



isec

Engenharia

MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**Desenvolvimento de um molde de 3
placas com movimentos laterais para
injeção de termoplásticos**

DEFINITIVO

Autor

Douglas Alves de Lima

Orientadores

Prof. Doutor Fernando António Gaspar Simões

Prof. Doutor Pedro Miguel Soares Ferreira

Coimbra, outubro 2022

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA



isec

Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Desenvolvimento de um molde de 3 placas com movimentos laterais para injeção de termoplásticos

Relatório de Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos

Autor

Douglas Alves de Lima

Orientadores

Prof. Doutor Fernando António Gaspar Simões

Prof. Doutor Pedro Miguel Soares Ferreira

Coimbra, outubro 2022

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por ter me concedido esse privilégio de poucos no Brasil, que é a conclusão de um curso de Mestrado em Engenharia Mecânica em Portugal.

Aos meus pais (*in memoriam*), que me educaram e mostraram os caminhos a serem trilhados.

Agradeço de maneira especial a minha esposa Danuza, que me incentivou a entrar no mestrado e a minha filha Alice, que, embora seja tão pequena, me dá força e incentivo diário para seguir em frente.

Aos meus amigos, que por tantas vezes me apoiaram. Opto por não citar todos os nomes, pois eu poderia injustamente esquecer de algum, pois são muitos, entretanto não posso deixar de mencionar Eduardo, Sara, Brian e Bianca meus companheiros desde a minha chegada em Portugal.

Aos colaboradores da Oficina Mecânica e Laboratório de Detetores do LIP (Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas) no Departamento de Física da Universidade de Coimbra, pela acolhida diária durante aproximadamente cinco anos em que trabalhamos juntos.

A todos os professores que passaram por minha vida, pela diligência e compreensão no ato de ensinar, em especial aos do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEC. E sobretudo aos meus orientadores, Prof. Doutor Fernando António Gaspar Simões e Prof. Doutor Pedro Miguel Soares Ferreira, pelo enorme esforço e paciência dedicados ao meu trabalho e à minha pessoa.

RESUMO

O presente relatório apresenta o desenvolvimento realizado de um molde de 3 placas de injeção de termoplásticos com extração por placa e com movimentos laterais para libertar as contra-saídas existentes na peça moldada. A peça que se pretende injetar é um porta-canetas em que numa das laterais existem cavidades e logotipos, sendo necessário existirem elementos para efetuarem a desmoldação das contra-saídas, para a libertação da peça. O material termoplástico considerado para a injeção no molde desenvolvido foi o polipropileno (PP), utilizado em larga escala para objetos plásticos do quotidiano.

Utilizou-se o software Autodesk Inventor® 2021 como ferramenta no desenvolvimento da modelação do molde e nas simulações executadas para previsão do preenchimento da peça durante a injeção. As vantagens de se usarem softwares nos projetos de moldes faz com que seja possível reduzir o tempo de projeto dos moldes, pois, é possível simular se o ponto escolhido para injeção da peça irá preencher a peça na sua totalidade e com a qualidade pretendida, qual o tempo de preenchimento da cavidade, sendo também possível estimar quais as zonas com possíveis aprisionamentos de ar, as linhas de soldadura da peça e ainda obter informações sobre possíveis erros com o modelo da peça, possibilitando fazer as correções necessárias antes do desenvolvimento do molde e reduzindo ou eliminando posteriores trabalhos no molde.

Durante a modelação do molde em estudo, foram realizados múltiplos cálculos que permitem selecionar e confirmar as características necessárias dos diversos elementos incluídos no molde. Sempre que possível, foram selecionados componentes normalizados comercializados por diversas empresas que operam nesta indústria, visando à facilidade de aquisição, manutenção e a redução de custo.

Relativamente ao trabalho desenvolvido importa referir que se efetuou todo o desenvolvimento do molde, não tendo sido incluída a etapa de fabrico do molde, uma vez que essa etapa nunca foi tida como exequível em termos temporais.

Palavras-Chave: molde de 3 placas, contra-saídas, termoplásticos, injeção.

ABSTRACT

This report presents the development carried out for a 3-plate thermoplastic injection mould with plate extraction and lateral movements applied to release undercuts geometries. The part developed in this work was a pen holder box with geometries on the side. The thermoplastic material considered for injection was polypropylene (PP), which is used on a large scale for everyday plastic objects.

Autodesk Inventor® 2021 software was used as a tool to develop the mould geometry and applied also for simulations performed to predict the filling of the part during injection. The software reduces the time to develop the mould design and enable to check the gate position will fill the part with quality, the cavity filling time, and shows the air entrapment zones and the lines of weld. Besides that, the software for mould design is quite useful, as it allows examines possible errors with the part model, making it possible to apply corrections before mould development and reducing or eliminating all later rework in the mould.

This work focuses on mould development, not including the manufacturing stage. During the modelling of the mould under study, multiple calculations were performed to select and confirm the necessary characteristics of the various elements included. whenever possible, standardized components sold by several companies operating in this industry were selected, aiming at the ease of acquisition, maintenance, and cost reduction.

Keywords: 3-plate mould, undercuts, thermoplastics, injection.

Índice

1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Objetivos.....	2
1.2 - Estrutura do trabalho.....	2
2 - ANÁLISE DO COMPONENTE A PRODUZIR E ANTEPROJETO DO MOLDE.....	4
2.1 - Geometria e material do componente	4
2.2 - Relação entre componente a injetar e sistemas a incluir no molde.....	7
2.2.1 - Sistema de movimentos laterais	8
2.2.1.1 - Contra-saída com acionamento por pino acionador	8
2.2.1.2 - Contra-saída com acionamento por pinos, detalhes internos.....	9
2.2.1.3 - Cunha trava da contra-saída	10
2.2.1.4 - Inclinação do pino guia e cunha trava	12
2.2.1.5 - Cálculos para sistema de movimentos laterais com pinos guias	13
2.2.1.6 - Exemplos de fixação dos pinos guias e das placas de ajustes.....	15
2.2.2 - Sistema de extração combinada com placa extratora e ar comprimido	16
2.2.2.1 - Sistema de extração com placa extratora.....	17
2.2.2.2 - Sistema de extração por ar comprimido.....	17
2.3 - Simulação da injeção para definir o ponto de alimentação	18
2.3.1 - Simulações para o tempo de preenchimento e fluxo do plástico	20
2.3.2 - Simulações da confiança do preenchimento e previsão de qualidade	21
2.3.3 - Simulação para os aprisionamentos de ar.....	22
2.3.4 - Simulação das linhas de soldadura	23
2.4 - Desenvolvimento da bucha, cavidade e dos movimentos com guias laterais	24
2.4.1 - Desenvolvimento dos blocos da bucha e da cavidade	24
2.4.1.1 - Contração do polímero	25
2.4.1.2 - Dimensões do bloco da bucha e da cavidade	25
2.4.1.3 - Criação das superfícies para tapar furos e detalhes vazados	26
2.4.1.4 - Criação da superfície na linha de partição.....	26
2.4.1.5 - Geração dos blocos da bucha e cavidade com a geometria da peça.....	27
2.4.2 - Movimentos com guias laterais.....	28
2.5 - Número de peças a produzir e disposição no molde	29
3 - DESENVOLVIMENTO DA GEOMETRIA DO MOLDE DE 3 PLACAS.....	33
3.1 - Estrutura do molde de 3 placas	34
3.1.1 - Estrutura das placas do molde	34
3.1.2 - Cálculo da deflexão da placa suporte do molde.....	40

3.2 - Sistema de guiamento e abertura do molde	44
3.3 - Sistema de movimento lateral e libertação de contra-saídas	48
3.3.1 - Cálculo do diâmetro e comprimento do pino guia	50
3.3.2 - Dimensionamento do bloco de travamento da contra-saída	52
3.4 - Sistema de injeção	54
3.4.1 - Canal de alimentação	57
3.4.2 - Ataque ou ponto de injeção	60
3.4.3 - Poço Frio	61
3.5 - Sistema de escape de gases	62
3.6 - Sistema de refrigeração	63
3.7 - Sistema de extração	74
3.7.1 - Extração do jito e sistema de alimentação	74
3.7.2 - Sistema de extração das peças	75
3.7.3 - Elementos de travamento para transporte do molde	81
4 - SIMULAÇÕES NUMÉRICAS	83
4.1 - Análise da injeção das peças e do sistema de alimentação	83
4.1.1 - Condições de limite	84
4.1.2 - Seleção da malha	85
4.1.3 - Seleção dos materiais e fluido de refrigeração	91
4.1.4 - Introdução dos parâmetros de processos	93
4.1.5 - Condições de fronteira	96
4.2 - Análise dos resultados das simulações	97
4.2.1 - Resultados das simulações de injeção (<i>FLOW</i>) e compactação (<i>PACK</i>)	97
4.2.2 - Resultados das simulações de arrefecimento (<i>COOL</i>) e empenamento (<i>WARP</i>)	105
4.2.3 - Resumo dos tempos das etapas do ciclo de injeção	107
4.3 - Simulação do funcionamento do molde	108
5 - CONCLUSÃO	112
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
ANEXO I - LISTA DE COMPONENTES	116

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - GEOMETRIA DA PEÇA A SER INJETADA.....	4
FIGURA 2 - ACIONAMENTO POR PINO E GEOMETRIA NA PRÓPRIA CONTRA-SAÍDA (CRUZ, 2002).....	8
FIGURA 3 - ACIONAMENTO POR PINO E CONTRA-SAÍDAS A FUNCIONAR COMO INTERMEDIARIA (CRUZ, 2002).....	9
FIGURA 4 - EXEMPLO DA CONTRA-SAÍDAS PARA DETALHES INTERNOS (CRUZ, 2002).	9
FIGURA 5 - EXEMPLO DAS CUNHAS TRAVA DAS CONTRA-SAÍDAS (CRUZ, 2002).....	10
FIGURA 6 - SOLUÇÃO A DE AJUSTAMENTO FIXAÇÃO DE PLACAS DE AJUSTE NA CUNHA TRAVA (CENTIMFE, 2003).....	11
FIGURA 7 - SOLUÇÃO B DE AJUSTAMENTO FIXAÇÃO DE PLACAS DE AJUSTE NA CUNHA TRAVA (CENTIMFE, 2003).....	11
FIGURA 8 - SOLUÇÃO C DE AJUSTAMENTO FIXAÇÃO DE PLACAS DE AJUSTE NA CUNHA TRAVA (CENTIMFE, 2003).	12
FIGURA 9 - SOLUÇÃO D DE AJUSTAMENTO FIXAÇÃO DE PLACAS DE AJUSTE NA CUNHA TRAVA (CENTIMFE, 2003).....	12
FIGURA 10 - INCLINAÇÃO DO PINO GUIA E ZONA DE AJUSTE DA CUNHA (CENTIMFE, 2003).	13
FIGURA 11 - COMPRIMENTO DO PINO GUIA (CENTIMFE, 2003).....	13
FIGURA 12 - PINO GUIA ENCASTRADO ENTRE PLACAS COM CABEÇA FACETADA (CENTIMFE, 2003).....	15
FIGURA 13 - PINO GUIA ENCASTRADO ENTRE PLACAS DO MOLDE COM CABEÇA FACETADA E COM ELEMENTO DISTANCIADOR (CENTIMFE, 2003).	15
FIGURA 14 - PINO GUIA COM PERNO ROSCADO NA PLACA (CENTIMFE, 2003).	16
FIGURA 15 - PINO GUIA ENCASTRADO COM SUPORTE DE FIXAÇÃO (CENTIMFE, 2003).....	16
FIGURA 16 - SISTEMA DE EXTRAÇÃO COM PLACA EXTRATORA (HARADA, 2004).....	17
FIGURA 17 - SISTEMA DE EXTRAÇÃO POR AR COMPRIMIDO (ROSATO, 2000).	18
FIGURA 18 - ORIENTAÇÃO DA PEÇA PARA ABERTURA DO MOLDE.	19
FIGURA 19 - LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE ALIMENTAÇÃO (PONTO DE INJEÇÃO).	20
FIGURA 20 - SIMULAÇÃO DO TEMPO DE PREENCHIMENTO E FLUXO DO PLÁSTICO DO PORTA-CANETAS.....	21
FIGURA 21 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO DO INTERVALO DE CONFIANÇA DE PREENCHIMENTO PARA O PORTA-CANETAS.....	22
FIGURA 22 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO ONDE É POSSÍVEL IDENTIFICAR AS ZONAS ONDE OCORRE APRISIONAMENTOS DE AR.....	23
FIGURA 23 - RESULTADO DAS LINHAS DE SOLDADURA, COM A LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE INJEÇÃO NO CENTRO DA PARTE SUPERIOR DO PORTA-CANETAS.	24
FIGURA 24 - DIMENSÕES E TIPO DE BLOCO DE TRABALHO QUE FORAM CONSIDERADOS PARA A CRIAÇÃO DA BUCHA E DA CAVIDADE DO PORTA-CANETAS.	25
FIGURA 25 - RESULTADO DA CRIAÇÃO DAS SUPERFÍCIES PARA TAPAR OS FUIROS E AS GEOMETRIAS VAZADAS DO PORTA-CANETAS.....	26
FIGURA 26 - VISUALIZAÇÃO DA CRIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DA LINHA DE PARTIÇÃO PARA OBTENÇÃO DOS BLOCOS DA BUCHA E CAVIDADE PARA O PORTA-CANETAS.....	27
FIGURA 27 - RESULTADO DA CRIAÇÃO DOS BLOCOS DA BUCHA E DA CAVIDADE PARA O PORTA-CANETAS ATRAVÉS DO SOFTWARE AUTODESK INVENTOR® 2021.....	28
FIGURA 28 - REPRESENTAÇÃO DOS BLOCOS DA BUCHA E DA CAVIDADE COM O POSTIÇO LATERAL (A), POSTIÇO COM A GEOMETRIA LATERAL DA PEÇA (B) E CAVIDADE COM O RASGO DE ENCAIXE DO POSTIÇO (C).	29

FIGURA 29 - REPRESENTAÇÃO DOS BLOCOS DAS CAVIDADES (A) E DOS BLOCOS DAS BUCHAS (B) COM UMA DISTÂNCIA ENTRE CENTROS DE 120 MM.	32
FIGURA 30 - CONFIGURAÇÃO FINAL DOS BLOCOS POSTIÇOS DA BUCHA E DA CAVIDADE COM O INSERTO LATERAL PARA O MOLDE EM ESTUDO.	32
FIGURA 31 - CONSTITUIÇÃO DE UM MOLDE DE 2 PLACAS.	33
FIGURA 32 - ESTRUTURA DE MOLDE 3 PLACAS DA EMPRESA FUTABA (CORPORATION FUTABA, 2014).	35
FIGURA 33 - REPRESENTAÇÃO DOS TIPOS DE MOLDE 3 PLACAS DA SÉRIE D DA EMPRESA FUTABA (CORPORATION FUTABA, 2014).	36
FIGURA 34 - REPRESENTAÇÃO DAS MEDIDAS DAS ESPESSURAS DAS PLACAS STANDARD PARA O MOLDE CONSIDERADO (CORPORATION FUTABA, 2014).	37
FIGURA 35 - ESBOÇO DO DESENHO 2D COM AS POSIÇÕES DOS PINOS PARA O MOLDE CONSIDERADO (CORPORATION FUTABA, 2014).	37
FIGURA 36 - ESTRUTURA DO MOLDE 3 PLACAS DA BIBLIOTECA SOFTWARE AUTODESK INVENTOR® 2021.	38
FIGURA 37 - ESTRUTURA DO MOLDE DE 3 PLACAS.	39
FIGURA 38 - REPRESENTAÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA CALCULAR A DEFLEXÃO DA PLACA SUPORTE (CORPORATION FUTABA, 2014).	42
FIGURA 39 - DIMENSÃO SIMPLIFICADA DA ÁREA PROJETADA DAS PEÇAS, PARA EFEITOS DE CÁLCULO DA DEFLEXÃO NA PLACA DAS BUCHAS.	42
FIGURA 40 - REPRESENTAÇÃO DA PLACA DAS BUCHAS, DA PLACA EXTRATORA E DA DISTÂNCIA DOS CALÇOS PARA EFEITOS DE CÁLCULO DA DEFLEXÃO NA PLACA DAS BUCHAS.	43
FIGURA 41 - RECOMENDAÇÕES PARA DEFLEXÕES MÁXIMAS SEGUNDO CATÁLOGO DA FUTABA (CORPORATION FUTABA, 2014).	43
FIGURA 42 - REPRESENTAÇÃO DOS PINOS, CASQUILHOS E PARAFUSOS QUE GARANTEM OS COMPONENTES ALINHADOS E CONECTADOS.	44
FIGURA 43 – REPRESENTAÇÃO DIMENSIONAL DOS <i>INTERLOCKS</i> HASCO Z086/B1xB2 USADOS NO MOLDE DE 3 PLACAS (HASCO, 2021).	45
FIGURA 44 - REPRESENTAÇÃO DOS <i>INTERLOCKS</i> INSERIDOS NAS PLACAS DO MOLDE.	45
FIGURA 45 - REPRESENTAÇÃO DAS DIFERENTES ETAPAS DA ABERTURA DE UM MOLDE DE 3 PLACAS, PRIMEIRA ABERTURA (I), SEGUNDA ABERTURA (II) E ABERTURA TOTAL DO MOLDE DE 3 PLACAS (III).	46
FIGURA 46 - SISTEMA DE TRAVAMENTO HASCO Z174/B1 XH1 X HV (HASCO, 2021).	47
FIGURA 47 - DIMENSÕES DOS FUROS E REBAIXOS PARA ALOJAR OS PINOS LIMITADORES (CORPORATION FUTABA, 2014).	48
FIGURA 48 - ELEMENTOS DO SISTEMA DE MOVIMENTO LATERAL DE CONTRA-SAÍDA DA HASCO, PLACA GUIA AUTOLUBRIFICANTE (1), PINO GUIA INCLINADO (2), BLOCO DE TRAVAMENTO (3), RÉGUA OU GUIA DO ELEMENTO MÓVEL (4), RÉGUA OU GUIA DO ELEMENTO MÓVEL (5), SUPORTE DO PINO GUIA INCLINADO (6), ELEMENTO MÓVEL (7) E PLACA DE DESGASTE E AJUSTE (8).	49
FIGURA 49 - SISTEMA DE MOVIMENTO LATERAL COM O POSTIÇO DA CONTRA-SAÍDA.	49
FIGURA 50 - REPRESENTAÇÃO DA NOMENCLATURA DO BLOCO DE TRAVAMENTO (CRUZ, 2002).	52
FIGURA 51 - REPRESENTA A SUBDIVISÃO DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO (HARADA, 2004).	54
FIGURA 52 - CONSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO COM ATAQUE CAPILAR OU BICO DE ALFINETE.	55
FIGURA 53 - ESPECIFICAÇÕES DO ANEL DE CENTRAGEM MISUMI LRJS (CORPORATION MISUMI, 2015).	55

