



Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Análise ao Projeto de um Molde para a Moldura Superior de uma Arca Frigorífica Horizontal

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

Especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos
Mecânicos

Autor

Gonçalo Filipe Almeida Soares

Orientador

Professor Doutor Pedro Miguel Soares Ferreira

Supervisor na empresa SF Moldes

Engenheiro Rui Miguel Marques Teixeira

Coimbra, fevereiro de 2024



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

AGRADECIMENTOS

A todos que fizeram parte deste percurso, ao longo de cinco anos.

Ao meu orientador, Professor Doutor Pedro Miguel Soares Ferreira, por todos os conselhos e disponibilidade sempre demonstrada. Ao supervisor na empresa, Engenheiro Rui Miguel Marques Teixeira, e a todos os colegas do departamento de projeto da empresa, pela partilha de conhecimentos.

À minha mãe, ao meu pai e ao meu irmão por tudo o que fazem por mim. Aos meus avós, tios e primos por estarem sempre lá. À Matilde.

Aos meus amigos de Oliveira de Azeméis e de Coimbra por todos os momentos vividos. À Rua Verde Pinho e à Rua Corpo de Deus por serem as melhores ruas de Coimbra.

Ao ISEC.

Por fim, aos que já cá não estão, mas continuam presentes.

RESUMO

O presente trabalho visa apresentar e analisar as diferentes etapas de concepção de um molde para injeção de termoplástico, com ênfase na fase de projeto.

O objeto de estudo do trabalho trata-se de um molde de 2 placas, com a peculiaridade de, através de postigos intercambiáveis, ser capaz de produzir as 5 versões de uma peça.

A peça plástica em lise está inclusa na indústria de *houseware electrics* e trata-se de uma moldura para a parte superior de uma arca frigorífica horizontal. Esta arca possui 5 tamanhos diferentes pelo que,  necessária a produção de 5 versões da peça.

Inicialmente é feita uma abordagem introdutória aos conceitos necessários para a compreensão do conteúdo do trabalho. No desenvolvimento do trabalho é discutido o desenho do molde e a seleção dos materiais empregues na construção deste. Esta etapa implica a execução de estudos de elementos finitos e reológicos bem como, cálculos de dimensionamento para seleção de componentes e técnicas adequadas.

Na última parte, são apresentados os resultados do ensaio do molde e discutidas as conclusões acerca do trabalho desenvolvido.

Palavras-chave: injeção, molde, projeto, dimensionamento

ABSTRACT

The present work aims to outline the different stages of designing and analysis of a mold for thermoplastic injection, placing particular emphasis on the design phase. The object of study in this work is a 2-plate mold, with the peculiarity of being able to produce 5 versions of a part through interchangeable inserts.

The plastic part under analysis is part of the houseware electrics industry and is a frame for the top of a horizontal refrigerator box. This box comes in 5 different sizes, requiring the production of 5 versions of the part. Initially, an introductory approach is made to the concepts necessary for understanding the content of the work.

In the development of the work, the mold design is discussed as well as the selection of materials used in its construction. This stage involves the execution of finite element and rheological studies, as well as sizing calculations for the selection of components and appropriate techniques.

In the final part, the results of the mold test are presented, and conclusions about the work developed are discussed.

KeyWords: mold, injection, design, sizing

ÍNDICE

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract.....	iii
Índice.....	iv
Índice de figuras.....	viii
Índice de tabelas	xiv
Lista de Abreviaturas	xv
Lista de Símbolos	xvi
1 Introdução	1
1.1 Panorama da indústria dos moldes em Portugal.....	1
1.2 Objetivos e metodologia do trabalho	2
1.3 Estrutura do documento	3
2 Moldação por injeção.....	4
2.1 Apresentação da entidade acolhedora do estágio	4
2.2 O processo de injeção	5
2.3 Máquina de injeção	6
2.4 O molde	6
2.4.1 Tipos de molde.....	7
2.5 Constituição de um molde comum (2 placas)	9
2.5.1 Placas do molde	9
2.5.2 Elementos de injeção	10
2.5.3 Elementos de extração	11
2.5.4 Elementos moldantes.....	13
2.5.5 Elementos redondos.....	16
2.5.6 Elementos de guiamento	16
2.5.7 Elementos de imobilização.....	17
2.5.8 Elementos de transporte.....	18
2.5.9 Elementos de ligação.....	19
2.5.10 Elementos de refrigeração	19

3	Anteprojeto do molde.....	22
3.1	Planeamento de projeto	22
3.2	Peça e Conceito do Molde	23
3.3	Análise de Peça.....	24
3.3.1	Saídas	24
3.3.2	Nervuras	25
3.3.3	Perfil da peça	26
3.3.4	Aberturas	27
3.3.5	Perfil em “E” e em “C”	27
3.3.6	Furo de drenagem.....	28
3.3.7	Qualidade das peças.....	29
3.4	Material da peça	29
3.5	Caderno de encargos do cliente.....	30
3.6	Força de fecho da máquina de injeção	31
3.7	Contração da peça	33
3.8	Separação da peça em macho e cavidade	33
4	Projeto do molde	35
4.1	Seleção de materiais.....	35
4.2	Código de cores.....	36
4.3	Estrutura do molde.....	36
4.4	Placas do molde	38
4.4.1	Placas de encosto	38
4.4.2	Calços.....	38
4.4.3	Placa de extração.....	39
4.4.4	Placa do macho/cavidade.....	39
4.4.5	Postiços.....	40
4.5	Desenho do molde	42
4.5.1	Software de modelação	42
4.5.2	Sistema de extração.....	42
4.5.2.1	Extração do macho	43
4.5.2.2	Extração da cavidade	50
4.5.3	Sistema de Injeção	55
4.5.4	Placas de deslize e placas de pressão.....	57

4.5.5	Guiamento do molde	58
4.5.6	Sistema de refrigeração	59
4.5.7	Sistema pneumático	63
4.5.8	Sistema de içamento	64
4.5.9	Elementos de transporte, monitorização, segurança e identificação ...	65
4.5.9.1	Barras de transporte	65
4.5.9.2	Contador de ciclos.....	66
4.5.9.3	Acessórios do sistema de refrigeração.....	66
4.5.9.4	Chapas de identificação.....	67
4.5.9.5	Gravações	69
4.6	Estudo de elementos finitos.....	70
4.6.1	Análise estrutural.....	70
4.6.1.1	Elementos considerados	70
4.6.1.2	Fixações	70
4.6.1.3	Cargas aplicadas.....	71
4.6.1.4	Malhas e suas propriedades	72
4.6.1.5	Contactos entre elementos	73
4.6.1.6	Resultados	73
4.6.1.6.1	Tensões de Von Mises	73
4.6.1.6.2	Deslocamento.....	75
4.6.1.6.3	Análise de resultados do estudo estrutural	75
4.7	Estudo reológico relativo ao circuito de refrigeração	76
4.8	Estudo reológico de enchimento	78
4.9	Dimensionamento do molde	82
4.9.1	área de contacto	82
4.9.2	Resistência da placa da cavidade  pressão de injeção	83
4.9.3	Dimensionamento da placa do macho	84
4.9.4	Dimensionamento dos calços	86
4.9.5	Dimensionamento das guias	86
4.9.6	Dimensionamento da força de extração.....	88
4.9.7	Dimensionamento dos extratores	89
4.9.8	Dimensionamento das resistências do bico de injeção	90
4.9.9	Dimensionamento dos movimentos com acionamento por mola gás	91
4.9.10	Dimensionamento das placas de pressão	92

4.10	Cinemática do molde.....	93
4.11	Ensaio do molde	95
5	Conclusões.....	99
	Referências bibliográficas	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Volume de mercados na indústria de moldes nacional (Cefamol, 2023).	1
Figura 1.2 – Países para os quais Portugal é exportador (Cefamol, 2023).	2
Figura 2.1 – Vista aérea das instalações da empresa (schneider-form, 2023).....	4
Figura 2.2 – Representação da organização da SF Molde.....	4
Figura 2.3 – Representação do ciclo de injeção (CENTIMFE, 2003).	5
Figura 2.4 – Representação de uma máquina de injeção de parafuso alternativo (CENTIMFE, 2003).	6
Figura 2.5 – Secção de um molde de 2 placas (Moreira, 2015)	7
Figura 2.6 – Representação de um molde de três placas (CENTIMFE, 2003).....	8
Figura 2.7 – Representação de um molde <i>sandwich</i> (CENTIMFE, 2003).....	8
Figura 2.8 – Representação de um molde bi-material (CENTIMFE, 2003).....	9
Figura 2.9 – Representação da numeração das placas de um molde de duas placas.	10
Figura 2.10 – Representação do injetor principal (lado esquerdo) e o molde com o injetor (lado direito) (Moldes, 2023).....	10
Figura 2.11 – Representação de um distribuidor (lado esquerdo) e o molde com o distribuidor (lado direito) (Moldes, 2023).....	11
Figura 2.12 – Representação de um bico de injeção (lado esquerdo) e o molde com o distribuidor e bicos de injeção (lado direito) (Moldes, 2023).....	11
Figura 2.13 – Representação da guia de extração (lado esquerdo) e das guias da placa de extração (lado direito) (Moldes, 2023).	12
Figura 2.14 – Representação de extratores de peça (lado esquerdo) e representação dos extratores de peça no molde (lado direito) (Moldes, 2023).....	12
Figura 2.15 – Representação de dois extratores de canal.....	12
Figura 2.16 – Representação de um extrator tubular a moldar uma bossa (tubular a verde e perno a azul).	13
Figura 2.17 – Representação de um extrator em lâmina (Moldes, 2023).....	13
Figura 2.18 – Representação de um movimento à extração (à esquerda) e de um carrinho (à direita) (Marques, 2021).....	14
Figura 2.19 – Vista explodida do movimento mecânico, à esquerda, e movimento mecânico, à direita (Marques, 2021).	14

Figura 2.20 – Representação de um movimento hidráulico.	15
Figura 2.21 – Representação de um exemplo de um postigo.	15
Figura 2.22 – Representação de uns pilares de suporte montados numa placa de extração.	16
Figura 2.23 – Representação das anilhas de centragem do lado da injeção (à esquerda) e do lado móvel (à direita).	16
Figura 2.24 – Representação de uma guia (à esquerda) e das guias principais do molde (à direita) (Moldes, 2023).	17
Figura 2.25 – Representação dos <i>interlocks</i>	17
Figura 2.26 – Representação dos pernos de retorno, a verde, num molde.	18
Figura 2.27 – Representação de olhais, a vermelho, num molde.	18
Figura 2.28 – Representação de um parafuso de cabeça cilíndrica (à esquerda) e de um parafuso de cabeça cónica (à direita)	19
Figura 2.29 – Representação de bocais na placa de um molde.	19
Figura 2.30 – Tubos de extensão representados a amarelo.	20
Figura 2.31 – Representação de uma placa de várias ligações (à esquerda) e aplicação de uma placa num molde (à direita) (Moldes, 2023).	20
Figura 2.32 – Representação de um <i>o-ring</i> (à esquerda), de um bujão (ao centro) e de um taco (à direita) (Moldes, 2023).	21
Figura 3.1 – Diagrama com prazos de execução previstos de cada etapa do projeto.	22
Figura 3.2 – Representação das várias versões da peça a moldar.	23
Figura 3.3 – Análise geral de saídas da peça	24
Figura 3.4 – Pedido de alteração de saída da superfície assinalada (à esquerda), para facilitar a extração da peça (à direita).	25
Figura 3.5 – Representação das nervuras com espessura demasiado baixa.	25
Figura 3.6 – Nervura em forma de cruz e respetivas localizações na peça (à esquerda)	26
Figura 3.7 – Representação do perfil da secção da peça (valores em milímetros). .	26
Figura 3.8 – Adição de raios de canto nas arestas externas.	27
Figura 3.9 – Superfícies de vedação sinalizadas a verde.	27
Figura 3.10 – Alterações executadas no perfil em “C” da peça.	28
Figura 3.11 – Alterações executadas no perfil em “E” da peça.	28
Figura 3.12 – Alteração das superfícies da junta na zona do furo de drenagem.	29

Figura 3.13 – Componentes do ABS e respetivas propriedades (CENTIMFE, 2003).	30
Figura 3.14 – Representação da área projetada da peça.	32
Figura 3.15 – Gráfico da pressão de injeção em função do tempo obtido no <i>software</i> de reologia.....	32
Figura 3.16 – Representação da separação das superfícies do macho (vermelho)/cavidade (verde).	33
Figura 3.17 – Representação das superfícies de junta da cavidade ( esquerda) e do macho ( direita).	34
Figura 4.1 – Representação esquemática da estrutura do molde em estudo.....	37
Figura 4.2 – Alojamento das tampas de acesso direto às barras extratoras.....	38
Figura 4.3 – Representação dos calços.....	39
Figura 4.4 – Representação da placa de extração.	39
Figura 4.5 – Representação da placa da cavidade.....	40
Figura 4.6 – Representação da placa do macho.....	40
Figura 4.7 – Representação dos postos do lado móvel.	41
Figura 4.8 – Representação dos postos do lado fixo.	41
Figura 4.9 – Representação do esquema do sistema de gás de auxílio  extração da peça (mack, 2023)	43
Figura 4.10 – Elementos sistema de extração do lado móvel.	43
Figura 4.11 – Válvula e respetivo circuito pneumático	44
Figura 4.12 – Distância da válvula pneumática ao poço mais próximo (~15 mm) 44	
Figura 4.13 – Representação das barras extratoras na peça.....	45
Figura 4.14 – Representação das barras extratoras e pormenor da mola helicoidal.	45
Figura 4.15 – Representação de todos os componentes da barra extratora.....	46
Figura 4.16 – Representação da localização das barras extratoras das nervuras na peça.	47
Figura 4.17 – Representação de um extrator de canal ( esquerda) e extrator de peça ( direita).	47
Figura 4.18 – Representação do conjunto de extratores completos na peça.	48
Figura 4.19 – Secção que evidência o ajustamento dos extratores.	48
Figura 4.20 – Representação dos furos (assinalados a vermelho) para a passagem dos KO's.	49

Figura 4.21 – Representação dos pernos de retorno montados na placa de extração	49
Figura 4.22 – Pilares de suporte a roxo e guias de extração a rosa.....	50
Figura 4.23 – Movimento acionado por mola a gás e guiado por "T".....	50
Figura 4.24 – Vista de baixo, de cima e isométrica do movimento acionado por mola a gás (da esquerda para a direita).....	51
Figura 4.25 – Contra saídas a desmoldar pelos movimentos.	51
Figura 4.26 – Folga com que o movimento passa pela peça (movimento em fim de curso).....	52
Figura 4.27 – Curso de desmoldagem necessário para desmoldar o perfil em C (à esquerda) e em E (à direita).	52
Figura 4.28 – Movimento acionado por mola a gás no início (à esquerda) e fim de curso (à direita).	52
Figura 4.29 – Representação em corte da secção que evidencia a mola a gás.	53
Figura 4.30 – Representação da mola de disco.....	53
Figura 4.31 – Representação do sistema de ganchos.....	54
Figura 4.32 – Representação da secção do movimento que evidencia o limitador de curso.	54
Figura 4.33 – Representação da secção legendada do movimento.....	55
Figura 4.34 – Representação do bico de injeção.	56
Figura 4.35 – Representação da anilha de centragem do lado fixo do molde.	56
Figura 4.36 – Representação do ataque em leque e canais de alimentação.	57
Figura 4.37 – Representação das placas de pressão e das placas de deslize do lado fixo do molde, assinaladas a vermelho e a azul, respetivamente.....	57
Figura 4.38 – Risco de colisão dos movimentos da cavidade com os elementos do lado móvel.	58
Figura 4.39 - Representação de uma guia do molde com extensão (à esquerda) e sem extensão (à direita).....	58
Figura 4.40 – Representação do sistema de refrigeração: a – espessura da peça; b – 1 x diâmetro do furo; c – 3 x diâmetro do furo; d – diâmetro do furo; e – 0,5 x diâmetro do furo.....	59
Figura 4.41 – Secção do macho que evidencia a utilização de palhetas.....	59
Figura 4.42 – Secção de um poço (à esquerda) e vista isométrica de um poço intersetado por furo (à direita).....	60
Figura 4.43 – Representação do princípio de funcionamento da palheta.	61

Figura 4.44 – Sistema de refrigeração da cavidade na peça.	61
Figura 4.45 – Sistema de refrigeração do macho na peça.	62
Figura 4.46 – Circuito de refrigeração dos movimentos.	63
Figura 4.47 – Bujão DIN 908 (norelem, 2023).....	63
Figura 4.48 – Bujão DIN 906 (norelem, 2023).....	63
Figura 4.49 – Representação do sistema pneumático na peça.	64
Figura 4.50 – Representação do sistema de içamento completo e das metades do molde.	64
Figura 4.51 – Seleção do olhal em função da massa do molde.	65
Figura 4.52 – Representação da barra de transporte montada.	65
Figura 4.53 – Representação do contador de ciclos.....	66
Figura 4.54 – Representação dos acessórios de ligação do circuito de refrigeração do molde.	66
Figura 4.55 – Representação dos acessórios de ligação do circuito de refrigeração do molde com a máquina de injeção.....	67
Figura 4.56 – Chapa relativa ao circuito de refrigeração do lado móvel.....	67
Figura 4.57 – Chapa relativa ao circuito de refrigeração do lado fixo.....	68
Figura 4.58 – Chapa relativa  massa do molde e ao seu modo de içamento.....	68
Figura 4.59 – Chapa relativa  sequência de funcionamento do molde.....	69
Figura 4.60 – Gravações da placa de encosto do lado móvel.....	69
Figura 4.61 – Elementos considerados no cálculo de elementos finitos.	70
Figura 4.62 – Representação do que foi considerado como elementos encastrados para a análise por elementos finitos.....	71
Figura 4.63 – Pressões aplicadas na gravação do macho (esquerda) e na cavidade (direita), a azul pressão de 75 MPa e a vermelho pressão de 50 MPa.	71
Figura 4.64 – Pressões aplicadas nos canais de injeção da cavidade (esquerda) e do macho (direita), ambas com pressões de 55 MPa.....	72
Figura 4.65 – Propriedades da malha dos blocos (macho e cavidade).....	72
Figura 4.66 – Conexões atribuídas entre os componentes do molde.	73
Figura 4.67 – Tensões de Von Mises bloco do lado móvel.....	73
Figura 4.68 – Tensões de Von Mises dos calços e dos pilares de suporte da extração.	74
Figura 4.69 – Tensões de Von Mises da placa de encosto.....	74
Figura 4.70 – Tensões de Von Mises no bloco do lado fixo.	75

Figura 4.71 – Local onde ocorreu o deslocamento máximo.	75
Figura 4.72 – Resultados do estudo para a temperatura do líquido de refrigeração do lado fixo (antes das alterações à esquerda e depois das alterações à direita).	76
Figura 4.73 – Resultados do estudo para a temperatura do líquido de refrigeração do lado móvel (antes das alterações à esquerda e depois das alterações à direita).	77
Figura 4.74 – Resultados do estudo para a temperatura média da peça (antes das alterações à esquerda e depois das alterações à direita).	77
Figura 4.75 – Resultado do estudo para a temperatura de superfície do <i>cold runner</i> (antes das alterações à esquerda e depois das alterações à direita).	78
Figura 4.76 – Resultados para o tempo de enchimento.	78
Figura 4.77 – Resultados para a temperatura na frente de fluxo.	79
Figura 4.78 – Resultados para a pressão no final do enchimento.	79
Figura 4.79 – Resultados para a distorção da peça.	80
Figura 4.80 – Resultados para as linhas de união.	80
Figura 4.81 – Representação das fugas de gás.	81
Figura 4.82 – Resultados para a acumulação de gases.	81
Figura 4.83 – Representação das dimensões consideradas no dimensionamento da placa macho.	85
Figura 4.84 – Indicação das zonas negativas da peça.	91
Figura 4.85 – Triângulo de trabalho dos movimentos.	92
Figura 4.86 – Representação das placas de pressão montadas nas patas de elefante do molde e respetiva área.	93
Figura 4.87 – Representação do movimento de fecho do molde.	94
Figura 4.88 – Barras extratoras no início e fim do seu curso, à esquerda e à direita, respetivamente.	94
Figura 4.89 – Sistema de extração do lado móvel do molde no início e fim do seu curso, à esquerda e à direita, respetivamente.	94
Figura 4.90 – Ciclo de injeção do molde em estudo.	95
Figura 4.91 – Colisão das mangueiras com os postigos intermutáveis.	96
Figura 4.92 – <i>Step</i> criado pelo ajuste dos postigos.	96
Figura 4.93 – Desencontro da junta.	97
Figura 4.94 – Efeito de espirro visível na peça.	97
Figura 4.95 – Rebarba visível na peça.	97
Figura 4.96 - Efeito jato visível na peça.	98

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Dados sobre a máquina de injeção.	31
Tabela 4.1 – Propriedades do aço 1.1730 (Ramada Aços, 2023).	35
Tabela 4.2 – Propriedades do aço 1.2738 (Ramada Aços, 2023).	35
Tabela 4.3 – Código de cores utilizado internamente.	36
Tabela 4.4 – Relação entre o diâmetro dos duros e o diâmetro dos poços.	60
Tabela 4.5 – Dimensões das placas de pressão implementadas no molde.	92

LISTA DE ABREVIATURAS

2,5D	Duas dimensões e meia
3D	Três dimensões
ABS	<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>
adm.	Adimensional
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
HB	Dureza Brinell
KO's	Knock out rods

LISTA DE SÍMBOLOS

$\%$	Percentagem
μm	Micrómetro
σ_R	Tensão de rotura
CS	Coeficiente de segurança
F_f	Força de fecho da máquina de injeção
W	Carga no interior da cavidade ou carga aplicada
L	Comprimento interno da parede da cavidade ou distância entre os calços ou comprimento da guia ou comprimento do extrator
E	Módulo de elasticidade
y	Deflexão permitida na parede lateral
t	Espessura mínima da cavidade ou espessura da peça
P_c	Pressão na cavidade
h	Altura da cavidade
σ_m	Tensão admissível
Z	Módulo de resistência à flexão
B	Comprimento da placa
d	Espessura da placa ou diâmetro do círculo equivalente ao perímetro da cavidade
A	Área ou área de contacto entre a peça e o molde
F_{guia}	Carga aplicada em cada guia
m	Constante do tipo de conexão ou massa do material
I	Momento de inércia da secção
P	Força de extração

S_t	Contração térmica do plástico
μ	Coeficiente de fricção entre o aço e o plástico
γ	Coeficiente de Poisson do plástico
α	Coeficiente de expansão térmica
ΔT	Diferença de temperatura entre a injeção e a extração da peça
F	Força aplicada no extrator
D	Diâmetro do extrator
Q	Calor transferido por condução
C	Calor específico do material
T_1	Temperatura mais alta
T_0	Temperatura mais baixa
P_{inj}	Pressão de injeção

1 INTRODUÇÃO

1.1 Panorama da indústria dos moldes em Portugal

Portugal ocupa, hoje, uma posição prestigiada no que diz respeito ao panorama tanto mundial, mas especialmente europeu na indústria dos moldes, sendo oitavo e terceiro maior produtor de moldes respetivamente. Como é possível verificar na Figura 1.1, o principal setor de vendas do mercado nacional destina-se à indústria automóvel. O começo da pandemia provocou uma redução de atividade neste setor e consequente redução de trabalho. Isto, aliado à mais recente guerra entre a Ucrânia e a Rússia, que provocou não só um aumento dos preços da matéria-prima, como uma crise energética, constitui um grande desafio para a indústria. (Cefamol, 2023)

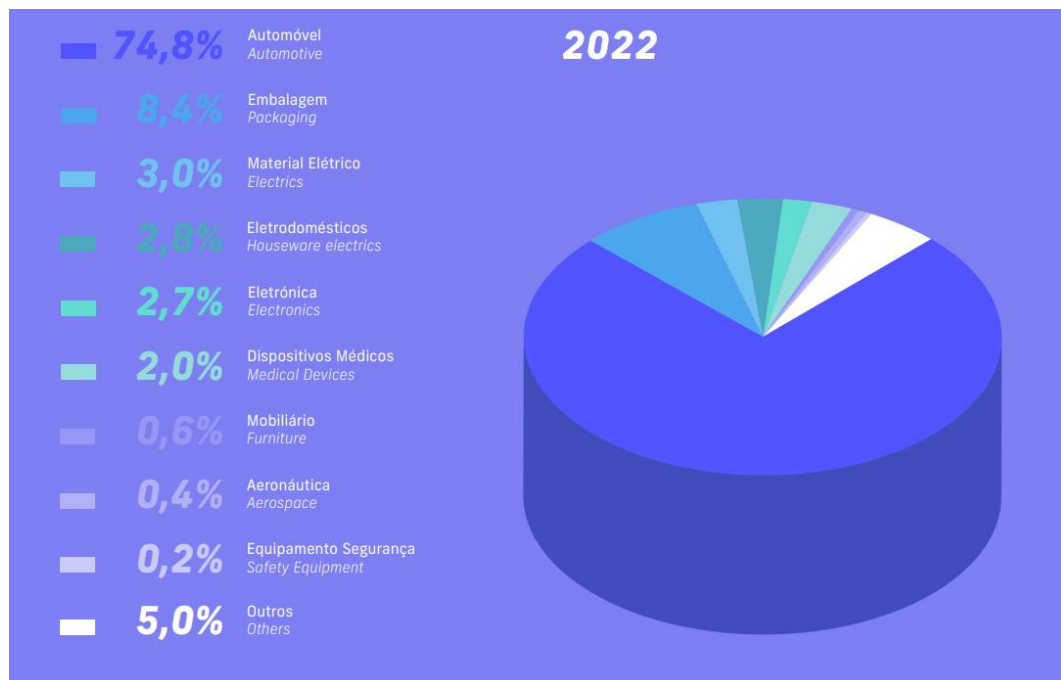


Figura 1.1 – Volume de mercados na indústria de moldes nacional (Cefamol, 2023).

Atualmente, há 478 empresas no setor, que dão emprego a 9900 pessoas, sendo que 55% das empresas se encontram sediadas na Marinha Grande (24 %), em Leiria (15 %) e em Oliveira de Azeméis (15 %) (Cefamol, 2023). Em 2022, as exportações superaram os 500 milhões de euros, representando um aumento de 1,4% em relação a 2021, dados reveladores de uma recuperação aos efeitos da Covid-19 (Cefamol, 2023). As exportações representam 80% da produção total, sendo que os mercados predominantes são a Alemanha, a Espanha e a França (Figura 1.2).

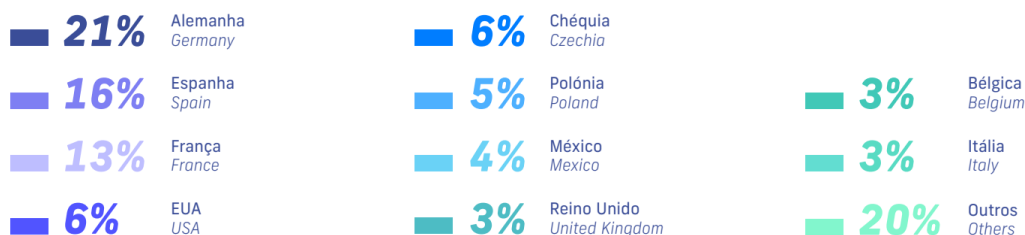


Figura 1.2 – Países para os quais Portugal  exportador (Cefamol, 2023).

1.2 Objetivos e metodologia do trabalho

Este trabalho tem como objetivo acompanhar, na íntegra, o processo de criação de um molde de injeção de termoplástico, com ênfase na parte do projeto uma vez que, o estágio foi maioritariamente realizado no departamento de projeto da entidade acolhedora. Assim, serão abordados todos os pontos de desenvolvimento de um projeto de um molde. Os objetivos que foram delineados para cumprir o desenvolvimento do trabalho proposto, encontram-se enumerados da seguinte forma:

- Projeto de um molde de injeção de material termoplástico;
- Utilização de ferramentas computacionais para a modelação e dimensionamento dos componentes do molde;
- Utilização de ferramentas computacionais para simular o enchimento e arrefecimento da peça plástica produzida;
- Acompanhamento da produção do molde;
- Produção das peças de teste.

A metodologia adotada para cumprir os objetivos delineados está enumerada abaixo:

- Análise da peça a fabricar e dos requisitos do cliente;
- Utilização de *software* CAD para o desenho do sistema de extração, sistema de injeção, sistema de refrigeração e estrutura do molde;
- Utilização de *software* CAD para a simulação da cinemática do molde;
- Utilização de *software* de reologia para a simulação do enchimento e arrefecimento da peça;
- Produção e ajuste do molde;
- Ensaio do molde e produção de peças de teste.

1.3 Estrutura do documento

O documento encontra-se dividido em 5 capítulos. No primeiro capítulo, é feito um pequeno enquadramento da indústria dos moldes em Portugal, seguido da apresentação dos objetivos e das metodologias adotadas no trabalho.

No capítulo 2 são apresentadas breves noções sobre tipos e componentes de moldes, para contextualização do conteúdo do documento.

O capítulo 3 é constituído pela análise da peça a produzir, bem como todos os requisitos necessários para que se possa prosseguir para o projeto do molde.

É no capítulo 4 que se aborda a modelação do molde bem como, a análise estrutural e dimensionamento do mesmo e são apresentados os resultados do ensaio do molde.

Por fim, são reunidas as conclusões do trabalho realizado, no capítulo 6.

2 MOLDAÇÃO POR INJEÇÃO

2.1 Apresentação da entidade acolhedora do estágio

A SF Moldes fundada em 1980, adquirida pelo grupo Schneider Form em 2006, inaugurou as novas instalações em 2020 (Figura 2.1). A empresa encontra-se situada no Polo Empresarial de Ul/Loureiro.



Figura 2.1 – Vista aérea das instalações da empresa (schneider-form, 2023)

A empresa atualmente conta com a colaboração de 120 pessoas, que se encontram divididas por 10 departamentos diferentes. Na Figura 2.2, apresenta-se a organização da empresa.

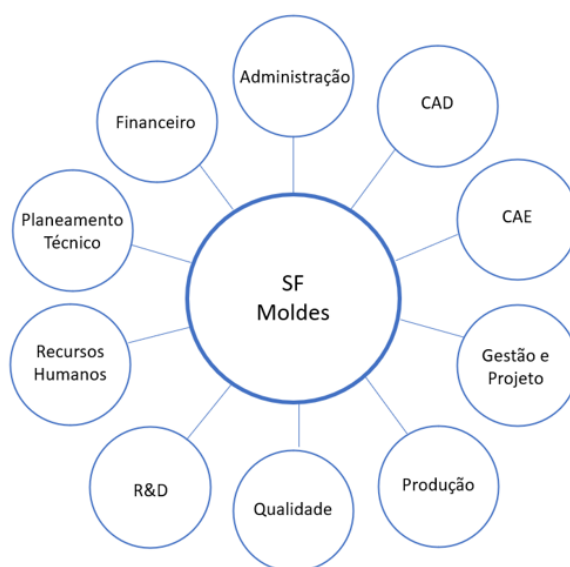


Figura 2.2 – Representação da organização da SF Molde.

O seu mercado foca essencialmente na produção de moldes de injeção de termoplástico para a indústria automóvel, com forças de fecho de 1 a 3 toneladas, tendo atingido em 2019, 15 milhões em vendas.

2.2 O processo de injeção

Atualmente, a obtenção de produtos com base polimérica é feita recorrendo principalmente à moldação por injeção sendo que, entre os mercados que mais consomem se salientam: automóvel, embalagem, construção civil e material elétrico e eletrónico (CENTIMFE, 2003). Este processo permite a obtenção de peças com formas geométricas complexas e tolerâncias restritas (Kazmer, 2007). É possível injetar material para além dos polímeros como materiais compósitos, termoendurecíveis e espumas. A moldação por injeção é um ciclo constituído pelas seguintes etapas: plasticização, injeção, compactação, arrefecimento da peça e extração da peça (Figura 2.3).

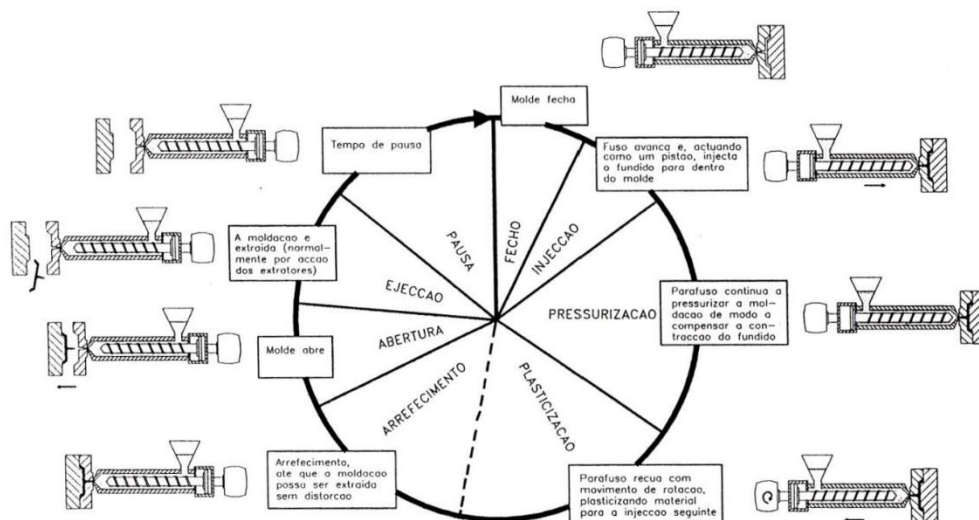


Figura 2.3 – Representação do ciclo de injeção (CENTIMFE, 2003).

Durante a plasticização o material polimérico é aquecido até fundir. A etapa seguinte é a injeção, responsável por deslocar uma determinada quantidade de material fundido e pressurizado para o interior do molde. Assim que as cavidades do molde estão preenchidas na totalidade, a fase da compactação mantém o polímero sob pressão durante um intervalo de tempo definido. É durante a fase de arrefecimento que a temperatura da peça baixa até que esta atinja o estado sólido, possibilitando a extração da mesma. A última etapa do processo é a extração da peça, possibilitada pelo sistema de extração do molde. Depois de feita a extração da peça, o molde é fechado e inicia-se um novo ciclo de injeção (Neto, 2014).

2.3 Máquina de inje

As máquinas de inje de parafuso alternativo horizontais (Figura 2.4) só as mais comuns e dividem-se em quatro unidades:

- Unidade de fecho;
- Unidade de comando;
- Unidade de potência;
- Unidade de plasticiza.

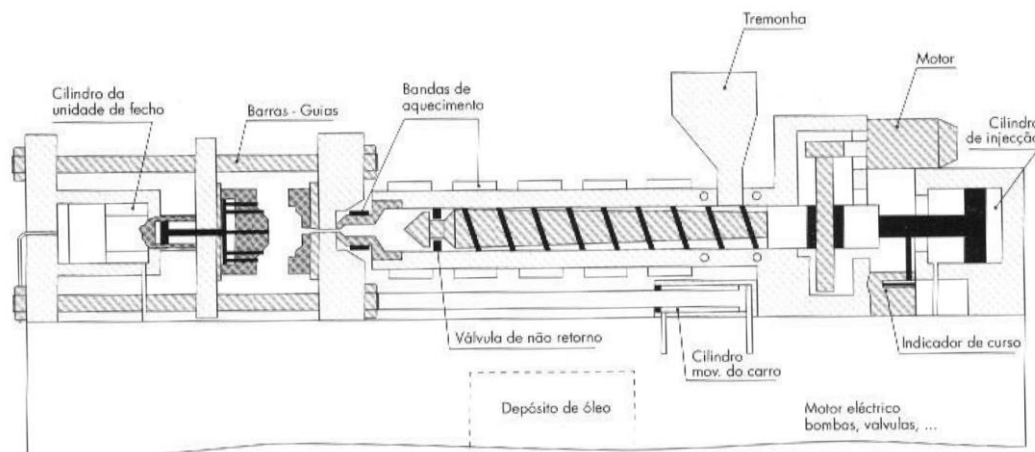


Figura 2.4 – Representa de uma máquina de inje de parafuso alternativo (CENTIMFE, 2003).

A unidade de fecho  responsável por fixar e movimentar o molde. Esta deve ser capaz de aguentar a fr exercida durante a fase de inje de plástico no molde. Os tipos de unidade fecho mais utilizados s de fecho hídrico e mecânico. A unidade de comando monitoriza e controla as variáveis do processo de inje. Para fornecer energia aos atuadores da máquina, esta possui uma unidade de potência. Por fim, a unidade de plasticiza transporta, aquece, plasticiza e homogeneíza o material injetado (CENTIMFE, 2003).

Os principais critérios na escolha das máquinas de inje s: volume máximo de material a injetar, dimensões do prato de aperto, distâncias entre colunas e fr máxima de fecho.

2.4 O molde

Um molde de inje define-se como um combinado de sistemas funcionais que, permitem que o espaço em que a peça  moldada, limitado por uma cavidade e uma bucha, seja preenchido com polímero fundido (Marques, 2021). Um molde  uma ferramenta que garante:

- A conceção da peça, sendo esta fiel à sua geometria, ciclo após ciclo de injeção;
- Um sistema de injeção que conduza o plástico às cavidades do molde;
- Um sistema de refrigeração que proporcione um arrefecimento homogéneo;
- Um sistema de extração que extraia a peça eficazmente e sem provocar deformações (Marques, 2021).

2.4.1 Tipos de molde

Os moldes dividem-se em vários tipos dependendo da sua aplicação. A forma mais geral de dividir os moldes é a seguinte:

- Moldes de duas placas;
- Moldes de três placas;
- Moldes *sandwich*;
- Moldes bi-material.

O molde de duas placas é conhecido como o molde convencional em que, as suas duas metades abrem segundo o seu eixo de desmoldagem (Figura 2.5). O material fundido pode ser injetado diretamente nas cavidades do molde através da bucha de injeção ou ser conduzido às cavidades em vários pontos por via de um sistema de injeção. Por norma, o sistema de extração encontra-se no lado móvel (podendo estar também no lado fixo) e pode ser atuado pelo sistema hidráulico da máquina (normalmente KO's) ou por um sistema hidráulico no molde, acionado pelo sistema hidráulico da unidade de injeção (Moreira, 2015).

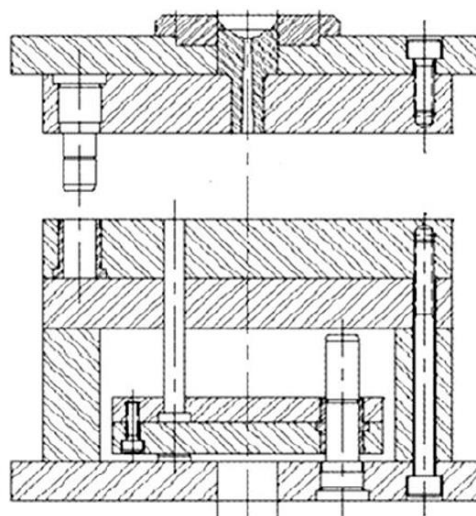


Figura 2.5 – Secção de um molde de 2 placas (Moreira, 2015) .

Como o pr3prio nome indica, os moldes de tr3s placas s3o constitu3dos por tr3s placas (Figura 2.6): placa do macho, placa da cavidade e placa flutuante. O molde possui duas aberturas, sendo que uma se d3 para que ocorra a separa3o entre a peça e o jito e a outra extrai a peça do molde (CENTIMFE, 2003). Estes moldes eliminam a necessidade de colocar um distribuidor quando o molde possui mais que uma cavidade.

