refrigeração nos elementos de extração (levantadores e barras extratoras); (b) – ligações dos circuitos de refrigeração no exterior do molde.....	46

Figura 48 - Aparelho de teste utilizado pela secção de bancada da SF Moldes para controlar o caudal e pressão dos circuitos de controlo de temperatura: (a) – aparelho de verificação de caudal; (b) – controlo de caudal e pressão.	47
Figura 49 - Relatório de controlo de caudal realizado na SF Moldes.	47
Figura 50 - Exemplo de colocação de placa de isolamento térmico na parte traseira das placas de encosto.	48
Figura 51 - Exemplos de componentes acionados pelo circuito hidráulico: (a) – movimento hidráulico submarino; (b) – cilindros hidráulicos das placas de extração; (c) – cilindros atuadores das válvulas do sistema de injeção.	49
Figura 52 - Divisor de caudal aplicado a alimentar os cilindros hidráulicos da placa de extração de um molde.	49
Figura 53 - Exemplos de defeitos causados pelo escape de gases insuficiente: (a) – cavidade marcada pelos gases do material polimérico queimado; (b) – peça com zona queimada; (c) – frisos ondulados devido à acumulação de gases; (d) – bolha de gás acumulado formado pela união das frentes de fluxo de material.	50
Figura 54 - Escape de gases aplicado no contorno exterior da peça: (a) – regras gerais para o dimensionamento do escape de gases contínuos (V. Rosato et al., 2000); (b) – escape de gases aplicado ao longo do contorno das peças.	51
Figura 55 - Métodos de aplicação de escapes de gases: (a) – aplicação de pequenas facetas num extrator circular (V. Rosato et al., 2000); (b) – postigos para fugas de gases localizadas (Ermanno Balzi Srl, 2022).	51
Figura 56 - Identificação dos pontos de acumulação de gases através da realização de um estudo reológico.	52
Figura 57 - Exemplo de aplicação da barra de içamento num molde.	57
Figura 58 - Barra de segurança de fecho molde.	58
Figura 59 - Exemplo de aplicação de limitadores de curso na placa de extração.	58
Figura 60 - Aplicação de proteções do sistema de extração.	59
Figura 61 - Exemplo de sistema de acoplamento rápido de circuitos de controlo de temperatura (RTC Couplings GmbH, 2022d).	59
Figura 62 - Exemplo de caixa de ligações elétricas de um molde.	60
Figura 63 - Sequência de processos do ciclo de injeção (Cunha et al., 2003).	62
Figura 64 - Máquina de injeção: (a) – unidades principais; (b) – esquema da composição de uma máquina de injeção.	64
Figura 65 - Identificação das principais zonas de um fuso de uma unidade de injeção, adaptado de (Goodship, 2004).	66

Figura 66 - Ponteira de fuso de uma máquina de injeção, adaptado de (Goodship, 2004).	66
Figura 67 - Exemplo de uma unidade de fecho hidráulico (Haitian Group, 2022): (a) – cilindros hidráulicos que garantem a força de fecho; (b) – sistema de travamento da unidade de fecho.	67
Figura 68 - Exemplo de unidade de fecho de joalheira: (a) – joalheira que realiza o movimento do prato móvel e garante o fecho do molde; (b) – roda dentada que realiza o ajuste da espessura do molde.	68
Figura 69 - Exemplos de identificação dos pilares dependendo da carroçaria do automóvel (BasicAutomotives, 2023): (a) – duas janelas laterais; (b) – três janelas laterais; (c) – janela lateral sem separação.	80
Figura 70 - Modelo 3D da peça polimérica fornecida pelo cliente: (a) – zona visível; (b) – zona não visível.	81
Figura 71 - Esboços realizados para efeito de orçamentação: (a) – dimensões de aço na vista frontal; (b) – dimensões de aço na vista lateral.	81
Figura 72 - Esboços realizados para efeito de orçamentação: (a) – previsão da quantidade de ataques de injeção; (b) – mecanismos de extração na cavidade; (c) – mecanismos de extração no macho.	82
Figura 73 - Especificações da máquina de injeção do cliente: (a) – vista lateral da máquina; (b) – vista do prato móvel.	84
Figura 74 - Pedidos de alteração de peça após a análise realizada pela equipa de projeto: (a) – geometria não permite realizar a vedação entre macho e cavidade com a inclinação de segurança para moldes de trabalho a quente; (b) – dificuldades de extração provocadas pela elevada quantidade de frisos nessa zona; (c) e (d) – frisos com contra saída.	86
Figura 75 - Soluções equacionadas para realizar a injeção da peça: (a) – solução A; (b) – solução B.	87
Figura 76 - Resultados obtidos para a taxa de corte: (a) – solução A; (b) – solução B.	88
Figura 77 - Resultados obtidos para a contração volumétrica: (a) – solução A; (b) – solução B.	89
Figura 78 - Resultados obtidos para o empeno, na direção do eixo Z: (a) – solução A; (b) – solução B.	90
Figura 79 - Definição da superfície de junta: (a) – superfície de junta da cavidade; (b) – superfície de junta do macho.	91
Figura 80 - Separação do macho e cavidade: (a) – bloco do macho; (b) – bloco da cavidade.	92

Figura 81 - Elementos de extração e postigos desenvolvidos para o molde do projeto em estudo: (a) – elementos de extração; (b) – postigos.....	93
Figura 82 - Alojamentos para postigos e elementos de extração: (a) – bloco do macho; (b) – bloco da cavidade.	94
Figura 83 - Sistema de injeção aplicado no molde.....	95
Figura 84 - Sistema de extração de peça do molde em estudo: (a) – mecanismos acionados pela placa de extração, após a abertura do molde; (b) – movimentos mecânicos acionados durante a abertura do molde, localizados na placa do macho; (c) – levantadores acionados por mola a gás durante a abertura da ferramenta, localizados na placa da cavidade.....	96
Figura 85 - Pilares de suporte aplicados no molde em estudo.....	97
Figura 86 - Operação de desbaste por fresagem CNC do macho do molde em estudo.	99
Figura 87 - Início dos trabalhos de bancada: (a) – verificação dos circuitos do sistema de controlo de temperatura para elaboração do relatório de pressões e caudais; (b) – ajuste de elementos móveis e postigos.....	100
Figura 88 - Processo de ajuste de um levantador: (a) – aplicação de tinta de marcação na caixa do levantador; (b) – colocação do levantador na caixa de ajuste, a inspeção dos locais que se deve remover aço (zonas com maior quantidade de tinta); (c) – remoção de aço em pontos localizados.	100
Figura 89 - Acabamento em conjunto do macho.....	101
Figura 90 - Processo de ajustamento da superfície de junta do molde na prensa de ajuste: (a) – superfície de junta usada como referência com tinta de marcação; (b) – retificação após o fecho e abertura do molde.....	102
Figura 91 - Preparação do material polimérico para a injeção: (a) – mistura do pigmento no material; (b) – desumidificadores de material.	105
Figura 92 - Ligações do molde com a máquina de injeção e periféricos: (a) – ligações elétricas com sistema de injeção; (b) – circuito pneumático para comandar as válvulas do sistema de injeção; (c) – ligações do molde com os controladores de temperatura.	106
Figura 93 - Parâmetros introduzidos no comando da máquina de injeção: (a) – perfil de temperaturas introduzido ao longo do fuso; (b) – perfil de dosagem; (c) – temperaturas definidas no sistema de injeção.	107
Figura 94 - Numeração dos bicos de injeção, vista na cavidade/lado fixo do molde.	108
Figura 95 - Força de fecho necessária durante o processo de injeção, resultado obtido através do estudo reológico.	109

Figura 96 - Sequência de enchimento da peça: (a) – enchimento a 10 % do volume, apenas com um bico aberto; (b) – enchimento a 50 % do volume, apenas com um bico aberto; (c) – momento de abertura do segundo bico, com o enchimento a 58 % do volume; (d) – enchimento a 98 % do volume, com ambos os bicos abertos.	111
Figura 97 - Enchimento da peça até à abertura do segundo bico: (a) – estudo reológico; (b) – estudo de enchimento na máquina de injeção.	111
Figura 98 - Final da fase de enchimento: (a) – estudo reológico; (b) – estudo de enchimento na máquina de injeção.	112
Figura 99 - Pressão exercida à entrada do sistema de injeção durante as fases de injeção e compactação, obtida pelo estudo reológico.	113
Figura 100 - Prisão da peça nos levantadores durante a desmoldagem, provocando deformações na peça.	114
Figura 101 - Temperatura média da peça durante o período de arrefecimento: (a) – após 5 segundos de arrefecimento; (b) – após 10 segundos de arrefecimento; (c) – após 20 segundos de arrefecimento; (d) – após 30 segundos de arrefecimento. ...	116
Figura 102 - Estado das peças após a extração: (a) – com 30 segundos de arrefecimento, a peça fica retida nos levantadores; (b) – com 20 segundos de arrefecimento, os extratores danificam o aspeto superficial das peças; (c) – com 25 segundos de arrefecimento.	116
Figura 103 - Medição das peças poliméricas no <i>gabarit</i> fornecido para o molde em estudo.	117
Figura 104 - Esquema de desmoldagem de um jito com ataque em banana.	118
Figura 105 - Identificação do local de quebra do jito: (a) – modelo 3D; (b) – situação existente no molde.	119
Figura 106 - Geometria do jito implementado no molde.	120
Figura 107 - Gráfico Tensão-Deformação do material polimérico equivalente (Bayblend T65XF) para diferentes temperaturas (Covestro Deutschland AG, 2016).	122
Figura 108 - Geometria do jito "ideal".	123
Figura 109 - Análise de deformações (ϵ) do jito durante a desmoldagem em relação ao ângulo α (alfa) do jito.	124
Figura 110 - Local de aplicação do raio na banana.	124
Figura 111 - Peças retidas nos levantadores e impossibilitadas de serem removidas pelo robot: (a) – posição das peças no final de curso de extração; (b) – peças deformadas devido aos frisos estarem "presos" nos levantadores.	125

Figura 112 - Aplicação de barras extratoras e de "unhas" para suportar o esforço provocado pela desmoldagem dos levantadores e manter a peça em posição de remoção pelo robot.	125
Figura 113 - Aumento do comprimento dos extratores: (a) – peça polimérica cai no final de curso de extração; (b) – extratores a aumentar o comprimento; (c) – detalhe da interferência do aumento do comprimento dos extratores na peça polimérica...	126
Figura 114 - Defeitos existentes nas peças poliméricas do primeiro ensaio na máquina de injeção. (a) – rebarba de polimérico; (b) – desencontro de superfícies; (c) – frisos danificados.	126
Figura 115 - Verificação do ajuste entre macho e cavidade com tinta de marcação.	127
Figura 116 - Jito com ataque em banana com implementação do novo raio em fase final de extração.	128
Figura 117 - Estado das peças poliméricas no final do curso de extração: (a) – desmoldagem incompleta das peças poliméricas no final de curso de extração; (b) – peças poliméricas em posição correta para serem removidas pelo <i>robot</i>	129
Figura 118 - Estado das peças poliméricas após o reajuste das superfícies de junta do molde e melhoria dos ajustamentos dos mecanismos de extração: (a) – rebarba de material; (b) – desencontro de superfícies; (c) – frisos danificados pelos levantadores da cavidade.	130
Figura 119 - Parâmetros de compactação, com os quais se obtém as melhores peças poliméricas.	132
Figura 120 - Textura da danificada nas extremidades das peças poliméricas: (a) – região da textura danificada; (b) – vestígios de material polimérico no aço da cavidade.	133

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Valores genéricos de contração para vários tipos de materiais poliméricos (Pontes et al., 2003).....	15
Tabela 2 - Ângulos de saída recomendados para vários materiais (Martins & CENFIM, 2019).....	17
Tabela 3 - Ângulos de saída mínimos recomendados para cada tipo de textura da série MT – 11000 (THE TOOL HUB, 2022b).	18
Tabela 4 - Granulometria de polimento utilizado consoante a aplicação da peça polimérica de acordo com a experiência dos operadores da SF Moldes.	20
Tabela 5 - Graus de acabamento estandardizados pela <i>Society of the Plastics Industry</i> (Pontes et al., 2003).....	21
Tabela 6 - Conceitos de jitos utilizados para a injeção de peças poliméricas.	29
Tabela 7 - Elementos de extração simples para aplicações sem contra saídas.	36
Tabela 8 - Arquiteturas de circuitos de refrigeração mais utilizadas para cavidades.	43
Tabela 9 - Arquiteturas de circuitos de refrigeração mais utilizadas para machos....	44
Tabela 10 - Seleção de aços para zonas moldantes, tendo em consideração o material polimérico a injetar e a vida esperada do molde, adaptado de (Matos et al., 2003)..	53
Tabela 11 - Propriedades mecânicas e aplicações dos aços utilizados para o fabrico de moldes, adaptado de (Matos et al., 2003) e (Meusburger Georg GmbH, 2023).	55
Tabela 12 - Propriedades mecânicas de ligas de alumínio utilizados para o fabrico de moldes (Matos et al., 2003).....	56
Tabela 13 - Propriedades mecânicas de ligas de cobre utilizadas para o fabrico de moldes (Matos et al., 2003).....	56
Tabela 14 - Alguns dos materiais mais utilizados na indústria automóvel.....	61
Tabela 15 - Tipos de aditivos utilizados para melhorar a resistência química e mecânica dos materiais, adaptado de (Ferreira, P., 2023a) e (Ferreira, P., 2023b)..	61
Tabela 16 - Temperaturas de injeção recomendadas a cada tipo de material.	69
Tabela 17 - Temperaturas do molde recomendadas a cada tipo de material.....	70
Tabela 18 - Dados do molde a utilizar para a seleção da máquina de injeção.	103
Tabela 19 - Características das máquinas de injeção indicadas para este molde disponíveis nos centros de ensaios.....	104
Tabela 20 - Condições de processamento para moldagem por injeção indicadas para o NOVODUR H605.	106

Tabela 21 - Resultados obtidos para o enchimento da peça no estudo reológico. .	110
Tabela 22 - Dados do material polimérico importantes para estudar o tempo de arrefecimento necessário.	114
Tabela 23 - Análise de deformações dos jitos desde o momento inicial da extração até ao momento em que se atinge o ângulo de desmoldagem da banana para diferentes distâncias de extratores em relação à extremidade da banana.	120
Tabela 24 - Análise de deformações dos jitos desde o momento inicial da extração até ao momento em que se atinge o ângulo de desmoldagem da banana com o formato ideal.....	123
Tabela 25 - Estudo de compactação das peças poliméricas.	131

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

° – Unidade de medição de ângulo em graus

3D – Modelo tridimensional

α – Ângulo do canal principal do jito em relação à sua posição inicial (°)

ABS – Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno

A_p – Área projetada (m^2)

ASA – Acrilonitrilo-Estireno-Acrilato

β – Ângulo do eixo de desmoldagem da banana em relação ao eixo do canal principal do jito antes do avanço da extração (°)

° C – Unidade de temperatura em graus celcius

cm^3 – Unidade volumétrica em centímetros cúbicos

CAD – *Computer Aided Design* (Desenho assistido por computador)

CAM – *Computer Aided Manufacturing* (Manufatura assistida por computador)

CNC – Controlo numérico computadorizado

ε – Deformação (%)

E – Dimensão da espessura (mm)

F_f – Força de fecho (N)

g – Unidade de massa em grama

H – Dimensão horizontal (mm)

HB – Unidade de dureza em Brinell

HDPE – Polietileno de Alta Densidade

K – Unidade de temperatura em Kelvin

kg – Unidade de massa em quilograma

L – Distância da extremidade do extrator à extremidade da banana (mm)

ΔL – Alongamento do canal principal do jito (mm)

L/d – Relação entre o diâmetro e o comprimento do fuso

LDPE – Polietileno de Baixa Densidade

MPa – Unidade de tensão em Mega Pascal

m – Unidade de comprimento em metro

mm – Unidade de comprimento em milímetro

PA – Poliamida

PE – Posição do curso de extração (mm)

PBT – Politereftalato de Butileno

PC – Policarbonato

PET – Politereftalato de Etileno

$P_{\text{máx inj}}$ – Pressão máxima de injeção (Pa)

PMMA – Polimetacrilato de Metilo

POM – Poliacetal

PP – Polipropileno

PPO – Polióxido de Fenileno

PS – Poliestireno

PVC – Policloreto de Vinilo

s – Unidade de tempo em segundo

SAN – Copolímero Estireno-Acrilonitrilo

TON – Unidade de massa em tonelada

TPE – Termoplástico elastómero

TPE-O – Termoplástico elastómero olefina

TPE-S – Termoplástico elastómero estireno

W – Unidade de potência em watt

V – Dimensão vertical (mm)

1 Introdução

1.1 Produção de peças poliméricas através do processo de injeção

A obtenção de peças através do processo de injeção em série exige que todos os fatores que influenciam a qualidade final do produto se interliguem perfeitamente em conjunto. No esquema demonstrado na Figura 1, pode-se visualizar os cinco fatores que influenciam a qualidade final da(s) peça(s). Como neste relatório irá ser abordado principalmente o processo de construção de moldes e, posteriormente, o processo de injeção de polímeros, os fatores que irão ser abordados com maior ênfase são: o molde e o processo de injeção.

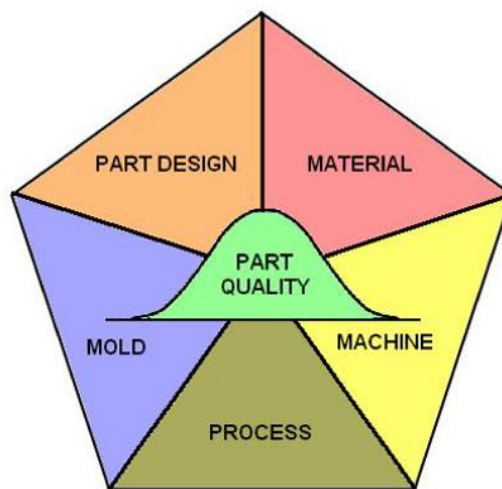


Figura 1 – Representação dos cinco fatores que influenciam na qualidade da peça (Informa PLC, 2022a).

Habitualmente, apenas dois dos fatores que influenciam a qualidade da peça podem ser controlados pelos fabricantes de moldes, que são: o próprio molde e o processo de injeção (embora também possam ser requisitadas mudanças no desenho da peça). Os restantes fatores são controlados pelo cliente final do molde. Um dos fatores mais importantes para a qualidade da peça final é o molde, uma vez que, este é o meio de obtenção da peça final e terá um peso muito grande na sua qualidade. A qualidade do projeto e funcionamento de um molde permite aumentar posteriormente a sua janela de processo de injeção. Uma janela de processo de injeção grande permitirá ter maior flexibilidade nos parâmetros de injeção sem existir uma redução de qualidade da peça e ter maior facilidade em atingir a robustez do mesmo.

O momento onde é atingida a robustez do processo de injeção é quando se consegue atingir a repetibilidade do processo, mantendo a qualidade da peça e a velocidade de ciclo de injeção otimizada (Informa PLC, 2022b). Os pontos fundamentais que se devem alcançar para se atingir a robustez do processo de injeção são os seguintes: assegurar a consistência de injeção para injeção no ponto de vista da qualidade e

assegurar a semelhança de cavidade, para que a cavidade possa assegurar a qualidade do processo de máquina para máquina (Informa PLC, 2022a).

1.2 A gestão de projetos na indústria dos moldes

A gestão de projeto em empresas de moldes é responsável por acompanhar todo o processo de concepção de um molde e ser a ponte de comunicação entre o cliente e a empresa, desde o momento em que o cliente envia o pedido de orçamentação para o molde até à expedição do mesmo. No início do projeto, o gestor de projeto, em conjunto com os principais setores da empresa devem definir um plano de trabalhos, onde são planeados prazos para todas as etapas de execução do projeto e o respetivo prazo de entrega do molde ao cliente. Durante a execução do molde, o gestor de projeto deve acompanhar todas as fases de execução do projeto e verificar que tudo se encontra a ser realizado de acordo com o planeado e corretamente, seguindo o caderno de encargos do cliente. Em simultâneo, o gestor de projeto tem o papel de manter o cliente atualizado de todas as evoluções do projeto e construção do molde, para que se realize um acompanhamento com qualidade ao cliente. É importante que o gestor de projeto tenha valências tanto na área técnica como na área de gestão comercial. No que diz respeito à área técnica, é exigido que se tenha conhecimento de todas as etapas de execução de um molde desde o projeto, produção, montagem e ensaio, de modo a assegurar que a execução do molde é feita de acordo com as exigências impostas pelo cliente e cumprindo o prazo de execução planeado. Além disso, o conhecimento da área técnica permite ao gestor de projeto ter a capacidade de defender e fundamentar as decisões tomadas durante o projeto perante um cliente. As capacidades de gestão comercial, permitem ao gestor de projeto ter capacidade de organização e de comunicação, de modo a manter uma relação de qualidade com os clientes e de comunicar com clareza as exigências do cliente para o interior da empresa.

1.3 Objetivos do trabalho

O estágio curricular descrito ao longo deste documento tem como objetivo principal o acompanhamento do processo de projeto e construção de moldes para a injeção de termoplásticos para a indústria automóvel no departamento de gestão de projetos da SF Moldes. Durante o estágio curricular o autor esteve principalmente em contacto com ensaios de moldes, de modo a adquirir conhecimentos de análise, com o intuito de apresentar propostas de correções e melhorias para os moldes perante falhas de funcionamento identificadas durante os ensaios. Desse modo, o autor acompanhou os ensaios de todos os moldes na fase final de fabrico, até à resolução de todas as falhas existentes para posterior expedição.

Também durante esta fase, o autor acompanhou o projeto e fabrico de alguns moldes para entender as fases necessárias de projeto mecânico e de processos de fabrico até à realização do primeiro ensaio do molde na máquina de injeção. Como resultado de conhecimentos e experiências adquiridas, foram descritas todas as fases do processo de fabrico de um molde (capítulo 4), o qual foi utilizado como exemplo, para colocar em prática os conhecimentos adquiridos durante o estágio curricular.

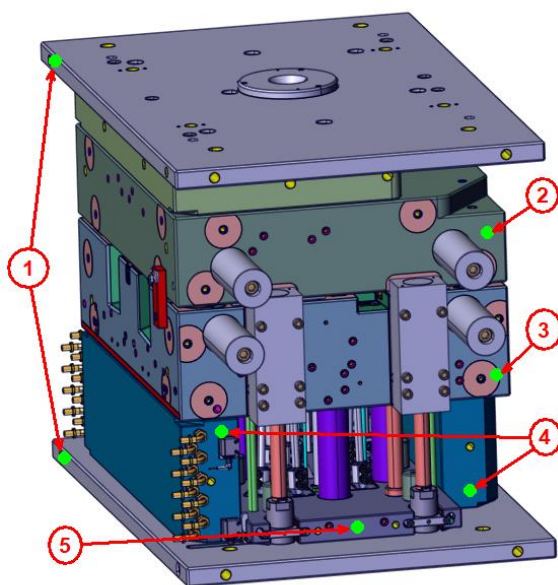
1.4 Estrutura do trabalho

A estrutura deste documento está dividida em cinco capítulos. O capítulo 1 consiste na introdução e apresentação dos objetivos do trabalho. No capítulo 2 será realizada uma introdução de moldes para injeção de termoplásticos, na qual serão descritos conceitos de construção, sistemas funcionais, materiais utilizados e a preparação do molde de acordo com as exigências do cliente. No capítulo 3 irão ser abordados conceitos do processo de injeção, nomeadamente o ciclo de injeção, a máquina de injeção, parâmetros de injeção, materiais poliméricos, e também defeitos provenientes do processo de injeção. No capítulo 4 é apresentado o trabalho desenvolvido na SF Moldes, acompanhamento do processo de construção e de ensaios de um molde na SF Moldes, no qual se descreve todas etapas de construção do molde, desde o desenvolvimento do projeto mecânico 3D, processos de fabrico, ensaio de molde e posteriores correções necessárias. Por fim, no capítulo 5 são expostas as conclusões do trabalho realizado na SF Moldes e sugestões para trabalhos futuros.

2 Molde

Um molde é uma ferramenta composta no mínimo por duas placas (macho e cavidade), e por lado fixo e lado móvel, que tem como função obter peças sempre com o mesmo formato e dimensões. A peça obtida é o resultado do preenchimento do espaço vazio entre o macho e a cavidade. O molde tem um plano de partição que permite a abertura e o fecho do mesmo para realizar a extração da peça.

A estrutura de um molde para injeção de termoplásticos contém componentes que geralmente são sempre utilizados, independentemente do conceito de construção de molde que irá ser abordado no capítulo 2.1.2, os componentes principais de um molde estão representados na Figura 2.



1 – Placas de aperto/encosto

Têm a função de fixar e centrar o molde nos pratos da máquina de injeção

2 – Placa da(s) cavidade(s)

Tem como função realizar a zona moldante da(s) cavidade(s), habitualmente a cavidade é responsável por moldar a zona visível das peças poliméricas

3 – Placa do(s) macho(s)

Tem como função realizar a zona moldante do(s) macho(s), habitualmente o macho é responsável por moldar as zonas estruturais das peças

4 – Calços

Têm a função de suportar a placa do macho, e criar o espaço necessário para o funcionamento do sistema de extração

5 – Placa de extração

Tem a função de acionar os mecanismos que desmoldam as peças poliméricas

Figura 2 - Elementos principais da estrutura de um molde para a injeção de termoplásticos.

2.1 Classificação do molde

Um molde para a injeção de termoplásticos pode ser classificado por diferentes fatores, tais como:

- Tempo de serviço;
- Conceito de construção;
- Tipo de desmoldagem.

2.1.1 Tempo de serviço

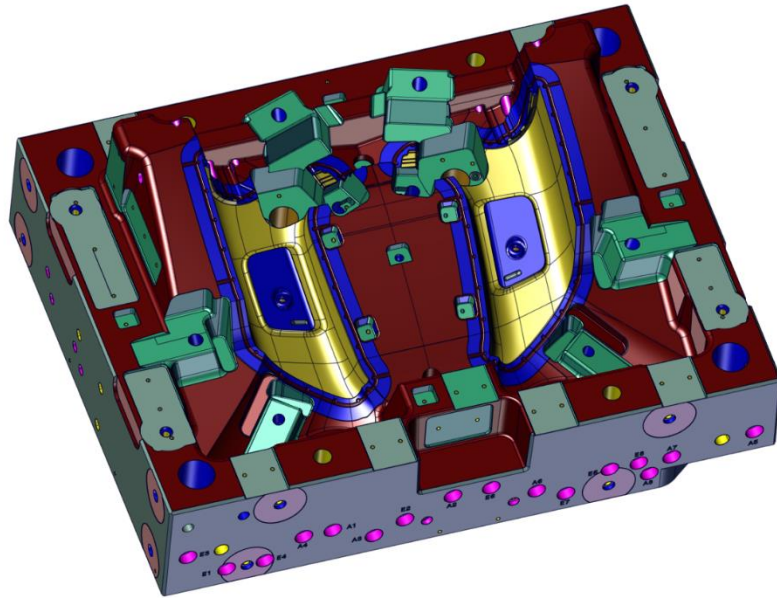
O tempo de serviço do molde deve ser definido pelos requisitos do cliente antes de se apresentar o orçamento para o seu projeto e construção. Esse tempo depende da aplicação e/ou do ciclo de produção que lhe é pretendido, a qual pode ser classificada da seguinte forma (M. Cunha et al., 2003):

- **Protótipo** – é projetado e construído com o intuito de realizar apenas algumas amostras de peças poliméricas para testes. Habitualmente, os moldes protótipo são executados para dar apoio às equipas de desenvolvimento de produto, de modo a permitir realizar e testar as primeiras montagens antes do avanço para a produção do produto em série, e/ou identificar possíveis problemas no processo de injeção antes de construir o molde de produção;
- **Produção curta** – produções de peças até 30 mil ciclos;
- **Produção média** – produções de peças de 30 mil a 250 mil ciclos;
- **Produção longa** – produções de peças de 250 mil a 500 mil ciclos;
- **Grande produção** – produções de peças superiores a 500 mil ciclos.

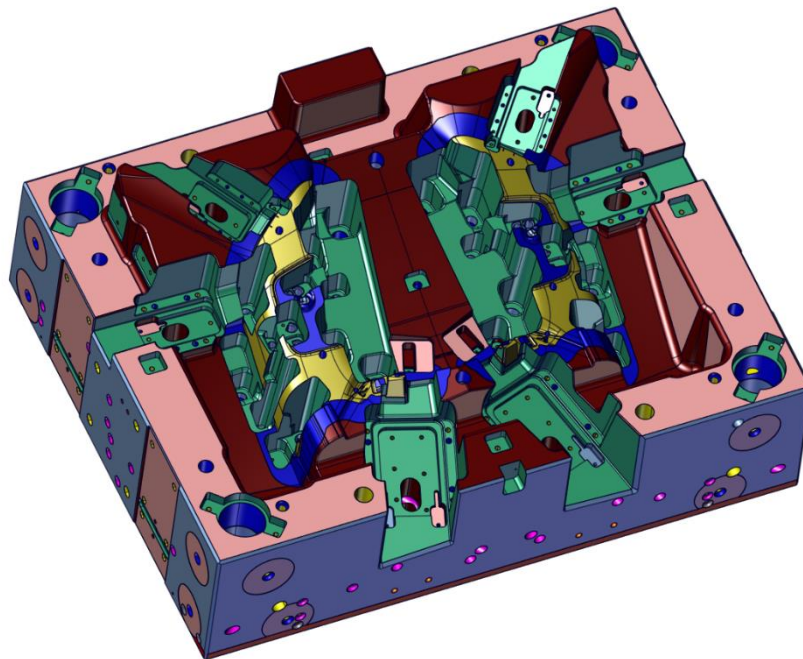
2.1.2 Conceito de construção

O conceito de construção de um molde é definido principalmente pela peça polimérica a injetar, e também pelos recursos e requisitos técnicos do cliente. Um molde para injeção de termoplásticos não é restrito a um único conceito de construção, e sim, pode ser composto por vários conceitos de construção de molde, que são interligados para permitirem atingir a melhor solução para moldar a peça polimérica utilizando e cumprindo os recursos e requisitos do cliente. Os conceitos de construção de moldes mais utilizados são os que se apresentam de seguida (M. Cunha et al., 2003)

Num **Molde Sólido** as zonas moldantes da peça polimérica são maquinadas diretamente na placa da cavidade e/ou do macho, como realizado no molde demonstrado na Figura 3.



(a)



(b)

Figura 3 - Exemplo de um molde sólido fabricado na SF Moldes. (a) – Cavidade; (b) – Macho.

Já num **Molde Estruturado** as zonas moldantes da peça polimérica são maquinadas separadamente em postiços que posteriormente serão assemblados na placa estrutural da cavidade e/ou do macho, como demonstrado na Figura 4.

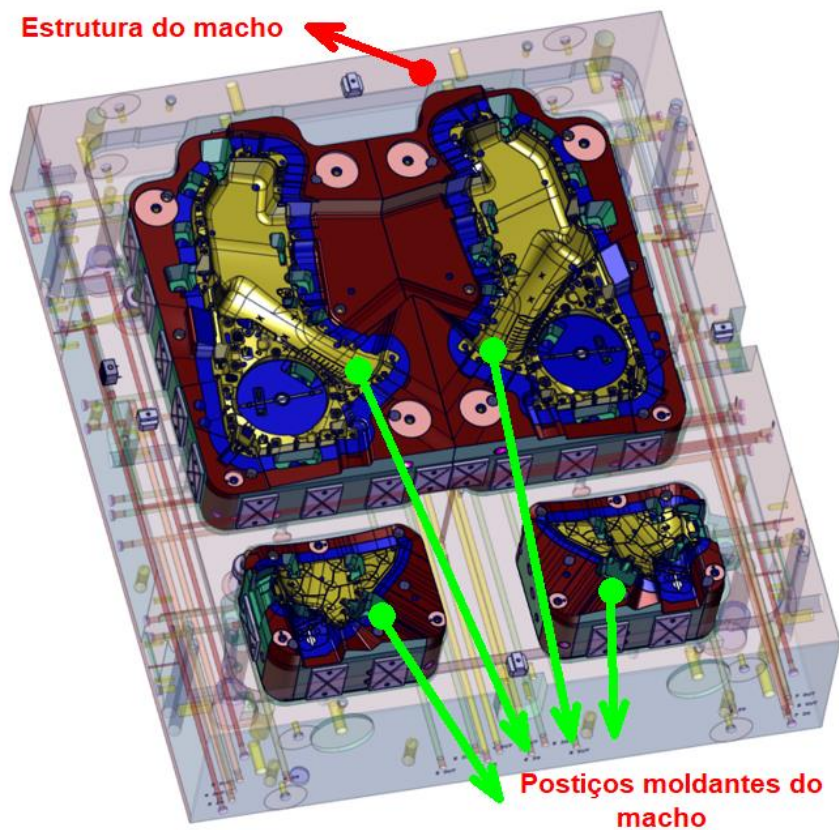


Figura 4 - Exemplo da placa de um macho estruturado fabricado na SF Moldes.

O **Molde de duas placas** é o conceito mais utilizado para a construção de moldes e, habitualmente, são constituídos por:

- Lado fixo: Cavidade e placa de encosto da injeção;
- Lado móvel: Macho, calços, placa de extração e placa de encosto da extração.

Na Figura 5 podemos observar a composição típica de um molde de duas placas. Contudo, o conceito de um molde de duas placas pode ser ainda mais simplificado, existem casos em que não é necessário aplicar placa de extração, o que permite também evitar a colocação de calços.

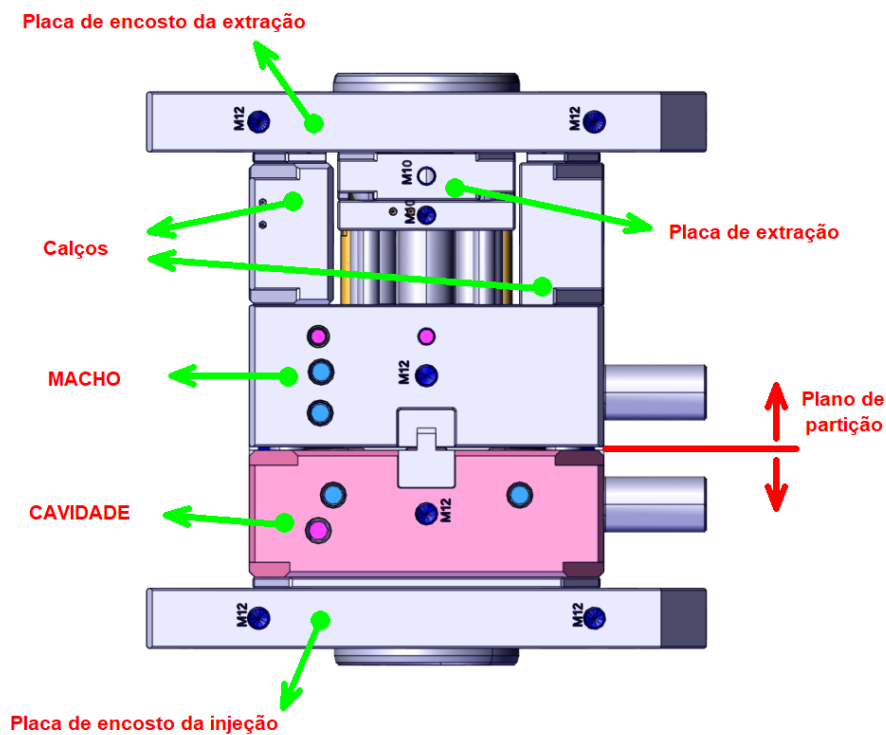


Figura 5 - Composição de um molde de duas placas.

O **Molde de três placas** é habitualmente utilizado em moldes de injeção com canais frios, para realizar separação e extração do(s) jito(s) da(s) peça(s) polimérica(s), como exemplificado na Figura 6. A composição de um molde de três placas é semelhante a um molde de duas placas, a diferença deve-se à existência de dois sistemas de extração, um dos sistemas de extração tem a função de expulsar a(s) peça(s) e o outro tem a função de extrair o jito.

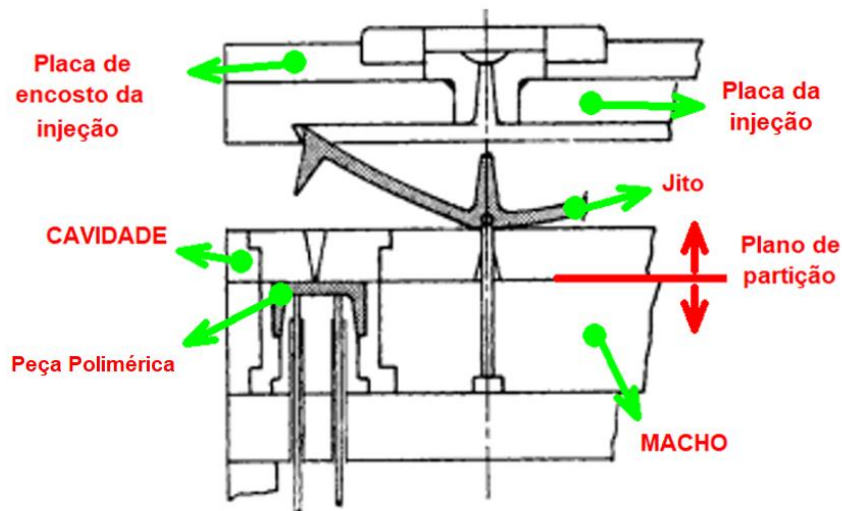


Figura 6 - Composição de um molde de três placas (V. Rosato et al., 2000).

O **Split molde** é um conceito de construção de molde com extração no lado fixo/injeção sincronizada com a abertura do molde, como exemplificado na Figura 7. Habitualmente, o sistema de extração é acionado por *latch locks*, molas ou hidráulicos.

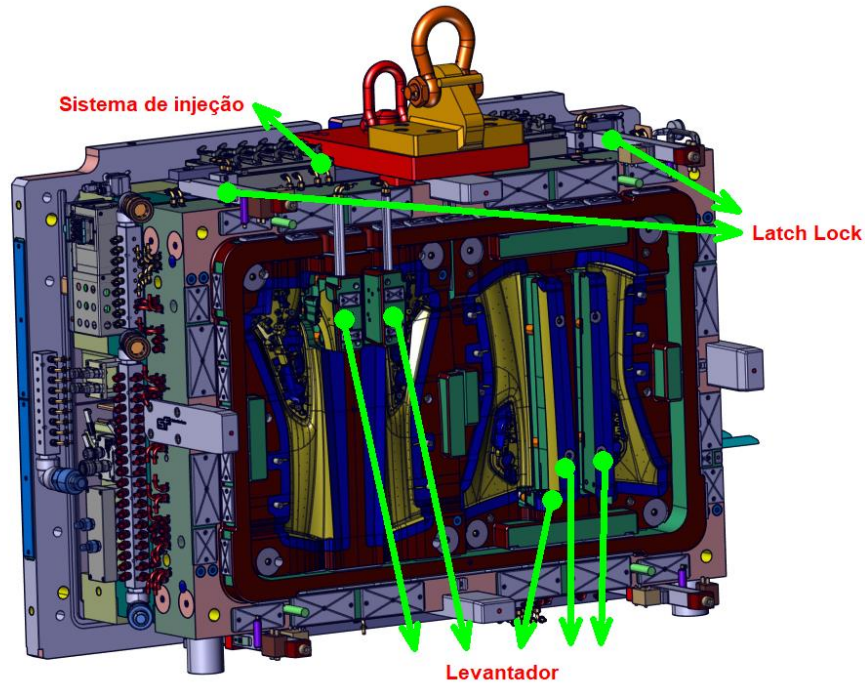


Figura 7 - Exemplo de um *Split* molde fabricado na SF Moldes.

O **Molde Família** apresenta um conceito de construção utilizado em moldes para injeção de peças poliméricas com diferentes formatos e/ou geometrias que normalmente fazem parte de um conjunto e realizam montagem entre si, como demonstrado na Figura 8.

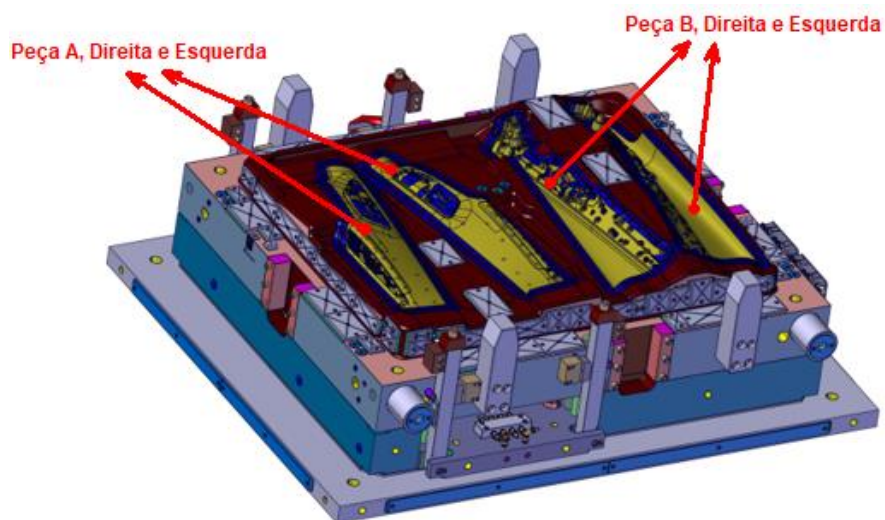


Figura 8 - Exemplo de um molde família fabricado na SF Moldes.

Já o **Molde Sandwich** tem como objetivo duplicar a quantidade de peças injetadas com a aplicação da mesma força de fecho pela máquina de injeção e duplicar a produção peças com um tempo de ciclo aproximado (Figura 9), relativamente a um molde de duas placas, e habitualmente, são constituídos por:

- Lado fixo: Macho, placa de encosto da injeção, placa de extração e calços;
- Placa central: Placas das cavidades e placa do sistema de injeção;
- Lado móvel: Macho, placa de encosto da extração, placa de extração e calços.

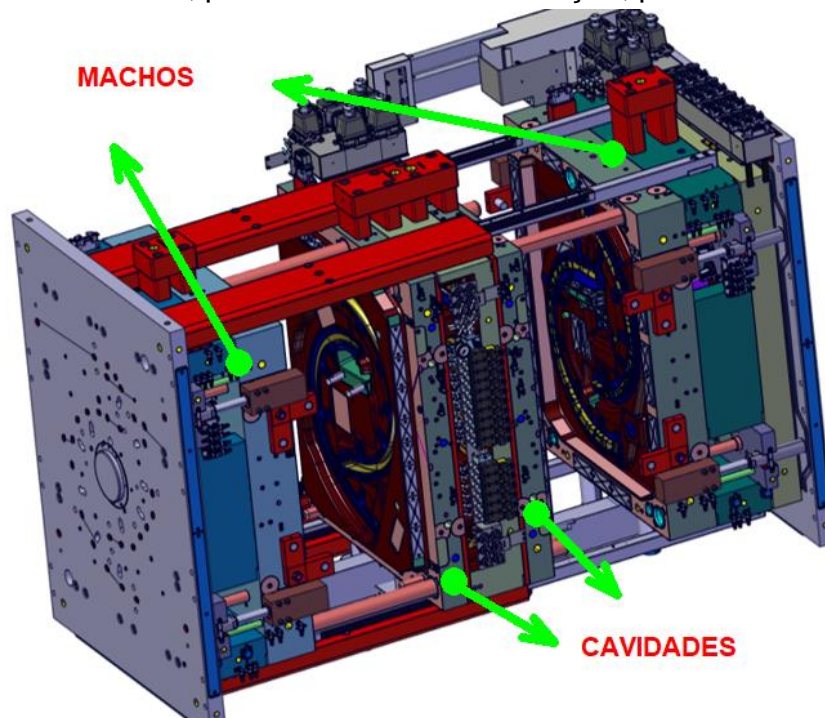


Figura 9 - Exemplo de um molde *sandwich* fabricado na SF Moldes.

O **Molde Bi-Material** apresenta um conceito de construção que permite a injeção de dois ou mais materiais na mesma peça polimérica, estes deverão ter uma composição química compatível para que exista união dos dois materiais. Existem diferentes conceitos de moldes Bi-Material, dos quais são os seguintes:

- Sistema de transferência – a injeção dos materiais é realizada separadamente e em zonas moldantes diferentes, como se pode observar na Figura 10. Para se produzir uma peça polimérica completa neste conceito de construção são necessários dois ciclos de injeção, no primeiro ciclo é injetado o primeiro material na respetiva zona moldante, de seguida o *robot* retira a peça da zona moldante onde é injetado o primeiro material e coloca-a na zona moldante em que é injetado o segundo material, seguidamente inicia-se o segundo ciclo de injeção onde são injetados os dois materiais nas respetivas zonas moldantes. No final do ciclo de injeção o *robot* retira a peça finalizada (com os dois materiais) e, também, remove a peça injetada apenas com o primeiro material

da zona moldante, e transfere-a para a zona moldante em que será finalizada com a injeção do segundo material.

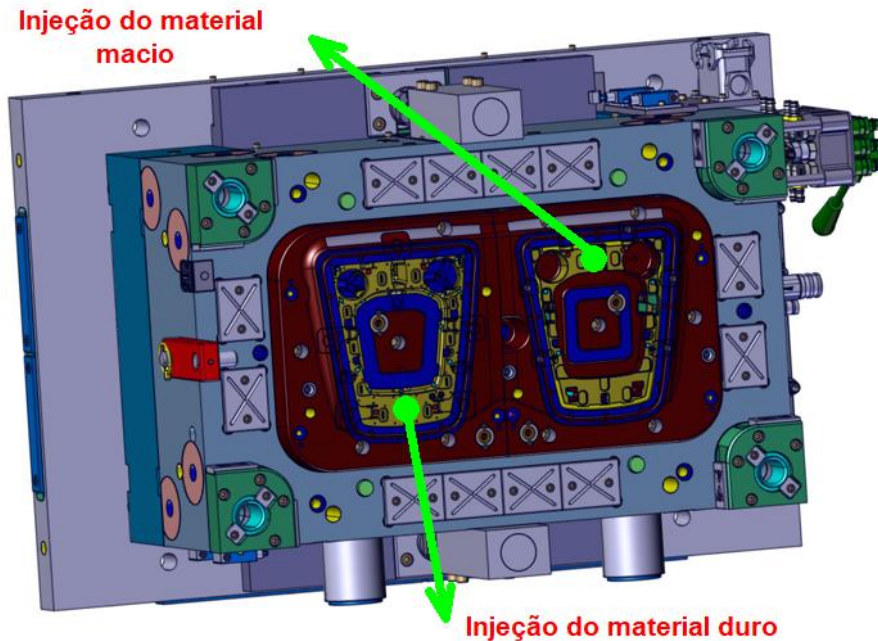


Figura 10 - Exemplo de molde Bi-Material de transferência fabricado na SF Moldes.

No **Sistema de eclusas**, a injeção dos materiais é realizada na mesma zona moldante, mas delimitada por um sistema de eclusas que realizam a separação do primeiro material do segundo material. O sistema de eclusas permite um/vários movimento(s) através do acionamento de hidráulicos que delimitam a zona moldante do primeiro material quando se encontram numa posição avançada, e permitem a união do segundo material com o primeiro material quando estão numa posição recuada, como se pode observar na Figura 11.

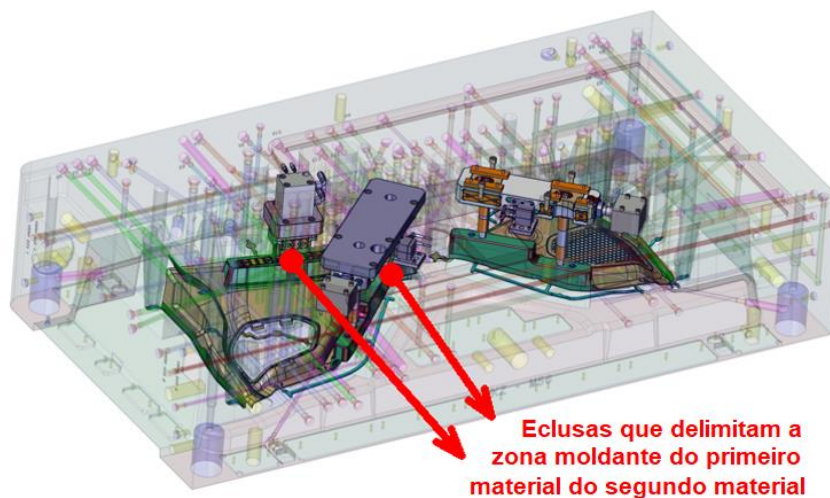


Figura 11 - Exemplo de um molde Bi-Material de sistema de eclusas fabricado na SF Moldes.

O conceito de construção de molde Bi-Material com sistema de eclusas permite produzir a peça polimérica completa num único ciclo de injeção, realizada através do seguinte exemplo: Inicialmente é injetado o primeiro material com as eclusas numa posição avançada. Após o tempo de arrefecimento necessário para o primeiro material as eclusas recuam e, posteriormente, é injetado o segundo material.

No sistema de **molde rotativo**, a injeção dos materiais é realizada separadamente, e em zonas moldantes diferentes, como se pode observar na Figura 12. Para se produzir uma peça polimérica completa neste conceito de construção são necessários dois ciclos de injeção, no primeiro ciclo é injetado o primeiro material, de seguida o lado móvel do molde roda através do acionamento de um prato rotativo acoplado à máquina de injeção, e à semelhança do sistema de transferência, transfere as peças poliméricas das zonas moldantes do primeiro material para as zonas moldantes do segundo material, seguidamente inicia-se o segundo ciclo de injeção onde são injetados os dois materiais em simultâneo nas respetivas zonas moldantes. Finalizado o segundo ciclo de injeção as peças localizadas nas zonas moldantes do segundo material são removidas do molde, e volta-se a repetir o processo referido anteriormente.

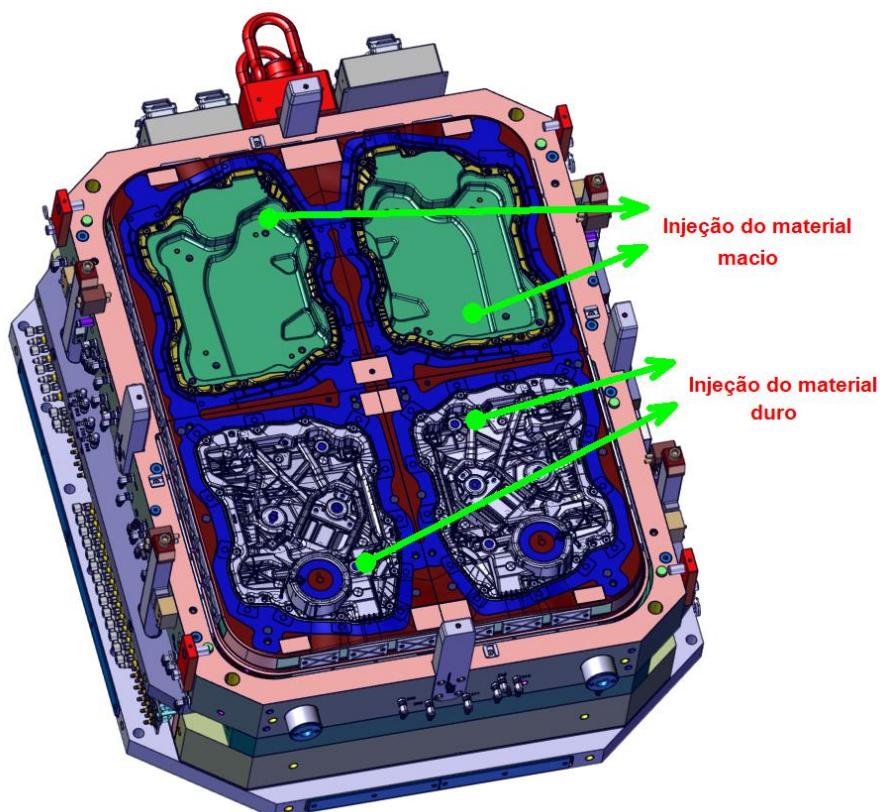
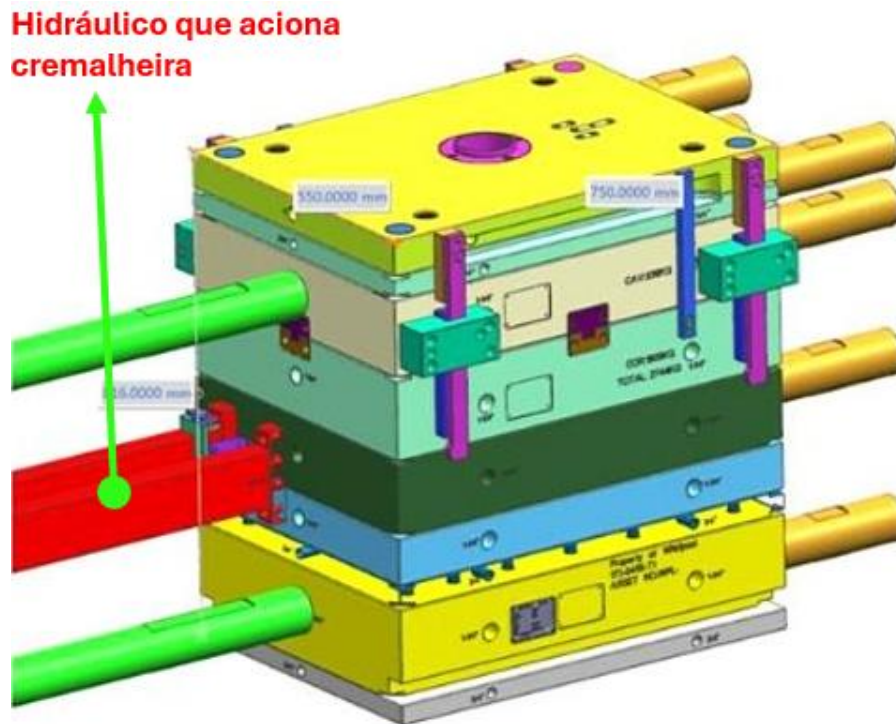
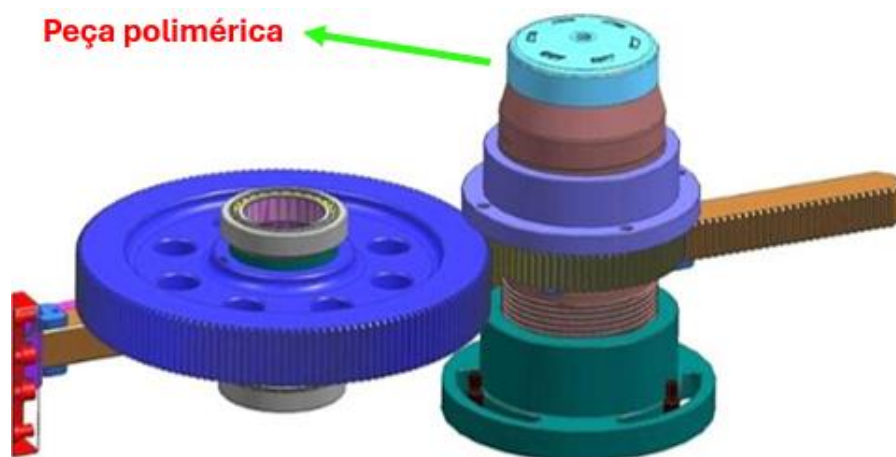


Figura 12 - Exemplo de um molde Bi-Material de sistema rotativo fabricado na SF Moldes.