FIGURA 54 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO BICO DE INJEÇÃO MISUMI SBGH D - L - SR - P - A - V - G (CORPORATION MISUMI, 2015).	56
FIGURA 55 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO GUIA DO BICO DE INJEÇÃO MISUMI SBGN D - L - V - G (CORPORATION MISUMI, 2015).	57
FIGURA 56 - REPRESENTAÇÃO DO POSICIONAMENTO ELEMENTOS DE MONTAGEM DO ANEL DE CENTRAGEM, DO BICO DE INJEÇÃO E GUIA DO BICO DE INJEÇÃO.	57
FIGURA 57 - TIPOS DE GEOMETRIAS DOS CANAIS DE ALIMENTAÇÃO (CENTIMFE, 2003).	58
FIGURA 58 - DIÂMETRO RECOMENDADO PARA PE, PP, PA, PC E POM (SEM CORREÇÃO) (CENTIMFE, 2003).	58
FIGURA 59 - FATOR DE CORREÇÃO EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DO ALIMENTADOR (CENTIMFE, 2003).	59
FIGURA 60 - COMANDO PARA CRIAR O ALIMENTADOR DE FORMA AUTOMÁTICA NO AUTODESK INVENTOR® 2021.	60
FIGURA 61 - COMANDO CRIAR ATAQUE NA PEÇA ATRAVÉS DO AUTODESK INVENTOR® 2021.	61
FIGURA 62 - COMANDO CRIAR POÇO FRIO ATRAVÉS DO AUTODESK INVENTOR® 2021.	61
FIGURA 63 - REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA DE INJEÇÃO E AS PEÇAS MOLDADAS.	62
FIGURA 64 - REPRESENTAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DO ESCAPE DE GASES CRIADOS NA PLACA EXTRATORA DO PORTA-CANETAS.	63
FIGURA 65 - DIMENSIONAMENTO DAS DISTÂNCIAS DOS FUROS DE ÁGUA EM ELEMENTOS MOLDANTES (CENTIMFE, 2003).	65
FIGURA 66 - REPRESENTAÇÃO DO PRIMEIRO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO NO PORTA-CANETAS.	66
FIGURA 67 - REPRESENTAÇÃO DO PRIMEIRO E SEGUNDO CIRCUITOS DE REFRIGERAÇÃO NO PORTA-CANETAS.	66
FIGURA 68 - REPRESENTAÇÃO COMPLETA DOS CIRCUITOS DE REFRIGERAÇÃO NO LADO DA INJEÇÃO.	67
FIGURA 69 - REPRESENTAÇÃO DO QUINTO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO DO PORTA-CANETAS.	67
FIGURA 70 - REPRESENTAÇÃO DO QUINTO E SEXTO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO DO PORTA-CANETAS.	68
FIGURA 71 - REPRESENTAÇÃO COMPLETA DOS CIRCUITOS DE REFRIGERAÇÃO LADO EXTRAÇÃO.	68
FIGURA 72 - BOCAL DE LIGAÇÃO HASCO Z81/D4XD7 (HASCO, 2021).	69
FIGURA 73 - LÂMINA DE DEFLEXÃO EM ESPIRAL COM ROSCA Z9662/D1XL1 (HASCO, 2021).	70
FIGURA 74 - TAMPÃO HASCO Z9400/D1 (HASCO, 2021).	70
FIGURA 75 - REPRESENTAÇÃO DO ESQUEMA PARA MAQUINAGEM DAS CAIXAS DE ALOJAMENTO DOS O-RINGS HASCO Z98/D1xD2 (HASCO, 2021).	71
FIGURA 76 - REPRESENTAÇÃO DOS O-RINGS NA LIGAÇÃO DOS CIRCUITOS DE ÁGUAS, DETALHES (B) E (C) ANÉIS Z98/10X2, DETALHE (D) MOSTRA UMA VISTA EM CORTE DO ANEL Z98/63X3.	71
FIGURA 77 - CIRCUITOS DE ÁGUA E ELEMENTOS QUE COMPÕEM O SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO.	72
FIGURA 78- ILUSTRAÇÃO DE TODO O SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO BEM COMO AS PLACAS DA CAVIDADE E DA BUCHA PARA O MOLDE EM DESENVOLVIMENTO.	73
FIGURA 79 - IDENTIFICAÇÃO DAS NUMERAÇÕES DE ENTRADA E SAÍDA DE CADA CIRCUITO PARA A PLACA DAS CAVIDADES E PARA A PLACA DAS BUCHAS, DO MOLDE PORTA-CANETAS.	73

FIGURA 80 - REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA DE EXTRAÇÃO DOS ALIMENTADORES E DO JITO: PINO RETENTOR (1), CASQUILHO GUIA DO PINO RETENTOR (2) E CONJUNTO EXTRATOR DO ALIMENTADOR E JITO (3).....	75
FIGURA 81 - REPRESENTAÇÃO DA DIVISÃO DO SISTEMA DE EXTRAÇÃO (HARADA, 2004)....	77
FIGURA 82 - REPRESENTAÇÃO DE TODOS OS ELEMENTOS DO SISTEMA DE EXTRAÇÃO POR PLACA IMPULSIONADORA OU EXTRATORA PARA O MOLDE PORTA-CANETAS.	77
FIGURA 83 - PINO GUIA MISUMI GPJL D - L - N (CORPORATION MISUMI, 2015).....	78
FIGURA 84 - CASQUILHO DA PLACA DA CAVIDADE MISUMI GBAM D - L (CORPORATION MISUMI, 2015).....	78
FIGURA 85 - CASQUILHO GUIA MISUMI GBBM D - L (CORPORATION MISUMI, 2015).	78
FIGURA 86 - PINO DE RETORNO MISUMI RP4TLM D - L - M (CORPORATION MISUMI, 2015)....	79
FIGURA 87 - REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA DE AR COMPRIMIDO, QUE AUXILIA NA EXTRAÇÃO DAS PEÇAS.	79
FIGURA 88 - VÁLVULA PNEUMÁTICA HASCO Z4911/D1 X D2 (HASCO, 2021).	80
FIGURA 89 - REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA DE EXTRAÇÃO ACIONADO.....	80
FIGURA 90 - REPRESENTAÇÃO DO OLHAL HASCO Z710/D1 PARA ELEVAÇÃO (HASCO, 2021).	81
FIGURA 91 - REPRESENTAÇÃO DOS OLHAIS E DA BARRA DE BLOQUEIO OU SEGURANÇA DO MOLDE DESENVOLVIDO.....	82
FIGURA 92 - REPRESENTAÇÃO DO MODELO 3D COM OS ESBOÇOS DOS CIRCUITOS DE ÁGUA.	84
FIGURA 93 - REPRESENTAÇÃO DO LOCAL DA INJEÇÃO.	85
FIGURA 94 - REPRESENTAÇÃO DA MALHA NAS PEÇAS E NO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO. ...	86
FIGURA 95 - REPRESENTAÇÃO DA CONVERGÊNCIA DA MALHA.	88
FIGURA 96 - CORRELAÇÃO DA PRESSÃO DE INJEÇÃO VS TEMPO DE CPU COM O TAMANHO DOS ELEMENTOS DA MALHA.	88
FIGURA 97 - CORRELAÇÃO DO TEMPO DE PREENCHIMENTO VS TEMPO DE CPU COM O TAMANHO DOS ELEMENTOS DA MALHA.	89
FIGURA 98 - CORRELAÇÃO DA MASSA VS TEMPO DE CPU COM O TAMANHO DOS ELEMENTOS DA MALHA.	89
FIGURA 99 - REPRESENTAÇÃO DA MALHA NO MOLDE, PEÇA E CANAIS DE REFRIGERAÇÕES.	90
FIGURA 100 - REPRESENTAÇÃO DO MOLDE VIRTUAL PARA SIMULAÇÕES.	90
FIGURA 101 - DEFINIÇÃO DO MATERIAL QUE IRÁ SER INJETADO.	91
FIGURA 102 - DEFINIÇÃO DO FLUÍDO DE REFRIGERAÇÃO.	92
FIGURA 103 - DEFINIÇÃO DO MATERIAL DO MOLDE.	92
FIGURA 104 - PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÕES DO MÓDULO DE PREENCHIMENTO.	94
FIGURA 105 - PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÕES NO MÓDULO DE COMPACTAÇÃO.....	94
FIGURA 106 - PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÕES NO MÓDULO DE EMPENAMENTO.	95
FIGURA 107 - PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÕES NO MÓDULO DE ARREFECIMENTO.	95
FIGURA 108 - INDICAÇÃO PARA A DIREÇÃO DE ABERTURA E FECHO DO MOLDE.....	96
FIGURA 109 - PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÕES DA CONDIÇÃO DE FRONTEIRA REFERENTE A ENTRADA DE ÁGUA.	97
FIGURA 110 - REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS REFERENTE AO TEMPO DE PREENCHIMENTO.	98
FIGURA 111 - REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS REFERENTE A PRESSÃO AO FINAL DO PREENCHIMENTO.	99
FIGURA 112 - REPRESENTAÇÃO DO DIAGRAMA DA TENSÃO DE CORTE APLICADA AO LONGO DE UMA PAREDE (SOLIDWORKS, 2019).	100
FIGURA 113 - REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS REFERENTES A TENSÃO DE CORTE.	101

FIGURA 114 - REPRESENTAÇÃO DO DIAGRAMA DA TAXA DE CORTE DENTRO DE UMA PAREDE DA CAVIDADE (SOLIDWORKS, 2019).	102
FIGURA 115 - REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS REFERENTES A TAXA DE CORTE.	102
FIGURA 116 - REPRESENTAÇÃO DOS LOCAIS DE APRISIONAMENTO DE AR NAS PEÇAS. ...	103
FIGURA 117 - REPRESENTAÇÃO DOS LOCAIS DAS LINHAS DE SOLDADURAS NAS PEÇAS.	104
FIGURA 118 - REPRESENTAÇÃO DA VARIAÇÃO DE PRESSÃO DE INJEÇÃO <i>VERSUS</i> TEMPO.	104
FIGURA 119 - REPRESENTAÇÃO DA VARIAÇÃO DA FORÇA DE FECHO <i>VERSUS</i> TEMPO.	105
FIGURA 120 - REPRESENTAÇÃO DO ARREFECIMENTO DAS PEÇAS.	106
FIGURA 121 - REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS REFERENTES AOS “RECHUPES”.	107
FIGURA 122 - REPRESENTAÇÃO DO DIAGRAMA DE TEMPOS DE CADA ETAPA DO CICLO DE MOLDAGEM POR INJEÇÃO DO MOLDE DESENVOLVIDO.	108
FIGURA 123 - REPRESENTAÇÃO DO MOLDE FECHADO.	109
FIGURA 124 - REPRESENTAÇÃO DA PRIMEIRA ABERTURA MOLDE.	110
FIGURA 125 - REPRESENTAÇÃO DA SEGUNDA ABERTURA DO MOLDE.	110
FIGURA 126 - REPRESENTAÇÃO DA TERCEIRA ABERTURA DO MOLDE.	111
FIGURA 127 - REPRESENTAÇÃO DA ABERTURA DO SISTEMA DE EXTRAÇÃO.	111

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - PROPRIEDADES DO POLIPROPILENO PP (CAETANO, 2021).	6
TABELA 2 - PARÂMETROS DE PROCESSAMENTO DO PP MOPLN HP500N.....	7
TABELA 3- PRINCIPAIS FUNÇÕES DOS COMPONENTES DE UM MOLDE DE INJEÇÃO DE 3 PLACAS LADO FIXO.	39
TABELA 4 - FUNÇÕES DOS PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM MOLDE DE INJEÇÃO DE 3 PLACAS LADO MÓVEL (CONTINUAÇÃO).....	40
TABELA 5 - ANÁLISE DA CONVERGÊNCIA DA MALHA SÓLIDA.	87

ABREVIATURAS

CAD - Desenho Assistido por Computador (*Computer Aided Design*)

CAE - Cálculo Assistido por Computador (*Computer Aided Engineering*)

CAM - Fabrico Assistido por Computador (*Computer Aided Manufacturing*)

CENTIMFE - Centro Tecnológico da Indústria de Moldes, Ferramentas Especiais e Plásticos

CNC - Comando Numérico Computorizado

DEM - Departamento de Engenharia Mecânica

ISEC - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

PP – Polipropileno

1 - Introdução

Atualmente, para qualquer lado que se olhe, certamente verá coisas de plástico. Essas peças, objetos e produtos vêm sendo produzidos há muito tempo e existem várias formas de os fabricar tais como: extrusão, termoformação por vácuo, moldagem por sopro, moldagem por injeção, etc. A decisão de escolher um método ou outro é determinada por diversos fatores, tais como as dimensões da peça, complexidade geométrica, material com o qual se deseja fabricar ou mesmo com as propriedades finais do produto, ou, em último caso, pelo próprio produto. A produção de peças poliméricas tem vindo a ser desenvolvida nas últimas décadas e os fabricantes têm reunido conhecimentos teóricos e práticos, ao longo do tempo, para produzir peças com rapidez e eficiência.

Para este projeto, foi escolhida a moldação de injeção de termoplásticos, pois revela-se como um dos principais processos de transformação de polímeros devido a sua grande versatilidade e que envolve a injeção de um plástico fundido num espaço do molde de injeção designado por zona moldante. O processo de desenvolvimento de um molde é muito criativo e ao mesmo tempo complexo, pois através da engenharia é possível transformar ideias em peças ou objetos reais, proporcionando desta forma uma grande aplicabilidade em peças poliméricas para aplicação industrial (ramo automobilístico, eletrónico, etc.) e para aplicações de uso comum ou doméstico, tais como brinquedos e utensílios de cozinha, entre outros.

No curso de Licenciatura de Engenharia Mecânica (DEM) do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC) o tema da moldação por injeção é abordado de forma indireta em diversas unidades curriculares, existindo, no entanto, uma unidade curricular no terceiro ano do curso dedicada especificamente ao fabrico de moldes. Nessa unidade curricular são transmitidos os conhecimentos fundamentais e de base relativos a esta área do conhecimento e com grande implantação na indústria portuguesa. Também no mestrado em Engenharia Mecânica do ISEC já foram realizados alguns trabalhos com a temática de moldes de injeção. No entanto, com o intuito de agregar mais conhecimento a este processo, mostrou-se interessante conhecer a estrutura e funcionamento de um molde de 3 placas com movimentos laterais. Assim, a escolha da peça a considerar produzir com recurso à moldação por injeção foi fundamental, pois é a peça que define quais os sistemas necessários a incluir. Após algumas discussões e visando alguma utilidade para a peça, optou-se em projetar um porta-canetas com algumas geometrias na lateral para que fosse desenvolvido um molde com movimentos laterais. Deste modo, neste projeto serão abordados os diferentes sistemas que tornam possível a moldação da peça desenvolvida e que inclui sistema de contra-saídas e sistema de extração combinada por placa extratora e ar comprimido.

Com a evolução dos materiais plásticos e com soluções mais exigentes para as aplicações, as peças plásticas tornaram-se cada vez mais complexas, e com a melhor qualidade possível. Desta forma, são cada vez mais exigidos recursos de engenharia, projeto de fabrico auxiliados por computador, como o CAD (*Computer Aided Design*), o CAM (*Computer Aided Manufacturing*) para criar e desenvolver os mais diversos tipos de peças e projetos. Os *softwares* onde é possível efetuar a simulação da análise de enchimento de uma cavidade, estão em constante evolução, tornando-se um pré-requisito neste mercado global e competitivo de fabrico de moldes.

1.1 - Objetivos

O objetivo deste projeto consiste no desenvolvimento de um molde de injeção que deve ir para além dos conhecimentos de base lecionados no meio académico, recorrendo por isso a sistemas de funcionamento mais complexos, nomeadamente, incluir sistemas de libertação de contra-saídas. O processo de projeto é um conhecimento muito almejado para o autor deste trabalho, uma vez que este possui uma extensa experiência profissional no Brasil e em Portugal no fabrico de componentes mecânicos com larga experiência na área de programação, maquinaria de peças para vários fins e de operar vários tipos de máquinas ferramentas manuais e CNC. Desta forma, este trabalho é uma mais-valia para aplicar o conhecimento técnico que possui e uma oportunidade de se qualificar na área de desenvolvimento de projeto de molde.

1.2 - Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em 5 capítulos, os quais abordam os seguintes temas:

Capítulo 1 - Descreve o contexto do trabalho, designam-se os objetivos que basearam sua realização e apresenta-se também a estrutura do trabalho;

Capítulo 2 - São apresentados o desenho e uma análise do componente selecionado, os sistemas a incluir no molde e realizado o anteprojecto do molde, o que estabelece as condições iniciais para continuar o projeto do molde;

Capítulo 3 - É definida a estrutura do molde e de todos os sistemas e elementos que o compõe;

Capítulo 4 - O desenvolvimento dos sistemas que compõem o molde, são verificados e validados através das simulações do *software*;

Capítulo 5 - Expõem-se as principais conclusões deste trabalho e sugestões para trabalhos posteriores.

2 - Análise do componente a produzir e anteprojetado do molde

Para elaborar e desenvolver o porta ferramentas (molde), é necessário efetuar uma análise detalhada ao modelo da peça, a fim de solucionar possíveis problemas nas etapas de produção do molde, na injeção da peça ou para melhorar a capacidade de produção do molde. Se necessário realizar modificações no modelo para solucionar tais problemas. A geometria das peças a serem injetadas devem preferencialmente ser projetadas com a espessura das paredes uniforme e sempre que possível evitar peças maciças ou de paredes grossas, pois seu arrefecimento não é uniforme o que pode gerar defeitos, como por exemplo o rechupe (depressão na superfície da peça por falta de preenchimento completa da cavidade por parte do polímero aquando da injeção e posterior solidificação). Assim, se a geometria da peça possuir alterações bruscas na espessura das paredes da peça a geometria da moldação deverá ser suavizada, de forma a evitar defeitos na moldação da peça. Deste modo, as espessuras das paredes estão diretamente relacionadas com a boa aparência, peso, resistência mecânica e custos finais do produto.

2.1 - Geometria e material do componente

A peça elaborada para este trabalho é um porta-canetas, representada na Figura 1, que possui a espessura das paredes uniforme de 2,5 mm, um comprimento de 100,5 mm e um quadrado na parte superior com 70,5 mm. Os cantos foram suavizados com inclusão de raios superiores a 2 mm, exceto na parte superior onde foi decisão de existir canto vivo devido ao facto de ser no plano de partição entre a bucha e a cavidade.