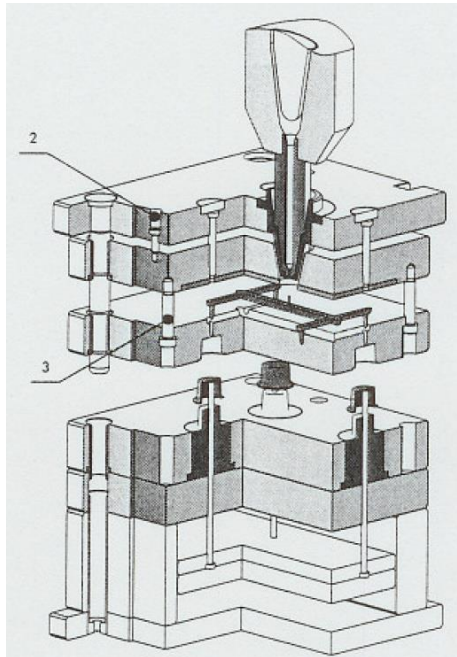


Figura 2.6 – Representa3o de um molde de tr3s placas (CENTIMFE, 2003).

Os moldes sandwich (Figura 2.7) permitem duplicar o n3mero de peças produzidas em cada ciclo de inje3o. A placa que fica no meio, possui duas cavidades, em faces opostas. As duas outras metades (que est3o fixas aos pratos da m3quina) possuem as placas dos machos. A forma mais comum de acionar este tipo de molde 3e por cremalheira e roda dentada, no entanto, tamb3m pode ser feito por fusos e porcas helicoidais, hidr3ulicos, alavancas ou tirantes (CENTIMFE, 2003).

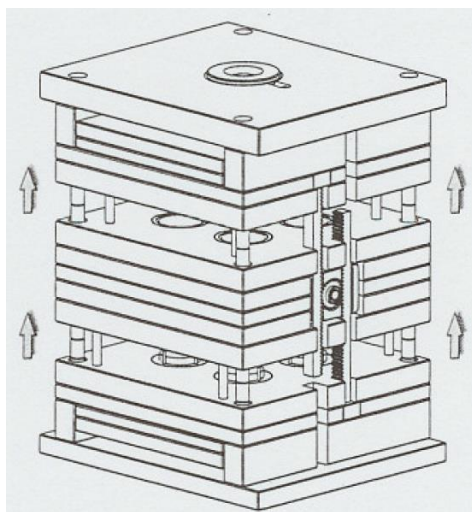


Figura 2.7 – Representa3o de um molde *sandwich* (CENTIMFE, 2003).

Os moldes bi-material permitem que as peças sejam injetadas com dois ou mais materiais diferentes. Por norma, a moldação bi-material (Figura 2.8) é feita através de rotação incorporada no molde ou no prato da máquina sendo que, esta possui duas ou mais unidades de injeção (CENTIMFE, 2003).

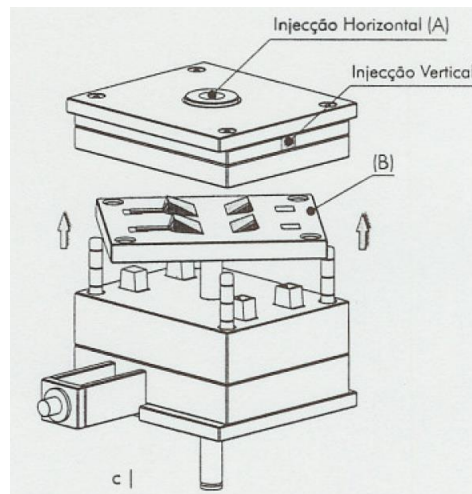


Figura 2.8 – Representação de um molde bi-material (CENTIMFE, 2003).

2.5 Constituição de um molde comum (2 placas)

2.5.1 Placas do molde

Como referido anteriormente, os moldes de duas placas são constituídos por uma parte móvel e uma parte fixa. É comum a cavidade ser do lado fixo e o macho do lado móvel, mas não mandatário. Na Figura 2.9 apresenta-se a numeração que normalmente é atribuída às placas, na tipologia deste tipo de molde. Segundo uma estrutura comum de um molde de duas placas, o sistema de extração situa-se no lado móvel e o sistema de alimentação no lado fixo do molde. O lado móvel é responsável por albergar a placa do macho (4), que molda o aspeto interior da peça injetada. É também no lado móvel que se encontra o sistema de extração constituído pela placa de extração (6) onde são fixos todos os componentes da extração do molde, pelos calços (5), que criam espaço para todos os elementos de extração se possam movimentar na totalidade do seu curso. Por fim, o lado móvel é também constituído pela placa traseira (7), responsável por fixar o molde à máquina de injeção. A placa da cavidade (3) situada no lado fixo do molde confere o aspeto exterior da peça a ser moldada. É também do lado fixo que se encontra o sistema de alimentação do molde, alojado na placa de aperto do sistema de injeção (2), responsável por injetar o material termoplástico a alta pressão e à temperatura adequada. A placa traseira do lado fixo (1) é responsável por fazer o contacto entre o molde e a máquina de injeção nesta fração do molde.

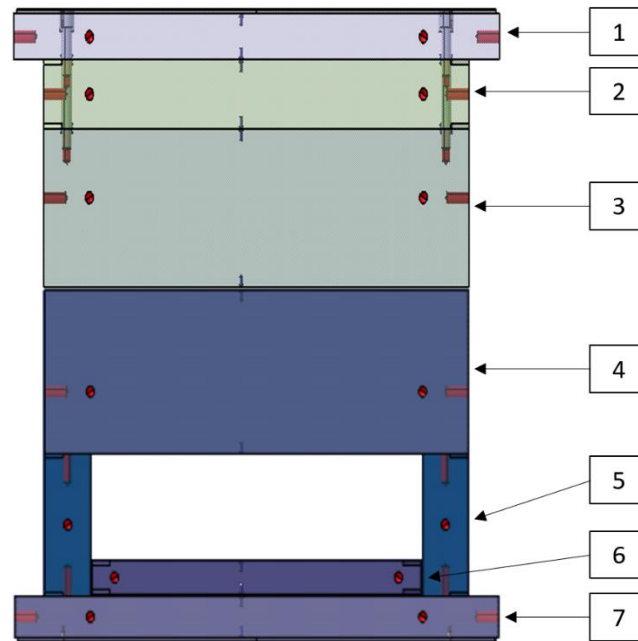


Figura 2.9 – Representação da numeração das placas de um molde de duas placas.

2.5.2 Elementos de injeção

O sistema de alimentação   responsável por conduzir o plástico fundido fornecido pela máquina de injeção a todas as paredes moldantes do molde. Normalmente   constituído por um bico injetor principal (Figura 2.10) que recebe o material fundido e o conduz até ao sistema de alimentação ou diretamente   peça.

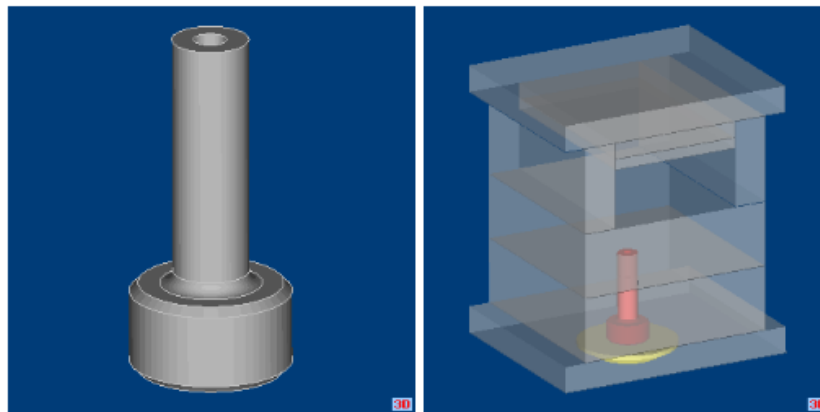


Figura 2.10 – Representação do injetor principal (lado esquerdo) e o molde com o injetor (lado direito) (Moldes, 2023).

No caso de o bico principal não injetar o material diretamente na peça, o sistema de alimentação pode também ser composto por um distribuidor e por vários bicos de injeção. Os distribuidores (Figura 2.11) são constituídos por canais e resistências elétricas que evitam a descida de temperatura do material injetado.

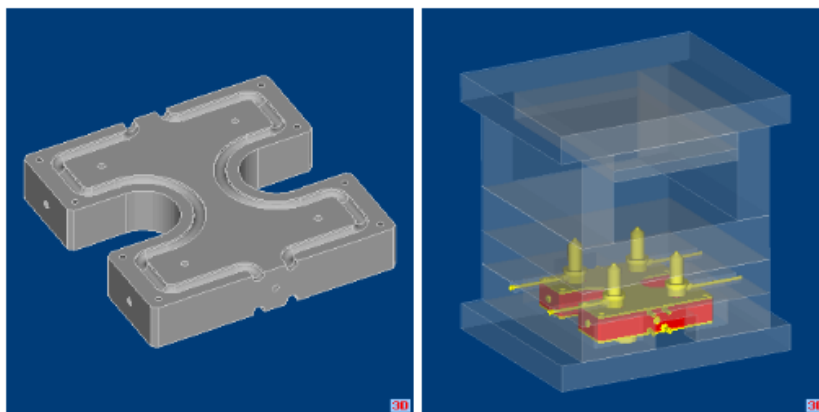


Figura 2.11 – Representação de um distribuidor (lado esquerdo) e o molde com o distribuidor (lado direito) (Moldes, 2023).

Os bicos de injeção (Figura 2.12) são responsáveis por injetar o material à temperatura ideal. Esta temperatura é assegurada pelas suas resistências elétricas.

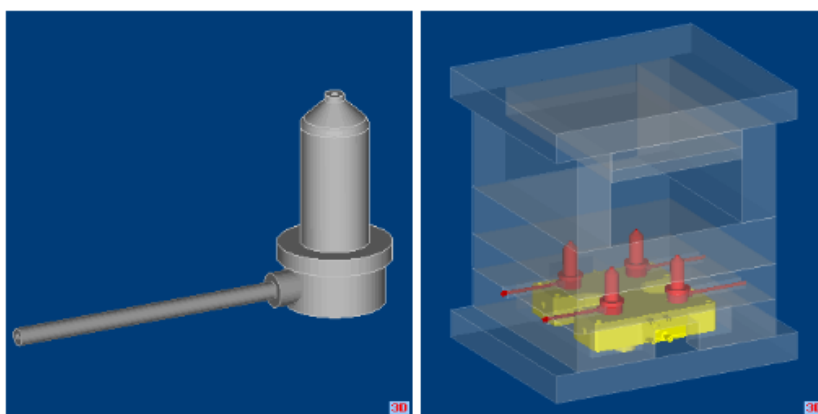


Figura 2.12 – Representação de um bico de injeção (lado esquerdo) e o molde com o distribuidor e bicos de injeção (lado direito) (Moldes, 2023).

2.5.3 Elementos de extração

O sistema de extração encarrega-se de, no fim de cada ciclo, extrair a peça, já solidificada, do molde. O guiamento da placa de extração do molde em todo o seu curso é assegurado pelas guias da placa de extração (Figura 2.13), associadas a casquilhos. Estas devem ser robustas e o seu comprimento é determinado pelo vão necessário para a implementação do sistema de extração.

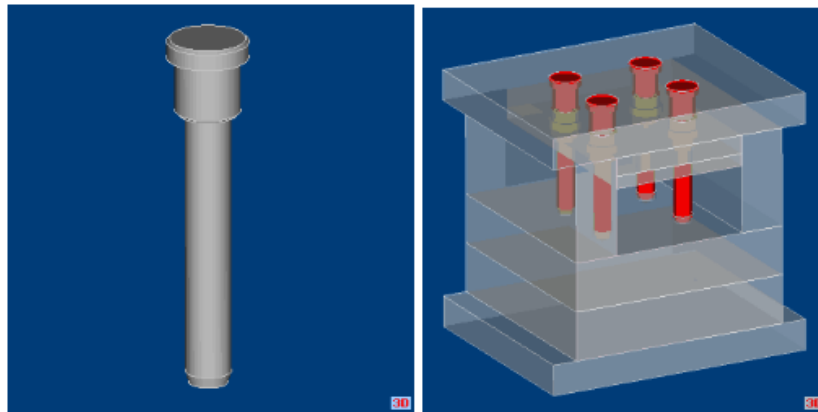


Figura 2.13 – Representação da guia de extração (lado esquerdo) e das guias da placa de extração (lado direito) (Moldes, 2023).

Os extratores dividem-se em extratores  peça, extratores de canal, extratores tubulares e extratores em lâmina. Os extratores  peça (Figura 2.14) ou extratores normais extraem a peça do molde.

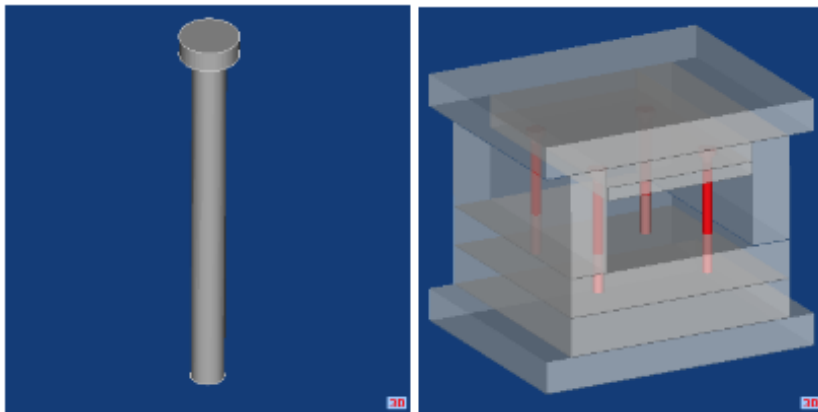


Figura 2.14 – Representação de extratores de peça (lado esquerdo) e representação dos extratores de peça no molde (lado direito) (Moldes, 2023).

Os extratores de canal são aplicados nos canais de alimentação (Figura 2.15), para ajudar a extrair esta parte da peça do molde.

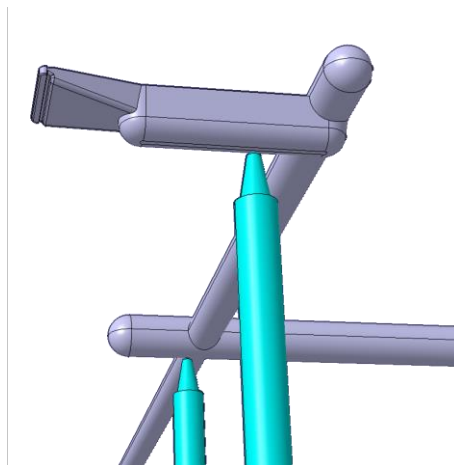


Figura 2.15 – Representação de dois extratores de canal.

Os extratores tubulares moldam as bossas da peça como se pode verificar na Figura 2.16.

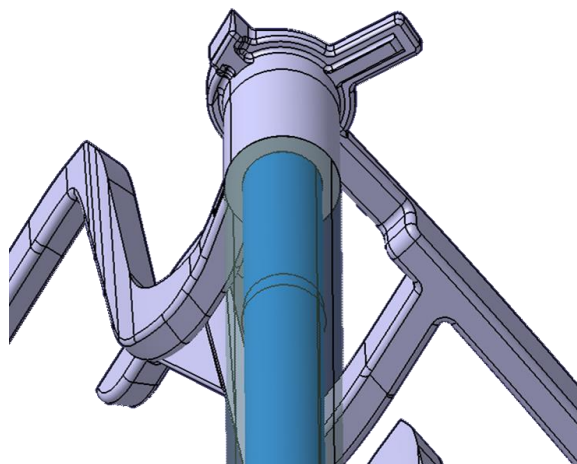


Figura 2.16 – Representação de um extrator tubular a moldar uma bossa (tubular a verde e perno a azul).

Por fim, os extratores em lâmina (Figura 2.17) encarregam-se de moldar as nervuras com forma de lâmina e extraem a peça.

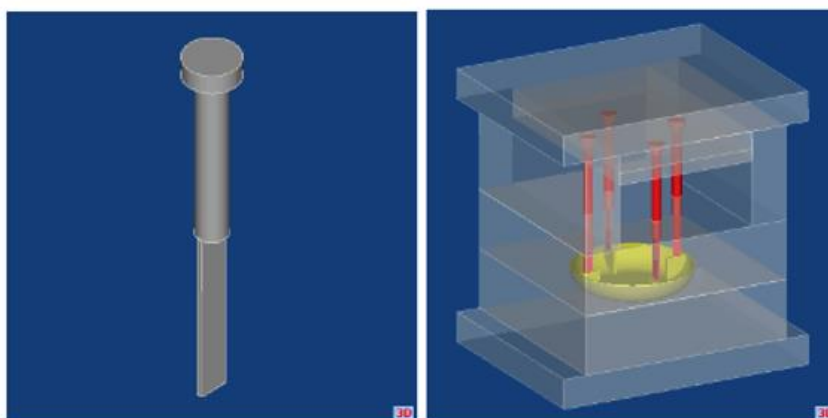


Figura 2.17 – Representação de um extrator em lâmina (Moldes, 2023)

2.5.4 Elementos moldantes

Para moldar as zonas negativas ou contra saídas da peça é necessária a utilização de mecanismos como movimentos à extração (balancés) ou movimentos mecânicos. Os movimentos à extração (Figura 2.18) são acionados pelo deslocamento das placas de extração. Como estes possuem um veio (o guiamento do veio é garantido por casquilhos) com uma inclinação face à direção de deslocamento da placa de extração e um carrinho que lhe permite deslizar, é-lhe conferida a direção e o deslocamento necessário para desmoldar completamente a zona negativa da peça em questão.

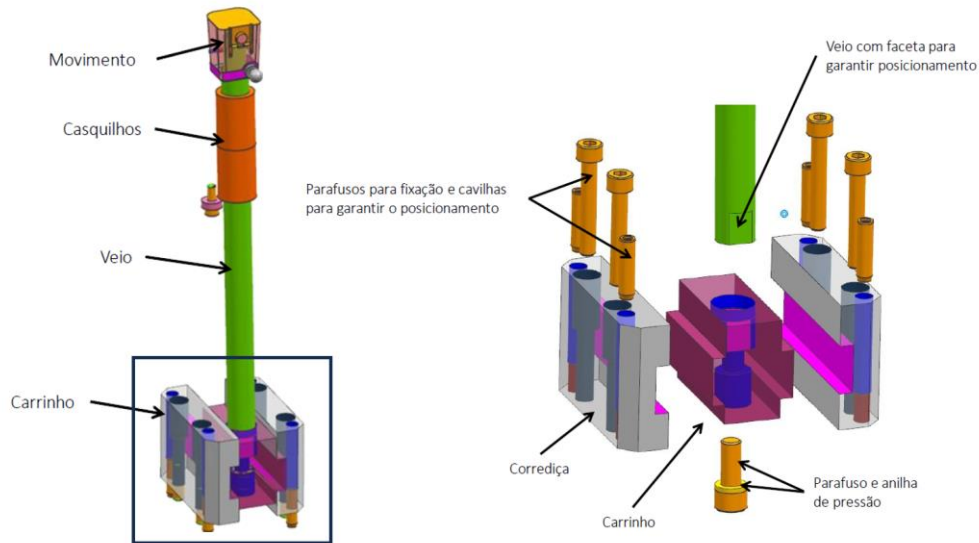


Figura 2.18 – Representação de um movimento  extracção ( esquerda) e de um carrinho ( direita) (Marques, 2021).

Os movimentos mecânicos como o representado na Figura 2.19, são acionados pela abertura do molde. A guia que se encontra do lado oposto ao movimento exerce uma força sobre este no sentido de trabalho do movimento fazendo-o deslizar, desmoldando assim a contra saída.

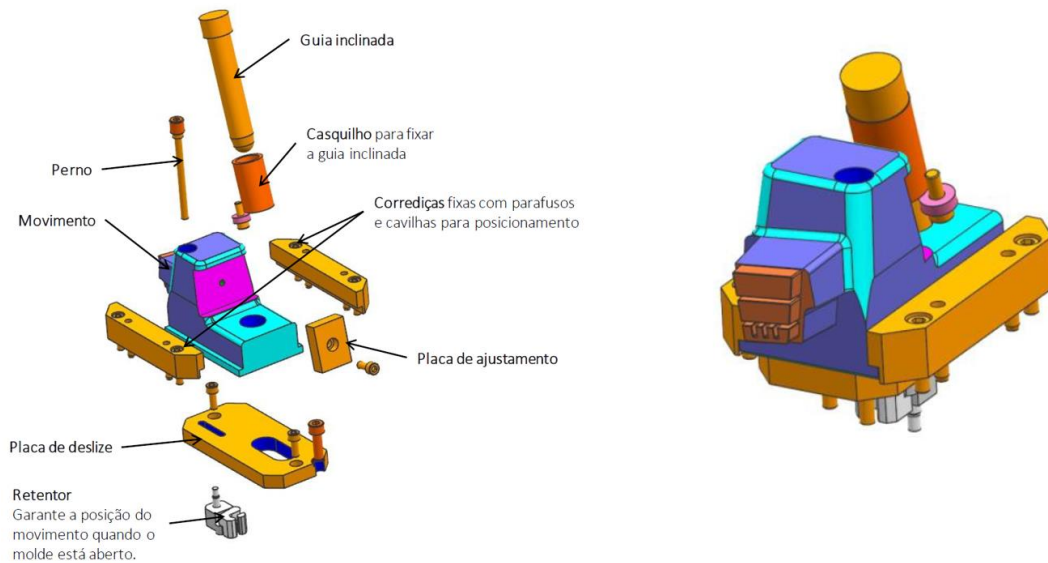


Figura 2.19 – Vista explodida do movimento mecânico,  esquerda, e movimento mecânico,  direita (Marques, 2021).

Os movimentos hidráulicos (Figura 2.20) são semelhantes aos movimentos mecânicos, com a diferença de serem atuados hidraulicamente.

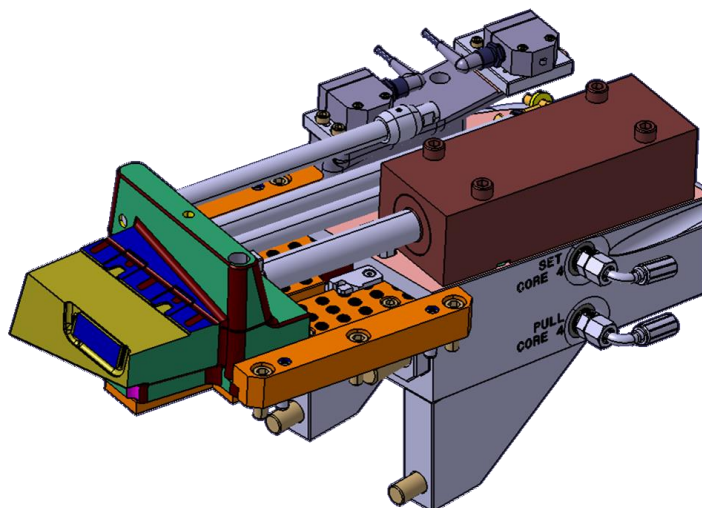


Figura 2.20 – Representação de um movimento hidráulico.

Quando há dificuldade em maquinar certas zonas quer do macho, quer da cavidade, são implementados postigos nestas (Figura 2.21). Os postigos também são utilizados em zonas que se preveja que ocorra degradação do aço, como zonas muito frágeis. Com postigos, torna-se mais fácil reparar estas zonas pelo que, basta substituir o postigo. Os postigos também podem ser datadores para moldar nas peças a data em que estas foram produzidas.

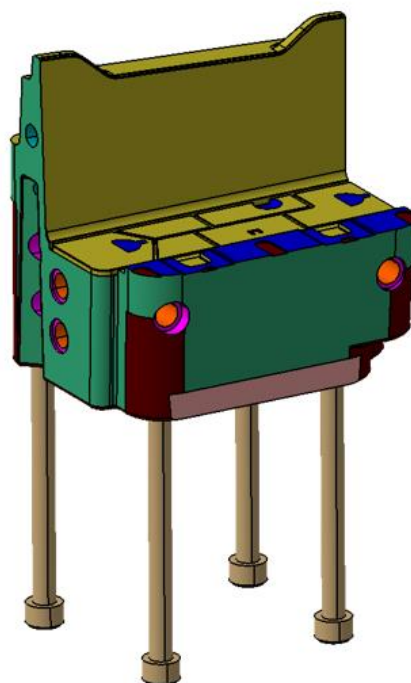


Figura 2.21 – Representação de um exemplo de um postigo.

2.5.5 Elementos redondos

Os pilares de suporte têm como função suportar a pressão de injeção e encontram-se representados na Figura 2.22.

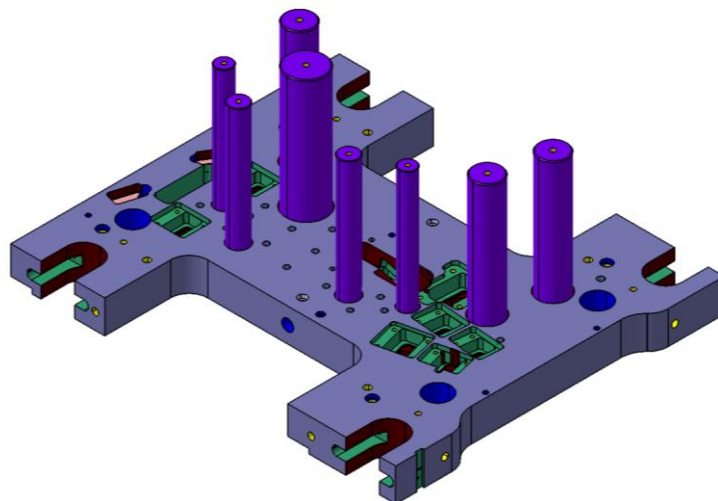


Figura 2.22 – Representação de uns pilares de suporte montados numa placa de extração.

As anilhas de centragem (Figura 2.23), centram o molde com a máquina de injeção tanto do lado fixo como do lado móvel. Os diâmetros destas anilhas dependem dos furos e do tamanho dos bicos das máquinas de injeção em que o molde é montado.

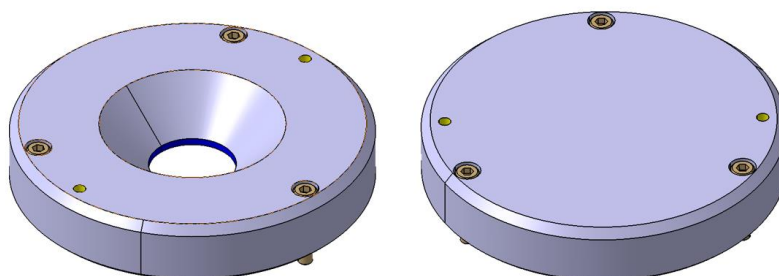


Figura 2.23 – Representação das anilhas de centragem do lado da injeção (  esquerda) e do lado móvel (  direita).

2.5.6 Elementos de guiamento

As guias principais do molde, juntamente com os respetivos casquilhos, garantem que não há desalinhamentos entre as várias placas do molde durante o seu funcionamento (Figura 2.24). De forma a garantir o movimento preciso entre a guia e o casquilho, deste normalmente requerem ajustes mecânicos. O ajuste entre a guia e o casquilho   do tipo H7/g6.

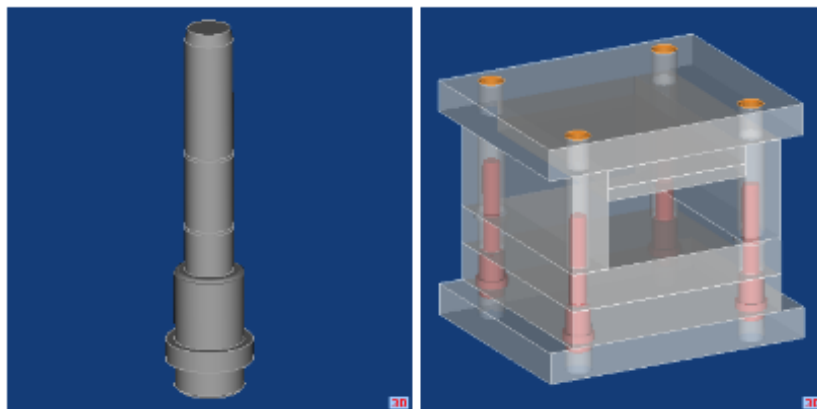


Figura 2.24 – Representação de uma guia (à esquerda) e das guias principais do molde (à direita) (Moldes, 2023).

2.5.7 Elementos de imobilização

As barras de transporte certificam que durante o transporte do molde este não se abre. Já os *interlocks* fazem o travamento do molde na linha de junta (Figura 2.25).

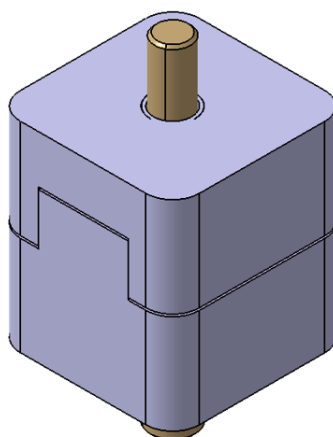


Figura 2.25 – Representação dos *interlocks*.

Para certificar que a extração se encontra completamente recuada, aquando do fecho do molde, são utilizados pernos de retorno que se encontram representados a verde na Figura 2.26.

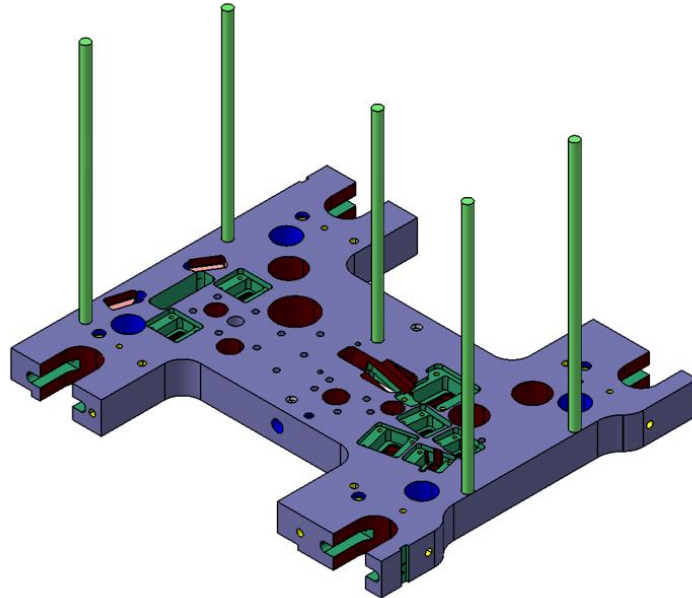


Figura 2.26 – Representação dos pernos de retorno, a verde, num molde.

2.5.8 Elementos de transporte

Os olhais (Figura 2.27) são peças que roscam nas placas do molde para transporte e manutenção destas.  possível içar o molde inteiro ou cada chapa individualmente. São seleccionados consoante a massa do molde ou da placa e os seus centros de gravidade são o local ideal para a colocação.

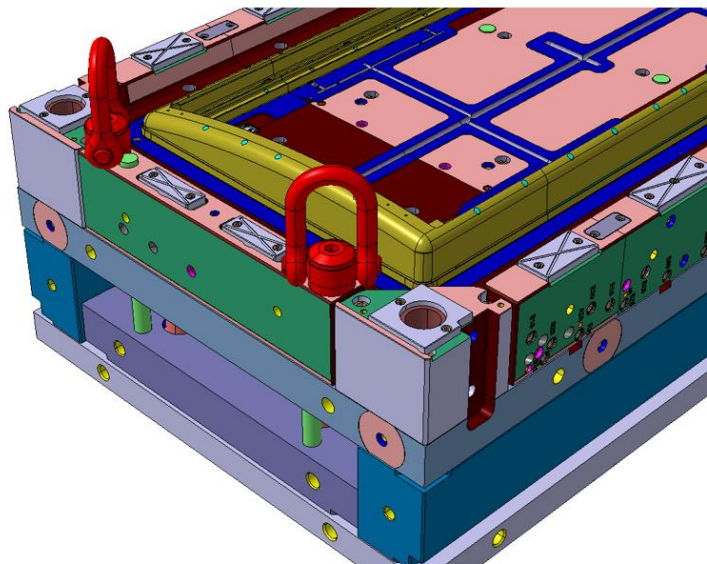


Figura 2.27 – Representação de olhais, a vermelho, num molde.

2.5.9 Elementos de ligação

Os parafusos podem ser de cabeça cilíndrica ou de cabeça cônica (Figura 2.28). Os parafusos de cabeça cilíndrica são ideais para a fixação de placas com pouca espessura uma vez que, têm a cabeça achatada. Estes parafusos possuem um sextavado interior mais conhecido como *Umbrako*. Os parafusos são selecionados de acordo com a solicitação mecânica à qual estão sujeitos e com o espaço existente para a sua aplicação. A fixação de peças também pode ser feita através de pernos roscados.

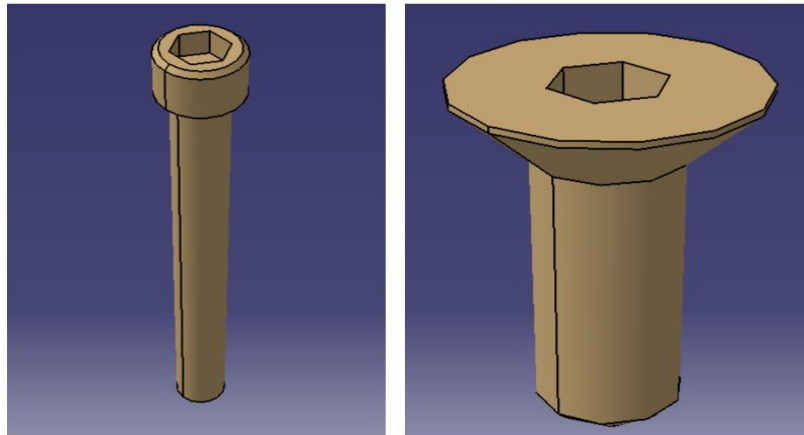


Figura 2.28 – Representação de um parafuso de cabeça cilíndrica (à esquerda) e de um parafuso de cabeça cônica (à direita)

2.5.10 Elementos de refrigeração

A nível de elementos de ligação do circuito de refrigeração, estes podem ser: bocais, tubos de extensão, placas com várias ligações ou adaptadores. Os bocais representados na Figura 2.29, servem para conectar o circuito de refrigeração do molde com o exterior.

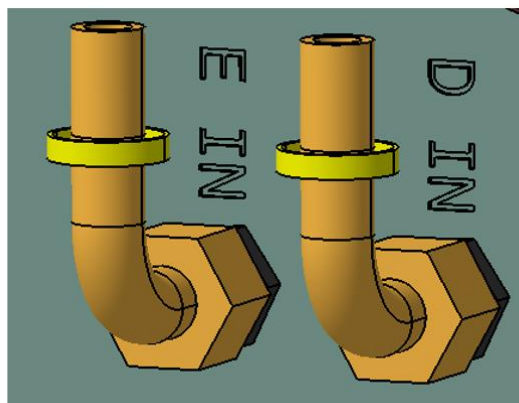


Figura 2.29 – Representação de bocais na placa de um molde.

Os tubos de extensão transportam o fluido de refrigeração das placas do molde para outros elementos que necessitem de ser refrigerados, que é o caso do movimento hidráulico apresentado na Figura 2.30.

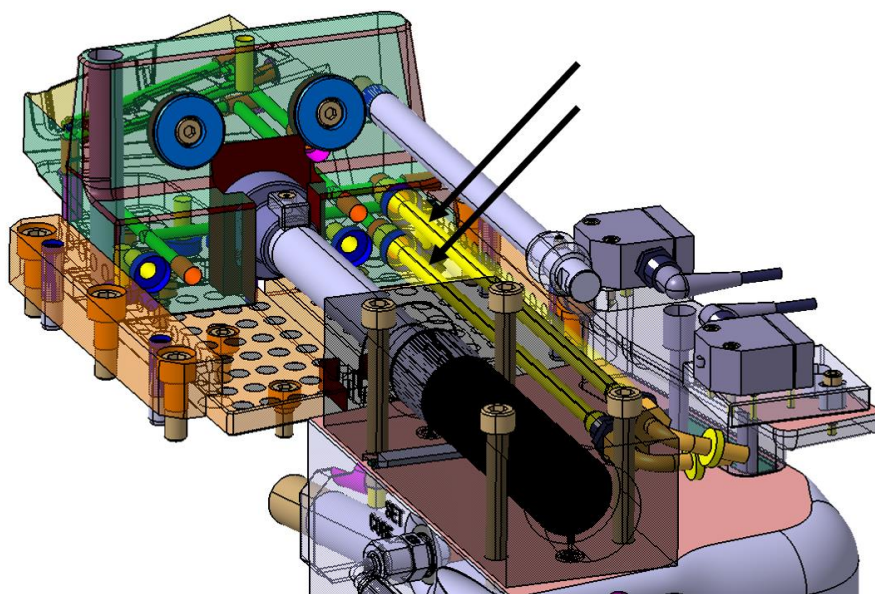


Figura 2.30 – Tubos de extensão representados a amarelo.

As placas com varias ligações (Figura 2.31) permitem que com apenas uma entrada se distribua o fluido refrigerante por varios circuitos.

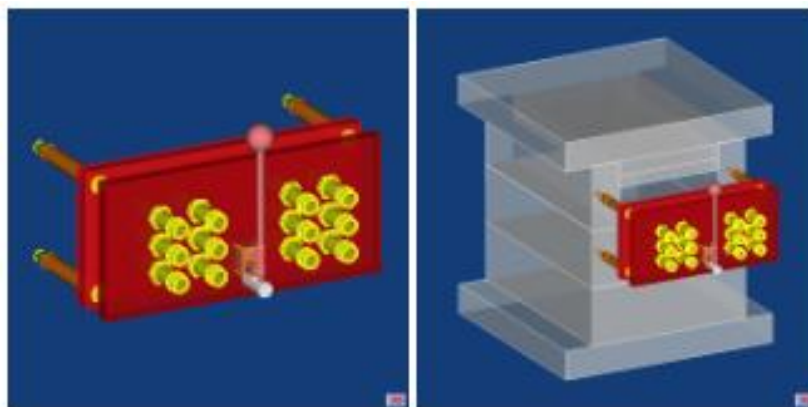


Figura 2.31 – Representação de uma placa de varias ligações ( esquerda) e aplicação de uma placa num molde ( direita) (Moldes, 2023).

Dos elementos de vedato fazem parte, os *o-rings*, os bujões e os tacos. Os *o-rings* (Figura 2.32) servem de vedato, impedindo que os fluidos escapem pelo espaço existente entre as placas e os elementos. Os bujões (Figura 2.32) tapam as furações dos circuitos de água nas suas extremidades e os tacos (Figura 2.32) limitam o fluxo do circuito de refrigeração no interior dos furos.

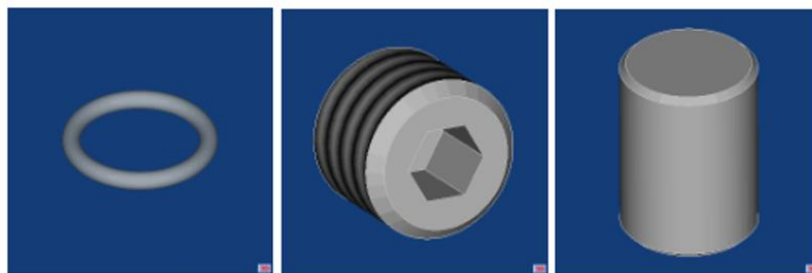


Figura 2.32 – Representação de um *o-ring* (à esquerda), de um bujão (ao centro) e de um taco (à direita) (Moldes, 2023).

3 ANTEPROJETO DO MOLDE

3.1 Planeamento de projeto

Numa fase inicial, são delineados os prazos de execução previstos para cada etapa do projeto. Isto é importante não são a nível de oramentaco, para que haja uma noção das horas orçamentadas a nível do departamento de projeto, por exemplo, como a nível organizacional da empresa uma vez que, não são fabricados moldes isoladamente, sendo necessária uma gestão temporal no sentido de controlar quanto tempo gasta o molde em cada secção da fábrica. Este tipo de planeamento  também essencial para se definir a data de conclusão do molde. Na Figura 3.1 está representado um diagrama com os prazos de execução de cada etapa realizada na conceção do molde.