O conceito de um molde de **Desenroscamento** é usado em peças poliméricas que possuam roscas. De forma a possibilitar a desmoldagem de roscas, este conceito de molde tem movimentos rotativos que podem ser acionados por um motor ou aproveitando o movimento de abertura do molde, transmitindo esse movimento através de cremalheiras e rodas dentadas, colocando o movimento responsável pela desmoldagem da rosca em rotação (Pontes et al., 2004). O mecanismo de desenroscamento pode ser igual ou semelhante ao da Figura 13.



(a)



(b)

Figura 13 - Molde de desenroscamento. (a) - estrutura do molde; (b) - sistema de cremalheira e rodas dentadas (AUTOMATIC UNSCREW THREAD INJECTION MOLD, 2022).

2.1.3 Tipo de desmoldagem

O tipo de desmoldagem pode variar devido à geometria da peça, como também devido às exigências do cliente para o aspeto da peça polimérica. Existem duas formas de desmoldagem, que são as seguintes:

- **Desmoldagem no macho** – este conceito de desmoldagem é o mais comum na construção de moldes para injeção de termoplásticos. O funcionamento de um molde cuja desmoldagem da peça é no macho, é o seguinte: inicialmente o molde abre com a peça polimérica fixa no macho, após a abertura total do molde é acionado o sistema de extração para desmoldar a peça do macho;
- **Desmoldagem na cavidade** – é o conceito de desmoldagem utilizado para peças poliméricas que exijam uma linha de junta localizada numa zona não visível, de modo a obter uma peça com a superfície visível uniforme, e sem a existência de diferenças de brilho. O funcionamento de um molde cuja desmoldagem da peça é na cavidade, é o seguinte: o sistema de extração existente no macho é sincronizado com o movimento de abertura do molde, e este obriga a peça a ficar fixa à cavidade, posteriormente quando é atingida a abertura de molde necessária, a peça polimérica é removida da cavidade pela mão presa do *robot*, que pode ter movimentos para desmoldar a peça da cavidade.

2.2 Zona moldante

A zona moldante define um espaço vazio no interior do molde quando fechado, que corresponde à geometria da peça polimérica a moldar, como exemplificado na Figura 14 (M. Cunha et al., 2003).

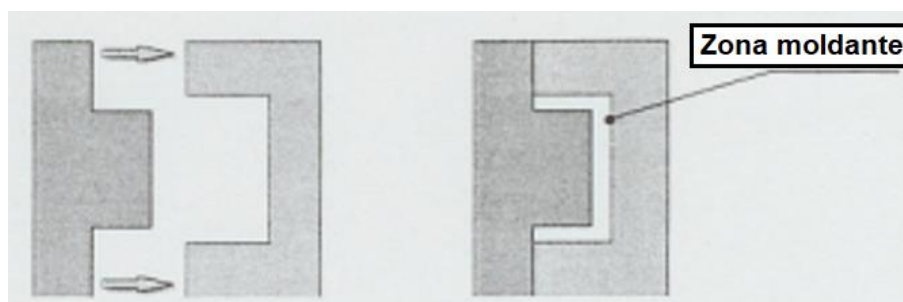


Figura 14 - Zona moldante definida após fecho do molde (M. Cunha et al., 2003).

2.2.1 Contração e Empeno

A variação dimensional das peças poliméricas em relação às dimensões do molde depende essencialmente da contração e do empeno (Pontes et al., 2003). Logo, uma

das informações mais importantes para o início de projeto de um molde para injeção de termoplásticos é a contração especificada para o material polimérico que o cliente do molde irá utilizar, uma vez que o processamento do polímero provoca alteração do volume específico resultante da expansão e contração térmica do material durante as fases de injeção, compactação e arrefecimento. Durante o período de arrefecimento no molde, e durante um longo período após serem removidas do molde, o material polimérico das peças volta a recuperar o seu volume específico para a temperatura ambiente, o que provoca variação dimensional das peças poliméricas em relação às dimensões das zonas moldantes do molde. Além da alteração do volume específico do material polimérico no processo de injeção, também a geometria da peça pode influenciar a sua própria contração. Logo, os fatores que influenciam a contração das peças poliméricas são alguns dos seguintes: características do material, geometria da peça, e condições de processamento na máquina de injeção (Pontes et al., 2003). As condições do processo de injeção que podem influenciar a contração do material são os seguintes (EX MOULD Co., 2022):

- Pressão e temperatura do material;
- Temperatura do molde;
- Velocidade de injeção;
- Tempo de injeção;
- Pressão de compactação;
- Tempo da compactação;
- Tempo de arrefecimento.

De modo a compensar a contração do material, as dimensões das zonas moldantes do molde devem ser projetadas de acordo com a contração do material a injetar, para que as peças poliméricas fiquem com as dimensões pretendidas quando atingirem a temperatura ambiente. Embora cada material tenha um valor de contração próprio, a Tabela 1 indica valores genéricos de contração para os materiais poliméricos mais utilizados.

O empeno está associado a uma variação de forma e não implica necessariamente uma variação de volume. Em muitos casos, podem surgir simultaneamente problemas de contração e de empeno (Pontes et al., 2003). A contração de peças poliméricas não é uniforme ao longo das mesmas, desse modo a geometria das peças deve ser projetada de modo a diminuir o efeito de contração e empeno. Algumas das boas práticas utilizadas para diminuir o efeito da contração e empeno são: o uso uniforme de espessuras e a aplicação de transições suaves entre espessuras diferentes (Pontes et al., 2003).

Tabela 1 - Valores genéricos de contração para vários tipos de materiais poliméricos (Pontes et al., 2003).

Material polimérico	Contração [%]
---------------------	---------------

PA 6	1 - 1,5
PA 6.6	1 - 1,5
PP	1 - 2
LDPE	1,5 - 3
HDPE	1,5 - 3
POM	1,7 - 2,1
PS	0,4 - 0,8
PC	0,5 - 0,7
ABS	0,4 - 0,7
PMMA	0,3 - 0,6
PPO	0,5 - 0,8
PC-ABS	0,3 - 0,85
PBT	1,7 - 2,3

Na Figura 15 apresentam-se essas boas práticas como complemento ao que foi referido anteriormente.

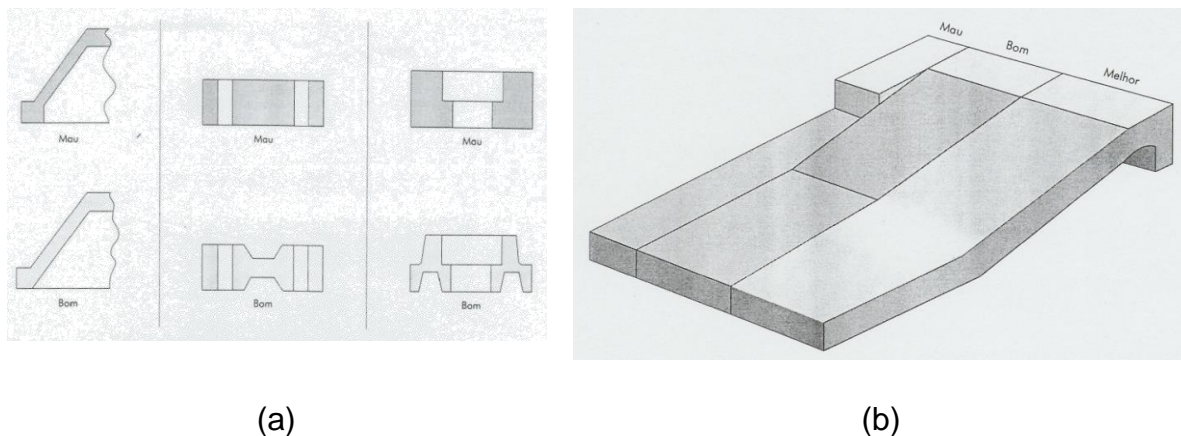


Figura 15 - Boas práticas para a redução da contração e empeno em peças poliméricas produzidas através do processo de injeção. (a) – uniformização de espessuras; (b) – transições suaves de geometria (**Pontes et al., 2003**).

2.2.2 Ângulos de saída

A geometria das peças poliméricas deve ter saída/inclinação em todas as superfícies que se encontrem na direção de desmoldagem, de modo a permitir a extração das

peças poliméricas com menor esforço de desmoldagem e prevenir danos nas mesmas, dos quais podem surgir os seguintes: aparecimento de defeitos de esforço superficiais, empenar ou até mesmo quebrar as peças durante a sua extração do molde (Proto Labs, Inc., 2022a). Na

Tabela 2 são indicados ângulos de saída recomendados por, Martins & CENFIM (2019) para os polímeros mais utilizados.

Tabela 2 - Ângulos de saída recomendados para vários materiais (Martins & CENFIM, 2019).

Polímeros	Ângulo de saída [Macho – Caverna °]
ABS	1 – 2
HDPE	0,75 – 2
LDPE	0,75 – 2
PA	0,5 – 1,5
PC	0,5 – 1,5
PET	1 – 2
POM	0,5 – 1,25
PP	0,5 – 1,5
PPO	0,5 – 2
PS	0,5 – 1
PVC	1 – 1,5
SAN	1,5 - 2

Os valores apresentados são genéricos para cada tipo de material, uma vez que, o ângulo de saída necessário também é influenciado pelo tipo de acabamento superficial da peça polimérica. Isso implica que se deva ter sempre em consideração o ângulo de saída para o material a moldar e o grau de acabamento da superfície em simultâneo, tendo em conta que habitualmente o aumento do ângulo de saída provoca o aumento de espessura da geometria da peça, favorecendo o aparecimento de chupados na superfície das peças poliméricas (Proto Labs, Inc., 2022b). Importa referir que, os valores da

Tabela 2 são válidos para zonas moldantes não texturizadas. Para zonas moldantes texturizadas, deve-se considerar um ângulo de saída de acordo com a textura que irá ser aplicada na caverna do molde. O fornecedor responsável pela textura deve informar o fabricante do molde de qual o ângulo de saída mínimo que deverá ser aplicado, de modo a evitar que a zona texturizada da peça polimérica fique danificada.

Na Tabela 3, pode-se visualizar um exemplo de recomendação de ângulos de saída mínimos recomendados para texturas da série MT – 11000 da Standex Engraving MoldTech.

Tabela 3 - Ângulos de saída mínimos recomendados para cada tipo de textura da série MT – 11000 (THE TOOL HUB, 2022b).

Nº Série	Profundidade da textura [mm]	Ângulo saída mínimo [°]
MT - 11000	0,0101	1
MT - 11010	0,0254	1,5
MT – 11020	0,0381	2,5
MT - 11030	0,0508	3
MT - 11040	0,0762	4,5
MT - 11050	0,1143	6,5
MT - 11060	0,0762	4,5
MT - 11070	0,0762	4,5
MT - 11080	0,0508	3
MT - 11090	0,0889	5,5
MT - 11100	0,1524	9
MT - 11110	0,0635	4
MT - 11120	0,0508	3
MT - 11130	0,0635	4
MT - 11140	0,0635	4
MT - 11150	0,0698	4
MT - 11160	0,1016	6

Caso a zona moldante texturizada não tenha o ângulo de saída mínimo recomendado, a própria contração da peça e/ou o movimento de desmoldagem da peça podem provocar o aparecimento de defeitos na textura da peça polimérica (Standex Engraving Mold-Tech, 2022), tal como no exemplo demonstrado na Figura 16.

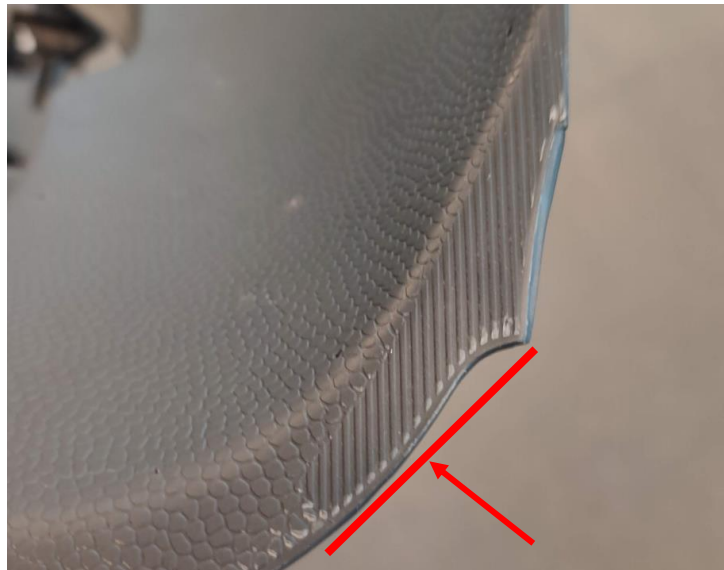


Figura 16 - Exemplo de textura danificada/raspada.

2.2.3 Plano de partição

O plano de partição, também designado por superfície de junta, deve ser definido numa zona intermédia ou na extremidade da espessura da peça polimérica de modo a permitir a abertura do molde e o acionamento da extração sem provocar danos na mesma. Quando o molde se encontra fechado a zona de vedação irá formar uma linha, designada por linha de junta, sendo esta visível na peça polimérica. A dimensão da zona de vedação, identificada na Figura 17, varia consoante a força de fecho a que o molde irá estar sujeito, de modo a ter resistência mecânica suficiente para garantir fiabilidade à qualidade da linha de junta do molde, assim como a fiabilidade da qualidade do aspeto visual da peça.

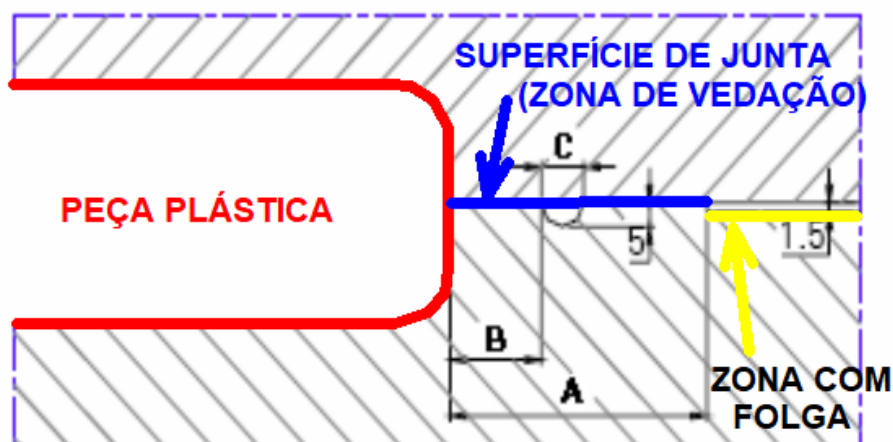


Figura 17 - Secção de um exemplo de geometria do plano de partição na extremidade da zona moldante.

2.2.4 Acabamento das zonas moldantes

O acabamento a aplicar nas superfícies das zonas moldantes deve ser selecionado de acordo com a geometria e com a finalidade da peça que se pretende moldar. O acabamento das superfícies influencia não só o aspeto final da peça, mas também o comportamento de desmoldagem. A injeção de peças com geometrias de maior complexidade, materiais com elevada rigidez (exemplo: PC ou PS), e especialmente em situações que os ângulos de saída aplicados sejam muito reduzidos, o acabamento superficial das cavidades tem uma influência enorme no comportamento e esforço de desmoldagem (3D HUBS B.V., 2022). Na Tabela 4 são indicados os acabamentos aplicados dependendo da finalidade/aplicação da peça polimérica segundo a experiência dos operadores de polimento da SF Moldes. Relativamente aos valores apresentados na Tabela 4, importa referir que, para cavidades texturizadas é também necessário realizar previamente o polimento da(s) cavidade(s), de modo a remover todas as marcas de maquinação e de erosão para que a peça polimérica apresente um brilho uniforme após a aplicação da textura.

Tabela 4 - Granulometria de polimento utilizado consoante a aplicação da peça polimérica de acordo com a experiência dos operadores da SF Moldes.

Granulometria	Aplicação
180-220	Polimento técnico (Macho, levantadores e zonas de ajuste)
320	Textura
400-600	Pintura
800-1000	Brilho
>1200	Ótico

Na Figura 18 pode-se visualizar um exemplo de uma cavidade texturizada. Na Tabela 5 podem-se consultar os diversos graus de acabamento normalizados pela Society of the Plastics Industry.

Tabela 5 - Graus de acabamento estandardizados pela *Society of the Plastics Industry* (Pontes et al., 2003).

Escala Original SPI – SPE	Escala Actual SPI – SPE	Granulometria	Rugosidade (μ'')	Aspecto final e outros comentários
# 1	A-1	Grau 8000 / Massa Diamantada de #3 ou menor	0-1	Aspecto espelhado, podendo chegar a ótico. A qualidade do aço a polir é importante.
	A-2	Grau 4000 / Massa Diamantada de #6	1-2	
# 2	A-3	Grau 1200 / Massa Diamantada de #15	2-3	Retira todas as marcas de maquinação. Dá um bom acabamento superficial ao molde. A peça moldada reflete a luz com algum brilho.
	B-1	Lixa 600	2-3	
# 3	B-2	Lixa 400	4-5	Retira todas as marcas de maquinação. Dá um bom acabamento superficial ao molde. Peça moldada sem brilho.
	B-3	Lixa 320	9-10	
# 4	C-1	Pedra 600	10-12	Retira todas as marcas de maquinação. Dá um bom acabamento superficial ao molde. Peça moldada sem brilho.
	C-2	Pedra 400	25-28	
# 5	C-3	Pedra 320	38-42	Fins decorativos. Ajuda a esconder chupados e outras imperfeições. Peça moldada com aspecto baço e sem reflexos.
	D-1	Foscagem c/ jato de microesferas de vidro (Dis. 200mm; Pressão 7 kg/cm ² ; 5 sec)	10-12	
# 6	D-2	Foscagem c/ jato de óxido de alumínio #240 (Dis. 130mm; Pressão 7 kg/cm ² ; 5 sec)	26-32	Foscagem c/ jato de óxido de alumínio #24 (Dis. 130mm; Pressão 7 kg/cm ² ; 5 sec)
	D-3	Foscagem c/ jato de óxido de alumínio #24 (Dis. 130mm; Pressão 7 kg/cm ² ; 5 sec)	190-230	

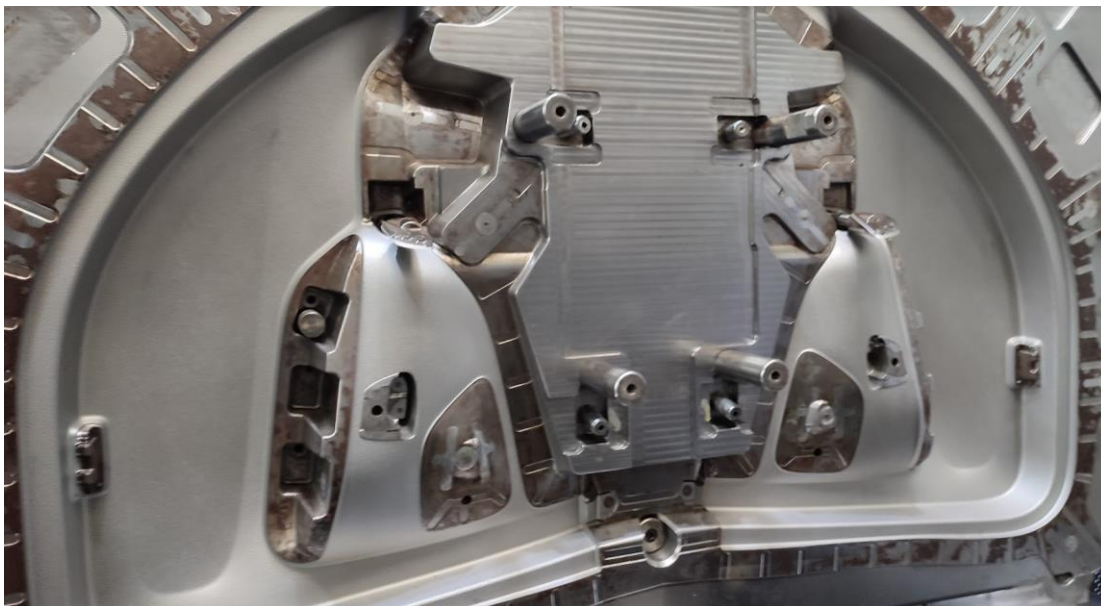


Figura 18 - Exemplo de uma cavidade texturizada.

2.3 Sistemas funcionais do molde

Um molde para injeção de termoplásticos contém um conjunto de sistemas que permite ao molde cumprir a sua funcionalidade durante a totalidade do ciclo de injeção, os quais são os seguintes:

- Centragem e guiamento;
- Conceito de injeção;
- Extração;
- Refrigeração e controlo de temperatura;
- Escape de gases.

2.3.1 Centragem e guiamento

Considerando todas as condições que têm impacto na vida do molde, o principal inimigo para o desgaste do molde pode ser causado por diferenças de temperatura e/ou pelo guiamento (Informa PLC, 2022c). O guiamento é fundamental para o funcionamento do molde, visto que, cada vez que se inicia um novo ciclo de injeção o molde deve regressar exatamente à mesma posição em que se encontrava nos ciclos anteriores, de modo a garantir a repetibilidade do molde (Pontes et al., 2003). A utilização de sistemas de alinhamento e de guiamento nos moldes pode ter várias funções. A principal função é garantir que após o fecho do molde este se encontra na sua posição exata de fecho, de modo que a linha de junta principal realize uma vedação perfeita entre a cavidade e o macho, este é designado por guiamento principal. Além do guiamento principal, os restantes elementos também necessitam de guiamento como é o caso de placas de extração e movimentos

mecânicos/hidráulicos, estes designados por guiamento da extração. A seleção dos elementos de guiamento é definida de acordo com as necessidades do molde. O peso do molde é um dos fatores com elevada importância para estes casos, desse modo é necessário que o guiamento elimine o fator do peso do molde.

Para o correto funcionamento de um molde, tal como referido anteriormente, deve-se aplicar sistemas de centragem e guiamento. Nas placas de encosto são colocadas anilhas de centragem semelhantes às demonstradas na Figura 19, estas devem ter o mesmo diâmetro da furação dos pratos da máquina de injeção onde o molde irá funcionar. As anilhas de centragem garantem a centragem do injetor principal com o bico da unidade de injeção, além disso evitam que o molde descaia em caso de um ligeiro desaperto do sistema de fixação do molde (Pontes et al., 2003).

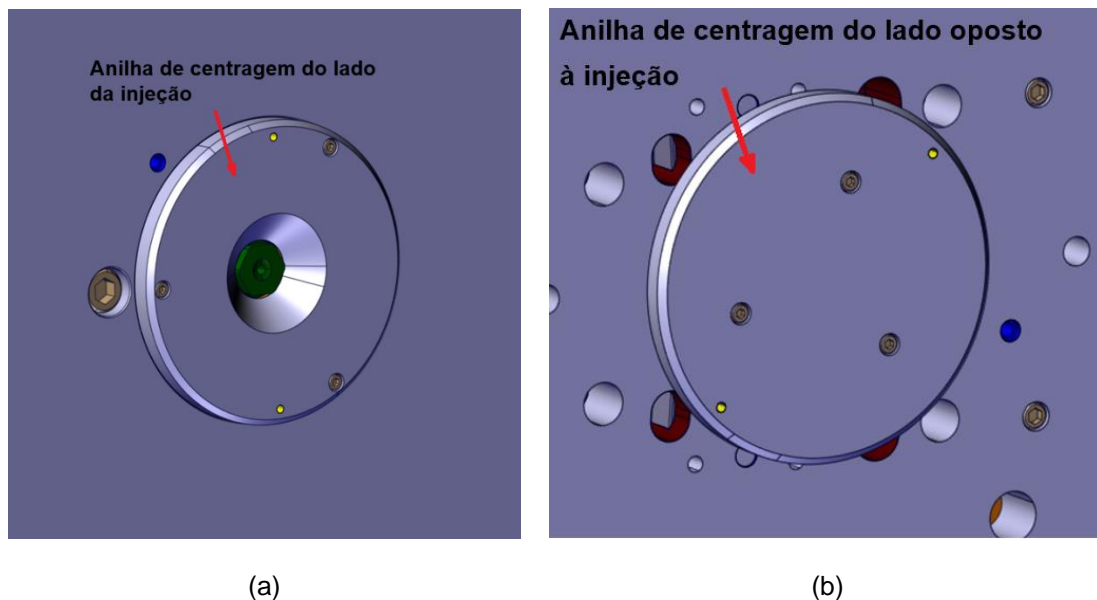


Figura 19 - Exemplo de anilhas de centragem aplicadas nas placas de encosto de um molde. (a) - anilha de centragem no lado da injeção; (b) - anilha de centragem do lado oposto à injeção.

Para o plano de partição do molde (entre a cavidade e o macho) existem vários tipos de centragem e guiamento que podem ser utilizados, dependendo das características do molde, como por exemplo: peso do molde, profundidade da cavidade e pressão máxima a que irá ser sujeito. Os tipos de centragem e guiamento mais utilizados são os seguintes:

- Guias circulares – são utilizadas para moldes de pequena/média dimensão (Pontes et al., 2003), quando se recorre à sua utilização, habitualmente são aplicadas quatro guias colocadas nos quatro cantos do molde, guiadas por casquilhos na placa oposta. Na Figura 20 pode-se observar o exemplo de uma guia, casquilho, e também dos componentes assembled nas placas do molde.

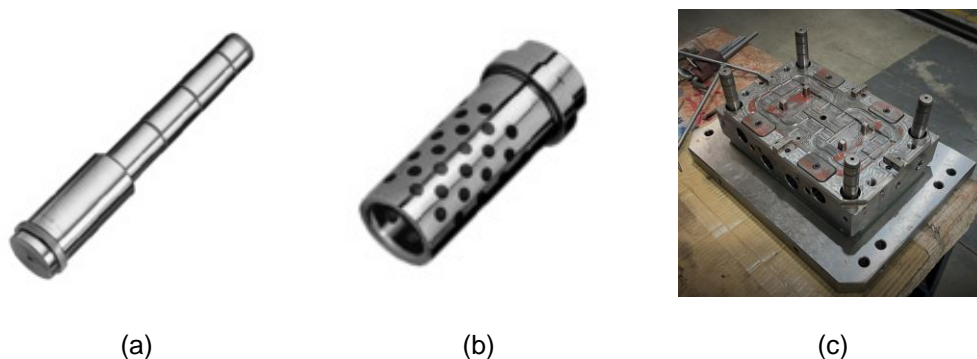


Figura 20 - Exemplo guiamento com guias circulares. (a) - guia circular (HASCO, 2022b), (b) - casquilho para guia circular auto-lubrificante (HASCO, 2022b) e (c) – Guias circulares aplicadas num molde fabricado na SF Moldes.

- Guias prismáticas – são utilizadas para moldes de grande dimensão, de modo a suportar o elevado peso do molde (Pontes et al., 2003). Habitualmente na SF Moldes são aplicadas três ou quatro guias dependendo da exigência do cliente e/ou do próprio molde. Na Figura 21 é possível visualizar uma guia prismática e as réguas de guiamento.

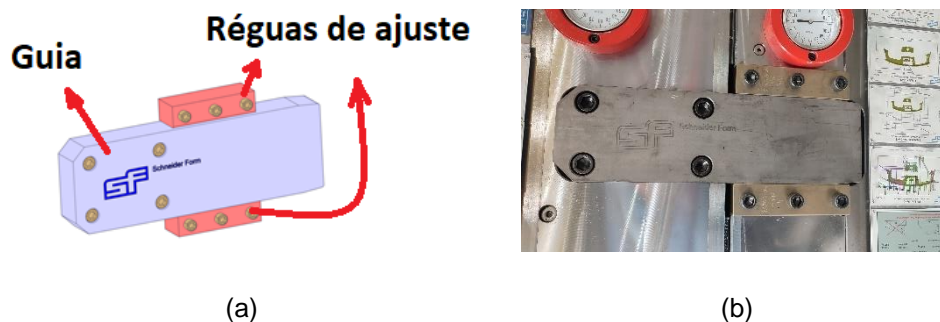


Figura 21 - Guia prismática com réguas de ajuste utilizada pela SF Moldes. (a) - Modelo 3D; (b) - Aplicação no molde.

Para moldes com um peso superior a 20 toneladas recomenda-se a aplicação de rolamentos no guiamento das guias prismáticas semelhante ao demonstrado na Figura 22, de modo a diminuir o atrito provocado pelo elevado peso do lado móvel no guiamento durante o fecho e abertura do molde.

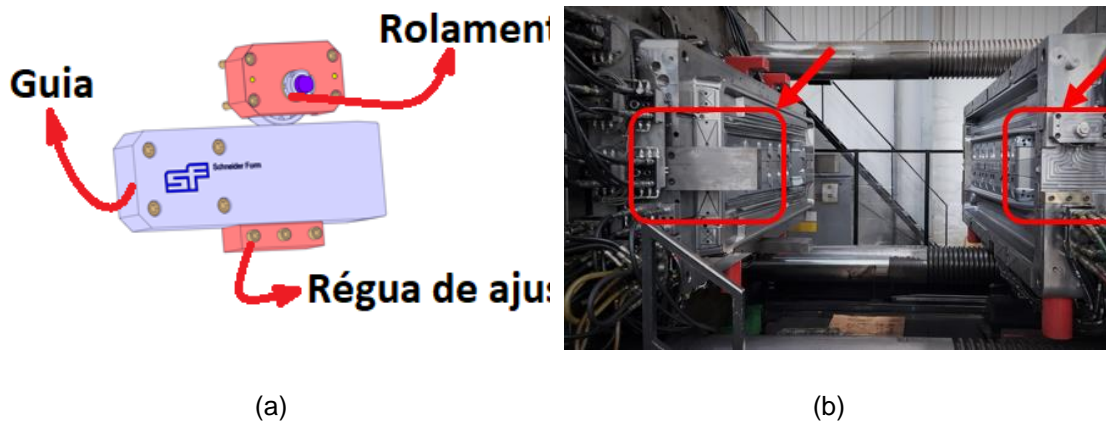


Figura 22 - Guia prismática com rolamento utilizada pela SF Moldes. (a) - Modelo 3D; (b) - Aplicação no molde.

- Travamento – é necessário para garantir que o molde está na posição exata de injeção, de modo que se consiga obter uma centragem e vedação perfeito da linha de junta entre a cavidade e o macho. Também tem como função absorver a pressão lateral provocada pela injeção. As dimensões do travamento dependem da profundidade da cavidade que terá influência na área projetada lateral, e da pressão máxima que se poderá obter dentro da cavidade. Para moldes de média/grande dimensão são utilizados travamentos semelhantes ao da Figura 23.

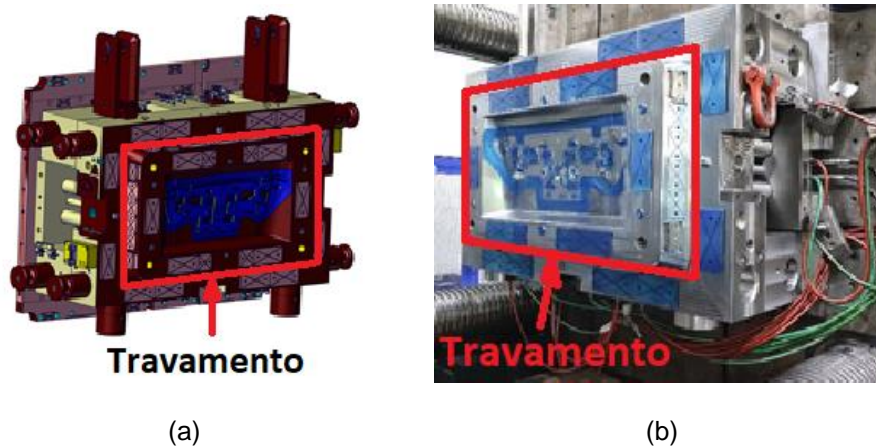


Figura 23 - Travamento. (a) - Modelo 3D; (b) - Molde.

Para moldes de pequena dimensão em que a pressão lateral seja muito reduzida pode-se recorrer a soluções mais económicas, ou seja, a blocos de travamento normalizados semelhantes aos demonstrados na Figura 24.

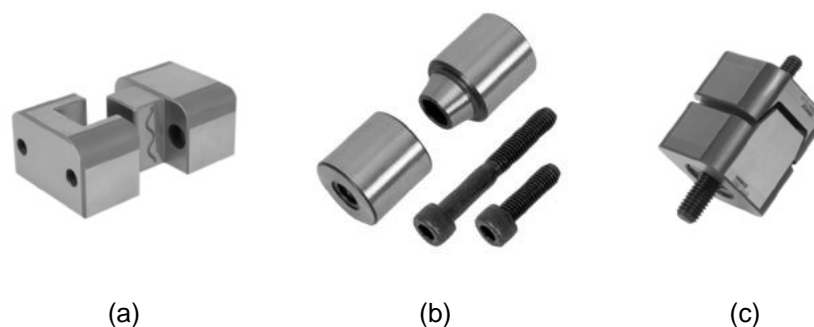


Figura 24 - Exemplos de blocos de travamento (HASCO, 2022a). (a) - quadrado; (b) - redondo cônico; (c) - quadrado inclinado.

Nas placas de extração é fundamental que exista um perfeito guiamento dos elementos extração, de modo a garantir o bom funcionamento do sistema. O guiamento além de ser necessário para que o sistema de extração funcione, previne danos nos componentes do sistema de extração. O guiamento insuficiente ou inexistente pode provocar desequilíbrio no avanço da placa de extração devido à existência de esforços de extração diferentes ao longo da peça a desmoldar, podendo provocar a torção da placa, e conseqüentemente danificar componentes, provocando a desmoldagem incorreta das peças poliméricas durante o avanço da placa de extração. Além de danificar as peças poliméricas durante a extração, aumenta o desgaste dos componentes, favorecendo o aparecimento de folgas no sistema de extração, e até mesmo podendo provocar a rotura de componentes. Na Figura 25 pode-se visualizar o guiamento de uma placa de extração com guias e casquilhos. Geralmente este tipo de guiamento é utilizado para moldes de pequena e média dimensão.

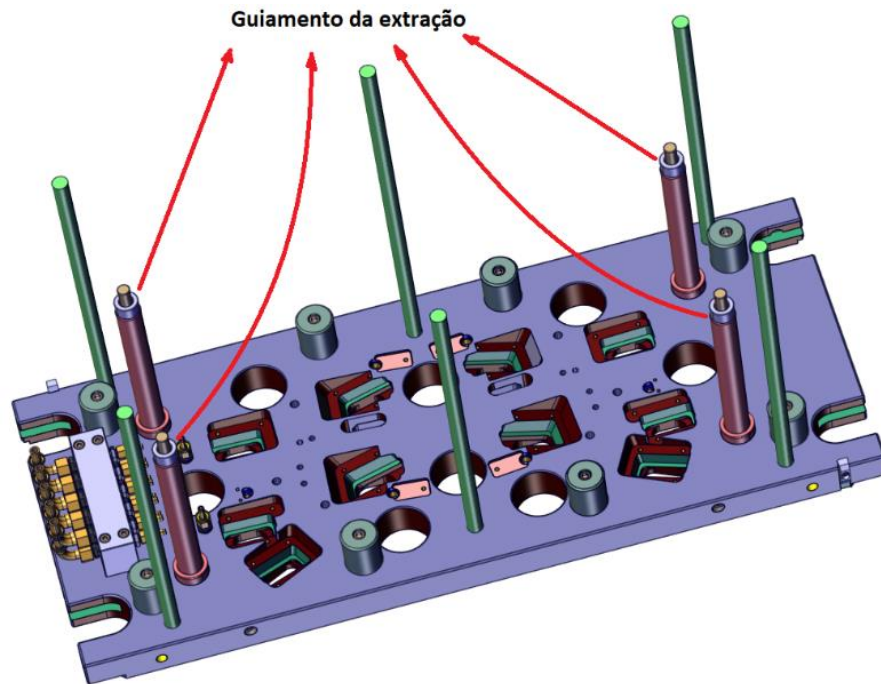


Figura 25 - Exemplo de guiamento de uma placa de extração, através de guias circulares e casquilhos.

Para moldes de grandes dimensões, onde existam placas de extração de grandes dimensões, podem ser utilizados suportes para as placas de extração semelhantes aos que estão apresentados na Figura 26. A sua utilização deve-se ao facto de as guias não oferecerem uma estabilidade suficiente para o funcionamento correto do sistema de extração, desse modo colocam-se os suportes para auxiliar as guias.

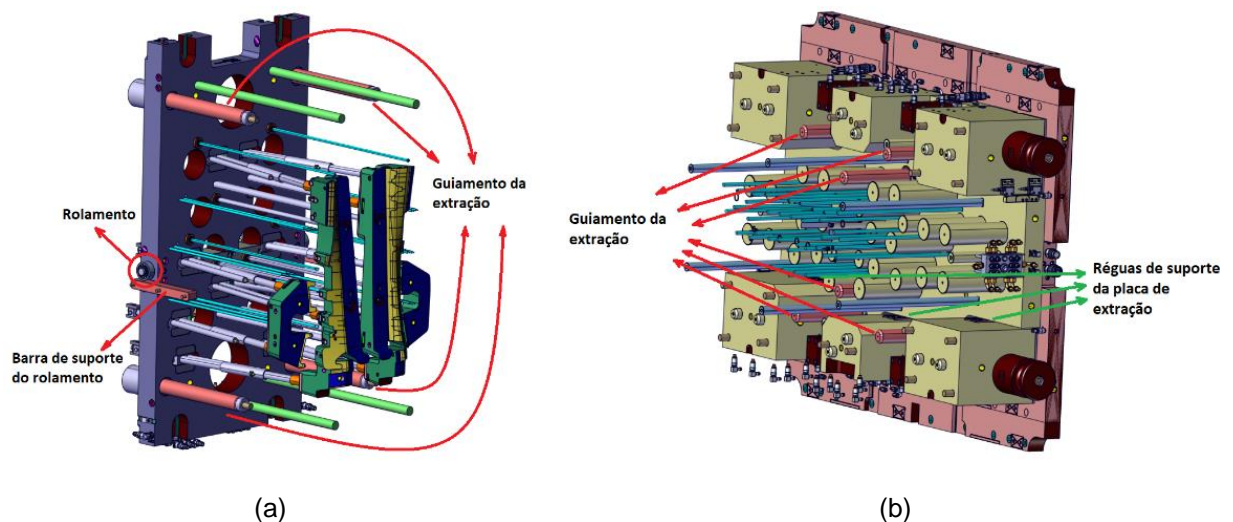


Figura 26: Exemplos de guiamento para placas de extração de grandes dimensões. (a) – guiamento com guias e casquilhos e com rolamentos para suportar o peso da placa de extração; (b) – guiamento com guias e casquilhos e com régua de deslizamento para suportar o peso da placa de extração.

2.3.2 Injeção

O sistema de injeção tem como função transportar o polímero desde o bico da máquina de injeção até à(s) cavidade(s) do molde. O transporte do material polimérico plasticizado é realizado através de canais frios e/ou de canais quentes.

2.3.2.1 Canais frios

Para materiais e/ou peças fáceis de processar, e com baixo rigor, habitualmente são utilizados sistemas de alimentação de canais frios, devido ao seu custo reduzido. Em sistemas de alimentação de canais frios, também designados de jitos, os canais podem ser maquinados na própria placa da gravação até às zonas moldantes (Figura 27 (b)) ou podem também ser maquinados na parte de trás da placa moldante do lado fixo no caso de ser um molde de 3 placas, tal como demonstrado na Figura 27 (a), permitindo assim separar os canais frios das peças poliméricas durante a abertura do molde. Na Figura 27 (b) também se pode observar a utilização de canais frios e canais quentes em simultâneo. A utilização de canais frios conjuntamente com sistemas de canais quentes permite a colocação de vestígios dos ataques de injeção em zonas não visíveis da peça polimérica. Os canais de alimentação devem ter um bom polimento, de modo a remover ao máximo a rugosidade existente nos canais para garantir uma boa fluidez de material, e consequentemente permitir facilidade de extração dos jitos.

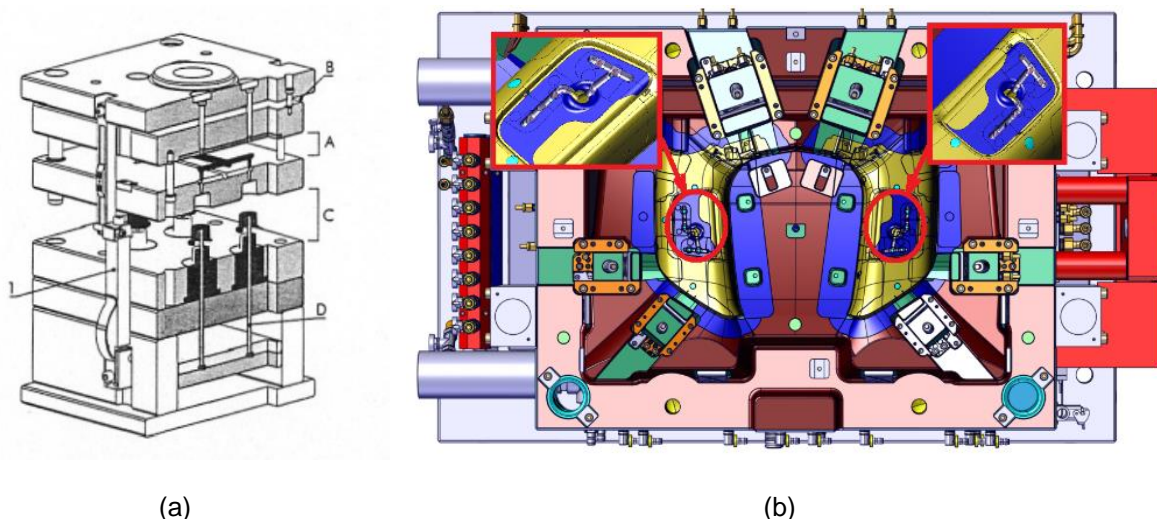

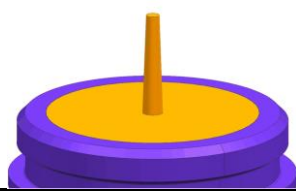
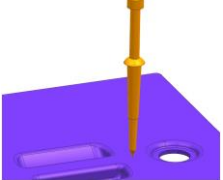
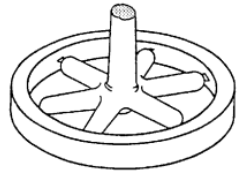
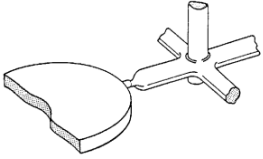
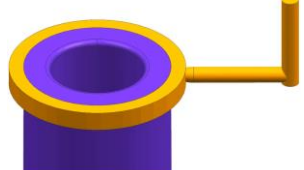
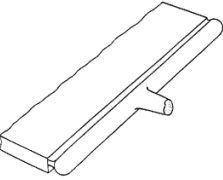

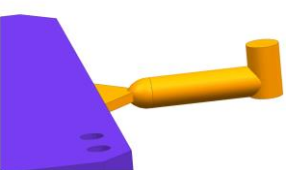



Figura 27 - Exemplos de aplicação de canais frios: (a) – Jito direto maquinado na parte de trás da placa moldante do lado fixo (Pontes et al., 2004); (b) – Canais frios maquinados na placa moldante até à zona moldante, exemplo aplicado na SF Moldes.

Na Tabela 6 podem-se consultar os conceitos de jitos mais utilizados para a injeção de peças poliméricas. O conceito de jito a utilizar é selecionado durante a fase de projeto, de acordo com as necessidades das peças poliméricas a injetar. Estas

necessidades podem variar em função da dificuldade de enchimento, do local a injetar e do defeito provocado nas peças poliméricas após retirar o ataque (Fit Precision Mold Co., Ltd, 2022).

Tabela 6 - Conceitos de jitos utilizados para a injeção de peças poliméricas.

	Jito direto (Fit Precision Mold Co., Ltd, 2022)		Jito com ataque em diafragma (Fit Precision Mold Co., Ltd, 2022)
	Jito com ataque em bico de alfinete (Fit Precision Mold Co., Ltd, 2022)		Jito com ataque em estrela (Goodship, 2004)
	Jito com ataque lateral ou à junta (Goodship, 2004)		Jito com ataque em anel (Fit Precision Mold Co., Ltd, 2022)
	Jito com ataque em lâmina (Goodship, 2004)		Jito com ataque em submarina (Fit Precision Mold Co., Ltd, 2022)
	Jito com ataque em leque (Fit Precision Mold Co., Ltd, 2022)		Jito com ataque em banana (Fit Precision Mold Co., Ltd, 2022)

2.3.2.2 Canais quentes

Em situações em que o material solidifica mais rápido e/ou para peças poliméricas que impliquem maior dificuldade/rigor de injeção de material utilizam-se sistemas de injeção com canais quentes, semelhantes ao demonstrado na Figura 28. Além de melhorar o processo de injeção, os canais quentes também são utilizados para economizar material polimérico, visto que durante a permanência do polímero no interior do sistema de injeção o material encontra-se plasticizado. Os sistemas de injeção com canais quentes são compostos por um injetor principal, um distribuidor e por bicos de injeção. O distribuidor recebe o material polimérico plasticizado através do injetor principal e tem função de o manter quente. O distribuidor também é

responsável por conduzir o polímero até aos bicos de injeção. O aquecimento e o controlo de temperatura do distribuidor e dos bicos de injeção são realizados por zonas de aquecimento aplicadas em vários locais do sistema de injeção. Uma zona de aquecimento é composta por uma resistência elétrica que gera o aquecimento, e por um termopar que realiza a leitura da temperatura da zona de aquecimento. As resistências e os termopares são ligados à máquina de injeção, por sua vez, a máquina é responsável por controlar e manter a temperatura do sistema de injeção através da sua unidade de comando e de potência. O controlo de temperatura do sistema de injeção é realizado pela unidade de comando da máquina de injeção, este após a leitura da temperatura registada pelos termopares realiza a gestão de potência aplicada às respetivas resistências elétricas.

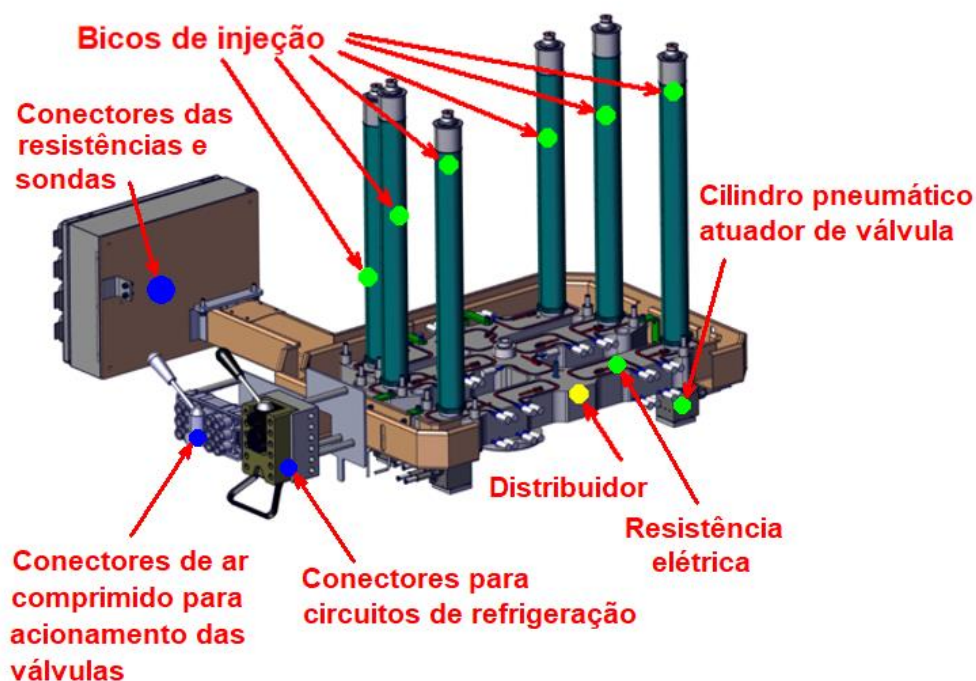


Figura 28 - Exemplo de sistema de injeção de canais quentes utilizado pela SF Moldes.

Na gama de sistemas de injeção de canais quentes existem diferentes tipos de bicos de injeção, podendo estes ser não valvulados (sem vedação) ou valvulados por acionamento de válvulas hidráulicas, pneumáticas ou elétricas.

Os sistemas de injeção com bicos não valvulados, semelhantes ao demonstrado na Figura 29, são utilizados para moldes em que não exista dificuldade em controlar o enchimento das peças poliméricas. Neste tipo de sistemas de injeção não é possível controlar o enchimento através de cada um dos bicos, logo caso apareçam defeitos durante o enchimento será difícil para o operador da máquina de injeção eliminar ou manipular os mesmos. Para que o sistema de injeção de canais quentes e bicos de

injeção não valvulados tenha um bom funcionamento é necessário que o dimensionamento dos canais quentes do sistema tenha sido bem executado de modo que se encontre balanceado durante o enchimento da peça. Quando se inicia o enchimento da peça pode existir um desfasamento da injeção de alguns bicos de injeção em relação a outros, devido à geometria dos canais quentes do sistema de injeção, contudo o importante é garantir que no final do enchimento da peça polimérica a pressão no interior da zona moldante seja aproximadamente uniforme. Neste tipo de sistema de injeção, deve-se realizar a descompressão (recuo) do fuso antes da dosagem do material polimérico, de modo a aliviar a pressão do sistema de injeção e evitar que este liberte material pelos bicos enquanto o molde se encontra aberto para remoção das peças poliméricas.

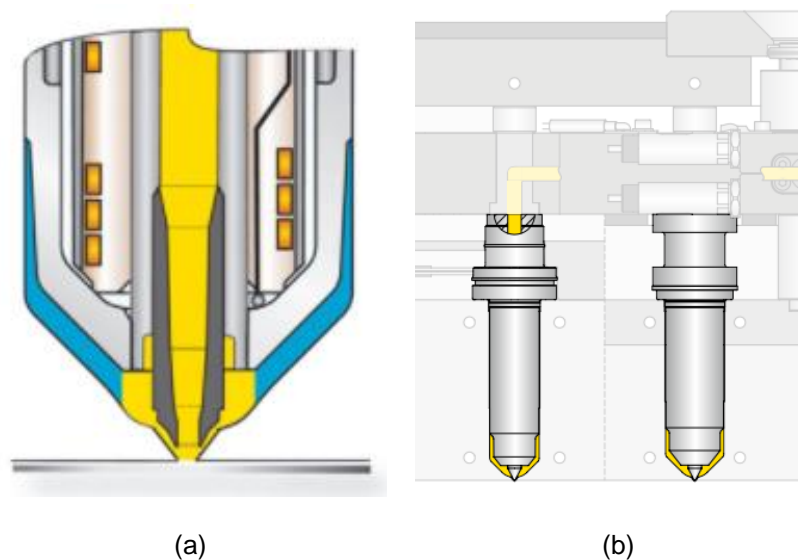


Figura 29 - Exemplo de sistema de injeção com canais quentes de bicos de injeção aberto: (a) – Geometria interior de um bico aberto (**GÜNTHER Heisskanaltechnik GmbH, 2022a**); (b) – exemplo de construção de um sistema de injeção com canais quentes (**GÜNTHER Heisskanaltechnik GmbH, 2022b**).