Figura 1 - Geometria da peça a ser injetada.

Segundo Malloy (2010), os ângulos de inclinação são adicionados para facilitar a desmoldagem ou extração da peça do molde, pois a peça tende a ficar presa na bucha quando o molde abre devido à contração do material, sendo essa prisão causada pela pressão de contato e forças de atrito normais entre a peça e a bucha. Por outro lado, a contração do material através da espessura da parede tende a puxar a peça, fazendo a sua separação da cavidade. A inclusão de uma inclinação ajuda na extração da peça pois, para além de evitar que surjam arranhões ou abrasão nas superfícies externas (cavidades) e nas paredes laterais da peça, quando o molde se abre, elimina o atrito deslizante e danos a peça no instante inicial da abertura do molde e facilita o movimento do ar para compensar efeitos de vácuo quando o molde abre.

Os ângulos de inclinação típicos da cavidade variam de uma fração de um grau a vários graus, sendo definidos pelos parâmetros tais como: profundidade da cavidade, rigidez do material, qualidade da superfície, rugosidade da superfície do molde e contração do material. Ângulos grandes irão melhorar ainda mais as características de libertação da peça, contudo, esses ângulos começam a ter um efeito negativo na forma do produto. Caso o ângulo da peça seja demasiado pequeno, a extração da peça torna-se difícil. Sendo assim, o aumento da inclinação das paredes da peça reduz a força que o sistema de extração terá de exercer no momento da abertura do molde pois permite simplificar esse sistema, reduzindo por um lado os elementos que são necessários incluir no molde e por outro reduzir o tempo de ciclo.

A geometria da peça a ser injetada foi elaborada considerando que o ângulo de inclinação seria de 3 graus nas paredes laterais, pois esse valor não afetaria a sua aplicabilidade e facilitava a extração da peça da cavidade pois, irá exigir um menor esforço do sistema de extração. Para além da inclinação que foi colocada na peça, esta possui detalhes numa parede lateral. Esses detalhes incluem por um lado o desenho de uma engrenagem e do texto "ISEC" em que esses elementos são totalmente vazados na espessura da parede da peça e por outro lado a inclusão do texto "ENGENHARIA MECÂNICA" em alto-relevo, sendo que todos estes detalhes também foram definidos com 3 graus de inclinação com a superfície onde foram desenhados. Desta forma e devido a estas características que foram colocadas na geometria da peça, o molde a ser desenvolvido terá obrigatoriamente que ter movimentos laterais em virtude das contra-saídas que foram induzidas pelos detalhes que foram incluídos na peça. Pode-se afirmar que estes pequenos pormenores geométricos no porta-canetas fez com que o molde a ser projetado se transformasse num molde mais complexo do que no caso de não existirem esses detalhes.

Como já se referiu anteriormente, o produto a ser injetado é um porta-canetas e a escolha do material a ser injetado deve ser feita em função da sua aplicabilidade, estrutura interna, resistência à temperatura, fragilidade, dureza etc. Neste caso, não são necessários grandes requisitos para o uso deste objeto sendo que as principais

características para a escolha do polimérico tem que contemplar bom acabamento e facilidade na moldação. Desta forma, o material escolhido foi o polipropileno (PP), um termoplástico usado em larga escala em objetos do quotidiano de todo o mundo. É um dos polímeros mais versáteis, sendo o mais utilizado na indústria mundial e as suas características são as seguintes (Rosato, 2000):

- Leve;
- Resistente ao calor;
- Boa dureza;
- Brilho de superfície;
- Boa resistência a manchas;
- Boa Rigidez;
- Resistência química;
- Estabilidade dimensional.

Em termos de desvantagens, pode-se dizer que apresenta sensibilidade aos raios ultravioletas, ocorrência de baixa resistência a variação brusca da temperatura, o que inviabiliza o seu uso na construção civil e em outros segmentos da engenharia, além de apresentar pouca resistência térmica acima de 90°C e abaixo de 0°C também apresenta problemas com a abrasão e reação com agentes oxidantes (Neuplast, 2020). Na Tabela 1, apresentam-se algumas das propriedades do polímero PP.

Tabela 1 - Propriedades do polipropileno PP (Caetano, 2021).

Propriedades	Valores
Densidade (g / cm ³)	0,89 - 0,93
Velocidade de fluxo (g/10 min)	0,27 - 50
Tensão de rotura, MPa	25 - 40
Alongamento na rotura, %	1,5 - 600
Dureza Rockwell	R80 - R110
Resistência ao impacto (Notch Izod), J/m	5,3 - 100
Absorção de água (24 horas), %	0,01 - 0,03
Coefficiente de fricção	0,1 - 0,3
Temperatura máxima de serviço, (°C)	120

Atendendo que existem muitas empresas mundiais que comercializam o polipropileno, escolheu-se o material da empresa Basell, que oferece um tipo de polipropileno ideal para este tipo de objeto, o Moplen HP500N. Este polipropileno é um homopolímero que apresenta bom fluxo, boa rigidez, baixa retenção de humidade e é muito utilizado para aplicações de moldação por injeção para uso geral.

Para as simulações computacionais, os parâmetros de processamento utilizados para o polímero Moplen HP500N são os que se apresentam na Tabela 2, sendo que os valores apresentados foram retirados da biblioteca de materiais do Autodesk Inventor® 2021.

Tabela 2 - Parâmetros de processamento do PP Moplen HP500N.

Parâmetros de Processamento PP Moplen HP500N	Valores recomendados	Valores utilizados
Temperatura da massa fundida (°C)	220 - 250	235
Temperatura do molde (°C)	20 - 50	35
Temperatura máxima da massa fundida (°C)	-	290
Temperatura de extração (°C)	-	103
Taxa de fluxo de massa fundida (MFR) (230 ° C / 2,16 kg) (g/10 min)	-	12
Densidade da massa fundida (g / cm ³)	-	0.72891
Densidade da massa sólida (g / cm ³)	-	0.91252
Contração (%)	0.99 - 1.72	1.35

2.2 - Relação entre componente a injetar e sistemas a incluir no molde

Como foi referido anteriormente, a geometria do componente define quais tipos de sistemas que devem ser incluídos no molde de modo a ser possível realizar a moldação da peça. Sendo assim, para a moldação do porta-canetas será necessário incluir alguns sistemas no molde para ser possível fazer a extração, tais como:

- Sistema de movimentos laterais (contra-saída);
- Sistema de extração combinada com placa extratora e ar comprimido.

2.2.1 - Sistema de movimentos laterais

O sistema de movimentos laterais (contra-saídas) usa-se muito em moldes para a produção de peças onde é necessário efetuar rasgos, furos e outros detalhes externos ou internos no componente injetado. Esses detalhes seriam impossíveis de serem produzidos sem a utilização da contra-saída, pois os detalhes são feitos no sentido transversal da abertura do molde, e tem que ser libertados antes da extração da peça (Cruz, 2002). Os sistemas de movimentos laterais possuem uma quantidade imensa de formas, aplicações e são inúmeros os conceitos utilizados. Como simplificação, seguidamente aborda-se somente o tipo de contra-saída que será utilizado neste trabalho.

2.2.1.1 - Contra-saída com acionamento por pino acionador

São os pinos que fazem o avanço e o retorno da contra-saída e existem basicamente dois tipos:

- A própria contra-saída é maquinada com a geometria do componente (Figura 2);
- A contra-saída funciona, como intermediárias para fixar posições, pinos, que por sua vez, estes também são geometrias necessárias para o componente (Figura 3).

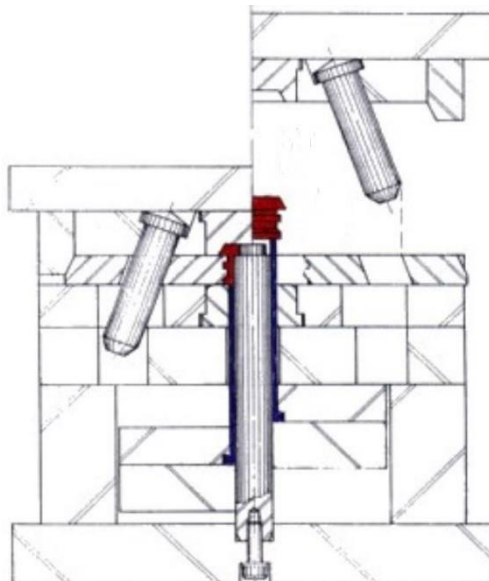


Figura 2 - Acionamento por pino e geometria na própria contra-saída (Cruz, 2002).

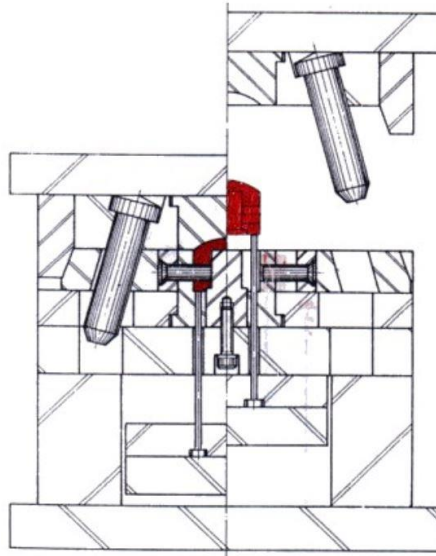


Figura 3 - Acionamento por pino e contra-saídas a funcionar como intermediária (**Cruz, 2002**).

2.2.1.2 - Contra-saída com acionamento por pinos, detalhes internos

Este tipo de acionamento é usado em componentes que tem detalhes internos e não é possível usar extração por pinças ou guias inclinadas. É normalmente usada em moldes relativamente grandes e que tenha bastante espaço para localização da contra-saída. Os pinos acionadores da contra-saída são posicionados com inclinações ao contrário das inclinações normais tal como se apresenta na Figura 4.

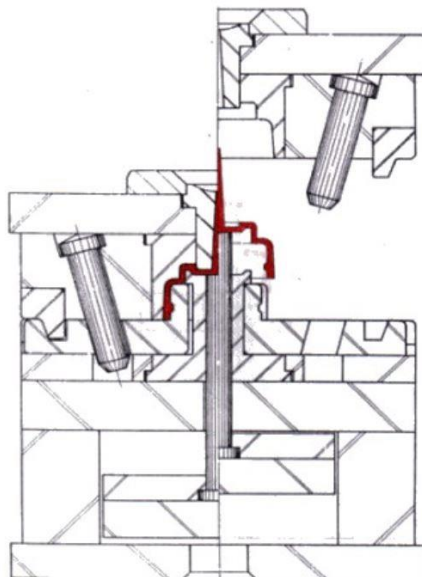


Figura 4 - Exemplo da contra-saídas para detalhes internos (**Cruz, 2002**).

2.2.1.3 - Cunha trava da contra-sáida

A cunha tem a função de suportar a pressão de injeção do polímero no molde com sistema de contra-sáida, para além de proporcionar ao mesmo tempo um bom fecho das cavidades ou núcleos.

Na Figura 5, apresentam-se os diferentes exemplos das cunhas trava da contra-sáida. O exemplo 1 e 2 da figura ilustra os tipos de cunhas travas de contra-sáidas mais utilizadas na maioria dos moldes que possuem movimento lateral. O exemplo 3 representa o outro tipo de cunha trava de contra-sáidas sendo que, este tipo não é muito utilizada por apresentar um sistema de fixação mais frágil, podendo não suportar a pressão de injeção, sendo por isso somente usado em casos especiais ou moldes com baixa pressão de injeção (Cruz, 2002).

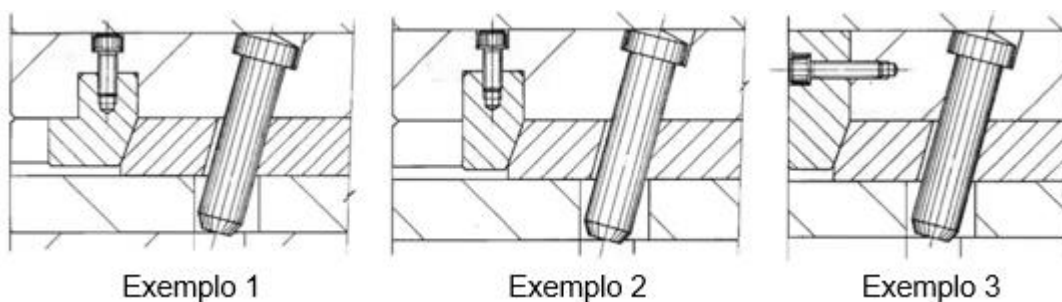


Figura 5 - Exemplo das cunhas trava das contra-sáidas (Cruz, 2002).

Em relação à fixação de placas de ajuste na cunha trava, o projetista deve apresentar, sempre que possível, soluções eficientes para simplificar a manutenção do molde e o trabalho dos técnicos responsáveis pelo ajustamento e montagem dos mecanismos do molde. Segundo CENTIMFE (2003), existem várias soluções para a fixação das placas de ajuste sendo que algumas soluções apresentam vantagens e desvantagens. A solução A (Figura 6) é a mais desvantajosa, aplicando-se em situações de cavidades que possuem muitos espaços, onde não existe qualquer obstrução na manipulação das ferramentas de aperto convencionais. As placas de ajuste apresentam uma espessura mais reduzida e a roscagem é feita de forma inclinada, de dentro para fora, na placa das cavidades ou nos blocos de encosto.

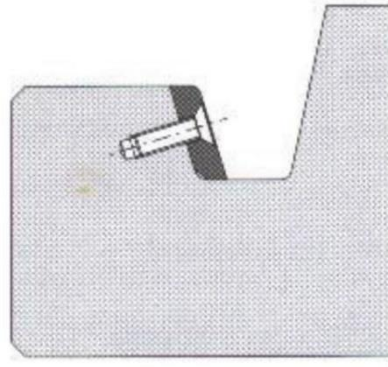


Figura 6 - Solução A de ajustamento fixação de placas de ajuste na cunha trava (CENTIMFE, 2003).

A solução B (Figura 7), é mais adequada sendo a furação feita de fora para dentro e a roscagem na placa de ajuste, que por sua vez são mais espessas. Não há qualquer obstrução no uso das ferramentas de aperto, sendo que o manuseio é feito por fora, nas faces laterais da placa do molde. A distância (L), quando é muito grande, dificulta a furação, pois deverá acentuar os desvios da broca.

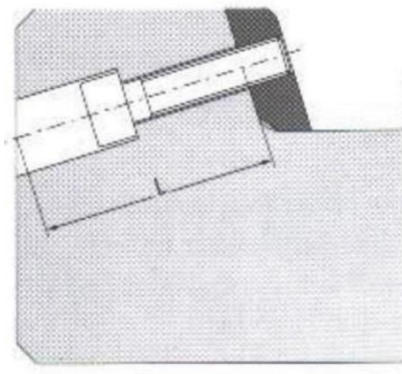


Figura 7 - Solução B de ajustamento fixação de placas de ajuste na cunha trava (CENTIMFE, 2003).

Já a solução C (Figura 8), aplica-se em moldes de média e grande dimensão, sendo uma forma vantajosa de conceber um mecanismo mais robusto e eficiente, levando em consideração a manutenção e reparação dos componentes sujeitos a maior desgaste. Esta solução tem como desvantagem, o reajustamento dos elementos (CENTIMFE, 2003).

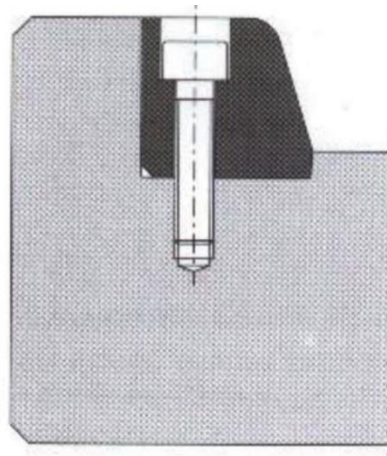


Figura 8 - Solução C de ajustamento fixação de placas de ajuste na cunha trava (CENTIMFE, 2003).

Por último, temos a solução D (Figura 9) que é a mais eficiente ao nível da confiabilidade e manutenção em relação a solução C, pois permite um fácil reajuste.

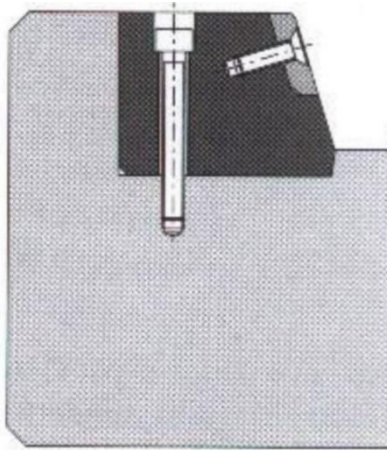


Figura 9 - Solução D de ajustamento fixação de placas de ajuste na cunha trava (CENTIMFE, 2003).

2.2.1.4 - Inclinação do pino guia e cunha trava

Em relação à inclinação do pino guia, este deverá ter uma inclinação entre 10 e 25 graus. Quanto maior for a inclinação da guia, maior é o deslocamento lateral para uma determinada abertura do molde, mas a força que a guia está sujeita também é maior. Para a inclinação da cunha, que é onde se localiza a zona de ajuste é necessário acrescentar uma inclinação de mais 2 a 3 graus relativamente à inclinação do pino guia (CENTIMFE, 2003). A função do pino inclinado é de avançar e recuar a contra-

saída e não de suportar a pressão de injeção. Estas inclinações estão representadas na Figura 10.

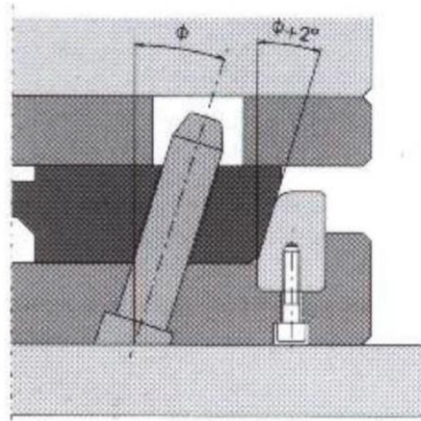


Figura 10 - Inclinação do pino guia e zona de ajuste da cunha (CENTIMFE, 2003).