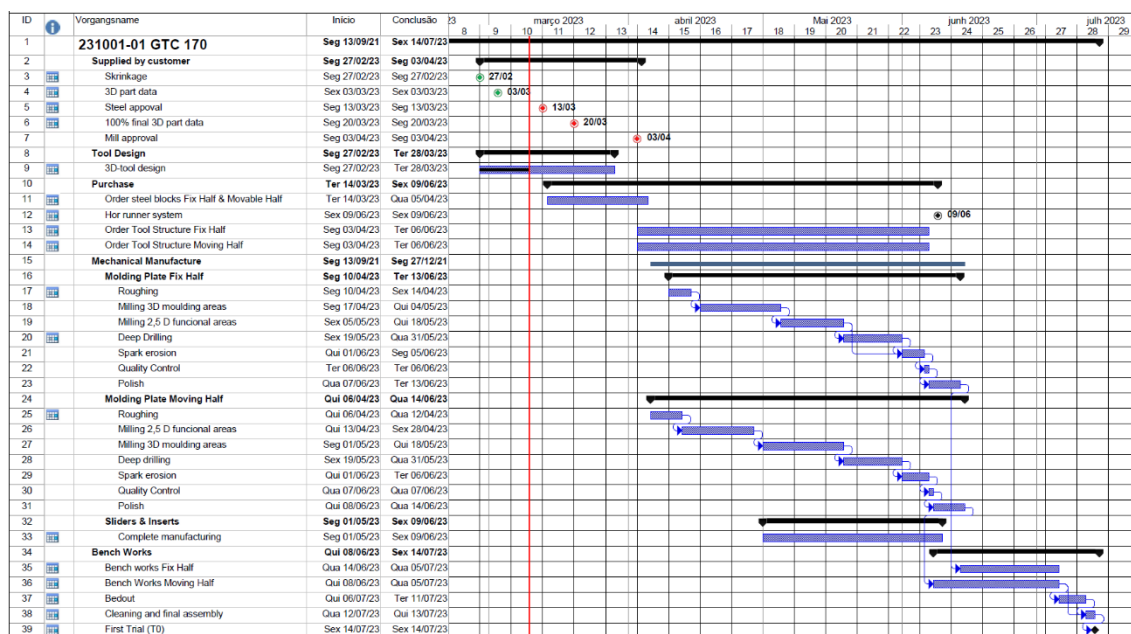


Figura 3.1 – Diagrama com prazos de execução previstos de cada etapa do projeto.

Primeiramente, são recebidos os ficheiros 3D e a contração da peça, para que se possa proceder aos estudos preliminares e assim encomendar o aço. Assim que há confirmação de peça final por parte do cliente, o desenhador projetista faz a modelação 3D do molde e depois de concluída esta etapa o aço  maquinado. Depois de ser montado em bancada, o molde passa para uma fase de ensaios podendo ser sujeito a alterações. No caso de não existirem afinações a ser feitas após o ensaio, o molde está pronto para ser expedido para o cliente. De uma forma sucinta, estas são as principais etapas para a execução de um molde:

1. Receção do ficheiro da peça a ser moldada, respetiva contração e caderno de encargos do cliente;

2. Com a 1ª versão da peça, esboços dos travamentos e se possível, pontos de injeção definidos, são esboçadas as dimensões máximas do molde e encomendados os blocos de aço em bruto;
3. Assim que a peça, os travamentos, os pontos de injeção e extratores finais estão definidos, o bloco em bruto pode começar a sofrer operações de desbaste;
4. Depois das operações de desbaste começam a ser efetuadas operações de fresagem de aberturas de caixas (2,5D) e furação;
5. São realizadas operações de acabamento;
6. Controlo dimensional das peças maquinadas;
7. Montagem do molde em bancada;
8. O molde é ajustado na prensa;
9. O molde é ensaiado;
10. Afinações do molde, quando necessárias;
11. Expedição do molde para o cliente.

3.2 Peça e Conceito do Molde

Apesar de o maior volume de moldes feitos na empresa ser para a indústria automóvel, este molde será para fabricar peças de *houseware*. A peça a executar será a moldura superior de uma arca frigorífica horizontal (Figura 3.2).

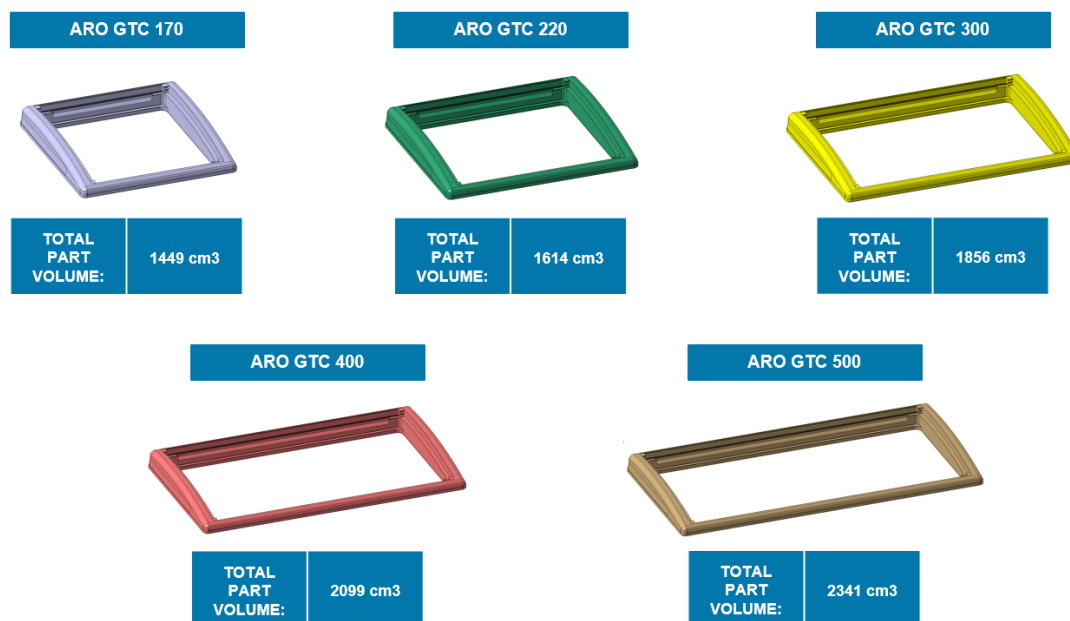


Figura 3.2 – Representação das várias versões da peça a moldar.

Como são peças de um nicho diferente de mercado, o conceito do molde em termos de estrutura também varia. As peças são todas idênticas, mudando apenas o seu comprimento e o número de aberturas para o posterior enchimento das paredes da arca com espuma isolante. Assim, foi possível com apenas um molde fazer todas as versões de peça recorrendo à remoção, adição e troca de posição de postigos.

3.3 Análise de Peça

A análise de peça faz parte dos estudos preliminares para a realização de um projeto de um molde. A análise de peça é feita com o objetivo de antever problemas tanto na conceção do molde como no processo de injeção, podendo a peça ser alvo de alterações como resultado desta análise.

3.3.1 Saídas

O primeiro aspeto de preocupação são as saídas das superfícies da peça. Saída é o ângulo de inclinação dado entre as superfícies moldantes do molde e os eixos de desmoldagem das mesmas. Este ângulo é dado com o intuito de reduzir o atrito entre a peça polimérica e o aço do molde, facilitando assim a extração da mesma. Os ângulos de saída necessários para a desmoldagem das peças, variam de acordo com o material e textura da peça. Geralmente, por cada incremento de 20 μm de rugosidade, adiciona-se 1° de saída. (Kazmer, 2007) Depois da análise feita (Figura 3.3), verificou-se que a peça possuía várias faces sem saída (Figura 3.4), sem saída suficiente ou com saída negativa.

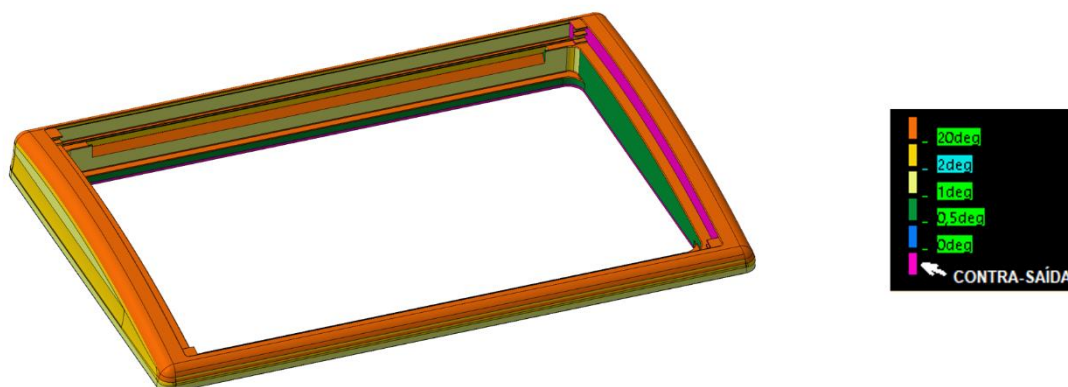


Figura 3.3 – Análise geral de saídas da peça

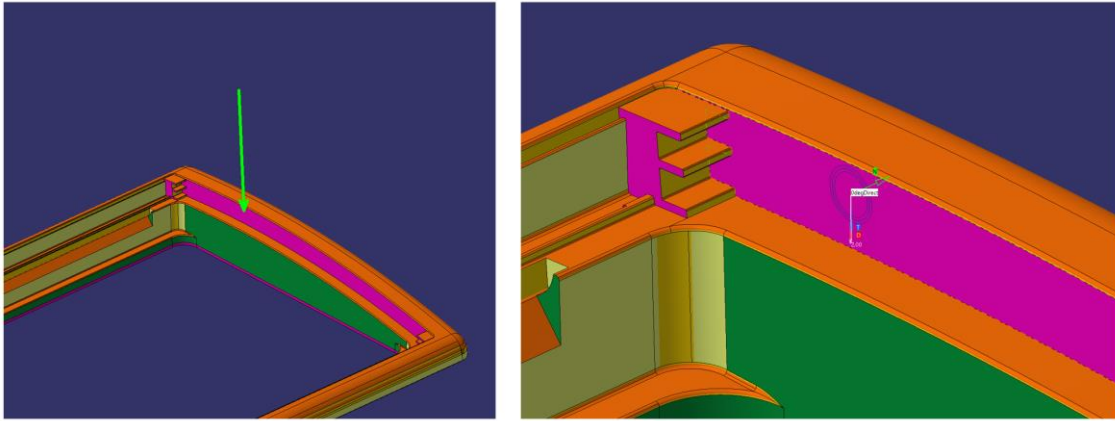


Figura 3.4 – Pedido de alteração de saída da superfície assinalada (à esquerda), para facilitar a extração da peça (à direita).

Numa perspetiva geral pode-se referir que a peça ainda se encontrava mal projetada, com bastantes pontos a melhorar, não só a nível de extração como de injeção da peça.

3.3.2 Nervuras

As nervuras possuem uma espessura demasiado reduzida (Figura 3.5), o que resultaria num mau enchimento da peça. Para resolver este problema, diminuiu-se a saída das paredes da nervura. Assim, a extremidade com maior cota da nervura ficou com mais espessura, proporcionando um melhor enchimento nesta zona.

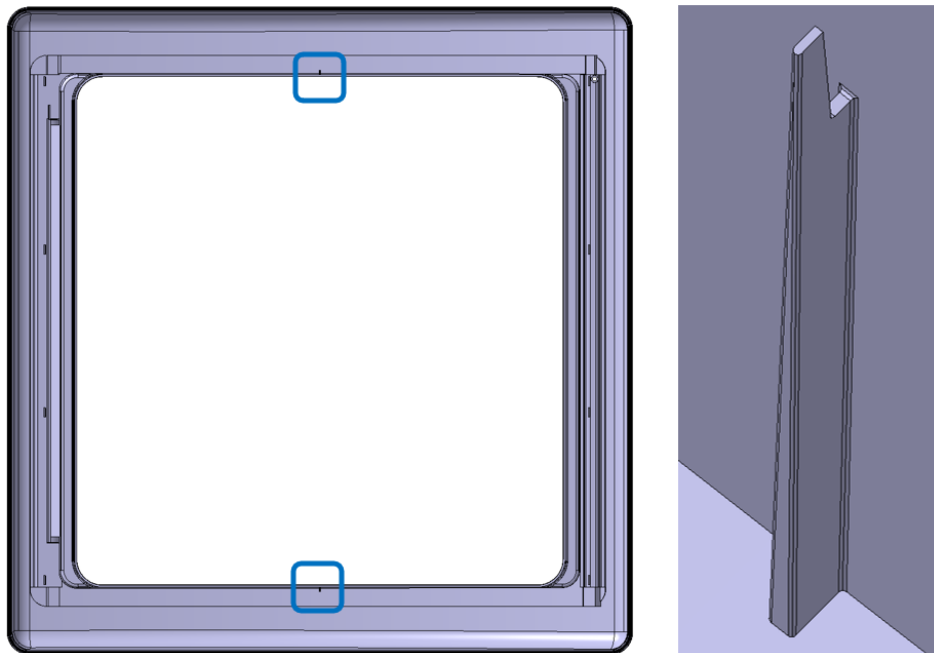


Figura 3.5 – Representação das nervuras com espessura demasiado baixa.

As nervuras em forma de cruz (Figura 3.6), também necessitaram de uma maior saída nas faces verticais (aumentou-se 0,5 ). Esta alteração em termo de projeto visa mais uma vez, para facilitar o enchimento. Com esta alteração em termos de geometria a espessura deste elemento foi aumentada em 0,4 mm.

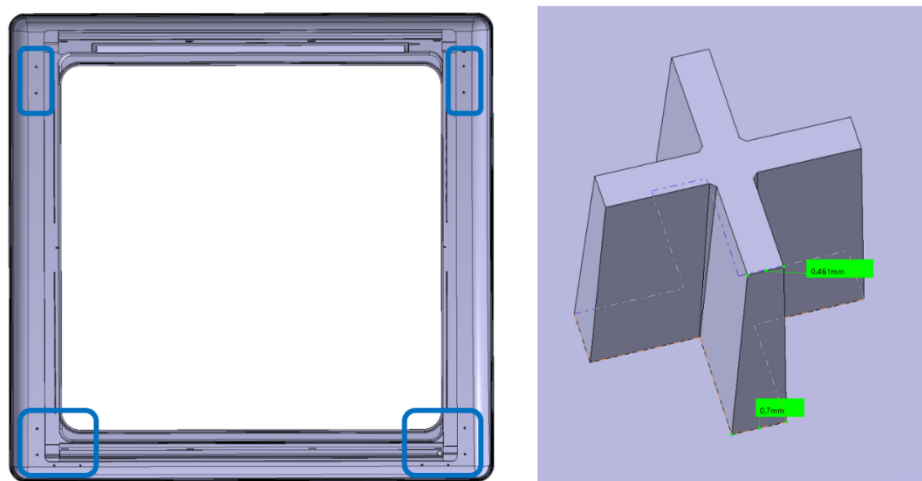


Figura 3.6 – Nervura em forma de cruz e respetivas localizações na peça (  esquerda)

3.3.3 Perfil da peça

Para moldar os frisos que percorrem a peça, o macho terá paredes de aço muito finas com cerca de 1 mm de espessura (Figura 3.7), isto é, ficará muito frágil. Isto implica a implementação de vários post os no macho. A implementação de post os faz com que seja fácil reparar estas zonas do aço que podem necessitar de intervenções devido   sua falta de robustez na geometria.

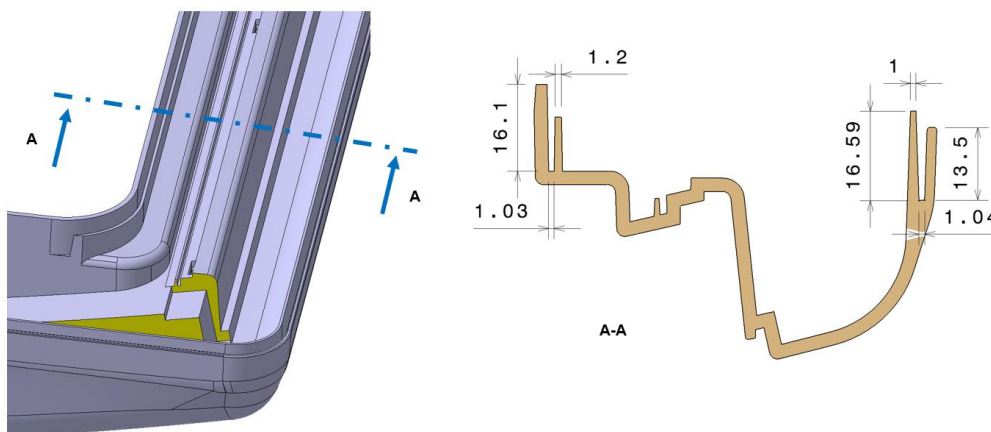


Figura 3.7 – Representação do perfil da sec  o da peça (valores em milímetros).

Para manter a espessura da peça constante (por razões de enchimento) e para evitar pontos em que o aço fique frágil, foram dados raios em todas as arestas da peça como se pode observar na Figura 3.8.

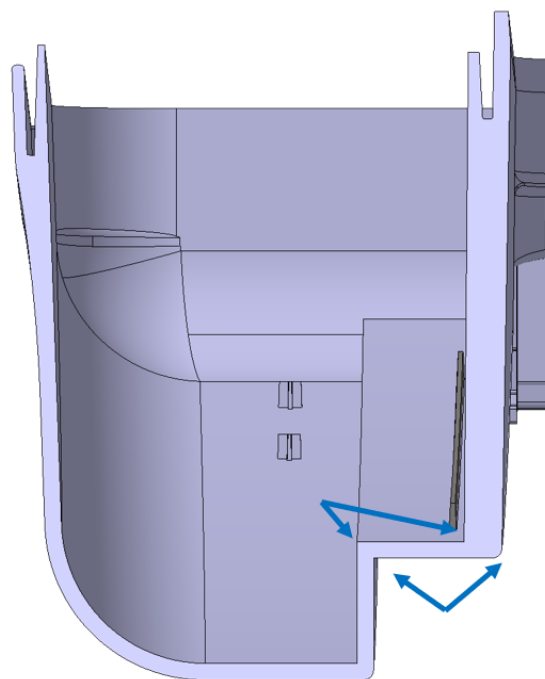


Figura 3.8 – Adição de raios de canto nas arestas externas.

3.3.4 Aberturas

Nas zonas das aberturas do molde a vedação entre a bucha e a cavidade é feita através do contacto entre a bucha (aço) e a cavidade (aço). Nesta situação, a saída das paredes verticais deve ser no mínimo 7° de forma a garantir a vedação por um lado e por outro garantir a fácil abertura do molde. Na Figura 3.9 apresenta-se a referida inclinação, tanto no lado da cavidade como no lado da bucha (macho).

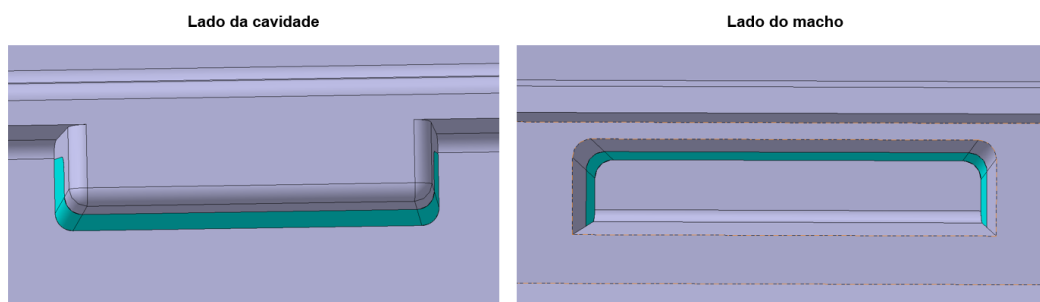


Figura 3.9 – Superfícies de vedação sinalizadas a verde.

3.3.5 Perfil em “E” e em “C”

Ambas as zonas terão movimentos de extração para desmoldar as contra saídas provocadas por estes perfis. Foi arbitrariado um eixo de desmoldagem para esta zona da peça e com base nele atribuíram-se saídas de $0,5^\circ$ às faces destes, assinaladas a

amarelo na Figura 3.10 e na Figura 3.11. Foram também dados raios nas arestas dos perfis para facilitar a desmolda o, sendo ent s assinalados a vermelho na Figura 3.10 e na Figura 3.11.

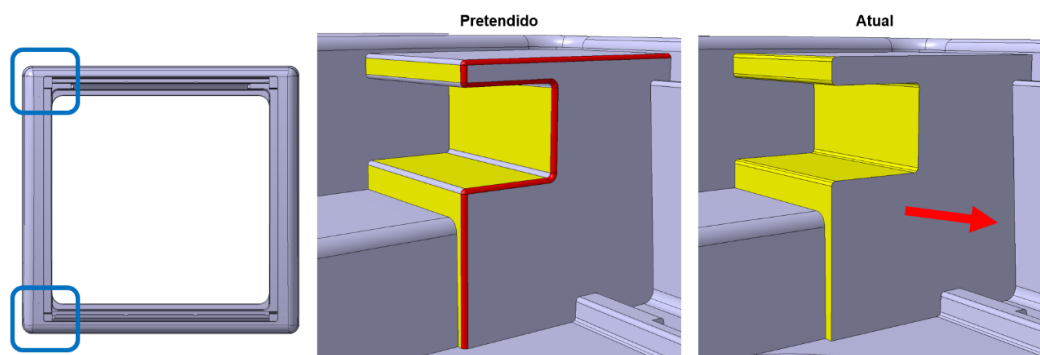


Figura 3.10 – Alterações executadas no perfil em “C” da peça.

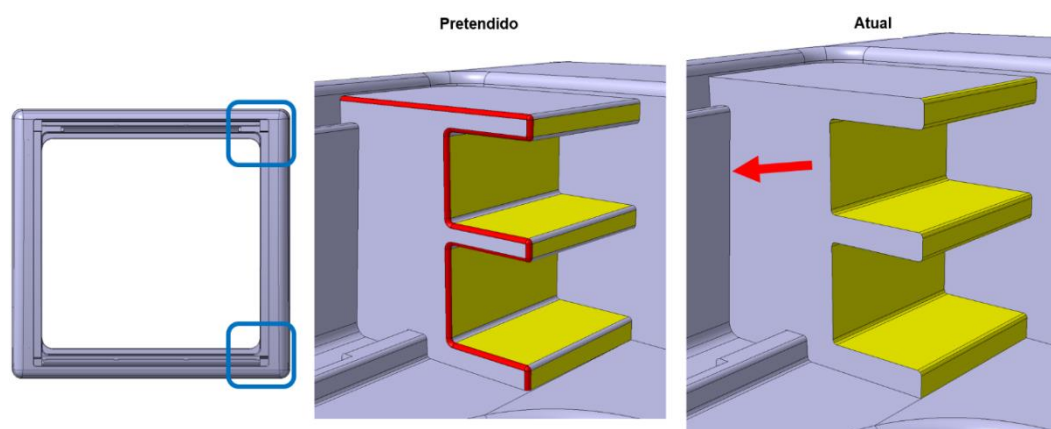


Figura 3.11 – Alterações executadas no perfil em “E” da peça.

3.3.6 Furo de drenagem

Após analisar a peça, a bucha e a cavidade verificou-se que era necessário efetuar um furo de drenagem na cavidade. Esta necessidade de alteração (Figura 3.12) serve para evitar que o material da cavidade possa ficar com menos resistência mecânica (fragilização). Com a alteração do local onde passa a superfície de junta, foram invertidas as saídas do furo de drenagem.

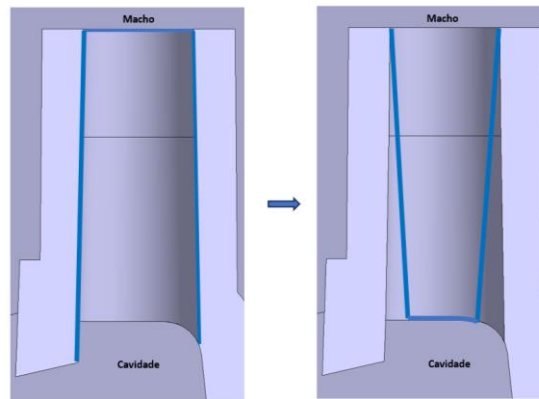


Figura 3.12 – Alteração das superfícies da junta na zona do furo de drenagem.

3.3.7 Qualidade das peças

De cliente para cliente, é bastante perceptível a mudança da qualidade de desenho das peças. Há peças que chegam com mau tratamento de superfícies, o que na prática se traduz em complexidade na execução de linhas de junta. Há peças que chegam sem qualquer tipo de preocupação em termos de saídas nos sentidos de desmoldagem das peças, com muitas quinas ou até espessuras demasiado baixas ou inconstantes. Isto demonstra que não há qualquer tipo de preocupação por parte dos desenvolvedores de peça com as técnicas a aplicar na execução do molde. Tudo isto implica extensão de prazos para a execução do molde e consequentemente adição de custos ao projeto do molde. A peça em estudo necessitou de bastantes alterações como é explicado neste capítulo, no entanto, o cliente demonstrou-se sempre aberto a estas alterações, não tendo estas, causado grande impacto no projeto.

3.4 Material da peça

O material polimérico da peça é um ABS ou um acrilonitrilo butadieno estireno (ABS ER468 de nome comercial) com uma contração de 0,55%. A contração é um aspeto de enorme importância uma vez que, com o arrefecimento do material, este contrai, diminuindo as dimensões finais da peça. É então aplicado à peça um fator de escala para colmatar a contração do material. Os polímeros podem ser modificados com o objetivo de se obterem diferentes combinações de propriedades, através da síntese de dois ou mais monómeros. O resultado desta combinação é um copolímero (a sua cadeia é formada por dois ou mais monómeros).

O princípio de ligação de polímeros é semelhante à ligação de metais, possibilitando conferir a um determinado polímero características de outros (Crawford, 1998). Através da polimerização da acrilonitrila e do estireno na presença do polibutadieno, obtém-se o ABS (Figura 3.13). A percentagem de cada um destes elementos no

material irá influenciar as suas propriedades. O ABS caracteriza-se nomeadamente por ser rígido, resistindo bem ao impacto,  tração e  abrasão. É muito versátil visualmente, apresentando cores vivas e podendo variar do transparente ao opaco. Economicamente é bastante viável e  um material relativamente fácil de injetar. Estas características fazem com que seja um material polimérico amplamente utilizado na indústria automóvel.

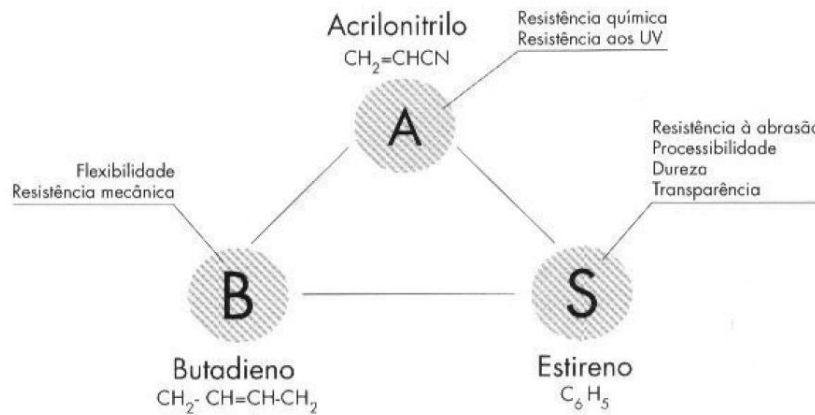


Figura 3.13 – Componentes do ABS e respetivas propriedades (CENTIMFE, 2003).

3.5 Caderno de encargos do cliente

O caderno de encargos é um documento fornecido pelo cliente, pelo qual o projetista se guia para traçar os estudos preliminares referentes ao molde em análise. O caderno de encargos do cliente permite ao projetista aceder a informações importantes, tais como:

- Massa máxima do molde;
- Dimensões dos pratos e distância entre colunas da máquina de injeção;
- Dimensões do K.O da máquina de injeção;
- Capacidade da unidade de injeção;
- Diâmetro do fuso da máquina de injeção;
- Diâmetro do bico da unidade de injeção e respetivo diâmetro;
- Ligações elétricas e quantidade de circuitos de águas disponíveis.

A capacidade máxima da ponte do cliente é de 16 toneladas, pelo que, a massa do molde não pode exceder este valor. Nenhuma das dimensões do molde pode ultrapassar os 6.5 metros uma vez que, com correntes, a ponte, apenas tem esta capacidade de elevação do solo. Todas estas dados são de relevância para a definição do conceito do molde e conceção do mesmo. Na Tabela 3.1, encontram-se alguns dados importantes sobre a máquina de injeção.

Tabela 3.1 – Dados sobre a máquina de injeção.

Item	Valor
Diâmetro do fuso (mm)	115
Volume teórico de injeção (cm ³)	5921
Diâmetro do bico de injeção (mm)	50
Força de fecho (kN)	1055
Abertura máxima (mm)	2600
Distância entre colunas (mm)	1150×1150
Dimensão dos pratos(mm)	1645×1630
Dimensão dos KO's	M36

3.6 Força de fecho da máquina de injeção

Ao ser injetado, o polímero exerce uma pressão no molde (pressão de injeção), sendo que a máquina de injeção onde o molde é montado é responsável por exercer uma força que contrarie a pressão de injeção. Esta força é designada por força de fecho da máquina de injeção. Quando a força de fecho da máquina é menor que a pressão de injeção exercida no molde, este abre, ocorrendo formação de rebarba na peça injetada, pelo que, é necessário que sejam efetuados cálculos que prevejam um valor mínimo de força de fecho, selecionando assim, uma unidade de injeção adequada. Apesar de a unidade de injeção ter sido selecionada pelo cliente fez-se um cálculo de confirmação. Para calcular a força de fecho necessária foi utilizada a equação (3.1) (CENTIMFE, 2003).

$$F_f = \frac{A_p \times P_m \times N_{cav}}{9,81 \times 10^4} \quad (3.1)$$

Onde:

F_f - Força de fecho da máquina de injeção [ton]

A_p – Área projetada da peça a injetar [mm²]

P_m – Pressão média exercida pela injeção durante o enchimento [bar]

N_{cav} – Número de cavidades do molde.

Como se pode observar na Figura 3.14, a área projetada da peça calculada  de 305000 mm².

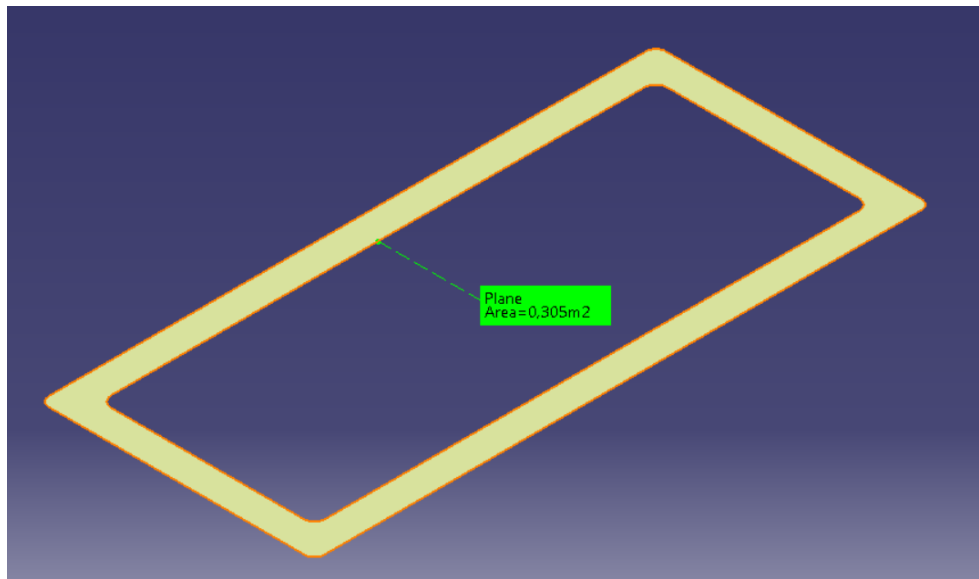


Figura 3.14 – Representação da área projetada da peça.

O valor da pressão média exercida pelo material a injetar é obtido multiplicando o valor de pressão obtido no *software* de reologia (Figura 3.15) por um coeficiente entre 1/3 e 1/5. O valor de coeficiente que foi considerado foi de 1/4.

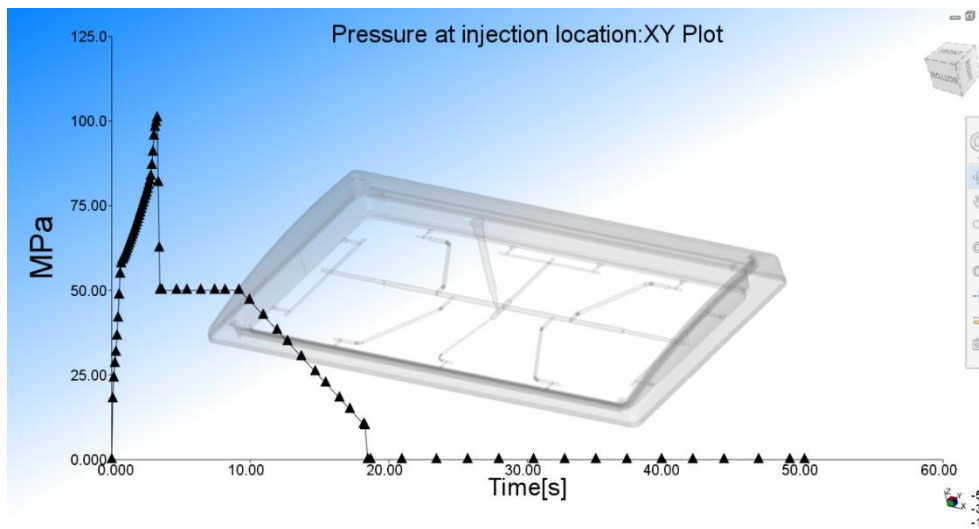


Figura 3.15 – Gráfico da pressão de injeção em função do tempo obtido no *software* de reologia.

Substituindo os valores na equação (3.1), obteve-se uma força de fecho de 777,27 toneladas, tal como pode ser visualizado pela equação (3.2)

$$F_f = \frac{305000 \times 2500 \times 1}{9,81 \times 10^4} = 777,27 \text{ ton} \quad (3.2)$$

A máquina de injeção escolhida para aplicação do molde tem uma força de fecho de 1035 toneladas, sendo que é apenas necessária uma força de fecho de 777,27 toneladas. Para estes valores foi obtido um coeficiente de segurança de 1,36, tal como se pode verificar pela equação (3.3)

$$CS = \frac{\text{força de fecho da máquina}}{\text{força de fecho necessária}} = \frac{1035}{777,27} \sim 1.36 \quad (3.3)$$

3.7 Contração da peça

O material polimérico é um ABS (ABS ER468) com uma contração de 0,55%. A contração é um aspeto de enorme importância uma vez que, com o arrefecimento do material este contrai, diminuindo as dimensões finais da peça. Para contrariar a contração da peça, foi atribuído um fator de escala de 1,055 a toda a geometria da peça.

3.8 Separação da peça em macho e cavidade

As superfícies da peça são separadas em superfícies responsáveis por moldar a cavidade e superfícies moldantes do macho (Figura 3.16). A função da linha de junta é separar a peça nas suas duas metades, esta é o local onde o macho, a cavidade e o plástico se encontram (Kazmer, 2007).

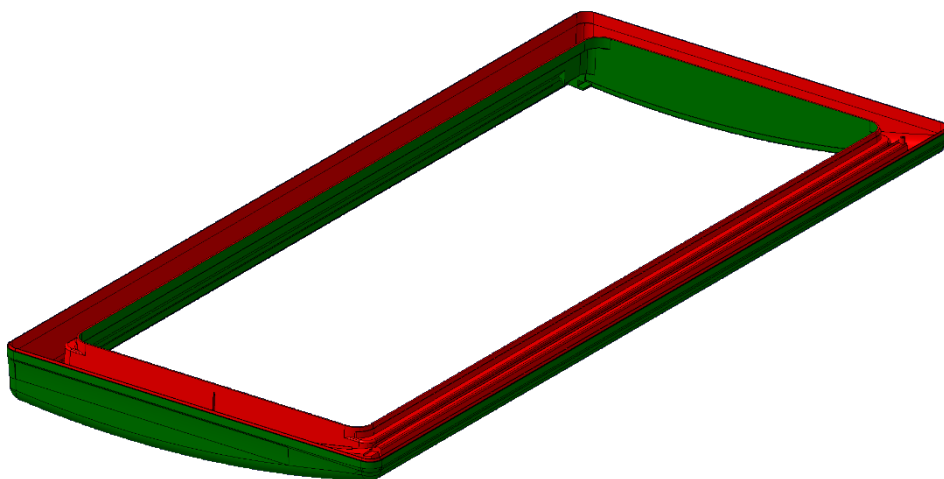


Figura 3.16 – Representação da separação das superfícies do macho (vermelho)/cavidade (verde).

A linha de junta deve ser concebida da forma mais suave possível de maneira a facilitar o posterior processo de fabrico, reduzindo assim custos e tempo gasto. O Software CAD utilizado possui um módulo dedicado a fazer a separação de peças em macho e cavidade. Este módulo gera duas superf cias, uma para a cavidade e outra para o macho, sendo posteriormente possível trabalhar estas superf cias de modo a obter a linha de junta completa do molde. Assim que estão reunidas as superf cias constituintes do macho e da cavidade, realizaram-se as peas responsáveis por cortar a placa da cavidade e do macho apresentadas na Figura 3.17.

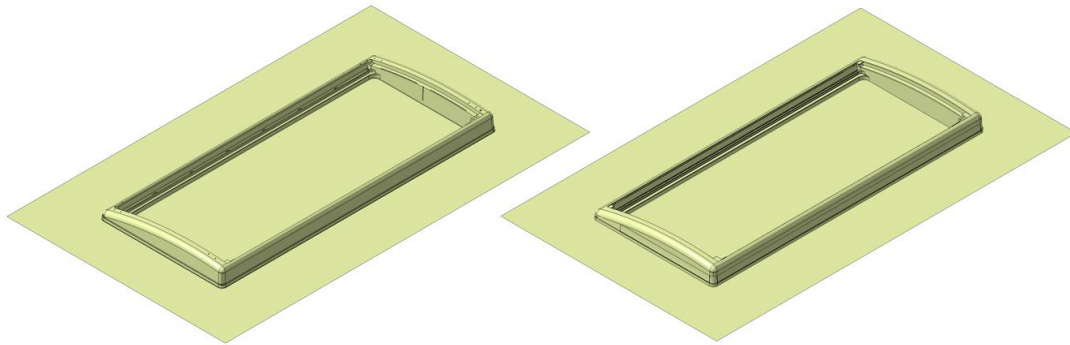


Figura 3.17 – Representação das superf cias de junta da cavidade (  esquerda) e do macho (  direita).

4 PROJETO DO MOLDE

4.1 Seleção de materiais

Na fabricação de moldes, os aços escolhidos devem ser resistentes às tensões e fáceis de maquinar. Os moldes são submetidos a pressões elevadas nas zonas de gravação e submetidos à força de fecho das máquinas de injeção sendo que, os seus componentes são solicitados a esforços de flexão e compressão consideráveis. Os aços selecionados devem por isso, ser resistentes no núcleo mantendo, no entanto, uma dureza adequada na superfície (Pires, 2021). O aço escolhido para componentes de estrutura, foi um aço 1.1730. As características deste aço são apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Propriedades do aço 1.1730 (Ramada Aços, 2023).