Os sistemas de injeção de canais quentes e bicos valvulados, mais conhecidos por sistemas de injeção sequencial, semelhantes ao demonstrado na Figura 30, têm a particularidade de permitir o controlo da abertura e fecho dos bicos de injeção, possibilitando ou impedindo a passagem de material polimérico. Esse controlo é realizado através de acionamento hidráulico, pneumático ou elétrico que faz mover a agulha de vedação do bico de injeção. A definição do momento de abertura/fecho dos bicos de injeção é realizada no controlador da máquina de injeção e é controlada pela posição do fuso da máquina ou pelo tempo do ciclo de injeção. O controlo sobre a abertura e o fecho dos bicos de injeção além de permitir um enchimento com maior precisão possibilita maior controlo sobre o enchimento ao afinador da máquina de injeção, como demonstrado na Figura 31.

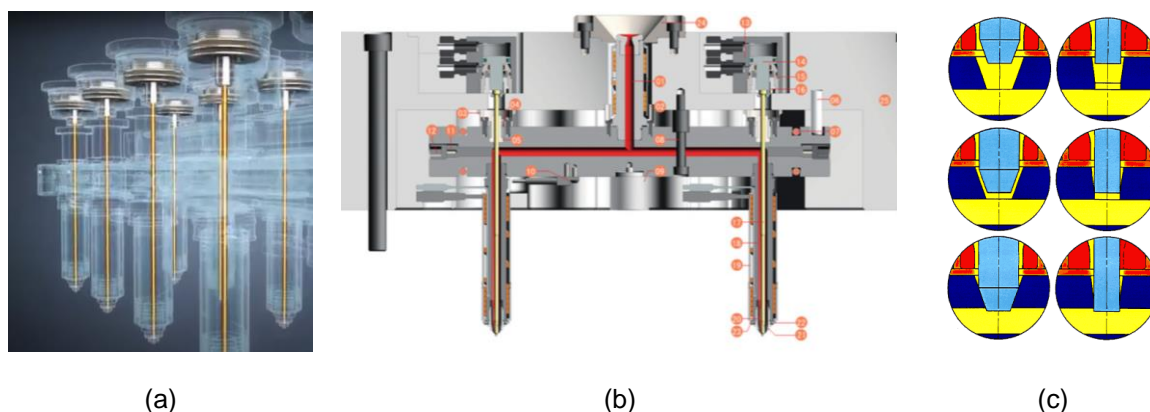


Figura 30 - Exemplo de sistema de injeção de canais quentes e bicos sequenciais: (a) – Esquema de funcionamento das válvulas (YUDO, 2022b); (b) – exemplo construtivo de um sistema de injeção de bicos sequenciais (YUDO, 2022a); (c) – exemplo de geometrias de agulhas de vedação dos bicos de injeção (Baptista et al., 2022a)

Essa maior capacidade para controlar o enchimento das peças poliméricas permite manipular os defeitos que podem surgir durante o processo de injeção, como por exemplo: linhas de soldadura (uniões das frentes de fluxo de material), posições de acumulação de gases (permite modificar posições de acumulação de gases para zonas com escape gases, quando possível), diminuição dos chupados e ondulações das superfícies das peças poliméricas através de um maior controlo sobre a fase de compactação.

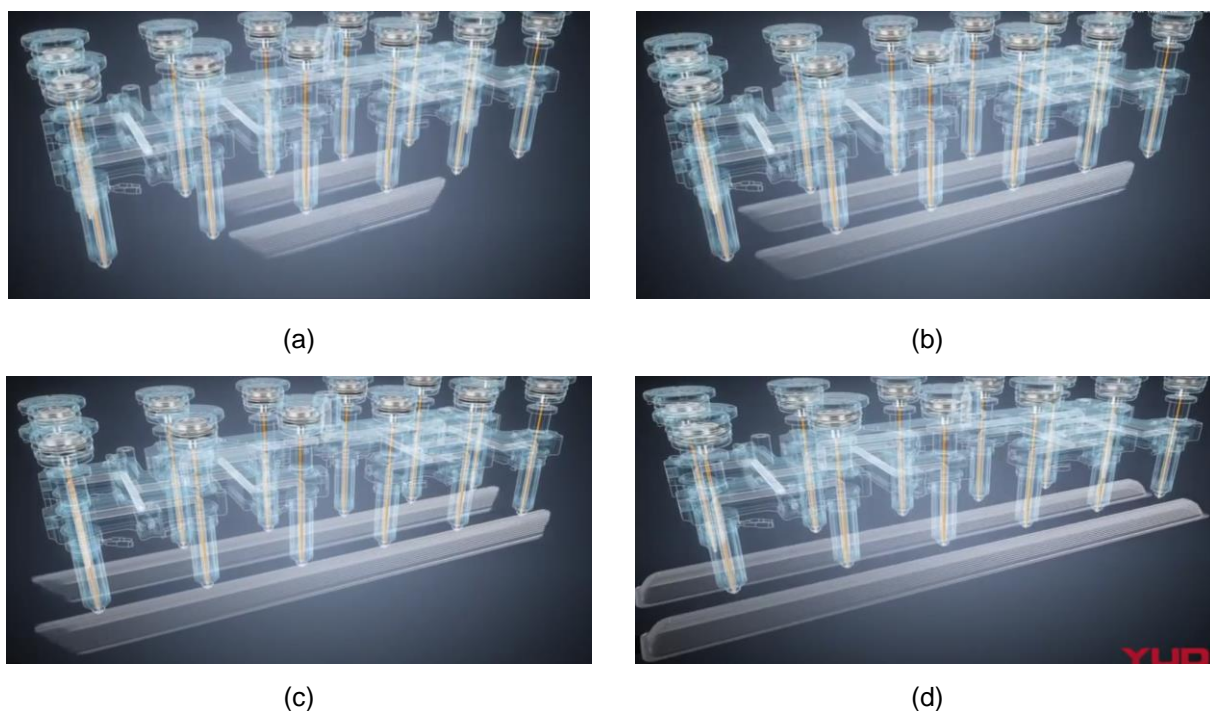


Figura 31 – Exemplificação da sequência de abertura dos bicos de injeção (YUDO, 2022b). (a) – Início do enchimento, apenas os dois bicos centrais estão abertos; (b) – posteriormente abrem mais dois bicos; (c) – no final do enchimento, todos os bicos abertos; (d) – fase final da compactação, fecho dos bicos.

2.3.2.3 Aquecimento de sistemas de injeção com canais quentes

O aquecimento de sistemas de injeção com canais quentes é realizado por resistências elétricas encastradas no sistema, desde o injetor principal, distribuidor e bicos de injeção, como também se pode ver na Figura 32.

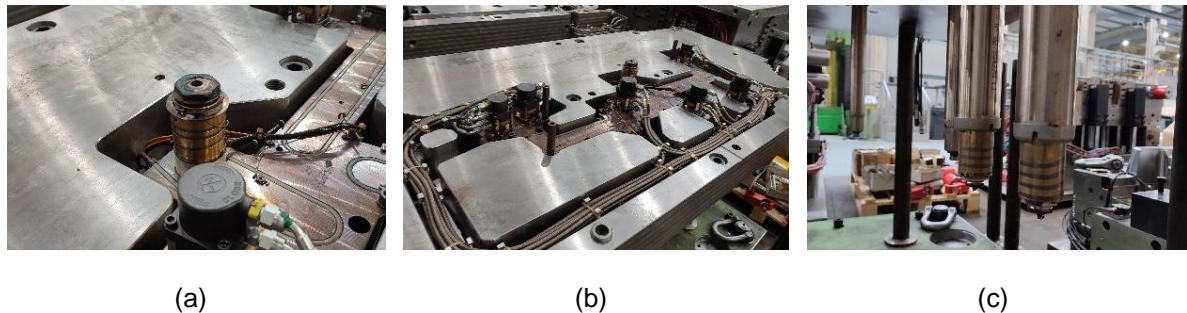


Figura 32 - Exemplo de locais de aplicação de resistências elétricas num sistema de injeção com canais quentes e bicos sequenciais: (a) – Injetor principal; (b) – Distribuidor; (c) – Bicos de injeção.

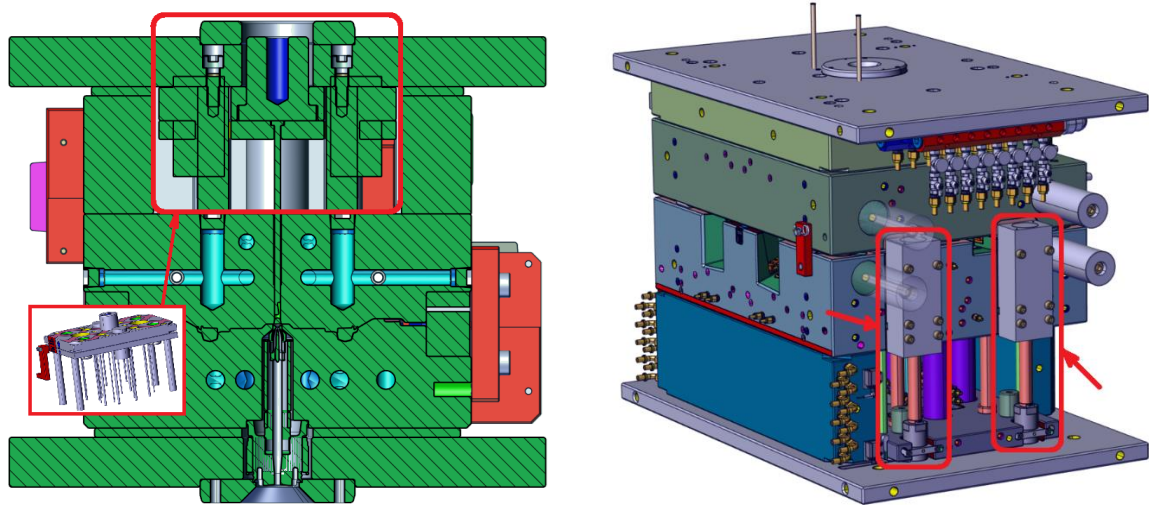
2.3.3 Extração

O sistema de extração é responsável por desmoldar as peças poliméricas moldadas do interior do molde após a sua injeção, compactação e arrefecimento, pelo acionamento de um ou vários sistemas mecânicos. Existem vários sistemas de extração, a sua utilização deve ser selecionada de acordo com as necessidades impostas pela geometria das peças poliméricas para a sua desmoldagem.

Existem diversos tipos de acionamentos mecânicos dos sistemas de extração que podem ser utilizados. A Figura 33 apresenta os seguintes sistemas de extração:

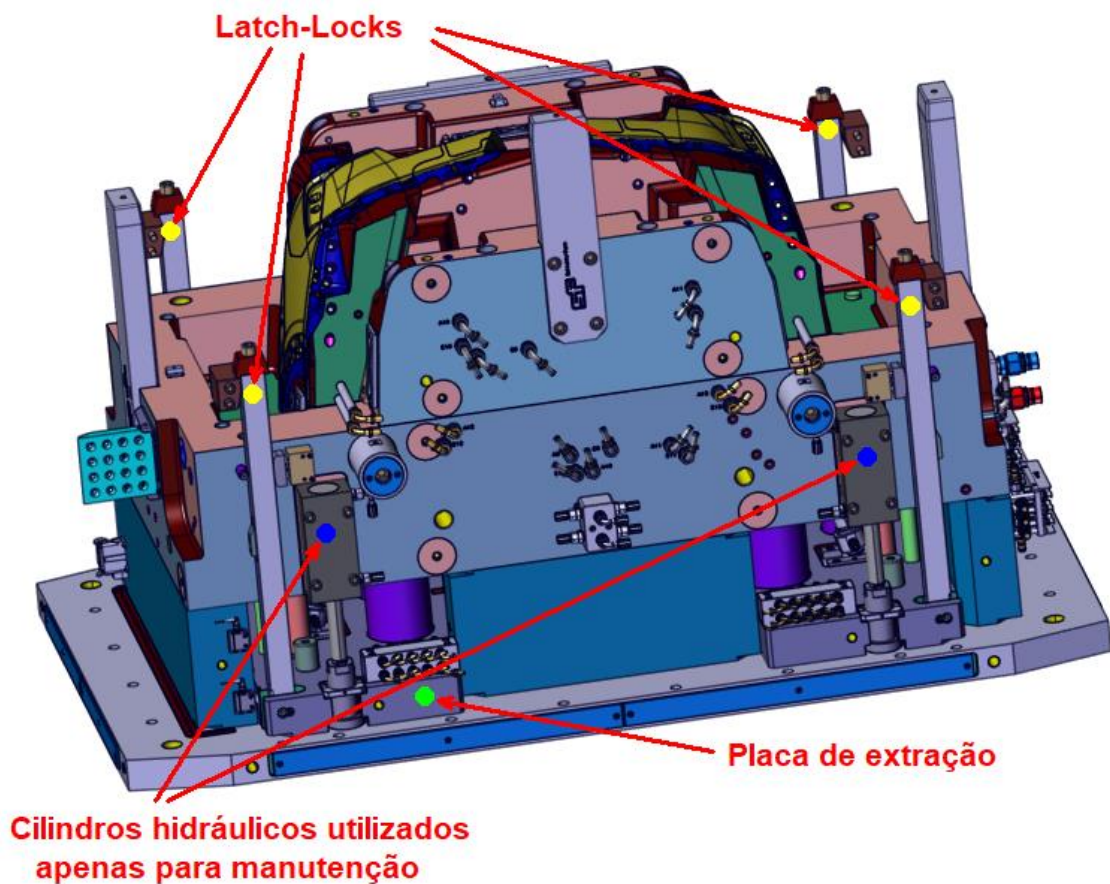
- Unidade extratora da máquina de injeção, designada por K.O. (*knockout*);
- Cilindros hidráulicos;
- *Latch-Locks*;
- Ar comprimido

Dos tipos de acionamentos da placa de extração referidos anteriormente, todos os sistemas permitem o acionamento da extração durante a abertura do molde ou após a abertura total do molde, exceto no sistema de *Latch-Locks*. Os sistemas de *Latch-Locks* acionam a placa de extração de modo a realizar o curso de extração total apenas durante a abertura do molde. Quando a placa de extração é acionada, esta avança e os elementos do sistema de extração movimentam-se solidariamente com a placa no sentido de desmoldagem. Geralmente, para se realizar o recuo da placa de extração para a posição de injeção são utilizados pernos de retorno que acionam a placa de extração durante o fecho do molde, contudo a utilização de sistemas de acionamento por K.O. e por cilindros hidráulicos permite também realizar o recuo da placa de extração antes do fecho do molde.



(a)

(b)



(c)

Figura 33 - Tipos de acionamento da placa de extração utilizados na SF Moldes: (a) – Placa de extração acionada por KO (*knockout*) da máquina de injeção; (b) – Placa de extração acionada por cilindros hidráulicos; (c) – Placa de extração acionada por *Latch-Locks*.

2.3.3.1 Extração simples

A extração simples é utilizada na extração de peças de poliméricas, em situações que não existam contra saídas, e também para a extração de jitos (Pontes et al., 2004). Este tipo de extração é fixo à placa de extração, semelhante à da Figura 34.

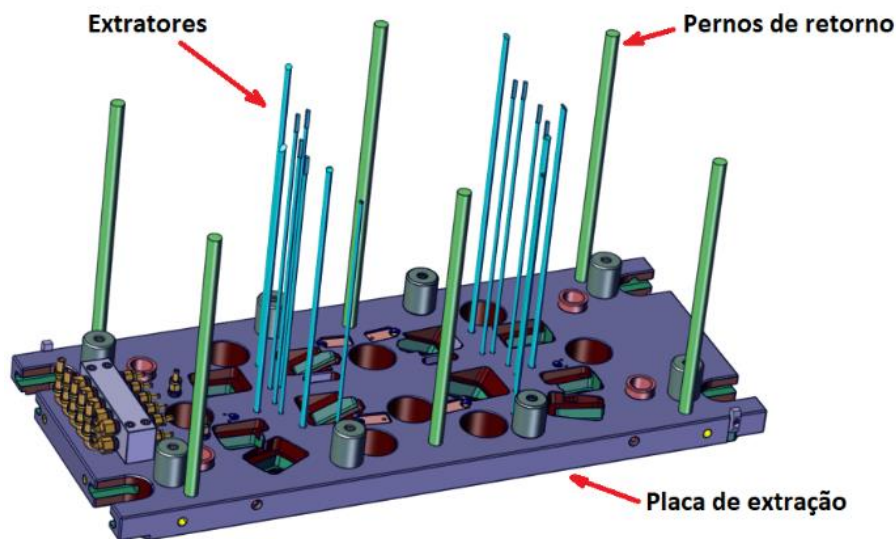


Figura 34 - Conjunto de sistema de extração apenas com mecanismos de extração simples.

Os componentes mais utilizados nos sistemas de extração simples são: extratores cilíndricos, extratores de lâmina, extratores tubulares, extratores tipo válvula, extratores em forma de D, placa extratora, aro extrator, barras extradoras, extração com válvulas de ar, todos eles demonstrados na Tabela 7 (Pontes et al., 2004). A posição dos elementos de extração simples deve ser previamente estudada, de forma a realizar uma desmoldagem das peças poliméricas equilibrada e sem deformações. Para que a desmoldagem se realize dessa forma, é fundamental seguir as recomendações indicadas na Figura 35. Durante essa análise é também importante ter em conta que as aplicações de elementos de extração simples sem refrigeração podem tornar-se em pontos de acumulação de temperatura, visto que não é possível controlar a temperatura dos mesmos. Devido a isso, os elementos de extração absorverão toda a temperatura transmitida pelo material plasticizado, e consequentemente se não tiverem refrigeração nas suas proximidades sofrem um aumento excessivo da temperatura, podendo provocar o aparecimento de brilhos em superfícies visíveis das peças poliméricas, e até mesmo colapsar devido à dilatação térmica. Devido a esses fatores, é necessário tomar algumas precauções ao colocar elementos de extração em superfícies do lado oposto às zonas visíveis das peças poliméricas.

Tabela 7 - Elementos de extração simples para aplicações sem contra saídas.

<p>Extrator cilíndrico</p>	<p>Extrator de lâmina</p>	<p>Extrator tubular</p>
<p>(WIT MOLD LIMITED, 2022)</p>	<p>(WIT MOLD LIMITED, 2022)</p>	<p>(WIT MOLD LIMITED, 2022)</p>
<p>Extrator em forma de D</p>	<p>Extrator tipo válvula</p>	<p>Placa extratora</p>
<p>(Pontes et al., 2004)</p>	<p>(Pontes et al., 2004)</p>	<p>(Pontes et al., 2004)</p>
<p>Aro extrator</p>	<p>Barras extradoras</p>	<p>Extração com válvulas de ar</p>
<p>(Pontes et al., 2004)</p>	<p>(WIT MOLD LIMITED, 2022)</p>	<p>(WIT MOLD LIMITED, 2022)</p>

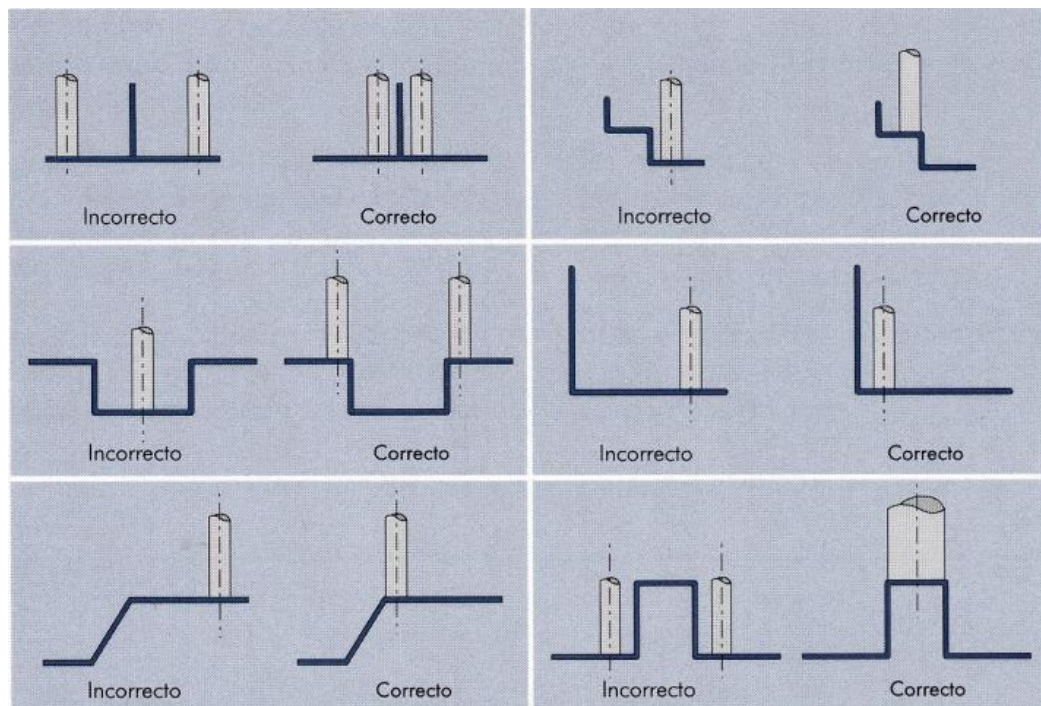


Figura 35 - Exemplo de pontos corretos de aplicação dos extratores. (Pontes et al., 2004).

2.3.3.2 Extração com contra saídas

A extração de peças poliméricas com contra saídas, obriga habitualmente à utilização de mecanismos de desmoldagem das zonas negativas/com contra saídas. De modo a obter uma peça polimérica sem geometrias quebradas e/ou deformadas, as contra saídas devem ser desmoldadas antes ou durante o avanço da placa de extração. Os mecanismos utilizados para desmoldar contra saídas dependem da geometria e da localização na peça polimérica a desmoldar. Alguns dos mecanismos de extração de contra saídas mais utilizados são:

- **Movimentos laterais** – quando utilizados são aplicados numa extremidade da zona moldante com a superfície de junta, e em situações que seja possível evitar a aplicação de um movimento ligado à placa extração, de modo a reduzir custo de construção, e/ou não seja possível realizar a desmoldagem com recurso a um movimento ligado à placa de extração (Pontes et al., 2004). Os movimentos laterais podem ser acionados por cilindros hidráulicos ou por guia inclinada. Os movimentos laterais com acionamento hidráulico podem ser acionados antes, durante ou depois do fecho do molde, estes possibilitam maior liberdade para o projeto da sequência de movimentos e funcionamento do molde. Os movimentos acionados por guia inclinada apenas podem ser acionados durante a abertura ou fecho do molde, através do contacto entre a guia inclinada fixa à placa oposta à do movimento e o alojamento da guia no movimento lateral. Na Figura 36 são demonstrados os dois tipos de acionamentos de movimentos laterais.

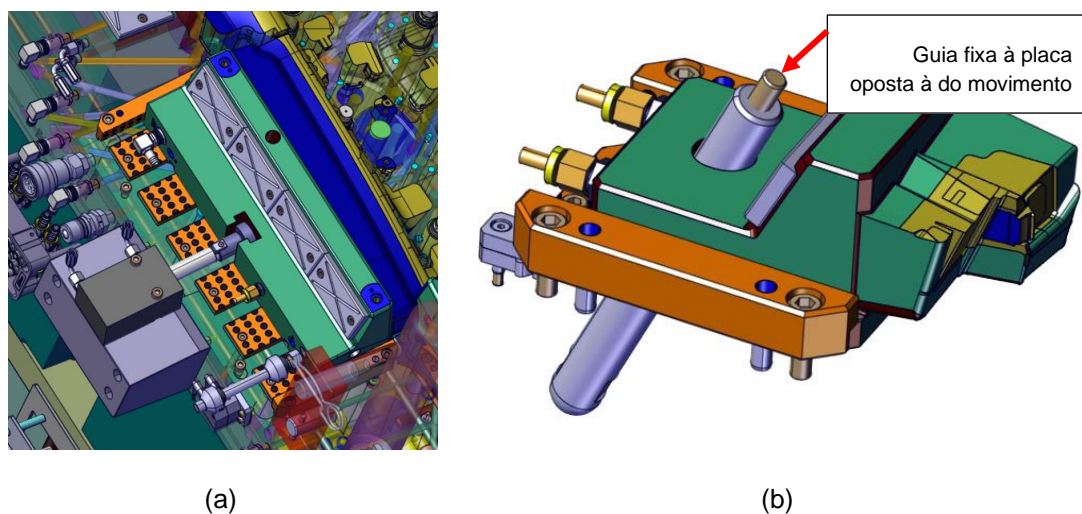


Figura 36 - Exemplos de movimentos laterais: (a) – Movimento lateral acionado por cilindro hidráulico; (b) – Movimento lateral acionado por guia inclinada.

- **Movimentos submarinos** – os movimentos submarinos são utilizados em situações em que é necessário desmoldar uma geometria de peça numa zona central da zona moldante, e não é possível abrir o molde ou acionar o sistema de extração sem danificar a peça. Estes podem ser acionados de uma forma semelhante à dos movimentos laterais, podendo ser acionados por cilindros hidráulicos, por contacto mecânico ou pelo conjunto de ambos acionamentos. Os movimentos submarinos, semelhantes ao demonstrado na Figura 37, são utilizados quando existe uma contra saída numa zona central da peça com vedação entre o macho e a cavidade.

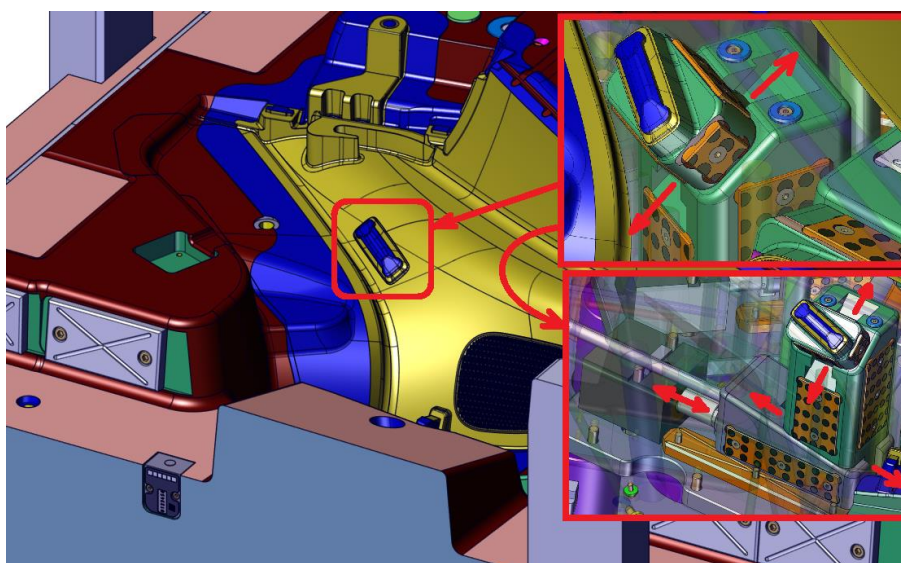


Figura 37 - Exemplo de movimento submarino com conjugação de acionamento hidráulico e mecânico.

- Levantadores** – os levantadores são utilizados para desmoldar contra saídas de peça através do movimento da placa de extração. Existem diversas variantes de levantadores, os quais estão demonstrados na Figura 38, os mais usuais funcionam através do movimento linear inclinado. Além dessa variante, existem os levantadores rotativos, estes são fixos à placa de extração através de uma cavilha e realizam a desmoldagem lateral através do contacto com uma barra ou cavilha que obriga à sua “abertura” (Pontes et al., 2004).

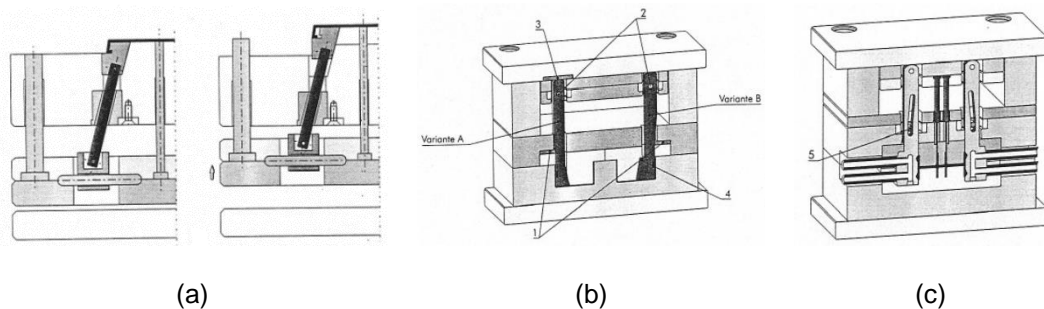


Figura 38 - Exemplos de levantadores (Pontes et al., 2004): (a) – Levantador normalizado; (b) – Levantador com eixo rotativo com acionamento por barra; (c) – Levantador com eixo rotativo com acionamento por cavilha.

- Elementos flexíveis** – os elementos flexíveis permitem realizar a desmoldagem de pequenas contra saídas através da flexibilidade do componente mecânico de extração ou de um sistema mecânico que realiza uma pequena abertura lateral, semelhantes aos exemplos apresentados na Figura 39.

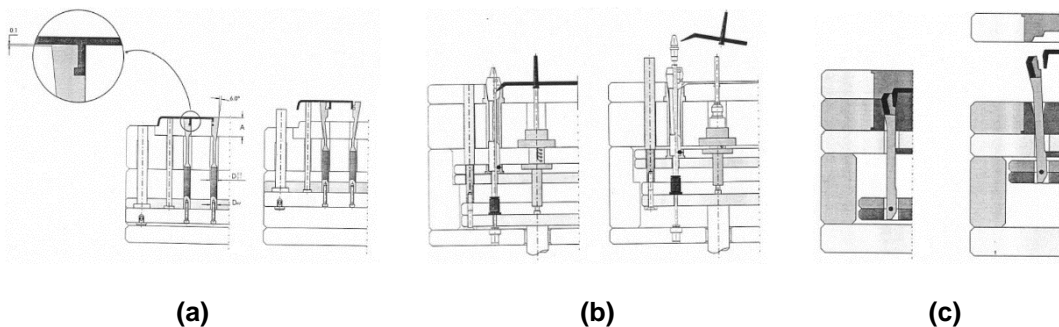


Figura 39 - Exemplos de elementos de extração flexíveis (Pontes et al., 2004): (a) – extratores flexíveis; (b) – buchas retrácteis; (c) – pinças.

2.3.3.3 Mecanismos de extração

Para situações que seja necessário realizar a desmoldagem das peças poliméricas em várias fases, e utilizando apenas o movimento de avanço da placa de extração, pode-se recorrer a alguns sistemas mecânicos já desenvolvidos. Os sistemas

mecânicos geralmente mais utilizados são os seguintes: dupla extração, aceleradores de extração e retardadores de extração.

- **Dupla extração** – é composta por duas placas de extração, e é utilizada quando alguns dos elementos de extração não têm a necessidade de realizar o curso total de extração do molde ou na existência de um condicionamento mecânico de algum elemento de extração que não possa realizar o curso extração completo. No início do funcionamento da extração, ambas as placas de extração são acionadas, quando a placa de extração que realiza menor curso de extração atinge o final de curso a outra placa continua o movimento de extração até atingir o final de curso (Pontes et al., 2004). Na Figura 40 são demonstrados dois tipos de dupla extração.

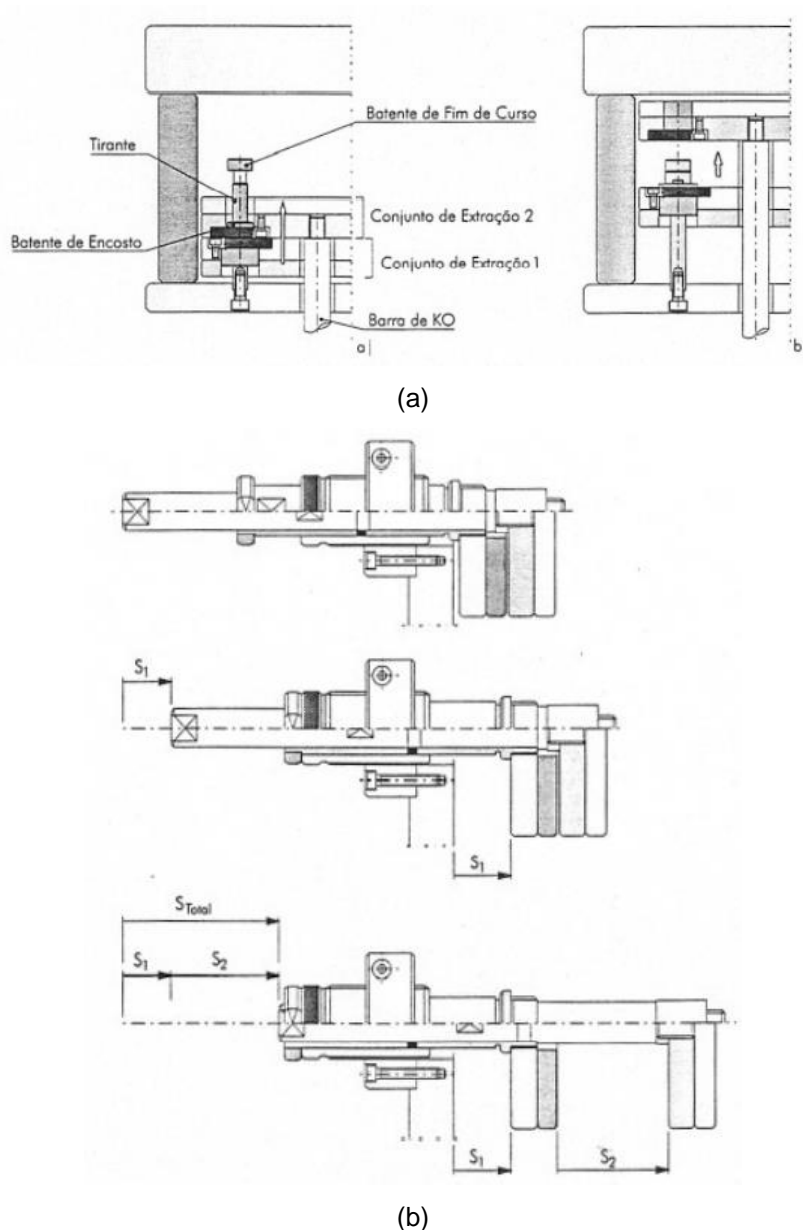


Figura 40 - Sistemas de dupla extração (Pontes et al., 2004): (a) – Extração dupla espanhola; (b) – Extração dupla no K.O.

- Aceleradores de extração** – os aceleradores da extração são utilizados para situações onde se pretende evitar o uso de dupla extração ou para realizar uma impulsão na peça polimérica (Pontes et al., 2004). Os aceleradores são acionados no final do curso da placa de extração por um perno ajustável, ao serem acionados pelo perno, é aplicado um movimento rotativo ao acelerador e este aumenta a velocidade e o curso de extração do elemento de extração que está a ser acionado pelo acelerador, semelhante ao demonstrado na Figura 41.

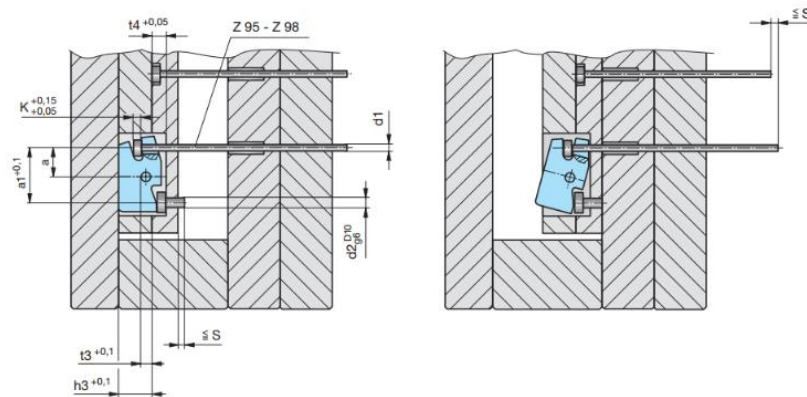


Figura 41 - Esquema de funcionamento de um acelerador de extração (THE TOOL HUB, 2022a).

- Retardadores de extração** – os retardadores de extração são utilizados para realizar a separação dos canais de alimentação da(s) peça(s), quando a injeção é realizada pela junta. Este mecanismo consiste na abertura de uma caixa na placa de aperto dos extratores com uma profundidade predefinida para o curso que se pretende atrasar ao avanço do elemento de extração. Atrás do elemento de extração é colocado um batente móvel que é responsável por manter o elemento de extração na posição correta durante a fase de injeção (Pontes et al., 2004).

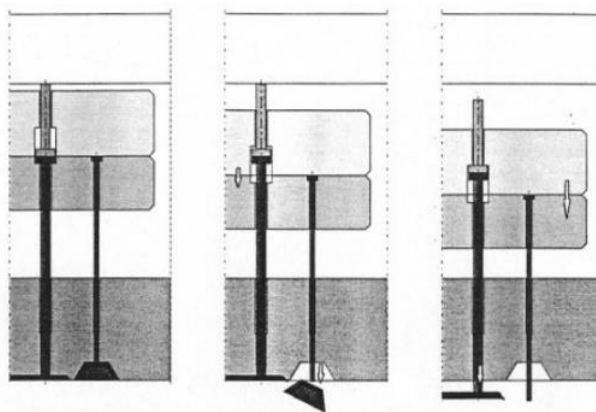


Figura 42 - Esquema de funcionamento de um retardador de extração (Pontes et al., 2004).

2.3.4 Refrigeração e controlo de temperatura

Os sistemas de refrigeração e controlo de temperatura têm como objetivo colocar o molde nas condições ideais de temperatura de processamento do material polimérico, e arrefecer as peças poliméricas de modo a atingir a temperatura de extração o mais rápido possível. O sistema de refrigeração do molde deve assegurar que a contração das peças poliméricas seja o mais uniforme possível no interior das zonas moldantes do molde durante o período de arrefecimento das peças poliméricas, desse modo é necessário garantir que a temperatura se encontre aproximadamente constante ao longo das superfícies das zonas moldantes. É uma boa prática controlar todas as superfícies das zonas moldantes antes e depois do molde produzir peças poliméricas, de forma a identificar, caso existam, locais de acumulação de temperatura, tal como se pode verificar na Figura 43.



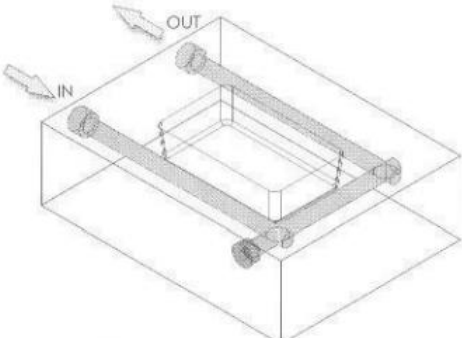
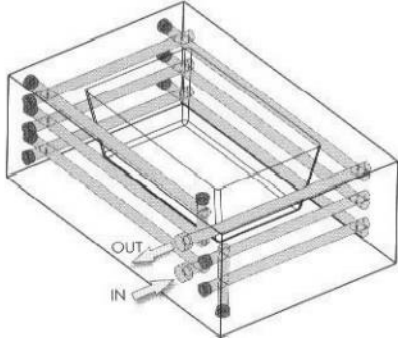
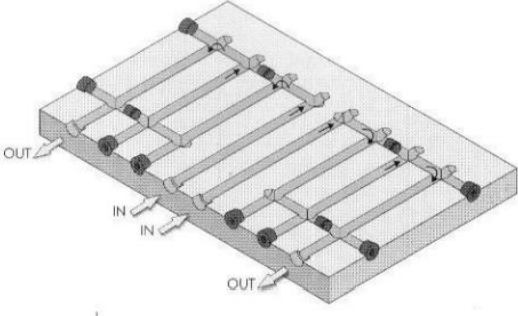
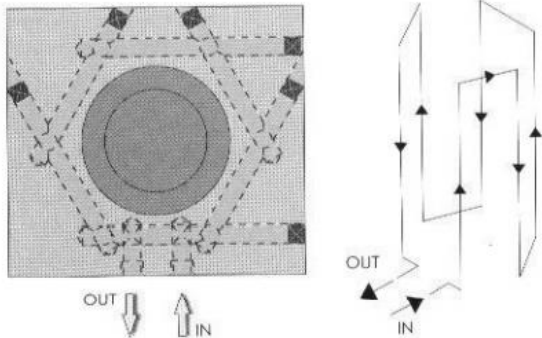
Figura 43 - Medição da temperatura das superfícies do molde com um termómetro de contacto.

A refrigeração das zonas moldantes é realizada através da passagem de água ou óleo por furações realizadas nas placas e elementos de extração que formam as zonas moldantes. Em algumas situações podem também ser utilizadas resistências elétricas e termopares para controlar a temperatura localmente, como por exemplo em locais da peça polimérica com espessura reduzida. A restante estrutura do molde pode ter ou não temperatura controlada. Em moldes para trabalhar a frio (temperaturas inferiores a 40 °C) as estruturas podem não precisar de ser controladas termicamente, visto que toda a estrutura não terá uma dilatação térmica muito significativa. Em moldes para trabalhar a quente (temperaturas superiores a 40 °C) toda a sua estrutura (exceto placas de encosto) deverá ter controlo de temperatura, de modo que a dilatação térmica seja aproximadamente uniforme em todo o molde. Isto é muito importante, visto que um diferencial de temperatura muito elevado poderia comprometer o funcionamento do molde, devido às diferenças dimensionais causadas pela dilatação térmica. Em alguns casos pode mesmo existir colapso ou deformação de componentes mecânicos.

2.3.4.1 Arquitetura dos circuitos de refrigeração

Os circuitos de refrigeração podem ser projetados de diversas formas, a arquitetura e o número de circuitos depende da exigência e formato da peça polimérica, do material polimérico a injetar, e também dos requisitos do cliente do molde. Quanto maior for o número de circuitos de refrigeração, melhor será o controlo da temperatura e maior será a eficiência da refrigeração do molde, visto que tendo maior número de circuitos estes irão ter menor comprimento e conseqüentemente menor diferencial de temperaturas entre entradas e saídas dos circuitos. Existem diversas arquiteturas que podem ser utilizadas na construção de circuitos de refrigeração para cavidade e macho de um molde (Brito et al., 2004). Algumas das arquiteturas de circuitos de refrigeração mais utilizadas para cavidades podem ser consultadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Arquiteturas de circuitos de refrigeração mais utilizadas para cavidades.

	
<p align="center">Circuito em U (Brito et al., 2004)</p>	<p align="center">Circuito retangular por níveis (Brito et al., 2004)</p>
	
<p align="center">Circuito em Z simétrico (Brito et al., 2004)</p>	<p align="center">Circuito circular alternativo (Brito et al., 2004)</p>

A complexidade do projeto de circuitos de refrigeração é habitualmente maior no macho, sendo que em alguns casos de peças poliméricas que sejam profundas pode não ser possível fechar o circuito, nesse caso habitualmente realizam-se “poços” (furo onde é inserida uma “palheta” que divide o furo e obriga o fluído um contorno na sua

extremidade) ou em casos mais exigentes com necessidade de um controlo de temperatura mais eficiente pode ser necessário recorrer a postigos realizados por sinterização a laser para aproximar o circuito de refrigeração das superfícies moldantes. Algumas das arquiteturas de circuitos de refrigeração mais utilizadas em machos estão demonstradas na Tabela 9.

Tabela 9 - Arquiteturas de circuitos de refrigeração mais utilizadas para machos.

<p>Circuito em cascata com “poços”</p>	<p>Circuito com canal helicoidal</p>
<p>(Brito et al., 2004)</p>	<p>(Brito et al., 2004)</p>
<p>Circuito em cascata com núcleo de refrigeração</p>	<p>Circuitos realizados por fabrico aditivo</p>
<p>(Brito et al., 2004)</p>	<p>(Kirchheim et al., 2022)</p>
<p>Circuito inclinado</p>	<p>Circuito de controlo de temperatura com pino térmico</p>
<p>(Brito et al., 2004)</p>	<p>(Brito et al., 2004)</p>

2.3.4.2 Acessórios utilizados em circuitos de refrigeração de moldes

A construção dos circuitos de refrigeração necessita de vários acessórios para além das furações realizadas nas placas e restantes elementos mecânicos do molde. Os acessórios mais utilizados na construção dos circuitos de refrigeração são os seguintes:

- **Racores** – são aplicados nas mangueiras e nas placas do molde em que se pretende realizar a ligação, estes acessórios demonstrados na Figura 44 permitem um acoplamento e desacoplamento rápido das mangueiras, facilitando assim os processos de limpeza e manutenção quando necessário.



Figura 44 - Racores RTC Type 090 (RTC Couplings GmbH, 2022c).

- **Palhetas** – utilizadas para obrigar a circulação do fluido no interior de um furo, semelhante ao demonstrado na Figura 46.

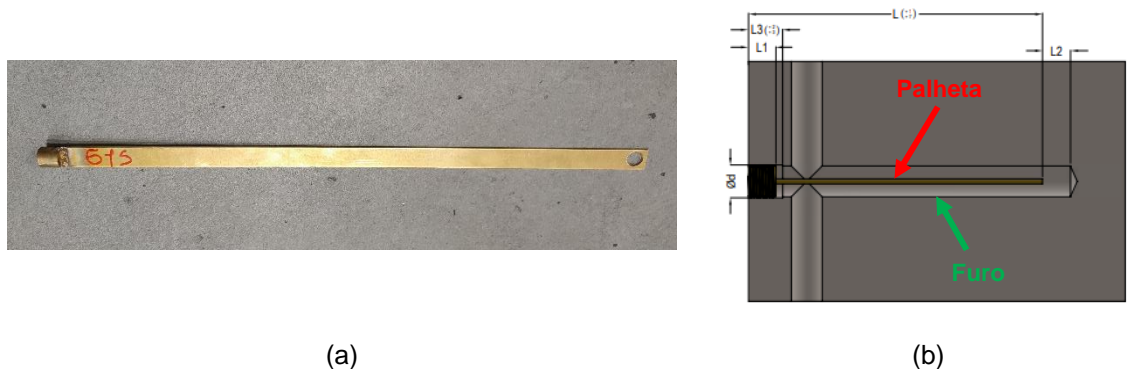


Figura 45 - Exemplo de palhetas utilizadas para poços frios: (a) – Palheta utilizada em poços; (b) – esquema de montagem de uma palheta num furo (RTC Couplings GmbH, 2022a).

- **Bujões** – estes acessórios são utilizados para fechar os circuitos ou para realizar o fecho de alguns furos para obrigar o fluido a percorrer um determinado percurso como por exemplo o percurso em Z.



Figura 46 - Bujões de fecho de circuito (RTC Couplings GmbH, 2022c): (a) – bujão roscado para fecho de circuito; (b) – taco (utilizado para obstruir furações em posições intermédias dos furos).

- **Mangueiras** – utilizadas para realizar as ligações dos circuitos no exterior do molde, tal como demonstrado na Figura 47.



Figura 47 - Exemplos de ligações por mangueiras: (a) – ligações dos circuitos de refrigeração nos elementos de extração (levantadores e barras extratoras); (b) – ligações dos circuitos de refrigeração no exterior do molde.

2.3.4.3 Relatórios de controlo de caudal

Após a montagem de todos os acessórios dos circuitos de controlo de temperatura, deve ser realizada uma verificação do caudal e respetiva pressão, de modo a verificar se o circuito se encontra perfeitamente montado e funcional. De forma a controlar os circuitos de controlo de temperatura, a bancada responsável pela montagem dos circuitos, utiliza uma máquina que permite fazer essa verificação que está demonstrada na Figura 48.



(a)

(b)

Figura 48 - Aparelho de teste utilizado pela secção de bancada da SF Moldes para controlar o caudal e pressão dos circuitos de controlo de temperatura: (a) – aparelho de verificação de caudal; (b) – controlo de caudal e pressão.

Durante a verificação dos circuitos, devem ser registados os valores de pressão e caudal durante o teste realizado. A pessoa que está responsável por este processo de verificação deve também seguir uma serie de procedimentos de teste definidos pelo manual de qualidade da empresa. No final dos testes realizados é elaborado um relatório, semelhante ao demonstrado na Figura 49, com todos os valores registados para posteriormente serem enviados para o cliente do molde como garantia de que todos os circuitos se encontram a funcionar em perfeitas condições.

TESTADO A 15 BAR							
N.º	Pressão (bar)	Débito (L / hora)	Macho	Cavidade	Movimento	Resultado	
						OK	NConf
1	4	1300	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OK	
2	4	1300	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OK	
3	4	1300	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OK	
4	4	1300	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OK	
5	4,5	1100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OK	
6	4,5	1100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OK	
7	4,5	1100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OK	
8	4,5	1100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OK	
9	5	900	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	
10	5	900	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	
11	5	900	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	
12	5	900	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	
13	5	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	
14	5	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	
15	5	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	
16	5	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	
17	5	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	
18	5	900	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	
19	5,5	800	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	
20	5	900	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	
21			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
22			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
23			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
24			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
25			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
26			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
27			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
28			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
29			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
30			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

São efetuados 2 testes: o 1.º teste, com débito livre, para se saber quantos l/h são debitados por circuito. O 2.º teste, a 15 bar, para se verificar se os circuitos estão bem vedados.

Figura 49 - Relatório de controlo de caudal realizado na SF Moldes.

2.3.4.4 Placas de isolamento térmico

As placas de isolamento térmico são utilizadas nas estruturas dos moldes de trabalho a quente, de modo a impedir a transferência de calor entre o molde e a máquina de injeção (Baptista et al., 2022). A utilização de placas de isolamento térmico nos moldes, semelhante à demonstrada na Figura 50, proporciona que a estabilização de temperatura/aquecimento do molde seja mais eficiente e rápida, logo permite um arranque do molde para funcionamento mais rápido. Além disso, a utilização de placas de isolamento térmico em moldes de trabalho a quente é importante de modo a evitar a existência de diferenciais térmicos na estrutura da máquina de injeção e conseqüentemente a modificação do comportamento do funcionamento da mesma.



Figura 50 - Exemplo de colocação de placa de isolamento térmico na parte traseira das placas de encosto.

2.3.5 Circuitos de óleo

Os circuitos hidráulicos são aplicados nos moldes para realizar acionamentos em diversos componentes. Habitualmente os componentes acionados por circuitos hidráulicos, demonstrados na Figura 51, são os cilindros das placas de extração, cilindros de movimentos internos do molde e os cilindros aplicados nos sistemas de injeção para a abertura/fecho de válvula com acionamento hidráulico (Gardner Business Media, Inc., 2022).

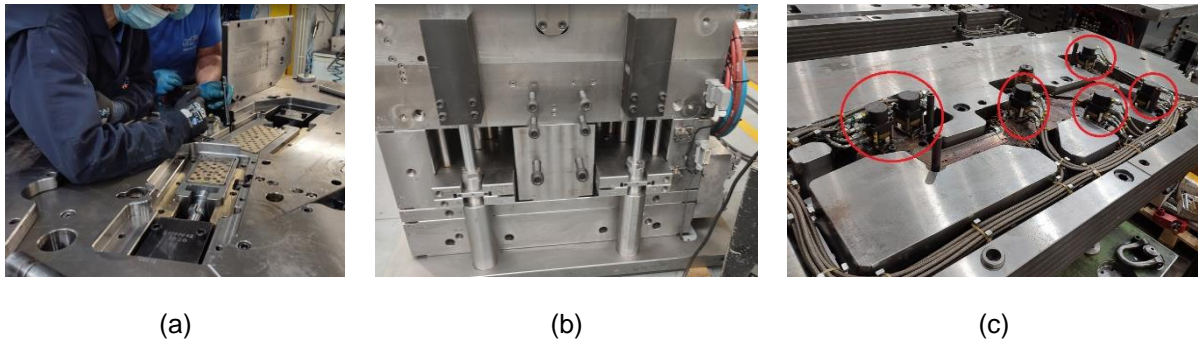


Figura 51 - Exemplos de componentes acionados pelo circuito hidráulico: (a) – movimento hidráulico submarino; (b) – cilindros hidráulicos das placas de extração; (c) – cilindros atuadores das válvulas do sistema de injeção.

Os circuitos de óleo, habitualmente são realizados através de furos no interior do molde, em alguns casos também/ apenas são utilizadas mangueiras. Em sistemas de extração acionados por cilindros hidráulicos, onde a disposição das peças a extrair não é simétrica, e o esforço realizado para extrair as peças é consideravelmente elevado, podem surgir problemas durante a extração, uma vez que, a resistência à extração das peças pode ser superior num dos lados do molde. Esta situação provoca diferenças de pressões hidráulicas necessárias para cada um dos cilindros hidráulicos, provocando um deslocamento maior dos cilindros hidráulicos num dos lados do molde provocando um efeito de torção da placa de extração. Para evitar essas situações, pode ser utilizado um divisor de caudal semelhante ao demonstrado na Figura 52.