2.2.1.5 - Cálculos para sistema de movimentos laterais com pinos guias

Para calcular o comprimento (L) que é necessário para os pinos guias, é obrigatório saber qual o curso do movimento (M), da inclinação do pino guia (ϕ) e da folga para o elemento móvel (c), representado na Figura 11. Este cálculo fornece o comprimento (L) útil para o deslocamento da contra-saída, para obter o comprimento total do pino guia deve-se acrescentar o comprimento que fica embutido na placa do molde e do chanfro na ponta do pino guia (CENTIMFE, 2003).

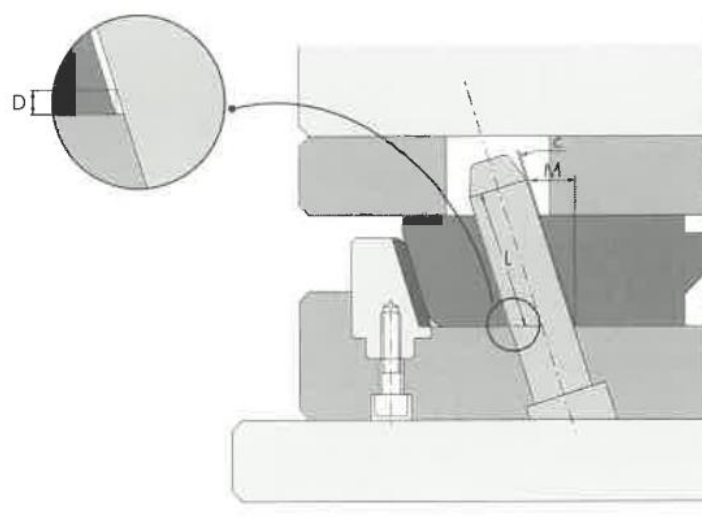


Figura 11 - Comprimento do pino guia (CENTIMFE, 2003).

Sendo assim, comprimento (L) pode ser calculado por:

$$L = \frac{M}{\sin \varnothing} + \frac{2 \times c}{\sin(2 \times \varnothing)} \quad (1)$$

Em que:

- L - Comprimento útil do pino guia [mm];
- M - Deslocamento necessário para libertar o componente [mm];
- \varnothing - Ângulo de inclinação do pino guia [°];
- C - Folga entre o pino e o furo na contra-saída [mm].

Calculado o comprimento necessário do pino guia para o acionamento do elemento móvel, escolhe-se o pino guia (normalizado) com o comprimento imediatamente superior. Para calcular o deslocamento real do elemento móvel provocado pelo pino guia escolhido, sendo importante para a fixação dos retentores do movimento, pode ser calculada através da equação:

$$M = L \sin \varnothing - \frac{c}{\cos \varnothing} \quad (2)$$

O atraso do movimento do elemento móvel, em relação à abertura do molde, pode ser calculado por:

$$D = \frac{c}{\cos \varnothing} \quad (3)$$

Este atraso do movimento do elemento móvel, em relação a abertura do molde é feita através da folga entre o pino guia inclinado e o furo no elemento móvel. Este atraso é muito importante existir para facilitar a extração e permitir que a cunha de trava se afaste e não fique em atrito durante o movimento, contribuindo assim para um menor desgaste.

2.2.1.6 - Exemplos de fixação dos pinos guias e das placas de ajustes

A fixação do pino guia pode ser realizada de várias maneiras. Na Figura 12 exemplifica-se o pino guia encastrado entre placas do molde com cabeça facetada.

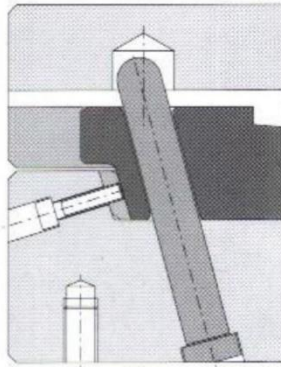


Figura 12 - Pino guia encastrado entre placas com cabeça facetada (CENTIMFE, 2003).

Na Figura 13 exemplifica-se o pino guia encastrado entre placas do molde com cabeça facetada e com elemento distanciador.

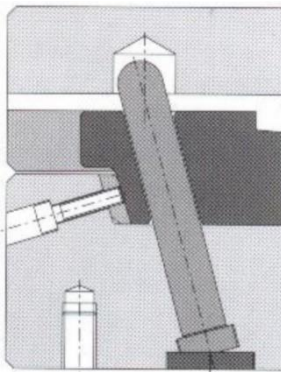


Figura 13 - Pino guia encastrado entre placas do molde com cabeça facetada e com elemento distanciador (CENTIMFE, 2003).

Já na Figura 14 o pino guia é roscado na placa, situações de chapas muito espessas. O topo do pino guia poderá ter um sextavado interior ou exterior, dependendo do seu diâmetro.

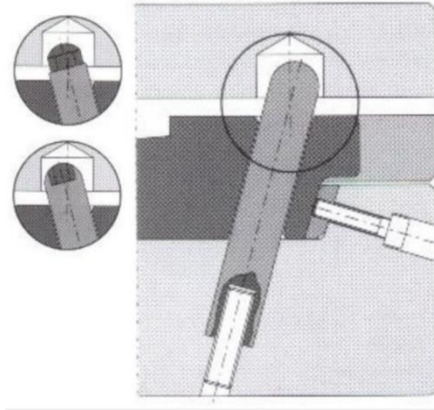


Figura 14 - Pino guia com perno roscado na placa (CENTIMFE, 2003).

Por último, na Figura 15 o pino guia é encastrado com suporte de fixação, acoplado por parafusos na placa e deve ser usado para situações de placas muito espessas.

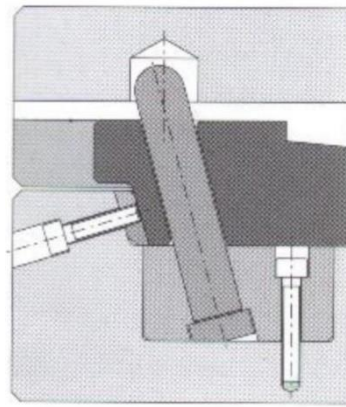


Figura 15 - Pino Guia encastrado com suporte de fixação (CENTIMFE, 2003).

2.2.2 - Sistema de extração combinada com placa extratora e ar comprimido

Este método é cada vez mais utilizado para a desmoldagem de peças profundas como caixas e recipientes, onde os materiais tendem a criar zonas de vácuo entre a peça e a bucha, o que representa um problema durante a sua extração. A utilização do ar comprimido permite eliminar o vácuo e facilitar a extração.

2.2.2.1 - Sistema de extração com placa extratora

A extração por placa é adequada para peças em forma de copo e que possui uma borda estável, nivelada e circunferencial, sendo que a placa fica embutida na base da placa núcleo e completamente em contato com a borda da peça (Harada, 2004). Este tipo de extração assegura uma retirada segura do produto, sendo a mais eficiente para não os danificar e são usadas em moldes de cavidade única e múltipla e consiste em maquinar com um ângulo mínimo de 5 graus e com uma folga mínima de 0.25 mm entre a placa extratora e o núcleo (Macho) (Rosato, 2000). Tal como se apresenta na Figura 16.

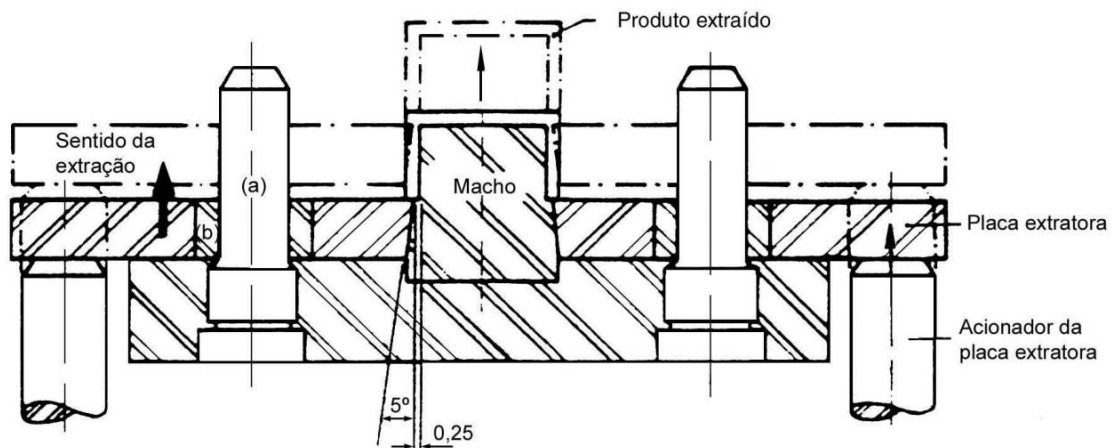


Figura 16 - Sistema de extração com placa extratora (Harada, 2004).

2.2.2.2 - Sistema de extração por ar comprimido

Consiste na introdução de ar comprimido por meio de uma válvula, entre a face do molde e o produto moldado. O ar é introduzido no ponto mais afastado da linha de contato de tal forma que, separe definitivamente a moldagem da parede do molde antes que possa haver escape do ar. Além de fazer uma extração positiva, esse método elimina o vácuo produzido no momento da extração quando a geometria da moldagem é do tipo fechado, removendo-a da placa núcleo (Harada, 2004).

A Figura 17 ilustra uma extração típica de ar, que consiste em um pino tipo válvula que é feito de aço cromo-níquel cementado, temperado e retificado e que é acionado pela introdução do ar comprimido por trás da sua cabeça. O seu retorno é geralmente feito por meio de uma mola de compressão (Harada, 2004).

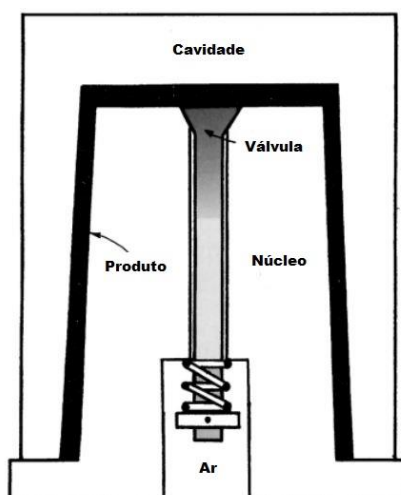


Figura 17 - Sistema de extração por ar comprimido (Rosato, 2000).

Este sistema auxilia a extração de componentes moldados com materiais flexíveis sendo que, o uso unicamente de um aro ou placa extratora pode causar a deformação excessiva da peça, o que pode levar à sua rejeição em termos de qualidade. Apesar da placa extratora distribuir a força uniformemente pela base da moldagem, o efeito do vácuo pode causar a deformação do fundo devido à diferença de pressão que existe entre o exterior e o interior da moldagem (Garcia, 2009).

2.3 - Simulação da injeção para definir o ponto de alimentação

Os componentes plásticos produzidos no passado tinham geometrias simplificadas e com poucos detalhes, mas com a evolução dos materiais plásticos e com soluções mais exigentes para as aplicações, tornaram as peças plásticas mais complexas, sendo inviável realizar a previsão do preenchimento de uma cavidade de forma manual. Dangel (2020) e Malloy (2010) referem que, a simulação de preenchimento da peça antes de projetar o molde é fundamental. É através dessa simulação que se analisa se a localização do ponto de alimentação foi bem definida, pode-se verificar se o polímero fundido flui de maneira uniforme na cavidade, pode-se calcular o tempo de preenchimento, verificar o fluxo do plástico, analisar a confiança do preenchimento, ter previsão de qualidade superficial da peça, identificar os aprisionamentos de ar e perceber se as linhas de soldadura se tornam visíveis. Esta simulação, nos estágios preliminares do desenvolvimento de um projeto de moldes, pode prever problemas associados à localização inadequada do ponto de alimentação nomeadamente, avaliar a moldabilidade da peça entre outros problemas que podem ser resolvidos no

estágio de projeto do componente, resultando em um tempo de desenvolvimento geral mais curto e aumentando qualidade da peça.

Para analisar o preenchimento da peça, foi utilizado o *software* Autodesk Inventor® 2021. No ambiente do *software* e para criar uma simulação de injeção é necessário “Criar projeto de molde”, na guia “Layout do molde” com a operação “Gerar macho/cavidade” e executar o comando “Análise do preenchimento da peça”. Para além desses comandos é necessário definir outros elementos. As etapas necessárias para realizar esta simulação no *software* Autodesk Inventor® 2021 são:

- Selecionar a peça plástica, porta-canetas (Figura 1);
- Verificar a orientação de abertura da peça e se necessário alinhar a posição de abertura com o eixo Z positivo do sistema de coordenada da montagem do molde, ilustrado na Figura 18;
- Selecionar um material polimérico (foi escolhido o PP, como referido anteriormente);
- Definir no mínimo um ponto de alimentação (Figura 19);
- Definir as configurações de processamento, sendo as principais para essa análise a temperatura do molde (35°C) e a temperatura do polimérico fundido (235°C), como apresentado na Tabela 2.



Figura 18 - Orientação da peça para abertura do molde.



Figura 19 - Localização do ponto de alimentação (ponto de injeção).

2.3.1 - Simulações para o tempo de preenchimento e fluxo do plástico

A Figura 20 ilustra o tempo de preenchimento e as cores representam o fluxo do plástico na peça. As regiões com a mesma cor são preenchidas ao mesmo tempo, no início do preenchimento (azul-escuro) e as últimas regiões preenchidas aparecem em vermelho. Se alguma parte da peça ficar sem coloração, significa que essa área não foi preenchida.

Para um resultado positivo do tempo de preenchimento e um fluxo equilibrado, deve-se analisar se todos os caminhos do fluxo atingiram simultaneamente os cantos da peça e terminaram com contornos vermelhos. Para além disso deve-se ainda verificar também se os contornos estão distribuídos de maneira uniforme. O espaço entre os contornos indica a velocidade com que o polímero fluiu, contornos com espaços mais extensos mostram um fluxo rápido, enquanto os contornos com espaços mais reduzidos mostram um preenchimento com o fluxo mais lento (Inventor, 2021).

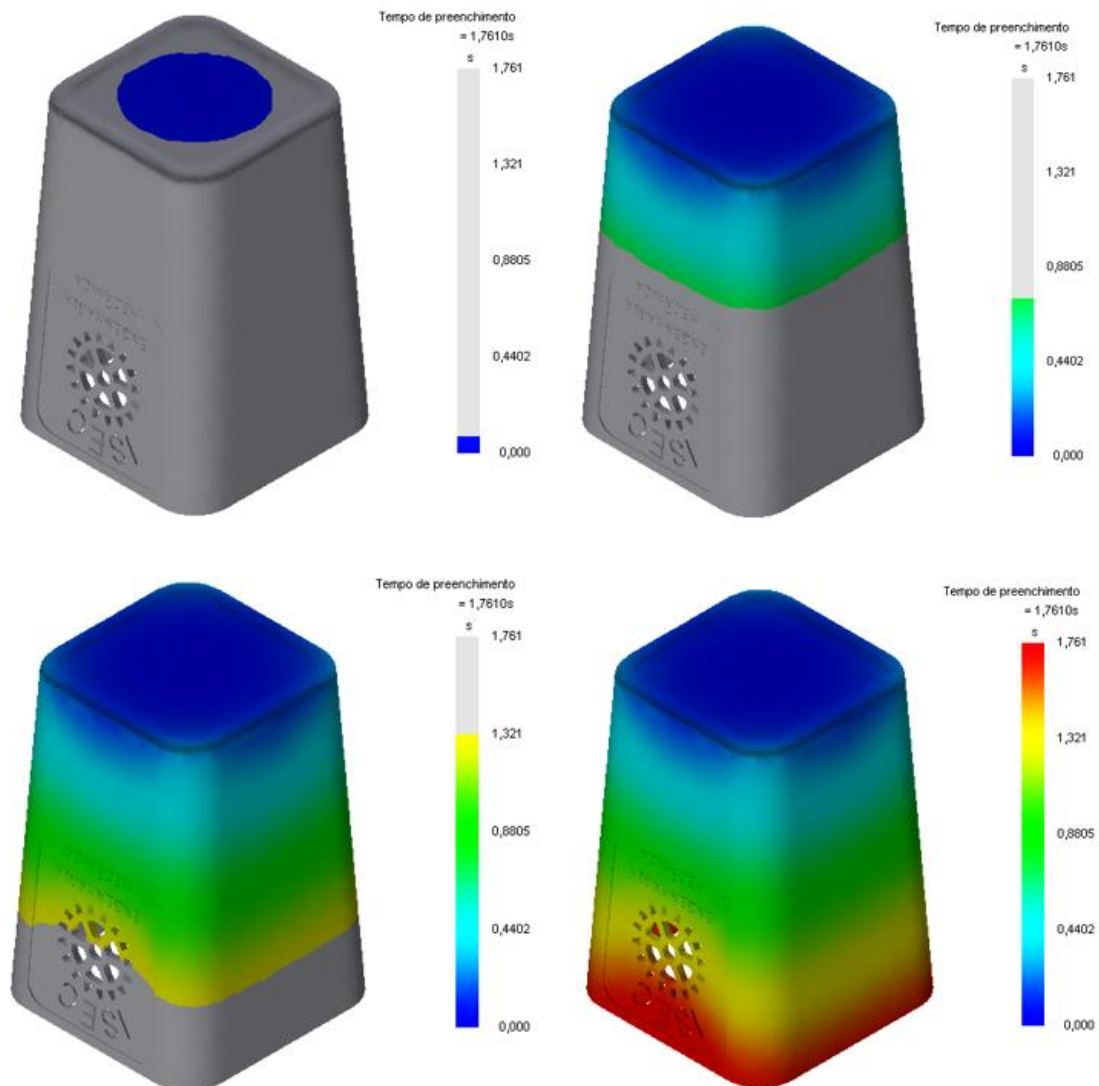


Figura 20 - Simulação do tempo de preenchimento e fluxo do plástico do porta-canetas.

2.3.2 - Simulações da confiança do preenchimento e previsão de qualidade

O resultado da análise para o percentual de confiança do preenchimento e previsão de qualidade da peça determina se é possível moldar uma peça com boa qualidade ou se existe injeção insuficiente. Caso o resultado da simulação indique que existe alguma área da peça que não foi preenchida, é necessário alterar ou o projeto, ou o ponto de localização do preenchimento, ou o polímero selecionado ou ainda os parâmetros de processamento.

Esta análise de confiança do preenchimento realizada através de uma paleta de cores (verde, amarelo e vermelho) para medir a qualidade da peça. A título de exemplo, se

a peça possuir uma cor verde mostra que a mesma pode ser facilmente moldada com uma qualidade aceitável. Se a simulação da peça apresentar cores amareladas indica que pode existir dificuldades em garantir a moldação da peça e poderá existir uma qualidade não aceitável da peça. Se por outro lado, a peça apresentar cores em tons de vermelho, a simulação indica que existirá muita dificuldade em se obter a peça e a probabilidade de se preencher a cavidade da peça é diminuta o que originará uma peça com má qualidade e que a tornará não aceitável em termos de produto final. Caso a peça apresente alguma região a cor translúcida então não será possível preencher a cavidade da peça (Inventor, 2021). A Figura 21 ilustra o resultado da simulação do porta-canetas, onde é possível verificar com um intervalo de confiança de 100% que é possível o preenchimento da totalidade da peça e com uma qualidade aceitável, em virtude de toda a geometria da peça estar com a cor verde.