Referência do Aço	Norma	Composição (máx)	Dureza e Resistência à rotura (máx)
1.1730	AISI 1045	C - 0,5	207 HB (~710 MPa)
		Si - 0,40	
		Mn - 0,80	

Trata-se de um aço de construção de médio carbono, com boa maquinabilidade e 207 HB de dureza (~710 MPa) (Ramada Aços, 2023). Por não necessitar de possuir uma resistência à rotura tão alta como um aço que esteja na zona de gravação, optou-se por este aço mais económico. Para os postigos da zona moldante e para os corpos moldantes dos movimentos e barras extratoras, optou-se por um aço ferramenta ligado para trabalho a frio ou a quente (1.2738). Como o aço é empregue na zona de gravação do molde necessita de uma dureza maior, no valor de 330 HB (~1120 MPa) (Ramada Aços, 2023). As propriedades deste aço encontram-se na Tabela 4.2.

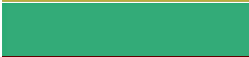
Tabela 4.2 – Propriedades do aço 1.2738 (Ramada Aços, 2023).

Referência do Aço	Norma	Composição (máx)	Dureza e Resistência à rotura (máx)
1.2738	AISI P20	C - 0,45	330 HB (~1120 MPa)
		Si - 0,40	
		Mn - 1,60	
		Cr - 2,10	
		Mo - 0,25	
		Ni - 1,20	

4.2 C3digo de cores

Um molde 3 e o resultado de uma montagem de milhares de peças. Para uma melhor distinção e identificação de cada elemento do molde 3 respeitado um c3digo de cores, explicado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – C3digo de cores utilizado internamente.

RGB	Cor	Aplicação
188,176,40		Superf3cias de gravação
51,171,120		Superf3cias de ajuste
95,0,0		Superf3cias com folga
0,0,200		Superf3cias da linha de junta
255,175,175		Outras superf3cias de conciliação
0,0,255		Furos H7
255,255,0		Furos com rosca m3trica
255,95,0		Furos com rosca NPT
255,175,0		Furos com rosca fina
150,80,80		Circuito de 3leo
255,0,255		Circuito de refrigeração
128,0,255		Circuito de refrigeração
0,128,255		Circuito de refrigeração
0,255,255		Circuito de refrigeração
0,255,0		Circuito de refrigeração
0,128,0		Circuito de refrigeração
211,178,125		Circuito de refrigeração
128,0,0		Circuito de refrigeração

4.3 Estrutura do molde

O molde em projeto possui uma estrutura peculiar, principalmente pelo facto de ser poss3vel fabricar 5 vers3es da mesma peça em apenas um molde, tendo sido esta uma condição solicitada pelo cliente. O molde encontra-se dividido em quatro grandes grupos de elementos:

- Elementos moldantes;

- Elementos estruturais;
- Elementos de extração;
- Elementos de injeção (apenas para a parte fixa).

Dos elementos moldantes fazem parte os postigos de gravação, bem como os mecanismos da cavidade, responsáveis por conferir a forma correta à peça. Os elementos estruturais são constituídos por placas de encosto, pelas guias e pelas placas principais do macho e da cavidade. No caso deste molde em específico a placa da cavidade também serve como placa de encosto na máquina de injeção. Os elementos estruturais são também constituídos pelas patas de elefante, pelos calços e pelos pilares de suporte. Os elementos de extração são constituídos pela placa de extração, pelos extratores, pelos movimentos, pelas barras extratoras e pelos pernos de retorno, tendo como função, extrair a peça do molde. Por fim, dos elementos de injeção, fazem parte o bico de injeção, os canais de injeção e os ataques à peça. Estes elementos são responsáveis por injetar e conduzir o polímero até às superfícies de gravação do molde. A Figura 4.1 apresenta um esquema relativo a todos os grupos mencionados anteriormente.

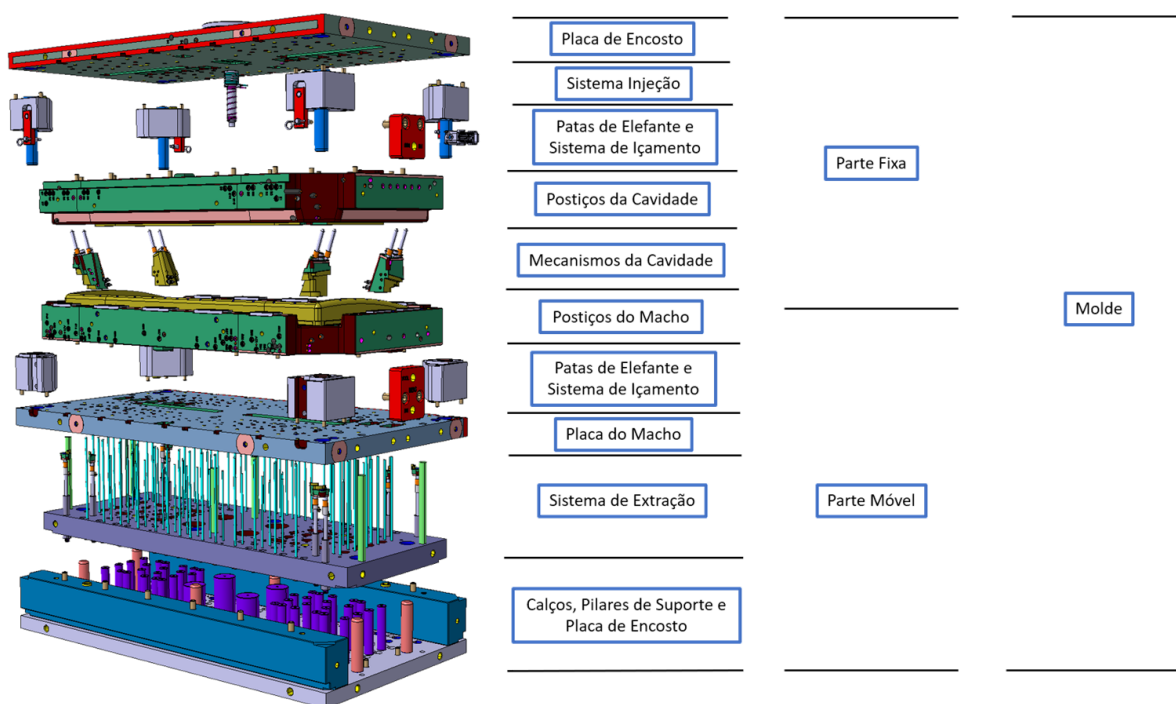


Figura 4.1 – Representação esquemática da estrutura do molde em estudo.

4.4 Placas do molde

4.4.1 Placas de encosto

As placas de encosto têm como principal função fixar o molde   máquina de injeção. No caso deste molde, apenas o lado móvel possui placa de encosto. A função da placa de encosto é executada apenas pela placa da cavidade no lado fixo do molde. O sistema de injeção não é convencional, não necessitando de uma placa de alojamento do sistema de alimentação.

Posto isto, a função de placa de encosto é executada pelo bloco da cavidade, no lado fixo do molde. Esta placa aloja ainda a anilha de centragem e os parafusos da estrutura. O material utilizado nas placas de encosto é um aço 1.1730. Trata-se de um aço de construção ao carbono, no entanto não apresenta uma dureza tão elevada como a do aço 1.2738, mas é mais econ mico.   também importante referir que, nas costas da placa de encosto do macho existem umas tampas que dão acesso direto às barras extratoras como esta demonstrado na Figura 4.2. Remover as tampas d  acesso direto às barras, evitando a desmontagem desta placa na hora de trocar de versão.



Figura 4.2 – Alojamento das tampas de acesso direto às barras extratoras.

4.4.2 Calços

A função dos calços (Figura 4.3)   a criação de espaço para alojar os elementos de extração do molde, bem como a distância percorrida por estes durante todo o curso de extração. O aço em que os calços são feitos é o aço 1.1730.

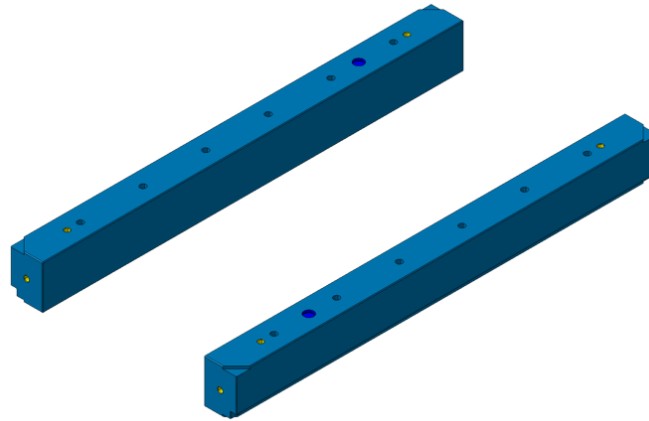


Figura 4.3 – Representação dos calços.

4.4.3 Placa de extração

A placa de extração representada na Figura 4.4, trata-se da placa na qual os elementos responsáveis por extrair a peça do molde estão fixos. No caso deste molde, a placa aloja apenas extratores e barras extratoras e é fabricada no aço 1.1730.

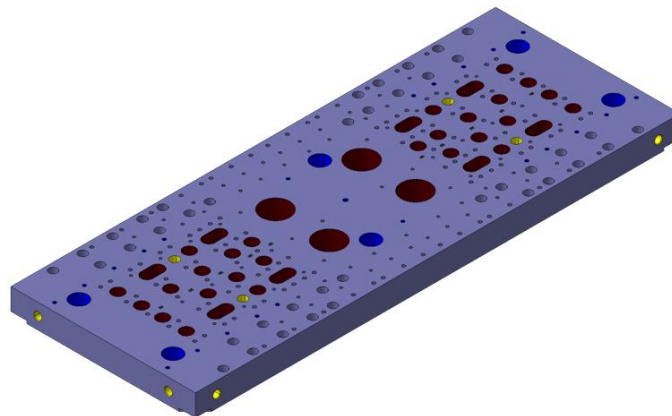


Figura 4.4 – Representação da placa de extração.

4.4.4 Placa do macho/cavidade

Neste molde, é também possível atribuir o nome de porta macho/cavidade à placa do macho/cavidade uma vez que, tanto o macho como a cavidade são totalmente “empostaçados”. A placa da cavidade (Figura 4.5) serve de alojamento para as guias do molde, patas de elefante, postigos e centradores dos postigos, movimentos da cavidade e dá posicionamento ao bico de injeção.

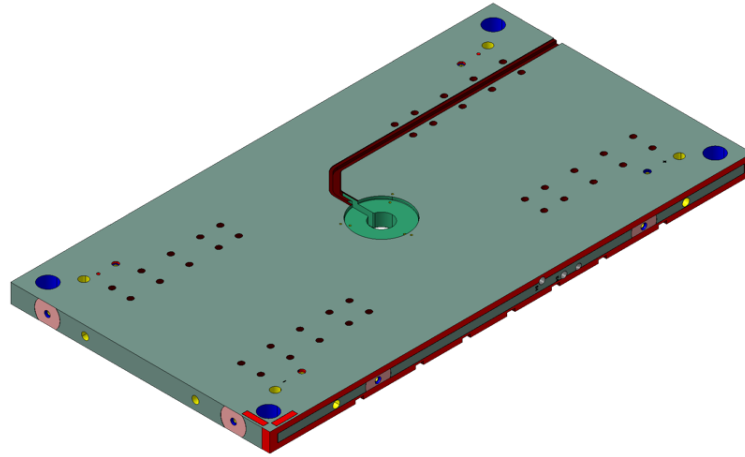


Figura 4.5 – Representação da placa da cavidade.

A placa do macho (Figura 4.6) aloja os casquilhos das guias, os postigos do lado móvel e respetivos centradores e serve de fixação para as patas de elefante e para os calços da extração.

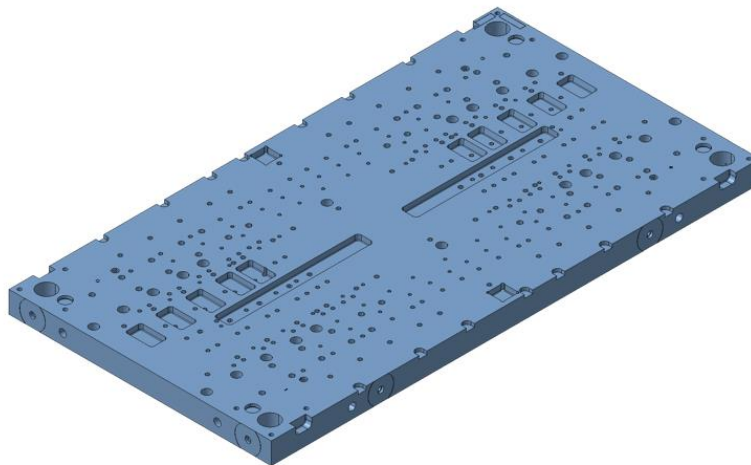


Figura 4.6 – Representação da placa do macho.

4.4.5 Postigos

A zona moldante ou de gravação do molde é integralmente constituída por postigos. Como já foi falado anteriormente, o molde é capaz de produzir 5 versões da mesma peça, pelo que houve necessidade de se implementar postigos que pudessem ser conjugados de forma a reproduzir todas as versões. Os postigos encontram-se fixos à placa do macho e da cavidade, dependendo do lado do molde a que pertencem e são localizados nas posições corretas com recurso a centradores que garantem também que estes não se movem durante os ciclos de injeção. Os postigos do lado móvel (Figura 4.7) do molde conferem o aspeto interior à peça.

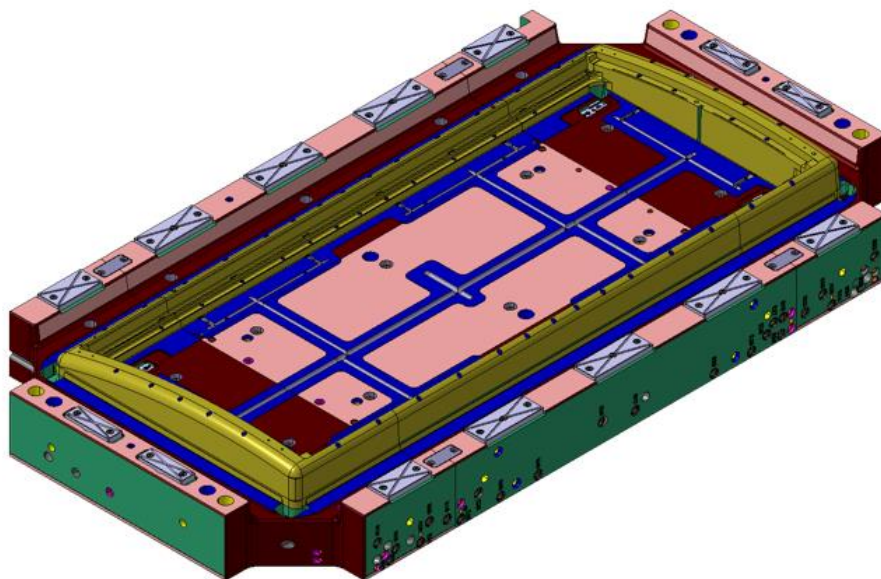


Figura 4.7 – Representação dos postigos do lado móvel.

Os postigos do lado fixo (Figura 4.8) dão o aspeto exterior à peça e alojam o corpo moldante dos movimentos de extração.

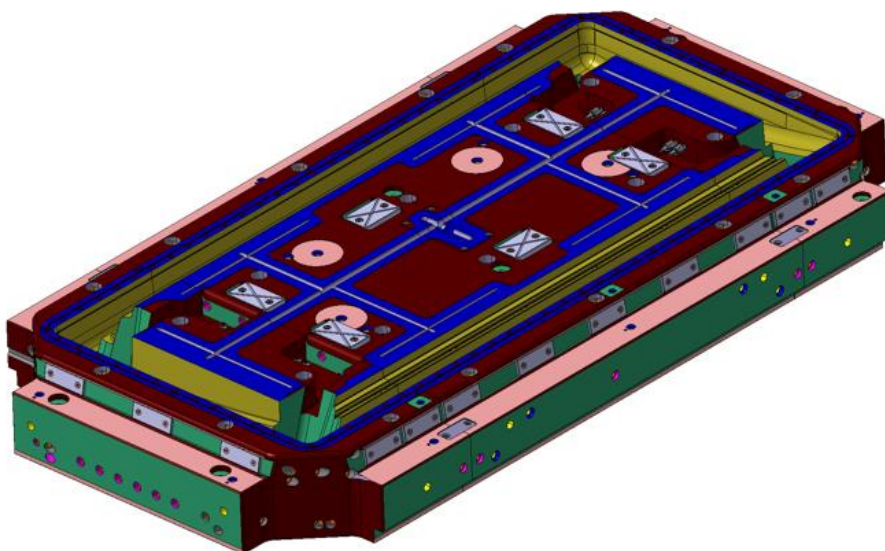


Figura 4.8 – Representação dos postigos do lado fixo.

Os postigos de ambos os lados do molde são produzidos num aço 1.2738. Como os postigos fazem toda a gravação do molde, há necessidade de serem produzidos num aço com maior dureza.

4.5 Desenho do molde

4.5.1 Software de modelação

O *software* CAD utilizado para o desenvolvimento do projeto foi o *Catia V5*®, que é amplamente utilizado na indústria dos moldes devido   sua capacidade de computação e personalização. O *Catia* possui um módulo dedicado ao desenho de moldes, no entanto, a estrutura desenvolvida internamente dedicada a todo o projeto do molde faz com que não seja necessário recorrer a este módulo.

Uma vez que o *Catia*   um *software* muito personalizável, criou-se uma estrutura capaz de desenhar as placas do molde apenas com a introdução de alguns parâmetros, *powercopies* capazes de fazer diversas operações com apenas alguns *inputs* e uma livreria com todos os componentes *standard* da empresa e de outros fabricantes. Todos os componentes possuem um *link*   placa onde estão inseridos, pelo que quando   necessário realizar algum tipo de alteração em algum componente de maior ou menor influência no molde, este atualiza-se automaticamente ajustando todos os parâmetros. Esta estrutura agiliza toda a conceção do projeto, reduzindo de forma significativa o tempo gasto em modelação.

4.5.2 Sistema de extração

Com as superfícies de corte do macho e da cavidade devidamente preparadas, como referido anteriormente,   possível começar-se a desenvolver os componentes da extração do molde. Não   necessário que a linha de junta esteja totalmente concluída para que se comecem a desenhar os mecanismos de extração.

Num estudo preliminar para a extração do macho foi discutida implementação de gás (azoto) para auxiliar a extração da peça. A aplicação do sistema de gás proporcionaria uma série de vantagens:

- Redução do tempo de ciclo uma vez que, a aplicação do gás diminui o tempo de arrefecimento da peça plástica;
- Redução de empenos;
- Elimina chupados na zona visível da peça;
- Facilita a extração da peça do macho.

O funcionamento do sistema de gás idealizado seria semelhante ao demonstrado na Figura 4.9:

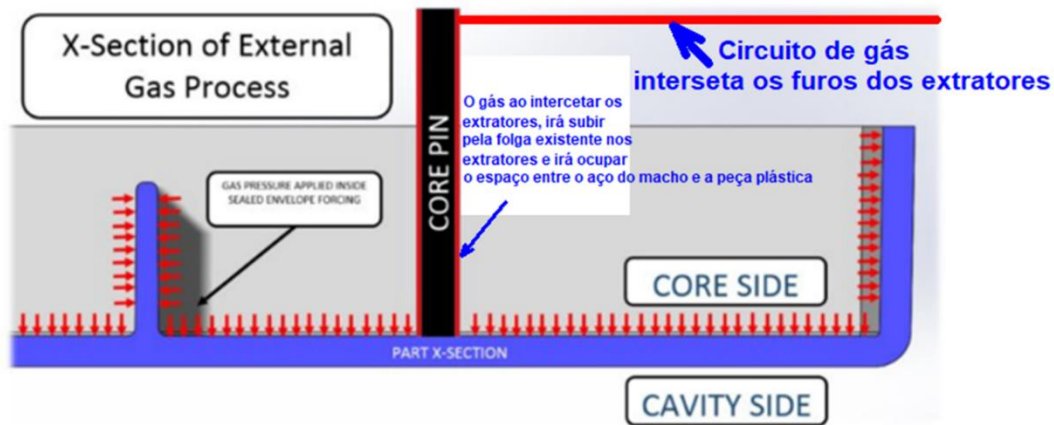


Figura 4.9 – Representação do esquema do sistema de gás de auxílio à extração da peça (mack, 2023)

O circuito de gás intersesta os furos de passagem dos extratores. Assim que o azoto intersesta o extrator, sobe pela folga existente entre o diâmetro do extrator e o furo existente para a sua montagem. Este gás, cria uma película entre o aço do macho e a peça, comprimindo o material plástico contra a superfície da cavidade. Por uma questão de redução de custos, o cliente não se mostrou interessado na implementação deste sistema, daí não ter sido implementado.

4.5.2.1 Extração do macho

Os elementos de extração do lado móvel do molde são abordados seguidamente. Na Figura 4.10 encontram-se representados todos os elementos que fazem parte do sistema de extração do lado móvel do molde.

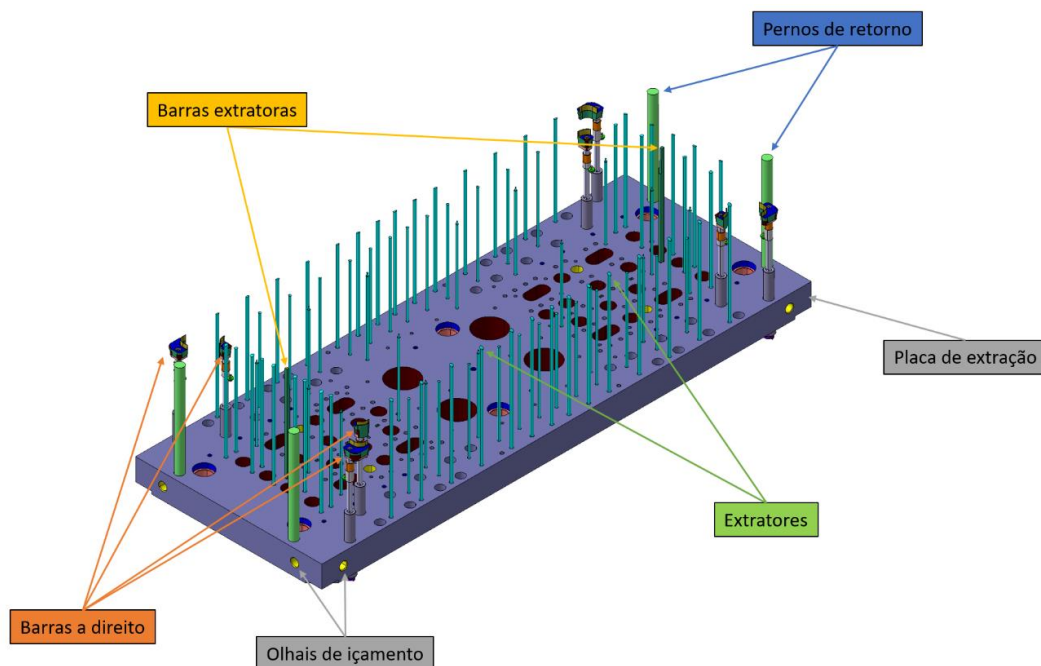


Figura 4.10 – Elementos sistema de extração do lado móvel.

Para minimizar o esforço de extração e como alternativa ao sistema de gás discutido anteriormente, optou-se pela implementação de válvulas pneumáticas (Figura 4.11). Estas válvulas têm como propósito auxiliar a extração da peça na altura em que esta “descola” do macho, pelo que atuam apenas no início do curso de extração.

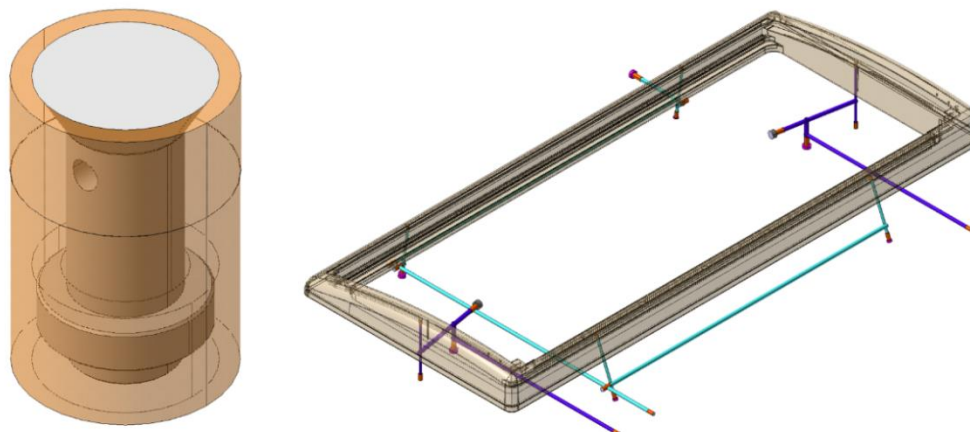


Figura 4.11 – Válvula e respetivo circuito pneumático

Optou-se pela válvula VA-10 por uma questão de espaço como se pode verificar na Figura 4.12. A zona de aplicação das válvulas faz com que estas fiquem muito perto dos poços do circuito de refrigeração, pelo que foram escolhidas válvulas com tamanho mais reduzido.

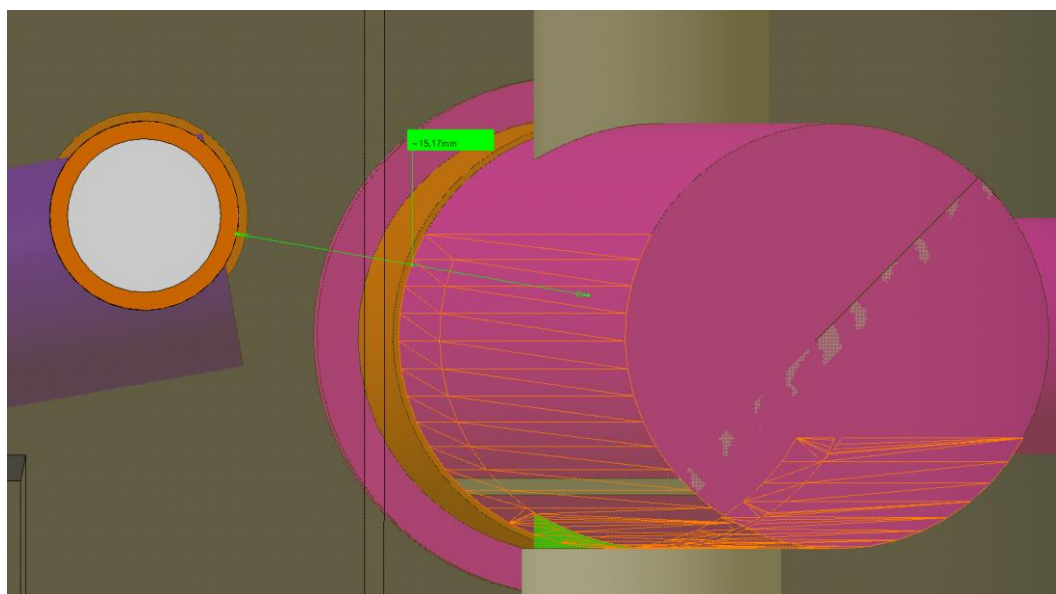


Figura 4.12 – Distância da válvula pneumática ao poço mais próximo (~15 mm)

As barras extratoras com acionamento por mola usaram-se para facilitar a extração dos frisos nos cantos da peça (Figura 4.13) uma vez que, quando as zonas a moldar são frisos é criada uma maior aderência do plástico ao aço, dificultando a extração do mesmo.



Figura 4.13 – Representação das barras extradoras na peça.

Implementou-se uma mola helicoidal (Figura 4.14) em cada barra extratora para dar um impulso inicial assim que o molde abre para se dar a extração da peça.

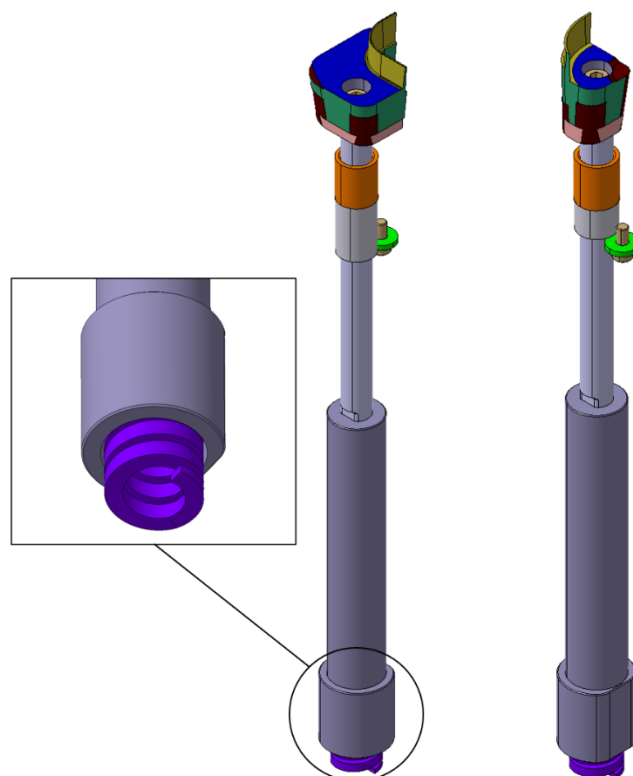


Figura 4.14 – Representação das barras extradoras e pormenor da mola helicoidal.

Assim que a placa de extração é acionada, a mola faz com que a barra se comece a movimentar no sentido em que se dá a extração. Assim que a barra atinge 10 mm de curso é parada pelo seu limitador de curso quando este bate nas costas da placa do macho (Figura 4.15), permanecendo na mesma cota enquanto os restantes elementos

da extração avançam. Com o fecho do molde e recuo da placa de extração, esta calca o limitador de curso e a barra extratora recua para a sua posição inicial.

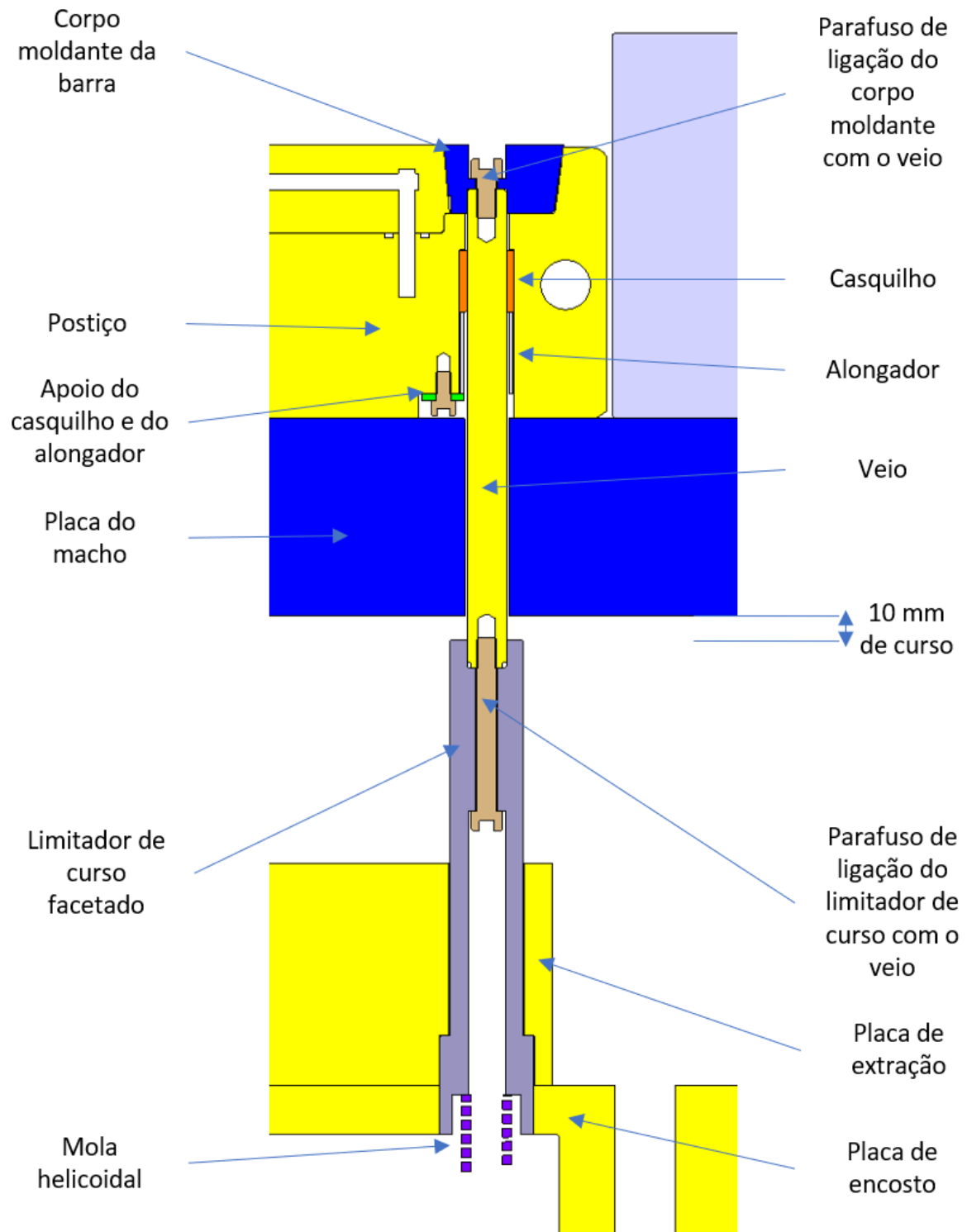


Figura 4.15 – Representação de todos os componentes da barra extratora.

Foram também implementadas barras a direito a moldar as nervuras da peça (Figura 4.16). Uma vez mais, utilizaram-se estas barras, dado que se trata de uma zona da

peça em que o plástico fica mais agarrado ao aço sendo assim possível, exercer uma força localizada nesta zona mais crítica.

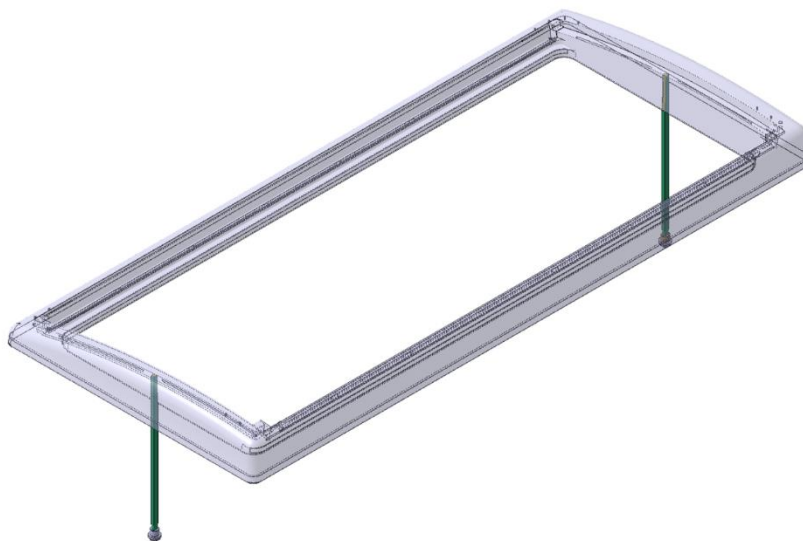


Figura 4.16 – Representação da localização das barras extratoras das nervuras na peça.

Os extratores são utilizados não só para remover a peça, como também para os canais do sistema de alimentação (jito) (Figura 4.17).

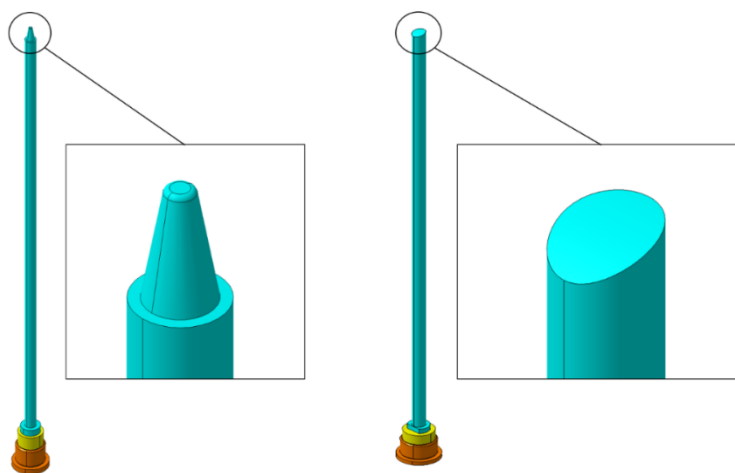


Figura 4.17 – Representação de um extrator de canal (à esquerda) e extrator de peça (à direita).

Devem ser posicionados de forma simétrica na peça para que não ocorram empenos nesta e para uniformizar os esforços realizados na extração (Figura 4.18).

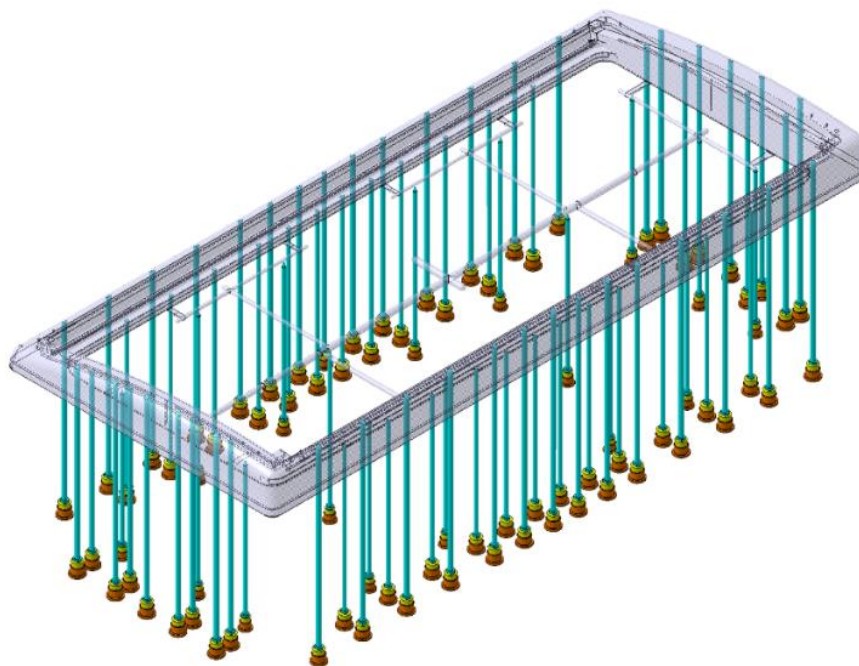


Figura 4.18 – Representação do conjunto de extratores completos na peça.

Como o ajuste do extrator com o respetivo furo   H7 e durante 25 mm, os gases escapam pelo espaço existente entre o furo e o extrator, mas sem formação de rebarba. Os extratores funcionam então como local para escape de gases. A partir dos 25 mm em que a tolerância de ajuste   H7, d-se folga de 1 mm, como   visível na Figura 4.19.

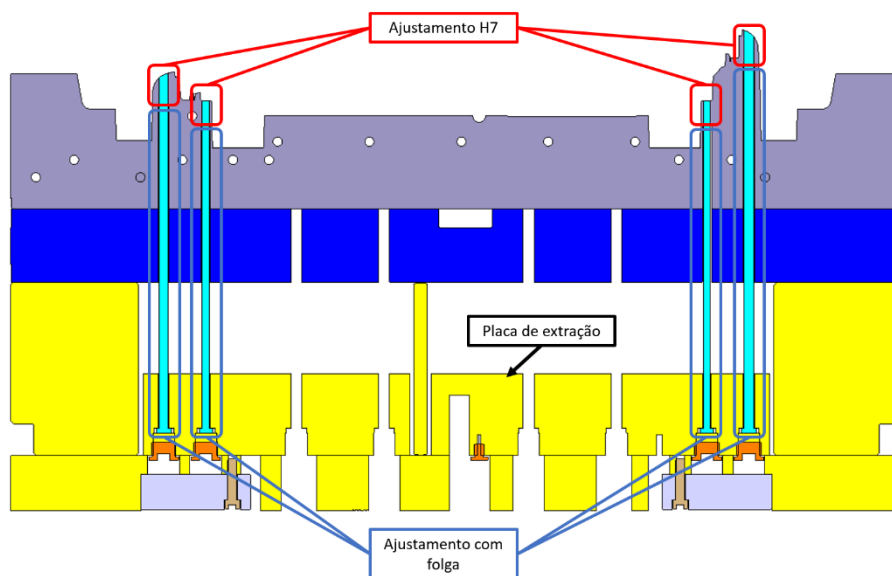


Figura 4.19 – Secção que evidência o ajustamento dos extratores.