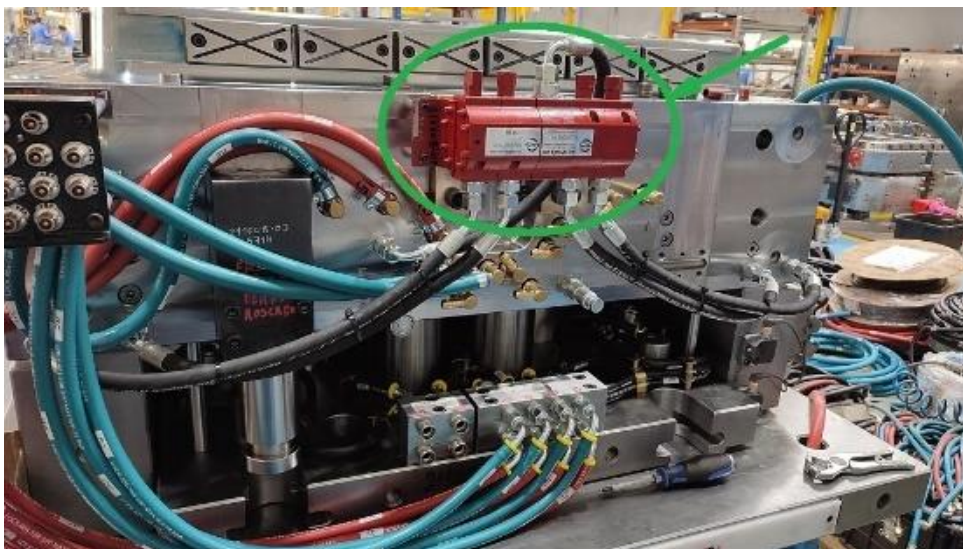


Figura 52 - Divisor de caudal aplicado a alimentar os cilindros hidráulicos da placa de extração de um molde.

O divisor de caudal, garante a entrada do mesmo caudal de óleo em todos os cilindros que acionam a placa de extração, obrigando a que todos eles avancem com a placa

de extração paralela ao macho/cavidade, contrariando o efeito de torção provocado pela resistência à extração assimétrica das peças.

2.3.6 Escape de gases

Todos os moldes devem ter sistemas de escape de gases, visto que, quando se fecha o molde fica ar retido no interior das zonas moldantes. O sistema de escape de gases é um sistema obrigatório em todos os moldes devido a essa acumulação de ar, quando se realiza a injeção do material para interior do molde, esse ar deve ter espaço para se libertar do interior da cavidade. Um escoamento de gases insuficiente ou inexistente pode causar dificuldades ao processo de injeção e também o aparecimento de diversos defeitos nas peças poliméricas, como por exemplo: a redução da velocidade da frente de fluxo de material, aumento da pressão de injeção, enchimento incompleto em algumas zonas das peças poliméricas, aparecimento de linhas de soldadura em zonas indesejadas e de zonas queimadas nas peças (V. Rosato et al., 2000). Alguns dos defeitos, causados pelo insuficiente escape de gases insuficiente, estão demonstrados na Figura 53.

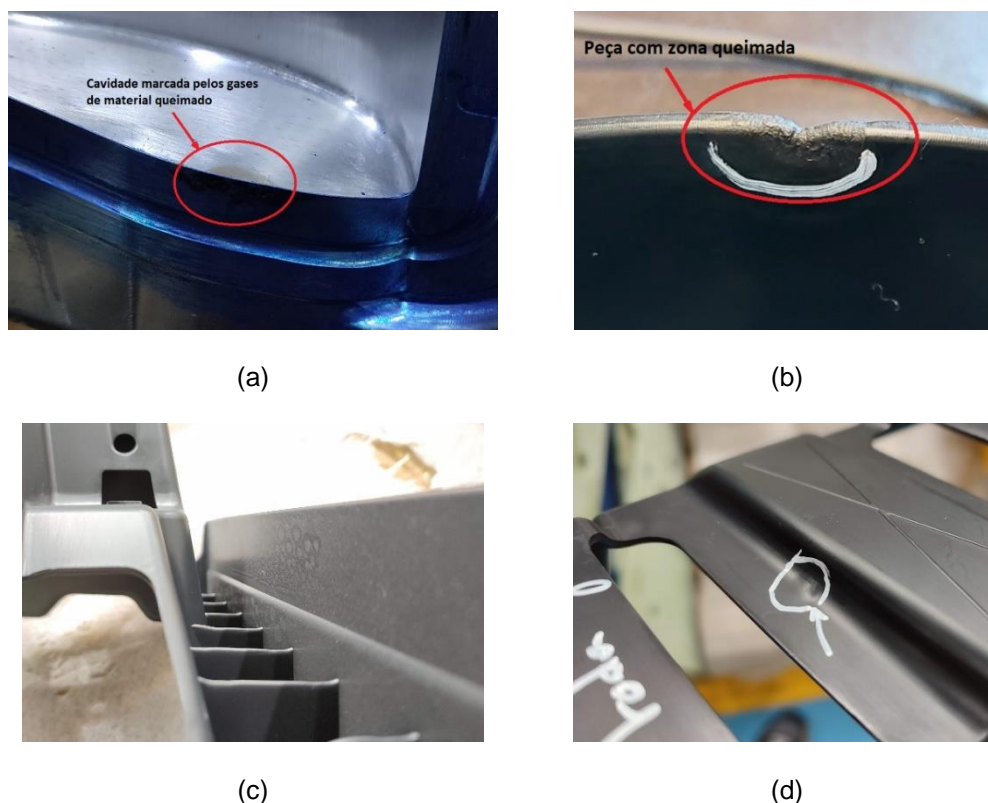


Figura 53 - Exemplos de defeitos causados pelo escape de gases insuficiente: (a) – cavidade marcada pelos gases do material polimérico queimado; (b) – peça com zona queimada; (c) – frisos ondulados devido à acumulação de gases; (d) – bolha de gás acumulado formado pela união das frentes de fluxo de material.

2.3.6.1 Formas de realizar escape de gases

O escape dos gases pode ser realizado de diversas formas, dependendo do local onde estas devem ser aplicadas. Habitualmente é realizado escape de gases no contorno exterior da peça e em todos os locais que possa existir acumulação de gases, como por exemplo em frisos e zonas de união de frentes de fluxo. O escape de gases no contorno exterior da peça é aplicado na superfície de junta principal do molde/plano de partição, tal como demonstrado no exemplo da Figura 54.

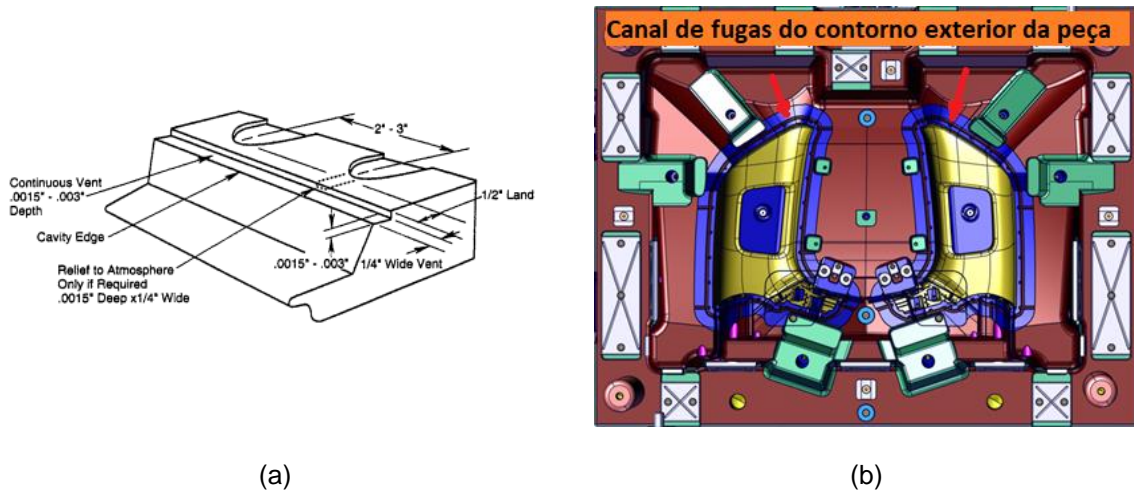


Figura 54 - Escape de gases aplicado no contorno exterior da peça: (a) – regras gerais para o dimensionamento do escape de gases contínuos (V. Rosato et al., 2000); (b) – escape de gases aplicado ao longo do contorno das peças.

Quando é necessário aplicar escape de gases em frisos e zonas de união de frentes de fluxo de material, pode ser realizado em extratores (através da criação de pequenas folgas) ou através da aplicação de postigos em pontos localizados, de modo a criar uma zona de ajuste que permita criar pequenos orifícios, tal como demonstrado nos exemplos da Figura 55.

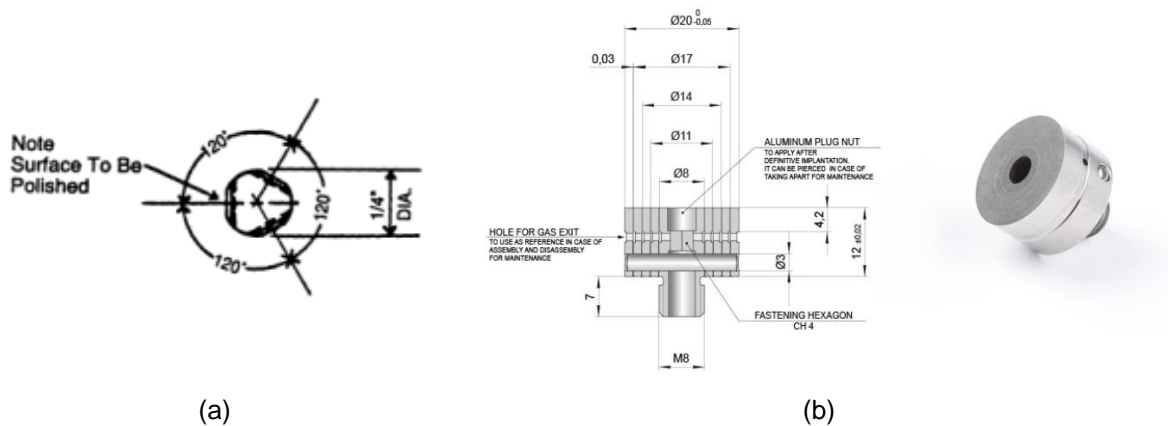


Figura 55 - Métodos de aplicação de escapes de gases: (a) – aplicação de pequenas facetas num extrator circular (V. Rosato et al., 2000); (b) – postigos para fugas de gases localizadas (Ermanno Balzi Srl, 2022).

Em peças de maior complexidade pode-se identificar os pontos de acumulação de gases através da análise dos estudos reológicos. A identificação dos pontos críticos de acumulação de gases, como demonstrado na Figura 56, permite aos projetistas de moldes criar sistemas de modo a facilitar o escoamento dos gases.

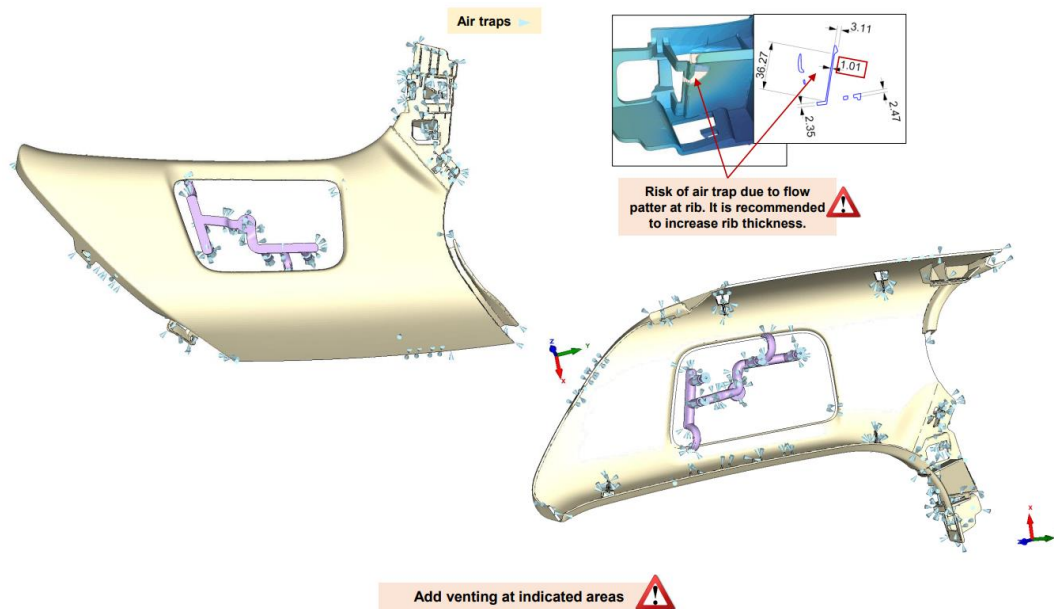


Figura 56 - Identificação dos pontos de acumulação de gases através da realização de um estudo reológico.

2.4 Materiais utilizados na construção de moldes

O fabrico de moldes utiliza uma grande diversidade de materiais, dos quais se destacam o aço, ligas de alumínio e cobre. A seleção dos materiais deve ser realizada através do tipo e do acabamento da peça polimérica, material a injetar, vida de serviço do molde, e do tipo de aplicação no próprio molde. Das famílias de materiais referidas no parágrafo anterior, a que mais se destaca é o aço, uma vez que as ligas de alumínio e de cobre têm um custo elevado e resistência mecânica inferior em relação ao aço. Habitualmente, as ligas de alumínio são utilizadas para a construção de moldes protótipo e para moldes de média e longa duração sujeitos a esforços reduzidos, a utilização do alumínio destaca-se por serem leves, pela fácil maquinação, e elevada condutividade térmica. As ligas de cobre são utilizadas para situações de dificuldade de refrigeração da peça polimérica em locais de espaço reduzido e/ou geometria complexa devido à sua elevada condutividade térmica. Para a seleção de materiais dos componentes que formam as zonas moldantes do molde, inicialmente deve-se ter em consideração o material polimérico e condições da injeção, e também a vida esperada para o funcionamento do molde, tal como demonstrado na Tabela 10, para as quais são indicados um ou vários grupos de materiais.

Tabela 10 - Seleção de aços para zonas moldantes, tendo em consideração o material polimérico a injetar e a vida esperada do molde, adaptado de **(Matos et al., 2003)**.

	Protótipo	Produção curta (Até 30 mil)	Produção média (30 – 250 mil)	Produção longa (Até 500 mil)	Grande Produção (Superior 500 mil)
Pressões de injeção baixas (Ex: PP, TPE)	Ligas de alumínio	Ligas de alumínio	Ligas de alumínio; Ligas de cobre	Ligas de alumínio; Ligas de cobre	Aço pré tratado
Pressões de injeção médias (Ex: ABS)	Ligas de alumínio; Aço de construção	Aço de construção	Aço de construção; Aço pré tratado	Aço pré tratado	Aço pré tratado; Aço para temperar
Pressões de injeção altas (Ex: PC-ABS)	Aço de construção; Aço pré tratado	Aço pré tratado	Aço pré tratado	Aço pré tratado	Aço para temperar
Materiais abrasivos (Ex: Fibras)	Aço pré tratado	Aço pré tratado	Aço pré tratado	Aço pré tratado; Aço para temperar	Aço para temperar
Geração de gases corrosivos (Ex: PVC)	Aço pré tratado; Aço inoxidável	Aço inoxidável	Aço inoxidável	Aço inoxidável	Aço inoxidável

Após a identificação do(s) grupo(s) de materiais que melhor se ajusta(m) às zonas moldantes do molde que se pretenda fabricar, deve-se considerar as pressões a que estas irão estar sujeitas, e respetivos pontos críticos na geometria da peça a moldar para a resistência mecânica do material, velocidade de ciclo e o tipo de acabamento que se pretenda obter.

A seleção de materiais para os elementos funcionais de um molde além da resistência mecânica necessária para garantir o funcionamento, depende principalmente da tribologia dos materiais, uma vez que a maior parte dos componentes de um molde têm movimentos relativos entre si, o que proporciona o desgaste de contacto a um deles. De acordo com esses factos, sempre que possível deve-se recorrer à utilização de materiais diferentes para o fabrico de componentes com contacto relativo, atribuindo o material com maior desgaste ao componente de menor importância. Em situações em que não seja possível aplicar materiais diferentes deve-se aplicar tratamentos térmicos para garantir durezas diferentes entre componentes, situação habitual aquando da utilização de aços, o aço com menor dureza deverá ser aplicado ao componente de menor importância (Matos et al., 2003). As propriedades mais importantes para a seleção de materiais no fabrico de moldes são as seguintes:

- Resistência mecânica – deve ser a mínima necessária para evitar a rotura do componente quando sujeito à pressão de injeção que será aplicada ao molde, assim como assegurar resistência à fadiga necessária para o mesmo durante a sua vida útil de funcionamento;

- Dureza – está diretamente associada à resistência mecânica do material, e tem elevada importância no desgaste por abrasão e adesão. A dureza do material deverá ser a mínima necessária para evitar o desgaste abrasivo provocado pelo material polimérico nas zonas moldantes durante a injeção. A dureza tem elevada importância para componentes fabricados no mesmo material e com movimento relativo entre ambos, de modo a evitar o desgaste adesivo;
- Condutividade térmica – é uma propriedade importante para a capacidade de dissipar calor transmitido pelo material polimérico ao molde, a utilização de um material com elevada condutividade térmica favorece a velocidade de arrefecimento da(s) peça(s) polimérica(s) e conseqüentemente diminui o tempo de ciclo de injeção.

2.4.1 Aços

Os aços são os materiais mais utilizados para a construção de moldes para a injeção de termoplásticos (Matos et al., 2003). Os aços destinados a ferramentas com fortes solicitações ou para zonas moldantes, com exigências de polimento ou textura, devem ser, no mínimo, desgaseificados (Matos et al., 2003). Os aços para moldes com exigências de polimento ótico têm de ser, no mínimo, refundidos em vácuo (Matos et al., 2003). Na Tabela 11 pode-se consultar os aços com maior utilização para o fabrico de moldes e respetivas propriedades mecânicas, assim como a aplicação para os quais são mais adequados.

Tabela 11 - Propriedades mecânicas e aplicações dos aços utilizados para o fabrico de moldes, adaptado de (Matos et al., 2003) e (Meusburger Georg GmbH, 2023).

	Referência DIN	Dureza [HB]	Resistência mecânica [MPa]	Aplicação
Aços de construção	1.1730	180 – 195	610 – 660	Zonas moldantes de moldes protótipo; Componentes da estrutura de molde (calços, placas de aperto e placas de extração).
	1.2311	280 – 325	950 – 1100	Zonas moldantes sem textura, e para peças poliméricas não visíveis.
	1.2312	280 – 325	950 – 1100	Similar ao aço 1.1730, mas com maior dureza, resistência mecânica, resistência ao desgaste e melhor polimento. Fabrico de machos sem necessidade de textura, devido à sua boa maquinabilidade; Componentes de estruturas de molde sujeitos a esforços elevados.
Aços pré tratados	1.2738	280 - 325	950 – 1100	Aço mais utilizado em zonas moldantes no fabrico de moldes para a indústria automóvel, em peças poliméricas visíveis ou não visíveis, e com ou sem textura.
	1.2738 modificado	310 – 355	1050 – 1200	Aço similar ao 1.2738, mas com maior dureza e resistência mecânica. Utilizado em situações de maior exigência.
	1.2711	370 – 415	1250 – 1400	Zonas moldantes com textura; Pressões de injeção elevadas e zonas críticas para quebra; Postiços com geometrias frágeis; Materiais muito abrasivos.
Aços para temperar	1.2343 ESU	~ 230	~ 780	Grandes produções de peças; Utilizado para zonas moldantes com altas exigências de polimento.
	1.2767	~ 280	~ 950	Aço similar ao 1.2343, mas com maior dureza, resistência mecânica e maior resistência à fadiga.
	1.1213	-	650 – 880	Veios de barras extratoras e levantadores.
	1.2842	~ 230	~ 780	Elementos de deslizamento ou contacto para condições de trabalho exigentes.
Aços inoxidáveis	1.2083	280 – 325	950 – 1100	Zonas moldantes para contacto com materiais corrosivos.

2.4.2 Ligas de alumínio

As ligas de alumínio são utilizadas para construção de moldes protótipo e para moldes de média a longa produção sujeitos a baixas pressões de injeção. Estas ligas destacam-se por serem leves (têm cerca de 1/3 da densidade do aço), além disso têm índices de condutividade térmica cerca de 3 vezes superiores ao que existe no aço, permitindo melhor dissipação da temperatura da peça polimérica e, consecutivamente, tempo de ciclo de injeção menor. O alumínio também se destaca pela facilidade de maquinação em relação ao aço. As ligas de alumínio permitem a aplicação de texturas químicas e eletroerosão (Matos et al., 2003). Na Tabela 12 podem-se consultar as propriedades mecânicas de alguns aluminios utilizados no fabrico de moldes.

Tabela 12 - Propriedades mecânicas de ligas de alumínio utilizados para o fabrico de moldes (Matos et al., 2003).

Referência DIN	Dureza [HB]	Resistência mecânica [MPa]	Condutividade térmica [W/mK]
3.4365	~ 150	~ 500	~ 150
3.4345	~ 150	~ 500	~ 150
3.1325	~ 170	~ 370	~ 170
3.3547	~ 110	~ 285	~ 110

2.4.3 Ligas de cobre

As ligas de cobre são geralmente utilizadas para o fabrico de postigos e/ou pequenos componentes da zona moldante para aplicar em locais em que exista dificuldade de refrigerar a peça polimérica, tendo como objetivo uniformizar a temperatura das zonas moldantes, assim como diminuir o tempo de ciclo de injeção. Estas ligas destacam-se positivamente pela sua elevada condutividade térmica, e negativamente, pelo seu custo muito elevado (cerca de 10 vezes mais caro que o aço) (Matos et al., 2003). Na Tabela 13 são apresentadas algumas ligas de cobre utilizadas pela indústria de moldes.

Tabela 13 - Propriedades mecânicas de ligas de cobre utilizadas para o fabrico de moldes (Matos et al., 2003).

Referência DIN	Dureza [HB]	Resistência mecânica [MPa]	Condutividade térmica [W/mK]
2.1247	~ 380	~ 1200	~ 120
2.1285	~ 240	~ 800	~ 220
2.1293	~ 150	~ 500	~ 320

Também são utilizadas ligas de cobre de menor custo para outras aplicações, nomeadamente para componentes de desgaste, como por exemplo o uso de bronze para casquilhos e réguas de deslizamento.

2.5 Estandarização do molde

A estandarização de um molde depende essencialmente dos procedimentos de trabalho definidos pelo cliente. Geralmente, os elementos estandarizados são componentes que estão aplicados no exterior do molde, para assegurar o transporte e a segurança do molde, e também as conexões do molde à máquina de injeção e seus periféricos. Os componentes de transporte e segurança que habitualmente são equipados nos moldes são os seguintes:

- Barra de içamento – utilizada para realizar o transporte do molde, é aplicada de acordo com o peso do molde e é semelhante ao exemplo da Figura 57.

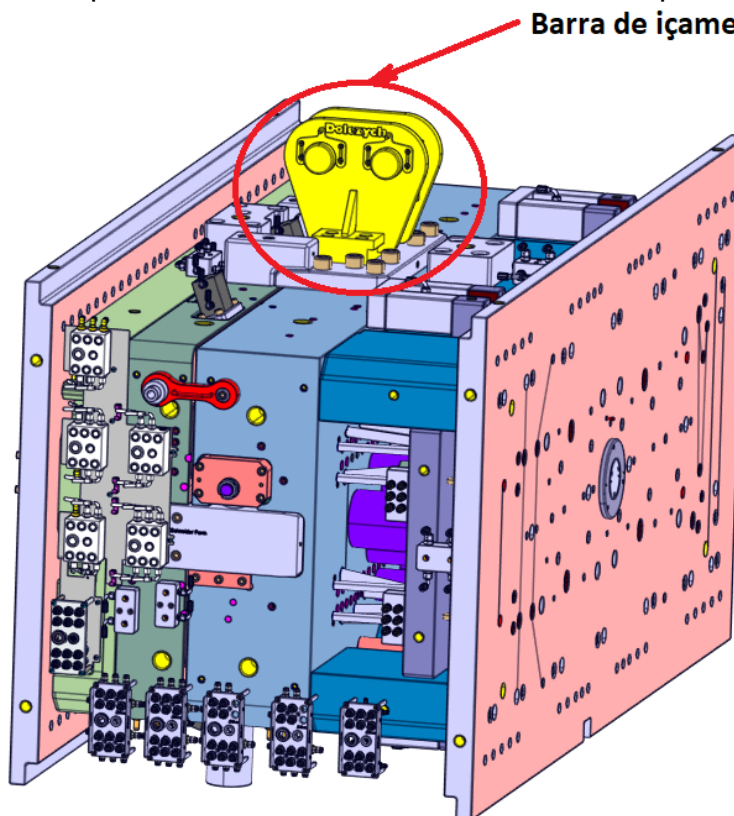


Figura 57 - Exemplo de aplicação da barra de içamento num molde.

- Barra de segurança de fecho do molde – é aplicada para assegurar o fecho do molde evitando a separação da cavidade e do macho durante o transporte do molde, na Figura 58 é demonstrado um exemplo de uma barra de segurança.

Barra de segurança de fecho

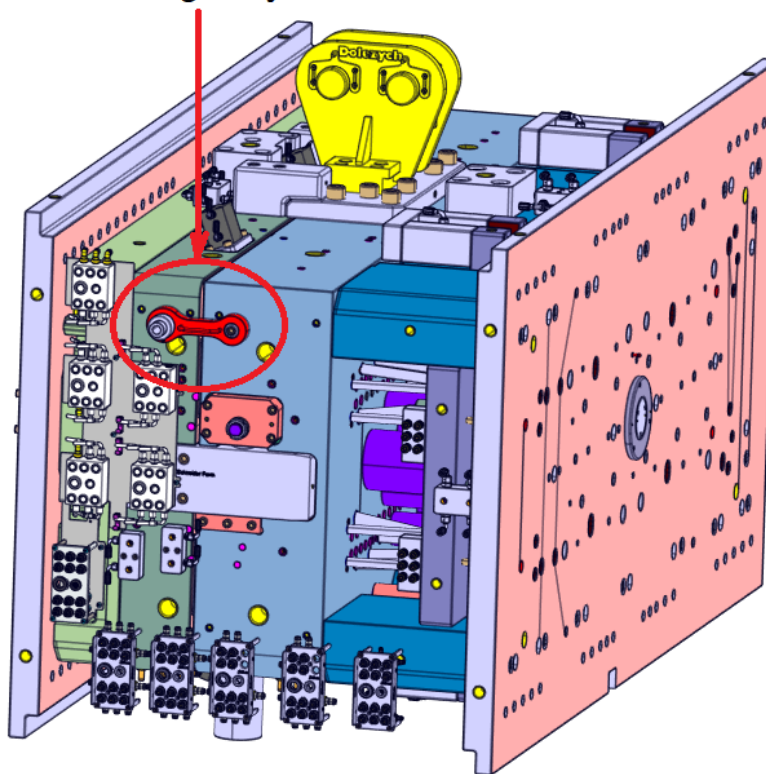


Figura 58 - Barra de segurança de fecho molde.

- Limitadores de curso – são utilizados especialmente para movimentos no molde, os limitadores de curso dão informação da posição de componentes com movimento à unidade de comando da máquina de injeção. São importantes para moldes onde existem seqüências de movimentos (movimentos hidráulicos/mecânicos e placas de extração). De acordo com as posições transmitidas pelos limitadores de curso, a máquina de injeção procede ou aguarda para a instrução seguinte. Pode-se ver um exemplo de limitadores de curso numa placa de extração na Figura 59.



Figura 59 - Exemplo de aplicação de limitadores de curso na placa de extração.

- Chapas de proteção – são utilizadas para proteger o sistema de extração de objetos que possam obstruir o seu funcionamento e consequentemente danificar o sistema. Na Figura 60 pode-se visualizar um exemplo de proteção do sistema de extração.

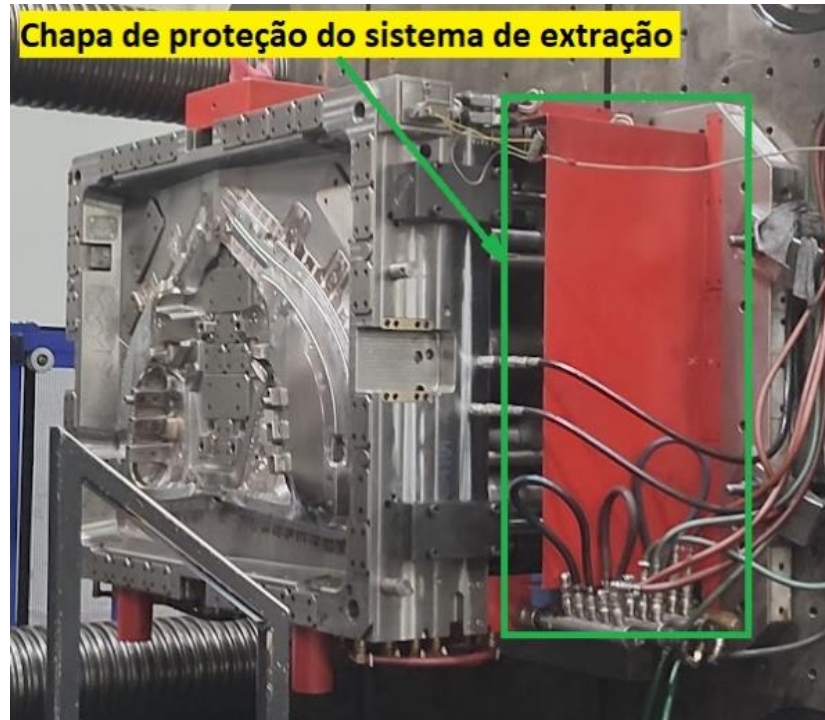


Figura 60 - Aplicação de proteções do sistema de extração.

Os componentes que asseguram as conexões do molde à máquina de injeção habitualmente equipados nos moldes são os seguintes:

- Sistemas de acoplamento rápido dos circuitos de refrigeração – estes sistemas permitem otimizar o processo de montagem do molde na máquina de injeção, uma vez que permite realizar a ligação de vários circuitos de refrigeração apenas com uma operação, tal como se pode ver no exemplo da Figura 61.



Figura 61 - Exemplo de sistema de acoplamento rápido de circuitos de controlo de temperatura (RTC Couplings GmbH, 2022d).

- Fichas elétricas – as ligações elétricas das resistências e dos termopares são realizadas através de conexões semelhantes às demonstradas na Figura 62.



Figura 62 - Exemplo de caixa de ligações elétricas de um molde.

3 Processo de injeção de termoplásticos

O processo de injeção é um dos mais comuns na produção de peças poliméricas. Resumidamente, o processo consiste na plasticização e enchimento rápido de um material polimérico para o interior do molde, seguido de um tempo de arrefecimento e posterior extração da(s) peça(s) (Goodship, 2004).

3.1 Materiais poliméricos

Os materiais poliméricos com maior utilização no processo de injeção são os termoplásticos e os elastómeros. A matéria-prima habitualmente está disponível em granulado. Na Tabela 14 estão apresentados alguns dos materiais poliméricos com maior utilização no ramo automóvel.

Tabela 14 - Alguns dos materiais mais utilizados na indústria automóvel.

Termoplásticos	Termoplásticos elastómeros
<ul style="list-style-type: none"> ➤ PP; ➤ ABS; ➤ PC; ➤ ASA; 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ PA; ➤ PMMA; ➤ POM ➤ TPE-S; ➤ TPE-O

Habitualmente, são aplicados aditivos nos materiais, de modo a melhorar a sua resistência mecânica e química. Alguns dos aditivos mais utilizados estão resumidos na Tabela 15.

Tabela 15 - Tipos de aditivos utilizados para melhorar a resistência química e mecânica dos materiais, adaptado de (Ferreira, P., 2023a) e (Ferreira, P., 2023b).

Aditivos para introduzir e/ou modificar as propriedades do material	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cargas (exemplo: talco e serradura); ➤ Reforços (exemplo: fibras); ➤ Pigmentos (modificam a cor natural do material); ➤ Estabilizadores (atenuam o envelhecimento do polímero); ➤ Lubrificantes (facilitam a desmoldagem do produto do molde); 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Plasticizantes (aumentam a capacidade de deformação e a processibilidade do polímero, reduzindo a fragilidade); ➤ Agentes de formação de espuma (polímeros com adição de gás para formar porosidade); ➤ Retardadores de chama (limitam a velocidade de propagação de chama)

Habitualmente, para peças de baixa exigência de qualidade são utilizados reforços, como por exemplo a serradura. A serradura permite criar volume e reduzir a quantidade de material polimérico, e desse modo obter o produto de uma forma mais económica.

3.2 Ciclo do processo de injeção

A injeção é um processo cíclico composto por diversas etapas de processamento que resultam na obtenção de peças. A duração do ciclo de injeção é um ponto fundamental a ter em conta quando se realiza um projeto de molde, uma vez que, o tempo de duração do ciclo de injeção irá refletir-se no custo económico das peças. Devido a esse facto, o objetivo pretendido para todos os moldes é otimizar ao máximo o tempo de duração do ciclo de injeção melhorando todas as etapas do processo referidas na Figura 63 (Cunha et al., 2003).

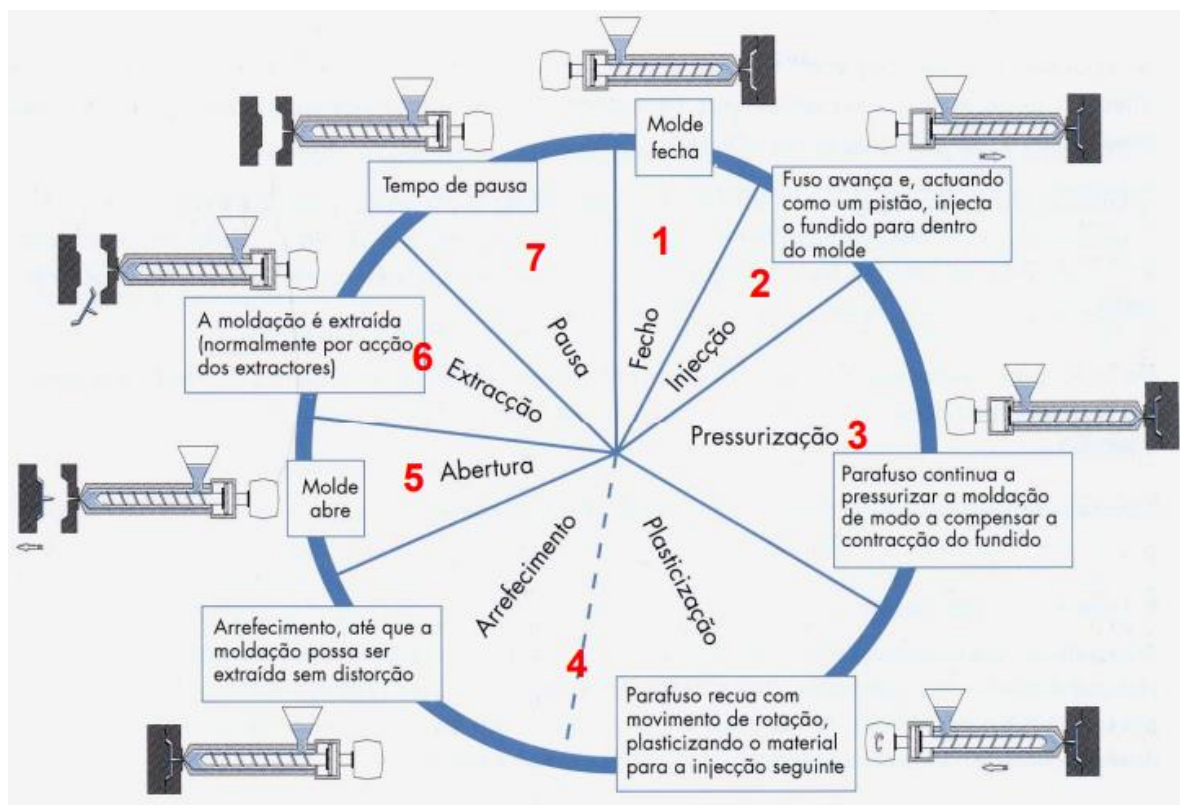


Figura 63 - Sequência de processos do ciclo de injeção (Cunha et al., 2003).

Fecho do molde - o início do ciclo de injeção ocorre no momento de fecho do molde. O fecho do molde é realizado através da movimentação do prato móvel da máquina e este deve ser efetuado o mais rápido possível, deve ser considerado o esforço provocado pela inércia do molde e pelo prato da máquina, de modo a reduzir atempadamente a velocidade no momento do fecho do molde para que o encosto entre a cavidade e o macho seja realizado de forma suave. O fecho do molde deve

ser realizado de forma suave, de modo a evitar danos nas zonas de ajuste do molde. Depois de garantir o fecho total do molde em segurança é efetuado o trancamento do prato móvel nas colunas da máquina de injeção, para assegurar que o molde não abre durante a injeção e compactação da(s) peça(s). (Cunha et al., 2003)

Injeção - é realizada através do avanço do fuso da máquina de injeção, que funciona como uma espécie de pistão, empurrando o material plasticizado para o interior do molde. A fase de injeção só se inicia após o bico da máquina se encontrar encostado ao molde. Esta fase termina quando se tem aproximadamente 95 % do volume da zona moldante preenchido (Cunha et al., 2003). A duração da fase de injeção varia com o volume da zona moldante a preencher, material, geometria e a qualidade superficial da peça.

Pressurização/Compactação - após a fase de enchimento é necessário manter uma pressão no interior do molde para evitar o retorno do material até que o material atinja a temperatura de solidificação. É também durante esta fase que é finalizado o preenchimento total do volume da zona moldante, preenchendo os aproximados 5 % do volume da zona moldante que restavam preencher na fase de injeção. A obtenção de uma peça completamente injetada pode não corresponder à utilização de uma pressão de compactação correta, uma vez que pode não ser a suficiente para garantir estabilidade dimensional à peça polimérica após o seu arrefecimento total. A pressão utilizada deverá ser a necessária para se obter uma peça com qualidade, pois caso seja excessiva poderá provocar dificuldades de extração da peça (Cunha et al., 2003). A fase de compactação termina logo que deixe de existir fluxo de material para dentro do molde.

Plasticização - após o final da fase de pressurização/compactação inicia-se a dosagem do material para a próxima injeção. O fuso recua e simultaneamente realiza um movimento de rotação até que seja atingido o volume de material pretendido para a injeção seguinte (Cunha et al., 2003).

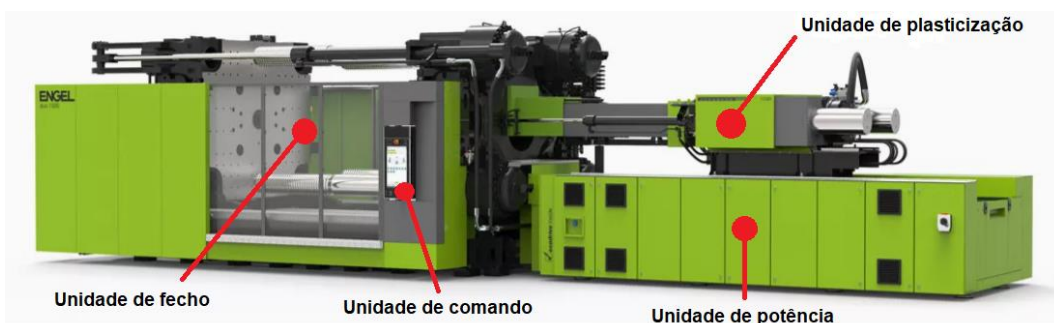
Arrefecimento - a fase de arrefecimento da(s) peça(s) inicia no mesmo instante que a fase de pressurização/compactação. Durante o período de arrefecimento, existe transferência de calor entre o molde e o material polimérico no interior do molde. Esta fase termina quando a(s) peça(s) permitam ser extraídas sem a existência de qualquer deformação das mesmas (Cunha et al., 2003).

Abertura do molde e extração - a abertura do molde é realizada após o período de arrefecimento da(s) peça(s). Esta operação tal como a fase de fecho do molde, deve ser realizada o mais rápido possível. Deve-se assegurar que todo o material polimérico (peças e canais) é removido do interior do molde, uma vez que, caso se realize o fecho do molde com material polimérico no seu interior pode danificar o aço do molde. A remoção da injeção do interior do molde, pode ser realizada manualmente ou através de um manipulador/robot.

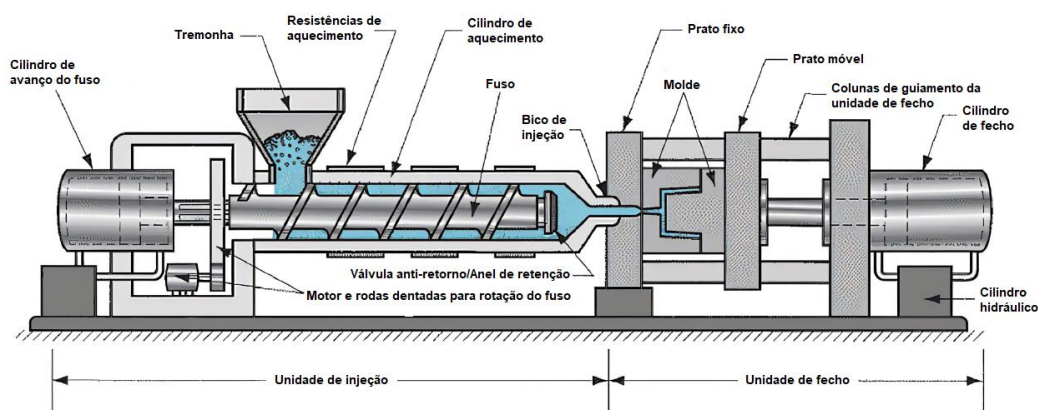
Pausa - é o período entre o final de um ciclo e o início de um novo ciclo de injeção. Em situação ideal, este tempo deve ser reduzido ao mínimo ou até mesmo inexistente. Habitualmente esta fase tem maior duração em situações onde seja necessário remover as peças do molde manualmente ou colocar insertos no interior do molde antes do início do novo ciclo (Cunha et al., 2003).

3.3 Máquina de injeção

Para a realização do processo de injeção é necessário utilizar uma máquina de injeção. Existem diversos tipos de construção de máquinas de injeção, que se adequam a cada tipo de aplicação. Contudo, independentemente do tipo de construção, uma máquina de injeção é sempre composta pelas seguintes principais unidades/sistemas: unidade de injeção, unidade de fecho, unidade de comando e a unidade de potência semelhantes ao demonstrado na Figura 64 (Cunha et al., 2003).



(a)



(b)

Figura 64 - Máquina de injeção: (a) – unidades principais; (b) – esquema da composição de uma máquina de injeção.

3.3.1 Unidade de injeção

A unidade de injeção é responsável pelo transporte e aquecimento do material polimérico desde a tremonha até ao bico de injeção. O material polimérico granulado entra pela tremonha da unidade de injeção e é transportado e processado para o seu estado plasticizado através de um movimento combinado de recuo e de rotação do fuso até à zona posterior à válvula anti-retorno do fuso. No ciclo de injeção esta fase corresponde à fase de plasticização, esta termina quando se atinge a dosagem de material necessária para a próxima injeção, aí o movimento do fuso termina. Além de ser responsável pela preparação do material polimérico, a unidade de plasticização/injeção é responsável pela injeção do material para o interior do molde. A injeção do material é realizada através do avanço do fuso, que empurra o material plasticizado.

3.3.1.1 Fuso

O componente de maior importância numa unidade de injeção é o fuso, uma vez que todo o processo de plasticização e a precisão com que é realizada a injeção do material polimérico é influenciada pela geometria do fuso. Algumas das características principais de um fuso são as seguintes:

- **Diâmetro do fuso**
Tem influência na precisão da injeção (quanto menor for o diâmetro do fuso, maior é a sua precisão), uma vez que influencia o volume da injeção por cada milímetro realizado pelo movimento linear do fuso. Além da importância que o diâmetro tem sobre a precisão da injeção, este também tem relevância na capacidade de plasticização do material polimérico através da taxa de corte gerada durante a fase de plasticização do material. Por sua vez, a taxa de corte gerada irá influenciar a temperatura gerada durante a preparação do material (V. Rosato et al., 2000).
- **Relação entre o diâmetro e o comprimento do fuso (l/b)**
A relação entre o diâmetro e o comprimento do fuso classifica se o fuso é grande ou pequeno. Através dessa classificação, consegue-se ter uma noção do tempo de residência do material no interior do fuso. Uma relação entre o diâmetro e o comprimento do fuso maior indica um tempo de residência do material no fuso maior e conseqüentemente uma maior facilidade de degradação do material no interior da unidade de injeção. Contudo, a utilização de um fuso maior favorece a mistura do material e cadências de produção elevadas (V. Rosato et al., 2000).
- **Capacidade de injeção ou dosagem máxima**
A capacidade de injeção representa o volume máximo de material que é possível injetar com um único avanço do fuso da unidade de injeção (V. Rosato et al., 2000).

- **Capacidade de plasticização**

É a capacidade que uma unidade de plasticização tem de preparar material polimérico por unidade tempo com o fuso a trabalhar continuamente (V. Rosato et al., 2000). A eficácia da plasticização depende de diversos fatores, como o volume da injeção, capacidade do cilindro, geometria do fuso, rotação do fuso e a potência das resistências de aquecimento do cilindro (Goodship, 2004). A taxa de compressão do fuso também irá influenciar na capacidade de plasticização do fuso, uma vez que, para materiais mais sensíveis ao aumento de temperatura não se deve utilizar fusos com taxas de compressão elevadas devido ao aumento da degradação do material polimérico. Para outros materiais é necessário utilizar taxas de compressão mais elevadas para melhorar a mistura do material e conseqüentemente a sua homogeneidade. A taxa de compressão é uma relação obtida através da profundidade da zona de transporte e da profundidade da zona de medição (V. Rosato et al., 2000), demonstradas na Figura 65.

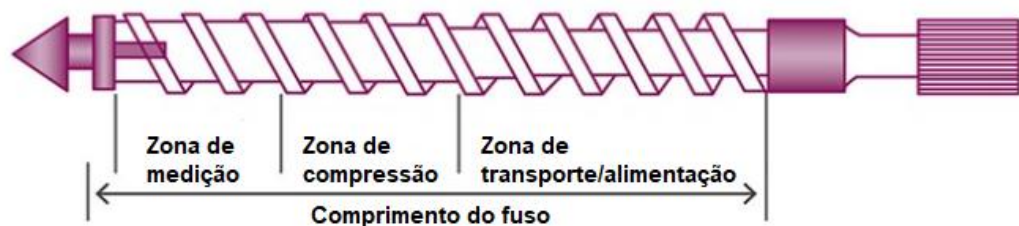


Figura 65 - Identificação das principais zonas de um fuso de uma unidade de injeção, adaptado de (Goodship, 2004).

No fuso existe uma válvula retenção semelhante à demonstrada na Figura 66, que permite a passagem de material durante a fase de plasticização para a frente da válvula e impede o recuo de material para o fuso durante a fase de injeção. A geometria da válvula pode ser diferente, consoante o material que está a ser injetado (Goodship, 2004).

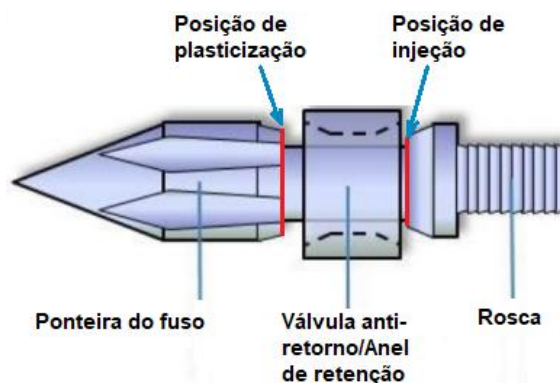


Figura 66 - Ponteira de fuso de uma máquina de injeção, adaptado de (Goodship, 2004).

3.3.2 Unidade de fecho

É responsável pela fixação, movimentação e fecho do molde. A unidade de fecho deve garantir uma força de fecho suficiente, de modo a evitar a abertura do molde durante as fases de injeção e compactação. Nesta unidade, habitualmente também estão colocados os circuitos e dispositivos de atuação dos sistemas de controlo de temperatura e de extração do molde (Cunha et al., 2003). A unidade de fecho como demonstrado na Figura 64, é composta por prato estacionário e um prato móvel, colunas de guiamento e por um sistema de fecho. Existem diferentes sistemas de fecho, os mais usuais são: as unidades de fecho de hidráulico e as unidades de fecho de joalheira.

- Unidade de fecho de hidráulico – neste tipo de unidades de fecho, a força de fecho é realizada através do acionamento de cilindros hidráulicos após o trancamento do prato móvel, como demonstrados na Figura 67. A unidade de fecho é composta por um sistema de trancamento que bloqueia o movimento do prato móvel no sentido contrário à força de fecho da máquina de injeção, através do aperto de uns mordentes às colunas de guiamento da máquina de injeção. O bloqueio é realizado após realizar o encosto entre as duas partes do molde. Após o bloqueio do prato móvel, os cilindros hidráulicos acabam de realizar o encosto entre as placas do molde e aplicam a força de fecho.



Figura 67 - Exemplo de uma unidade de fecho hidráulico (**Haitian Group, 2022**): (a) – cilindros hidráulicos que garantem a força de fecho; (b) – sistema de trancamento da unidade de fecho.

- Unidade de fecho de joalheira – neste tipo de unidades de fecho, a força de fecho é realizada através da atuação de um sistema mecânico designado de joalheira. A joalheira é acionada por um cilindro hidráulico. Neste tipo de unidades ao contrário das unidades de fecho hidráulicas é necessário ajustar a espessura do molde, de modo a aplicar a força de fecho pretendida, para que quando a joalheira avance para a posição de fecho garanta um fecho perfeito do molde com a força pretendida. Por outro lado, permite velocidades mais elevadas na abertura e fecho do molde, uma vez que realiza o fecho e o

trancamento num só movimento e o mesmo acontece durante a abertura do molde.

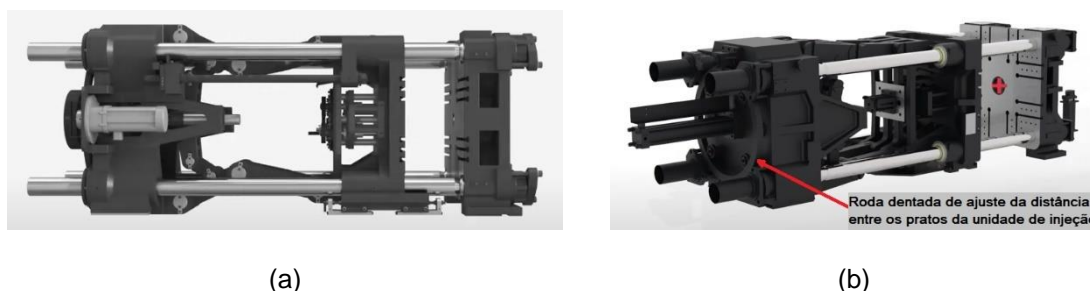


Figura 68 - Exemplo de unidade de fecho de joalheira: (a) – joalheira que realiza o movimento do prato móvel e garante o fecho do molde; (b) – roda dentada que realiza o ajuste da espessura do molde.

Para a seleção de uma unidade de fecho deve-se ter em atenção:

- Força de fecho (F_f) – o fator principal para escolha de uma unidade de fecho, é a força de fecho máxima proporcionada pela mesma. A força de fecho necessária para um molde é o produto da pressão máxima de injeção ($P_{m\acute{a}x\ inj}$) e da área projetada da peça (A_p) e é dada através da equação (1):

$$F_f [N] = P_{m\acute{a}x\ inj} [Pa] \times A_p [m^2] \quad (1)$$

- Dimensões do molde – deve-se assegurar que os pratos da máquina e a distância entre colunas têm dimensão suficiente para o molde, e também a espessura de molde mínima e máxima que a unidade de fecho suporta;
- Peso do molde;
- Centragem do molde;
- Tipo de extração do molde.

3.3.3 Unidade de comando

Esta unidade é responsável pela monitorização e controlo de todo o processo de injeção. É nesta unidade que são introduzidos todos os parâmetros do processo de injeção, também é assegurada a comunicação com equipamentos periféricos à máquina de injeção (Cunha et al., 2003).

3.3.3.1 Parâmetros do processo de injeção

O processo de injeção é controlado através de diversos parâmetros, os parâmetros que influenciam o processo de injeção são os seguintes (Cunha et al., 2003):

- Perfil de temperaturas do cilindro – a temperatura ao longo do cilindro da unidade de plasticização depende da potência das resistências de aquecimento e do calor gerado durante a plasticização do material. O perfil de temperaturas selecionado, deve ser de acordo com o material a injetar, como se pode consultar na Tabela 16, com a geometria da peça e com o fuso que realiza a injeção. Deve ser garantida temperatura suficiente para existir uma boa fluidez do material, sem provocar a degradação do material;

Tabela 16 - Temperaturas de injeção recomendadas a cada tipo de material.