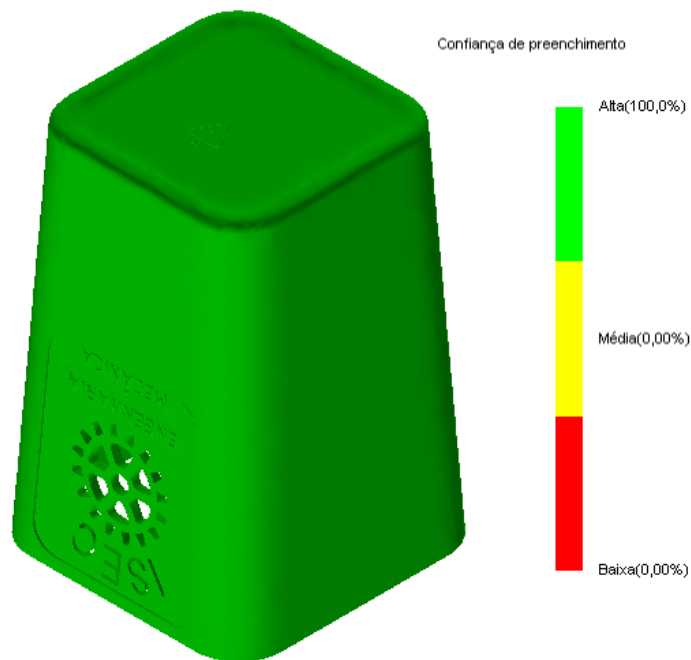


Figura 21 - Resultado da simulação do intervalo de confiança de preenchimento para o porta-canetas.

2.3.3 - Simulação para os aprisionamentos de ar

O ar ou os gases provenientes do processo de enchimento do molde, normalmente ficam presos no molde e conseqüentemente induzem defeitos nas peças em virtude dos fluxos frontais convergentes do processo de injeção. Analisando o resultado da simulação de enchimento da peça é possível identificar as localizações dos

aprisionamentos de ar. A Figura 22 mostra as regiões onde o ar fica aprisionado para o porta-canetas. É possível verificar que, as zonas onde ocorrem mais prisões de ar é nas regiões localizadas no final do preenchimento, assim é nessas regiões que é necessário colocar rasgos na junta de separação entre a bucha e a cavidade (linhas de partição) para que o ar escape durante o processo de enchimento da peça e evitar defeitos ou má qualidade na peça.

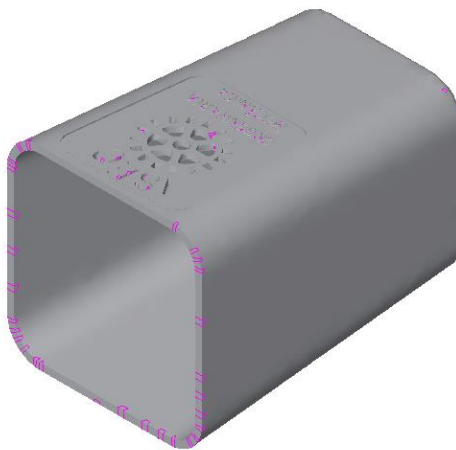


Figura 22 - Resultado da simulação onde é possível identificar as zonas onde ocorre aprisionamentos de ar.

2.3.4 - Simulação das linhas de soldadura

No resultado de linhas de soldadura, é exibido o ângulo de convergência que ocorre na união das frentes do fluxo do material fundido. As linhas de soldadura ocorrem nas peças obtidas por injeção devido ao facto de a peça ter, ou um furo, ou um entalhe ou alguma característica que obrigue a que o fluxo se divida durante o processo de enchimento. Assim, quando essas frentes se juntam novamente são chamadas de linhas soldadura ou de fusão e em alguns casos origina uma linha leve que pode ser visível na peça.

Se numa simulação de uma peça de engenharia, as linhas de soldadura aparecerem localizadas, por exemplo, em zonas que necessitem elevada resistência mecânica ou até mesmo em zonas que seja necessário garantir uma boa qualidade superficial, é possível alterar a localização do ponto de injeção e proceder a uma nova simulação, onde se pode verificar qual a influência que essa alteração teve nas frentes do fluxo, pois irá existir uma mudança na forma e posição das linhas de soldadura para diferentes regiões da peça. No caso do porta-canetas, a Figura 23 ilustra as linhas de

soldadura que foram geradas na simulação, com a localização do ponto de injeção no centro da parte superior da peça.

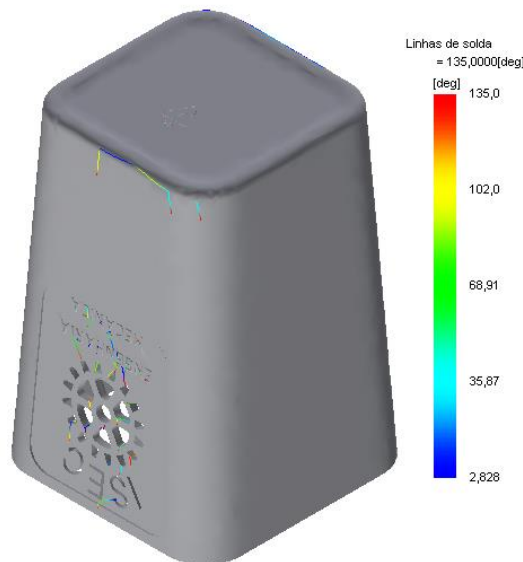


Figura 23 - Resultado das linhas de soldadura, com a localização do ponto de injeção no centro da parte superior do porta-canetas.

2.4 - Desenvolvimento da bucha, cavidade e dos movimentos com guias laterais

2.4.1 - Desenvolvimento dos blocos da bucha e da cavidade

Como já foi referido anteriormente, o processo de desenvolvimento de um molde tem início na criação da bucha (núcleo ou macho) e da cavidade. Como definição muito simplista, pode-se dizer que a bucha irá modelar a parte interna da peça e que a cavidade irá modelar a geometria externa da peça.

Para gerar de forma automática a bucha e a cavidade através do *software* utilizado, são necessárias realizar algumas etapas, antes de executar o comando de operação macho/cavidade. Assim, primeiramente, é necessário definir a contração do polímero, definir as dimensões do bloco da bucha/cavidade, criar superfícies para tapar furos e detalhes vazados na peça e criar a superfície na linha de partição. Seguidamente explica-se de forma simples todo este procedimento por forma a se obter a bucha e a cavidade do porta-canetas.

2.4.1.1 - Contração do polímero

A contração ou “encolhimento” do material plástico irá sempre ocorrer depois de o polímero arrefecer, ou seja, as dimensões iniciais da peça não serão as mesmas depois de a peça arrefecer. Desta forma, tanto a bucha como a cavidade devem ser desenvolvidas com dimensões maiores, levando em conta o coeficiente de contração do polímero que irá ser injetado, de forma a contemplarem essas variações geométricas. Atendendo que o material a injetar é o polipropileno Moplen HP500N e tendo em consideração a Tabela 2, usou-se um coeficiente de contração linear de 1,35%. Sendo assim, o *software* irá de maneira automática aplicar um fator de escala de 1,0135 no modelo 3D da peça e conseqüentemente as dimensões da cavidade e da bucha serão maiores, para compensar essa contração.

2.4.1.2 - Dimensões do bloco da bucha e da cavidade

No que diz respeito à definição das dimensões e ao tipo de bloco de trabalho, é um pré-requisito para gerar os blocos da bucha e cavidade que sejam definidas as dimensões tanto para a bucha como para a cavidade. A Figura 24 mostra as dimensões que foram usadas para a definição da bucha e cavidade do porta-canetas.

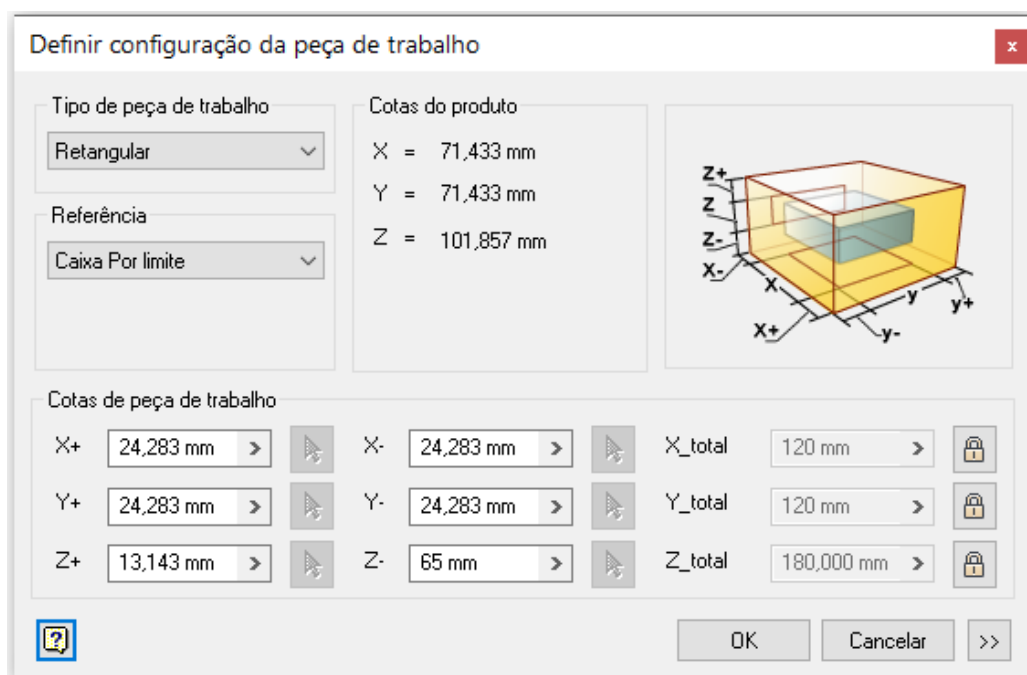


Figura 24 - Dimensões e tipo de bloco de trabalho que foram considerados para a criação da bucha e da cavidade do porta-canetas.

2.4.1.3 - Criação das superfícies para tapar furos e detalhes vazados

Tal como referido anteriormente, para criar a geometria da bucha e da cavidade, a peça não pode conter furos ou detalhes vazados. Sendo assim, é necessário criar uma superfície para tapar os detalhes internos e furos da peça. Estas superfícies foram criadas de forma automática pelo *software*, sendo necessário editar algumas superfícies, trocar o contorno que estava selecionado na face externa para a face interna e criar alguns contornos que não foram reconhecidos para gerar a superfícies. Depois de verificar que todas as geometrias vazadas do porta-canetas foram preenchidas com superfícies o resultado dessa operação é que se apresenta na Figura 25.



Figura 25 - Resultado da criação das superfícies para tapar os furos e as geometrias vazadas do porta-canetas.

2.4.1.4 - Criação da superfície na linha de partição

A operação “*criar superfície de partição*” seleciona de forma manual ou (deteta automaticamente o contorno da peça) para gerar a superfície na linha de partição. O *software* irá criar a superfície de partição de forma automática sendo que, esta superfície define o plano de separação (plano de partição) que irá existir entre o bloco

da bucha e o bloco da cavidade. Na figura seguinte, ilustra-se a criação da referida superfície de partição, que irá ser usada como referência para criar o plano de separação entre o bloco da bucha e da cavidade para o porta-canetas.

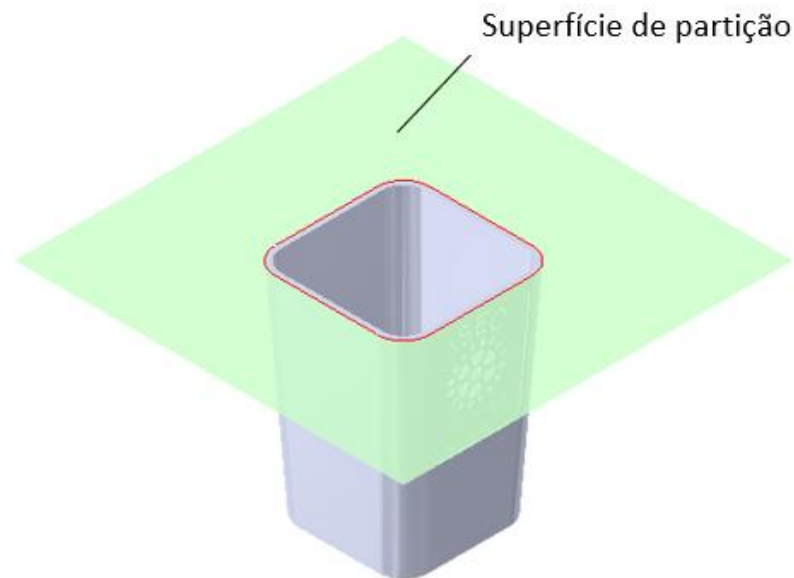


Figura 26 - Visualização da criação da superfície da linha de partição para obtenção dos blocos da bucha e cavidade para o porta-canetas.

2.4.1.5 - Geração dos blocos da bucha e cavidade com a geometria da peça

Depois de concluídos todos os pré-requisitos necessários para criar a bucha e a cavidade, através da operação “*Gerar macho e cavidade*” e do comando “*Visualização/Diagnóstico*”, que avalia a geometria e divide o bloco de trabalho em bucha e cavidade. O resultado desses comandos no *software* é a criação da geometria da bucha e da cavidade tal como se apresenta na Figura 27. Analisando a figura, é possível verificar que a bucha está representada pela cor azul e ficará localizada no lado da extração e a cavidade com a cor verde no lado da injeção.

Na guia “*Diagnóstico da partição*” é exibido uma lista dos problemas detetados aquando da criação da bucha e da cavidade, para além de identificar todas as faces das geometrias nos detalhes da lateral onde foram identificados problemas e indica que é necessário proceder à criação de posição ou inserto lateral. Esta indicação surge pelo facto de que no caso do porta-canetas, e atendendo ao facto de existirem geometrias vazadas numa superfície que está localizada de forma perpendicular à

abertura da bucha e da cavidade denominada como contra-saída, se o *software* não tivesse em consideração essas regiões dificilmente a peça seria desmoldada.

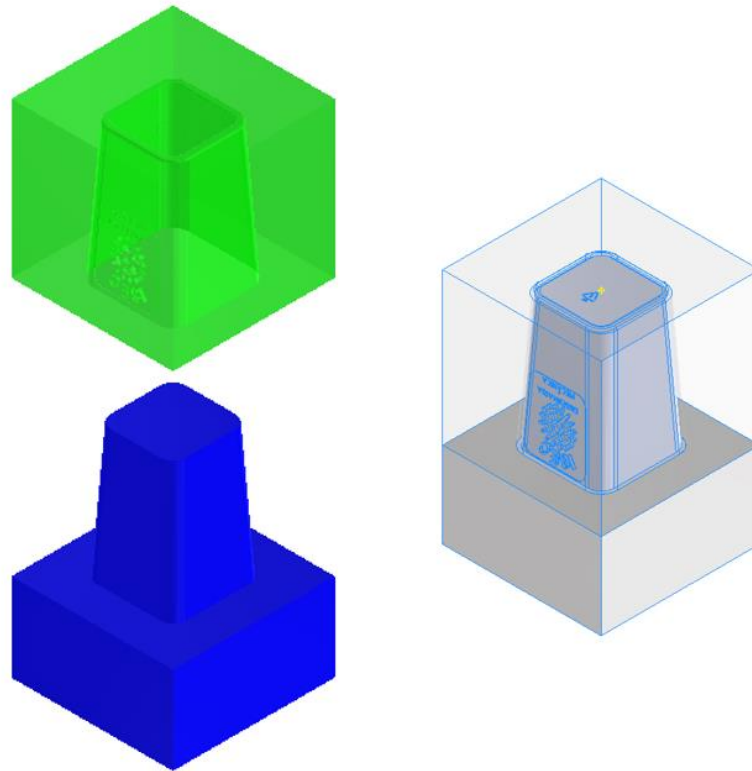


Figura 27 - Resultado da criação dos blocos da bucha e da cavidade para o porta-canetas através do *software* Autodesk Inventor® 2021.

2.4.2 - Movimentos com guias laterais

Como referido anteriormente, as geometrias que ficaram na lateral da cavidade impossibilitam a extração da peça, assim sendo é necessário realizar uma abertura na lateral do bloco da cavidade e implementar uma contra-saída que inclui partes da geometria do componente. Em virtude dessa contra-saída, o molde a desenvolver terá movimentos transversais ao sentido de abertura e fecho sendo caracterizado por um molde com movimentos e guias laterais.

Para criar o postigo com a forma desejada, é necessário fazer um esboço do contorno, selecionando as arestas da geometria lateral para limitar o tamanho do postigo. Esse esboço é feito através do comando “*Esboço manual*” que se localiza na operação “*Gerar macho e cavidade*” no separador “*Inserto*” do *software* Autodesk Inventor® 2021.

É também neste separador e por meio do comando “*Criar insertos*”, que através da seleção do esboço criado e do bloco da cavidade que é possível criar um novo componente com a geometria da peça plástica esculpida, tal como se ilustra a Figura 28 b). A Figura 28 a), mostra os blocos da bucha e da cavidade com o postigo criado a partir do contorno do esboço representado pelas linhas amarelas. Já na Figura 28 c) pode-se observar a criação de um rasgo na cavidade para alojar e fazer com que o inserto deslize criando desta forma o movimento fundamental para que seja possível libertar a peça durante a fase de extração.