A parte de gravação dos extratores de peça muda consoante o local da peça onde o extrator está inserido. Os extratores de canal, por outro lado, são todos iguais. Por norma, colocam-se os extratores na zona não visível da peça dado que, estes deixam uma ligeira marca.

Trata-se da placa na qual componentes como movimentos de extração, levantadores, barras extratoras e extratores estão fixos. A placa de extração deste molde é acionada por um sistema de KO's (Figura 4.20) que através de um conjunto de veios roscados na placa de extração e conectados à máquina de injeção faz com que o sistema de extração do molde avance e recue.

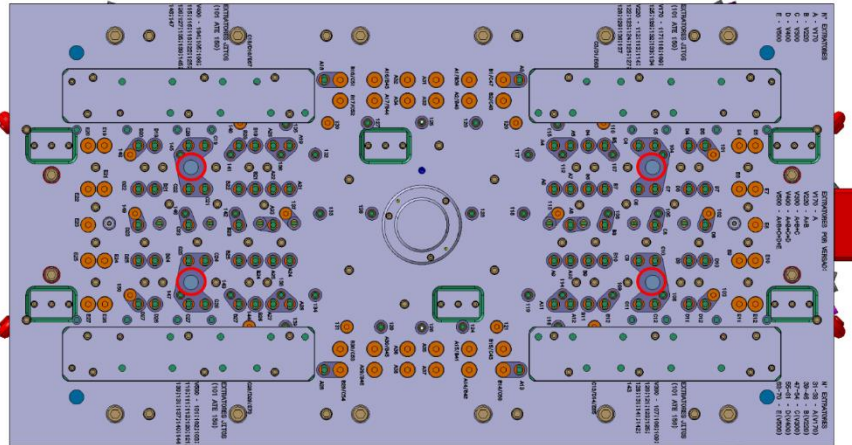


Figura 4.20 – Representação dos furos (assinalados a vermelho) para a passagem dos KO's.

A função dos pernos de retorno (Figura 4.21) é garantir que no momento em que se dá a injeção de material no molde, a extração se encontra totalmente recuada.

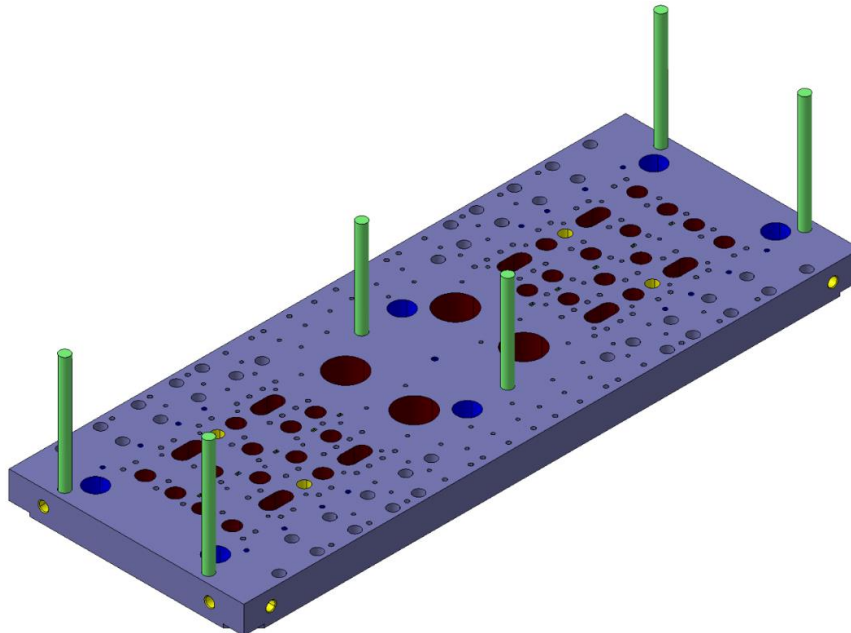


Figura 4.21 – Representação dos pernos de retorno montados na placa de extração

Na mesma coordenada de localização dos pernos de retorno, mas do lado oposto do molde, ou seja, na cavidade, encontram-se uns batentes, encarregues não só de amortecer o impacto causado pelos pernos de retorno quando o molde fecha, como para garantir que estes estão realmente recuados. A posição dos pernos de retorno

muda com a versão de peça que se está a produzir. Os pilares de suporte (Figura 4.22) têm como função evitar que a placa traseira do molde seja sujeita a esforços de flexão muito altos.

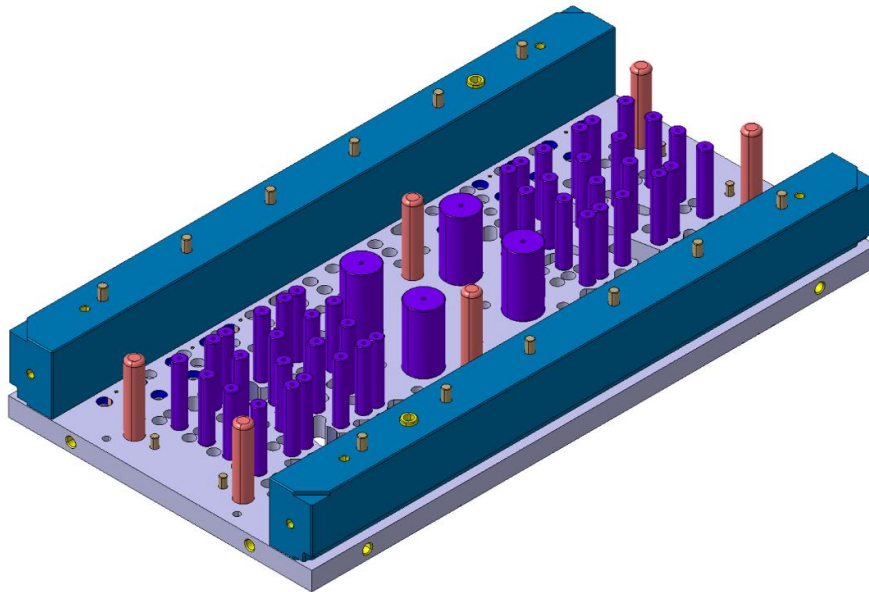


Figura 4.22 – Pilares de suporte a roxo e guias de extração a rosa

Como o próprio nome indica, as guias de extração servem para guiar o sistema de extração para que, durante o seu funcionamento não haja desalinhamentos.

4.5.2.2 Extração da cavidade

Para a extração do lado fixo do molde, o software previu que os movimentos para desmoldar os perfis em “E” e em “C” já previamente mencionados fossem acionados por molas a gás e guiados por “T” (Figura 4.23). Por uma questão de espaço, optou-se por guiamento por guias.

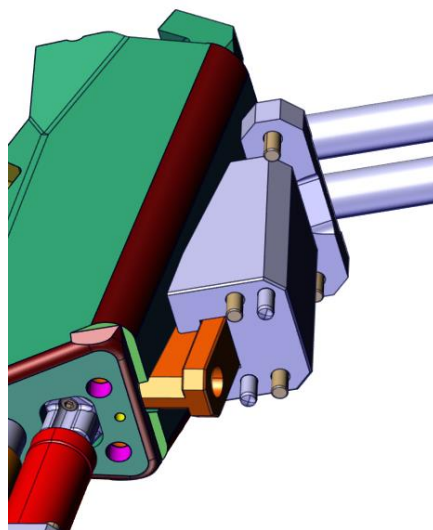


Figura 4.23 – Movimento acionado por mola a gás e guiado por “T”.

Os movimentos que permitem a moldagem de contra saídas ou partes negativas da peça que foram aplicados neste molde foram os movimentos acionados por mola a gás (Figura 4.24), localizados na cavidade.

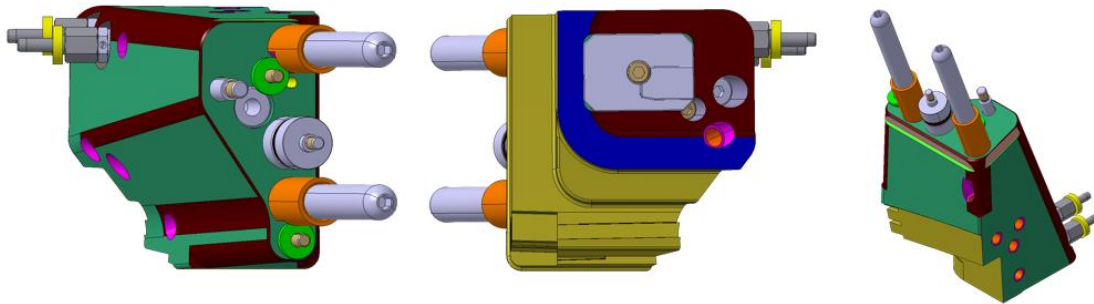


Figura 4.24 – Vista de baixo, de cima e isométrica do movimento acionado por mola a gás (da esquerda para a direita)

Para modelar este movimento, selecionaram-se as faces de gravação e vedação. Posteriormente, foi dado um ângulo de ajuste lateral entre os postigos da cavidade e o movimento. Verificou-se o curso de desmoldagem da contra saída, adicionaram-se os acessórios do movimento e, por fim, desenhou-se o circuito de refrigeração dado que este movimento abrange uma área considerável de peça que deve ser refrigerada. Em causa, estão as zonas negativas da peça com perfil em “E” e com perfil em “C” (Figura 4.25). Os movimentos responsáveis por moldar estas zonas, possuem o mesmo ângulo de trabalho bem como o mesmo curso, mudando apenas a orientação.

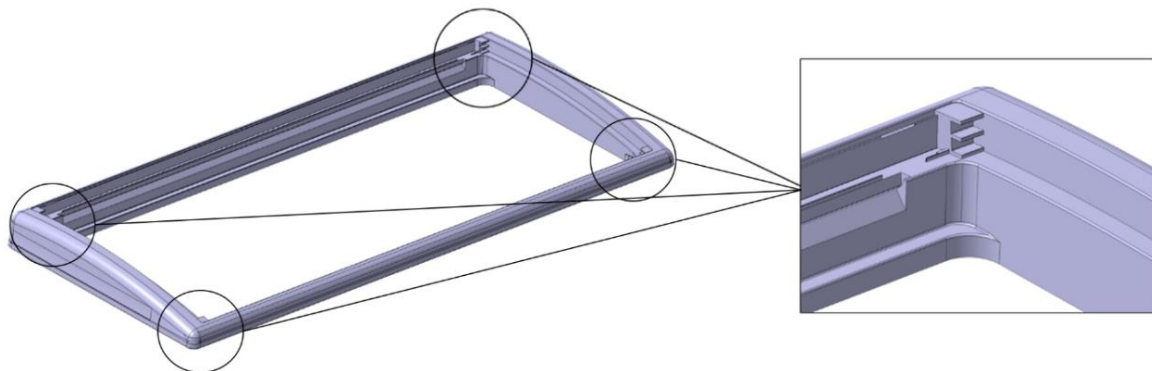


Figura 4.25 – Contra saídas a desmoldar pelos movimentos.

Com uma inclinação vertical inteira (20°) foi possível obter um curso de desmoldagem de $\approx 25,5$ mm, suficiente para desmoldar a contra saída de ≈ 21 mm dos perfis em “E” e em “C” (Figura 4.26) e passar pela peça com uma folga de ≈ 6 mm (Figura 4.27). O valor de inclinação necessita de ser um número inteiro devido às limitações da máquina de furação da empresa. A Figura 4.28 mostra o movimento no início e fim de curso.

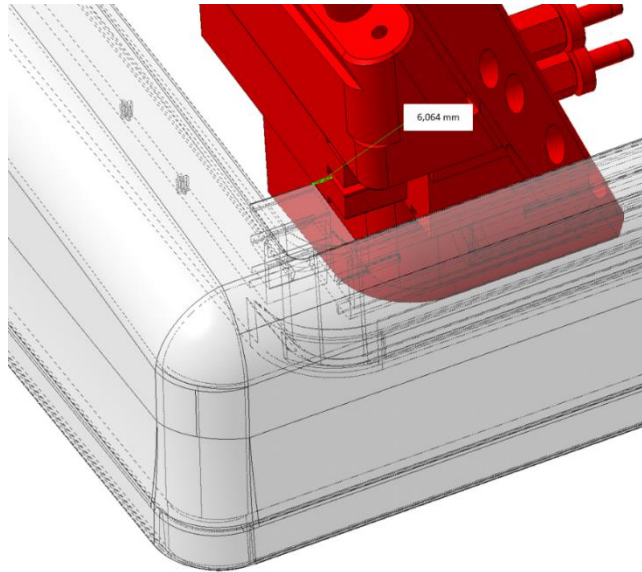


Figura 4.26 – Folga com que o movimento passa pela peça (movimento em fim de curso).

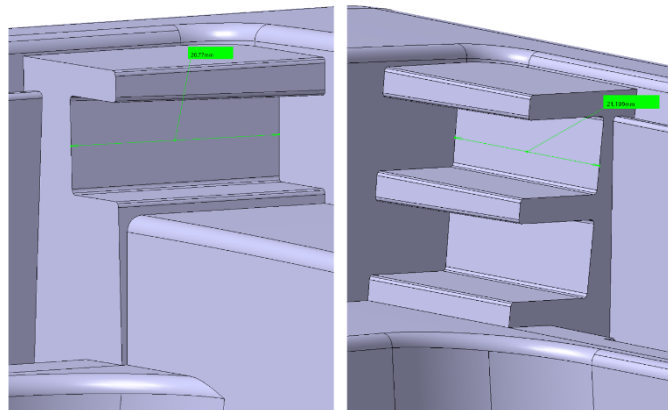


Figura 4.27 – Curso de desmoldagem necessário para desmoldar o perfil em C (à esquerda) e em E (à direita).

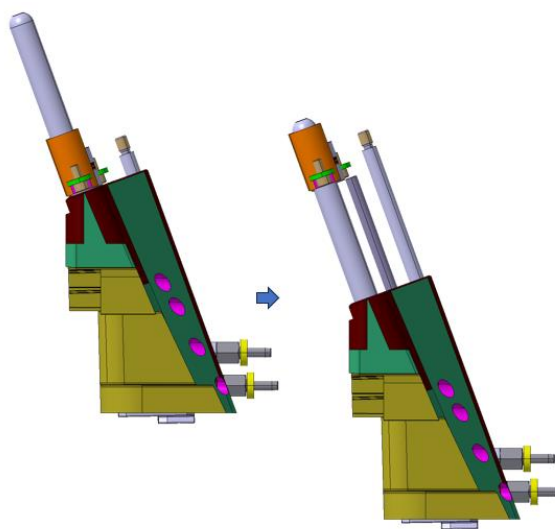


Figura 4.28 – Movimento acionado por mola a gás no início (à esquerda) e fim de curso (à direita).

O movimento é maioritariamente acionado com recurso a uma mola de gás, evidenciada na Figura 4.29. Esta mola produz uma força no sentido de trabalho (sentido dos veios) do movimento, fazendo com que este percorra todo o seu curso de extração.

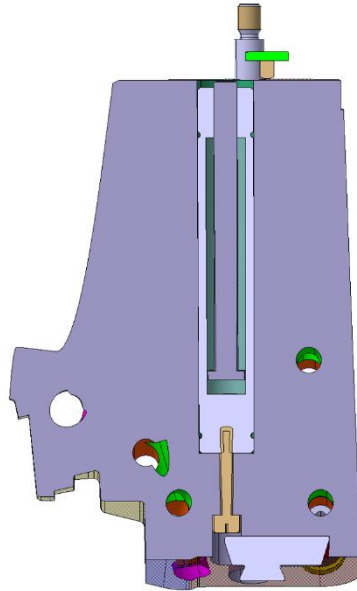


Figura 4.29 – Representação em corte da secção que evidencia a mola a gás.

Foram também implementadas umas molas de disco (Figura 4.30) que servem apenas para ajudar o movimento a sair da sua caixa na cavidade, dando-lhe um pequeno impulso inicial.

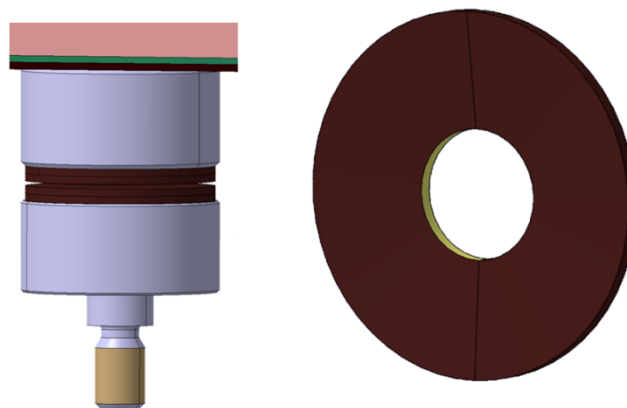


Figura 4.30 – Representação da mola de disco

Para auxiliar o movimento a deslocar-se foi também implementado um sistema de ganchos (Figura 4.31). Este sistema permite o movimento combater a inércia inicial ao sair da sua caixa. O sistema é constituído por dois ganchos, um localizado no movimento e outro localizado no postigo do macho. Assim que se dá a abertura do molde, o gancho do macho puxa o gancho da cavidade durante sensivelmente 23 mm ao longo de x, e consigo traz o movimento.

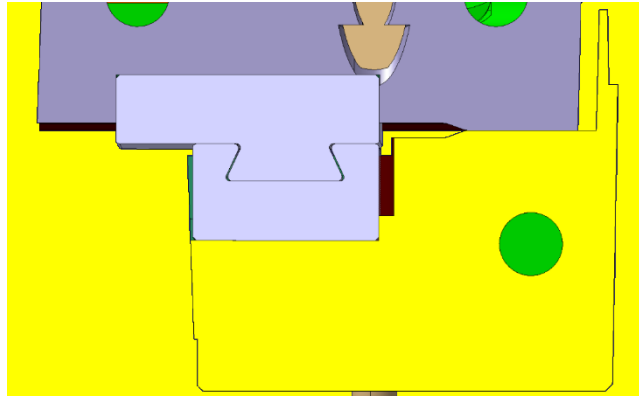


Figura 4.31 – Representação do sistema de ganchos

O movimento possui também um limitador de curso evidenciado na Figura 4.32, que o impede de cair assim que acaba o curso das guias.

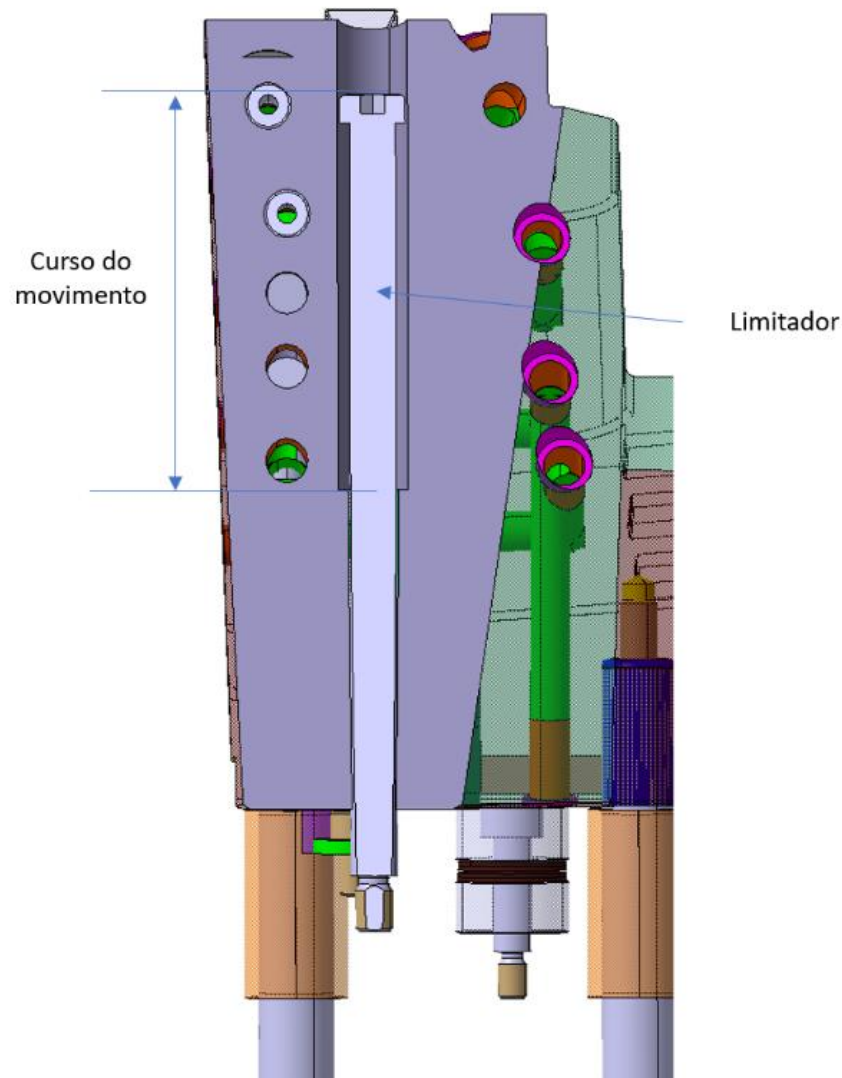


Figura 4.32 – Representação da secção do movimento que evidencia o limitador de curso.

Na Figura 4.33, encontra-se uma secção do movimento com os seus componentes legendados, para melhor compreensão do mesmo.

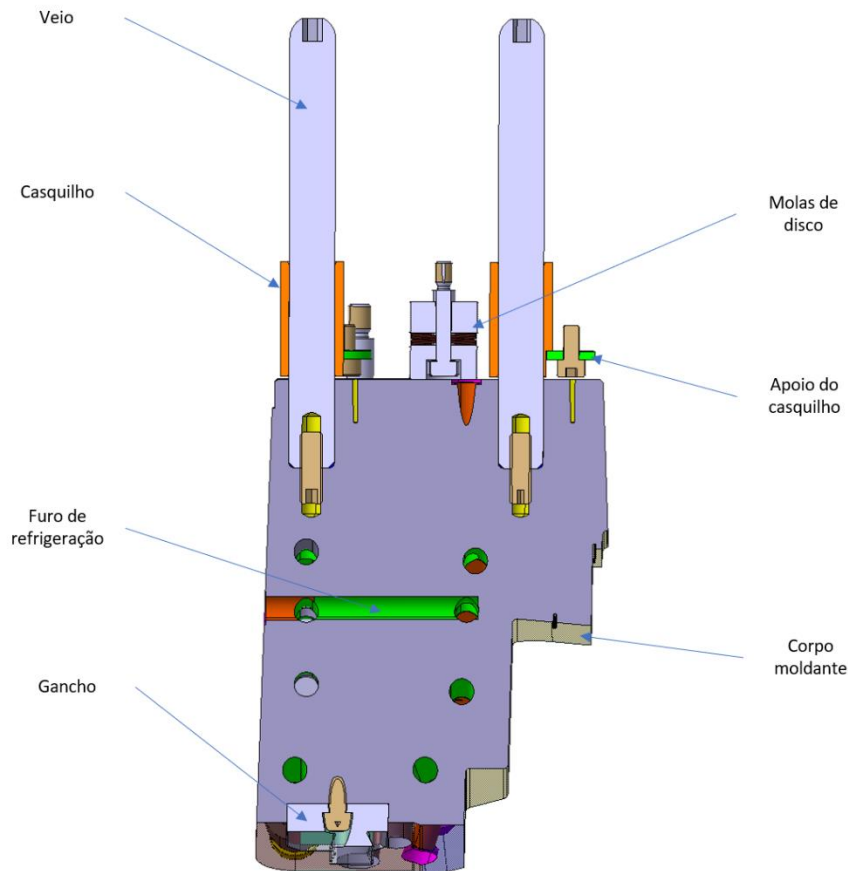


Figura 4.33 – Representação da secção legendada do movimento.

4.5.3 Sistema de Injeção

A função do sistema de alimentação de um molde é através de um conjunto de canais, maquinados numa, ou em várias placas do molde, transportar o polímero fundido desde o bico de injeção até cada zona de gravação do molde (CENTIMFE, 2003). Os sistemas de injeção podem ser classificados como sistemas de canais quentes ou sistemas de canais frios.

Nos sistemas de canal quente os canais são controlados termicamente. O material é mantido fundido desde o bico da máquina injetora até à zona de gravação.

Nos sistemas de canal frio, não há controlo térmico dos canais, sendo que o polímero fica sujeito à temperatura a que o molde se encontra. Como esta é a solução mais viável economicamente e uma das prioridades deste molde é a redução de custos, optou-se por um sistema deste tipo.

Usualmente adjudica-se o sistema de alimentação a outras empresas, por uma questão económica, optou-se por fazer o sistema de injeção internamente, na íntegra,

tanto a nível de projeto como de fabrico. O sistema de injeção deste molde é constituído apenas por um bico de injeção (Figura 4.34).

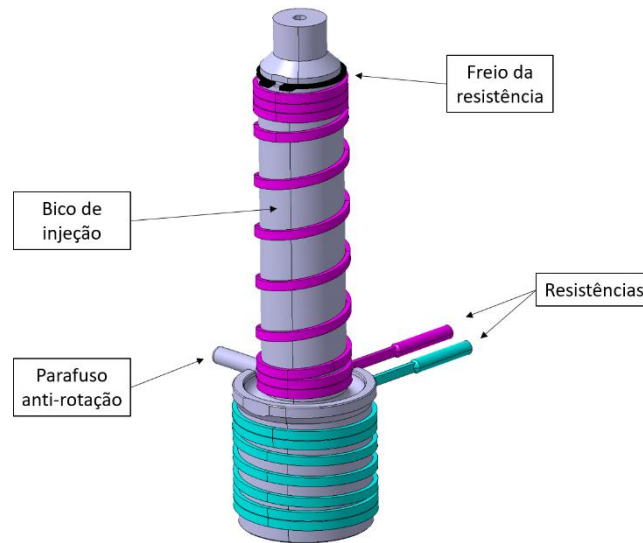


Figura 4.34 – Representação do bico de injeção.

À volta do bico de injeção foram usadas duas resistências helicoidais com dois sensores térmicos incorporados. Estes termopares têm como função ler a temperatura a que as resistências se encontram e enviar estes dados para um controlador de temperatura. O dimensionamento das resistências encontra-se feito no capítulo reservado a este.

A anilha de centragem do lado fixo do molde (Figura 4.35), faz a ligação do bico da máquina injetora com o bico do sistema de alimentação do molde.

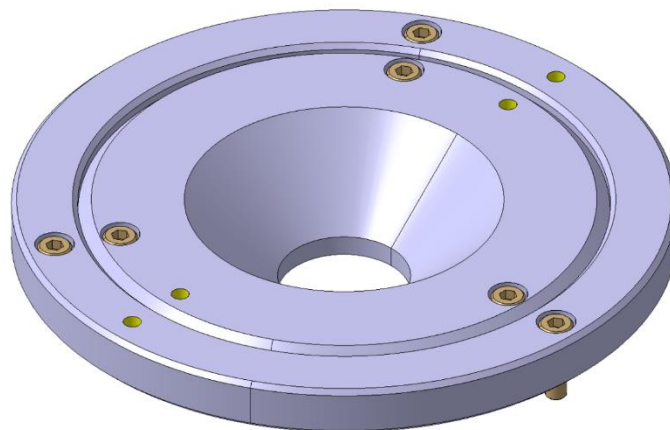


Figura 4.35 – Representação da anilha de centragem do lado fixo do molde.

É comum utilizar-se ataque à peça em leque em peças com paredes finas, uma vez que este tipo de ataque proporciona uma frente de fluxo excelente. O ABS é um material mais difícil de injetar pelo que o ataque em leque é favorável à injeção. Por

estes motivos este foi o tipo de ataque à peça escolhido (Figura 4.36). É importante referir que os canais devem ser balanceados. Este balanceamento foi obtido com recurso à variação do tamanho do leque.

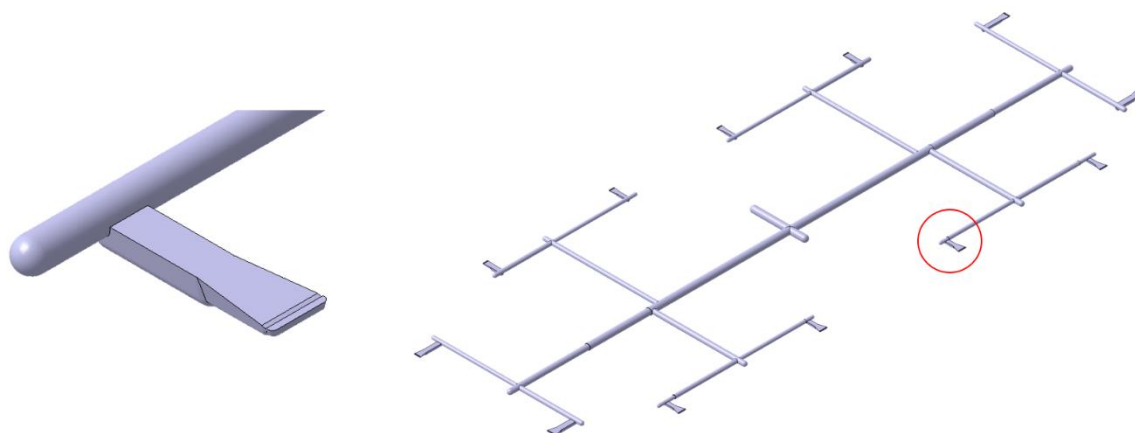


Figura 4.36 – Representação do ataque em leque e canais de alimentação.

4.5.4 Placas de deslize e placas de pressão

As placas de pressão (Figura 4.37) permitem o ajuste do molde na componente “z” e são aplicadas em faces horizontais das superfícies da junta do molde. As placas de deslize (Figura 4.37), são também aplicadas nas superfícies da junta, mas em faces inclinadas. Estas permitem o ajuste dos travamentos do molde.

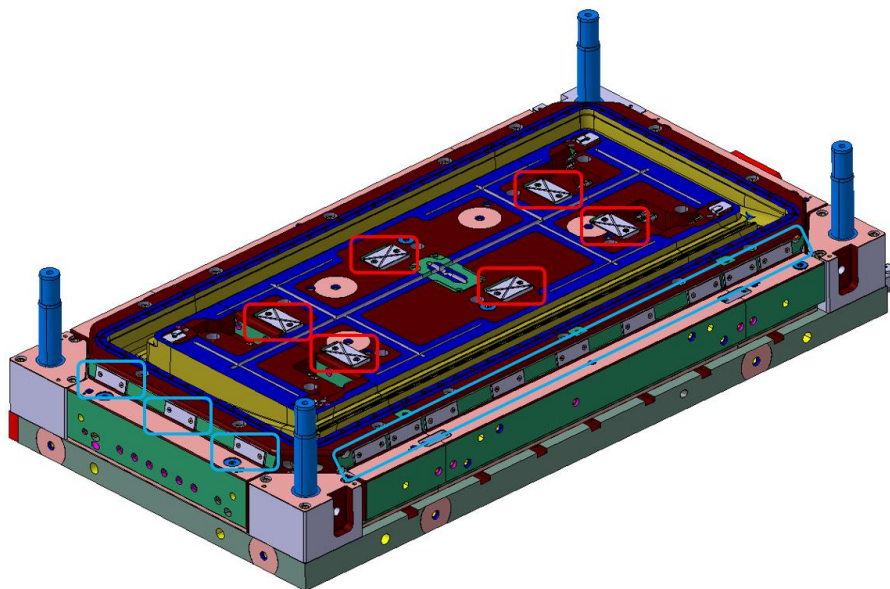


Figura 4.37 – Representação das placas de pressão e das placas de deslize do lado fixo do molde, assinaladas a vermelho e a azul, respetivamente.

4.5.5 Guiamento do molde

Inicialmente as guias principais do molde foram projetadas com apenas 300 mm de comprimento. Durante o fecho do molde em bancada verificou-se que este comprimento não era suficiente para proteger os movimentos em final de curso de colidirem com elementos do lado movel do molde como o  possível verificar na Figura 4.38.

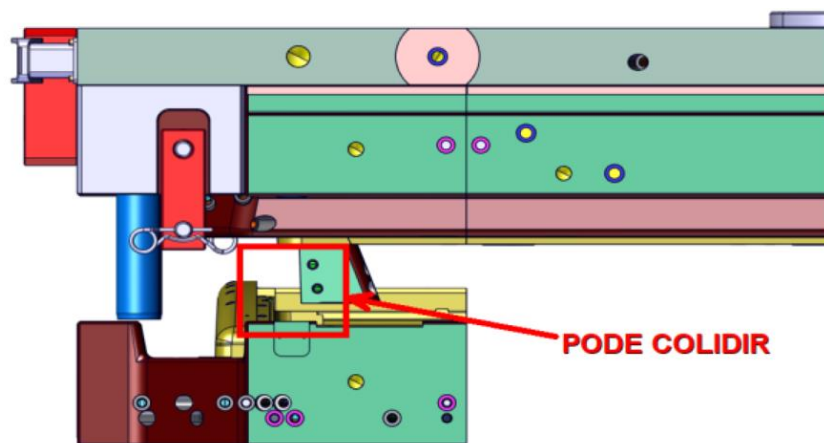


Figura 4.38 – Risco de colisão dos movimentos da cavidade com os elementos do lado movel.

Para solucionar o problema aplicaram-se umas extensões aparafusadas às guias com 75 mm de comprimento. Na Figura 4.39 st representada uma das guias do molde com e sem a extensão. O dimensionamento do diâmetro das guias encontra-se no capítulo reservado a este.

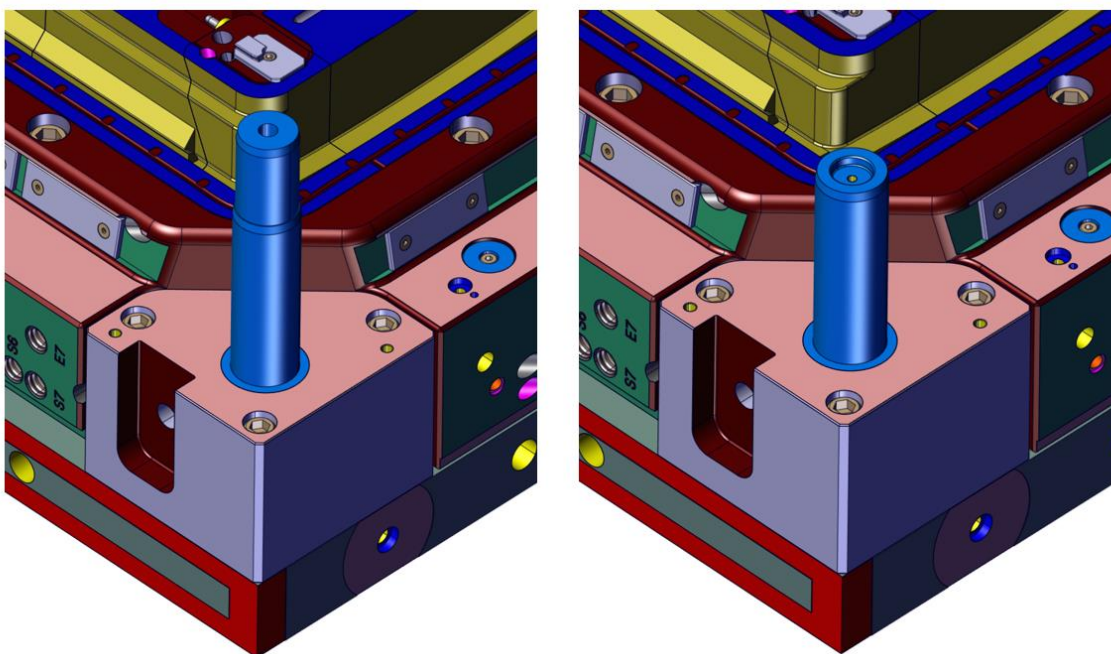


Figura 4.39 - Representação de uma guia do molde com extensão ( esquerda) e sem extensão ( direita).

4.5.6 Sistema de refrigeração

O sistema de refrigeração do molde deve assegurar um arrefecimento uniforme do molde, de modo a reduzir empenos na peça, bem como reduzir o tempo de ciclo de injeção de forma a diminuir custos na hora de produzir a peça. Os circuitos apresentados neste capítulo, são apenas referentes à maior versão da peça. No desenho dos circuitos de água, há regras no que diz respeito às distâncias mínimas que os furos têm de ficar de outros furos e dos restantes elementos. Na Figura 4.40, constam as distâncias mínimas a respeitar.

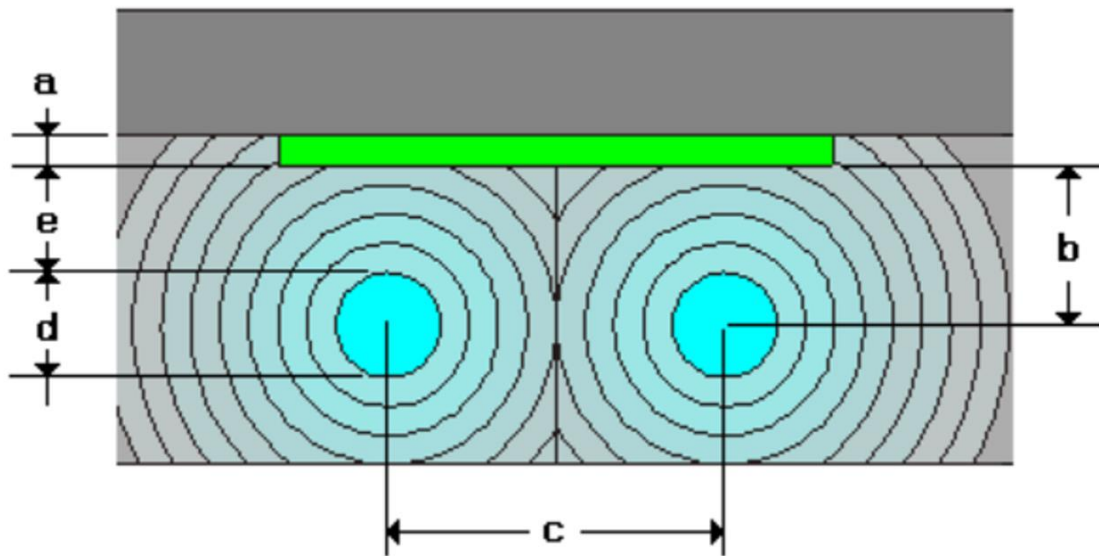


Figura 4.40 – Representação do sistema de refrigeração: a – espessura da peça; b – 1 x diâmetro do furo; c – 3 x diâmetro do furo; d – diâmetro do furo; e – 0,5 x diâmetro do furo.

Devido à geometria da peça, com paredes altas e estreitas, houve necessidade de se usarem poços (ou palhetas) no sistema de refrigeração (Figura 4.41 e Figura 4.42) do macho. Utiliza-se esta solução sempre que não é possível passar um circuito de furos convencionais.