Material polimérico	Temperatura de injeção [°C]
PP	200 - 300
PC	270 - 320
PA	250 - 270
POM	200 - 220
PMMA	180 - 200
ABS	190 - 230
ASA	190 - 230

- Temperatura do molde – é fundamental para o processo, uma vez que condiciona o arrefecimento da(s) peça(s) e conseqüentemente influencia a sua contração e a qualidade superficial. A temperatura do molde também influencia a facilidade com que o material flui no interior da cavidade durante o enchimento e o esforço necessário para realizar a extração da(s) peça(s), na Tabela 17 pode-se consultar a gama de temperaturas recomendada para cada tipo de material, contudo estes valores são indicativos, deve-se consultar sempre a temperatura que a ficha técnica do fabricante do material polimérico recomenda;

Tabela 17 - Temperaturas do molde recomendadas a cada tipo de material.

Material polimérico	Temperatura do molde [°C]
PP	30 – 60
PC	85 - 120
PA	30 - 60
POM	80 - 120
PMMA	40 - 100
ABS	40 - 80
ASA	40 - 80

- Força de fecho – é o esforço expresso em toneladas, exercido pela unidade de fecho, requerido para manter o molde fechado durante a fase de injeção e compactação. A força de fecho aplicada pela unidade de fecho da máquina de injeção deve ser superior cerca de 10-20 % à força de fecho teórica calculada para a peça, de modo a compensar possíveis erros associados ao cálculo, medição e controlo da unidade de fecho, e variações no processo de injeção. A força de fecho necessária deve ser a suficiente para impedir pequenas aberturas do molde, mas também não deve ser excessiva, visto que pode danificar zonas de ajuste do molde;
- Velocidade de injeção – é a velocidade de avanço do fuso durante a fase de enchimento das zonas moldantes. Este parâmetro é determinante para o processo, uma vez que é necessário manter uma velocidade suficientemente elevada para garantir a diminuição da viscosidade do material, de modo a diminuir as perdas de calor e assegurar o enchimento da cavidade. No entanto, se a velocidade for demasiado elevada, esta pode provocar o aparecimento de defeitos nas peças, como por exemplo efeitos de jato e queimados. Se a velocidade de injeção for demasiado baixa, pode surgir um enchimento incompleto da peça, devido à perda de fluidez, consequência da viscosidade elevada do material;
- Pressão de injeção – é a pressão máxima desenvolvida pelo fuso da unidade de injeção durante a fase de enchimento. A pressão máxima de injeção definida pelo operador da máquina de injeção é um limite de pressão máxima estabelecido, pois a pressão máxima desenvolvida é resultado do material que está a ser injetado, da geometria da cavidade e da velocidade de injeção;
- Ponto de comutação – é o período entre o final da fase de injeção e o início da fase de compactação e é designado por ponto de comutação. Habitualmente, o ponto de comutação é realizado quando se atinge cerca de 95 % do volume da cavidade, deixando os restantes 5 % do volume para completar durante a fase de compactação;

- Pressão de compactação – é uma pressão aplicada posteriormente ao enchimento das zonas moldantes para completar o enchimento das zonas moldantes, e para contrariar o recuo do material do interior do molde para o cilindro da unidade de injeção até ao momento em que se atinge a solidificação dos jitos (deixa de existir passagem de material). A pressão de compactação também controla a contração volumétrica que existe durante a fase de arrefecimento;
- Tempo de compactação – é o período utilizado para compactar e manter as zonas moldantes pressurizadas até que os canais de injeção fiquem solidificados, de modo a evitar o recuo de material;
- Velocidade de rotação do fuso – é importante para se obter uma plasticização homogénea de acordo com as especificações fornecidas pelo fornecedor do material polimérico. Deve ser aplicada uma rotação suficientemente elevada, de modo a homogeneizar o plasticizado, mas também não demasiado elevada pois poderá acelerar o processo de degradação do material;
- Contrapressão – é a pressão aplicada ao fuso durante a plasticização do material, de modo a evitar o recuo rápido do fuso provocado pela sua rotação. A contrapressão deve garantir que se realiza uma boa mistura do material, assegurando a homogeneidade e viscosidade requerida para o plasticizado, para isso é necessário que a temperatura desenvolvida seja o mais uniforme possível para que não exista o aparecimento de bolhas de ar/gás. Se a contrapressão for demasiado elevada poderá provocar um aumento de temperatura indesejado e potenciar a degradação do material;
- Dosagem – corresponde ao volume de material plasticizado (volume necessário para preencher as zonas moldantes e a almofada). A dosagem é controlada através da posição do fuso, habitualmente em milímetros;
- Curso de descompressão – recuo linear do fuso após a plasticização do material. Após a plasticização do material verifica-se uma acumulação de pressão no material polimérico plasticizado, e este tem tendência a libertar-se pelo bico de injeção. Para contrariar esse efeito é realizado um recuo do fuso, de modo a aliviar a pressão acumulada no material existente entre o bico de injeção e o anel de retenção do fuso;
- Almofada – é a quantidade de material que permanece no cilindro da unidade de injeção após a fase de pressurização. A almofada é quantificada pelo seu comprimento em milímetros;
- Tempo de arrefecimento – é o tempo necessário após a fase de compactação para que a(s) peça(s) possam ser extraídas sem a(s) deformar, esse momento é designado de temperatura de extração, esta temperatura depende do material injetado. O arrefecimento da moldação inicia quando o plasticizado contacta com as paredes até ao momento de abertura do molde, mas apenas é designado de tempo de arrefecimento o período após a fase de compactação;

- Velocidade de movimentação da unidade de fecho – é definida através de um perfil de velocidades introduzido pelo operador da máquina de injeção. Quando não existe interferência entre componentes do molde, as velocidades de abertura/fecho podem ser elevadas. Nos momentos de abertura/fecho do molde a velocidade deve ser baixa para que o movimento entre componentes seja o mais suave possível.

3.3.4 Unidade de potência

É responsável por fornecer energia a todos os sistemas de acionamento da máquina. Atualmente existem diversas tecnologias utilizadas pelos fabricantes nas unidades de potência de máquinas de injeção, das quais são (V. Rosato et al., 2000):

- Hidráulicas – baseiam-se na potência óleo-hidráulica gerada por bombas hidráulicas acopladas a um motor elétrico. A unidade de potência hidráulica, habitualmente encontra-se centralizada na zona inferior à unidade de injeção. Nesta central é distribuído o óleo que irá ser responsável por atuar todos os sistemas da máquina;
- Elétricas – baseiam-se apenas em potência elétrica para atuar os vários sistemas da máquina. As unidades de potência elétricas permitem grande eficiência energética, alta potência, grande velocidade e menor desgaste. Este tipo de construção também proporciona um ambiente mais limpo, uma vez que se elimina possíveis fugas de óleo derivadas a todo o sistema óleo-hidráulico que é constituída uma máquina de injeção com unidade de potência hidráulica. A maior desvantagem deste tipo de máquinas é ter capacidades de força de fecho baixas em relação às máquinas de injeção hidráulicas;
- Híbridas – utilizam em simultâneo, sistemas hidráulicos e elétricos, neste tipo de construção é comum em diversos fabricantes de máquinas de injeção utilizar-se potência hidráulica para a unidade de fecho e potência elétrica para a unidade de injeção ou vice-versa.

3.4 Equipamentos auxiliares à máquina de injeção

Para a realização do processo de injeção de polímeros são necessários diversos equipamentos para além da máquina de injeção. Isto deve-se à necessidade de antes de realizar a injeção de material ser necessário preparar o material, e durante o processo é necessário controlar as temperaturas do molde e após a injeção é necessário remover a(s) peça(s) do molde. De modo a realizar todas essas operações secundárias ao processo principal, são necessários alguns dos seguintes equipamentos:

- Misturadores – são utilizados quando é necessário misturar pigmentos ou fibras no material;
- Desumidificadores – são utilizados para remover a humidade que se acumulou no material durante o período de armazenamento. De modo a remover a humidade existente, o material é colocado num silo onde é forçada a passagem de ar quente e onde se mantém o material a uma temperatura constante. O controlo da temperatura e da humidade do material é muito importante para a obtenção de uma plasticização homogénea e consequentemente maior controlo sobre o processo de injeção e qualidade da peça. Cada material tem uma capacidade higroscópica diferente, desse modo são necessários períodos de residência no desumidificador diferentes para que seja atingida a percentagem de humidade ideal para o processamento do material;
- Chilers – são utilizados para controlar a temperatura da água do sistema de controlo de temperatura do molde;
- Unidade de potência elétrica – é utilizada em situações onde a máquina de injeção não tenha circuitos elétricos suficientes para ligar todas as resistências de aquecimento do sistema de injeção do molde;
- Unidade de electroválvulas hidráulicas – é utilizada quando a máquina de injeção não tem circuitos hidráulicos suficientes para a pilotagem de válvulas de sistemas de injeção sequencial;
- Unidade de injeção auxiliar – são utilizadas para moldes em que são injetados dois ou mais materiais poliméricos diferentes;
- Robot/Manipulador – a sua utilização é necessária quando se pretende colocar a máquina de injeção a trabalhar continuamente em automático, este é responsável por remover a(s) peça(s) do molde. Em alguns casos também pode colocar componentes no interior do molde, para posteriormente realizar a injeção do material polimérico sobre o componente.

3.5 Defeitos comuns no processo de injeção

Frequentemente, nos primeiros ensaios realizados aos moldes após o seu fabrico surgem diversos problemas que não são previstos na fase de projeto e que não são identificados durante a montagem. Desse modo é necessário identificar o problema, perceber qual a sua origem e arranjar soluções para o resolver. Alguns dos defeitos que surgem com maior frequência no processo de injeção são os seguintes:

- Rebarbas – pequena espessura de excesso de material que surge nas extremidades da peça ou em zonas de vedação do molde. A rebarba pode surgir nas peças devido a diversos fatores como por exemplo:
 - Força de fecho aplicada ao molde insuficiente para a pressão máxima de injeção existente;

- Folgas nas zonas de vedação do molde, permitindo assim a entrada de material;
- Viscosidade do material muito baixa, podendo surgir devido à temperatura do material demasiado elevada, velocidade de injeção elevada ou até mesmo devido a material degradado;
- Apoios aplicados às placas moldantes insuficientes;
- Quantidade de material injetado excessiva;
- Chupados – depressão de material que surge na superfície da peça, após o seu arrefecimento. Os chupados aparecem na superfície das peças quando existe uma acumulação de material maior. De modo a evitar o surgimento deste fenómeno, podem ser adotadas algumas das seguintes soluções (Moldblade, 2022):
 - A espessura da peça deve ser o mais uniforme possível;
 - Aumentar a pressão/tempo de pressurização da peça;
 - Aumentar o tempo de arrefecimento;
 - Diminuir a temperatura do material plasticizado e do molde, de modo a reduzir a acumulação de temperatura e conseqüentemente a redução da contração da peça;
- Raspados – surgem devido a um esforço existente durante a desmoldagem da(s) peça(s) que origina um pequeno corte superficial de material provocando o raspado. De modo a evitar que surja o aparecimento de raspados, podem-se adotar algumas medidas preventivas, como por exemplo:
 - Eliminar todas as arestas afiadas que existam em mecanismos com movimento na peça;
 - No caso de levantadores, deve-se garantir que não existe material polimérico no sentido de movimento do levantador. Habitualmente cria-se uma pequena diferença entre a superfície do levantador e superfície do macho/cavidade, de modo a criar uma espessura de material polimérico superior na zona levantador para que quando o levantador iniciar o movimento não exista material que impeça o seu movimento;
 - Durante o funcionamento do molde pode surgir a amolgação de material. Por isso deve-se verificar se se criaram pequenas contra saídas no aço, após um período de funcionamento do molde;
- Mau acabamento superficial – o acabamento superficial da(s) peça(s) surge ondulado e/ou com mau aspeto superficial. Este defeito pode aparecer devido a alguns destes fatores:
 - Pressurização da peça insuficiente;
 - Polimento ondulado, provocando diferenças no efeito espelho quando se expõem a(s) peça(s) à luz;

- Degrau entre superfícies – a superfície da peça contém um degrau de material, provocado por um desencontro entre os componentes das zonas de vedação do molde. Este defeito pode surgir nas seguintes situações:
 - Desalinhamento na linha de junta principal;
 - Ajuste de movimentos e/ou levantadores incompleto/imperfeito;
- Queimados – por vezes perto das extremidades da(s) peça(s) surgem zonas onde o material se encontra carbonizado. Isto pode acontecer devido aos seguintes problemas:
 - Não foram realizadas fugas de gases suficientes. No caso da inexistência ou de fugas insuficientes, é provocada uma acumulação de gases excessiva que conseqüentemente provoca um aquecimento muito elevado do material;
 - Aquecimento excessivo do material durante o enchimento do material, possivelmente provocado pela tensão de corte gerada nesta fase;
- Brilhos – zonas que aparentam tonalidades diferentes da restante superfície da peça, provocando um aspeto superficial da(s) peça(s) não uniforme. Os brilhos podem surgir devido aos seguintes fatores:
 - Temperaturas das superfícies do molde não uniformes, devido a um sistema de controlo de temperatura insuficiente e/ou mal concebido;
 - Aquecimento excessivo do material durante o enchimento da peça, habitualmente surge nas zonas dos ataques dos canais de injeção, devido ao aumento da tensão de corte provocada por uma diminuição da secção de passagem do material;
- Linhas de união de material/soldadura – surgem devido à união de duas frentes de fluxo de material, quando estas se encontram com um ângulo inferior a 135° , mas geralmente a linha de união não aparece quando o ângulo entre as duas frentes de fluxo está entre 120° - 150° . As linhas de união de material além de serem visíveis são um ponto frágil da peça, devido a uma união química do material polimérico imperfeita. De modo a garantir uma resistência mecânica aceitável da linha de união, é necessário garantir que as duas frentes de fluxo se unem com uma temperatura e pressão adequada;
- Enchimento incompleto – a(s) peça(s) ficam incompletas, restando zonas da peça com falta de material. O enchimento incompleto das zonas moldantes pode ocorrer devido a alguns dos seguintes problemas:
 - Dosagem de material insuficiente;
 - Velocidade de injeção baixa, provocando um aumento precoce da viscosidade do material;
 - Temperaturas baixas do material e do molde;
 - Pressão de injeção da máquina insuficiente;
 - Fugas de gases inexistentes/insuficientes;

- Acumulação de gases – a acumulação de gases pode acontecer simultaneamente com a formação de linhas de união de material, devido ao “empurrar” do ar retido dentro das cavidades pelas frentes de fluxo, quando se realiza a união das frentes de fluxo por vezes fica retido ar na linha de união de material;
- Linhas de hesitação de fluxo de material – surgem marcas do fluxo de enchimento na superfície da peça. Este defeito surge devido ao escoamento de material intermitente que pode ter origem nas seguintes razões:
 - Temperaturas do material e do molde;
 - Velocidade de injeção baixa;
 - Mistura do material deficiente;
 - Secção dos ataques de injeção demasiado pequena;
- Efeito de jato – este efeito é provocado pela velocidade de injeção demasiado elevada, a elevada velocidade da injeção do material provoca uma mancha nas zonas dos ataques de injeção e/ou zonas de transição de geometria. Este defeito pode ser controlado através das seguintes formas:
 - Aplicação de um escalonamento de velocidades de injeção, começando com uma velocidade mais baixa e após um período aumentar a velocidade;
 - Aumentar a secção dos canais de injeção, quando possível;
 - Orientar o ataque de injeção contra uma parede da peça;
 - Em injeção sequencial, realizar a abertura do bico injeção do material após a cobertura do ataque de injeção por material injetado por outro bico;
- Dificuldade em realizar a extração da(s) peça(s) – provocado por prisões da peça no molde. A dificuldade de extração existente pode dever-se a alguns dos seguintes fatores:
 - Mau acabamento superficial da superfície do molde;
 - Contra saída não identificada durante a fase de projeto;
 - Elementos de extração da(s) peça(s) insuficiente;
- Manchas de gordura – quando existem manchas de gordura é possível observar a existência de tonalidades diferentes na peça. Este defeito pode surgir devido:
 - Infiltração da lubrificação dos elementos de extração nas zonas moldantes, devido ao aquecimento do molde;
 - Existência de resíduos de óleo de proteção contra a oxidação;
 - Quantidade de desmoldante excessiva;
- Manchas de humidade – geralmente aparecem em todas as superfícies da(s) peça(s) com um aspeto semelhante a estrias brancas. Isto pode-se dever às seguintes razões:

- Desumidificação do material insuficiente, não garantindo a percentagem de humidade ideal do material;
- Degradação do material, devido ao tempo de residência no fuso da máquina excessivo ou à temperatura muito elevada;
- Dimensões da(s) peça(s) – acontece em alguns casos as peças apresentarem dimensões diferentes do pretendido e/ou empenos indesejados. As diferenças existentes podem acontecer devido aos seguintes fatores:
 - Tempo de arrefecimento da peça insuficiente;
 - Posição da injeção de material incorreta;
 - Compensação de contração do material aplicada às zonas moldantes incorreta.

4 Acompanhamento do processo produtivo e de construção de um molde na SF Moldes S.A.

4.1 A empresa SF Moldes

A SF Moldes, empresa dedicada ao fabrico de moldes de injeção, foi constituída em Oliveira de Azeméis no ano de 1980, sobre outra denominação social. Em 2006 foi adquirida pelo Grupo alemão Schneider Form GmbH, ano em que alterou a sua denominação social para a atual. A aquisição pelo grupo alemão consubstanciou-se num fator essencial para o crescimento evidenciado pela Empresa na última década e meia, decorrente das sinergias absorvidas do Grupo, com ênfase na sua notoriedade e rede de contatos, bem como ao nível de métodos e padrões deste, garantindo, desta forma, elevados níveis de qualidade e de eficiência produtiva.

Adicionalmente, na sequência da mudança de 2006, a SF Moldes introduziu alterações significativas ao nível dos seus processos, tendo como intuito otimizar a eficiência e incrementar a sua atividade empresarial. A este nível, foram concretizados investimentos fundamentais no domínio tecnológico, com ênfase no reforço da capacidade de CAD/CAM e das competências dos colaboradores, com o objetivo de atingir os padrões de qualidade praticados no Grupo.

Mais recentemente, nomeadamente em 2019, o elevado investimento realizado tanto na nova unidade industrial como num conjunto de equipamentos produtivos mais avançados, permitiu dotar a Empresa de uma capacidade mais reforçada e modernizada de produção de moldes metálicos para a injeção de peças de polimérico de pequena, média e grande dimensão, tendo como principal destino a indústria automóvel.

Atualmente, o conjunto dos avanços tecnológicos à disposição da SF Moldes, juntamente com a sua equipa jovem, dinâmica, qualificada, experiente e em formação técnico-profissional contínua, consubstanciam-se os ingredientes essenciais para a entrega ao cliente de um produto final de alta qualidade e confiabilidade. Todos estes fatores colocam a SF Moldes numa posição de destaque, no setor nacional e internacional, dos moldes metálicos de injeção de peças poliméricas para a indústria automóvel.

4.2 Departamentos e suas responsabilidades

A SF Moldes é constituída por vários departamentos, por onde são distribuídas diferentes tarefas e responsabilidades do processo de projeto e produção de um molde para a injeção de termoplásticos.

- Gestão de projeto – tem a competência de orçamentar quando recebem pedidos de cotação para a construção de novos moldes e/ou alterações em moldes já em produção. Os colaboradores deste departamento, têm como

funções principais, manter o contacto com os clientes durante e após a execução da ferramenta, definir prazos de produção, acompanhar as várias etapas de produção dos moldes na empresa e acompanhar a fase de ensaios e consequentes correções/melhorias;

- Projeto – é o departamento onde se idealizam e posteriormente se realizam os projetos de todos os moldes produzidos pela empresa. São responsáveis por realizar todo o projeto e modelação 3D dos vários componentes que constituem o molde e também dos desenhos técnicos necessários para a produção;
- Compras – fazem os pedidos de orçamentação e posterior encomenda da matéria-prima e componentes necessários para a construção do molde;
- Gabinete técnico – são responsáveis por planear toda a organização dos trabalhos em produção, tendo como referência os prazos definidos pela gestão de projeto;
- Produção – são responsáveis por preparar e realizar a montagem de todos os componentes de um molde. O processo produtivo inicia-se no gabinete CAD/CAM, onde são realizados os programas CNC e é preparada toda a informação necessária para introduzir nas máquinas. Numa fase posterior é realizada a maquinação dos componentes e numa fase posterior é realizado o ajustamento e montagem dos componentes;
- Qualidade – é responsável por elaborar a hierarquia da empresa, gerir as necessidades de ações de formação, gerir necessidades de calibração de equipamentos de medição, registar as não conformidades existentes e a preparação da empresa para auditorias.

4.3 Introdução ao projeto objeto de estudo

O produto final do projeto de molde que foi objeto de estudo ao longo do estágio curricular é um painel polimérico interior de um Pilar C para a indústria automóvel.

4.3.1 Local de aplicação do produto no automóvel

Um automóvel, tal como qualquer equipamento, é composto por uma estrutura, que pode essa ser necessária para tornar o equipamento funcional e/ou também para garantir a segurança durante o funcionamento do mesmo. Os pilares de um automóvel fazem parte da zona estrutural/chassi, onde estes são responsáveis por garantir a ligação entre o teto do automóvel e o restante chassi, além dessa função, são um elemento de segurança do veículo, uma vez que estes devem ter resistência mecânica suficiente, dentro das normas existentes, para absorver as forças a que o veículo possa estar sujeito em caso de acidente de forma a evitar o risco para os ocupantes do automóvel. Devido à variedade de conceitos de construção de automóveis existentes no mercado, existem nomenclaturas para a identificação dos pilares de um

automóvel independentemente do modelo e marca do mesmo. A identificação dos pilares é semelhante à demonstrada na Figura 69.

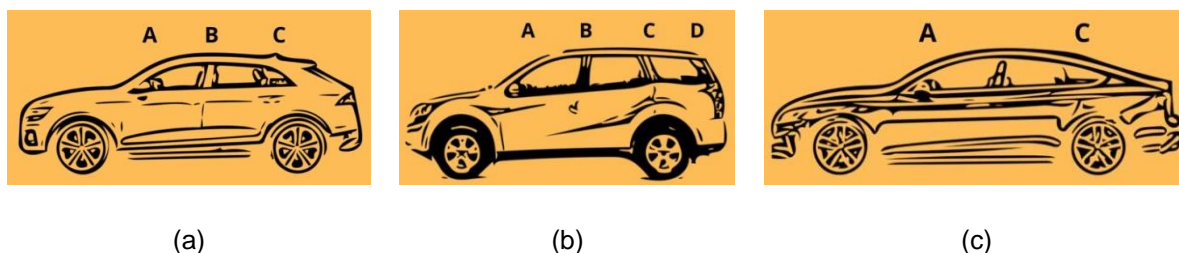


Figura 69 - Exemplos de identificação dos pilares dependendo da carroçaria do automóvel (BasicAutomotives, 2023): (a) – duas janelas laterais; (b) – três janelas laterais; (c) – janela lateral sem separação.

Como se pode verificar na Figura 69, a identificação dos pilares é realizada por ordem alfabética da frente para a traseira do veículo. A identificação inicia pelo pilar A, que está sempre posicionado na zona frontal do automóvel/para-brisas. O pilar C, está sempre posicionado após o compartimento de passageiros. Além dos que já foram referidos, que estão presentes em qualquer conceito de construção de automóvel à exceção dos *cabriolets*, existem os pilares B e D. O pilar B habitualmente é posicionado na zona central do compartimento de passageiros. Em alguns casos especiais (por exemplo, o das limusines), o veículo pode ter mais do que um pilar B, passando estes a designar-se por B1, B2, etc... O pilar D é aplicado em SUV's e carrinhas de passageiros, e é o pilar mais recuado do veículo (Cars.com, 2023). Como foi referido no início do capítulo 4.3, o produto para o qual foi concebido o molde é uma peça polimérica interior que tem como função revestir a construção metálica do pilar C do automóvel.

4.3.2 Características pretendidas para o produto

Quando o cliente do molde em estudo solicitou orçamento para o fabrico da ferramenta, o mesmo forneceu um caderno de encargos onde se encontram descritos os requisitos pretendidos para a construção do molde e também nos indicou as especificações principais pretendidas para a peça polimérica e para o molde, que são as seguintes:

- Material polimérico: ABS;
- Acabamento: textura técnica para posterior laminagem/colagem de pele sobre a peça;
- Molde com duas zonas moldantes, para peça direita e esquerda;
- Sistema de injeção com bicos valvulados;
- Ataques de injeção à peça em banana;
- Extração com acionamento por cilindros hidráulicos.

Além das especificações gerais, também foi fornecido o modelo 3D da peça para efeito de orçamento, demonstrada na Figura 70.

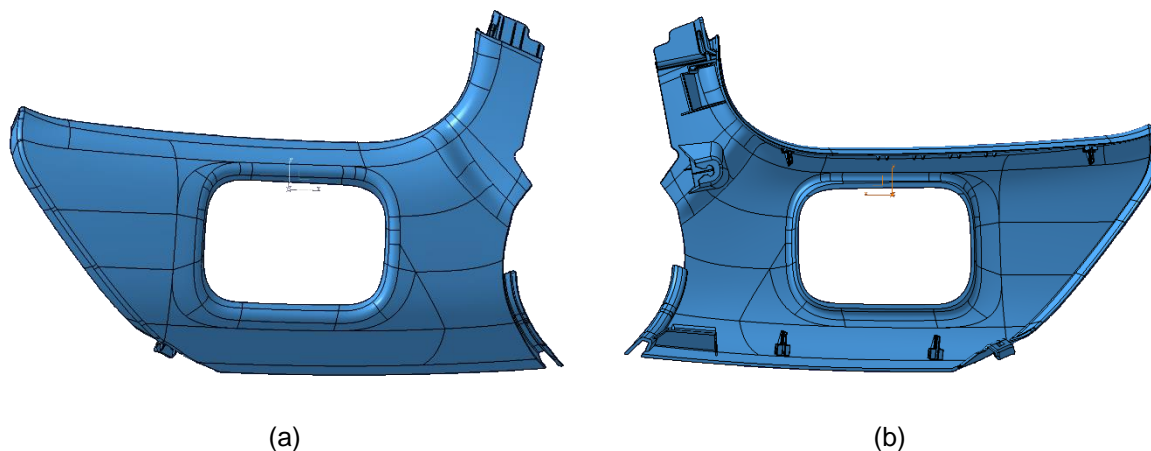


Figura 70 - Modelo 3D da peça polimérica fornecida pelo cliente: (a) – zona visível; (b) – zona não visível.

Durante a fase de orçamento do molde, a equipa de orçamentação realiza um esboço de acordo com as especificações pretendidas pelo cliente para prever as dimensões do aço, mecanismos de extração e sistema de injeção. Os esboços realizados, apresentados na Figura 71 e na Figura 72, dão o apoio necessário ao orçamentista para definir o preço do molde a pagar pelo cliente.

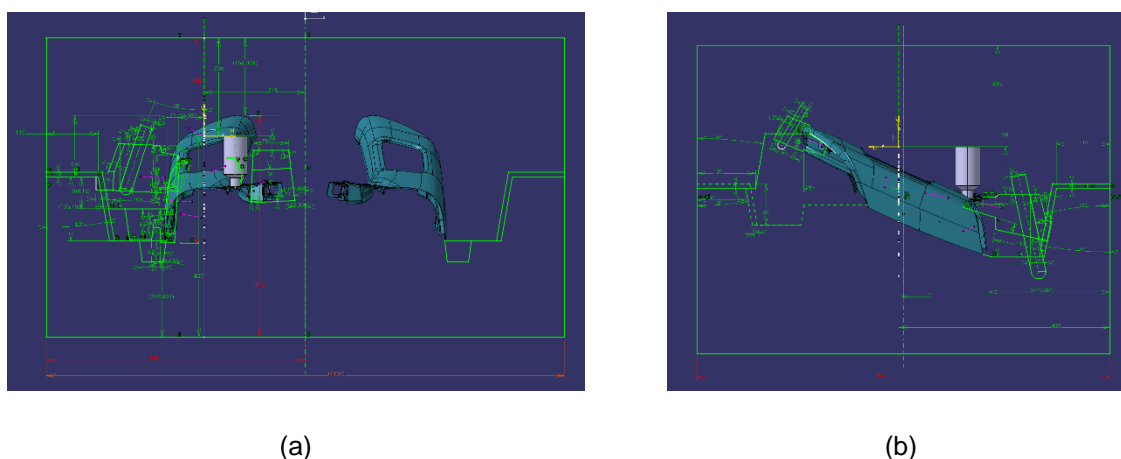


Figura 71 - Esboços realizados para efeito de orçamentação: (a) – dimensões de aço na vista frontal; (b) – dimensões de aço na vista lateral.

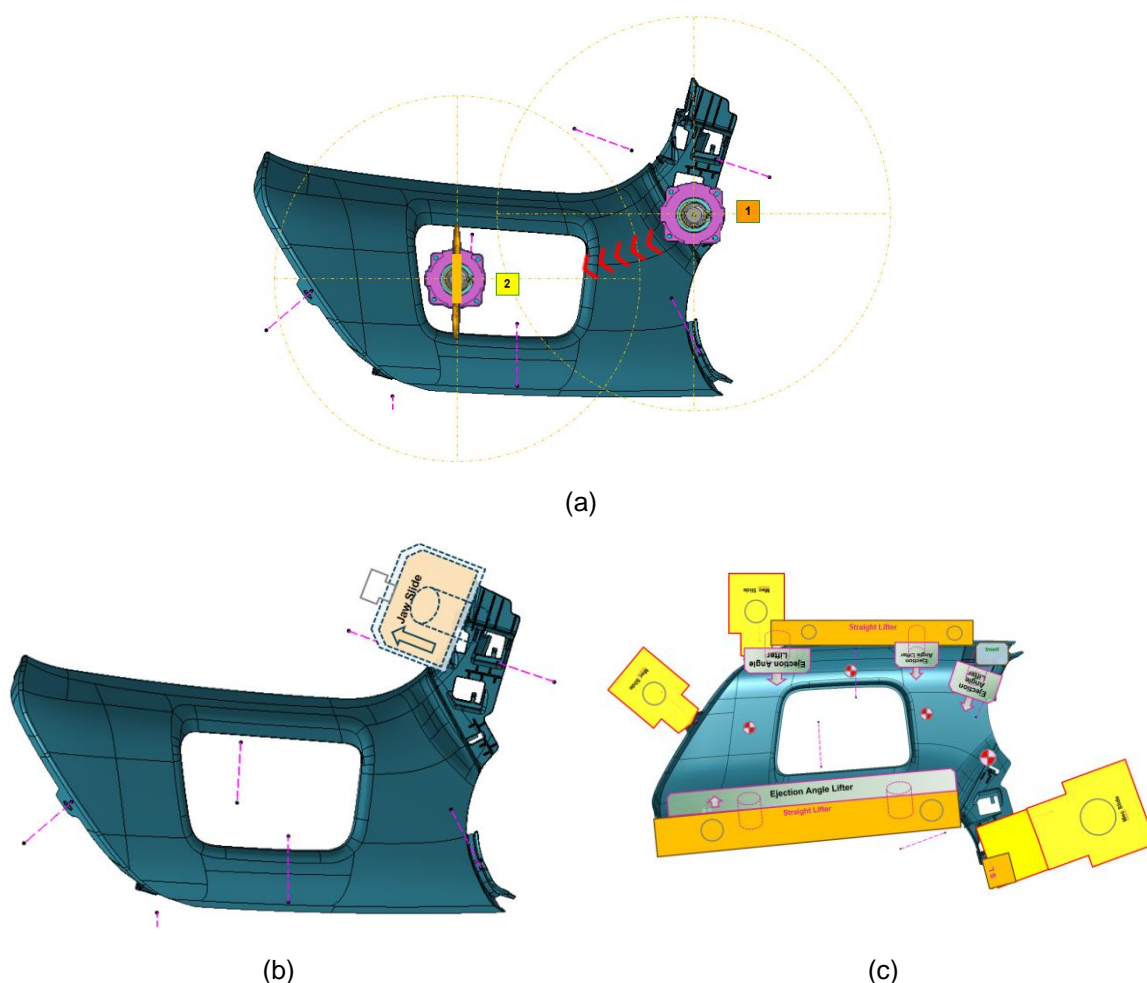


Figura 72 - Esboços realizados para efeito de orçamentação: (a) – previsão da quantidade de ataques de injeção; (b) – mecanismos de extração na cavidade; (c) – mecanismos de extração no macho.

4.4 Informação necessária para iniciar o projeto do molde

A adjudicação do cliente dá início ao projeto do molde, contudo, para que se possa iniciar o projeto é necessário que o departamento de projeto tenha em sua posse toda a informação sobre o material polimérico que o cliente pretende injetar, a máquina de injeção onde o cliente pretende utilizar a ferramenta e o modelo 3D da peça. O gestor de projeto é o responsável por garantir que todas essas informações estão na posse do projetista do molde na fase inicial do projeto.

4.4.1 Material polimérico

O material polimérico que se pretende injetar no molde condiciona vários fatores, que devem ser considerados na fase de projeto, que são os seguintes:

- **Dimensões de peça** – influenciado pela contração do material, como referido no capítulo 2.2.1;

- **Dilatação térmica do molde** – a temperatura de funcionamento do molde irá ter influência na dilatação térmica do mesmo, logo à partida, a temperatura de funcionamento é determinada através da ficha técnica do material, que indica a temperatura de processamento ideal. Com essa informação, o projetista pode avançar para o cálculo das dilatações do molde e atribuir as folgas necessárias de modo a evitar falhas mecânicas que possam surgir devido à variação das dimensões dos componentes da ferramenta;
- **Ângulos de saída** – influenciado pela dureza do material, uma vez que os esforços de desmoldagem variam de material para material, como referido no capítulo 2.2.2;

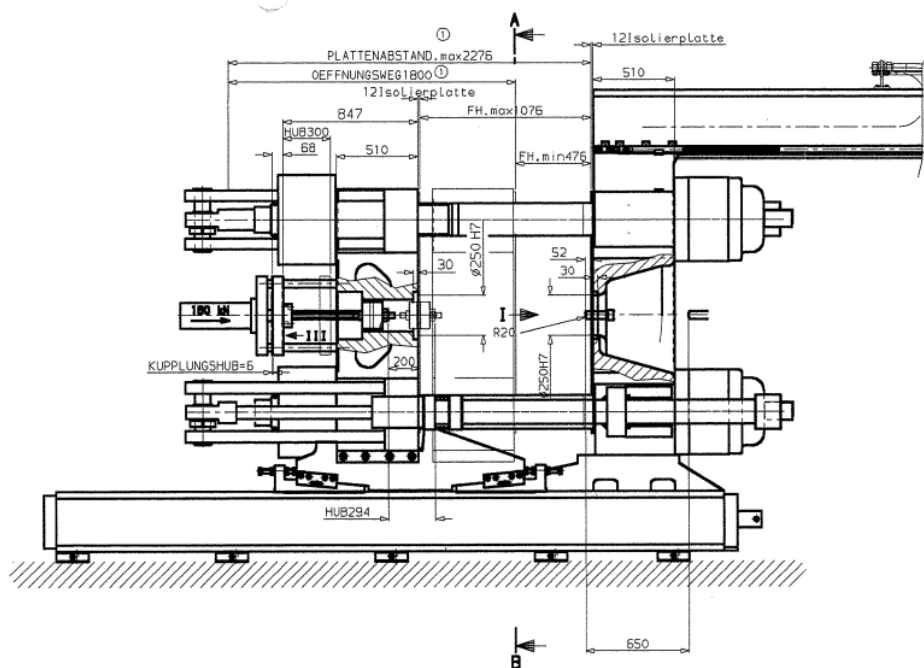
No projeto em estudo, o cliente indicou-nos que o material polimérico que pretende para a peça é um ABS, com a referência comercial, INEOS NOVODUR H605. De acordo com a ficha técnica do material, que se encontra em anexo neste documento, a temperatura do molde aconselhada para o processo é de 60 °C a 80 °C e a contração que irá ser adotada é de 0,6 %.

4.4.2 Máquina de injeção

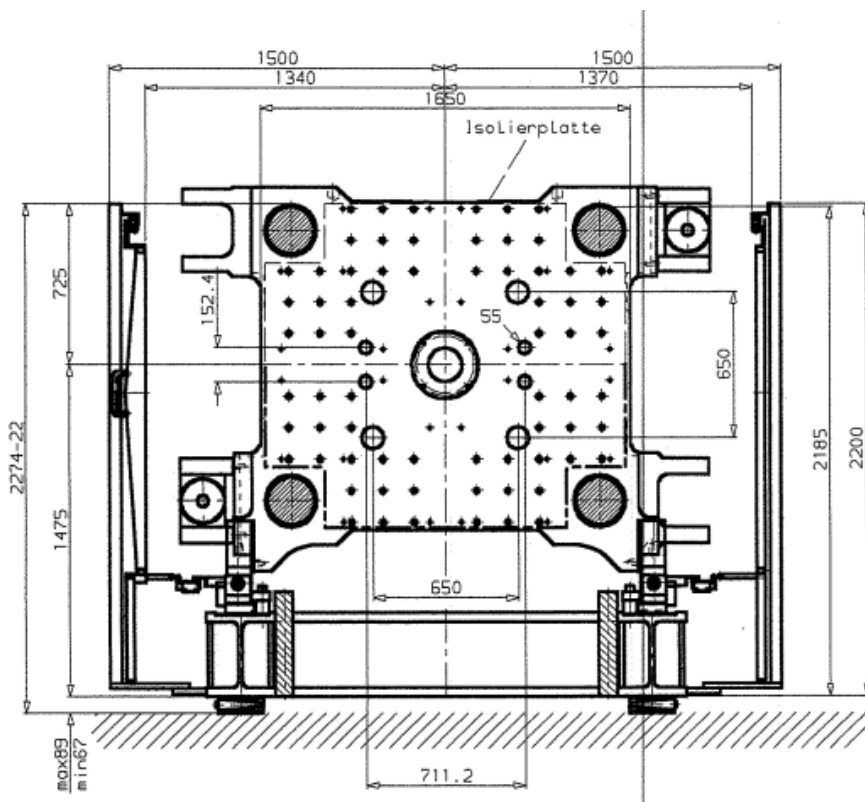
O conhecimento das especificações da máquina de injeção no qual a ferramenta irá funcionar é fundamental, uma vez que o molde deve ser projetado de acordo com as dimensões e o equipamento da máquina. Para o projeto do molde em estudo, as especificações necessárias sobre a máquina de injeção são as seguintes:

- Capacidade da força de fecho;
- Dimensões dos pratos;
- Distância entre colunas, fundamental para definir as dimensões máximas do molde;
- Espessura mínima e máxima do molde suportada pela máquina;
- Peso máximo do molde;
- Dimensões das anilhas de centragem;
- Distância de abertura máxima da máquina;
- Dimensões dos componentes da unidade injetora que irão ter contato com o molde;
- Quantidade de circuitos de água disponíveis no prato fixo e no prato móvel;
- Quantidade de zonas de aquecimento disponíveis, importante para verificar a quantidade de resistências elétricas que podem ser aplicadas;
- Quantidade de electroválvulas disponíveis, para o controlo das válvulas dos bicos de injeção;
- Pressão hidráulica máxima disponível;

O molde irá produzir peças poliméricas numa ENGEL ES800 DUO, com as características apresentadas na Figura 73.



(a)



(b)

Figura 73 - Especificações da máquina de injeção do cliente: (a) – vista lateral da máquina; (b) – vista do prato móvel.

4.4.3 Modelo 3D da peça polimérica

O modelo 3D da peça polimérica é inquestionavelmente o requisito obrigatório para se dar início ao projeto do molde. Normalmente, os clientes enviam um modelo 3D da peça polimérica para o pedido de orçamento do molde, contudo, muitas das vezes a peça que é fornecida inicialmente ainda está em fase de desenvolvimento pelas equipas de engenharia de peça do nosso cliente, logo esse modelo não é adequado para se iniciar o projeto da ferramenta, após o pedido de encomenda do molde pelo cliente.

Após a encomenda, o gestor de projeto deve estabelecer uma data-limite que deve ser cumprida pelo cliente para a entrega do modelo 3D à nossa empresa, caso contrário a data de entrega do molde ao cliente final terá de ser reconsiderada novamente. A tarefa inicial do departamento de projeto em conjunto com o gestor de projeto quando se recebe a modelação da peça polimérica, é analisar se o modelo está concebível para o fabrico do molde. Apesar de durante a análise de peça na fase de orçamento já se ter realizado uma filtragem das zonas que deviam ser alvo de melhoria, o normal é realizar novamente uma análise, mas de forma mais pormenorizada. Os pontos principais que devem ser verificados são os seguintes:

- A geometria da peça permite realizar o enchimento total da peça?
- É possível realizar a separação macho-cavidade?
- Peça com contra saídas? Se sim, são possíveis de desmoldar com recurso a mecanismo(s) de extração?
- Espessura da peça aproximadamente uniforme?
- A peça tem ângulos de saída suficientes para evitar esforços de desmoldagem elevados e deformações na peça durante a extração?
- Peça com textura? Se sim, as superfícies alvo de textura têm ângulo de saída suficiente para desmoldagem isenta de raspados na textura?

É nessa fase que se devem detetar todas as alterações necessárias no modelo para permitir a factibilidade da ferramenta. Depois de realizadas todas essas análises, o gestor de projeto deverá alertar o cliente das zonas críticas existentes na peça e as consequências que poderão surgir, de seguida deverá também apresentar as propostas de melhoria à peça ao cliente, para garantir o funcionamento ideal do molde.

No projeto do molde em estudo, após a receção do modelo 3D, a análise referida no parágrafo anterior também foi realizada. Foi detetado que existiam alguns frisos que não permitiam a desmoldagem devido a contra saída originada pela sua geometria, e também alguns locais da peça em que iria haver dificuldade em projetar corretamente a superfície de vedação entre cavidade e macho. Algumas das zonas que foram alvo de alerta e conseqüente pedido de alteração ao cliente podem ser consultadas na Figura 74.

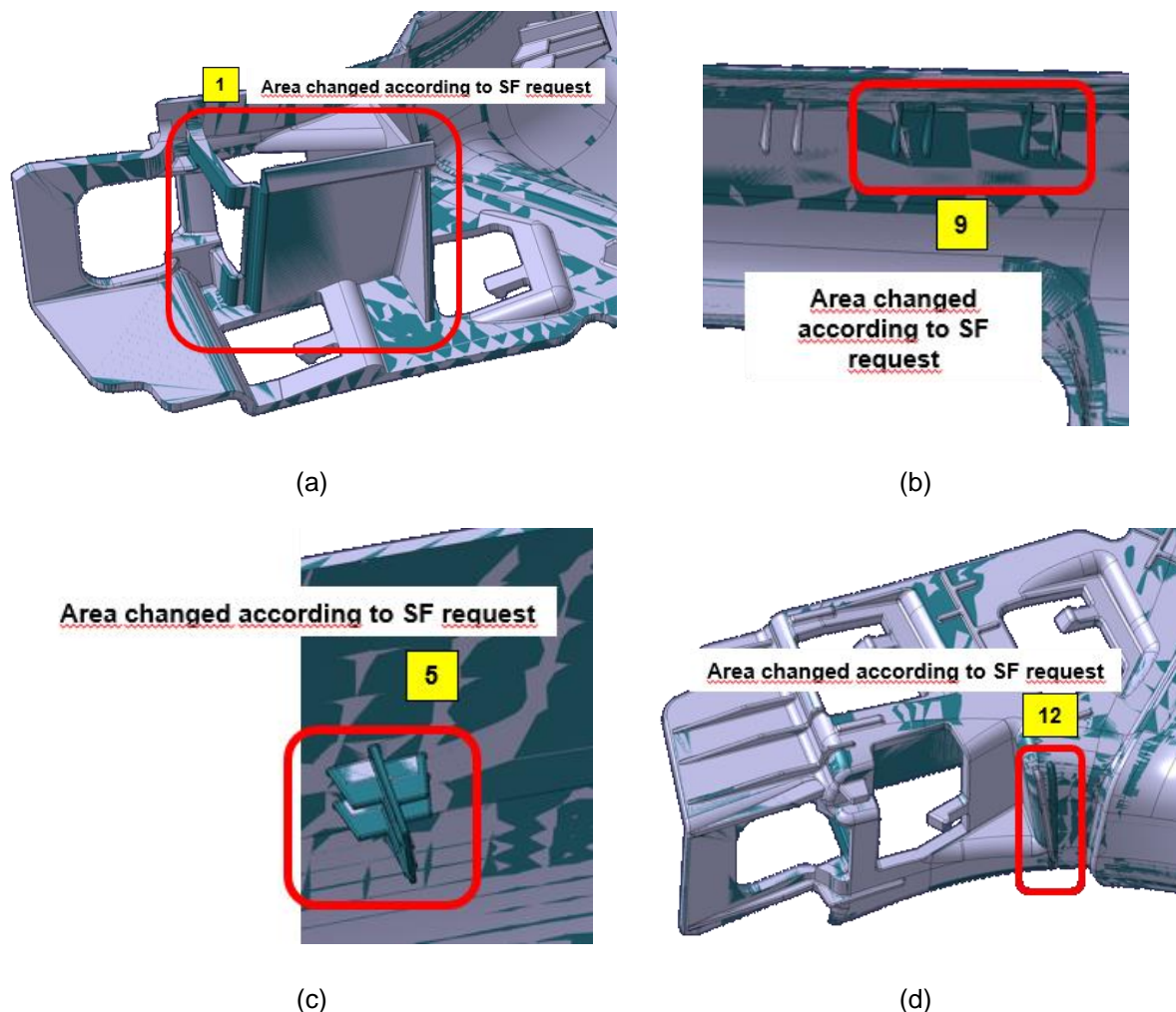


Figura 74 - Pedidos de alteração de peça após a análise realizada pela equipa de projeto: (a) – geometria não permite realizar a vedação entre macho e cavidade com a inclinação de segurança para moldes de trabalho a quente; (b) – dificuldades de extração provocadas pela elevada quantidade de frisos nessa zona; (c) e (d) – frisos com contra saída.

4.5 Evolução do projeto do molde

Quando todas as informações descritas no capítulo 4.4 ficaram disponíveis para o departamento de projeto, encontraram-se reunidas todas as condições para a elaboração do projeto do molde.

4.5.1 Estudo reológico

Em conjunto com o início do projeto do molde, o departamento de reologia começa por desenvolver a solução de injeção da peça polimérica, é nesta fase que se estuda a posição dos pontos de injeção, a geometria dos ataques à peça, a força de fecho a aplicar no molde durante a fase injeção e compactação, a pressão de injeção que a máquina de injeção precisa de exercer e se verifica se existem possíveis problemas de enchimento. Para a realização do estudo reológico, é fundamental ter o

conhecimento de todas as informações referidas no capítulo 4.4. Também é importante que o cliente forneça a informação das zonas visíveis e não visíveis da peça, essa informação condiciona a forma de injetar a peça, uma vez que, as linhas de união de material polimérico devem ser evitadas ao máximo em zonas visíveis da peça polimérica. Na fase inicial do estudo reológico realizado para o projeto da ferramenta em estudo foram equacionadas duas soluções possíveis para a injeção, designadas de solução A e solução B, apresentadas na Figura 75.

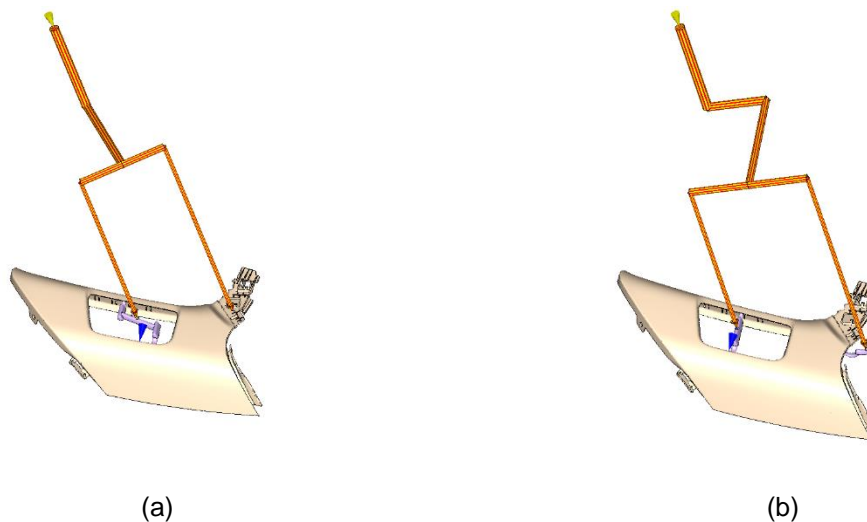
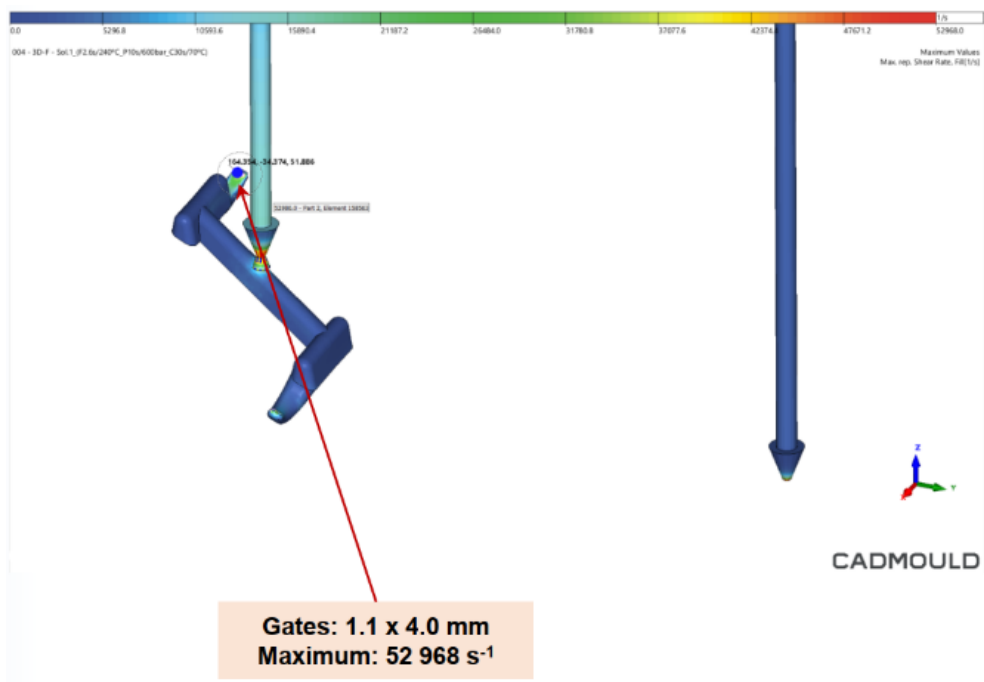


Figura 75 - Soluções equacionadas para realizar a injeção da peça: (a) – solução A; (b) – solução B.

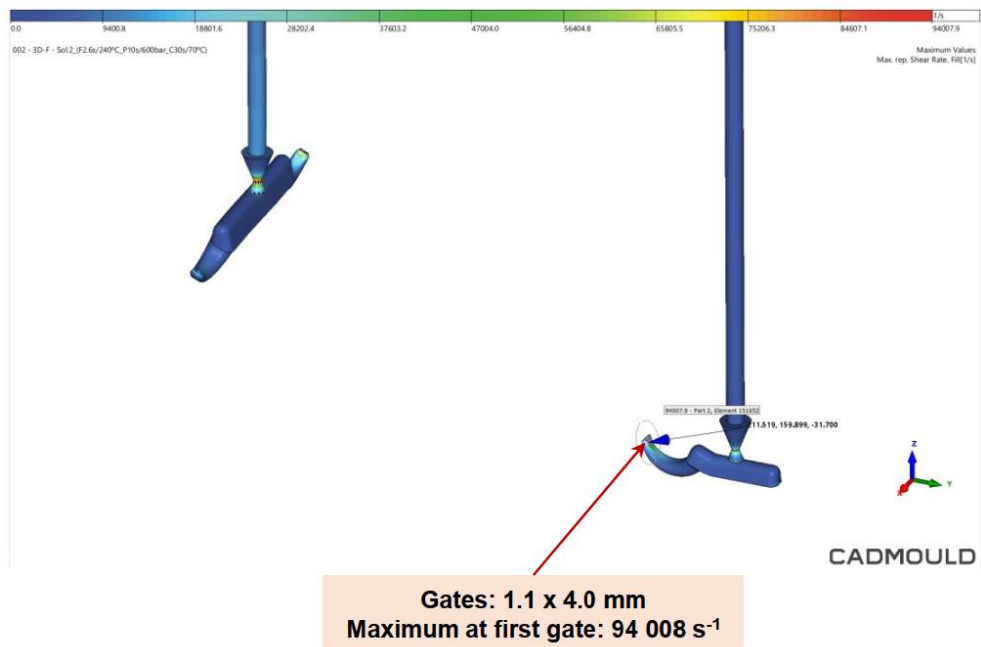
A solução A e a solução B são diferentes quanto à forma dos ataques à peça. A solução A, tem dois ataques em banana e um bico direto à peça, enquanto a solução B utiliza três ataques em banana. Os resultados obtidos para as soluções apresentadas anteriormente são muito semelhantes, à exceção da taxa de corte, contração volumétrica e empeno. Tendo como base esses resultados para a decisão de qual das soluções adotar para o molde, foi feita uma análise comparativa.