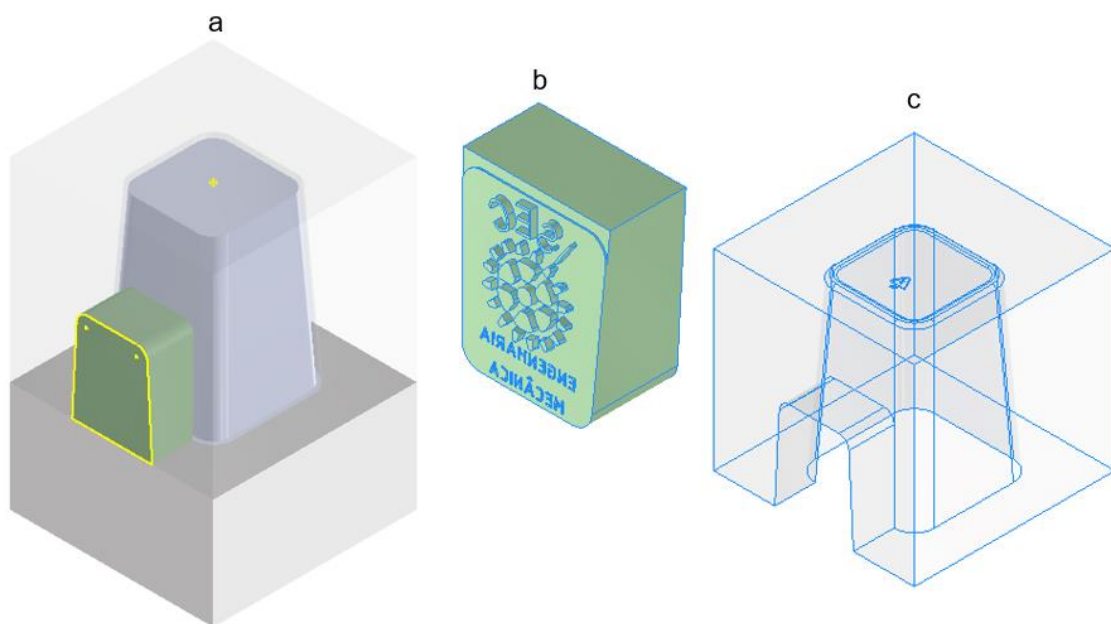


Figura 28 - Representação dos blocos da bucha e da cavidade com o postigo lateral (a), postigo com a geometria lateral da peça (b) e cavidade com o rasgo de encaixe do postigo (c).

2.5 - Número de peças a produzir e disposição no molde

O número de peças a produzir num molde é determinado pelo número de cavidades que esse molde irá ter quando do seu desenvolvimento e está diretamente relacionado com o preço final da peça injetada. Ou seja, quanto mais cavidades existirem, maiores são as dimensões, os custos de fabrico do molde e a força de fecho que terá de ser exercida pela máquina injetora, porém quanto maior o número de cavidades, menor será o preço da peça injetada.

Muitas variáveis tem que ser consideradas para determinar o tamanho do molde, como por exemplo, o custo e a quantidade de peças a produzir num intervalo de tempo, o

tamanho da peça, a relação entre a força de fecho da máquina injetora e o peso da injeção são fatores que limitam o número de cavidades no molde.

Para se desenvolver um molde é necessário conhecer as especificações e capacidades da máquina injetora disponível, para definir o tamanho e o número de cavidades do molde. Por exemplo, se a peça a ser injetada for muito profunda, o volume máximo da máquina injetora pode ser facilmente alcançado. Por outro lado, e como já foi referido anteriormente, o molde possui posição para o movimento lateral que influencia diretamente as dimensões do molde. É necessário espaço para fixar as guias e estas deveram ter espessuras suficientes para dar estabilidade no movimento da contra-saída e ao mesmo tempo garantir que irá suportar a pressão de injeção, caso contrário as duas metades do molde podem ser separadas durante o enchimento do molde caso não exista uma força contrária de maior valor a ser exercida. Esta força de maior valor que terá de ser exercida é designada de força de fecho. A sua função no processo de injeção é garantir que o molde permanece fechado durante a injeção e tem em conta a pressão de injeção e a área total projetada de todas as cavidades, em que se incluem os canais de alimentação. A força de fecho deverá ser ajustada nas máquinas para que estas possam exercerem uma força de 10 a 20% superior à requerida pela moldação. Para se calcular com algum rigor a força de fecho, deve ser em conta o cálculo da distribuição da pressão que ocorre nas cavidades, as estimativas das perdas de pressões que vão ocorrer no cilindro de injeção e a localização do ponto de injeção. No entanto e de uma forma mais simplista a força de fecho para uma qualquer moldação pode ser calculada de forma aproximada através da seguinte equação (CENTIMFE, 2003).

$$F_f = \frac{A_p \times P_m \times N_{cav}}{100 \times 9.81} \quad (4)$$

Em que:

- F_f - Força de fecho [ton];
- A_p - Área projetada da moldação [cm²];
- P_m - Pressão média de injeção durante a fase de enchimento [bar] (cerca de 1/3 a 1/5 da pressão de injeção) (CENTIMFE, 2003);
- N_{cav} - Número de cavidades [adm.].

Tendo em conta a pressão média de injeção do polímero escolhido se encontra entre os valores de 800 a 1400 bar (CENTIMFE, 2003), a pressão média de injeção que se considerou em termos de cálculos foi de 900 bar. Relativamente à área projetada da peça, a mesma é formada por um quadrado de 70,5 mm de dimensão em que nos cantos existem raios de 12 mm, desta forma a área projetada da peça é de 48,47 cm².

Quanto ao número de cavidades com que o molde irá ser desenvolvido, foi considerada que seriam 2 cavidades. Esta consideração surgiu após serem feitas algumas análises onde se constatou que se colocasse mais cavidades o molde teria dimensões muito elevadas, devido a espaços necessários para fixar os elementos da contra-saída, o que originaria que a máquina injetora também teria de ser de grande dimensão. Usando a equação (4) com as dimensões anteriores e os pressupostos anteriores o resultado do cálculo da força de fecho é apresentado na equação (5).

$$F_f = \frac{48,47 \times \left(900 \times \frac{1}{4}\right) \times 2}{100 \times 9,81} = 22,23 \text{ ton} \quad (5)$$

O *software* Autodesk Inventor® 2021 apresentou uma força de fecho de 64,29 ton. Para o cálculo desse valor o *software* considerou uma pressão média de injeção de 561,52 bar. Utilizando a equação (4) e considerando os valores que o *software* Autodesk Inventor® 2021 utilizou a força de fecho apresenta o valor de 55,48 ton. Os resultados da força de fecho apresentaram diferenças, devido em primeira análise para o facto de que, o polímero PP ter um intervalo de valores para as pressões e existem perdas de pressões dentro da cavidade. Por outro lado, o cálculo utilizou a média da pressão de injeção, no entanto quando se escolhe o polímero PP na biblioteca do *software* também se escolhe o fabricante no qual os parâmetros de processamento são mais exatos. O resultado da força de fecho do *software* foi um pouco superior, pois na equação (4) utilizou apenas a área projetada da peça, enquanto no *software* utiliza a área projetada da peça e também dos canais de alimentação.

Depois de definido o número de peças a ser injetada por ciclo de injeção, é necessário criar os blocos das cavidades e das buchas para posicioná-las no molde. A disposição desses blocos deve ser realizada de tal maneira que, garanta que a distância entre as cavidades deve ter espaços suficientes para a passagem dos canais de refrigeração e dos pinos de extração.

A tipologia do escolhido para o estudo foi o molde de 3 placas. Segundo a literatura, este tipo de molde é ideal para moldes onde o ponto de injeção esteja localizado no centro do molde (como visto anteriormente o ponto de injeção da peça está localizado no centro da face). Por outro lado, esta tipologia de molde e pelo resultado da simulação que foi realizada anteriormente, é possível verificar que o fluxo do polímero fundido flui apenas em um sentido e através do sistema de alimentação das cavidades ser simétrico, promove que as peças sejam preenchidas de forma simultânea e uniforme.

Para criar os blocos com as duas cavidades, foi utilizado o comando “*Padrão*” que se localiza no separador do *software “Layout do molde”*. Através desse comando é possível duplicar o número de peças desejado e definir a distância e a posição das mesmas. Na figura seguinte, apresenta-se o bloco de material da bucha e o bloco das cavidades, onde a distância definida entre os centros das peças é de 120mm.

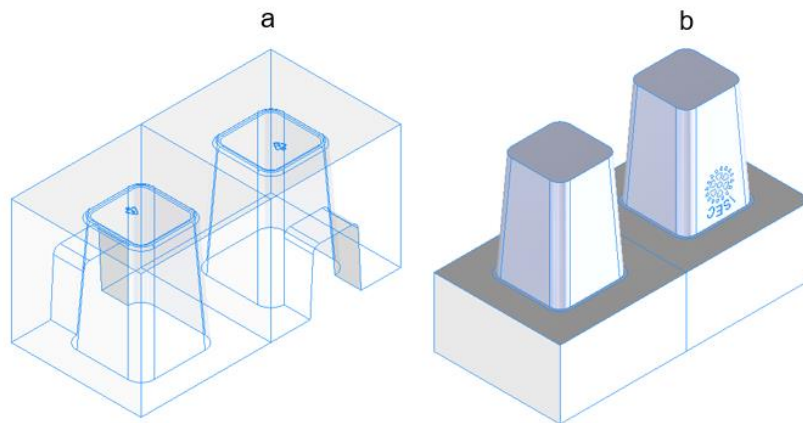


Figura 29 - Representação dos blocos das cavidades (a) e dos blocos das buchas (b) com uma distância entre centros de 120 mm.

Com os blocos postíços das cavidades e das buchas criados, pode-se uni-los para dar origem a um único bloco das cavidades e buchas, através do comando “*Combinar macho e cavidade*”, localizado no separador do *software “Montagem de molde”*. A configuração final dos blocos postíços para o molde de estudo está representada na Figura 30.

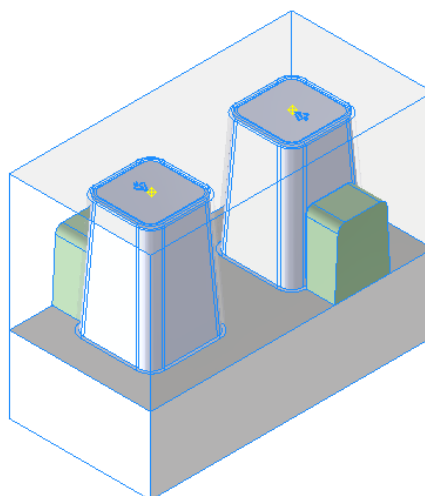


Figura 30 - Configuração final dos blocos postíços da bucha e da cavidade com o inserto lateral para o molde em estudo.

3 - Desenvolvimento da geometria do molde de 3 placas

Um molde de injeção possui muitas estruturas para realizar as funções que são exigidas pelo processo de injeção e até no processo de desmoldação. Os moldes podem ser classificados como, molde sólido ou estruturado, de duas ou três placas e de canais frio ou de canais quentes. Como existem muitos diferentes tipos de moldes, seguidamente apenas serão apresentadas as estruturas de um molde de 2 placas, por ser considerado o molde mais simples de todos e o molde de 3 placas estruturado, objeto de estudo e que será proposto neste trabalho.

Relativamente ao molde de 2 placas, apesar de possuir mais do que 2 placas, é chamado desta maneira por possuir apenas uma única linha de partição. A linha de partição de um molde é definida como sendo a superfície onde ambas as metades do molde se separam, para permitir que as peças moldadas por injeção e o jito sejam ejetadas do molde. Os projetistas que realizam o projeto de moldes para peças plásticas, normalmente fazem grandes esforços para as peças, sempre que possível sejam produzidas com este tipo de molde, pois ele apresenta uma geometria simples e apresenta um custo benefício bastante grande. A Figura 31 representa a estrutura do molde de 2 placas onde se identificam as placas que normalmente constituem esse molde.

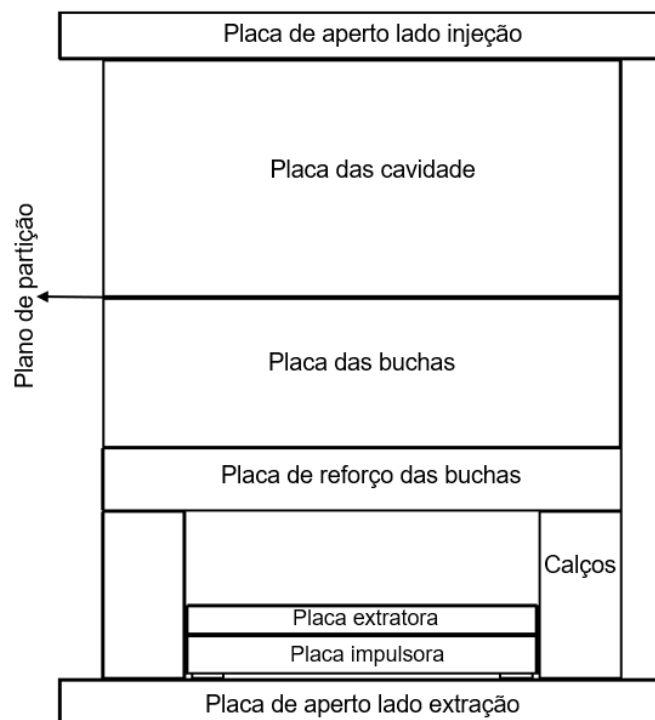


Figura 31 - Constituição de um molde de 2 placas.

3.1 - Estrutura do molde de 3 placas

A estrutura do molde de 3 placas é composta pelas duas placas já conhecidas em moldes, uma do lado fixo e outra do lado móvel. A metade fixa desvia-se do projeto clássico (molde se 2 placas) por existir uma terceira placa conhecida como (placa flutuante ou central). O principal objetivo desta terceira placa é a de proporcionar uma outra abertura e permitir desta forma a extração do canal de alimentação.

3.1.1 - Estrutura das placas do molde

Existem vários fabricantes de moldes de 3 placas. De entre esse diversos fabricantes, o que foi escolhido para a realização deste trabalho foi a estrutura de molde da Futaba com a configuração DD - S - OH, onde o primeiro D significa que é um molde de 3 placas, o segundo D refere que se trata de um molde com placa extratora e sem a placa de suporte, o S quer dizer que, o pino guia é fixado na placa da bucha e o casquilho da guia é instalado na placa da cavidade e por último a nomenclatura OH corresponde à instalação do pino de suporte na posição externa com casquilho guia.

Na Figura 32, apresenta-se a nomenclatura que a Futaba utiliza nos componentes da estrutura do molde e na Figura 33 apresenta-se os diferentes tipos de configurações de molde de 3 placas da empresa Futaba.

As dimensões das placas do molde necessária para alojar os blocos da cavidade e da bucha, as contra-saídas, os pinos guias, os pinos de suporte e os componentes necessários para o funcionamento do molde apresentam uma dimensão máxima de 400 x 450 mm. Segundo o catálogo da Futaba Corporation Futaba (2014), as placas do molde com estas medidas possuem as espessuras *standard* representado na Figura 34, mas as espessuras das placas das cavidades, as buchas e dos calços não estão representadas, pois depende das medidas dos blocos da cavidade e da bucha e que tem em consideração o curso necessário para a extração das peças do molde.

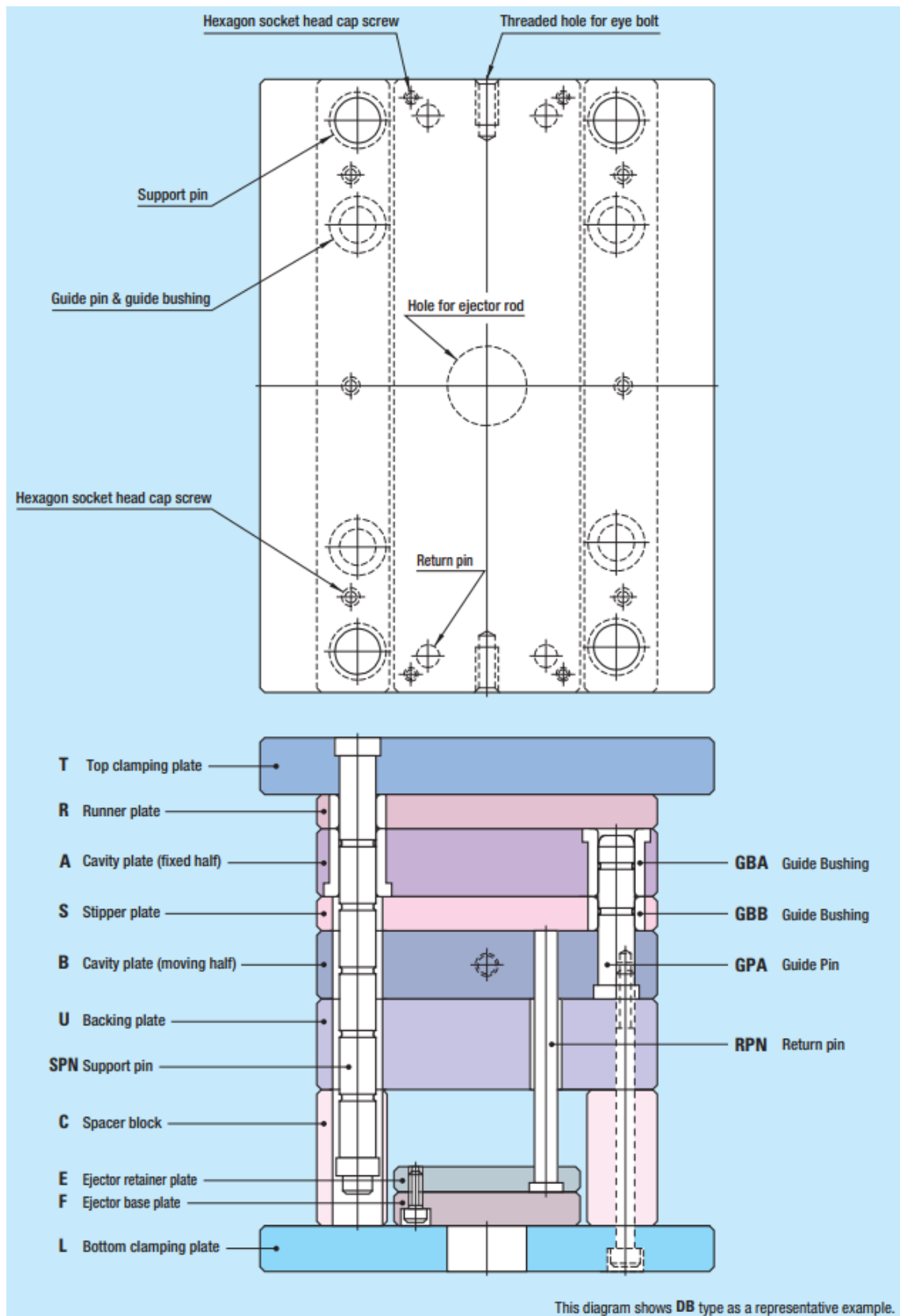


Figura 32 - Estrutura de molde 3 placas da empresa Futaba (Corporation Futaba, 2014).