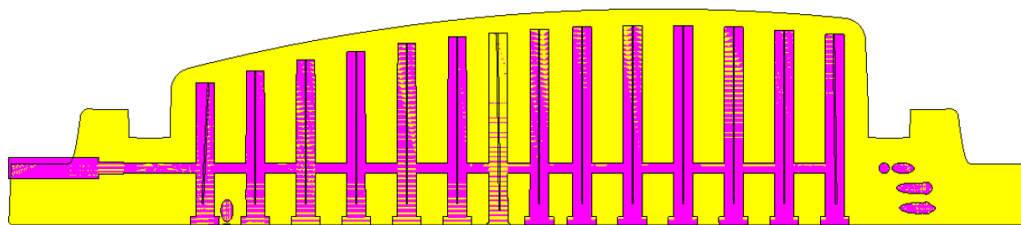


Figura 4.41 – Seção do macho que evidencia a utilização de palhetas

O diâmetro dos furos de passagem de fluido refrigerante adotado para este molde foi de 10 mm, sendo que para este diâmetro de furo utilizam-se poços com 16 mm de diâmetro, segundo as normas da empresa como é possível verificar na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Relação entre o diâmetro dos duros e o diâmetro dos poços

Ø Furo [mm]	A Furo [mm ²]	Ø Poço [mm]	A Poço [mm ²]	A Útil Poço [mm ²]
6	28	10	79	29
8	50	15	177	73
9	64	15	177	73
10	79	16	201	85
11,5	104	18	254	109
12	113	18	254	109
15	177	22	380	168
16	201	24	452	202

O diâmetro dos furos não é igual ao diâmetro dos poços uma vez que, se o furo tivesse a mesma área de secção do poço e como o poço possui uma chapa no interior (Figura 4.42), este tem uma área de secção útil inferior à do furo, o que resultaria numa restrição de fluxo.

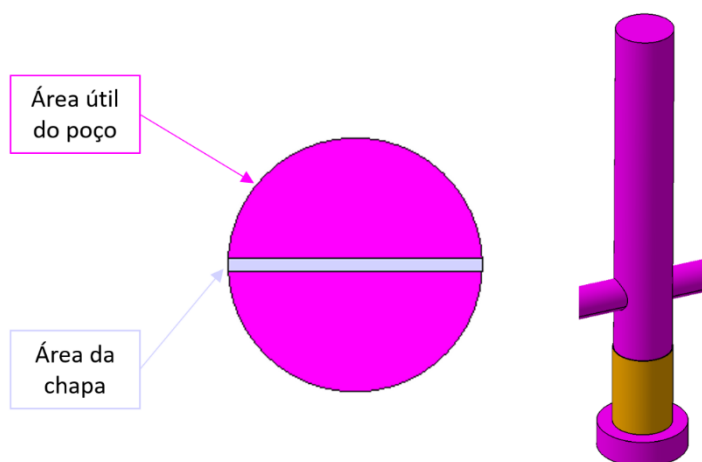


Figura 4.42 – Secção de um poço (à esquerda) e vista isométrica de um poço intersecionado por furo (à direita)

Assim o diâmetro dos poços é sempre superior ao dos furos e pode ser calculado através da equação seguinte.

$$A_{\text{secção útil do poço}} = A_{\text{secção do poço}} - A_{\text{secção da chapa}}$$

Na Figura 4.43 apresenta-se o esquema de funcionamento de um poço ou palheta. Estes consistem num furo com uma chapa (lâmina) no interior que divide o fluxo do circuito de refrigeração ao criar um obstáculo. O fluido refrigerante é assim obrigado a ascender e descender no furo (Moldes, 2023).

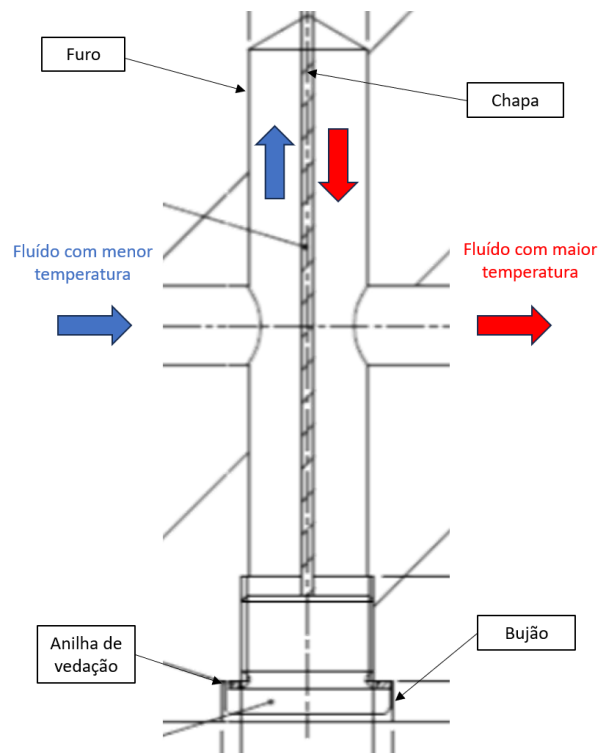


Figura 4.43 – Representação do princípio de funcionamento da palheta.

O sistema de refrigeração do lado fixo do molde está representado na Figura 4.44.

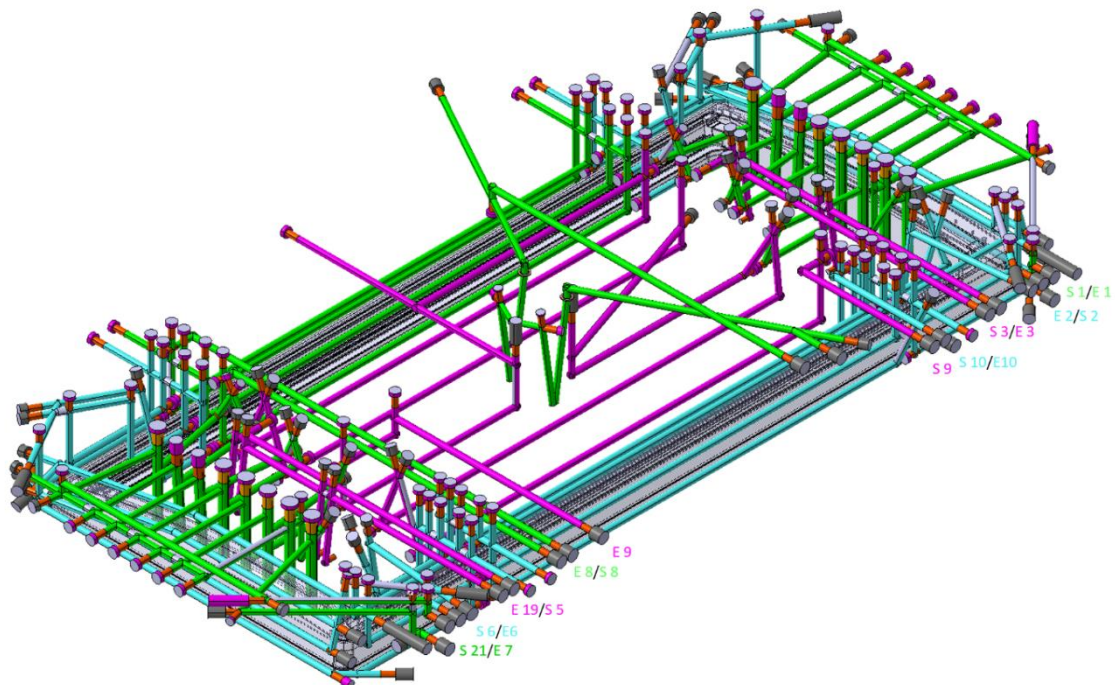


Figura 4.44 – Sistema de refrigeração da cavidade na peça.

O sistema de refrigeração do lado movel do molde está representado na Figura 4.45.

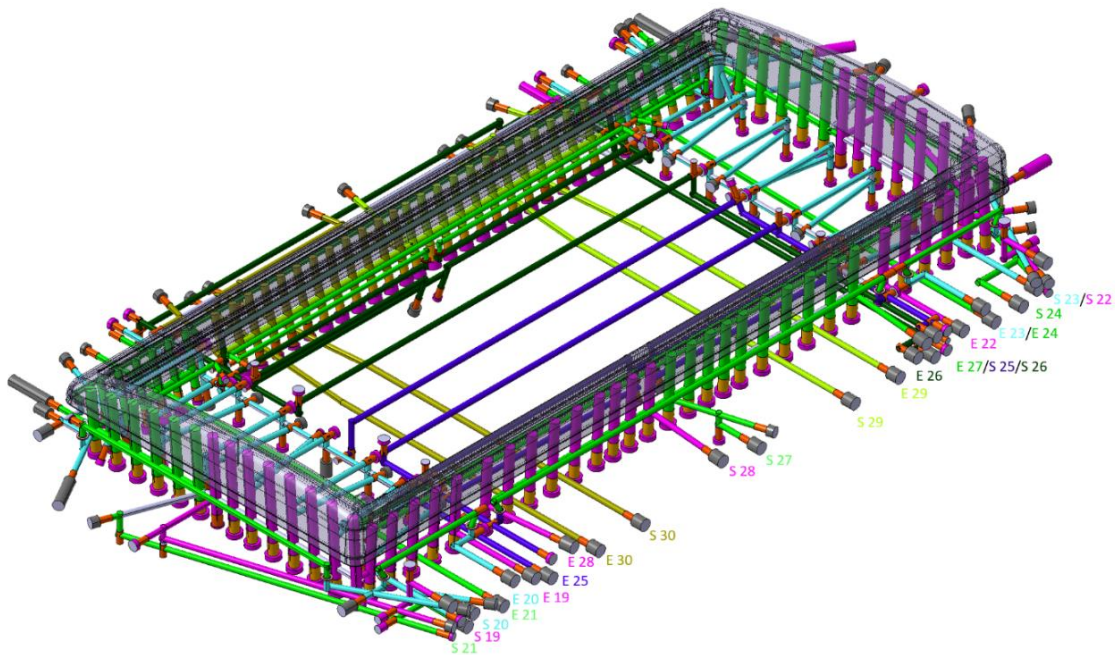


Figura 4.45 – Sistema de refrigeração do macho na peça.

Devido a possuírem uma grande área de gravação da peça, os movimentos da cavidade também necessitam de ser refrigerados (Figura 4.46). Por se tratar de peças com dimensões menores os furos também possuem um diâmetro menor, de 9 mm. Utiliza-se um diâmetro menor porque o espaço existente para o circuito de refrigeração  diminuto.

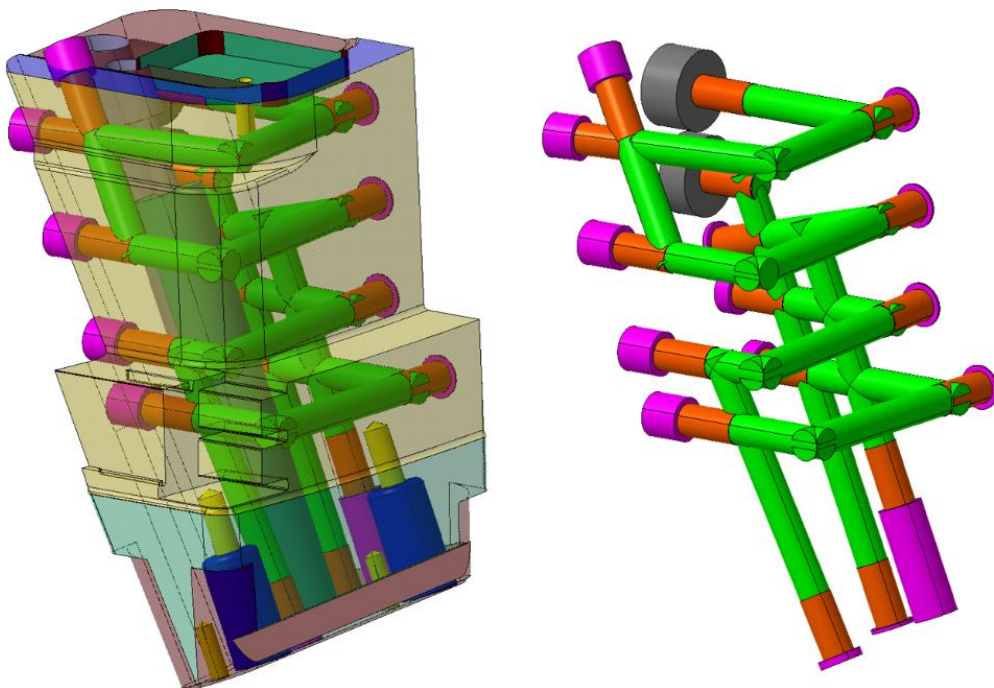


Figura 4.46 – Circuito de refrigeração dos movimentos.

Nas extremidades dos furos que não são de entrada nem saída, há necessidade de colocação de bujões para fechar o circuito. Foram usados bujões do tipo DIN 908 e DIN 906, bujões com cabeça e sem cabeça respectivamente. Os bujões DIN 908 (Figura 4.47) utilizam-se sempre que possível uma vez que, proporcionam uma vedação mais fiável. Esta vedação é proporcionada pelo esforço de compressão exercido na anilha de vedação pela cabeça do bujão.



Figura 4.47 – Bujão DIN 908 (norelem, 2023).

Por não possuírem cabeça, os bujões DIN 906 são utilizados quando o espaço é limitado (Figura 4.48). Para se fazer a divisão de fluxo do fluido de refrigeração utilizam-se tacos.



Figura 4.48 – Bujão DIN 906 (norelem, 2023).

4.5.7 Sistema pneumático

Para que as válvulas de auxílio à extração da peça funcionem, estas necessitam de um circuito pneumático que leve até elas ar pressurizado. Foram projetados três circuitos sendo que, há uma entrada para cada um deles e assim que a válvula é acionada o gás escapa, funcionando assim como a saída de cada circuito. O circuito pneumático e respectivas válvulas encontram-se representados na Figura 4.49. Os bujões utilizados no circuito pneumático têm de ser do tipo DIN 908 para uma melhor vedação.

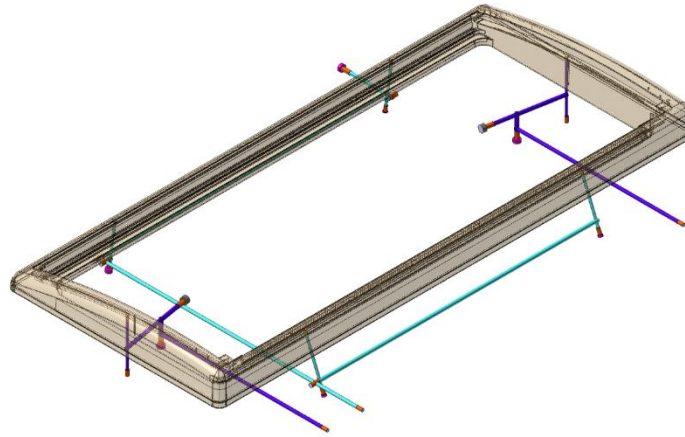


Figura 4.49 – Representação do sistema pneumático na peça.

4.5.8 Sistema de içamento

O ponto onde é instalado o içamento do molde trata-se do seu centro de gravidade. Assim que  atribuído o material a cada peça do molde, o *software* encarrega-se de calcular o ponto onde se localiza o centro de gravidade. Primeiramente é calculado o centro de gravidade do molde completo, para a montagem do içamento principal. Posteriormente é calculado o centro de gravidade para cada metade do molde, para que seja possível içar as metades do molde quando este não se encontra fechado (Figura 4.50). Quando não  possível montar-se os sistemas de içamento nos centros de gravidade devido a colisões, procura-se o ponto mais próximo deste.

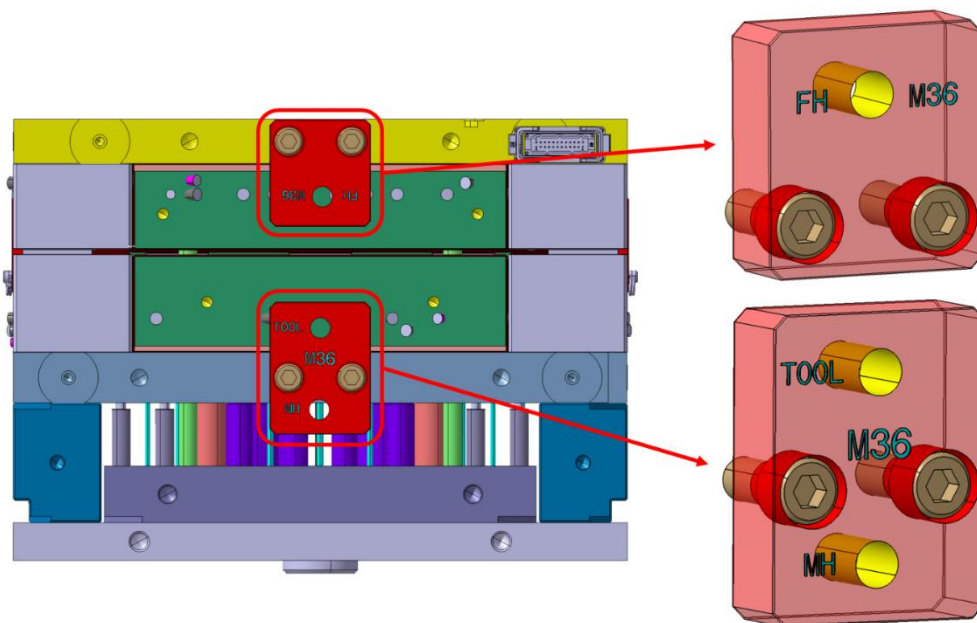


Figura 4.50 – Representação do sistema de içamento completo e das metades do molde.

Escolheram-se olhais Codipro DSS M36 (Figura 4.51) uma vez que, a maior versão do molde tem uma massa de 8353 Kg.



DSS / Mega DSS

M30	M36	M42	M48	M56	M64	M72	M80	M90	M100
7,3	10	12,5	20	25	32,1	35	40	45	50

Figura 4.51 – Seleção do olhal em função da massa do molde.

4.5.9 Elementos de transporte, monitorização, segurança e identificação

4.5.9.1 Barras de transporte

As barras de transporte (Figura 4.52) certificam que quando o molde é transportado fechado, este não se abre. As normas da empresa dizem que se o molde pesa menos do que 10 toneladas são usadas barras de transporte com parafusos M20.

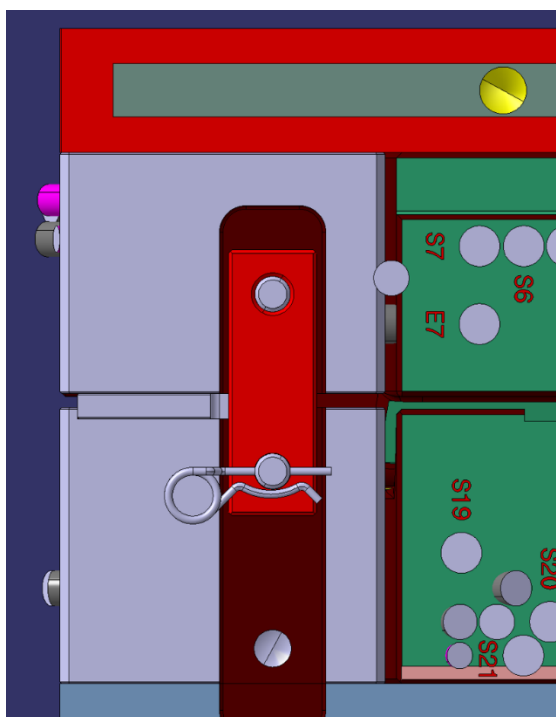


Figura 4.52 – Representação da barra de transporte montada.

4.5.9.2 Contador de ciclos

O contador de ciclos apresenta a contagem total de ciclos de injeção completos. O contador situa-se do lado movel do molde e é acionado por uma chapa que se encontra na mesma coordenada, mas do lado fixo do molde (Figura 4.53). Sempre que é completado um ciclo o contador atualiza o número de ciclos.

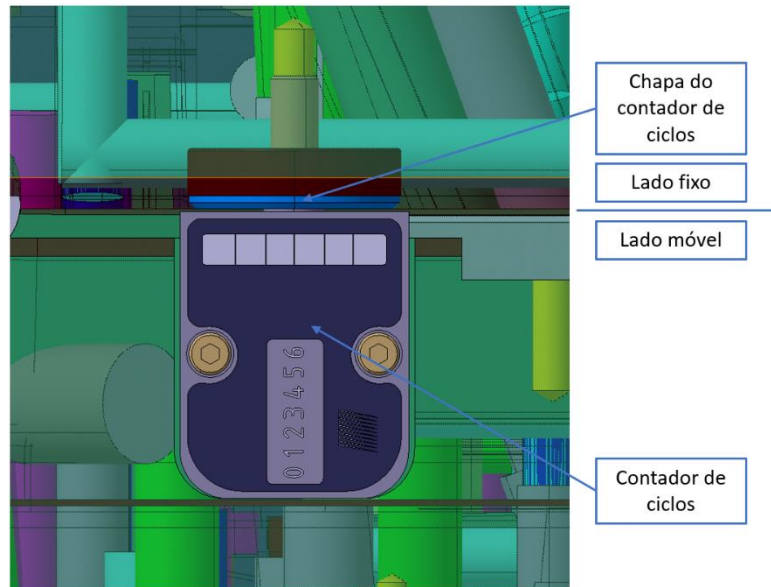


Figura 4.53 – Representação do contador de ciclos.

4.5.9.3 Acessórios do sistema de refrigeração

Estes acessórios são principalmente encaixes de mangueiras para conectar não só circuitos de refrigeração dentro do molde (Figura 4.54 e Figura 4.55), como para conectar os circuitos de refrigeração do molde com a máquina de injeção.

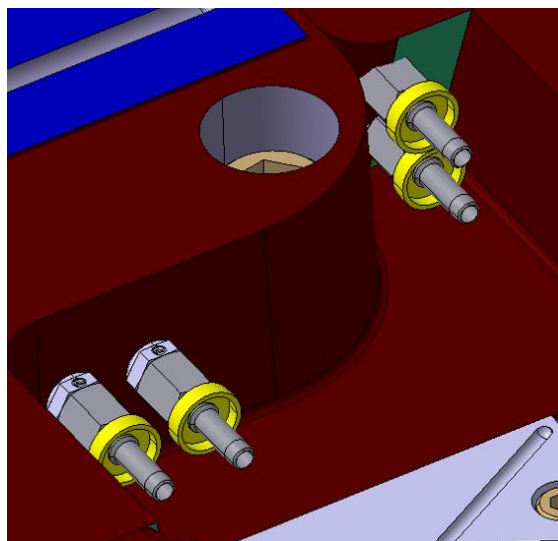


Figura 4.54 – Representação dos acessórios de ligação do circuito de refrigeração do molde.

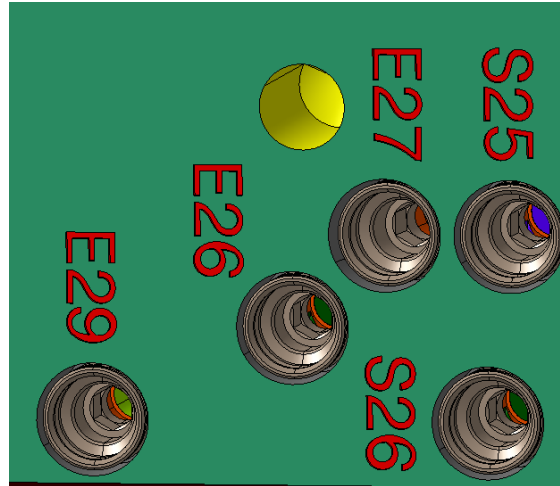


Figura 4.55 – Representação dos acessórios de ligação do circuito de refrigeração do molde com a máquina de injeção.

4.5.9.4 Chapas de identificação

Nas faces exteriores do molde, é usual a colocação de chapas não só identificativas, como informativas, com informação sobre os circuitos, pesos, e modo de içamento do molde. Nas figuras seguintes, apenas constam as chapas relativas à versão maior da peça. Neste molde, as chapas foram feitas com dimensões menores, de modo a caberem nas faces exteriores dos postigos de cada versão. Na Figura 4.56 e Figura 4.57, constam as chapas sobre os circuitos de refrigeração do macho e da cavidade, respetivamente, com informações relativas às entradas, saídas e numeração de circuitos.

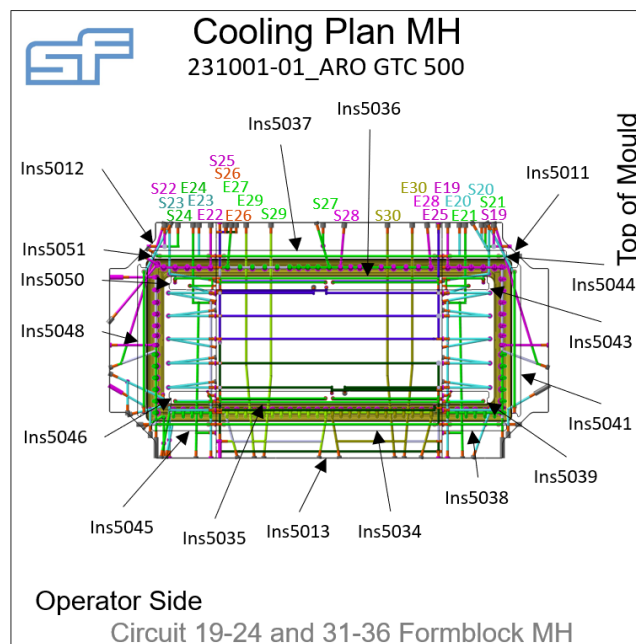


Figura 4.56 – Chapa relativa ao circuito de refrigeração do lado móvel.

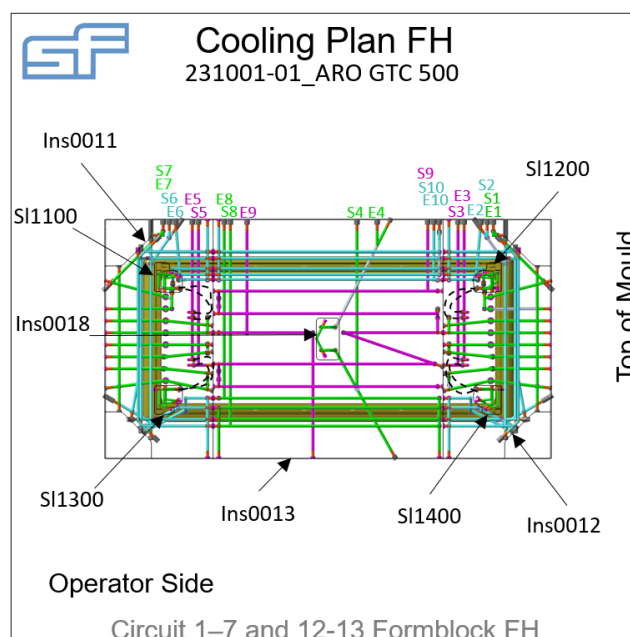


Figura 4.57 – Chapa relativa ao circuito de refrigeração do lado fixo.

A Figura 4.58, é relativa  massa total e de cada metade do molde. Nesta chapa também consta informação sobre o modo correto de içamento do molde.

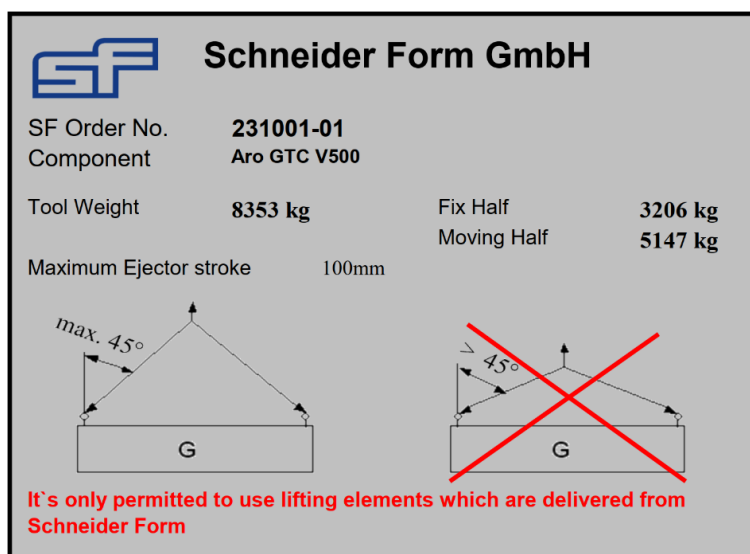


Figura 4.58 – Chapa relativa  massa do molde e ao seu modo de içamento.

Por último, também foi implementada uma chapa sobre a sequência de funcionamento do molde (Figura 4.59), durante o ciclo de injeção. Esta chapa também possui informação sobre a existência ou não de contra saídas no aço. Esta informação é importante uma vez que, no caso da existência de contra saídas no aço do molde, é comum certos mecanismos necessitarem de ser acionados previamente à abertura do molde, para que este não seja danificado. Este molde não possui contra saídas de aço, apenas contra saídas de peça.

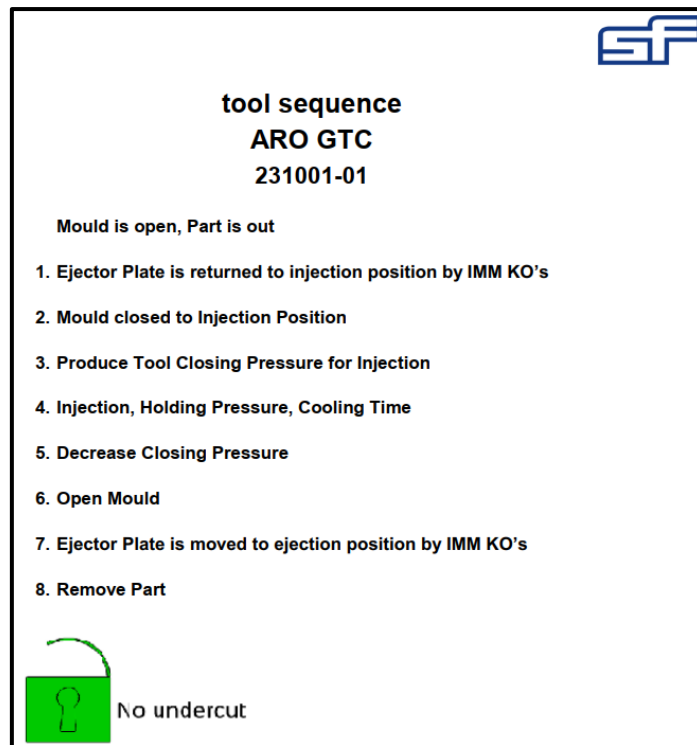


Figura 4.59 – Chapa relativa à sequência de funcionamento do molde.

4.5.9.5 Gravações

A face exterior da placa de encosto do lado móvel (Figura 4.60) possui gravações com informação relativa à montagem dos extratores para cada versão da peça.

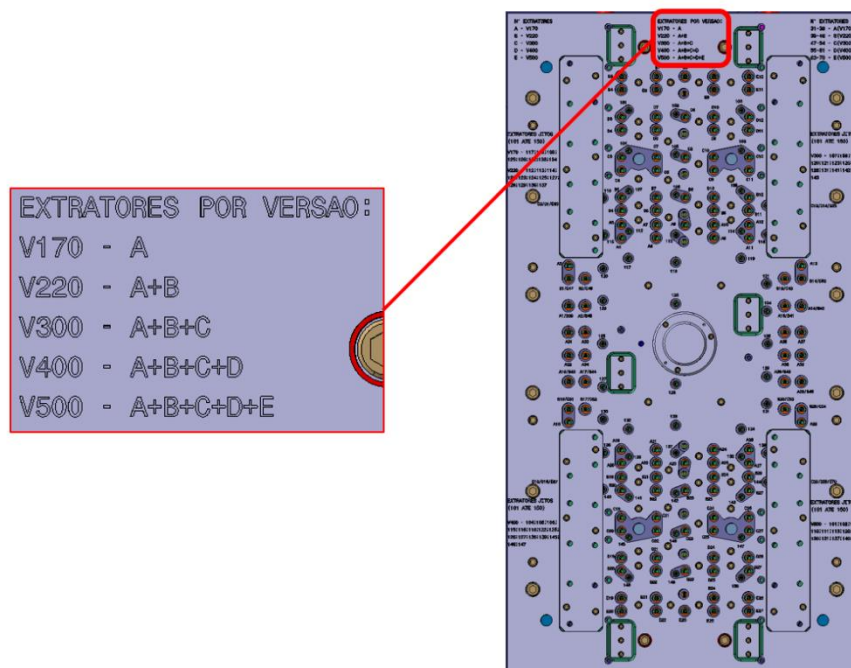


Figura 4.60 – Gravações da placa de encosto do lado móvel.

As gravações dos postiços do macho e da cavidade informam o operador sobre quais as entradas e saídas de cada circuito de refrigeração. As chapas onde são roscados os olhais foram o local escolhido para as gravações que identificam as metades do molde.

4.6 Estudo de elementos finitos

4.6.1 Análise estrutural

Estruturalmente, o cenário mais crítico possível ocorre durante a injeção do material polimérico, com o molde fechado. O estudo foi feito nestas condições, com o intuito de perceber se o molde resistiria  pressão de injeção.

4.6.1.1 Elementos considerados

Para a análise estrutural do molde consideraram-se apenas os elementos estruturais vitais ao funcionamento do molde. Foram considerados o bloco do macho, o bloco da cavidade, os pilares de suporte da extração, os calços e a placa de encosto (Figura 4.61).

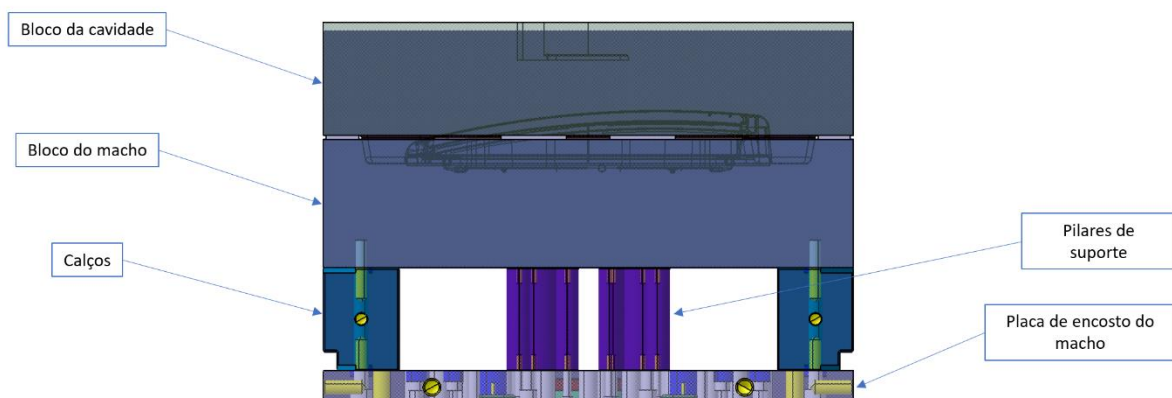


Figura 4.61 – Elementos considerados no cálculo de elementos finitos.

O software cria automaticamente a malha para cada componente depois da atribuição do material a este, adaptando-a ao seu tamanho.

4.6.1.2 Fixações

Definiram-se os encastramentos nas costas da cavidade, sendo este o encastramento para o lado fixo do molde e nas costas da placa de encosto, sendo este o encastramento do lado móvel do molde (Figura 4.62).

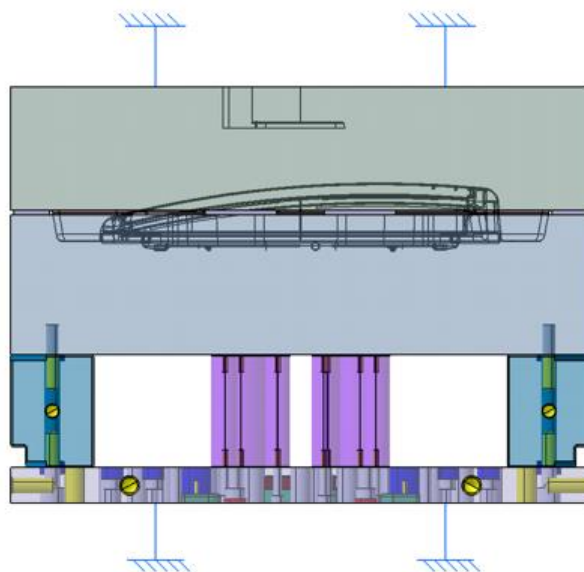


Figura 4.62 – Representação do que foi considerado como elementos encastrados para a análise por elementos finitos.

4.6.1.3 Cargas aplicadas

Com o intuito de simular a pressão variável gerada nas paredes da gravação, esta foi dividida em três partes, sendo que, na zona central, foi aplicada uma pressão de 75 MPa e 50 MPa nas duas restantes partes da gravação (Figura 4.63). Estas pressões foram obtidas através do *software* de reologia.

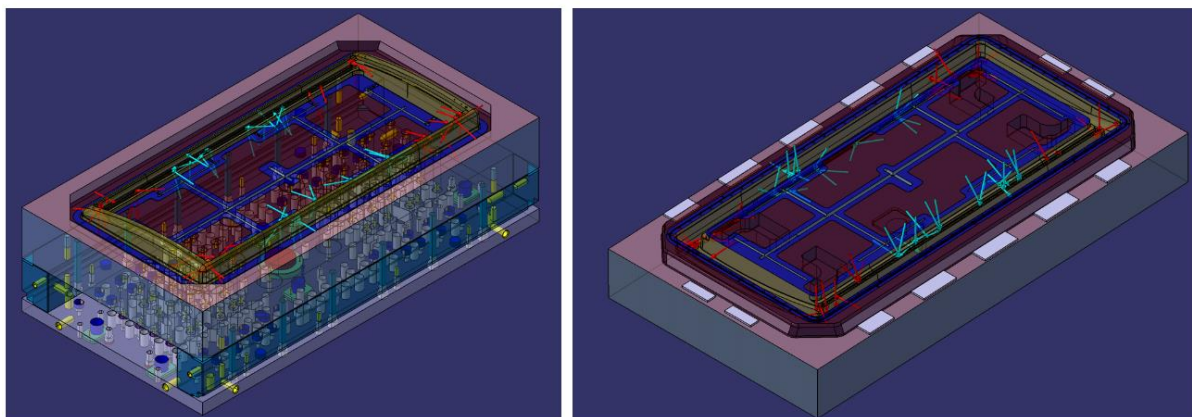


Figura 4.63 – Pressões aplicadas na gravação do macho (esquerda) e na cavidade (direita), a azul pressão de 75 MPa e a vermelho pressão de 50 MPa.

Foi ainda aplicada uma pressão nas paredes dos canais de injeção que, segundo os estudos reológicos, tem um valor de 55 MPa (Figura 4.64).

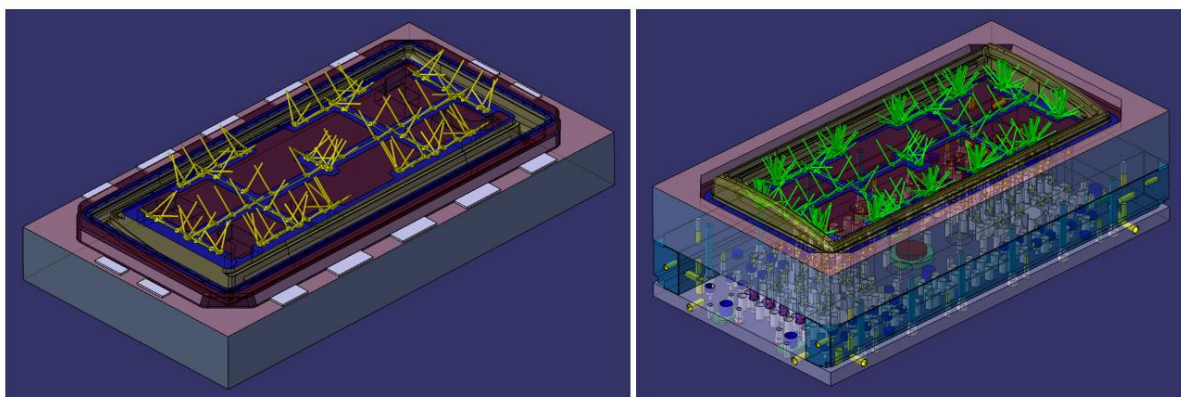


Figura 4.64 – Pressões aplicadas nos canais de injeção da cavidade (esquerda) e do macho (direita), ambas com pressões de 55 MPa

4.6.1.4 Malhas e suas propriedades

Para obtenção de resultados mais fidedignos, o tamanho das malhas do bloco do macho e do bloco da cavidade foram ambas alvo de um estudo iterativo, sendo que foram realizados estudos para diferentes tamanhos de malha. O tamanho de malha do estudo aqui apresentado  de 5 mm para estes dois componentes (Figura 4.65). Apesar de o bloco do macho ter zonas com espessuras de 1 mm não foi possível reduzir mais o tamanho de malha pois os cálculos exigem muito do computador chegando até a fechar inesperadamente o *software* CAD usado. Os restantes componentes ficaram com a malha atribuída automaticamente pelo software, não só porque são componentes que não estão sujeitos a tensões tão elevadas como os blocos, mas também para que o cálculo de elementos finitos se tornasse mais leve e, por isso, mais rápido.