O resultado obtido para a taxa de corte que melhor se adequa ao material a injetar é o da solução A, uma vez que é a que apresenta um valor mais próximo do máximo recomendado para ABS, 50000 s^{-1} . Como se pode verificar na Figura 76, o valor da taxa de corte obtido para a solução B é muito superior ao recomendado. O aumento da taxa de corte provoca o aumento de temperatura do material polimérico, logo para uma taxa de corte acima do recomendado estamos a correr o risco de provocar, com maior facilidade, a degradação do material durante a injeção devido à elevada temperatura que este atinge. A degradação do material, neste caso do ABS, transforma-o num material rígido, ficando este sem capacidade de elasticidade. Nessas condições, a peça polimérica não irá ter as propriedades mecânicas pretendidas pelo cliente, uma vez que essas foram perdidas devido à degradação do material polimérico. O processo de extração da peça do molde também é dificultado,

em virtude das peças ficarem facilmente danificadas pelo esforço realizado durante o movimento de extração, devido à diminuição substancial da flexibilidade do material.



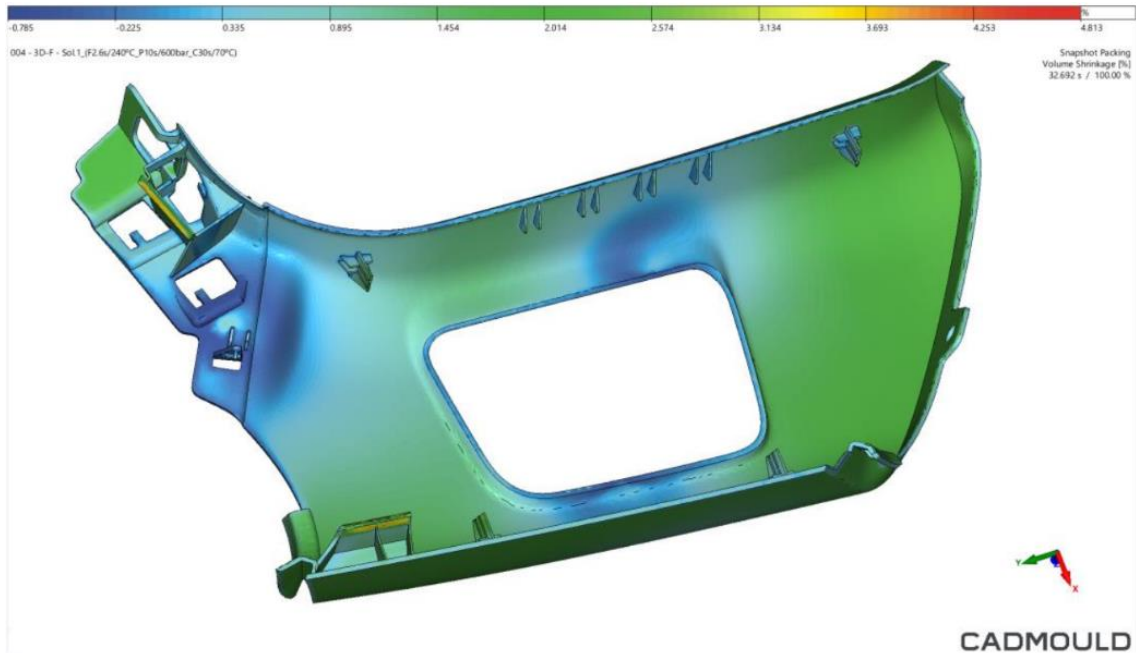
(a)



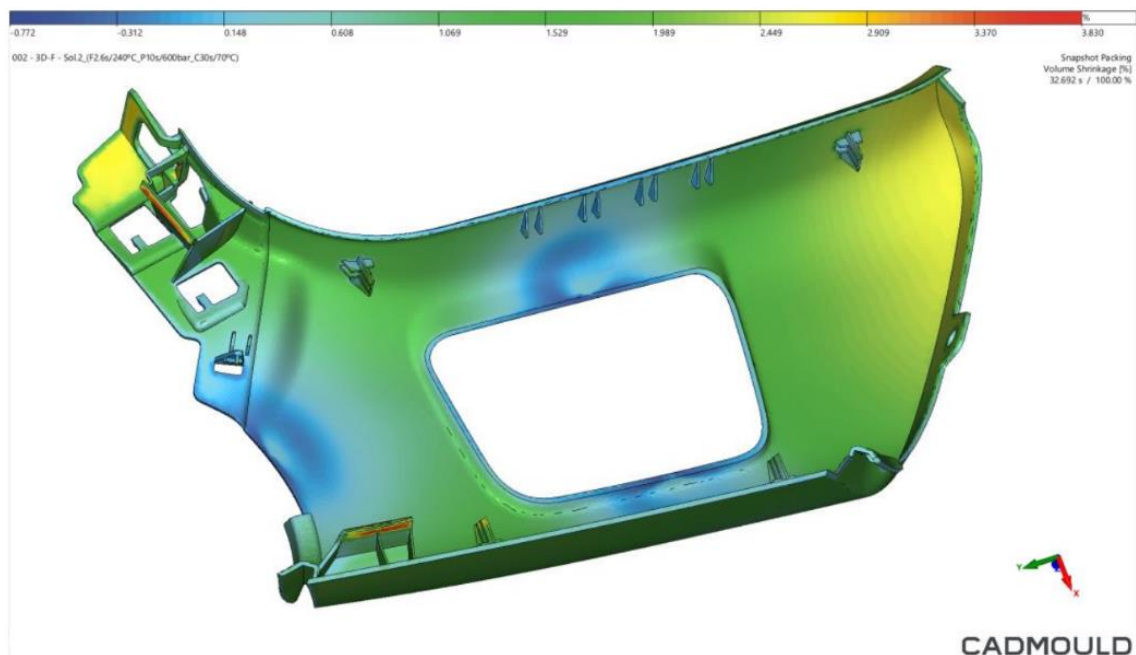
(b)

Figura 76 - Resultados obtidos para a taxa de corte: (a) – solução A; (b) – solução B.

Os resultados da contração volumétrica obtidos para as duas soluções mostram-nos novamente que a solução A é a que apresenta melhores resultados. Apesar do valor máximo obtido ser superior ao da solução B, a contração volumétrica ao longo de toda a peça é mais uniforme do que o obtido nos resultados da solução B, como se pode ver na Figura 77, logo no geral a peça irá ter um comportamento dimensional mais estável após o seu arrefecimento quando se compara à solução B.



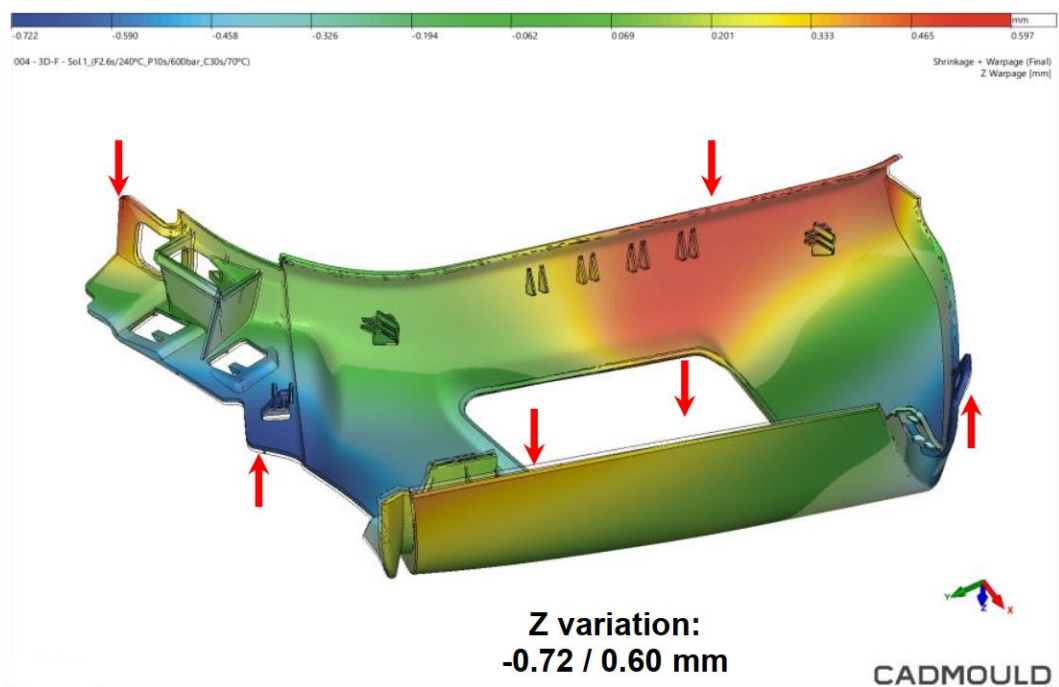
(a)



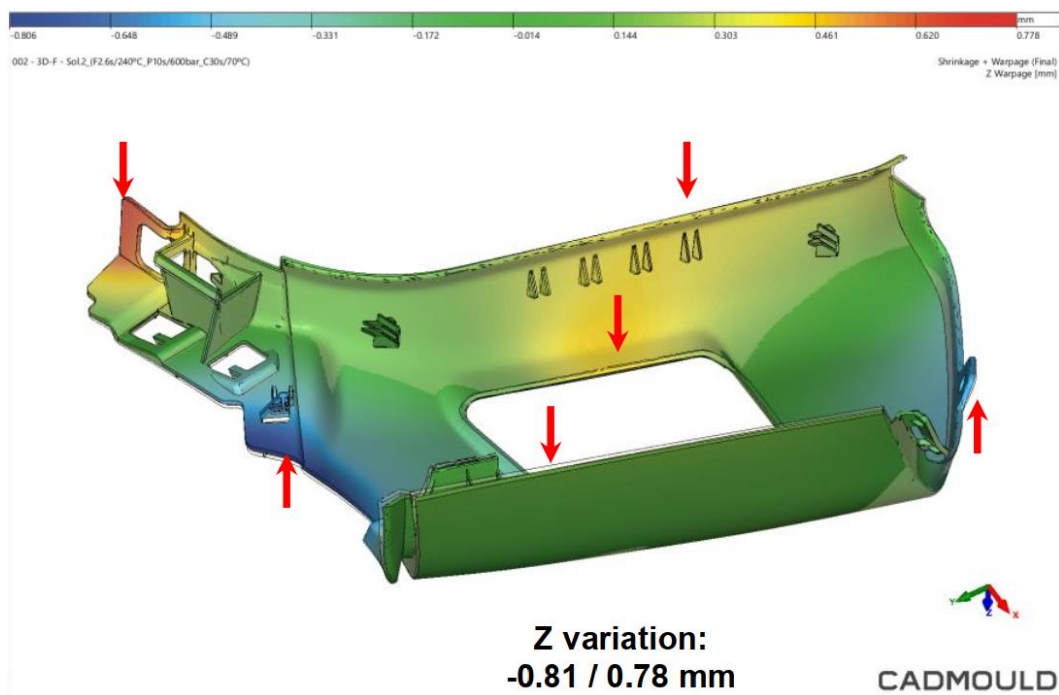
(b)

Figura 77 - Resultados obtidos para a contração volumétrica: (a) – solução A; (b) – solução B.

Da mesma forma, como nos resultados analisados anteriormente, os resultados obtidos para a solução A são melhores, este conceito apresenta um menor empeno. As diferenças obtidas no empeno entre as duas soluções e as diferenças que foram obtidas nos resultados da contração volumétrica acabam por se justificar mutuamente, uma vez que, a uniformidade da contração obtida na solução A traduz num menor empeno da peça em relação à solução B.



(a)



(b)

Figura 78 - Resultados obtidos para o empeno, na direção do eixo Z: (a) – solução A; (b) – solução B.

Após a análise de todos os resultados, a solução escolhida para adotar no projeto do molde em estudo foi a solução A. O motivo para os melhores resultados da solução A é a utilização de um bico direto em deterioramento de banana da solução B. Embora o cliente tenha pedido a utilização de injeção em banana, pode-se utilizar o bico direto, visto que a posição onde irá ser aplicado não tem impacto na zona visível da peça polimérica. A utilização do bico direto à peça permite a redução da pressão de injeção máxima e permite que a solidificação do material polimérico seja mais lenta em relação ao ataque em banana, logo permite injetar maior quantidade de material. Além de apresentar melhores resultados, esta solução torna-se mais viável para os custos do molde, uma vez que, sendo um dos ataques realizado diretamente pelo bico de injeção, é evitada a necessidade de se aplicar mais um postigo para a injeção com banana.

4.5.2 Definição das superfícies de junta e dimensões de aço da cavidade e macho

Inicialmente, o desenhador projetista teve de preparar toda a superfície de junta, que será a superfície utilizada para realizar a separação cavidade-macho. Esta operação consiste em criar uma superfície numa zona intermédia da peça, como apresentado na Figura 79, que permita a abertura do molde sem danificar a peça. Durante este processo, o projetista deve ter o cuidado de criar uma superfície que não origine arestas afiadas no aço da cavidade e/ou do macho, de modo que essas, por sua vez, não originem pontos de fragilidade, e que esses pontos futuramente possam quebrar e conseqüentemente provocar a formação de rebarba na peça polimérica. A definição da superfície de junta terá um impacto enorme na qualidade dos trabalhos de ajuste da junta e na desmoldagem da peça polimérica.

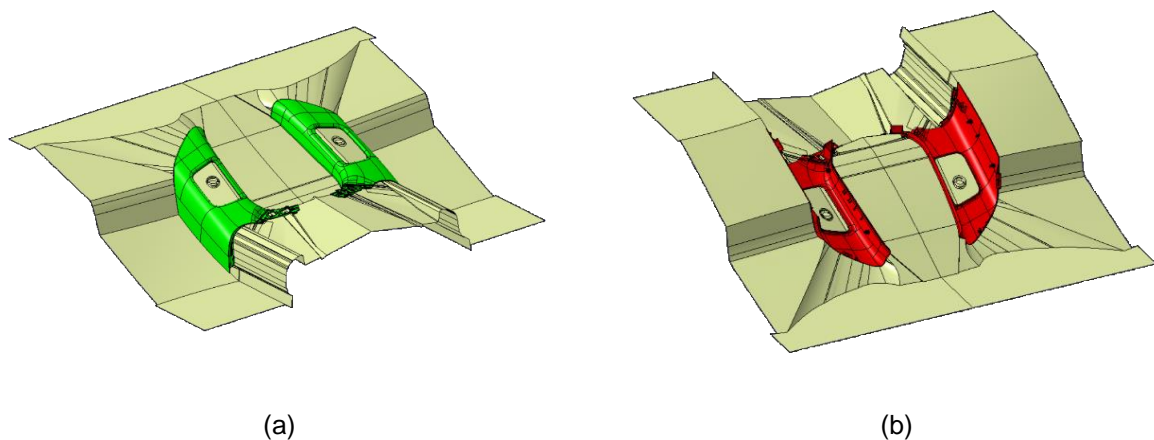
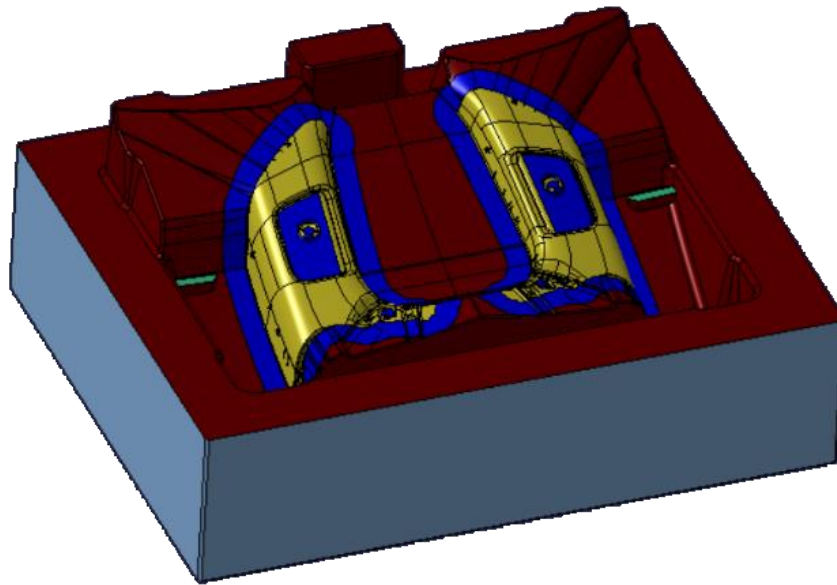
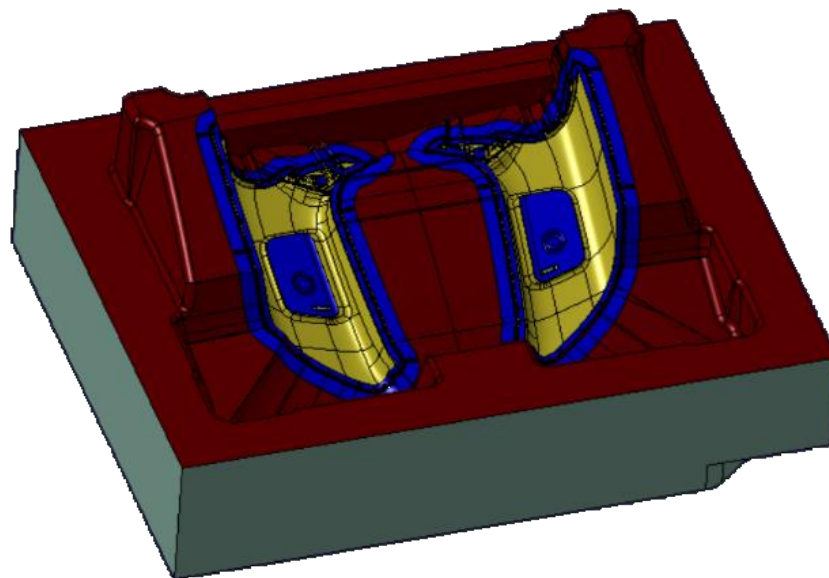


Figura 79 - Definição da superfície de junta: (a) – superfície de junta da cavidade; (b) – superfície de junta do macho.

Após definir toda a superfície de junta da peça, pode-se realizar a separação de macho e cavidade do molde, como representado na Figura 80, e de seguida, definir as dimensões do aço dos blocos.



(a)



(b)

Figura 80 - Separação do macho e cavidade: (a) – bloco do macho; (b) – bloco da cavidade.

4.5.3 Definição de posições e elementos de extração

O passo seguinte à definição da superfície de junta é desenvolver todos os posições e mecanismos de extração necessários para permitir e/ou melhorar o enchimento do polimérico e a remoção da peça. Nesta fase, o projetista deve seguir o preliminar de projeto realizado no momento da análise inicial da peça após a receção do modelo 3D a considerar para o projeto do molde. Durante o desenvolvimento dos posições e elementos de extração, o desenhador deverá ter o cuidado de projetar os componentes com aço suficiente para aplicar as fixações de montagem com o molde e com outros elementos de acionamento (guias, veios, parafusos, ...) respetivamente, e também assegurar a resistência mecânica necessária para que estes tenham fiabilidade durante o funcionamento da ferramenta. É também durante este processo que se fazem as primeiras simulações da cinemática dos elementos de extração, de modo a prever se existem colisões durante e após o acionamento da extração. Na Figura 81 podem-se observar os posições e os elementos de extração após o seu desenvolvimento e a simulação cinemática que é realizada nesta fase.

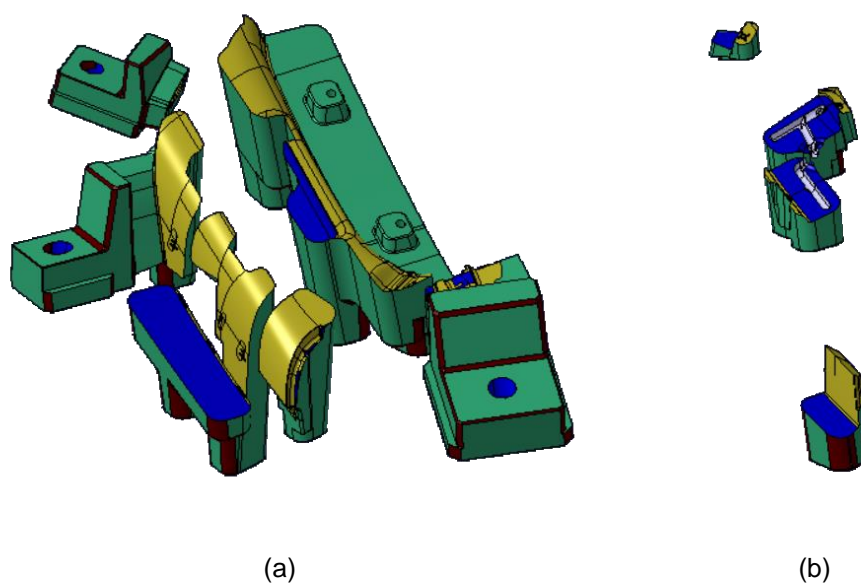
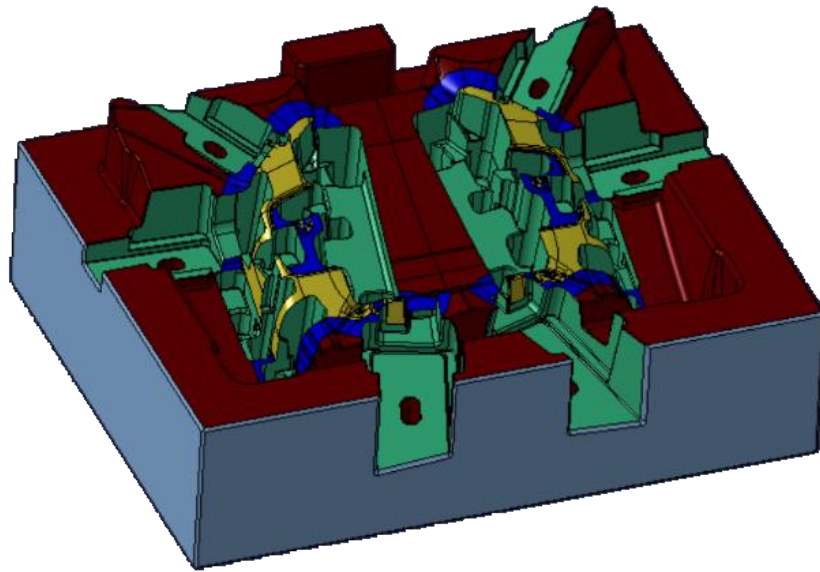
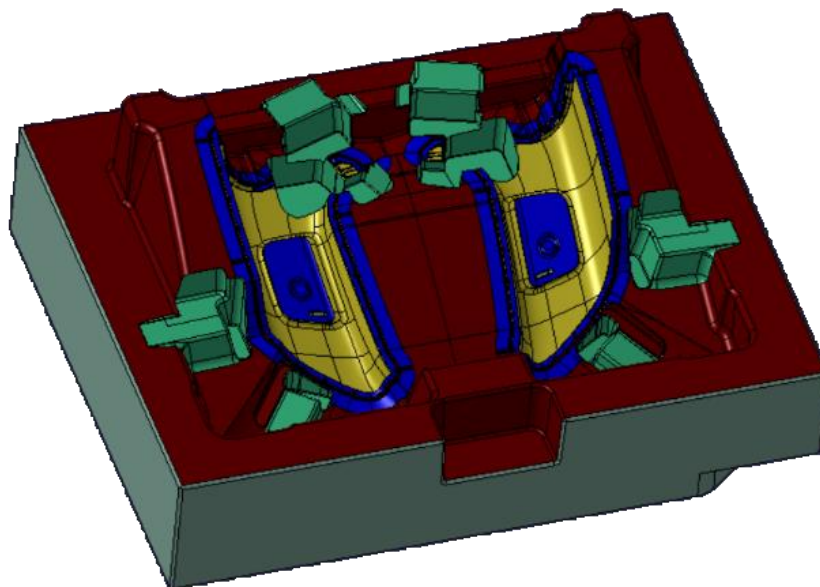


Figura 81 - Elementos de extração e posições desenvolvidos para o molde do projeto em estudo: (a) – elementos de extração; (b) – posições.

Depois de desenvolvidos todos os elementos referidos no parágrafo anterior, o projetista deverá criar os alojamentos para todos estes elementos no macho e na cavidade do molde como se pode ver na Figura 82.



(a)



(b)

Figura 82 - Alojamentos para posições e elementos de extração: (a) – bloco do macho; (b) – bloco da cavidade.

4.5.4 Desenvolvimento dos mecanismos e aplicação de acessórios e componentes no molde

Após a definição da superfície de junta, posições e elementos de extração, o desenhador projetista inicia o desenvolvimento do funcionamento mecânico. Esse trabalho foi iniciado durante a definição dos elementos de extração, uma vez que, nesse momento, já foi necessário imaginar o seu funcionamento, mas é durante esta fase que se irá verificar o espaço necessário para cada mecanismo. Além do espaço necessário para o sistema de extração, também se deve estimar o aço necessário para a montagem do sistema de injeção, de forma a garantir a resistência mecânica necessária nas placas moldantes, de modo a evitar a sua deflexão. Tal como é necessário verificar o espaço necessário para alojar os sistemas do molde, também é igualmente ou mais importante verificar se as dimensões e o peso do molde estão projetados de acordo com a máquina de injeção.

Nesta fase de evolução do projeto, o departamento de projeto inicia os contactos com o fornecedor do sistema de injeção para o molde. Inicialmente o projetista fornece a informação quanto ao tipo de bico, ligações elétricas, ligações hidráulicas, atuadores, e também das posições e dimensões dos bicos que são pretendidos, tendo como base o caderno de encargos do cliente do molde e o estudo reológico abordado no capítulo 4.5.1. Durante o avanço do projeto da ferramenta, o fabricante do sistema de injeção fornece o primeiro layout do sistema, para que o departamento de projeto verifique o impacto da estrutura do sistema de injeção na estrutura do molde, após essa verificação seguem-se algumas iterações de otimização do sistema até que seja obtido um compromisso entre o funcionamento e a robustez de ambas as estruturas, como se pode consultar na Figura 83.

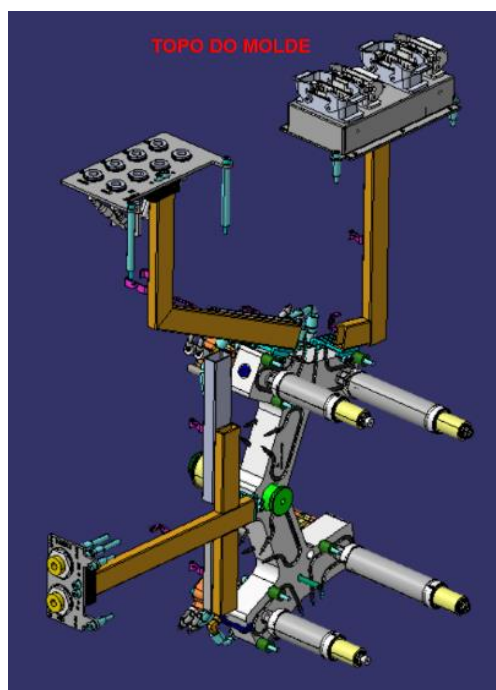
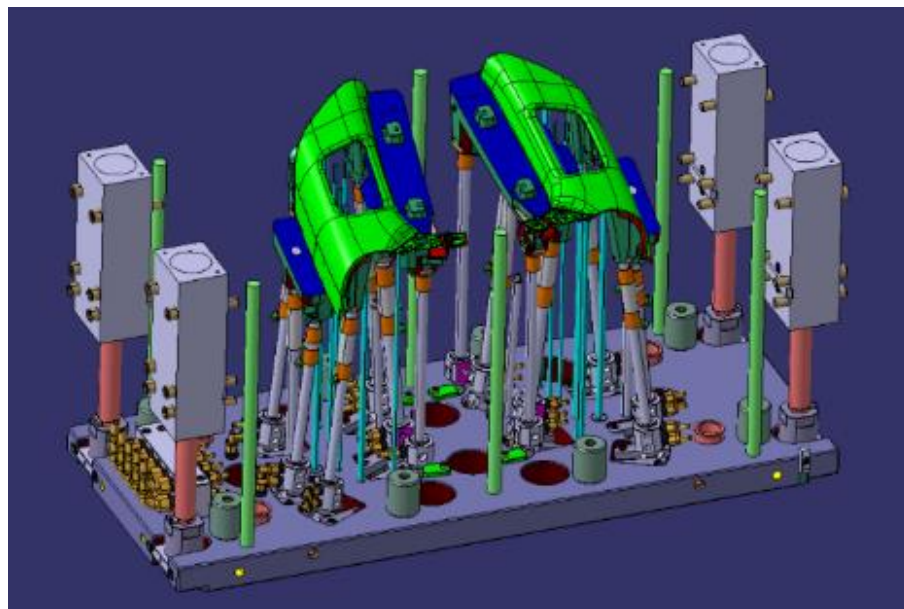
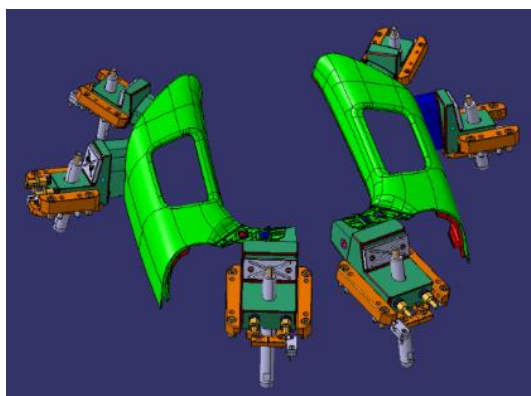


Figura 83 - Sistema de injeção aplicado no molde.

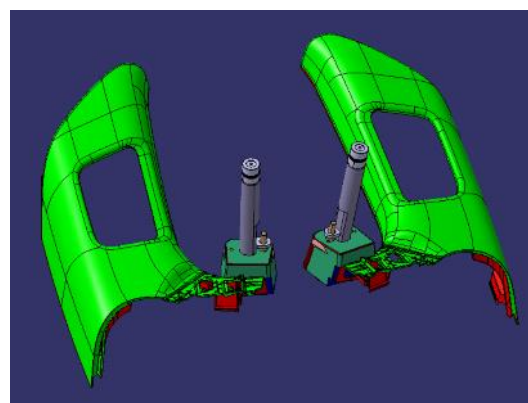
Em simultâneo com o desenvolvimento do sistema de injeção, o departamento de projeto inicia a seleção e montagem dos componentes de extração necessários, como demonstrado na Figura 84, de forma a garantir a extração da peça polimérica e o funcionamento da ferramenta, seguindo o caderno de encargos do cliente.



(a)



(b)



(c)

Figura 84 - Sistema de extração de peça do molde em estudo: (a) – mecanismos acionados pela placa de extração, após a abertura do molde; (b) – movimentos mecânicos acionados durante a abertura do molde, localizados na placa do macho; (c) – levantadores acionados por mola a gás durante a abertura da ferramenta, localizados na placa da cavidade.

Concluída a montagem do sistema de extração, começam a ser definidas as posições dos pilares de suporte entre o macho e a placa de encosto do lado móvel, como se pode consultar na Figura 85, de forma a adicionar resistência mecânica para evitar a deflexão do macho que pode ocorrer durante o processo de injeção, devido ao espaço vazio existente para a movimentação do sistema de extração. Desse modo, deve-se

verificar o espaço livre existente após a montagem de todo o sistema de extração, para a aplicação dos pilares de suporte. No caso do espaço livre não ser suficiente, o projetista deverá tentar compensar a falta de pilares de suporte com o aumento da espessura da placa do macho.

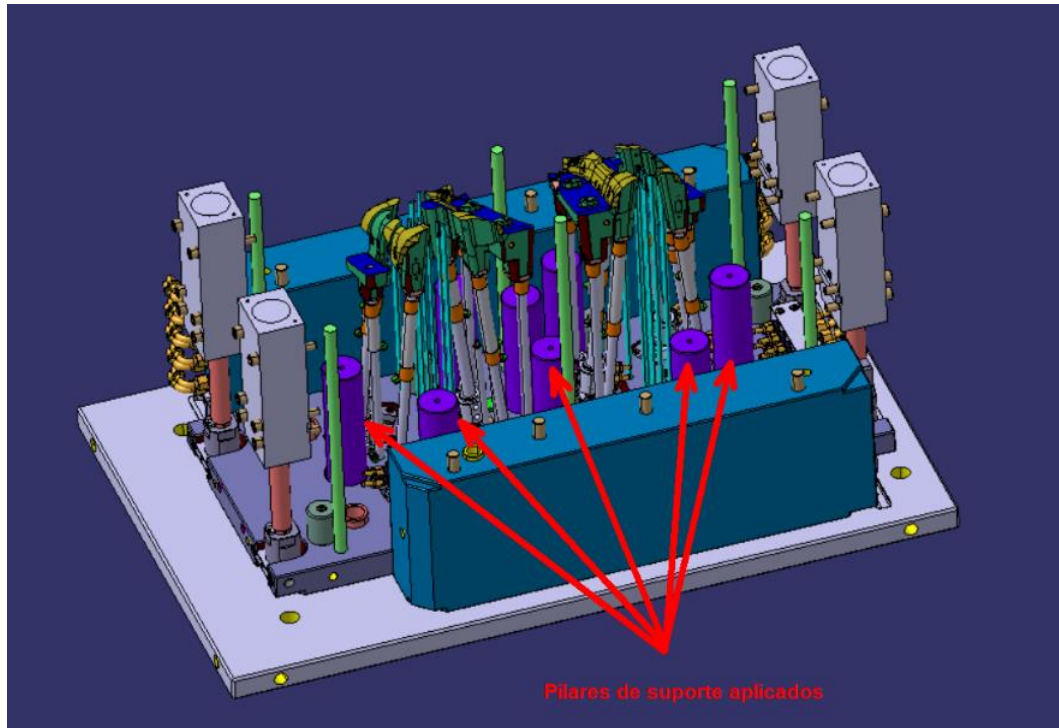


Figura 85 - Pilares de suporte aplicados no molde em estudo.

Após finalizadas as operações referidas nos parágrafos anteriores, e entrando na fase final do projeto do molde, a equipa de projeto inicia o desenvolvimento do sistema de refrigeração e controlo de temperatura do molde. Este sistema deve ser projetado de forma a assegurar o tempo de ciclo de injeção pretendido pelo cliente e a uniformidade da temperatura em toda a área de impressão da ferramenta, que consequentemente deverá permitir obter um acabamento superficial e contração do material uniforme na peça polimérica. Quando o projetista finaliza o conceito do sistema de refrigeração e controlo de temperatura é realizado novamente um estudo reológico para analisar o tempo de arrefecimento necessário para atingir a temperatura de extração da peça com o conceito de controlo de temperatura projetado. Com os resultados desse estudo, pode-se verificar se existem zonas da peça polimérica que necessitem de maior controlo de temperatura, e com isso otimizar o projeto do sistema de refrigeração e controlo de temperatura.

Para finalizar o projeto, uma vez finalizada toda a modelação dos sistemas do molde, o desenhador projetista, irá finalizar toda a montagem exterior do molde e todas as referências e logotipos de identificação exigidos pelo cliente para a peça polimérica. A montagem exterior do molde engloba todos os acessórios que irão conectar com a

máquina de injeção e seus periféricos, como por exemplo, acessórios de conexões dos circuitos de controlo de temperatura, acessórios dos circuitos hidráulicos, limitadores de curso, barras de içamento e de segurança e caixas de ligações elétricas. Resumidamente, durante esta operação, a equipa de projeto aplica as identificações da peça polimérica e os acessórios de ligações e de segurança de acordo com as exigências esclarecidas no caderno de encargos do cliente da ferramenta.

4.6 Revisão do projeto

Uma vez finalizado o projeto mecânico da ferramenta, todos os responsáveis pela área técnica da empresa reúnem para realizar uma análise a todo o projeto do molde.

De um modo geral, na revisão de projeto deve ficar esclarecido de forma clara o conceito de funcionamento da ferramenta. Os responsáveis presentes, também devem analisar se os sistemas do molde foram corretamente projetados e que os mesmos sejam funcionais, e no caso de existirem zonas críticas, estas devem ser identificadas de modo a serem corrigidas e/ou a prever a origem de possíveis problemas durante o funcionamento.

Os conteúdos a abordar na reunião devem de seguir uma sequência de acontecimentos de forma a prever os acontecimentos do antes, durante e após o funcionamento do molde. Desse modo, os intervenientes devem começar por verificar se as dimensões e peso da ferramenta estão de acordo com a máquina de injeção. De seguida, analisa-se o dimensionamento dos pontos de injeção à peça. Posteriormente, o sistema de extração é escrutinado de forma a perceber se este contém elementos de extração suficientes e que permite realizar a desmoldagem de todas as contra saídas existentes de forma equilibrada. Depois de abordado o sistema de extração, os responsáveis verificam se este permite realizar a remoção da peça do molde com robot após o acionamento do sistema de extração. De modo a finalizar a análise ao funcionamento dos sistemas, o sistema de refrigeração e controlo de temperatura é analisado, de modo a clarificar se é possível realizar um controlo de temperatura uniforme da peça polimérica. Durante esta fase final, também se analisa se o molde tem pilares de suporte suficientes de modo a garantir a resistência necessária pela estrutura do molde para evitar a deflexão gerada pela pressão durante o processo de injeção.

Numa fase final da revisão de projeto, os responsáveis pelo fabrico e montagem da ferramenta analisam as dificuldades que podem surgir durante a produção. Perante casos de estratégias de produção demoradas e/ou impossibilidade de fabrico, estes propõem otimizações ao(s) componente(s) de forma a melhorar e/ou possibilitar o processo de fabrico. Quando todos os responsáveis da área técnica da SF Moldes finalizam a revisão do projeto e este seja validado, a modelação 3D do molde deverá

ser apresentada ao cliente para que este verifique se tudo se encontra conforme o pretendido.

4.7 Compras e planeamento para o fabrico do molde

Durante o período de desenvolvimento do projeto do molde, quando já se encontram definidas as dimensões principais da ferramenta, o gabinete de compras inicia os processos de encomenda das matérias-primas, para que no momento em que o projeto seja validado pelo cliente, o aço e outros materiais estejam disponíveis para se iniciarem os trabalhos de maquinação dos componentes o mais rápido possível.

Os restantes elementos e acessórios normalizados são encomendados após a validação do projeto e durante o início do fabrico do molde, para que no momento em que sejam iniciados os trabalhos de bancada, todos os componentes estejam disponíveis. Enquanto se aguarda pela validação formalizada do cliente para avançar para o fabrico da ferramenta, também, o gabinete técnico elabora a estratégia de execução dos processos de fabrico necessários para a construção do molde.

4.8 Fabrico e montagem do molde

Após a aceitação do projeto, iniciam-se os trabalhos de maquinação dos componentes do molde. Habitualmente, o fabrico começa pelo desbaste da cavidade, do macho e a restante estrutura principal, como exibido na Figura 86.

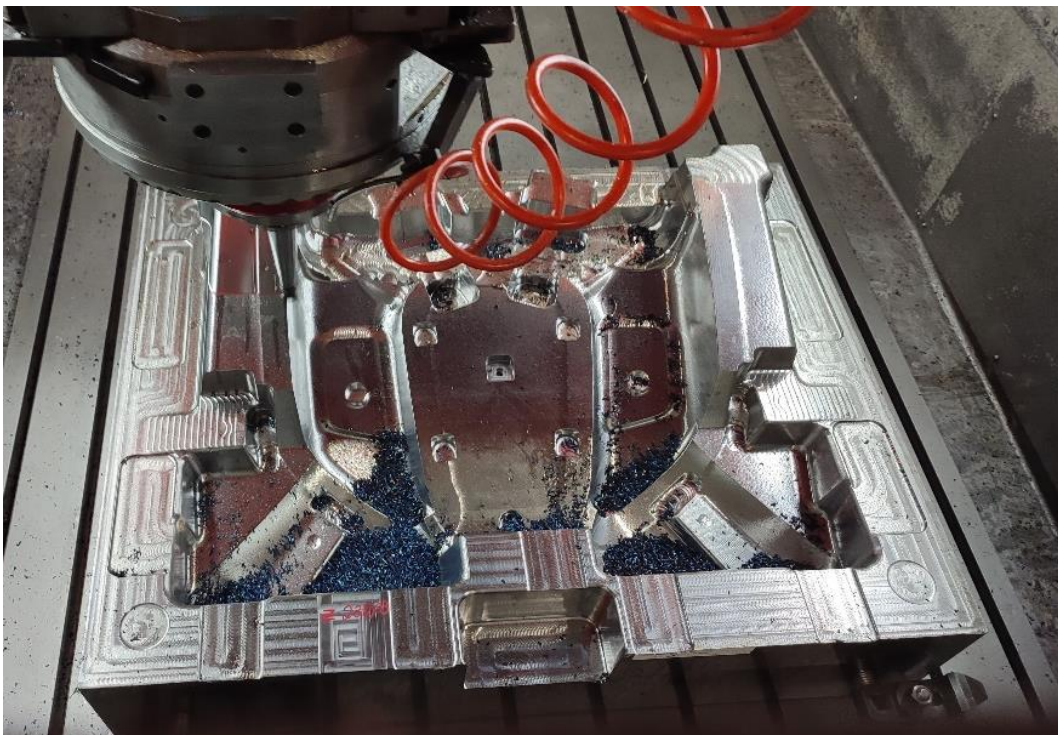
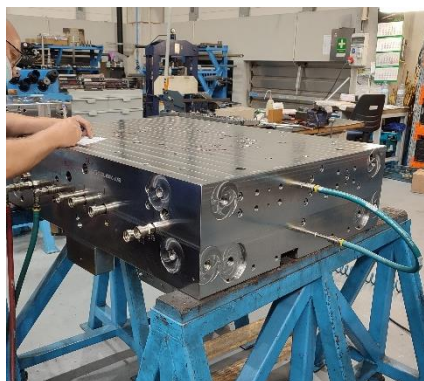


Figura 86 - Operação de desbaste por fresagem CNC do macho do molde em estudo.

Seguidamente, são maquinados os elementos de menor dimensão, movimentos, levantadores e postigos.

Finalizados os trabalhos de maquinação das zonas funcionais do molde, começa-se em simultâneo a finalizar o sistema de controlo de temperatura (são aplicados os acessórios que definem o percurso dos circuitos) e o ajuste dos elementos móveis e postigos no setor de bancada da empresa, como se pode observar na Figura 87.



(a)



(b)

Figura 87 - Início dos trabalhos de bancada: (a) – verificação dos circuitos do sistema de controlo de temperatura para elaboração do relatório de pressões e caudais; (b) – ajuste de elementos móveis e postigos.

Os funcionários de bancada devem garantir que os ajustes entre levantadores e postigos com as caixas de ajuste sejam uniformes tanto nas superfícies base como nas superfícies laterais, para evitar pequenos deslocamentos dos componentes durante o processo de injeção do material polimérico (que podem originar a formação de rebarbas e variações na espessura da peça) e também esforços mecânicos durante o funcionamento do molde provocados por mau ajustamento. Na Figura 88 podemos observar o processo de ajuste de um levantador.



(a)



(b)



(c)

Figura 88 - Processo de ajuste de um levantador: (a) – aplicação de tinta de marcação na caixa do levantador; (b) – colocação do levantador na caixa de ajuste, a inspeção dos locais que se deve remover aço (zonas com maior quantidade de tinta); (c) – remoção de aço em pontos localizados.

Quando o ajustamento dos elementos móveis e posições é finalizado, estes são fixos à cavidade e ao macho. Finalizado este processo, as duas placas regressam ao setor de maquinação para realizar o acabamento em conjunto (cavidade/macho com movimentos, levantadores e posições) das zonas moldantes, como demonstrado na Figura 89.

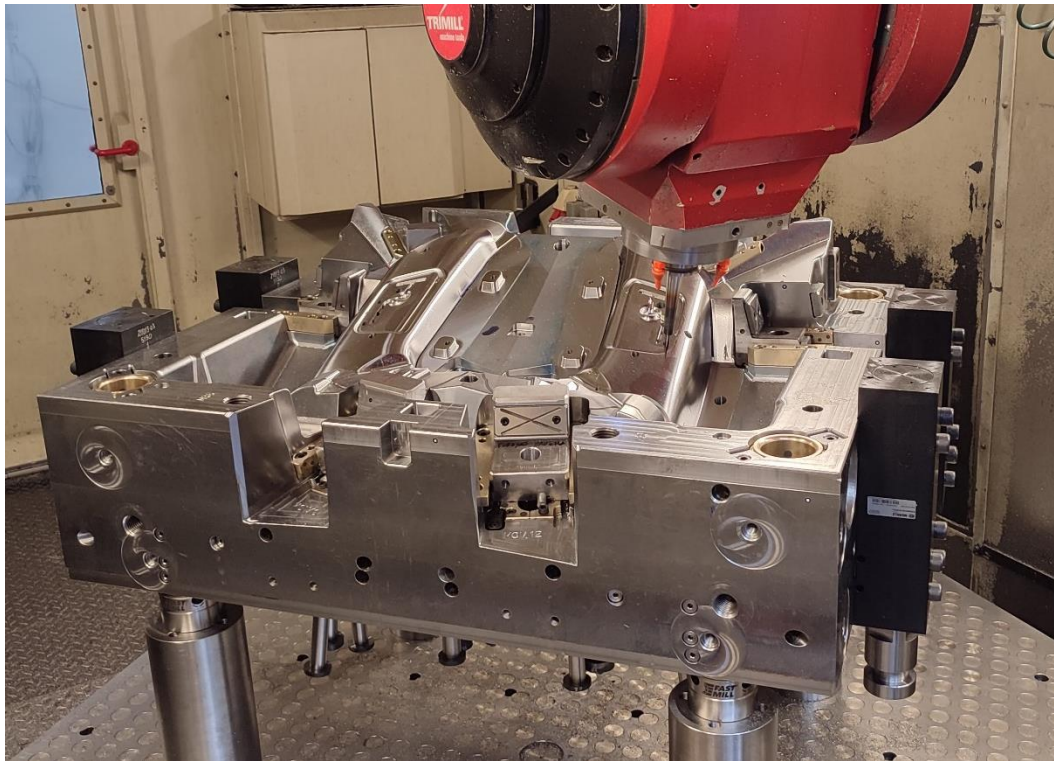


Figura 89 - Acabamento em conjunto do macho.

Após a realização do acabamento em conjunto da cavidade e do macho do molde, as duas placas regressam novamente à bancada para finalizar a montagem. Durante esta fase finaliza-se a montagem e a afinação do sistema de extração (todos os mecanismos são afinados, as folgas existentes são eliminadas e fazem-se as primeiras verificações de funcionamento da extração), a montagem do sistema de injeção e da restante estrutura do molde.

Finalizada a montagem do molde é necessário realizar o ajustamento de toda a superfície de junta. Durante este processo o molde é instalado na prensa de ajuste. Este equipamento permite realizar o fecho da ferramenta de forma semelhante ao realizado numa máquina de injeção, mas com uma força de fecho substancialmente menor. O ajustamento da superfície de junta do molde é realizado de forma semelhante ao ajuste de levantadores e posições, de forma iterativa. Inicialmente a superfície de junta é pintada com uma tinta de marcação adequada e, posteriormente, como se pode ver na Figura 90, de forma cíclica realiza-se o fecho do molde e após a abertura são retificados os locais em que a tinta fique mais evidenciada até que toda a superfície de junta esteja uniformemente marcada pela tinta.

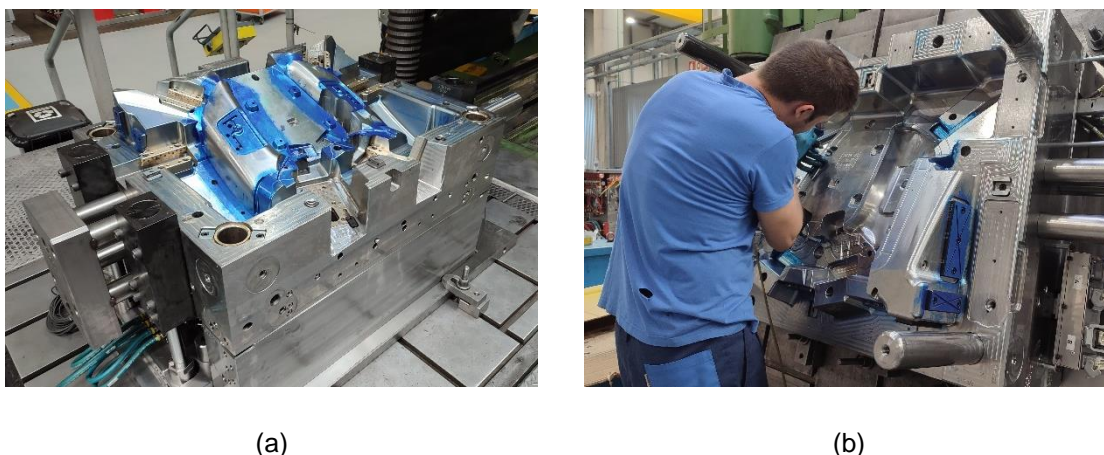


Figura 90 - Processo de ajustamento da superfície de junta do molde na prensa de ajuste: (a) – superfície de junta usada como referência com tinta de marcação; (b) – retificação após o fecho e abertura do molde.

Quando terminado o ajuste da superfície de junta, faz-se uma série de testes aos sistemas do molde. Verificam-se os circuitos de refrigeração e os circuitos hidráulicos, verifica-se novamente o funcionamento do sistema de extração e também o funcionamento do sistema de injeção. Após a realização de todos esses testes com sucesso, os locais que irão ser alvo de desgaste são lubrificados. Quando finalizados todos estes processos, o molde está em perfeitas condições para realizar o seu primeiro ensaio na máquina de injeção.

4.9 Primeiro ensaio na máquina de injeção

Finalizada a montagem e o ajuste do molde estão reunidas as condições para se realizar o primeiro ensaio na máquina de injeção.

4.9.1 Procedimentos a realizar antes do processo de injeção

Para a realização do ensaio do molde na máquina de injeção existe uma série de procedimentos que devem ser realizados antes do processo de injeção. A primeira tarefa a executar para a realização do ensaio, é selecionar a máquina de injeção. Esta é uma tarefa que, habitualmente, é necessário realizar, uma vez que ficaria economicamente inaceitável deslocar a ferramenta às instalações do cliente para cada ensaio até à expedição do molde. Dentro da oferta de máquinas de injeção que temos ao nosso dispor nos centros de ensaios de moldes, escolhemos a máquina que melhor se adapta ao molde que estamos a ensaiar. No momento de seleção da máquina de injeção, as principais características que devem ser analisadas e comparadas com as necessidades do molde, são as seguintes:

- Força máxima disponível da unidade de fecho;

- Dimensões dos pratos da unidade de fecho;
- Distância entre colunas da unidade de fecho;
- Espessura mínima e máxima do molde compatível com a unidade de fecho;
- Peso máximo do molde compatível com a unidade de fecho;
- Dimensões da unidade de injeção;
- Quantidade de circuitos hidráulicos disponíveis na unidade de comando;
- Quantidade de circuitos hidráulicos para o controlo das válvulas de sistema de injeção na unidade de comando

Logo para o molde objeto de estudo é necessário recolher todas essas informações que estão apresentadas na Tabela 18, para posteriormente avançar para a seleção da máquina de injeção.

Tabela 18 - Dados do molde a utilizar para a seleção da máquina de injeção.

Força de fecho calculada no estudo reológico [TON]	455
Dimensões do molde (HxVxE) [mm]	1110 x 1580 x 950
Peso do molde [kg]	6978
Volume da cavidade [cm³]	429,6
Circuitos hidráulicos para movimentos	1
Bicos de injeção com válvula	4

Para o molde em estudo selecionou-se a seguinte máquina, KraussMaffei KM800-6100MX, com as características apresentadas na Tabela 19. O motivo da seleção da máquina indicada é o custo, uma vez que esta máquina tem um custo hora menor quando comparada com a máquina KM1100-6100MX. Além disso, a utilização da máquina KM1100-6100MX não iria rentabilizar a diferença do custo entre as duas máquinas. A única diferença entre as máquinas é a capacidade da unidade de fecho, tanto em força de fecho como nas suas dimensões, uma vez que as unidades de injeção são iguais. Logo, como as unidades de fecho das duas máquinas são compatíveis com o molde, a máquina escolhida é a mais indicada para a realização do ensaio.

Tabela 19 - Características das máquinas de injeção indicadas para este molde disponíveis nos centros de ensaios.