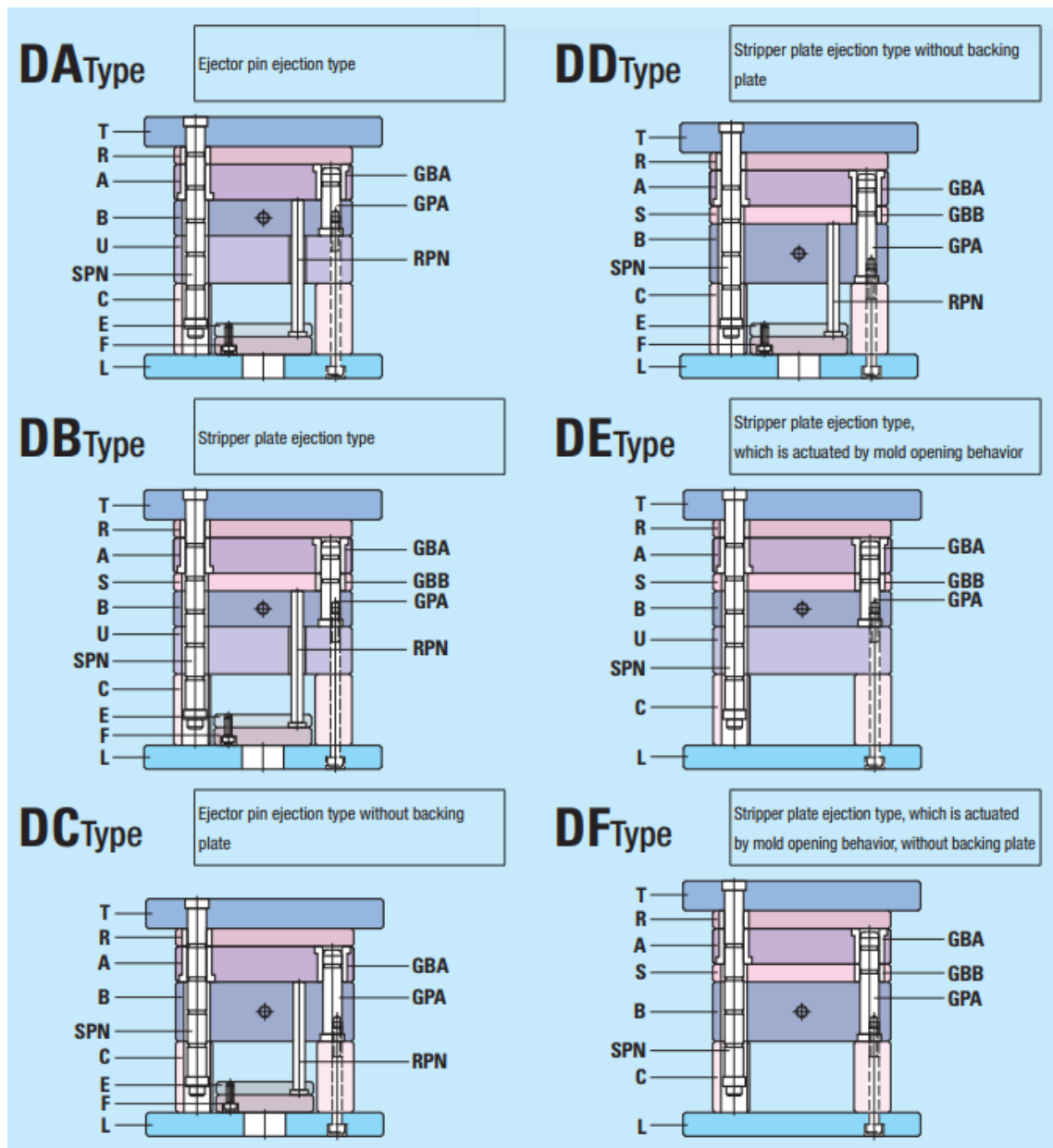


Figura 33 - Representação dos tipos de molde 3 placas da série D da empresa Futaba (**Corporation Futaba, 2014**).

Na Figura 35, apresenta-se um esboço do desenho 2D deste molde *standard*, onde é possível localizar as posições de cada pino guia, a localização do pino de suporte e os seus respectivos diâmetros. Através desta figura é ainda possível verificar que um pino guia e um pino suporte são posicionados com 2 mm a menos que os outros pinos. Desta forma as placas serão sempre montadas em apenas numa posição.

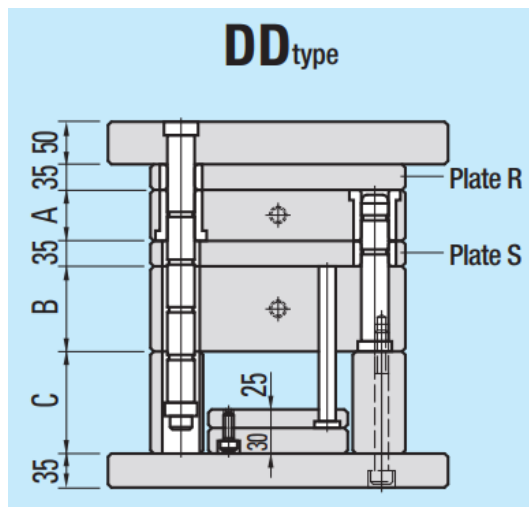


Figura 34 - Representação das medidas das espessuras das placas *standard* para o molde considerado (Corporation Futaba, 2014).

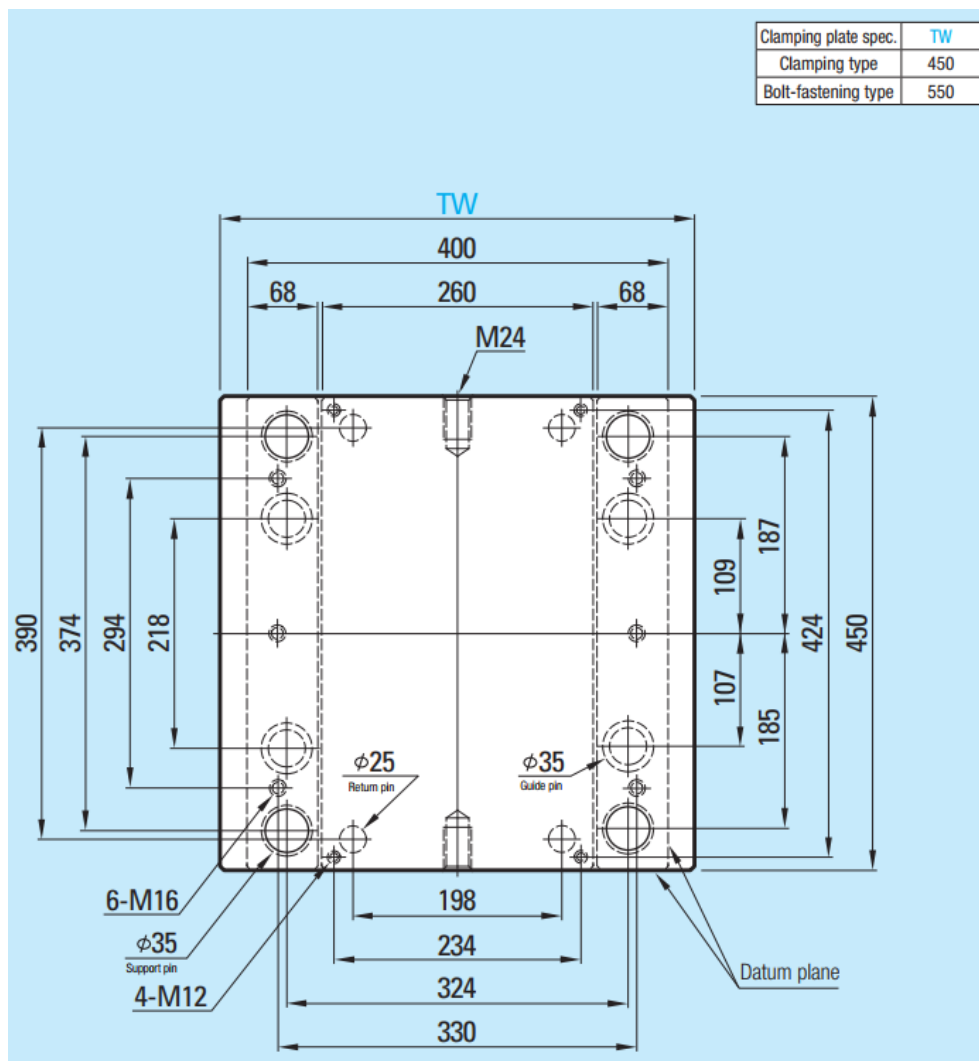


Figura 35 - Esboço do desenho 2D com as posições dos pinos para o molde considerado (Corporation Futaba, 2014).

Com o comando “Porta Molde”, localizado no separador do *software* “Montagem de molde” do *software* Autodesk Inventor® 2021 é possível adicionar esta estrutura de forma automática. Esta adição só é possível ser efetuada em virtude desta estrutura de molde estar presente na biblioteca do *software*, como mostra a Figura 36.

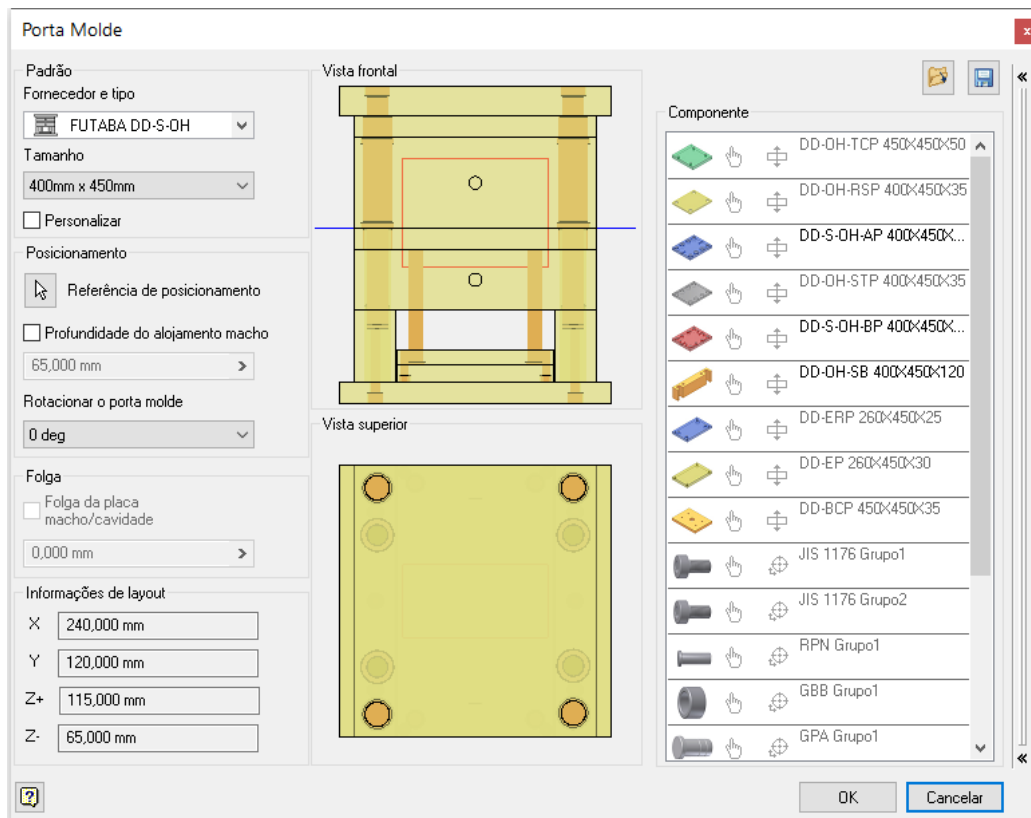


Figura 36 - Estrutura do molde 3 placas da biblioteca *software* Autodesk Inventor® 2021.

As únicas alterações que foram feitas de acordo com a nomenclatura apresentada na Figura 34 prende-se com a espessura da placa (A) de era de 140 mm e passou a ser de 150mm e a placa (B) de tinha um valor de 90 mm passou a ter um valor de 100 mm. Estas alterações foram realizadas de forma a criar mais algum volume de material com o intuito de aumentar os espaços para a realização dos furos de refrigeração.

A estrutura do molde adicionado é constituída pela metade fixa que consiste em 3 placas, as placas (1), (2) e (3). A metade móvel do molde contém as placas (4), (5), (7), (8), (9) e (10). A Figura 37 representa a ilustração desta estrutura e na Tabela 3 e na Tabela 4 apresentam-se as principais funções de cada uma das placas do referido molde.

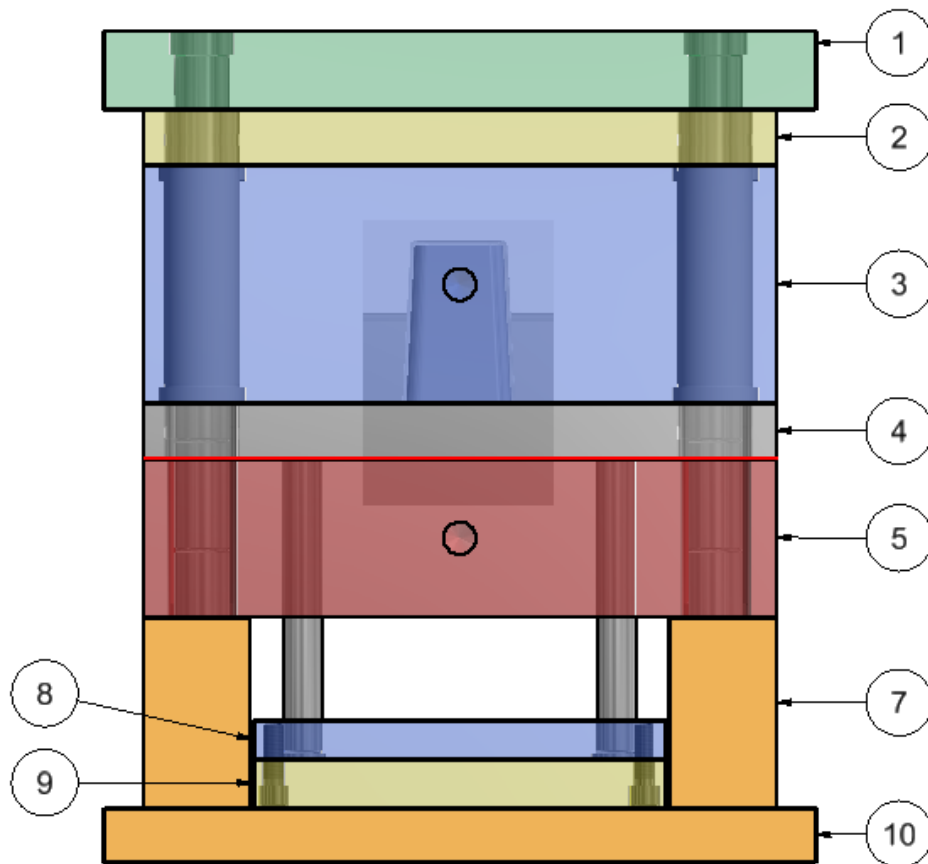


Figura 37 - Estrutura do molde de 3 placas.

Tabela 3- Principais funções dos componentes de um molde de injeção de 3 placas lado fixo.

Item	Componentes	Funções
1	Placa de aperto lado injeção	Fixar a parte superior do molde ao prato da máquina, bem como promover estrutura aos componentes e placas adjacentes
2	Placa extratora do jito	Esta placa tem a finalidade de extrair o jito que fica aprisionado nos pinos de retenção do canal de alimentação
3	Placa das cavidades	Placa na qual são maquinadas ou embutidas as cavidades, que darão forma a um dos lados do componente

Tabela 4 - Funções dos principais componentes de um molde de injeção de 3 placas lado móvel (continuação).

Item	Componentes	Funções
4	Placa extratora	Placa que tem a função de extrair as peças injetadas
5	Placa das buchas	Placa na qual são maquinadas ou embutidas as cavidades, que darão forma ao outro lado do componente
6	Placa de reforço	Ajudar a suportar a pressão de injeção exercida no molde. Esta placa não existe na Figura 37, devido a ser um molde para estudo e não se justificar a sua existência
7	Calços	Garantir o curso necessário às placas extratoras
8	Placa de extratores	Alojar os extratores
9	Placa de aperto de extratores	Usada para acionar e alojar os extratores
10	Placa de aperto lado extração	Fixar a parte móvel do molde ao prato da máquina, bem como promover estrutura aos componentes e placas adjacentes

Importa referir que, atendendo que no lado fixo do molde num dos planos da placa móvel (3) ficam as cavidades que moldam a peça e noutra plano ficam os canais de alimentação/distribuição. Por este estarem em planos diferentes, os jitos são separados automaticamente das peças com esta tipologia de molde, tal como referido anteriormente. Segundo Harada (2004), este tipo de molde é ideal para cavidades múltiplas com injeção central ou para moldação de produtos com grande área e entradas múltiplas, ou seja, as peças podem ser injetadas simultaneamente (Harada, 2004). Já Manrich (2005) refere que o molde de 3 placas é utilizado juntamente com o sistema de injeção capilar e os jitos são retirados manualmente ou com o recurso a robôs (Manrich, 2005).

3.1.2 - Cálculo da deflexão da placa suporte do molde

A pressão de injeção aplicada pela máquina injetora atua na área de dentro da cavidade e provoca uma deflexão da placa da bucha (metade móvel). Se a deflexão for grande pode resultar em alteração na espessura dos produtos moldados, na criação de rebarbas nas peças, para além de surgirem outros problemas. Desta forma

é necessário verificar a possível deflexão que a placa da bucha está sujeita durante o processo de injeção e essa deflexão pode ser calculada através da fórmula de cantilever (equação (6)). Analisando a equação (6), verifica-se que a deflexão aumenta proporcionalmente ao cubo de espessura da placa de apoio (h) e à quarta potência do espaçamento entre os calços. Assim, é mais eficaz na redução da deflexão diminuir o espaçamento entre os calços do que aumentar a espessura da placa de suporte ou a largura do calço espaçador, pois há um limite devido às restrições de altura do molde e espaço efetivo da placa ejetora. O reforço com pilares de sustentação também é outra opção que pode ser usado para reduzir a deflexão (Corporation Futaba, 2014).

$$\delta_{max} = \frac{5 \times p \times b \times L^4}{32 \times E \times B \times h^3} \quad (6)$$

Em que:

- B - Largura da placa do molde [mm];
- L - Espaçamento entre os calços espaçador [mm];
- h - Espessura da placa de suporte [mm];
- W - Comprimento da área projetada da peça que recebe a pressão de injeção no interior da cavidade [mm];
- b - Largura da área projetada da peça que recebe a pressão de injeção no interior da cavidade [mm];
- p - Pressão de injeção interna da cavidade [kgf/cm²];
- E - Módulo de elasticidade longitudinal (módulo de Young) do material (kgf/cm²);
- δ_{max} - deflexão máxima da placa de apoio [mm].