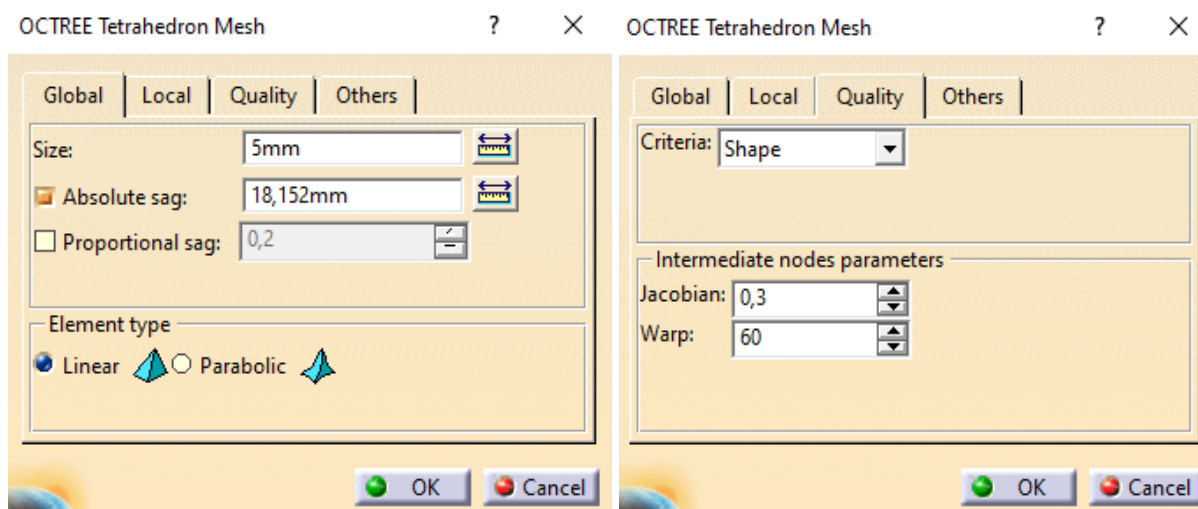


Figura 4.65 – Propriedades da malha dos blocos (macho e cavidade).

4.6.1.5 Contactos entre elementos

Para constrangir os vários elementos do molde foram dados contactos entre eles (Figura 4.66) e posteriormente atribuídas propriedades a cada um deles. Foram usadas propriedades de apoio simples e de aparafusamento.

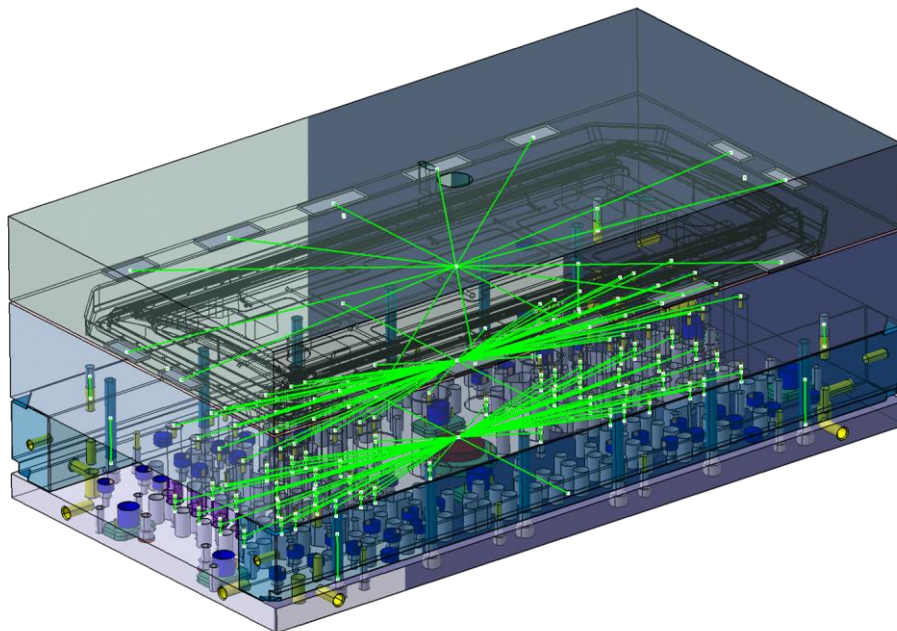


Figura 4.66 – Conexões atribuídas entre os componentes do molde.

4.6.1.6 Resultados

4.6.1.6.1 Tensões de Von Mises

O valor máximo de tensão de Von Mises obtido para o lado móvel foi de 285 MPa (Figura 4.67). As zonas onde ocorreram estas tensões mais altas são meramente pontuais (roscas de parafusos) e ainda que altas, situam-se abaixo da tensão admissível para um coeficiente de segurança de 3 no que diz respeito ao aço 1.2738.

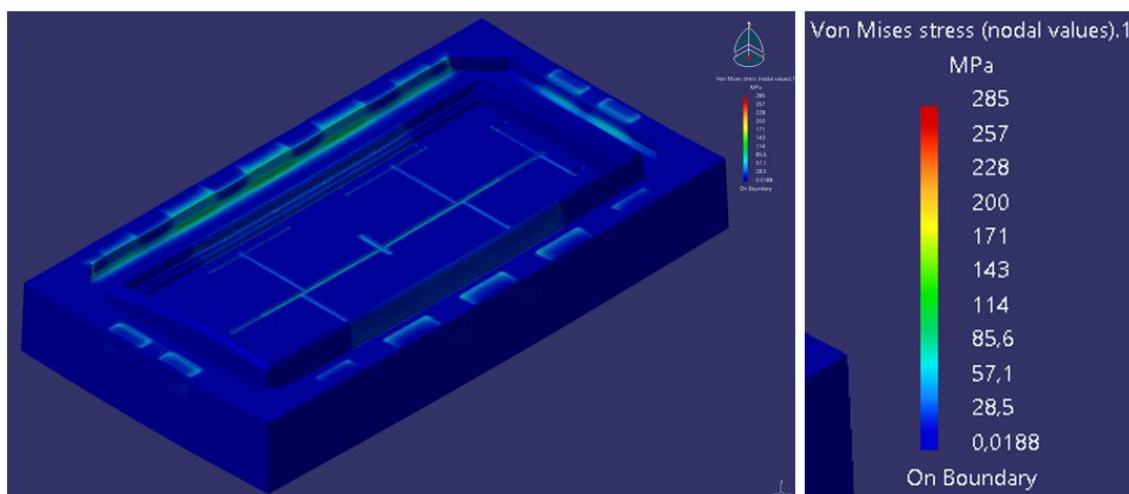


Figura 4.67 – Tensões de Von Mises bloco do lado móvel.

Em relação aos pilares de suporte, calços e placa de encosto obtiveram-se tensões de Von Mises distantes do valor de tensão admissível para um aço 1.1730, que se situa nos 560 MPa (Figura 4.68 e Figura 4.69).

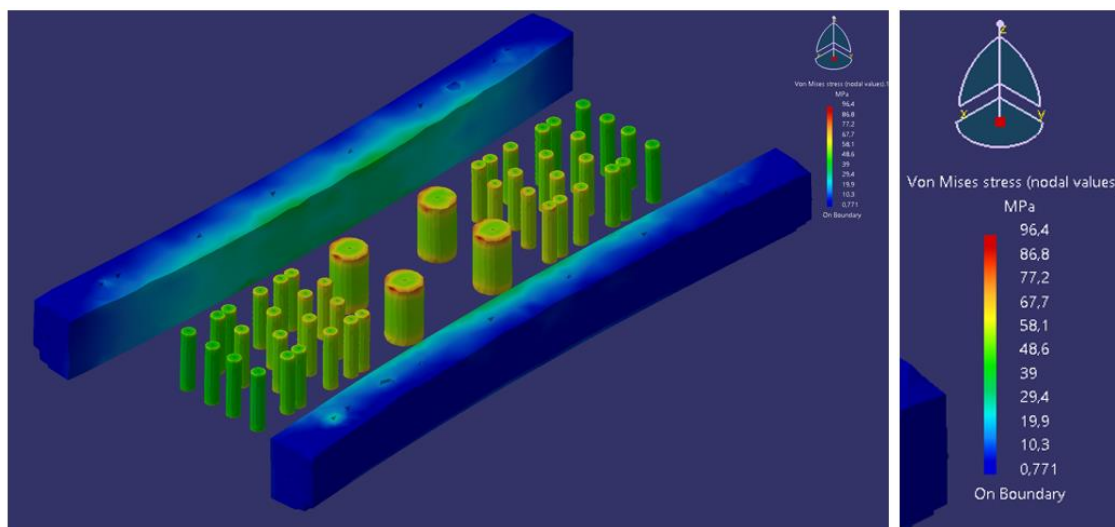


Figura 4.68 – Tensões de Von Mises dos calços e dos pilares de suporte da extração.

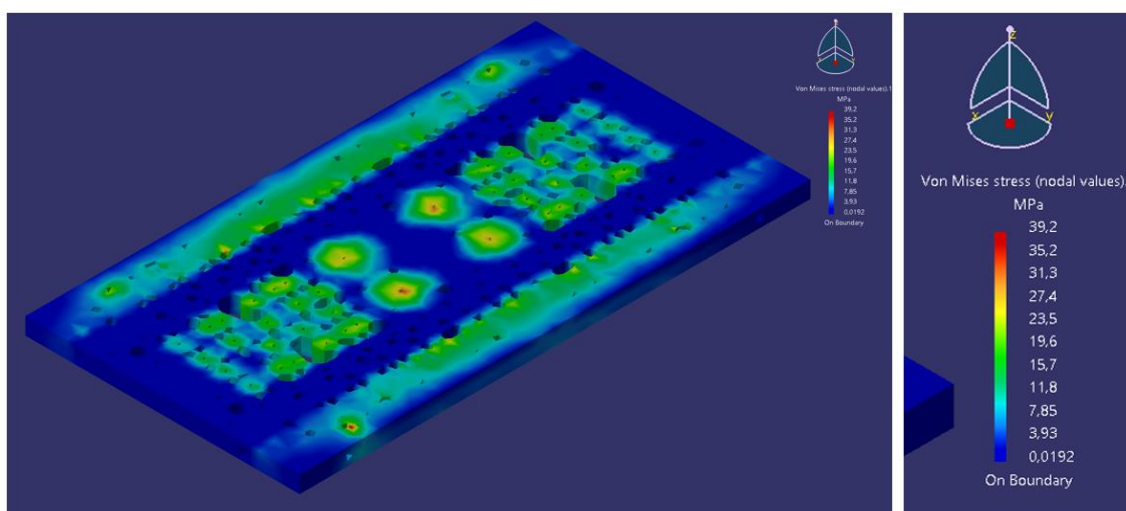


Figura 4.69 – Tensões de Von Mises da placa de encosto.

Do lado fixo, o panorama repete-se sendo que, o valor máximo obtido para a tensão de Von Mises se situa nos 305 MPa. Para além de serem situaes pontuais (placas de pressão), aplicando um coeficiente de segurança de 3, o valor de tensão continua abaixo da tensão admissível para um aço 1.2738, que se situa nos 993 MPa (Figura 4.70).

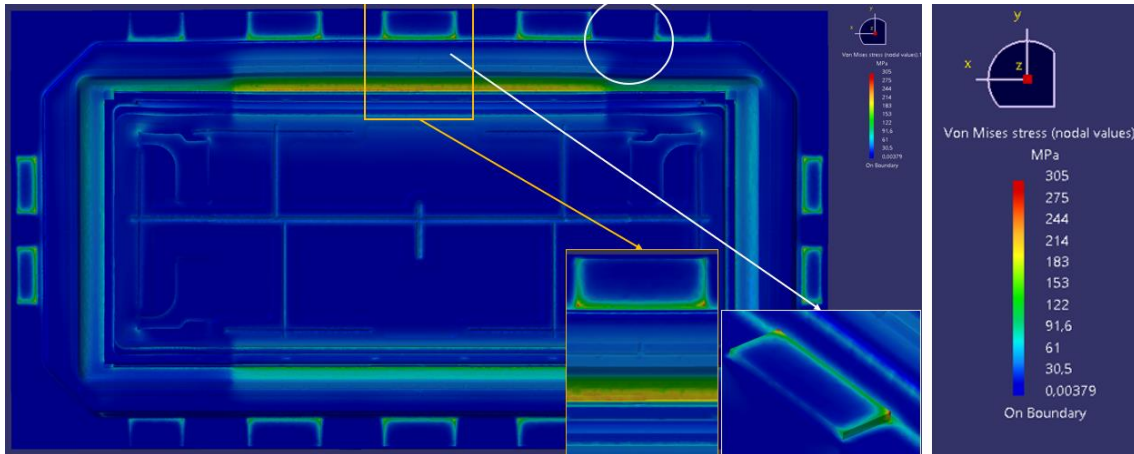


Figura 4.70 – Tensões de Von Mises no bloco do lado fixo.

4.6.1.6.2 Deslocamento

Os resultados obtidos para os valores de deslocamento (Figura 4.71) revelaram-se desprezíveis uma vez que, o valor máximo foi de $\approx 0,093$ mm, valor que na prática tem muito pouca relevância.

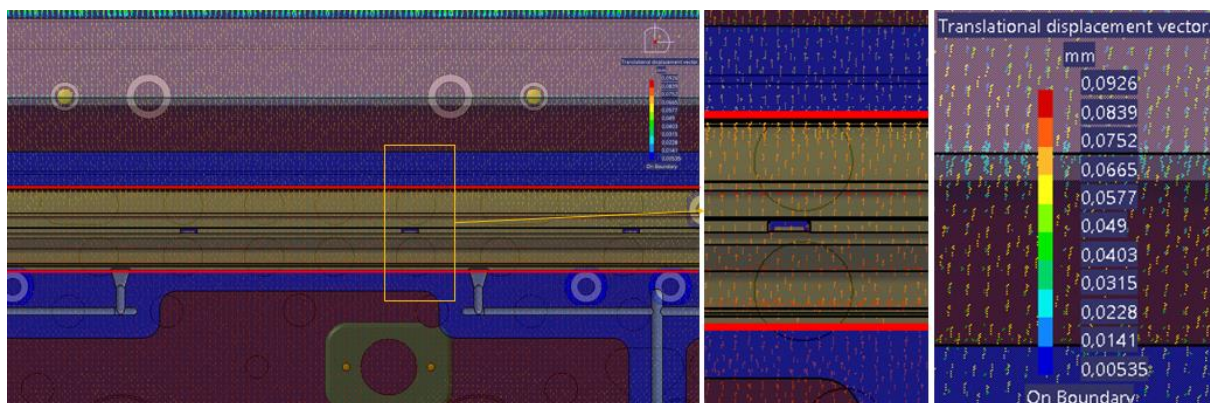


Figura 4.71 – Local onde ocorreu o deslocamento máximo.

4.6.1.6.3 Análise de resultados do estudo estrutural

Para a análise dos resultados, o critério de falha utilizado foi o critério de falha de Von Mises:

$$\sigma_{admissível} = \frac{\sigma_{ruptura}}{\text{coeficiente de segurança}}$$

$$\text{Critério de Von Mises} \rightarrow \sigma_{admissível} \geq \sigma_{von\ mises}$$

O material usado nas zonas de gravação é aço 1.2738 cuja tensão de rotura é 1120 MPa. Aplicando um coeficiente de segurança de 3, obteve-se uma tensão admissível de 373 MPa. Para estes componentes do molde, a tensão de Von Mises máxima

calculada foi de 305 MPa. Comparando os valores máximos de tensão para o material usado e utilizando o critério de Von Mises, concluiu-se que não há risco de falha nas condições de funcionamento do molde.

O material usado nos elementos da estrutura  aço 1.1730 cuja tensão de rotura  710 MPa. Para um coeficiente de segurança de 3, obteve-se uma tensão admissível de ≈ 237 MPa. Como a tensão máxima obtida para estes elementos se situou nos 96,4 MPa, pelo critério de falha de Von Mises não há qualquer tipo de risco a nível estrutural. Relativamente aos deslocamentos, concluiu-se que os valores obtidos não se demonstraram relevantes devido  sua baixa grandeza. O estudo de elementos finitos permitiu concluir que nem a qualidade final da peça, nem a integridade estrutural do molde são afetadas pela pressão de injeção.

4.7 Estudo reológico relativo ao circuito de refrigeração

O principal objetivo do circuito de refrigeração é reduzir o tempo de ciclo de injeção no sentido de aumentar a produtividade do molde. Para tentar baixar temperaturas de líquido do circuito de refrigeração, paredes do circuito de refrigeração, superfície do *cold runner* (canal frio) e temperatura máxima e média de peça optou-se por aumentar o tempo do ciclo de injeção (Figura 4.72).

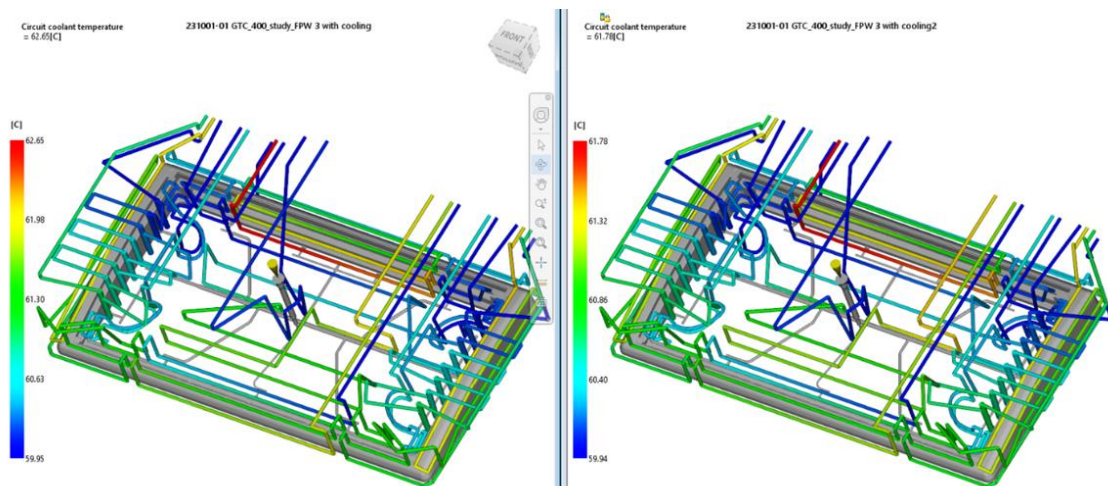


Figura 4.72 – Resultados do estudo para a temperatura do líquido de refrigeração do lado fixo (antes das alterações à esquerda e depois das alterações à direita).

Este processo foi efetuado para se arbitrar o tempo de ciclo necessário para enchimento e compactação da peça, processo esse que é um método iterativo, alterando-se o tempo de ciclo até se obterem os resultados pretendidos nos estudos reológicos. Depois de feito o estudo para 35 segundos de ciclo percebeu-se que este tempo era insuficiente para uma refrigeração eficaz do molde para obtenção de um bom produto final. Fez-se um estudo para 70 segundos de enchimento + 10 segundos de compactação (80 segundos no total), obtendo-se temperaturas mais

baixas e mais favoráveis, portanto. As figuras abaixo (Figura 4.73, Figura 4.74 e Figura 4.75), mostram as alterações obtidas ao se efetuar a mudança do tempo de ciclo de injeção, mostrando assim o impacto que este tem nas diferentes partes do molde.

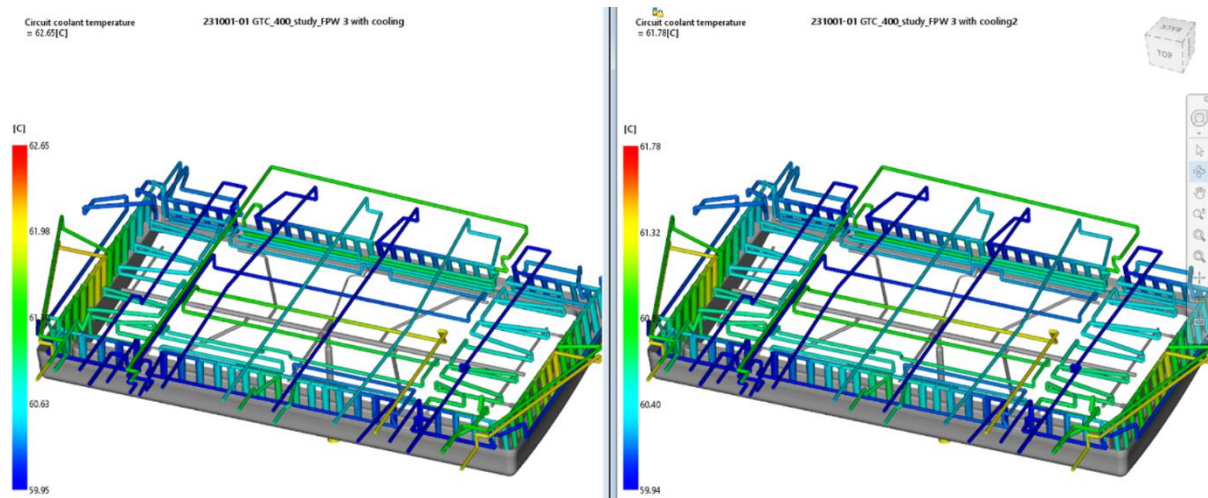


Figura 4.73 – Resultados do estudo para a temperatura do líquido de refrigeração do lado móvel (antes das alterações à esquerda e depois das alterações à direita).

As melhorias mais notórias e mais importantes, ocorreram a nível da temperatura da superfície da peça (Figura 4.74) em que esta decresceu $\approx 27^{\circ}\text{C}$ e a nível da temperatura da superfície do *cold runner* que diminui $\approx 11^{\circ}\text{C}$ (Figura 4.75).

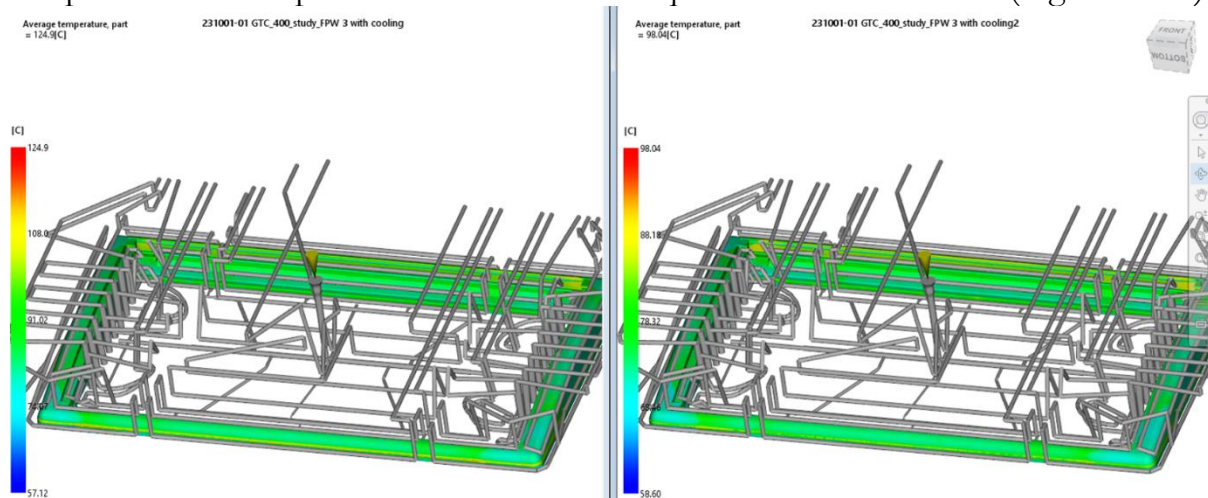


Figura 4.74 – Resultados do estudo para a temperatura média da peça (antes das alterações à esquerda e depois das alterações à direita).

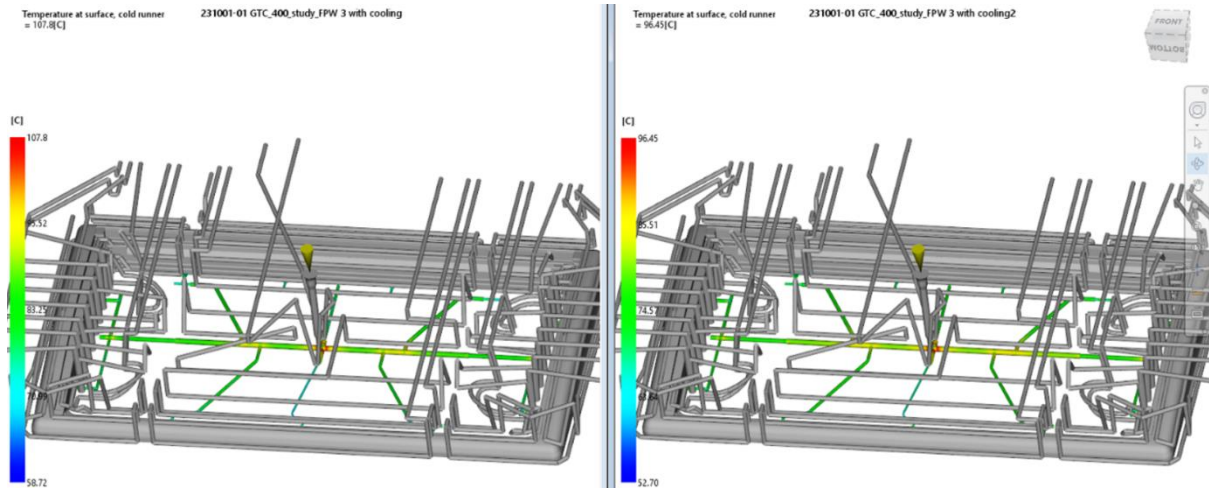


Figura 4.75 – Resultado do estudo para a temperatura de superfície do *cold runner* (antes das alterações à esquerda e depois das alterações à direita).

Era importante reduzir estas temperaturas uma vez que, quando o polímero atinge temperaturas muito altas, ocorre a degradação do mesmo, produzindo uma peça de má qualidade.

4.8 Estudo reológico de enchimento

Desde o início do projeto que baixar os custos era prioridade. Os estudos de enchimento foram sempre realizados com apenas um bico de injeção com o intuito de verificar se este tipo de alimentação era exequível. Na Figura 4.76, constam os resultados do estudo para o tempo de enchimento. Este resultado permite perceber se o enchimento é executado de uma forma homogénea, que é o caso.

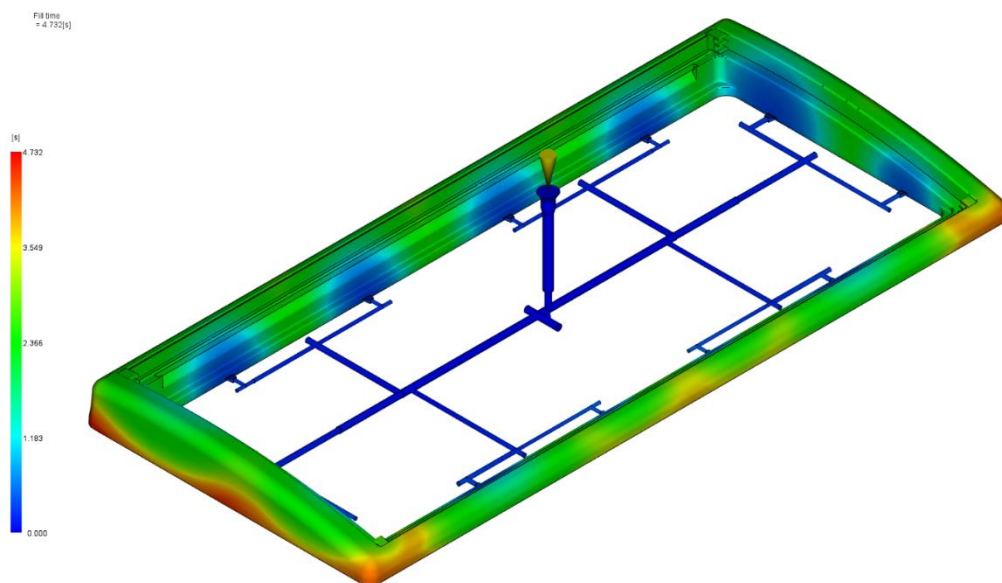


Figura 4.76 – Resultados para o tempo de enchimento.

A temperatura na frente de fluxo permite perceber se o polímero chega com uma temperatura pouco díspar a todos os pontos da peça. Neste estudo, a frente de fluxo apresenta temperaturas bastante constantes (Figura 4.77).

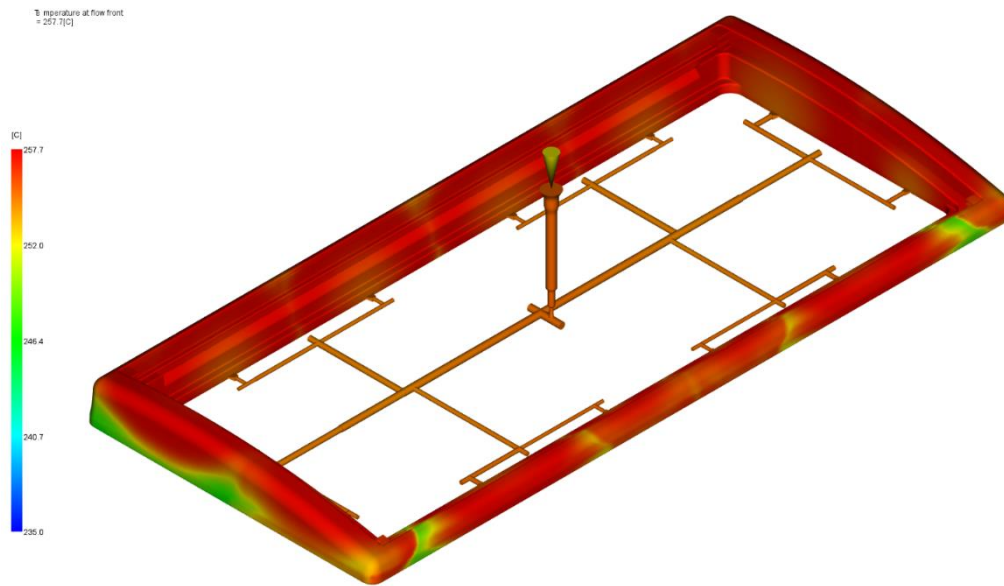


Figura 4.77 – Resultados para a temperatura na frente de fluxo.

A pressão atingida no fim do enchimento (Figura 4.78), que corresponde à pressão atingida com o valor mais alto, situa-se nos 105,1 MPa. O estudo de elementos finitos foi realizado tendo em conta os valores deste estudo pelo que, estas pressões não constituem qualquer problema.

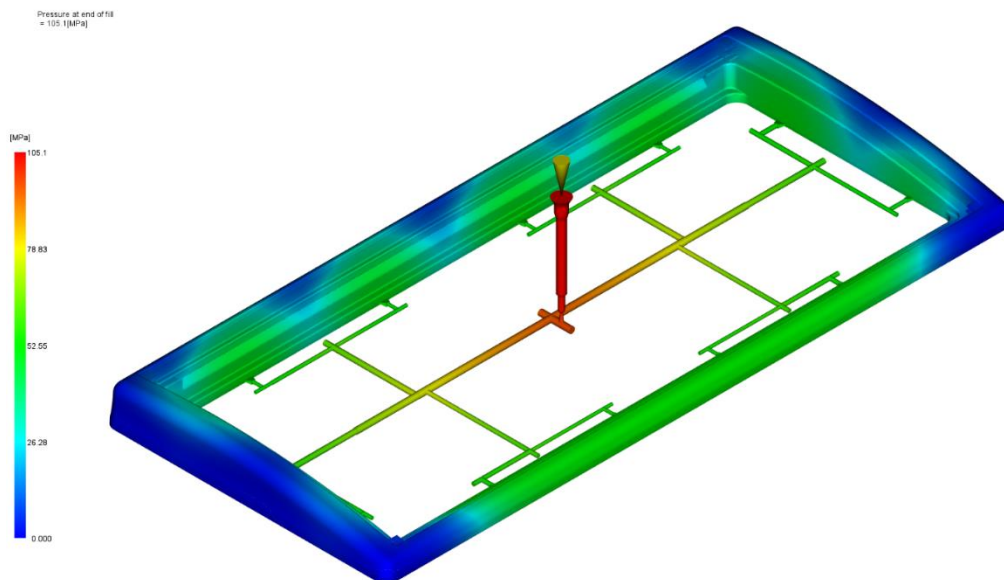


Figura 4.78 – Resultados para a pressão no final do enchimento.

Os resultados obtidos para a distorção da peça (Figura 4.79) apresentaram valores inferiores a 1 mm, pelo que a peça não terá problemas na hora de ser montada.

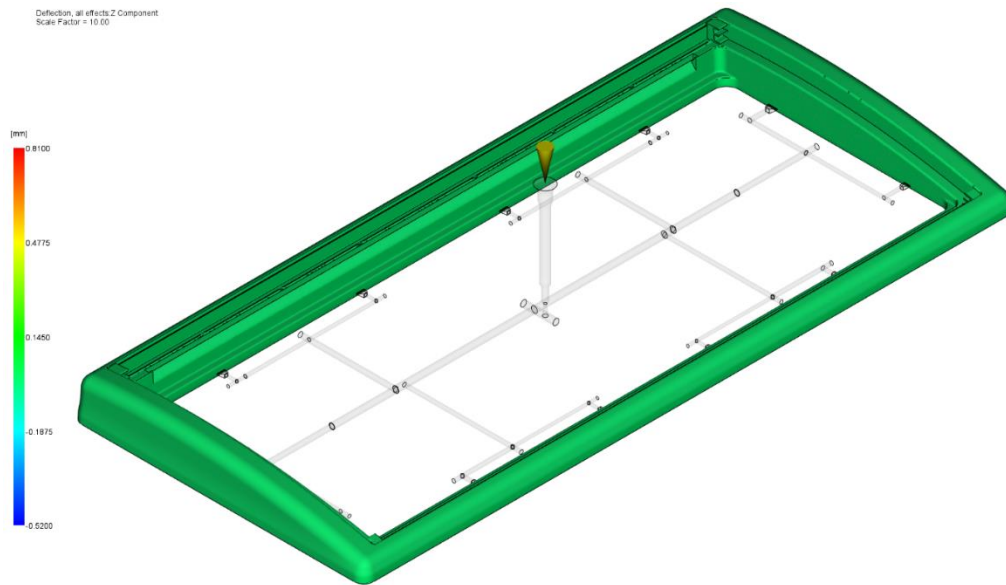


Figura 4.79 – Resultados para a distorção da peça.

As linhas de união representam o ângulo de convergência formado assim que duas frentes de fluxo se encontram, deixando uma marca na peça final. As peças tiradas após o ensaio do molde não revelaram linhas de união que afetassem visualmente a peça. Na Figura 4.80 apresenta-se o resultado que se obteve para as linhas de união.

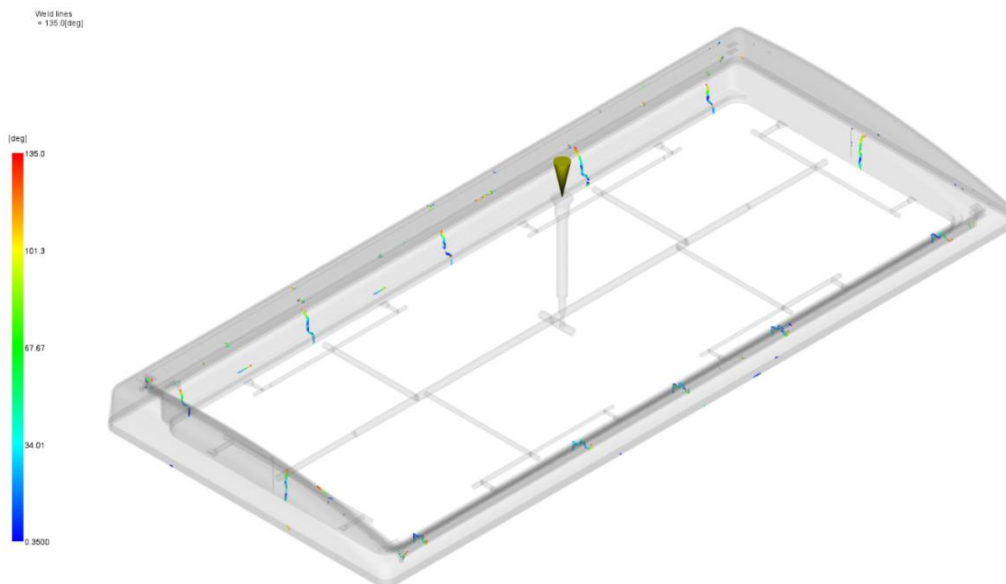


Figura 4.80 – Resultados para as linhas de união.

Quando frentes de fluxo convergentes aprisionam uma bolha de gás, são originados defeitos na peça como, vazios ou queimados. Esta acumulao de gases pode ser solucionada com a adio de fugas de gás (Figura 4.81).

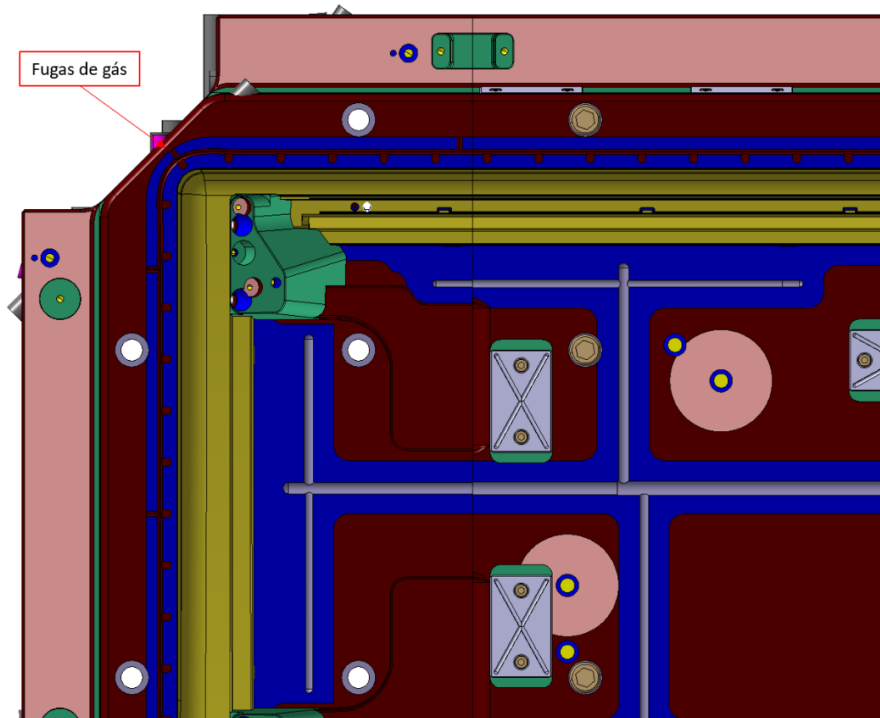


Figura 4.81 – Representação das fugas de gás.

As fugas de gás tratam-se de um conjunto de canais sendo que, o canal principal apresenta uma profundidade de cerca de 1 mm e os canais de ataque à peça, uma profundidade de 0.5 mm. Depois de maquinados os canais, o molde é levado para a bancada e é feito com uma lima o último canal, com uma profundidade de cerca de 0,01 mm. Assim que se dá o enchimento da peça, durante o ciclo de injeção, o gás existente nas zonas de moldação (Figura 4.82) do molde escapa por estes canais de escape de gases.