	KM800-6100MX	KM1100-6100MX
Força de fecho [TON]	800	1100
Dimensões dos pratos (HxV) [mm]	1600 x 1530	2150 x 1910
Distância entre colunas (HxV) [mm]	1120 x 1000	1550 x 1250
Espessura do molde (min-máx) [mm]	500-1100	600-1200
Peso máximo do molde [kg]	12200	25000
Capacidade de injeção [cm³]	3367	3367
Circuitos hidráulicos de potência disponíveis	6	6
Circuitos pneumáticos de controlo disponíveis	1	1

Após a seleção da máquina de injeção, para se dar o início à realização do processo é necessário preparar o material polimérico. Para se proceder à preparação do material, é necessária a informação sobre o estado do material fornecido e as propriedades físicas ideais sugeridas pelo fabricante para o processamento. Na situação do molde em estudo, consultou-se a ficha técnica do material fornecido pelo cliente para o ensaio, que é o mesmo que foi referido no capítulo 4.4.1, ABS com a referência comercial NOVODUR H605. Como a cor natural deste material é branca e a cor pretendida pelo cliente para a peça é um cinza, foi-nos também fornecido pigmento granulado para misturar com o material. Após a mistura da quantidade de pigmento indicada com o material polimérico para atingir a cor pretendida para a peça, também é necessário garantir que o material polimérico esteja com a quantidade de humidade indicada para o seu processamento. Habitualmente, na ficha técnica do material polimérico fornecida pelo fabricante estão indicados os dados necessários para a preparação antes do processamento. Na situação em estudo, na ficha técnica é nos indicado que o material deve ser desumidificado a 80 °C por um período de duas a quatro horas. Na Figura 91 pode-se observar as etapas de preparação do material para injetar.



(a)



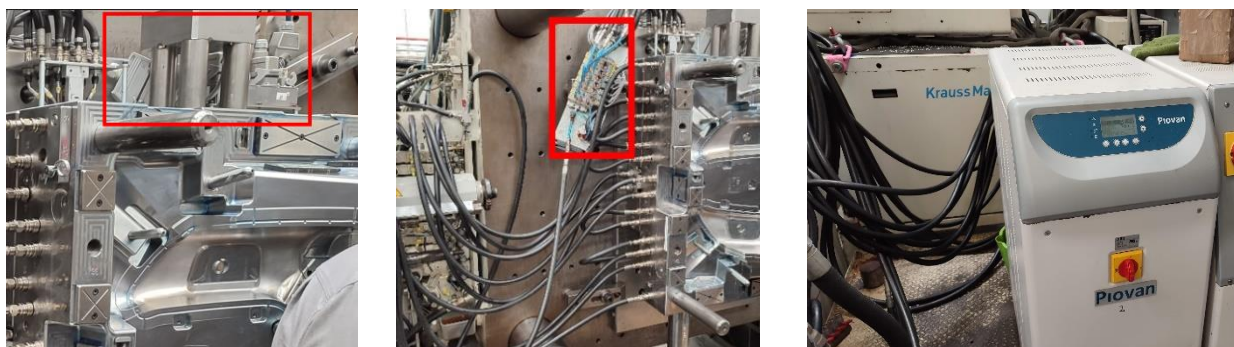
(b)

Figura 91 - Preparação do material polimérico para a injeção: (a) – mistura do pigmento no material; (b) – desumidificadores de material.

Durante o período de desumidificação do material polimérico, os operadores iniciam o processo de montagem do molde na unidade de fecho da máquina de injeção. Inicialmente, realizam a centragem do molde pelas anilhas de centragem e posteriormente o aperto aos pratos da máquina. Finalizada a centragem e o aperto do molde à máquina, os operadores realizam as ligações do molde com a máquina de injeção e seus periféricos, tal como se pode observar na Figura 92. Para este molde, é necessário realizar ligações elétricas, pneumáticas, hidráulicas e da refrigeração e controlo de temperatura.

Quanto às ligações elétricas é necessário ligar as resistências e sondas de temperatura do sistema de injeção à máquina, e também conectar os limitadores de curso da extração à máquina de injeção. Uma vez que o acionamento das válvulas do sistema de injeção que controlam a passagem de material polimérico é realizado por ar comprimido, e a máquina possui apenas uma válvula pneumática de controlo, é necessário ligar um circuito de controlo pneumático e posteriormente realizar as conexões elétricas das electroválvulas à máquina de injeção. Sendo o movimento da extração realizado com recurso a cilindros hidráulicos, é também necessário ligar o circuito hidráulico de potência da máquina ao molde.

Por fim, é necessário conectar os controladores de temperatura ao molde, para o colocar à temperatura de processamento sugerida pelo fabricante do material polimérico.



(a)

(b)

(c)

Figura 92 - Ligações do molde com a máquina de injeção e periféricos: (a) – ligações elétricas com sistema de injeção; (b) – circuito pneumático para comandar as válvulas do sistema de injeção; (c) – ligações do molde com os controladores de temperatura.

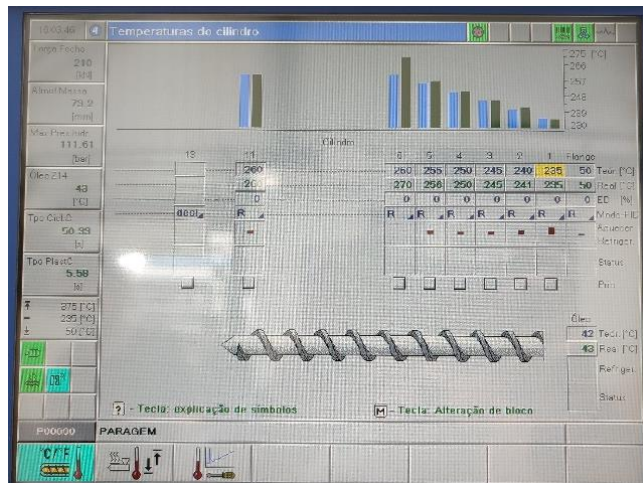
4.9.1.1 Condições de processamento do material

Quando terminado todo o processo de montagem e ligações do molde à máquina de injeção, podemos ligar os sistemas através do controlador da máquina de injeção e dos seus periféricos. Antes do acionamento dos sistemas, é necessário recolher as informações que foram obtidas nos estudos reológicos e também da ficha técnica do material para definir as condições de processamento do material, apresentadas na Tabela 20.

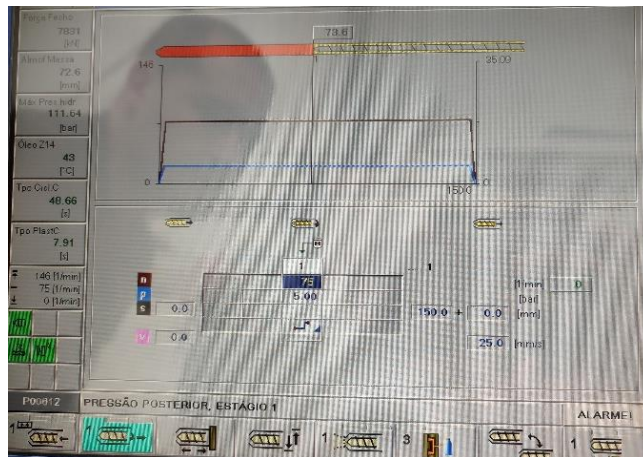
Tabela 20 - Condições de processamento para moldagem por injeção indicadas para o NOVODUR H605.

Temperatura do material plasticizado sugerida pelo fabricante para o processo[°C]	230 - 260
Temperatura do material plasticizado utilizada no estudo reológico [°C]	260
Temperatura do molde sugerida pelo fabricante para o processo [°C]	60 - 80
Temperatura do molde utilizada no estudo reológico [°C]	70

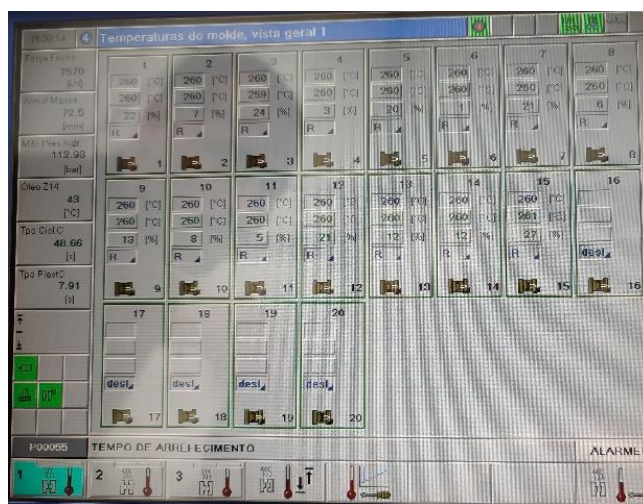
Após a recolha de toda a informação, são ativados os sistemas de aquecimento do molde e da unidade de injeção da máquina com as condições de processamento utilizadas no estudo reológico e, posteriormente, são atingidas as temperaturas de processo, como se pode observar na Figura 93.



(a)



(b)



(c)

Figura 93 - Parâmetros introduzidos no comando da máquina de injeção: (a) – perfil de temperaturas introduzido ao longo do fuso; (b) – perfil de dosagem; (c) – temperaturas definidas no sistema de injeção.

Quando os sistemas ficam operacionais, são realizadas algumas verificações ao sistema de injeção, as quais são, verificar se a numeração dos bicos de injeção está correta, a qual se pode consultar na Figura 94.

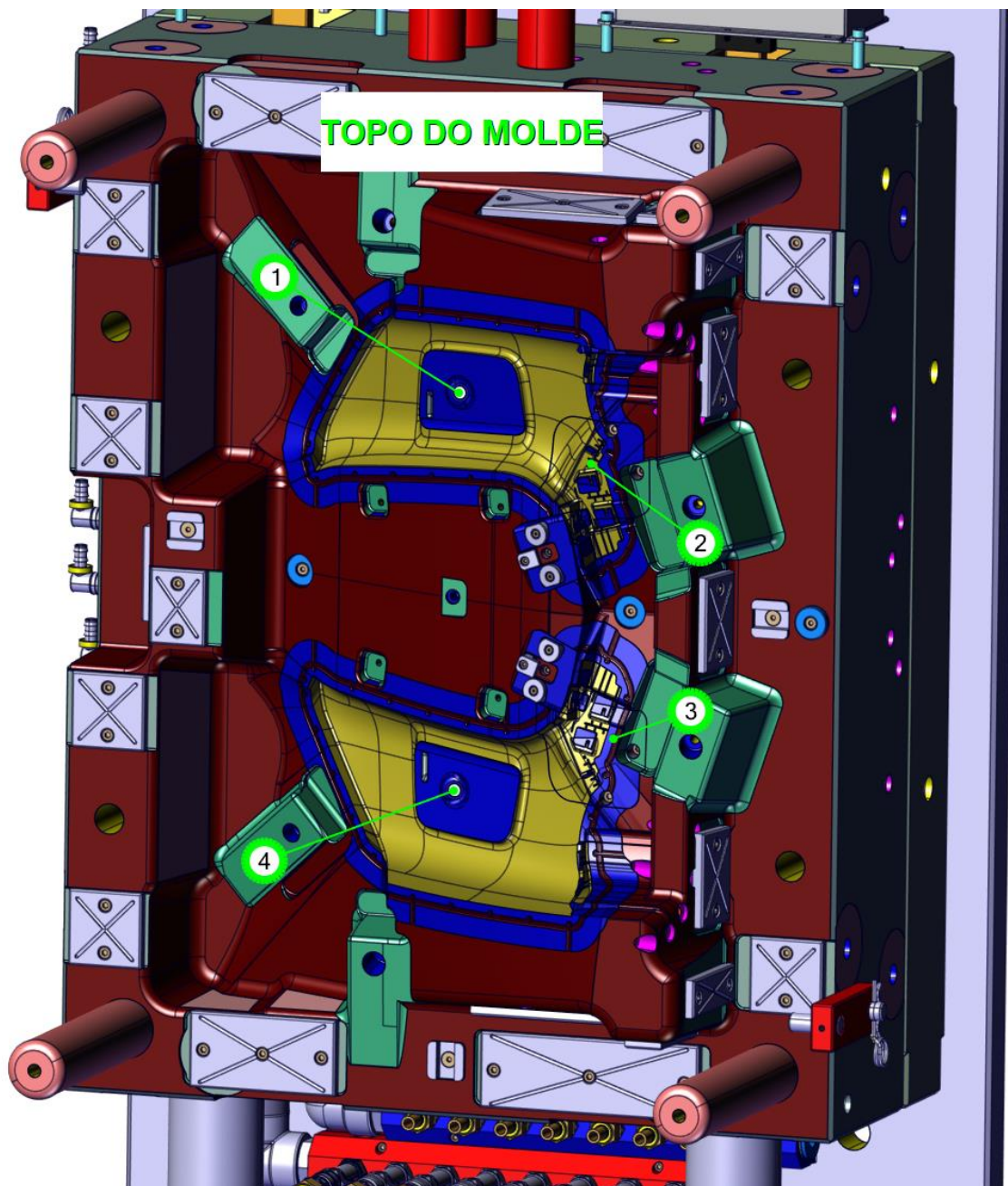


Figura 94 - Numeração dos bicos de injeção, vista na cavidade/lado fixo do molde.

Durante este teste devem-se movimentar as válvulas de cada um dos bicos, e verificar se a numeração dos conectores pneumáticos que fazem o transporte do ar comprimido a cada uma das válvulas corresponde ao bico identificado na documentação do fornecedor do sistema de injeção. O operador da máquina de injeção deve também verificar se as resistências elétricas estão a aquecer

corretamente e se as sondas de temperatura estão a realizar a leitura correta da temperatura dos canais quentes do sistema de injeção.

Finalizados o processo de desumidificação do material polimérico, o aquecimento do sistema de injeção, da unidade de injeção da máquina e do molde e as verificações ao sistema de injeção está tudo preparado para que se possa iniciar a injeção das primeiras amostras. Ainda antes de se iniciar a injeção de peças poliméricas em moldes que estejam a realizar o primeiro ensaio na máquina de injeção, deve-se purgar todo o sistema de injeção para remover todo o óleo de proteção e impurezas deixadas durante a maquinação e montagem no interior da câmara quente, para evitar que material polimérico degradado (devido à contaminação do material polimérico quando entrou em contacto com o óleo) entre em contacto com as superfícies das cavidades do molde, uma vez que o material nesse estado é difícil de remover.

4.9.2 Definição da força de fecho

Antes de submeter o molde à primeira injeção de polimérico nas cavidades é necessário dar a informação da força de fecho que a máquina terá de exercer para evitar a abertura do molde durante a injeção. Nesta situação, o estudo reológico realizado durante a fase de projeto do molde indica a força de fecho necessária, como se pode ver na Figura 95.

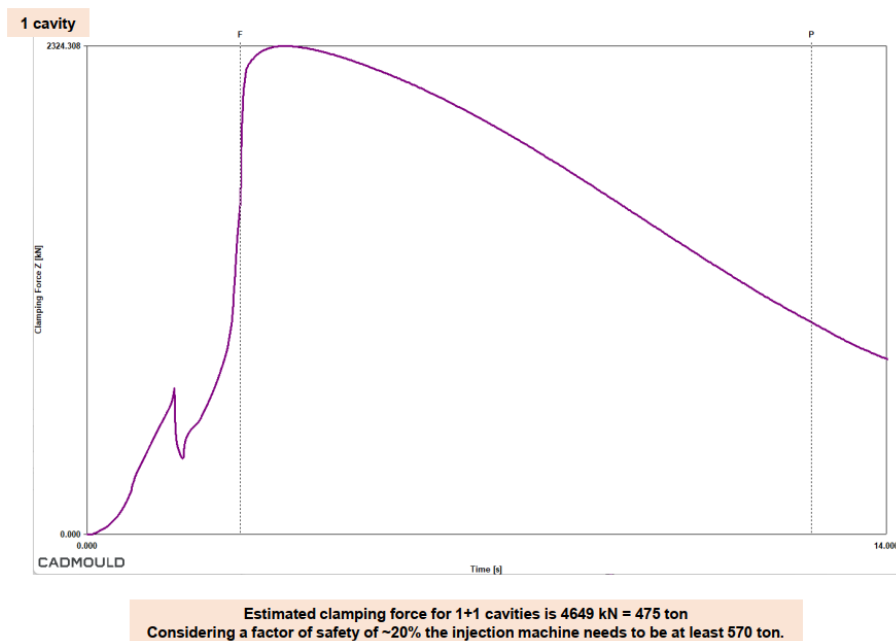


Figura 95 - Força de fecho necessária durante o processo de injeção, resultado obtido através do estudo reológico.

A partir dos resultados obtidos, realizou-se a primeira injeção com uma força de fecho de 600 toneladas, uma vez que a força de fecho necessária para as duas cavidades

do molde é 475 toneladas. Ao resultado calculado é ainda acrescentado um fator de segurança de 20%.

4.9.3 Estudo de enchimento

No início do processo é necessário definir os parâmetros de injeção no controlador da máquina. A afinação do processo de injeção inicia-se pelo estudo de enchimento. É neste estudo que se definem os parâmetros que controlam a injeção do material polimérico para o interior do molde. Previamente ao estudo de enchimento da peça na máquina de injeção, verifica-se como foi idealizado o enchimento através da análise do estudo reológico. O estudo fornece informações importantes, apresentadas na Tabela 21, que se devem ter em consideração durante a definição desta fase do processo.

Tabela 21 - Resultados obtidos para o enchimento da peça no estudo reológico.

Tempo de enchimento [s]	2,62
Volume total das cavidades [cm³]	429,6

Os valores apresentados na Tabela 21 fornecem-nos uma referência da velocidade de injeção a utilizar durante o processamento das primeiras amostras. Além disso, o estudo reológico permite-nos analisar os momentos de abertura de bicos durante o enchimento das zonas moldantes, uma vez que no início do enchimento apenas um dos bicos de injeção está aberto em cada uma das peças a injetar. Quando a frente de fluxo de material ultrapassa os pontos de injeção do outro bico de injeção, dá-se a ordem para a abertura das válvulas desses bicos, como se pode verificar na Figura 96. Após a análise à sequência de enchimento desenvolvida no estudo reológico, realiza-se uma injeção de polimérico com os bicos todos abertos, para se obter o curso de injeção de material polimérico (intervalo linear da posição do fuso da máquina) necessário para injetar as peças. Conhecido o valor do curso de injeção necessário, começa-se a realizar o estudo para a sequência de enchimento na máquina de injeção. A sequência de enchimento inicia pela abertura dos bicos 2 e 3, que irão realizar o enchimento até que o material complete parcialmente os jitos do segundo bico, neste caso o bico 1 e 4.

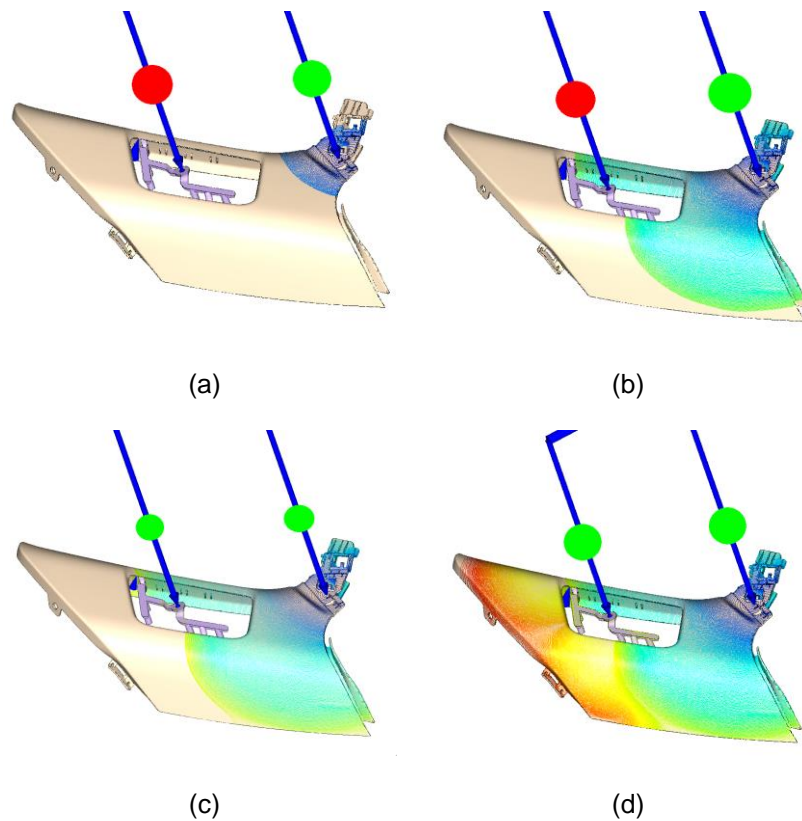


Figura 96 - Sequência de enchimento da peça: (a) – enchimento a 10 % do volume, apenas com um bico aberto; (b) – enchimento a 50 % do volume, apenas com um bico aberto; (c) – momento de abertura do segundo bico, com o enchimento a 58 % do volume; (d) – enchimento a 98 % do volume, com ambos os bicos abertos.

Nesta situação, é visível através da Figura 97 que existe uma diferença entre o enchimento simulado no estudo reológico e o enchimento realizado na máquina de injeção. Esta diferença existe devido a uma má definição da abertura do segundo bico no estudo reológico, uma vez que este foi aberto antes do material encher parcialmente o jito.

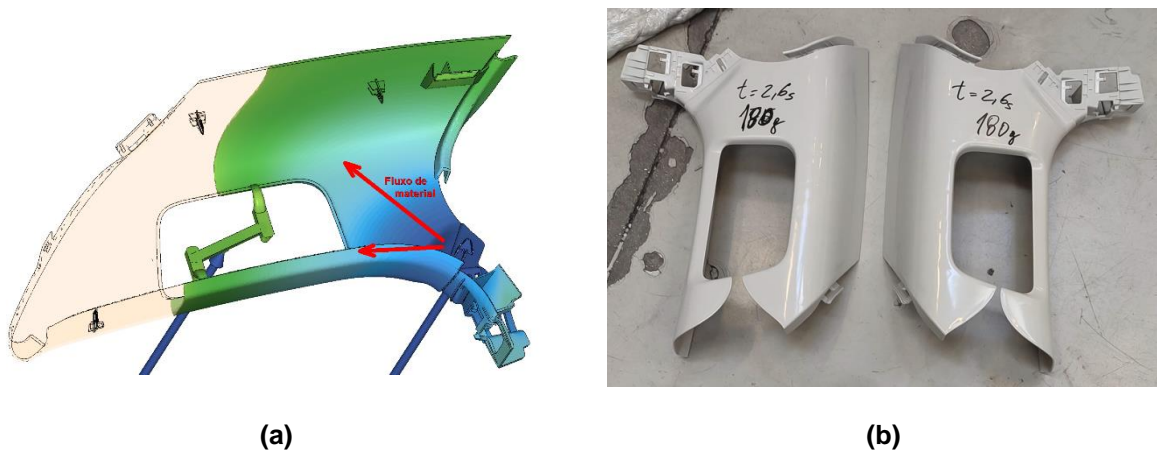


Figura 97 - Enchimento da peça até à abertura do segundo bico: (a) – estudo reológico; (b) – estudo de enchimento na máquina de injeção.

Quando os jitos do segundo bico ficam parcialmente completos de material polimérico, os bicos 1 e 4 são abertos, mantendo os bicos 2 e 3 abertos. A fase de enchimento termina quando se atinge aproximadamente 98 % do volume da peça, como se pode observar na Figura 98. Mesmo terminada a fase de enchimento do ciclo de injeção, os bicos mantêm-se abertos para a fase de compactação.

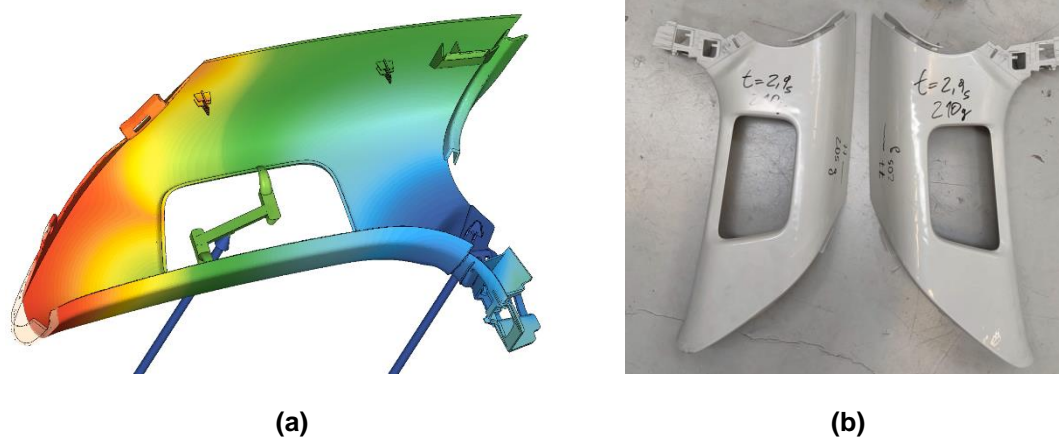


Figura 98 - Final da fase de enchimento: (a) – estudo reológico; (b) – estudo de enchimento na máquina de injeção.

4.9.4 Estudo de compactação

Após atingir os parâmetros que definem a fase de enchimento, inicia-se o estudo de compactação das peças. Assim como no estudo realizado no capítulo anterior, é necessária uma análise aos resultados do estudo reológico, para ter uma referência como ponto de partida, a definir na máquina de injeção. Um dos resultados que são obtidos a partir do estudo reológico é a pressão à entrada do sistema de injeção, ou seja, local onde existe o contacto físico entre o bico da máquina de injeção e o molde. Como se pode observar nesse gráfico, apresentado na Figura 99, é demonstrada a pressão exercida à entrada do sistema de injeção durante as fases de enchimento e compactação. Com o objetivo de obter o melhor comportamento dimensional das peças, a fase de compactação foi definida com um valor constante de 600 bar durante um período de 10 segundos. Contudo, como se está perante a realização do primeiro ensaio do molde, poderá não ser possível realizar o estudo de compactação com as condições indicadas no gráfico. Habitualmente, quando se realiza o primeiro ensaio na máquina de injeção, ainda existem vários pormenores a melhorar no molde. O objetivo deste ensaio, é verificar o funcionamento geral do molde e obter peças com boa qualidade visual para o cliente realizar testes e afinações durante a preparação do seu processo produtivo.

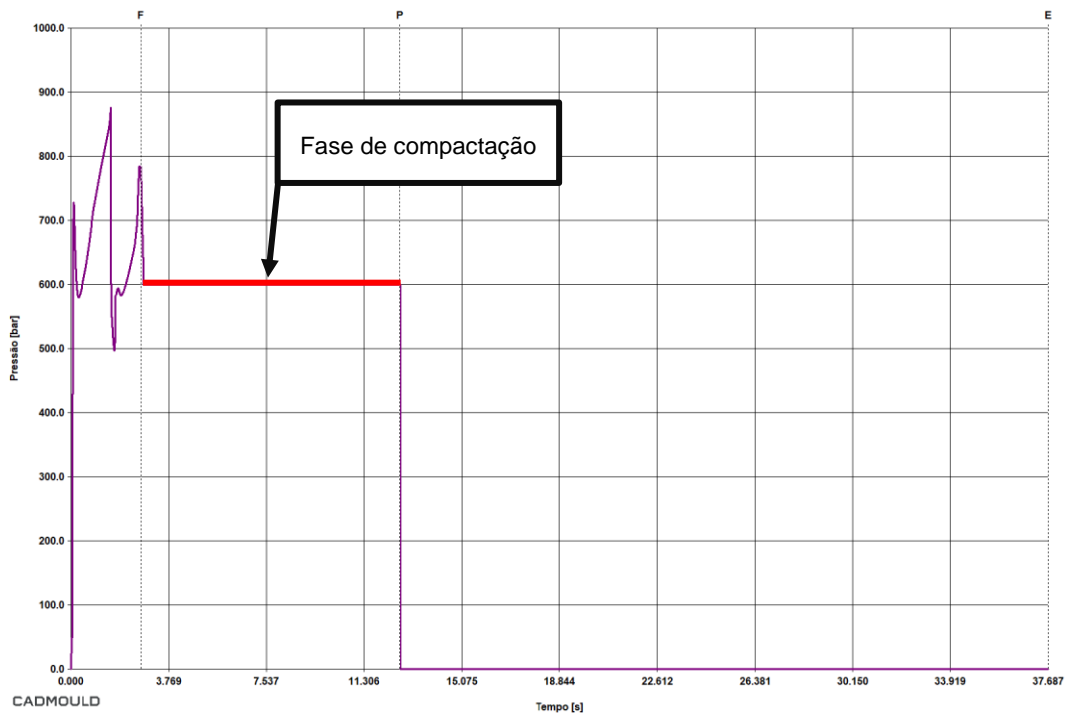


Figura 99 - Pressão exercida à entrada do sistema de injeção durante as fases de injeção e compactação, obtida pelo estudo reológico.

Habitualmente, no primeiro ciclo de injeção com compactação, usa-se uma pressão e um período de compactação inferiores ao utilizado no estudo reológico, uma vez que os resultados obtidos através do estudo são indicados para o molde nas suas condições ideais de funcionamento, logo deve-se aumentar gradualmente o esforço aplicado até se atingir o limite do molde ou as condições definidas pelo estudo. Durante a fase de extração das primeiras amostras compactadas, deve-se ter atenção ao comportamento das peças poliméricas durante a extração, uma vez que ao aplicar a pressão de compactação, o esforço de desmoldagem da peça irá ser superior. Após a realização de alguns ciclos de injeção, se verificarmos que o molde o permite, aumenta-se gradualmente a pressão de compactação até aos valores utilizados no estudo, mas caso isso não seja possível, devemos procurar um equilíbrio entre a pressão de compactação e o esforço de desmoldagem, de forma que a pressão seja suficiente para garantir boa qualidade visual e a desmoldagem sem danificar as peças.

Nesta situação, realizou-se o primeiro ciclo de injeção com compactação a 450 bar durante 3 segundos, após a fase de extração verificou-se que era possível aumentar a pressão para 500 bar. No entanto, durante a extração da peça após o aumento da pressão verificou-se que devido à condição do molde, não era possível aumentar a pressão além dos 450 bar durante a fase de compactação, uma vez que surgiram alguns problemas de desmoldagem, e as peças ficaram danificadas, conforme se pode verificar na Figura 100.



Figura 100 - Prisão da peça nos levantadores durante a desmoldagem, provocando deformações na peça.

Após a situação descrita no parágrafo anterior, não foi possível finalizar o estudo de compactação, sendo necessário corrigir o funcionamento do molde de modo que no ensaio seguinte seja possível realizá-lo completamente.

4.9.5 Estudo de arrefecimento

Após os parâmetros que definem as fases de injeção e compactação estarem ajustados pelo operador da máquina de injeção, o passo seguinte é definir o tempo de arrefecimento antes da extração das peças do molde.

O tempo de arrefecimento das peças deve ser o mínimo possível, mas o suficiente para garantir a estabilidade dimensional e permitir a extração sem que estas se danifiquem. Para se definir o tempo de arrefecimento que as peças necessitam antes de serem extraídas, é necessário o conhecimento de algumas temperaturas relacionadas com o material polimérico, apresentadas na Tabela 22.

Tabela 22 - Dados do material polimérico importantes para estudar o tempo de arrefecimento necessário.

Temperatura de extração [°C]	90
Temperatura mínima de fluxo [°C]	135

Estes dados permitem que possamos estudar o momento ideal para acionar o sistema de extração, uma vez que para se acionar o sistema de extração, a peça polimérica deve-se encontrar à temperatura de extração indicada para que o sistema de extração não a danifique. Contudo, o tempo de arrefecimento não irá ser definido apenas por peças isentas de danos, mas também pela análise que irá ser realizada às dimensões das peças, ou seja, o período de arrefecimento é utilizado para garantir uniformidade das dimensões das peças de ciclo para ciclo.

Numa fase inicial do estudo de arrefecimento, realiza-se mais uma vez, uma análise aos resultados do estudo reológico, para se obter um ponto de partida para o tempo de arrefecimento a programar na máquina de injeção. O resultado com maior importância para o estudo é a temperatura média da peça ao longo da fase de compactação e de arrefecimento. Através deste resultado é possível prever o momento ideal para extrair as peças poliméricas do interior do molde, uma vez que é possível verificar a variação da temperatura da peça polimérica ao longo da fase de compactação e de arrefecimento. Quando se atinge a temperatura de extração em toda a peça polimérica podemos proceder à sua remoção do interior do molde. No estudo reológico da peça polimérica estava definido um período de 35 segundos para o tempo de arrefecimento. Contudo, esse período pode não ser necessário na realidade, uma vez que o objetivo do estudo reológico é visualizar o comportamento da peça polimérica durante a fase de arrefecimento durante o maior período útil possível. Com os resultados obtidos para esse período de arrefecimento, é da responsabilidade de quem está a ajustar o processo analisar os resultados e selecionar o tempo de arrefecimento mais adequado.

Perante os resultados demonstrados na Figura 101 é possível verificar que o material polimérico da peça atinge a temperatura de extração entre os 20 e os 30 segundos do tempo de arrefecimento, logo como foi referido no parágrafo anterior não são necessários os 35 segundos de fase de arrefecimento. O último estudo realizado na máquina de injeção foi para o tempo de arrefecimento. Numa fase inicial, baseamos nos resultados obtidos pelo estudo reológico e estabeleceu-se um período de 30 segundos de arrefecimento. Contudo, logo após as primeiras injeções de peças poliméricas verificou-se que existia um esforço de extração elevado e, conseqüentemente, provocava deformações nas peças. De modo a contornar essa situação, diminuiu-se o tempo de arrefecimento para 20 segundos, de modo reduzir a contração da peça no interior do molde, mas com estas condições o arrefecimento não era suficiente, uma vez que os elementos de extração danificavam as peças durante o movimento de extração.

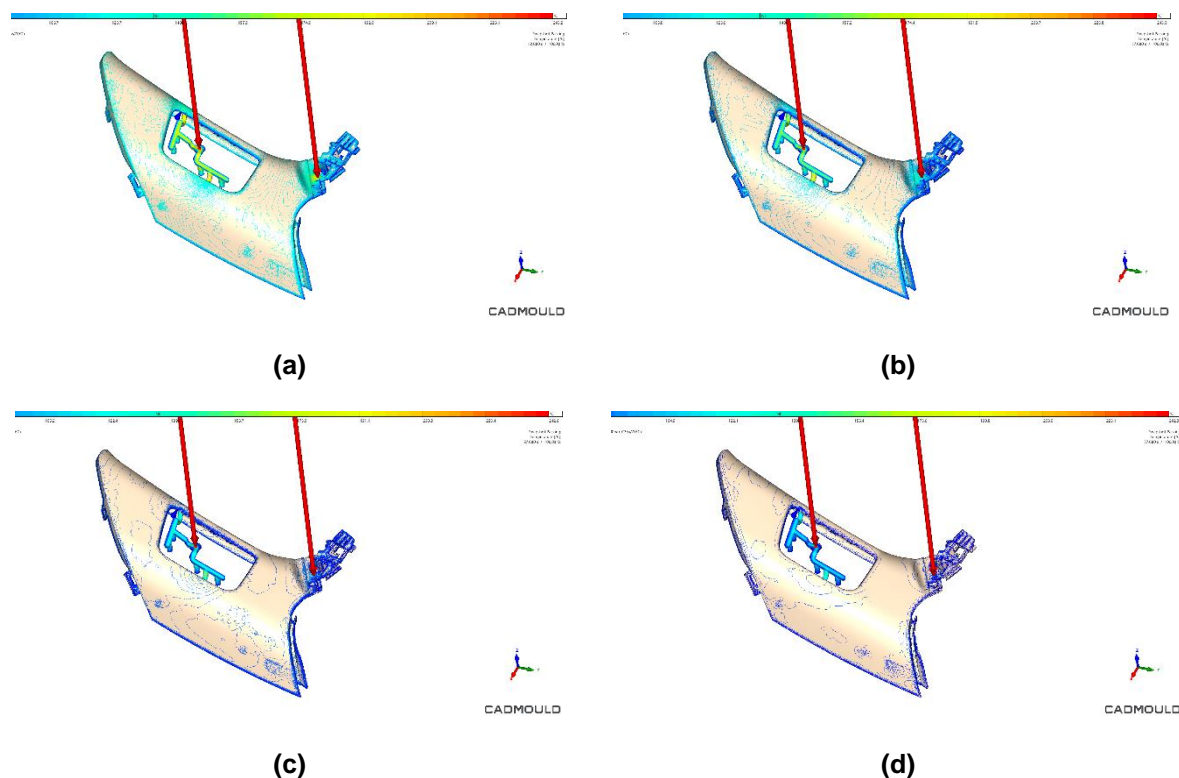


Figura 101 - Temperatura média da peça durante o período de arrefecimento: (a) – após 5 segundos de arrefecimento; (b) – após 10 segundos de arrefecimento; (c) – após 20 segundos de arrefecimento; (d) – após 30 segundos de arrefecimento.

Perante os factos observados na Figura 102, estabeleceu-se um período de arrefecimento de 25 segundos, sendo este o tempo de arrefecimento em que se obteve melhores resultados.

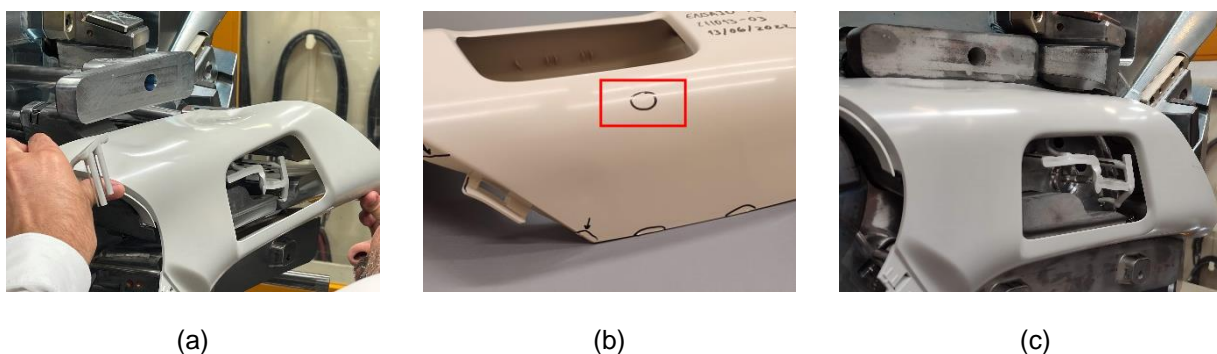


Figura 102 - Estado das peças após a extração: (a) – com 30 segundos de arrefecimento, a peça fica retida nos levantadores; (b) – com 20 segundos de arrefecimento, os extratores danificam o aspeto superficial das peças; (c) – com 25 segundos de arrefecimento.

4.9.6 Avaliação dos resultados observados no ensaio e necessidades de melhoria

Quando finalizados todos os estudos descritos nos subcapítulos anteriores, iniciou-se a produção de uma pequena série de peças poliméricas. Esta produção é importante para se verificar a qualidade geral das peças e também para verificar o funcionamento do molde e possíveis desgastes após a realização de alguns ciclos de injeção. Durante esta fase também podem ser realizados alguns reajustes ao processo de forma a otimizar a qualidade das peças e o seu processamento, mas sempre com algumas limitações, devido à impossibilidade de ajustar o processo da forma idealizada tal como foi referido no capítulo 4.9.4. De forma a controlar as dimensões das peças, o cliente do molde forneceu-nos um *gabarit* para realizar medições durante o ensaio, tal como se pode visualizar na Figura 103. A utilização do *gabarit* permite-nos verificar desvios dimensionais da peça polimérica relativamente ao seu modelo 3D e também os empenos gerados pelo processo de injeção.



Figura 103 - Medição das peças poliméricas no *gabarit* fornecido para o molde em estudo.

Durante o processo de medição das peças no *gabarit* podem ser realizados alguns ajustes nos parâmetros do processo de injeção, de forma a tentar corrigir desvios dimensionais e/ou empenos na peça polimérica. Habitualmente, a compactação e o arrefecimento são as fases que mais influenciam as dimensões das peças. Após a realização da medição das peças no *gabarit*, é realizada uma inspeção visual à peça, de forma a identificar defeitos existentes, tal como rebarbas, raspados e outros defeitos que possam ser provocados por mau funcionamento do molde e/ou pelo processo de injeção. Enquanto são realizados ambos os processos referidos nos parágrafos anteriores, observa-se o funcionamento do molde durante a produção de peças poliméricas, de forma a identificar possíveis problemas durante o decorrer da

produção para posteriormente reportar melhorias que seja necessário implementar para melhorar o seu funcionamento. Como conclusão do ensaio, é realizado um relatório sobre o funcionamento do molde e a qualidade das peças para transmitir aos vários setores da SF Moldes, os resultados observados durante o ensaio, e principalmente para comunicar as necessidades de melhorias e correções a implementar no molde até ao ensaio seguinte. Durante o ensaio do molde em estudo, registaram-se alguns problemas com o funcionamento da ferramenta e com o estado das peças poliméricas, que eram os seguintes:

- Jitos em forma de banana quebravam durante o avanço da extração e desmoldagem da peça polimérica;
- Desmoldagem das peças poliméricas incompleta e deformação de frisos;
- Peças poliméricas sem pontos de fixação durante e no final da fase de extração;
- Rebarbas, desencontros de junta e ajustamentos.

Os jitos em forma de banana são obrigados a deformarem-se durante o avanço da extração, uma vez que devido ao formato do jito e ao conceito mecânico projetado, este fica retido no interior do aço do molde. Ao ficar retido no interior do aço, a banana só tem a possibilidade de ser extraída através do orifício existente entre a extremidade da banana e o canal principal do jito, tal como demonstrado na Figura 104.

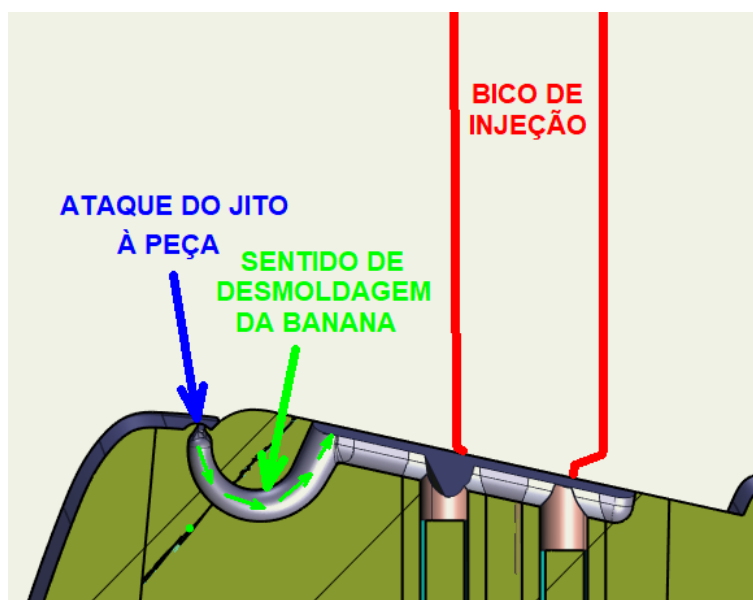


Figura 104 - Esquema de desmoldagem de um jito com ataque em banana.

Para se realizar a desmoldagem de um jito com ataque em banana é necessário ter em consideração vários fatores e requisitos durante o projeto e produção do molde, devido à complexidade de extração deste tipo de jito. Os fatores e requisitos a ter em conta são alguns dos seguintes:

- Material polimérico a injetar;
- Aumento progressivo da secção da banana desde o ponto de injeção na peça polimérica até ao canal principal do jito, de modo a assegurar que a extremidade da banana consiga passar no aço sem qualquer obstrução, ou conseqüente quebra ou deformação;
- Geometria do jito deverá ter transições suaves, de modo a evitar locais de concentração de tensões;
- Ângulo de desmoldagem da banana em relação ao eixo do canal principal do jito;
- Distância da extremidade do extrator à extremidade da banana;
- Polimento de alta qualidade das zonas moldantes das bananas.

Para a situação existente no molde em estudo apresentada na Figura 105, foi realizada uma avaliação dos fatores e requisitos referidos, e concluiu-se que dos quais, a geometria da banana não estava correta, uma vez que o ângulo de desmoldagem da banana em relação ao canal principal do jito estava muito elevado, e também o raio que realiza a transição da extremidade da banana para o canal principal do jito era muito pequeno.

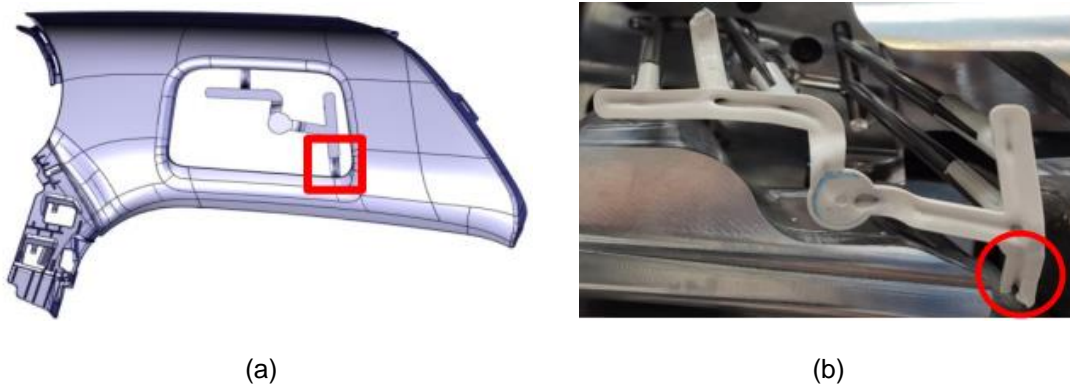


Figura 105 - Identificação do local de quebra do jito: (a) – modelo 3D; (b) – situação existente no molde.

De modo a justificar e confirmar os resultados da avaliação, fez-se uma análise ao movimento realizado pelo jito para desmoldar a banana e respetivas deformações durante a fase de extração das peças poliméricas e dos jitos. Na Figura 106 está apresentada a geometria do jito implementada inicialmente no molde, na mesma figura pode-se consultar as dimensões que foram analisadas para a construção da Tabela 23.

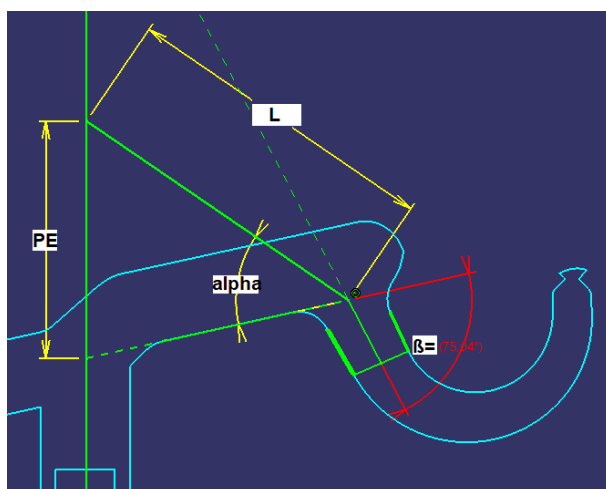


Figura 106 - Geometria do jito implementado no molde.

As dimensões indicadas na Figura 106 representam o seguinte:

- PE – Posição do curso de extração [mm];
- L – Distância da extremidade do extrator à extremidade da banana [mm];
- α – Ângulo do canal principal do jito em relação à sua posição inicial;
- β – Ângulo do eixo de desmoldagem da banana em relação ao eixo do canal principal do jito antes do avanço da extração;
- ϵ – Deformação do canal principal do jito;

Tabela 23 - Análise de deformações dos jitos desde o momento inicial da extração até ao momento em que se atinge o ângulo de desmoldagem da banana para diferentes distâncias de extratores em relação à extremidade da banana.

PE [mm]	L [mm]	ΔL [mm]	ϵ [%]	α [°]	L [mm]	ΔL [mm]	ϵ [%]	α [°]
0	14,43	0	0	0	22,08	0	0	0
10	15,674	1,243	8,6	38,522	22,668	0,042	0,185	25,51
12	16,648	2,217	15,36	44,471	23,199	0,573	2,5	30,329
14	17,795	3,364	23,3	50,178	23,887	1,261	5,57	34,901
16	19,082	4,651	32,2	54,938	24,718	2,092	9,246	39,192
18	20,485	6,054	41,95	59,071	25,678	3,052	13,48	43,183
20	21,95	7,519	52,1	62,659	26,753	4,127	18,24	46,87
22	23,55	9,119	63,19	65,779	27,93	5,304	23,4	50,259
24	25,181	10,75	74,49	68,502	29,197	6,571	29,04	53,364
26	26,862	12,431	86,1	70,89	30,543	7,917	34,99	56,204
28	28,584	14,153	98,07	72,993	31,957	9,331	41,24	58,798
30	30,34	15,909	110,24	74,854	33,431	10,805	47,75	61,167
35					37,331	14,705	64,99	66,244
40		$\alpha > \beta = 75.04^\circ$			41,467	18,841	83,27	70,335
47					47,538	24,912	110,10	74,834

O objetivo da análise apresentada na Tabela 23 é verificar a deformação/alongamento do canal principal do jito entre a extremidade do extrator mais próximo da banana e a extremidade da mesma, uma vez que é nessa zona em que existe a quebra do jito. A extremidade do extrator foi considerada ponto de referência, devido ao jito se encontrar fixo ao extrator durante o avanço do extrator/extração, e consequentemente lhe restringir movimentos nesse ponto. A extremidade da banana é também considerada, uma vez que este é o ponto crítico do jito, é precisamente neste local que está a existir a rotura do material. Devido ao conceito mecânico habitualmente utilizado para a extração dos jitos com ataque em banana, a região do canal principal do jito é obrigada a deformar-se/alongar-se. Quando se inicia a fase de extração, o extrator realiza um movimento linear na mesma direção do avanço da placa de extração, e inicia a desmoldagem do jito, contudo o jito continua fixo à extremidade do extrator, e a extremidade da banana permanece imóvel na mesma posição até que seja atingido o ângulo de desmoldagem da banana, logo, até a esse momento o jito permanece ligado entre esses dois pontos, exceto se existir rotura de material antes desse instante. O avanço da posição do extrator provoca progressivamente o aumento do ângulo do canal principal do jito em relação à sua posição inicial e também o aumento da distância da extremidade do extrator e a extremidade da banana. Logo devido a esse constrangimento existe deformação/alongamento do jito. Na mesma tabela também se pretendeu verificar se o posicionamento do extrator em relação à extremidade da banana tem influência na deformação/alongamento, na qual se considerou a geometria original ($L=22,08$ mm) e uma possível nova posição do extrator ($L=14,43$ mm). As deformações/alongamentos obtidos a partir de várias leituras de dimensões da geometria 2D do jito justificam a quebra. Pela ficha técnica do material, conseguimos verificar que a deformação no momento de rotura a 23 °C é superior a 15 %, uma vez que não foi possível obter um gráfico tensão-deformação do material utilizado, utilizou-se o gráfico tensão-deformação de um material equivalente, representado na Figura 107.

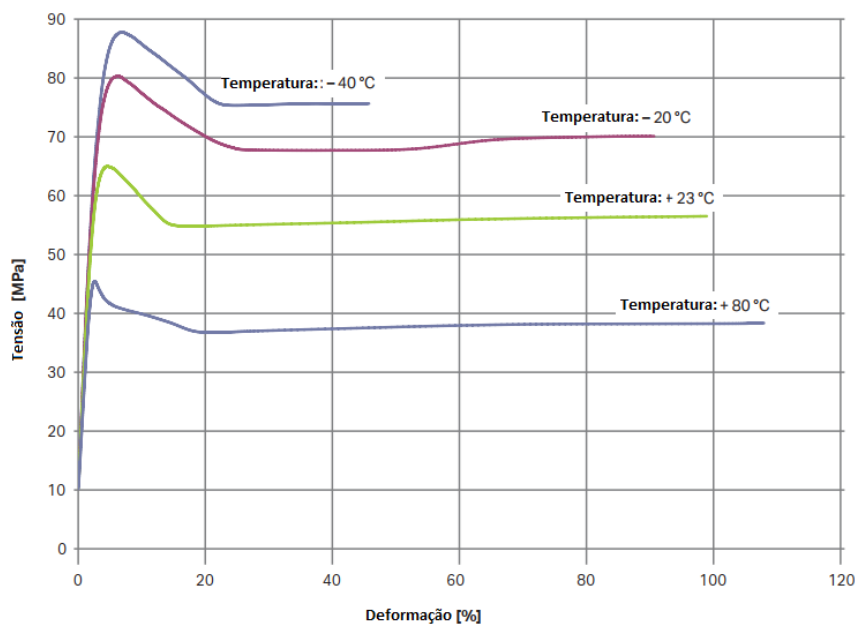


Figura 107 - Gráfico Tensão-Deformação do material polimérico equivalente (Bayblend T65XF) para diferentes temperaturas (Covestro Deutschland AG, 2016).

Podemos verificar que o comportamento de ambos ao alongamento, para os dados existentes, é muito semelhante. Para uma temperatura de 80 °C, verifica-se alongamentos no momento de rotura superiores a 20 %, podendo mesmo atingir 100 %. Considerando que a temperatura do jito no momento de extração está próxima dos 90 °C, podemos realizar a análise tendo como base os valores da Figura 107 para a temperatura de 80°C.

Uma vez que o alongamento no momento da rotura para estas condições está compreendido entre os 20 – 100 %, utilizando um fator de segurança de 2, conclui-se que o alongamento do canal principal do jito até ao instante de desmoldagem da banana não deverá ultrapassar os 45 – 50 % da dimensão inicial. Tendo como base os resultados obtidos, verifica-se que o ângulo máximo a utilizar seria de 62°. O estudo realizado com posicionamento do extrator diferente tem resultados muito equivalentes, logo a mudança de posição do extrator não iria trazer benefícios. Tendo em conta as conclusões obtidas, realizou-se uma geometria “ideal” de acordo com o estudo realizado, apresentada na Figura 108.