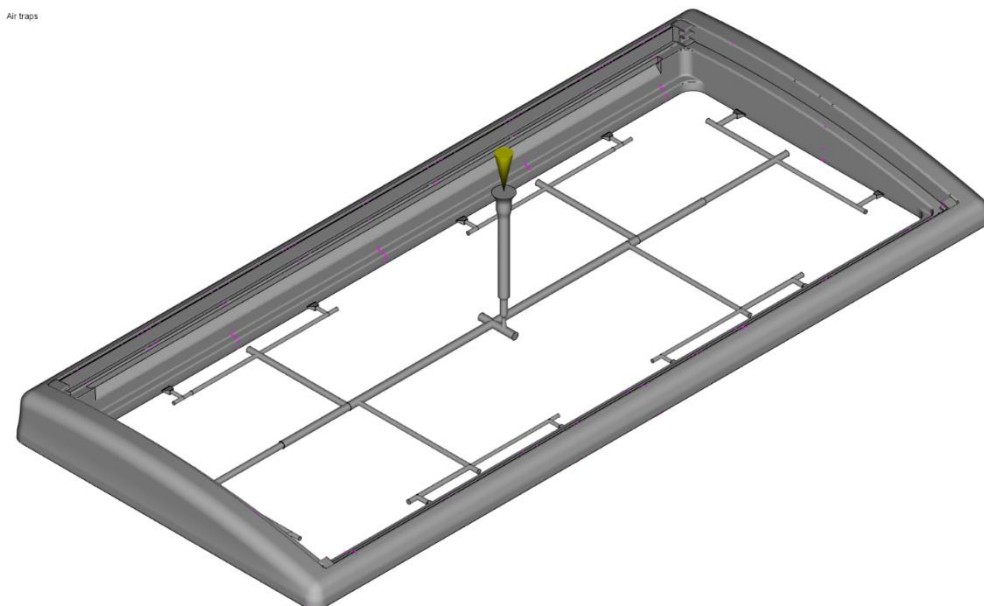


Figura 4.82 – Resultados para a acumulação de gases.

Os estudos reol3gicos n3o revelaram problemas de grande magnitude pelo que, o sistema de alimenta3o projetado, de apenas um bico de inje3o, foi aprovado.

4.9 Dimensionamento do molde

Por serem sujeito a v3rios tipos de esforço, ciclo ap3s ciclo, 3 necess3rio que os moldes de inje3o sejam dimensionados de uma forma correta, tendo sempre em conta as condi3es de trabalho dos mesmos. O pol3mero fundido e pressurizado entra nas cavidades do molde, gerando forças de uma ordem de grandeza bastante elevada. Posto isto, os componentes do molde devem ser dimensionados para que nunca passem o limite de deforma3o el3stica, n3o comprometendo o molde estruturalmente e produzindo peças com as dimens3es finais corretas.

4.9.1 3rea de contacto

As faces de vedat3o s3o respons3veis por suportar os esforços de compress3o exercidos pela m3quina de inje3o ao fechar o molde. A equa3o (4.1) e (4.2) permitem o c3lculo da 3rea de contacto e foram consultadas em Moreira (2015).

$$\sigma_m = \frac{\sigma_R}{CS} \quad (4.1)$$

$$F_f = A \times \sigma_m \quad (4.2)$$

Os par3metros que constam nas equa3es utilizadas para calcular a 3rea de contacto s3o:

- σ_R - Tens3o de rotura (aço 1.2738) [MPa];
- CS - Coeficiente de segurança [adm.];
- F_f - Força de fecho da m3quina de inje3o [T]

C3lculo da tens3o admiss3vel para aço 1.2738:

$$\sigma_m = \frac{1120}{5} = 224 \text{ MPa} \quad (4.3)$$

Convers3o da unidade da força de fecho:

$$F_f = 1055T = 10349,55 \text{ KN} \quad (4.4)$$

Cálculo das áreas de contacto:

$$A = \frac{F_f}{\sigma_m} = \frac{10349,55 \times 10^3}{224} \approx 46203,35 \text{ mm}^2 \quad (4.5)$$

A área mínima que as superfícies de contacto devem ter é 46203,35 mm² no entanto, a área de contacto é de 371000 mm² na realidade. Isto deve-se ao facto de existir muito espaço para colocação de áreas de vedação. Na prática, não há qualquer problema deste valor ser bastante mais alto do que o teórico uma vez que, não adiciona custo ao molde e oferece um coeficiente de segurança bastante alto.

4.9.2 Resistência da placa da cavidade à pressão de injeção

A metodologia adotada para o cálculo da espessura mínima da cavidade foi baseada na que se encontra em (Harada, 2004). Apesar de ter sido realizado um estudo de elementos finitos que contempla a placa da cavidade, foram realizados cálculos para determinar a sua espessura mínima. Nos cálculos apresentados considerou-se que as paredes da cavidade são vigas fixas e com carga distribuída uniformemente. Foi também considerada uma pressão de 75 MPa, obtida no estudo de reologia. As equações (4.6) e (4.7) permitem o cálculo da espessura mínima da cavidade.

$$t = \left[\frac{W \times L^4}{32 \times E \times y \times h} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (4.6)$$

$$W = P_c \times h \quad (4.7)$$

Onde:

- W - Carga no interior da cavidade [Kg/cm];
- L - Comprimento interno da parede da cavidade [cm];
- E - Módulo de elasticidade [Kg/cm²];
- y - Deflexão permitida na parede lateral [mm];
- t - Espessura mínima da cavidade [mm];
- P_c - Pressão na cavidade [MPa];
- h - Altura da cavidade [mm].

Substituindo:

$$t = \left[\frac{(75 \times 80) \times 1815^4}{32 \times 205 \times 10^3 \times 0,1 \times 200} \right]^{\frac{1}{3}} \approx 791,7 \text{ mm} \quad (4.8)$$

Apesar de o valor real da espessura da cavidade se situar nos 208 mm a espessura mínima obtida para a cavidade foi 791,7 mm uma vez que, os cálculos são sempre realizados considerando o caso mais crítico.

4.9.3 Dimensionamento da placa do macho

As equações (4.9) e (4.10) permitiram o cálculo da espessura mínima do macho.

$$\sigma_m = \frac{WL}{8Z} \quad (4.9)$$

$$Z = \frac{Bd^2}{6} \quad (4.10)$$

Onde:

- σ_m - Tensão admissível [MPa];
- W - Carga aplicada [N];
- L - Distância entre os calços [mm];
- Z - Módulo de resistência   flexão [mm³];
- B - Comprimento da placa [mm];
- d - Espessura da placa [mm];
- A –  rea [mm²].

Por ser feita de um aço 1.2738, a placa do macho tem uma tensão admissível de 224 MPa, para um CS de 5. Na Figura 4.83 apresenta-se as dimensões que são consideradas no cálculo das equações (4.9) e (4.10).

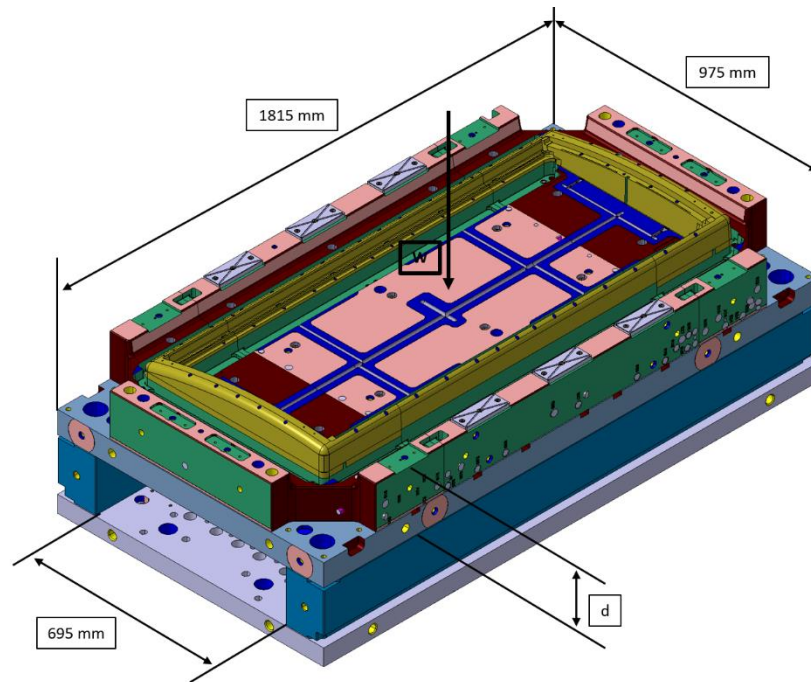


Figura 4.83 – Representação das dimensões consideradas no dimensionamento da placa macho.

Assim:

$$224 = \frac{10350 \times 10^3 \times 695}{8 \times Z} \quad (4.11)$$

$$Z \approx 4014090,4 \text{ mm}^3 \quad (4.12)$$

$$4014090,4 = \frac{975 \times d^2}{6} \quad (4.13)$$

$$d \approx 157,17 \text{ mm} \quad (4.14)$$

A espessura mínima que a placa do macho deve ter é de 157,17 mm. As equações que permitiram chegar a este valor foram obtidas em (Moreira, 2015). Na realidade o macho possui 235 mm, encontrando-se algo sobredimensionado. Esta espessura maior permitiu mais liberdade no desenho dos circuitos de refrigeração do lado móvel.

4.9.4 Dimensionamento dos calços

Os calços são produzidos em aço 1.1730 pelo que, a sua tensão admissível é de 142 MPa, para um coeficiente de segurança de 5. A equação (4.16) permite o cálculo da área dos calços.

$$\sigma_m = \frac{710}{5} = 142 \text{ MPa} \quad (4.15)$$

$$\sigma_m = \frac{F_f}{A} \quad (4.16)$$

$$142 = \frac{10350 \times 10^3}{A} \quad (4.17)$$

$$A \approx 72887,32 \text{ mm}^2 \quad (4.18)$$

$$\frac{A}{2} = 36443,66 \text{ mm}^2 \quad (4.19)$$

A área mínima que cada um dos dois calços do molde deverá ter é de 36443,66 mm². Na realidade, cada calço possui 234000 mm². O valor real é bastante acima do valor teórico dado que, a peça a moldar tem muito comprimento, fazendo com o que o calço também se torne muito comprido e consequentemente possua uma área maior.

4.9.5 Dimensionamento das guias

Começou-se por dividir a força de fecho da máquina de injeção pelas 4 guias principais do molde. As equações (4.21), (4.22) e (4.25) permitem o cálculo do diâmetro das guias principais do molde e foram consultadas em Moreira (2015).

$$F_f = 10350 \times 10^3 \text{ kN} \quad (4.20)$$

$$F_{guia} = \frac{10350 \times 10^3}{4} = 2587500 \text{ N} \quad (4.21)$$

$$F = \frac{m \times \pi^2 \times E \times I}{L^2} = 2587500 \text{ N} \quad (4.22)$$

Onde:

- F_{guia} - Carga aplicada em cada guia [N];
- m - Constante de conexão da guia [];
- E - Módulo de Young [MPa];
- I - Momento de inércia da secção [mm⁴];
- L - Comprimento da guia [mm].

$$2587500 = \frac{1 \times \pi^2 \times 210 \times 10^3 \times I}{376^2} = 2587500 \text{ N} \quad (4.23)$$

$$I = 176496,9 \text{ mm}^4 \quad (4.24)$$

$$I = \frac{\pi \times D^4}{64} \quad (4.25)$$

Onde:

- D - Diâmetro da guia [mm].

$$176496,9 = \frac{\pi \times D^4}{64} \quad (4.26)$$

$$D \approx 43,5 \text{ mm} \quad (4.27)$$

O diâmetro mínimo para as guias é de 43,5 mm. Na zona mais robusta, as guias principais do molde possuem um diâmetro de 52 mm por uma questão de segurança. As suas extensões, possuem um diâmetro de 48 mm, valor bastante próximo do teórico pelo que, se pode afirmar que foram bem seleccionadas.

4.9.6 Dimensionamento da força de extração

As fórmulas usadas para determinar a força de extração foram consultadas em (Rosato, 2000). Para dimensionar a força de extração foram utilizadas as equações (4.28), (4.29) e (4.30).

$$P = \frac{S_t \times E \times A \times \mu}{d \times \left(\frac{d}{2t} - \frac{d}{4t} \times \gamma \right)} = 2587500 \text{ N} \quad (4.28)$$

$$S_t = (\alpha \times \Delta T) \times d \quad (4.29)$$

Onde:

- P - Força de extração [N];
- S_t - Contração térmica do plástico [mm];
- E - Módulo de elasticidade [MPa];
- A - Área de contacto entre a peça e o molde [mm²];
- μ - Coeficiente de fricção entre o aço e o plástico [];
- d - Diâmetro do círculo equivalente ao perímetro da cavidade [mm];
- t - Espessura da peça [mm];
- γ - Coeficiente de Poisson do polímero [];
- α - Coeficiente de expansão térmica [K⁻¹];
- ΔT - Diferença de temperatura entre a injeção e a extração da peça [°C].

Começou-se por calcular o perímetro da peça.

$$\text{Perímetro da peça} = 2 \times (1513 + 675) = 4376 \text{ mm} \quad (4.30)$$

Seguidamente calculou-se a contração térmica do polímero relativamente ao diâmetro.

$$S_t = (82 \times 10^{-6} \times (200 - 70)) \times 1392,9 = 14,8 \text{ mm} \quad (4.31)$$

Finalmente calculou-se a força de extração usando-se o coeficiente de *Poisson* do ABS que é de 0,394.

$$P = \frac{14,8 \times 2800 \times 305000 \times 0,35}{1392,9 \times \left(\frac{1392,9}{2 \times 2,5} - \frac{1392,9}{4 \times 2,5} \times 0,394 \right)} \approx 14197,2 \text{ N} \quad (4.32)$$

A força de extração é de 14197,2 N. Este valor é importante para o dimensionamento dos extratores.

4.9.7 Dimensionamento dos extratores

Nos cálculos de dimensionamento dos extratores, considerou-se que estes são colunas sujeitas à envergadura. As fórmulas utilizadas foram consultadas em (Rosato, 2000). Para dimensionar os extratores foram utilizadas as equações (4.33) e (4.34).

$$F = \frac{m \times \pi^2 \times E \times I}{L^2} \quad (4.33)$$

$$I = \frac{\pi \times D^4}{64} \quad (4.34)$$

Onde:

- F - Força aplicada no extrator [N];
- I - Momento de inércia da secção [mm⁴];
- E - Módulo de Young [MPa];
- L - Comprimento do extrator [mm];
- m - Constante do tipo de conexão [];
- D - Diâmetro do extrator [mm].

Começou-se por dividir a força de extração pelo número de extratores.

$$F_{extrator} = \frac{F_{extrao}}{Nmero\ de\ extratores} = \frac{14197,2}{86} \approx 165,1\ N \quad (4.35)$$

Seguidamente, calculou-se o momento de inércia da seco do extrator.

$$165,1 = \frac{1 \times \pi \times 210 \times 10^3 \times I}{439^2} \Leftrightarrow I = 135,8\ mm^4 \quad (4.36)$$

Por fim, calculou-se o diâmetro dos extratores.

$$135,8 = \frac{\pi \times 10^4}{64} \Leftrightarrow d \approx 7,3\ mm \quad (4.37)$$

O diâmetro dos extratores deve ser no mínimo 7,3 mm pelo que, foram escolhidos extratores com 10 mm de diâmetro.

4.9.8 Dimensionamento das resistências do bico de injeção

No dimensionamento das resistências  tido em conta o calor transferido por condução das resistências para o material do bico de injeção. São também consideradas as perdas por radiação. Para o dimensionamento das resistências utilizaram-se as equações (4.38) e (4.41).

$$Q = m \times C \times (T_1 - T_0) \quad (4.38)$$

$$Q = 2,446 \times 450 \times (241 - 193) \quad (4.39)$$

$$Q = 52833,6\ J \quad (4.40)$$

Onde:

- Q - Calor transferido por condução [J];
- m - Massa do material [Kg];
- C - Calor específico do material [J/Kg.°C];
- T_1 - Temperatura mais alta [°C];
- T_0 - Temperatura mais baixa [°C].

Como o ciclo de injeção demora 80 segundos:

$$Q = \frac{52833,6}{80} = 660,4 \text{ W} \quad (4.41)$$

Utilizando um coeficiente de segurança de 1,3.

$$Q = 660,4 * 1,3 = 858,5 \text{ W} \quad (4.42)$$

Assim, optou-se pela resistência de 950 W, que é a seguinte potência disponível acima do valor calculado já com o coeficiente de segurança.

4.9.9 Dimensionamento dos movimentos com acionamento por mola gás

Para desmoldar as quatro zonas negativas (Figura 4.84) existentes na peça a moldar, recorreu-se ao uso de quatro movimentos à extração sendo que, dois desses movimentos são espelho. A contra saída do perfil em E exige que o movimento se desloque no mínimo 22 mm. Quanto à contra saída com perfil em C, o movimento desloca-se no mínimo 21 mm.

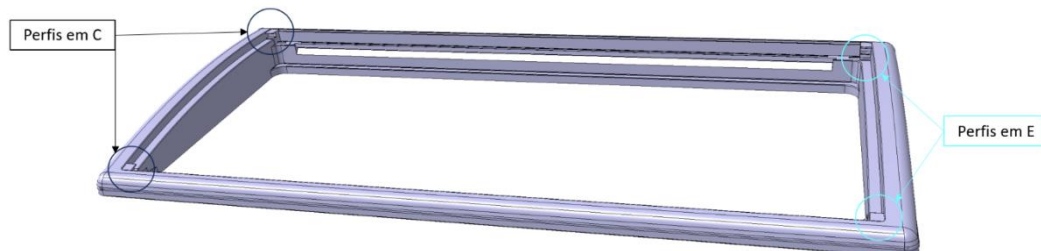


Figura 4.84 – Indicação das zonas negativas da peça.

O triângulo de trabalho para os dois movimentos (Figura 4.85) é o mesmo uma vez que, o curso mínimo que cada um necessita de se deslocar difere apenas 1 mm. Os triângulos de trabalho de ambos os movimentos são semelhantes. A única propriedade que difere é a sua orientação.

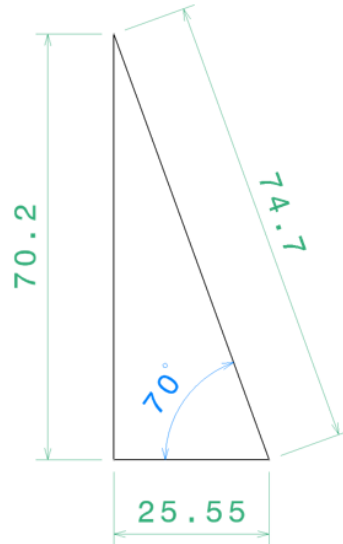


Figura 4.85 – Triângulo de trabalho dos movimentos.

Para conferir o curso de desmoldagem necessário, deu-se uma inclinação de 30°, com a vertical, aos veios do movimento e um curso de 74,7 mm. Foi assim obtido um curso na direção de desmoldagem de 25,55 mm. Para estes valores, os movimentos passam pela peça com uma folga de cerca de 6 mm, assim que acaba o seu curso.

4.9.10 Dimensionamento das placas de pressão

Para se obter a área de placas de pressão necessária divide-se a força de fecho (1055 toneladas de força) da máquina de injeção pela pressão máxima de injeção (100 MPa que equivale a 1019,7 Kg/cm²) como se pode verificar na equação (4.43).

$$A_{\text{placas de pressão}} = \frac{F_f}{P_{inj}} = \frac{1055}{1019,7} = 1035 \text{ cm}^2 = 103500 \text{ mm}^2 \quad (4.43)$$

A Tabela 4.5, possui as dimensões das placas de pressão do molde. Fazendo o somatório das áreas obtidas para as placas de pressão convencionais instaladas no molde, o valor adquirido foi 101072 mm².

Tabela 4.5 – Dimensões das placas de pressão implementadas no molde

Comprimento	Largura	Área
160	60	42660
120	60	20944
120	40	11920
100	60	25548

É necessário somar a este valor, o valor da área das placas de pressão das patas de elefante ($\approx 29952 \text{ mm}^2$) que constam na Figura 4.86.

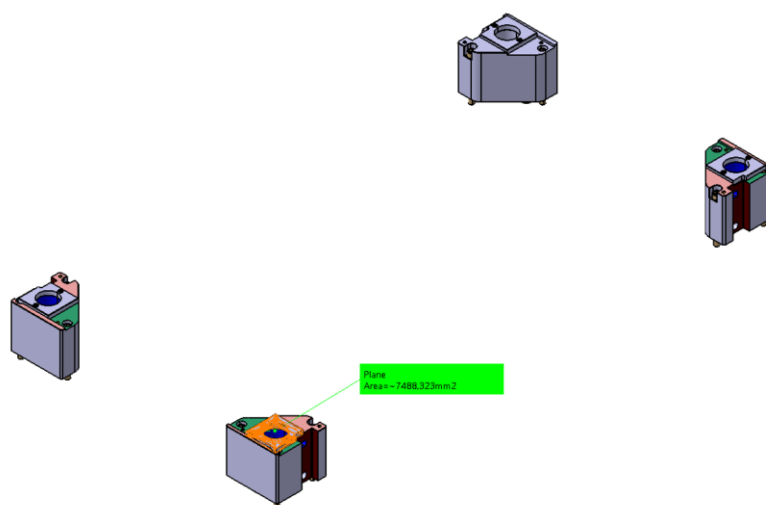


Figura 4.86 – Representação das placas de pressão montadas nas patas de elefante do molde e respectiva área.

O valor total da área das placas de pressão instaladas no molde é assim 131024 mm^2 . Concluiu-se que a área de placas de pressão do molde se encontra bem dimensionada uma vez que, o valor da área das placas de pressão instaladas no molde é maior do que o valor teórico obtido.

4.10 Cinemática do molde

Neste capítulo, é explicada a sequência de trabalho do molde, ciclo após ciclo. Após a última peça produzida ser extraída pelo *robot*, o molde é fechado para se dar início a um novo ciclo de injeção, como é possível verificar na Figura 4.87.

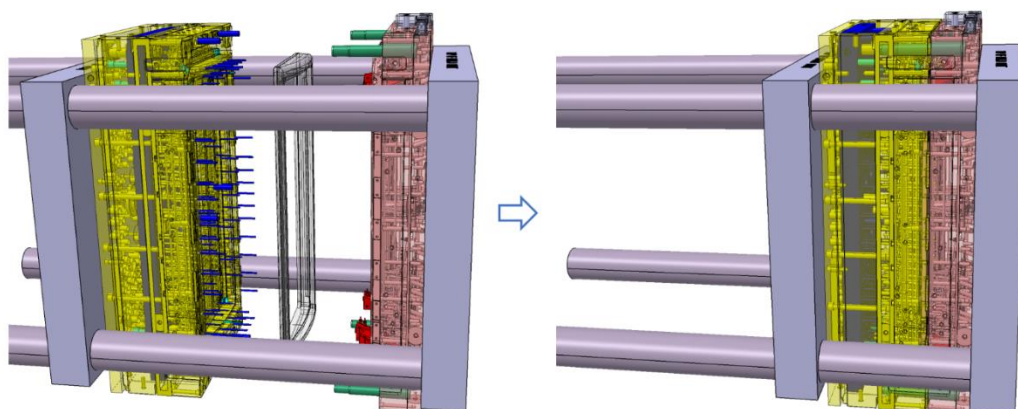


Figura 4.87 – Representação do movimento de fecho do molde.

Assim que o molde fecha é injetado o polímero fundido e pressurizado nas suas cavidades. Após a injeção do material, dá-se a compactação e o arrefecimento. Assim que a fase de arrefecimento é completada, o molde abre e os movimentos da cavidade são acionados não só pelas molas a gás, como pelos ganchos. Com o molde completamente aberto, dá-se o acionamento da placa de extração e todos os elementos de extração nela fixos. Durante os primeiros 10 mm de curso de extração, as barras extratoras são acionadas pelas suas molas como é possível observar na Figura 4.88, sendo limitadas a este curso pelas costas do bloco do macho.

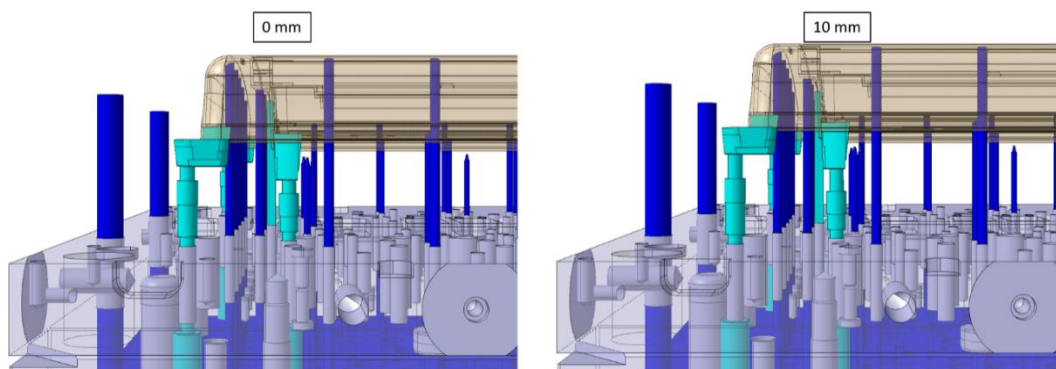


Figura 4.88 – Barras extratoras no início e fim do seu curso, à esquerda e à direita, respetivamente.

Durante os restantes 90 mm de curso, continua a dar-se a extração da peça, pelos extratores e pelas barras que moldam as nervuras da peça (Figura 4.89).

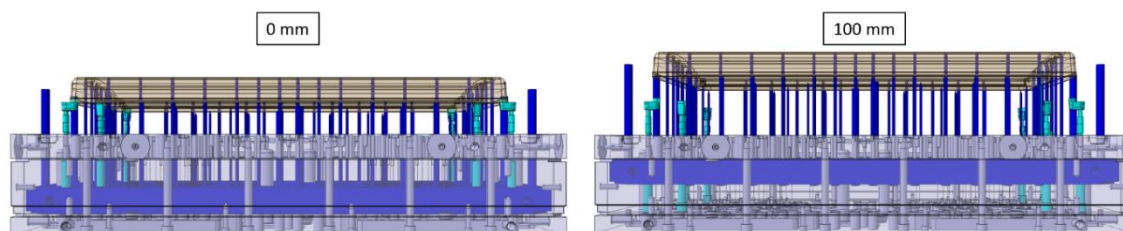


Figura 4.89 – Sistema de extração do lado móvel do molde no início e fim do seu curso, à esquerda e à direita, respetivamente.

Assim que a fase de extração da peça é concluída, há um robot encarregue de retirar a peça do molde para que o molde feche e se possa dar início a um novo ciclo de injeção. O ciclo de injeção encontra-se esquematizado na Figura 4.90.

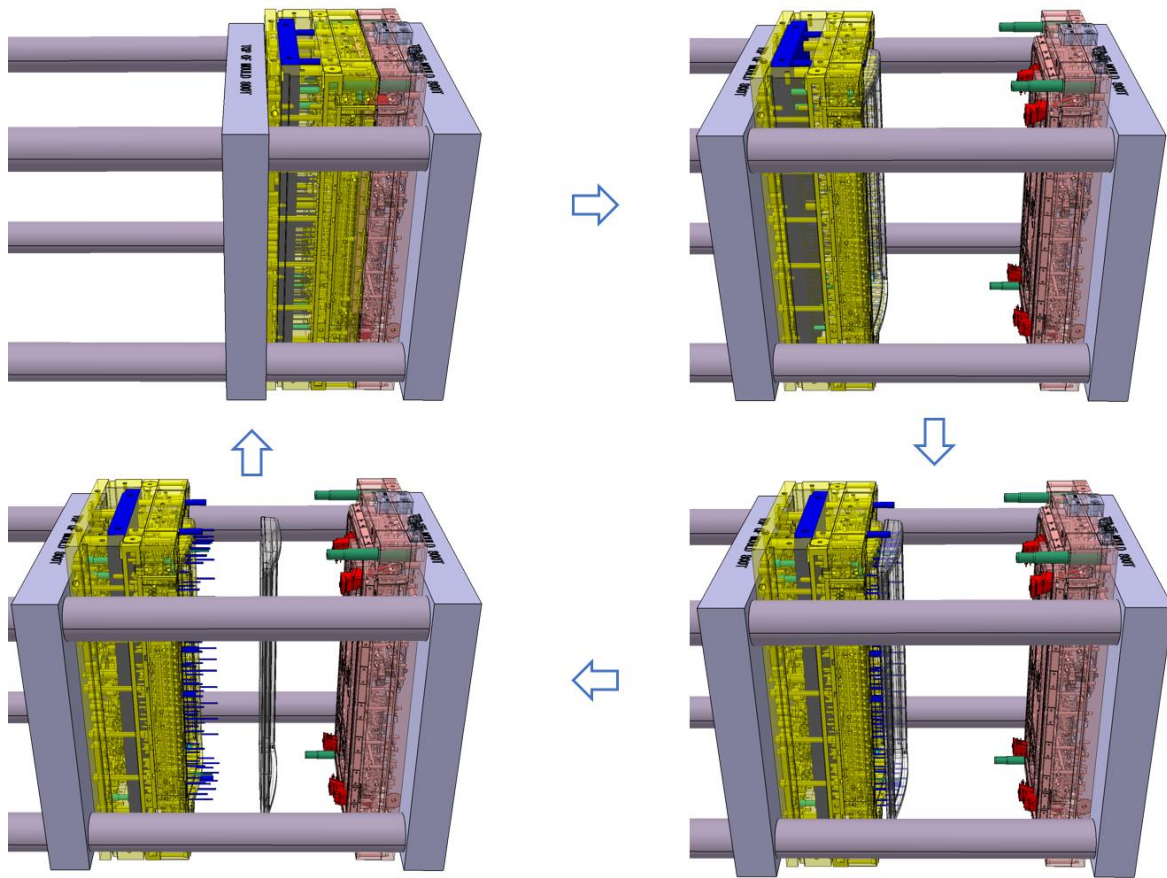


Figura 4.90 – Ciclo de injeção do molde em estudo.

É importante referir que, fazendo a simulação do molde também são realizadas análises as possíveis de colisões dos elementos presentes no molde.

4.11 Ensaio do molde

Assim que a fase de produção do molde é concluída, há necessidade de ensaiar o mesmo para se perceber se há alguma anomalia quer a nível do molde, quer a nível da peça obtida. Durante o ensaio verificou-se que as mangueiras do circuito de refrigeração dos movimentos acionados por mola a gás colidiam com a aresta viva de todos os postigos intermutáveis (Figura 4.91). Para solucionar o problema foi sugerido que se criasse um pequeno alojamento para estas ou que se realizasse um raio considerável para reduzir o desgaste da mangueira ao tocar no aço.

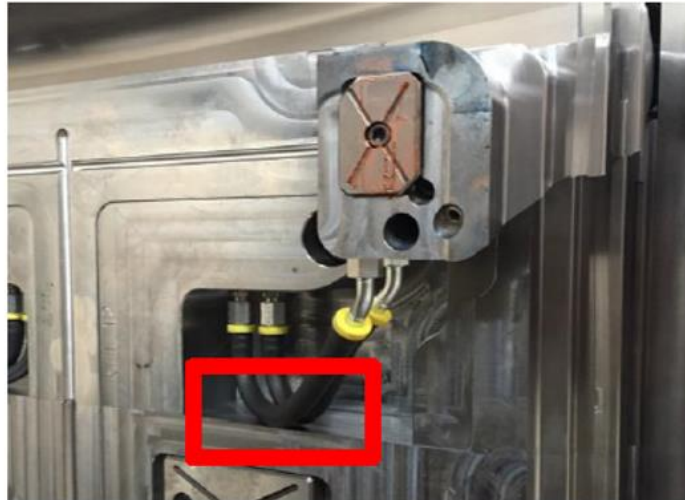


Figura 4.91 – Colisão das mangueiras com os postos intermutáveis.

Os diferentes postos apresentavam desencontros, o que está relacionado com o ajuste dos mesmos e que se traduz num desacerto da junta do molde. Todas as versões da peça apresentaram um pequeno *step* entre os postos de troca de versão como  visível na Figura 4.92.



Figura 4.92 – *Step* criado pelo ajuste dos postos.

Verificou-se também, um pequeno fio de rebarba na linha de junta exterior das peças (Figura 4.93) pelo que, foi necessário finalizar o ajuste desta.



Figura 4.93 – Desencontro da junta.

Os cantos das peças apresentaram o efeito de espirro visíveis na Figura 4.94. Para colmatar isto eliminaram-se as quinas vivas tanto no macho como na cavidade do molde, para tornar as superfícies moldantes mais suaves.



Figura 4.94 – Efeito de espirro visível na peça.

Certas zonas da peça como os clips apresentaram alguma formação de rebarba (Figura 4.95), o que está também relacionado com o ajuste do molde.

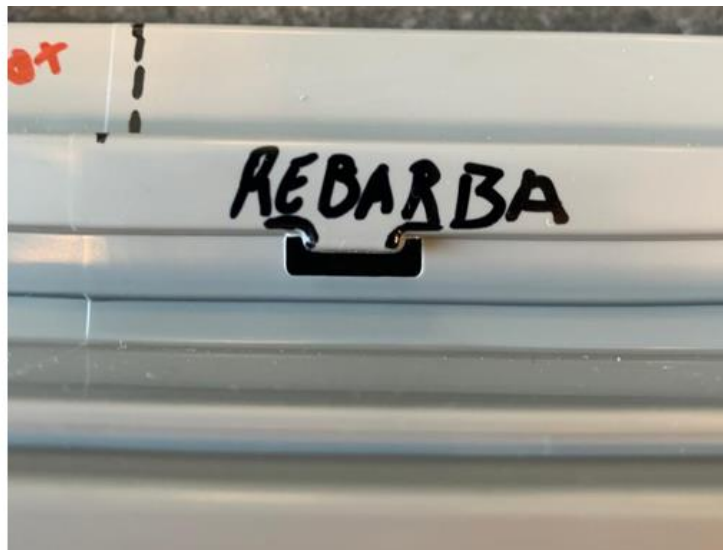


Figura 4.95 – Rebarba visível na peça.

Nos pontos de ataque à peça, verificou-se que ocorria efeito de jato (Figura 4.96). O efeito jato acontece quando o polímero fundido passa por uma área de secção restritiva e a alta velocidade (Autodesk, 2023). Este problema poderia estar relacionado com a parametrização da máquina de injeção, como por exemplo a velocidade de injeção pelo que, os parâmetros sofreram reajustes.

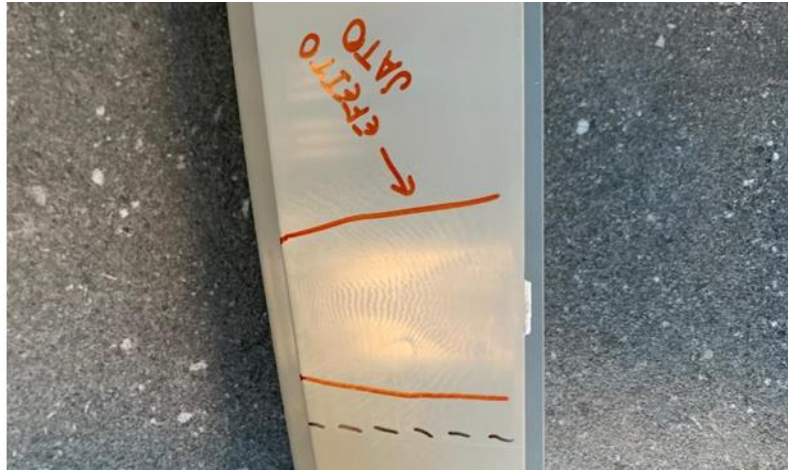


Figura 4.96 - Efeito jato visível na peça.

Após as todos os ajustes e afinações terem sido executadas, obtiveram-se peças com a qualidade requerida pelo cliente.

5 CONCLUSÕES

Nos dias de hoje, a crescente procura por um produto que ofereça a melhor relação qualidade-preço e com a maior rapidez de entrega possível, faz destas características o fator diferenciador na escolha da empresa à qual projetos de moldes são adjudicados. Para se tornarem competitivas no mercado, as empresas necessitam de possuir recursos humanos e materiais suficientes para satisfazer as necessidades dos clientes.

Numa fase embrionária do projeto, são analisados os requisitos do cliente quanto às características da máquina de injeção, ao material plástico injetado, ao sistema de injeção e de extração, à linha de junta e aos pontos de injeção. Após feita esta análise, o desenhador projetista troca impressões com o cliente acerca dos seus requisitos e peça a fabricar, para aprovação de peça e requisitos finais. Os mecanismos do molde e a respetiva estrutura são concebidos em função das características geométricas da peça termoplástica a produzir. A utilização de elementos móveis torna o produto final mais caro, não só pela necessidade de prazos maiores a nível de projeto como, a nível de produção. A seleção dos materiais empregues no molde deve ser feita contemplando os tipos e magnitude dos esforços aos quais os diferentes elementos do molde estão sujeitos durante o seu ciclo de funcionamento.

O estudo de elementos finitos permitiu verificar que o molde projetado é capaz de resistir à pressão provocada pela pressão de injeção, não apresentando qualquer risco a nível estrutural. O estudo reológico relativo ao circuito de refrigeração permitiu prever o tempo de ciclo do molde e despistar problemas relacionados com a temperatura do polímero e do molde. O estudo reológico relativo ao enchimento permitiu descartar problemas relacionados com a qualidade da peça obtida.

As peças obtidas no ensaio do molde, apresentaram alguns defeitos como, marcas de desajuste, espirrados e rebarba. Estes defeitos foram solucionados através de novos ajustes do molde em bancada, maquinação de raios e otimização da parametrização da máquina de injeção.

O produto final conseguido foi satisfatório, permitindo alcançar todas as requisições do cliente.

Todo o projeto de um molde é um processo algo complexo, não só devido às numerosas etapas como, a necessidade de domínio das áreas do saber implicadas no processo. É necessário um planeamento devido que possibilite a finalização do molde dentro do prazo definido pelo cliente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (2023). Retrieved from Moldes: <https://formacao.training.pt/>
- (2023). Retrieved from schneider-form: <https://www.schneider-form.de/unternehmen/standortekooperationen/standorte/portugal/>
- (2023, Dezembro). Retrieved from Ramada Aços: www.ramada.pt
- (2023, Dezembro). Retrieved from mack: www.mack.com/services/injection-molding/gas-assist-molding/
- (2023, Dezembro). Retrieved from norelem: <https://www.norelem.com/>
- (2023, Dezembro). Retrieved from Autodesk:
https://help.autodesk.com/view/MFC/2023/ENU/?guid=LM_JETTING_PROBLEMS
- Cefamol. (2023). *Indústria Portuguesa de Moldes*.
- CENTIMFE. (2003). *Manual do Projetista para moldes de injeção de plástico*.
- Crawford, R. J. (1998). *Plastics Engineering*. BH.
- Harada, J. (2004). *Moldes para Injeção de Termoplásticos*. Artliber Editora.
- Kazmer, D. O. (2007). *Injection Mold Design Engineering*. Hanser Publishers.
- Marques, M. (2021). *Desenho de Moldes*. ESAN - Escola Superior Aveiro Norte, Aveiro.
- Moreira, M. M. (2015). *Projeto de molde para a injeção de peça plástica complexa para a indústria automóvel*. Tese de Mestrado: Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Neto, É. F. (2014). *Otimização do Processo de Moldação por Injeção*. Tese de Mestrado: Universidade de Aveiro.
- Pires, A. V. (2021). *Projeto e Fabrico de um Molde para injeção de Termoplásticos*. Tese de Mestrado: Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- Rosato. (2000). *Injection Molding Handbook*. Massachussets: Kluwer Academic Publishers.



**Instituto Superior
de Engenharia**

Politécnico de Coimbra