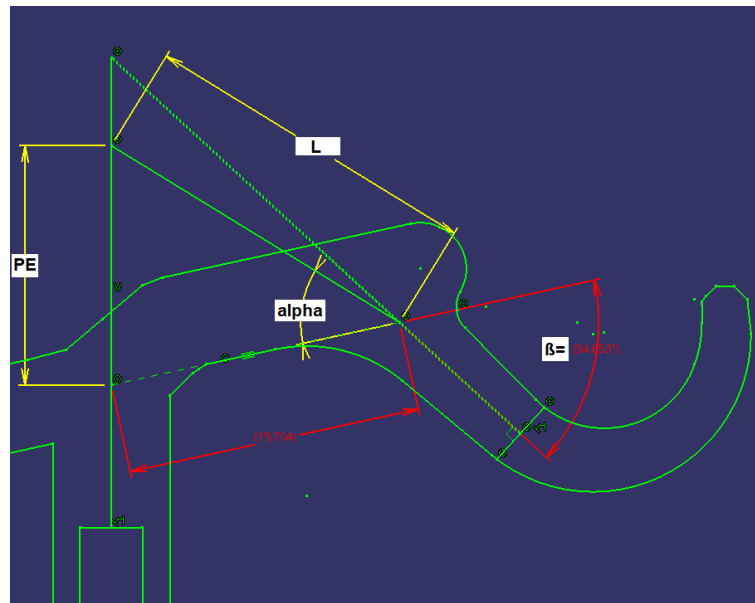


Figura 108 - Geometria do jito "ideal".

Adotou-se um ângulo de 55° , uma vez que para se realizar a desmoldagem no momento exato é necessário que exista alguma energia acumulada (gerada pelo alongamento). Logo não podemos aplicar um ângulo muito reduzido, caso contrário o jito não irá realizar uma força suficiente para desmoldar a banana no momento exato, além que ao aplicar um ângulo muito reduzido a banana teria de desmoldar totalmente mais cedo, o que não é possível. Na Tabela 24, podemos consultar os resultados da banana "ideal", e pode-se verificar que as deformações/alongamentos se encontram abaixo do limite estabelecido até ao momento de desmoldagem.

Tabela 24 - Análise de deformações dos jitos desde o momento inicial da extração até ao momento em que se atinge o ângulo de desmoldagem da banana com o formato ideal.

PE [mm]	L [mm]	ΔL [mm]	ϵ [%]	α [°]
0	19,704	0	0	0
10	20,115	0,411	2,085	29,065
12	20,782	1,078	5,47	34,351
14	21,614	1,91	9,69	39,27
16	22,593	2,889	14,66	43,793
18	23,7	3,996	20,28	47,917
20	24,919	5,215	26,46	51,656
22	26,235	6,531	33,145	55,033
24		$\alpha > \beta = 55^\circ$		

A Figura 109, demonstra o gráfico de deformações-ângulo da banana em relação à posição inicial, e pode-se verificar também a diferença de resultados entre a banana implementada no molde e a “ideal”.

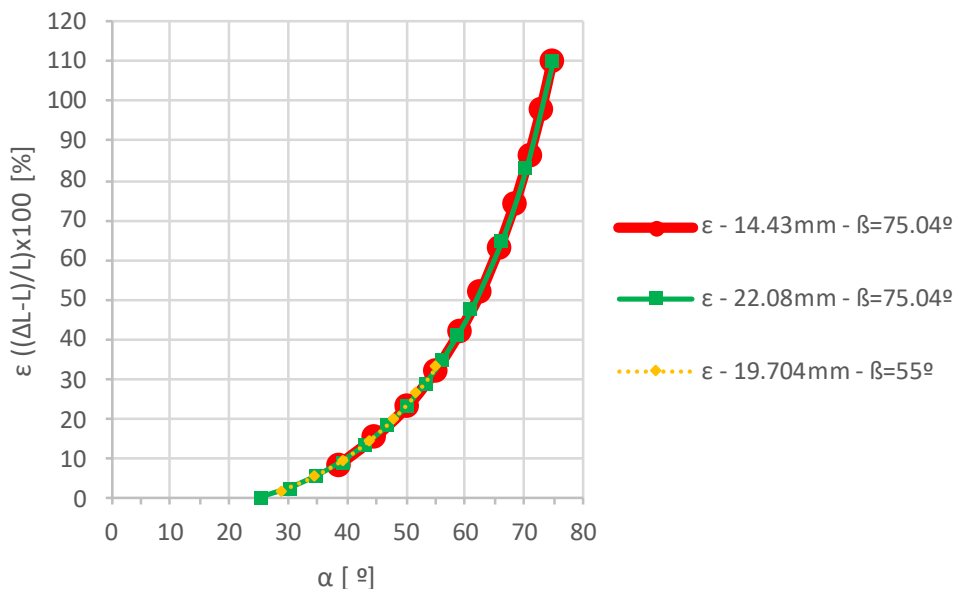


Figura 109 - Análise de deformações (ϵ) do jito durante a desmoldagem em relação ao ângulo α (alfa) do jito.

Antes de se avançar para a modificação da banana, decidiu-se aumentar o raio como demonstrado na Figura 110, de forma a diminuir a concentração de tensão provocada pelo raio demasiado pequeno implementado inicialmente no molde, e também diminuir ligeiramente o ângulo de desmoldagem necessário para remover a banana do interior do aço.

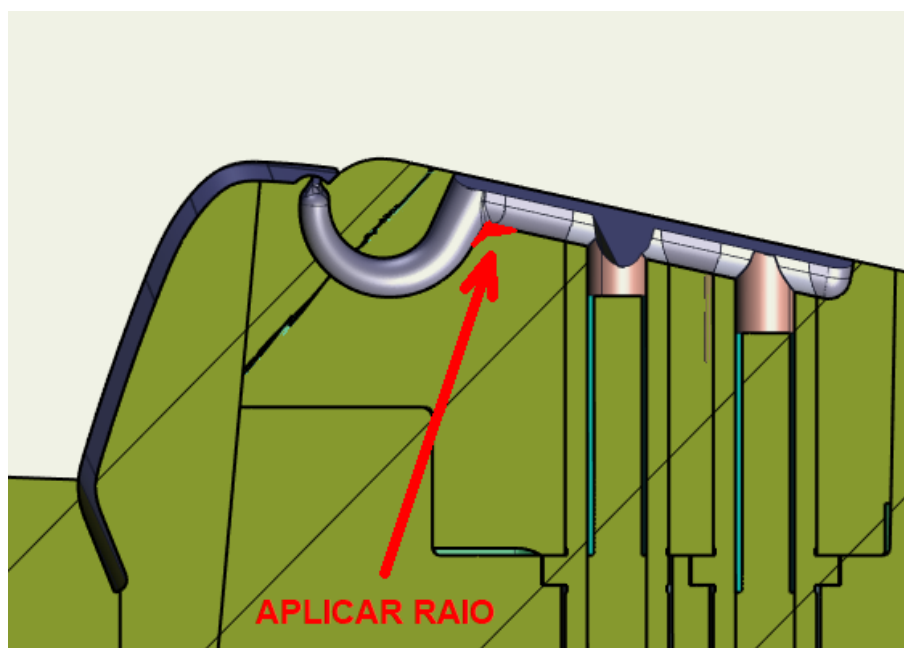


Figura 110 - Local de aplicação do raio na banana.

As peças poliméricas ficavam retidas nos levantadores que moldam frisos de centragem/em “cruz”, e era impossível removê-las com robot, como se pode ver na Figura 111.

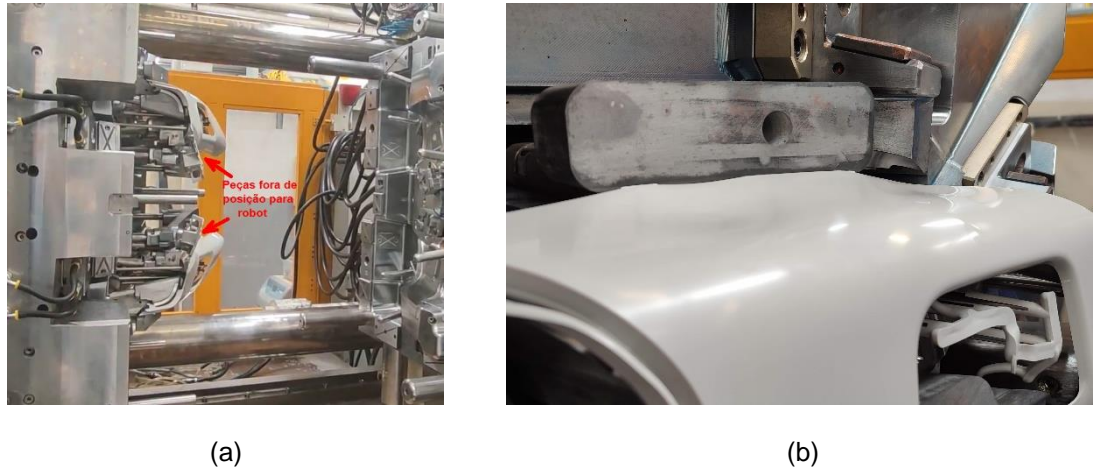


Figura 111 - Peças retidas nos levantadores e impossibilitadas de serem removidas pelo robot: (a) – posição das peças no final de curso de extração; (b) – peças deformadas devido aos frisos estarem “presos” nos levantadores.

Esta situação acontecia devido à inexistência de um apoio mecânico/elemento de extração que suporta-se o esforço de desmoldagem dos frisos dos levantadores, ou seja, deveria ser criada uma oposição ao movimento do levantador na peça. Para solucionar este problema decidiu-se aplicar barras extratoras e “unhas” na barra extratora já existente, de modo a manter as peças apoiadas durante o movimento dos levantadores e conseqüente desmoldagem dos frisos. Como se pode ver na Figura 112.

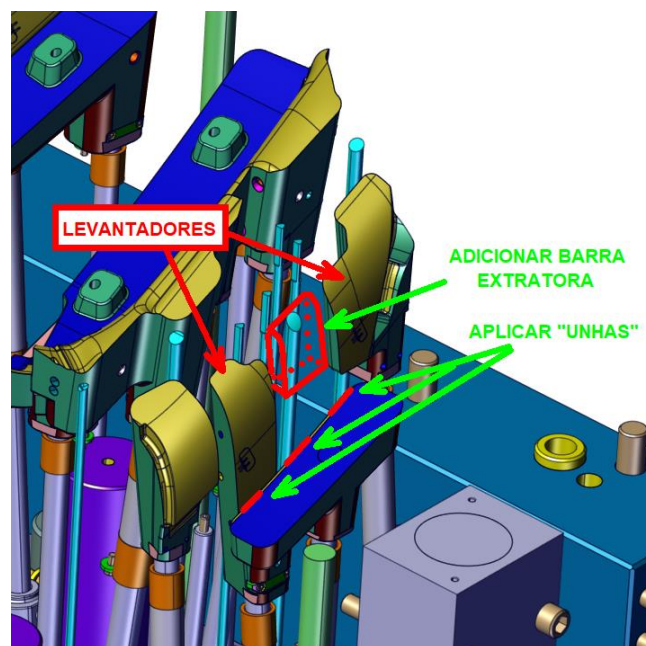


Figura 112 - Aplicação de barras extratoras e de “unhas” para suportar o esforço provocado pela desmoldagem dos levantadores e manter a peça em posição de remoção pelo robot.

Além da aplicação das barras extratoras, aumentou-se a inclinação das superfícies laterais dos frisos para diminuir o esforço de desmoldagem, e também se melhorou o polimento do aço nessas zonas. As peças poliméricas não tinham pontos de fixação aos elementos de extração do molde. A existência de elementos de extração que fixem/segurem a peça ajudam a manter a sua posição durante a fase de extração, evitam a sua queda no final do curso de extração, mantêm a posição das peças poliméricas para a remoção com *robot*, e também facilitam a desmoldagem dos levantadores, uma vez que ajudam a imobilizar a peça polimérica.

De modo a corrigir essa situação, aumentou-se o comprimento dos extratores de forma a “espertarem” aproximadamente metade da espessura da peça polimérica para que fiquem envolvidos pelo polimérico, como se pode observar na Figura 113, sendo que a contração do material polimérico ajudará a “prender” as peças nos extratores.

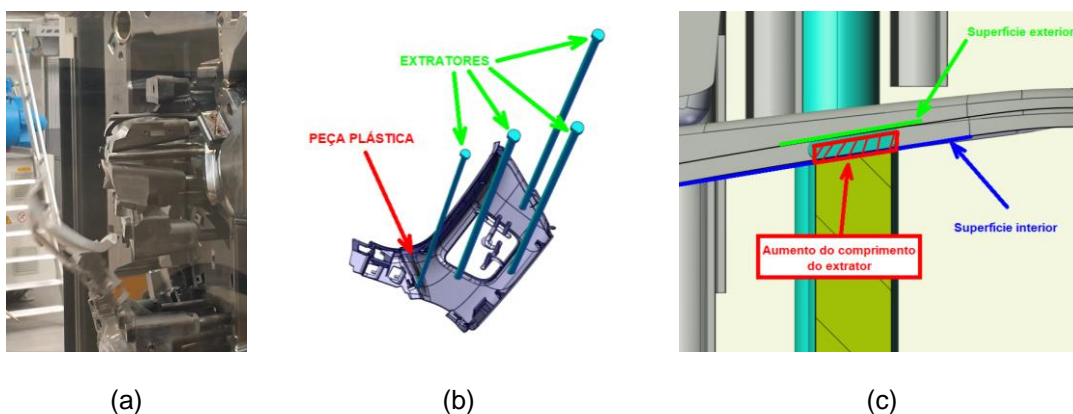


Figura 113 - Aumento do comprimento dos extratores: (a) – peça polimérica cai no final de curso de extração; (b) – extratores a aumentar o comprimento; (c) – detalhe da interferência do aumento do comprimento dos extratores na peça polimérica.

No decorrer do primeiro ensaio na máquina de injeção detetaram-se vários locais a melhorar no ponto de vista de qualidade de peça, dos quais, os de maior importância podem ser observados na Figura 114.

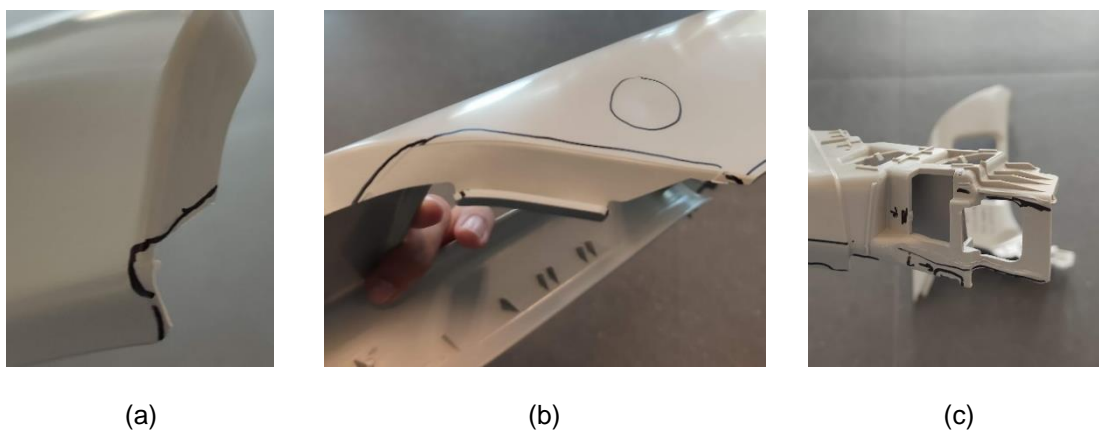
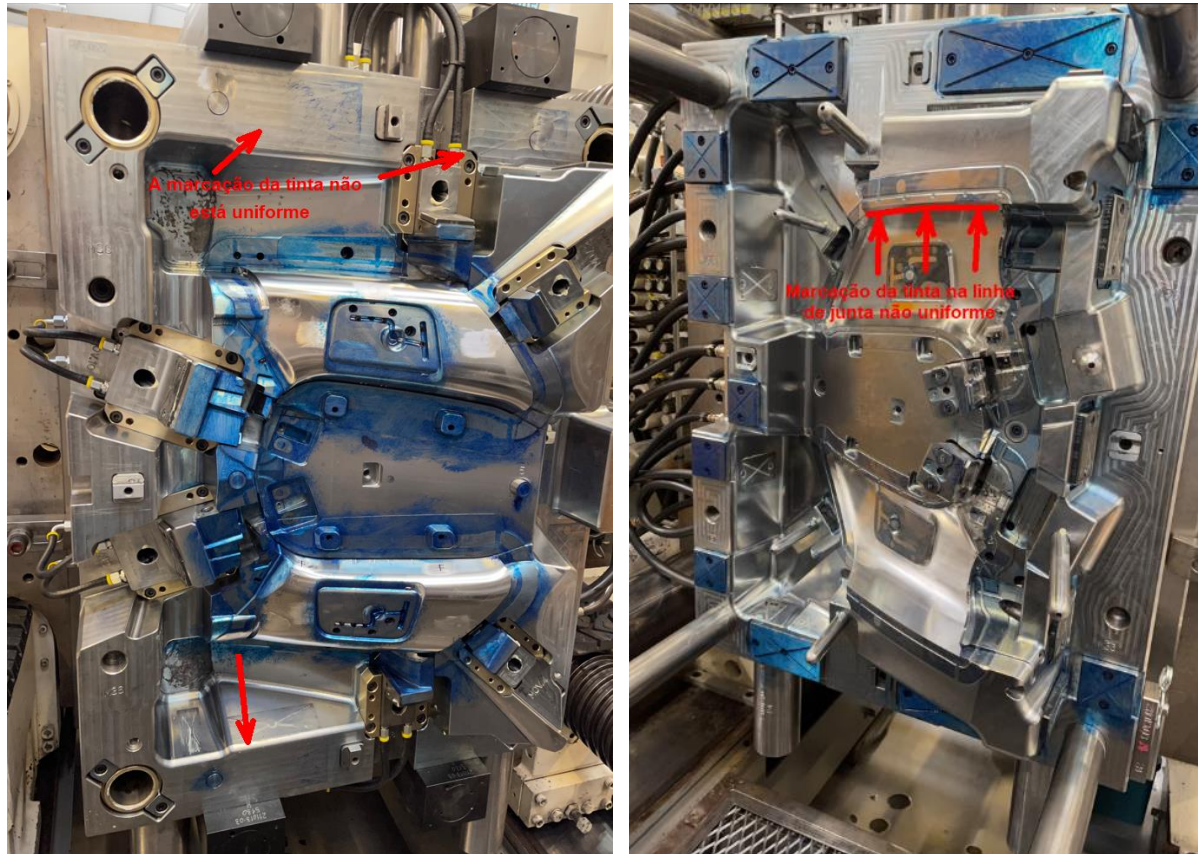


Figura 114 - Defeitos existentes nas peças poliméricas do primeiro ensaio na máquina de injeção. (a) – rebarba de polimérico; (b) – desencontro de superfícies; (c) – frisos danificados.

Antes de se retirar o molde da máquina de injeção no primeiro ensaio, foi realizada uma inspeção visual, de forma a verificar o estado do ajustamento entre macho e cavidade, como se pode ver na Figura 115.



(a)

(b)

Figura 115 - Verificação do ajuste entre macho e cavidade com tinta de marcação.

Após a verificação do ajuste da superfície de junta com tinta de marcação e a identificação dos pontos de rebarba nas peças poliméricas, concluiu-se que o ajustamento entre macho e cavidade necessita de ser melhorado, de modo a eliminar as mesmas. Desse modo, após o regresso do molde ao setor de bancada, este deverá ser reajustado novamente na prensa. O desencontro entre superfícies identificado na Figura 115 deve-se ao ajustamento entre os movimentos mecânicos e o macho. O ajustamento entre os movimentos mecânicos e o macho também deverá ser melhorado na prensa, nos quais se deverá aumentar/diminuir a espessura dos calços dos movimentos, de forma a avançar/recuar os movimentos para que as superfícies moldantes dos movimentos fiquem uniformes com o macho quando molde estiver fechado. Após se identificar os frisos deformados, verificou-se o estado do funcionamento dos elementos de extração. Detetou-se a existência de uma ligeira rotação dos levantadores. No setor de bancada, estes mecanismos deverão ser

desmontados para identificar as folgas existentes que estão a permitir a rotação dos levantadores que moldam os frisos.

4.10 Resultados obtidos nos ensaios posteriores na máquina de injeção

Após a realização do primeiro ensaio na máquina de injeção, foram realizados alguns ensaios seguidos de implementação de correções e/ou melhorias no molde, tendo como base inicial os problemas identificados no relatório do primeiro ensaio, referidos no capítulo anterior. Nos ensaios realizados posteriormente ao primeiro ensaio, foram cumpridos os mesmos procedimentos descritos no capítulo anterior até ao momento de se realizar a injeção do material polimérico, uma vez que já existiam parâmetros de injeção que foram definidos no primeiro ensaio. Contudo, os parâmetros utilizados no primeiro ensaio são apenas uma referência inicial. Ao longo dos ensaios, mediante os resultados das melhorias/correções implementadas e do comportamento do molde foram-se ajustando os parâmetros até se obter o resultado projetado.

Tendo como referência o comportamento do molde, a qualidade das peças poliméricas e os dados recolhidos ao longo dos ensaios para analisar a evolução geral das correções e melhorias implementadas no molde, pode-se verificar os resultados das propostas apresentadas no relatório de melhorias e correções, das quais se obtiveram os seguintes resultados. As quebra dos jitos em forma de banana – verificou-se que a implementação do raio maior permitiu a extração correta dos jitos, como se pode verificar na Figura 116.

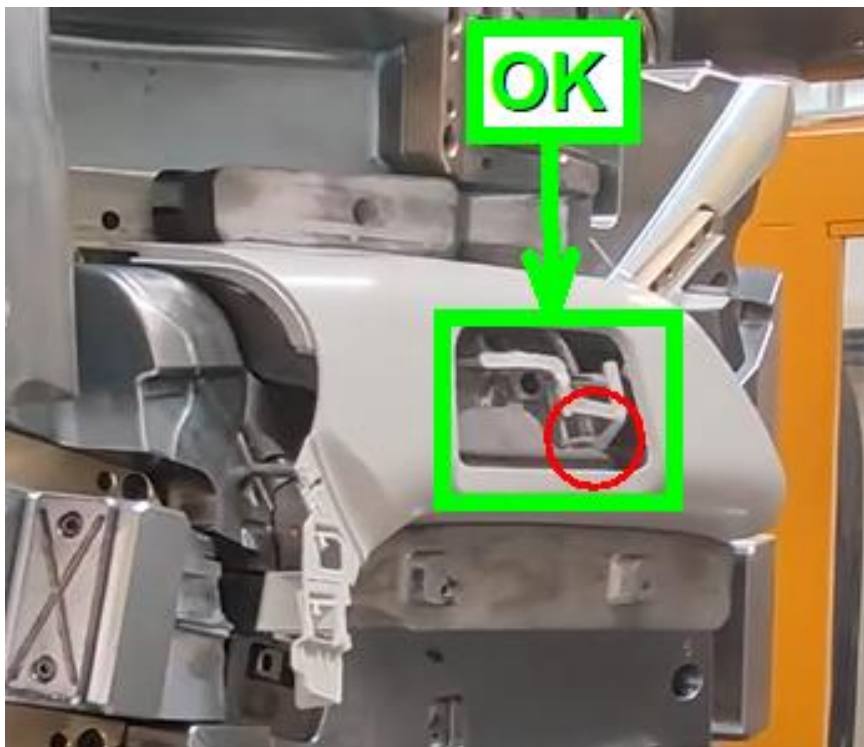


Figura 116 - Jito com ataque em banana com implementação do novo raio em fase final de extração.

A implementação do raio permitiu reduzir a concentração de tensões nesse local e também diminuir o ângulo de desmoldagem da banana, ou seja, os resultados obtidos validam a análise realizada no capítulo anterior. A desmoldagem incompleta, deformação de frisos e a queda das peças poliméricas no final de curso de extração. Todos estes problemas existentes estavam interligados e deviam-se ao desequilíbrio da extração das peças, resultante da falta de fixação e/ou apoio das peças poliméricas durante a fase de extração. Antes de se avançar para a implementação das propostas referidas no relatório do primeiro ensaio foram efetuadas algumas verificações à geometria que estava implementada no molde. Primeiramente, o departamento de projeto voltou a verificar se o eixo de desmoldagem dos frisos estava correto, no qual não se verificou qualquer anomalia. Numa fase posterior, o setor de produção e bancada analisaram se o fabrico dos levantadores e a sua montagem estava de acordo com o projeto 3D. Após terem sido realizadas todas as avaliações, procedeu-se à implementação das correções e melhorias referidas no relatório de correções e melhorias. Como resultado da implementação do aumento do comprimento dos extratores, das barras extratoras, e também das “unhas” foi possível realizar a extração equilibrada das peças poliméricas e manter as peças fixas no final de curso de extração para serem removidas com o robot, como se pode observar na Figura 117.

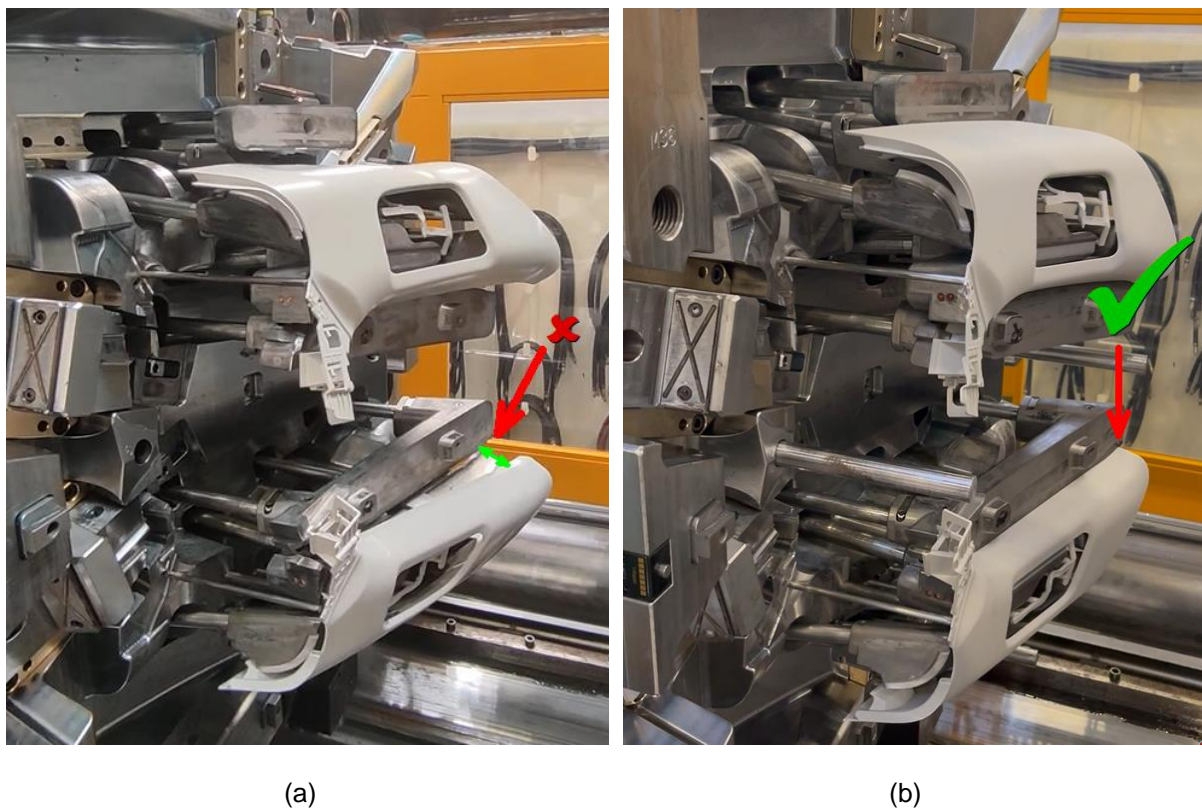


Figura 117 - Estado das peças poliméricas no final do curso de extração: (a) – desmoldagem incompleta das peças poliméricas no final de curso de extração; (b) – peças poliméricas em posição correta para serem removidas pelo *robot*.

Durante o período de ensaios e implementação de correções e melhorias no molde após o primeiro ensaio, foi também melhorado o polimento do macho e dos elementos de extração, e que teve um impacto muito importante, de forma a diminuir o esforço de desmoldagem gerado pela rugosidade do aço. As rebarbas e os desencontros de junta foram eliminados após o reajuste das superfícies de junta na prensa. As reduções das folgas existentes nos levantadores da cavidade permitiram eliminar as deformações dos frisos nas peças poliméricas. Pode-se observar as melhorias implementadas no molde nas peças poliméricas representadas na Figura 118.

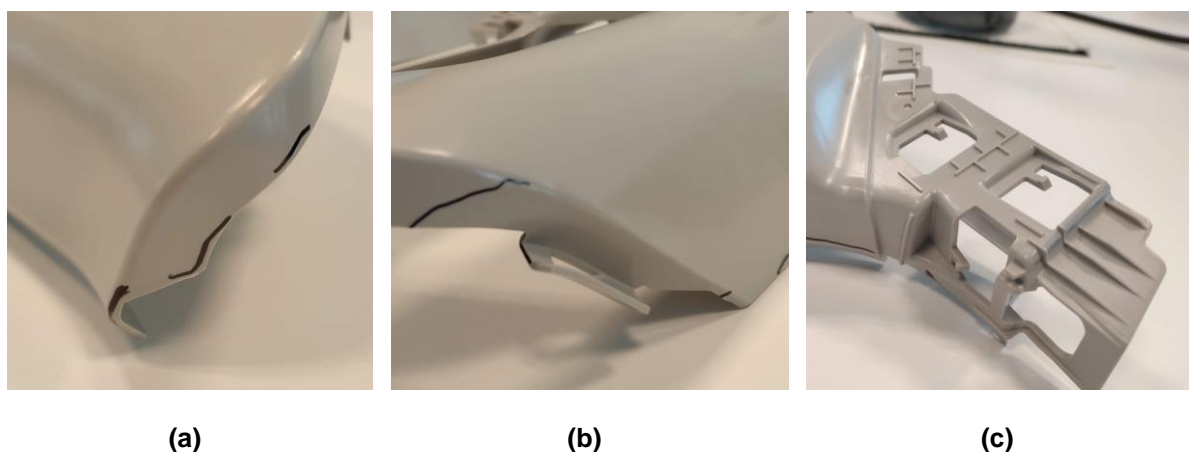


Figura 118 - Estado das peças poliméricas após o reajuste das superfícies de junta do molde e melhoria dos ajustamentos dos mecanismos de extração: (a) – rebarba de material; (b) – desencontro de superfícies; (c) – frisos danificados pelos levantadores da cavidade.

Quando todos os pontos de correção e melhoria quanto à qualidade da peça polimérica, como ao funcionamento do molde foram concluídos, obteve-se a aprovação do cliente para aplicar textura na cavidade, uma vez que o molde se encontrava nas condições ideais quanto à qualidade das peças poliméricas que estava a produzir, como ao seu funcionamento mecânico.

4.11 Primeiro ensaio do molde com textura

Uma vez que o molde no ensaio que se obteve aprovação para textura estava nas condições ideais para texturizar a cavidade, no primeiro ensaio do molde com textura, estavam também reunidas as condições para se finalizar o ajuste dos parâmetros de injeção, visto que no primeiro ensaio do molde na máquina de injeção, devido às condições funcionais do molde, não foi possível finalizar os estudos de compactação e de refrigeração. De modo a finalizar o estudo de compactação descrito no capítulo 4.9.4, no primeiro ensaio com textura, após estarem concluídos todos os procedimentos referidos no capítulo 4.9.1 para se iniciar a injeção de material polimérico no molde, o operador da máquina de injeção começou por realizar o enchimento de algumas peças com os parâmetros dos ensaios anteriores, mas sem

aplicar período de compactação. Após a injeção de algumas peças poliméricas para se estabilizar o processamento do material polimérico, iniciou-se o estudo de compactação. Tal como realizado no primeiro ensaio, iniciou-se o estudo com pressão e período de compactação baixos, os quais foram aumentados gradualmente ao longo do estudo. Abaixo, na Tabela 25 podemos consultar os parâmetros utilizados durante a fase de compactação e também os valores de massa de uma peça polimérica e a almofada na unidade de injeção obtidos com os respetivos parâmetros de compactação.

Tabela 25 - Estudo de compactação das peças poliméricas.

Injeção n.º	Pressão [bar]	Tempo [s]	Massa de peça [g]	Almofada [mm]
1	450	5	222	70,2
2	500	5	222	68,7
3	600	5	224	67,7
4	700	5	224	67,3

Tendo como referência os valores de massa de peça polimérica e de almofada da Tabela 25, podemos assim concluir que a partir da injeção número 3 não existe variação significativa de massa da peça polimérica, assim como também o valor de almofada na unidade de injeção, o que nos indica que não existe entrada significativa de material polimérico no molde com pressão superior à aplicada na injeção número 3. O aumento da pressão a partir desse valor poderá provocar tensões residuais na peça polimérica e conseqüentemente o aparecimento/aumento de empenos.

Através da análise referida no parágrafo anterior podemos concluir que os parâmetros a definir a fase de compactação para se obter as melhores peças poliméricas são os da injeção número 3, indicados na Tabela 25 e na Figura 119. Assim como o estudo de compactação, também o estudo de arrefecimento não foi concluído no primeiro ensaio do molde na máquina de injeção. De modo a finalizar o estudo, realizaram-se novamente testes quanto ao tempo de arrefecimento a utilizar. Inicialmente foi utilizado o mesmo tempo de arrefecimento obtido no capítulo 4.9.5, com o qual foram obtidas peças poliméricas com a qualidade desejada. Contudo, como é habitual, o cliente do molde pretende reduzir ao máximo o tempo de ciclo de injeção. Com esse objetivo, reduziu-se o tempo de arrefecimento para 20 segundos como se pode confirmar pela Figura 119.

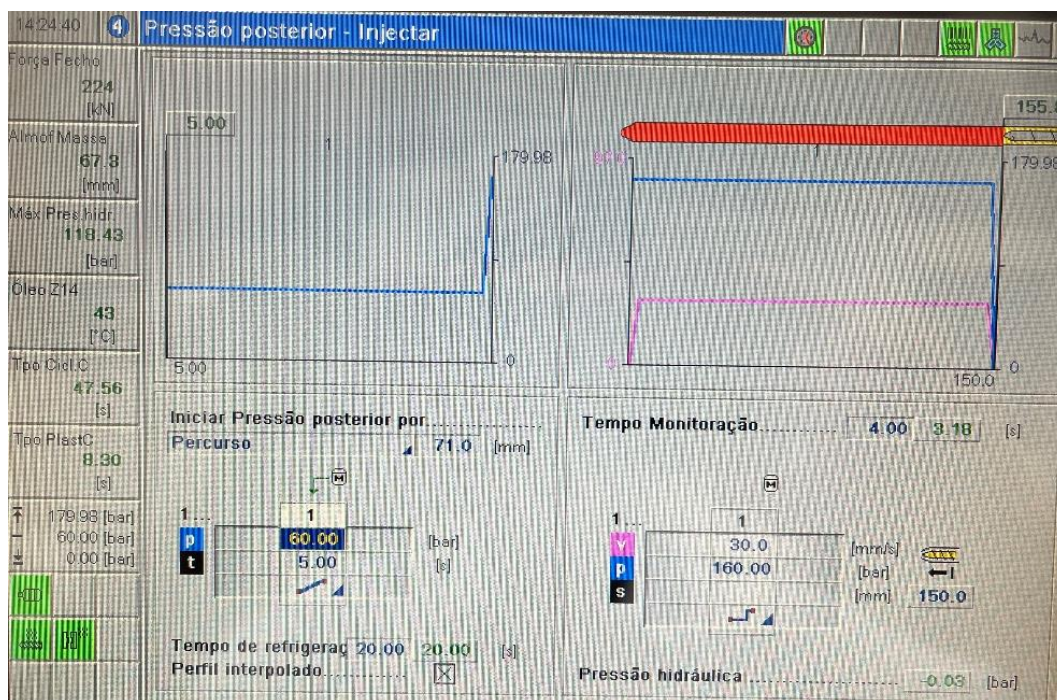


Figura 119 - Parâmetros de compactação, com os quais se obtém as melhores peças poliméricas.

Este tempo de arrefecimento já tinha sido utilizado no primeiro ensaio do molde, mas devido ao estado de funcionamento e acabamento do molde não se obtiveram bons resultados. Pelo contrário, neste ensaio conseguiram-se bons resultados com 20 segundos de arrefecimento, com os quais não existiram diferenças no esforço de desmoldagem, como também não apareceram deformações provocadas por elementos de extração na peça. A obtenção das peças poliméricas com a qualidade desejada e com 20 segundos de arrefecimento deve-se às melhorias implementadas no molde desde o primeiro ensaio.

Após definidos todos os parâmetros de injeção, sendo este o primeiro ensaio do molde com textura, o objetivo deste ensaio é validar o funcionamento do molde e a qualidade da peça polimérica para expedir o molde para o cliente. Tal como foi verificado durante a finalização dos estudos de compactação e de arrefecimento, o funcionamento do molde estava bom, assim como a qualidade da peça na sua generalidade. Contudo, verificou-se que nas extremidades das peças polimérica existiam danos na textura, e seria necessário suavizar a textura nas zonas afetadas, como se pode observar na Figura 120.



(a)

(b)

Figura 120 - Textura da danificada nas extremidades das peças poliméricas: (a) – região da textura danificada; (b) – vestígios de material polimérico no aço da cavidade.

De modo a eliminar os raspados existentes na textura, a mesma deverá ser suavizada. O processo de suavização de textura consiste em reduzir a profundidade do padrão de textura no aço da cavidade, de forma a diminuir a inclinação da superfície de peça necessária para desmoldar a peça sem danificar a textura da peça polimérica.

Após a realização deste processo, todos os danos existentes na textura foram eliminados. Finalmente, os requisitos exigidos pelo cliente para o molde e para a qualidade da peça foram atingidos e obteve-se a validação para expedir o molde para a sua unidade de produção.

5 Conclusão e trabalhos futuros

O fabrico de moldes é uma indústria com vários desafios para a Engenharia Mecânica dada a necessidade do conhecimento de diversos domínios da mecânica durante o processo de construção das ferramentas, dos quais podemos enumerar os mais importantes: desenho técnico, resistência e seleção de materiais, mecânica de fluídos, transmissão de calor e processos de fabrico. Tal como acontece em todas as indústrias, a indústria de moldes não é exceção, a competição existente entre fornecedores provoca o esmagamento de preços dos produtos, e para que uma empresa continue competitiva no mercado é exigido um constante desenvolvimento de tecnologias e de processos com o objetivo de redução de custos de fabrico, situação à qual as respostas provenientes da engenharia têm um peso enorme.

O acompanhamento do projeto, construção e ensaios de moldes permitiram ao autor concluir que embora devam existir metodologias de projeto e de processos de fabrico para cada tipo de peça polimérica e de molde, cada molde deve ser analisado de forma independente e iterativa, uma vez que surgem sempre novas dificuldades em cada projeto, e por vezes, devido à interligação de vários fatores a resolução de um problema provoca o aparecimento de uma nova dificuldade.

Quanto ao molde acompanhado e utilizado para a elaboração deste relatório de estágio foram atingidos os objetivos principais, a obtenção de lucro e a aprovação do molde para expedição até ao quarto ensaio. A concretização desses objetivos foi resultado do conjunto de diversos fatores, os quais se desenrolaram durante a fase de projeto do molde até à implementação de ações corretivas após os vários ensaios, momento em que se retiraram as conclusões do trabalho realizado por toda a equipa da SF Moldes.

- Projeto – algumas das falhas existentes no molde no primeiro ensaio na máquina de injeção não foram devidamente abordadas durante a fase de projeto, das quais se destacam a quebra dos jitos em forma de banana, desmoldagem incompleta de frisos e a queda das peças poliméricas no final da fase de extração.

Quanto à quebra dos jitos verificou-se na análise realizada no capítulo 4.9.6 que o ângulo de desmoldagem da banana não deve ultrapassar os 62° , ao contrário dos 75° inicialmente implementados no molde.

A inexistência de uma barra extratora próxima aos levantadores que moldam os frisos em cruz no interior da peça causavam a desmoldagem incompleta da peça polimérica, uma vez que não existia mecanismo que impusesse uma reação de oposição ao movimento dos levantadores, conseqüentemente a peça não desmoldava do levantador. Além disso a falta de fixação da peça polimérica aos extratores provocava desequilíbrio durante a fase de extração;

- Produção – assim como o projeto, a produção também esteve na origem de algumas das falhas do molde no primeiro ensaio, das quais se destacam as

rebarbas, desencontros de junta e ajustamentos. Estes tipos de falhas acontecem devido à exigente carga de trabalho existente, que por vezes provoca falhas no planeamento produtivo. A falha existente no planeamento produtivo impossibilita a finalização dos moldes da melhor forma, devido à falta tempo para finalizar pequenos detalhes com elevada importância na qualidade da peça polimérica no prazo definido para realizar o primeiro ensaio.

Como trabalho futuro seria interessante para a indústria de moldes o desenvolvimento de instrumentação para o controlo automático de moldes através da leitura de deformações existentes no molde com posterior correção automática de parâmetros da máquina de injeção.

Referências Bibliográficas

- 3D HUBS B.V. (2022, 04 22). *The manufacturing & design guide*. Retrieved from HUBS A PROTOLABS COMPANY: <https://www.hubs.com/guides/injection-molding/#the-basics>
- AUTOMATIC UNSCREW THREAD INJECTION MOLD*. (2022, 04 12). Retrieved from Spark.mould.com Your Mold Factory In China!: <https://www.spark-mould.com/threaded-cover-mold/?msclkid=3b8dbf8db9b411ecb70085d9f9d8402a>
- Baptista, A., Neto, H., Menezes, J., & Godinho, L. (2022a, 03 17). *BICOS DE INJEÇÃO*. Retrieved from Moldes: http://formacao.training.pt/?page_id=1439
- Baptista, A., Neto, H., Menezes, J., & Godinho, L. (2022b, 04 04). *PLACAS ISOLADORAS (PEÇAS Nº 1-1/9-1)*. Retrieved from Moldes: http://formacao.training.pt/?page_id=847
- Baptista, A., Neto, H., Menezes, J., & Godinho, L. (2022c, 04 05). *RESISTÊNCIAS PARA AQUECIMENTO DE MOLDES*. Retrieved from Moldes: http://formacao.training.pt/?page_id=4252
- Baptista, A., Neto, H., Menezes, J., & Godinho, L. (2022d, 04 08). *SISTEMAS DE INJEÇÃO E DE EXTRACÇÃO*. Retrieved from Moldes: http://formacao.training.pt/?page_id=614
- BasicAutomotives. (2023, 03 15). *Pillars of Your Car – All You Should Know*. Retrieved from Basic Automotives Explore and Learn: <https://basicautomotives.com/pillars-of-your-car/>
- Brito, A. M., Matos, A., Mendes, S. S., & Pontes, A. J. (2004). *Manual do Projetista - Sistema de Controlo de Temperatura*. Marinha Grande: CENTIMFE - Centro Tecnológico da Indústria de Moldes.
- Cars.com. (2023, 03 15). *What Are A-, B-, C- and D-Pillars in a Car?* Retrieved from Cars.com: <https://www.cars.com/articles/what-are-a-b-c-and-d-pillars-in-a-car-443033/>
- Covestro Deutschland AG. (2016, 03). Product range. *Typical values*. Leverkusen.
- CraftFac. (2022, 05 23). *10 commonly used injection molding materials*. Retrieved from CraftFac: <https://craftfac.com/10-commonly-used-injection-molding-materials/>
- Cunha, A., J. Pontes, A., & M. Brito, A. (2003). *Manual do Projetista - Moldação por injeção e materiais plásticos*. Marinha Grande: Cenfimfe - Centro Tecnológico da Indústria de Moldes Ferramentas Especiais e Plásticos.
- Ermanno Balzi Srl. (2022, 05 02). *MOLD PARTS AND COMPONENTS - INSERT FOR MOLD VENTING*. Retrieved from ERMANNO BALZI: <https://www.ermannobalzi.com/eng/insert-for-mold-venting-s21.php>

- EX MOULD Co. (2022, 04 20). *How To Prevent Plastic Injection Mold Shrinkage Fluctuation*. Retrieved from MOLD PLASTIC INJECTION: <https://www.moldplasticinjection.com/news/how-to-prevent-plastic-injection-mold-shrinkage-fluctuation>
- Ferreira, P. (2023a). *Material de apoio da UC de Fabrico de Moldes - Contração, guiamento e acabamento*. Coimbra: Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- Ferreira, P. (2023b). *Material de apoio da UC de Seleção de Materiais - Materiais Poliméricos*. Coimbra: Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- Fit Precision Mold Co., Ltd. (2022, 04 06). *Different Types of Gates for Injection Molding*. Retrieved from fit EMPOWER YOUR PRODUCTS: <https://www.fitmold.com/knowledge/different-types-of-gates-for-injection-molding/>
- Gardner Business Media, Inc. (2022, 04 07). *TOOLING: The Impact of Hydraulics on Tool Design*. Retrieved from Plastics Technology: <https://www.ptonline.com/articles/tooling-the-impact-of-hydraulics-on-tool-design>
- Goodship, V. (2004). *Practical Guide to Injection Moulding*. Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, SY4 4NR, UK: Rapra Technology Limited and ARBURG Limited.
- GÜNTHER Heisskanaltechnik GmbH. (2022a, 03 17). *Hot runner nozzles – A variety solutions for modern injection moulding technology*. Retrieved from GÜNTHER HOT RUNNER TECHNOLOGY: <https://www.guenther-hotrunner.com/products/hot-runner-systems/open-hot-runner-systems/hot-runner-nozzles.html>
- GÜNTHER Heisskanaltechnik GmbH. (2022b, 03 17). *Open hot runner systems*. Retrieved from GÜNTHER HOT RUNNER TECHNOLOGY: <https://www.guenther-hotrunner.com/files/content/en/download/open-hot-runner-systems/guenther-open-hot-runner-systems.pdf>
- Haitian Group. (2022, 06 07). *Haitian Jupiter Series Technology to the point*. Retrieved from HAITIAN PLASTICS MACHINERY: <http://haitianpm.com/pt-br/products/haitian-jupiter-series-ju/#juiii24000-front>
- HASCO. (2022a, 04 26). *Blocos de travamento*. Retrieved from HASCO Enabling with System.: <https://www.hasco.com/pt/Cat%C3%A1logo-do-produto/Z/Elementos-guiamento/Blocos-de-travamento/c/PIM030106?search=true>
- HASCO. (2022b, 04 27). *Elementos guiamento*. Retrieved from HASCO Enabling with System.: https://www.hasco.com/pt/Z/Elementos-guiamento/Casquilho/p/Z1000W_I2xd1

- HASCO. (2022c, 04 28). *Padronizados K*. Retrieved from HASCO Enabling with System.: https://media.hasco.com/marketing/Produkt/KAT/K_KAT.pdf
- Informa PLC. (2022a, 05 10). *Robust processing, Part 2: Scientific Molding and Design of Experiments*. Retrieved from PLASTICS TODAY COMMUNITY FOR PLASTICS PROFESSIONALS: <https://www.plasticstoday.com/robust-processing-part-2-scientific-molding-and-design-experiments>
- Informa PLC. (2022b, 05 10). *Robust processing, Part 1: The aesthetic, dimensional, and control process windows*. Retrieved from PLASTICS TODAY COMMUNITY FOR PLASTICS PROFESSIONALS: <https://www.plasticstoday.com/robust-processing-part-1-aesthetic-dimensional-and-control-process-windows?msclkid=636fd811cf8911eca308fa16d8d00eb0>
- Informa PLC. (2022c, 04 26). *Proper alignment: How to give your molds a long and healthy life*. Retrieved from PLASTICS TODAY COMMUNITY FOR PLASTICS PROFESSIONALS: <https://www.plasticstoday.com/proper-alignment-how-give-your-molds-long-and-healthy-life>
- Kirchheim, A., Katrodiya, Y., Zumofen, L., Ehrig, F., & Wick, C. (2022, 03 28). Dynamic conformal cooling improves injection molding. *Hybrid molds manufactured by laser powder bed fusion*, p. 111. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-021-06794-0>
- M. Cunha, A., M. Brito, A., Matos, A., & J. Pontes, A. (2003). *Manual do Projetista - Tipificação de Moldes*. Marinha Grande: CENTIMFE - Centro Tecnológico da Indústria de Moldes.
- Martins, P., & CENFIM. (2019). *Desenho e Projeto de Moldes*. Porto: FCA.
- Matos, A., Pontes, A., Sousa, R., Sousa Mendes, S., & Rato, A. (2003). *Manual do Projetista - Materiais para moldes e técnicas de fabrico*. Marinha Grande: CENTIMFE - Centro Tecnológico da Indústria de Moldes.
- Meusburger Georg GmbH & Co KG. (2022, 03 15). *ESTRUTURAS STANDARD*. Retrieved from meusburger Standards for your Success: <https://www.meusburger.pt/PT/PT/produtos/estruturas-standard>
- Meusburger Georg GmbH. (2023, 12 15). *Material Grades*. Retrieved from https://www.meusburger.com/PT/PT/media/DOC_PRO_LEA_Materialqualitaet_en_IN.pdf
- Moldblade. (2022, 06 14). *Plastic Injection Moulding: Main Defects in Injection Moulded Parts*. Retrieved from Moldblade: <https://moldblade.com/en/plastic-injection-moulding-main-defects-in-injection-moulded-parts/>
- Pontes, A., Brito, A., Matos, A., Araújo, B., & Mendes, S. (2004). *Manual do Projetista - Sistema de extração*. Marinha Grande: CENTIMFE - Centro Tecnológico da Indústria de Moldes.

- Pontes, A., Sousa, R., Sousa Mendes, S., Matos, A., & Rato, A. (2003). *Manual do Projetista - Zonas Moldantes, Guiamento e Travamento*. Marinha Grande: CENTIMFE - Centro Tecnológico da Indústria de Moldes.
- Proto Labs, Inc. (2022a, 04 20). *Draft Angle Guidelines for Injection Molding*. Retrieved from PROTO LABS Manufacturing Accelerated: <https://www.protolabs.com/resources/design-tips/improving-part-moldability-with-draft/>
- Proto Labs, Inc. (2022b, 04 21). *Injection Molding Surface Finishes*. Retrieved from PROTO LABS Manufacturing Accelerated: <https://www.protolabs.com/resources/design-tips/sorting-through-surface-finishes/>
- RTC Couplings GmbH. (2022a, 03 31). *ACCESSORIES for pneumatics and liquid applications*. Retrieved from RTC Coupling Technology: <https://www.rtc-couplings.com/en/accessories.html>
- RTC Couplings GmbH. (2022b, 03 31). *COLLECTORS Free configurable standard collectors*. Retrieved from RTC Coupling Technology: <https://www.rtc-couplings.com/en/collectors.html>
- RTC Couplings GmbH. (2022c, 03 29). *MONOCOUPPLINGS for liquids*. Retrieved from RTC Coupling Technology: <https://www.rtc-couplings.com/en/quickcouplings-liquids.html>
- RTC Couplings GmbH. (2022d, 03 31). *MULTICOUPLINGS for liquid applications*. Retrieved from RTC Coupling Technology: <https://www.rtc-couplings.com/en/multicouplings-liquids.html>
- Seaco Mould Co.,Ltd. (2022, 05 10). *Lubricant Bucket Mould*. Retrieved from SEACOMOULD plastic mould manufacturer: <https://seacomould.com/products/Lubricant-bucket-mould.html>
- Standex Engraving Mold-Tech. (2022, 04 21). *TEXTURA - FOLHA DE DADOS TÉCNICOS*. Retrieved from Standex ENGRAVING MOLD-TECH: <https://e7m9y7r8.stackpathcdn.com/wp-content/uploads/2018/11/PT-SMT-Technical-Data-Sheet.pdf>
- THE TOOL HUB. (2022a, 04 14). *ACCELERATED EJECTORS*. Retrieved from The Tool Hub: <http://thetoolhub.com/toolmaking/accelerated-ejectors/>
- THE TOOL HUB. (2022b, 04 21). *STANDEX ENGRAVING DRAFT ANGLES*. Retrieved from The Tool Hub: <http://thetoolhub.com/part-design/standex-engraving-draft-angles/>
- V. Rosato, D., V. Rosato, D., & G. Rosato, M. (2000). *Injection Molding Handbook*. Boston/Dordrecht/London: Kluwer Academic Publishers.

WIT MOLD LIMITED. (2022, 04 11). *Ways to Eject parts from a mold*. Retrieved from WIT MOLD MOLD COLORFUL LIFE!: <https://witmold.wordpress.com/ways-to-eject-parts-from-a-mold/>

YUDO. (2022a, 03 17). *T hot half*. Retrieved from YUDO Solutions for plastic injection: <http://yudo.su/en/catalog/t-hot-half-66/>

YUDO. (2022b, 03 17). *TINA GP*. Retrieved from YUDO Solutions for plastic injection: <http://yudo.su/en/videos/tina-gp-5/>