Para simplificar os cálculos e assumindo que W=L e através da manipulação da equação (6) é possível calcular a espessura da placa de suporte ou a espessura da placa da bucha para uma dada deflexão equação (7).

$$h = \sqrt[3]{\frac{5 \times p \times b \times L^4}{32 \times E \times B \times \delta_{max}}} \quad (7)$$

A figura seguinte ilustra as variáveis que são usadas nas equações (6) e (7).

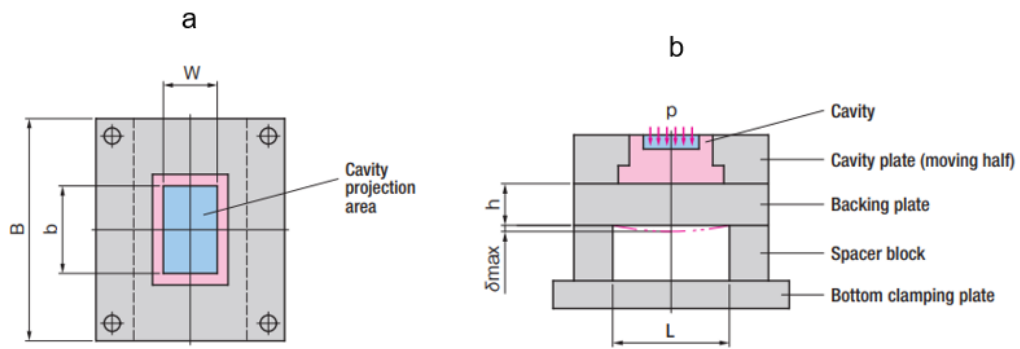


Figura 38 - Representação das variáveis para calcular a deflexão da placa suporte (Corporation Futaba, 2014).

Como mencionado anteriormente, não foi aplicada a placa suporte, mas a espessura da placa das buchas e a dimensão da área projetada das peças usada para o cálculo da deflexão é a que se apresenta na Figura 39 e a distância entre os calços está representada na Figura 40.

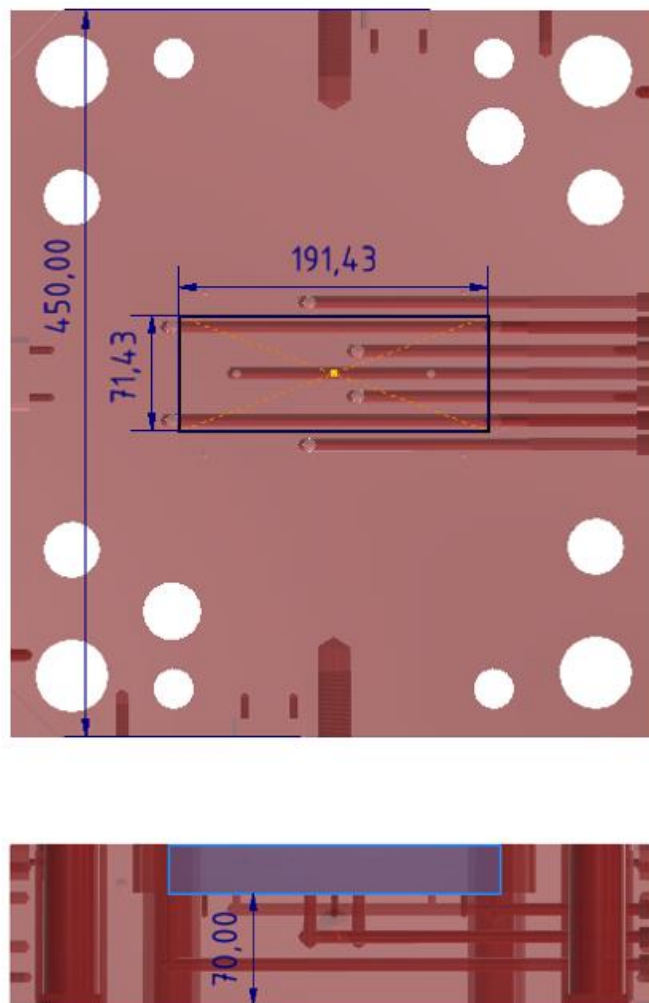


Figura 39 - Dimensão simplificada da área projetada das peças, para efeitos de cálculo da deflexão na placa das buchas.

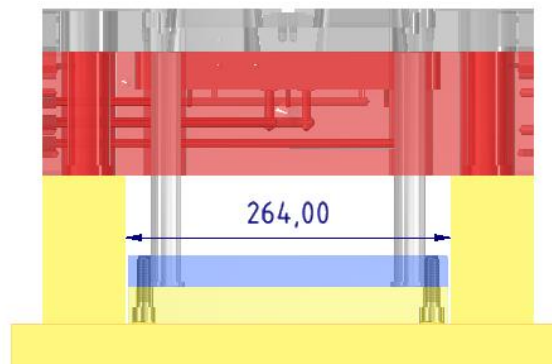


Figura 40 - Representação da placa das buchas, da placa extratora e da distância dos calços para efeitos de cálculo da deflexão na placa das buchas.

Para determinar a deflexão que ocorre no molde e recorrendo à equação (6) e considera-se os seguintes dados:

- B = 450 mm;
- L = W = 264 mm;
- h = 70 mm
- b = 71,43 mm;
- p = 561,52 kgf/cm²;
- E = 210⁴ kgf/cm².

$$\delta_{max} = \frac{5 \times 561.52 \times 71,43 \times 264^4}{32 \times 210^4 \times 450 \times 70^3} = 0,0001 \text{ mm} \quad (8)$$

Tendo em consideração os valores deflexões máximas recomendados pelo catálogo Futaba apresentados na Figura 41, verifica-se que a deflexão produzida pela pressão exercida para injetar as peças não tem qualquer relevância e por consequência a placa das buchas encontra-se sobredimensionada. No entanto importa referir mais uma vez que, isto ocorre devido a necessidade de espaços para fixar as contra-saídas.

Molding material, etc.	Maximum allowable deflection δ_{max} (mm)
Materials with high liquidity (PA, PP, etc.)	0.025 or less
Materials with regular liquidity	0.03~0.05
Molded product that allows flash	0.1~0.2

Figura 41 - Recomendações para deflexões máximas segundo catálogo da Futaba (**Corporation Futaba, 2014**).

3.2 - Sistema de guiamento e abertura do molde

Os elementos de guiamento num molde de injeção são muito importantes. Eles garantem que as duas metades do molde ficam alinhadas quando o molde fecha. As tolerâncias entre as placas de cavidade/bucha, os pinos guias e os casquilhos são tão pequenas que são instalados com um leve ajuste de pressão. A metade fixa com os casquilhos encaixa perfeitamente, sem folga, nos pinos guia da metade móvel. Só assim se garante que ambos os lados encaixam de modo preciso e de forma repetida. Se não houver este guiamento preciso, as duas metades do molde podem mover-se de forma radial, ocasionando diferentes espessuras nas peças plásticas, sendo este defeito conhecido como deslocamento do molde.

A metade fixa deste molde é composta por placas móveis, onde se alojam os casquilhos. Os pinos de suporte são fixados na placa de aperto do lado da injeção, implementando um encaixe de precisão entre as placas. Estes pinos têm como função suportar as placas que se deslocam e realizar as aberturas para que ocorra a extração do jito. Na Figura 42 ilustram-se os pinos, casquilhos e parafusos responsáveis por garantir que todos os componentes estão alinhados e seguramente conectados no molde.

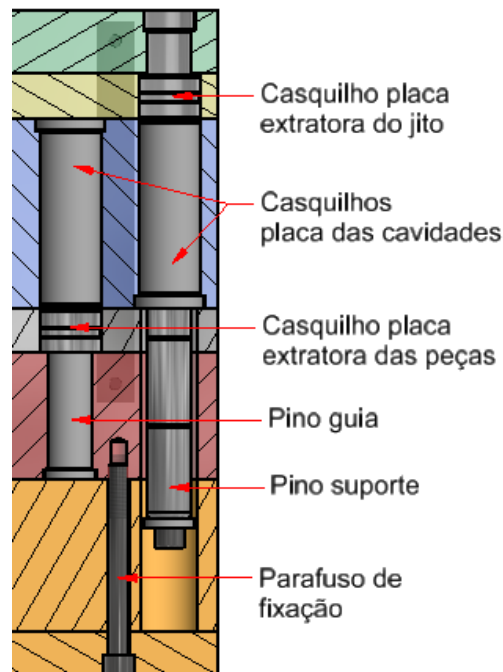


Figura 42 - Representação dos pinos, casquilhos e parafusos que garantem os componentes alinhados e conectados.

Para manter o alinhamento e o travamento das placas das buchas e cavidades foram adicionados os blocos de travamento lateral, também designados por *interlocks*. Foram selecionados 8 pares de *interlocks* HASCO Z86/46x12, como ilustra a Figura 43. Não foram inseridos *interlocks* no primeiro plano de partição entre as placas extratora do jito e das cavidades, pois estes não se revelam necessários para o correto funcionamento do molde, à semelhança dos moldes desta tipologia encontrados na indústria.

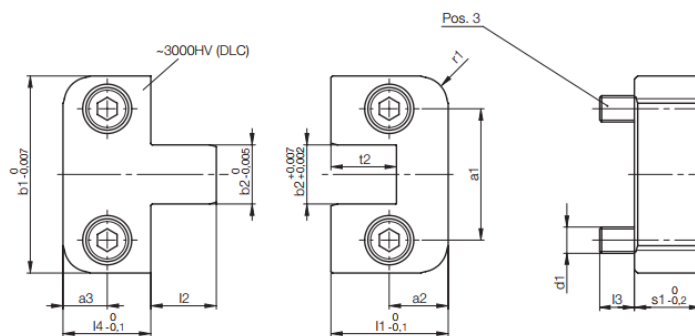


Figura 43 – Representação dimensional dos *Interlocks* HASCO Z086/b1xb2 usados no molde de 3 placas (HASCO, 2021).

As partes machos dos *interlocks* foram fixadas na placa extratora e as partes fêmeas dos *interlocks* foram instaladas na placa das buchas e na placa das cavidades, tal como pode se apresenta na Figura 44.

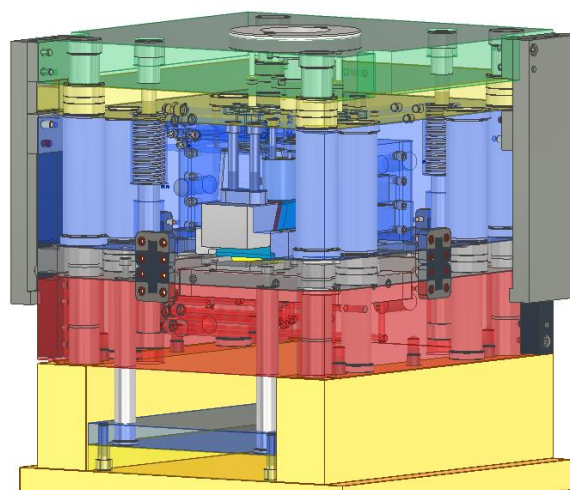


Figura 44 - Representação dos *interlocks* inseridos nas placas do molde.

Relativamente à abertura do molde, a máquina injetora injeta o polímero fundido através do bico de injeção, após o arrefecimento do plástico o molde de 3 placas abre-se em 3 etapas (A), (B) e (C) antes da extração das peças, conforme representado na

figura seguinte. A Figura 45 i) mostra a primeira abertura do molde, a parte (A) para separar o jito da peça, onde o sistema de travamento vista (E) da Figura 45 ii) serve para manter as placas das cavidades/buchas acopladas. Esta abertura deve ter espaço suficiente para que ocorra a extração do jito. A Figura 45 ii) mostra a segunda abertura, a parte (B), ou seja, a placa extratora do jito abre-se quando a placa das cavidades aciona o pino (1), como pode ser observado no detalhe (D) e consequentemente puxa o pino (2), assim deste modo o jito será extraído dos pinos que o seguram. Com as partes (A) e (B) abertas o sistema de travamento destrava as placas, entretanto a metade móvel continua a abrir e o molde chega a sua abertura total, ocorrendo então a abertura da parte (C) para a extração das peças, como mostra a Figura 45 iii).

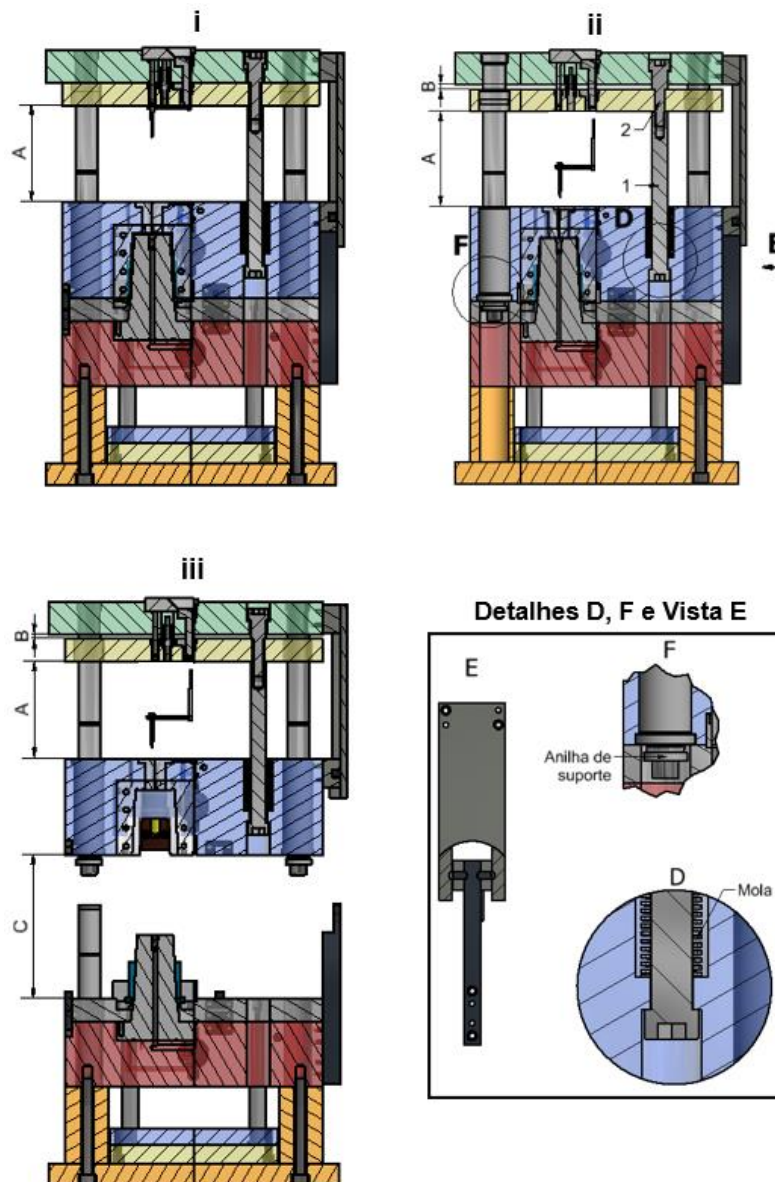


Figura 45 - Representação das diferentes etapas da abertura de um molde de 3 placas, primeira abertura (i), segunda abertura (ii) e abertura total do molde de 3 placas (iii).

É importante salientar que o pino (2) fixa o pino (1) na placa extratora do jito e o sistema de travamento liberta as placas antes de este bater na placa de aperto do lado da injeção. A anilha de suporte do detalhe (F) da Figura 45 ii) serve como limitador do deslocamento da placa das cavidades. Caso haja alguma falha no sistema de travamento, faz com que ela permaneça nos pinos de suporte. A mola tem como função manter a placa extratora do jito na sua posição no momento da abertura do molde e também amortecer o impacto das placas quando o molde se fecha. Para o sistema de travamento das placas das cavidades/buchas, foram selecionados 2 sistemas de travamentos da HASCO Z174/100 x195 x 0, tal como pode ser observado na figura seguinte.

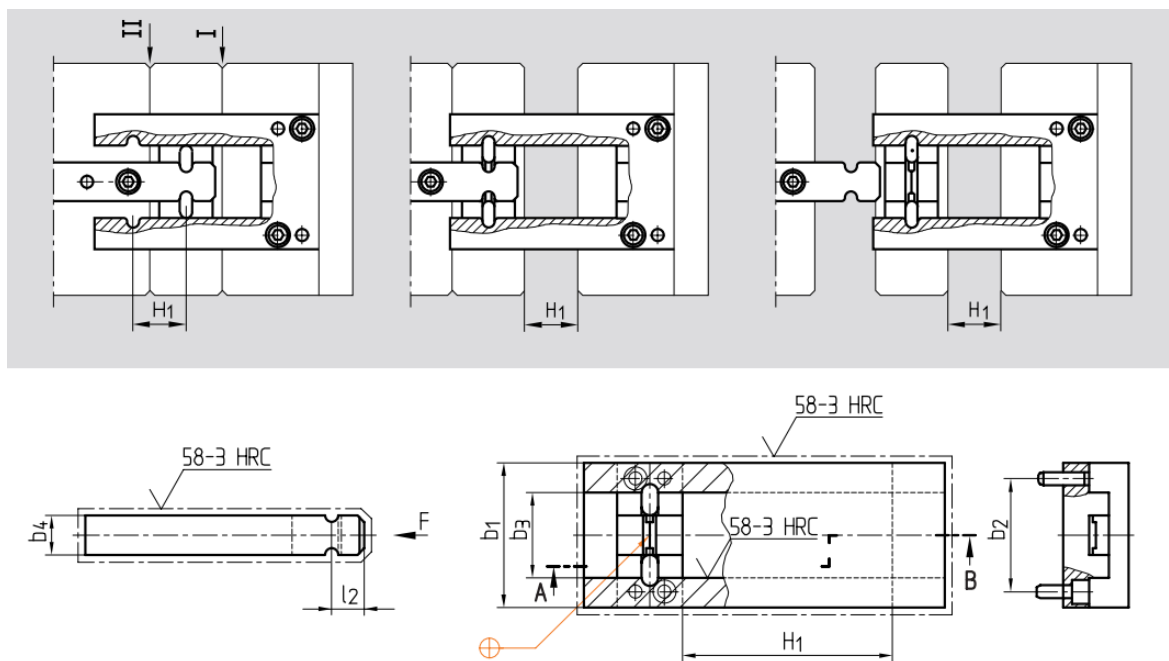
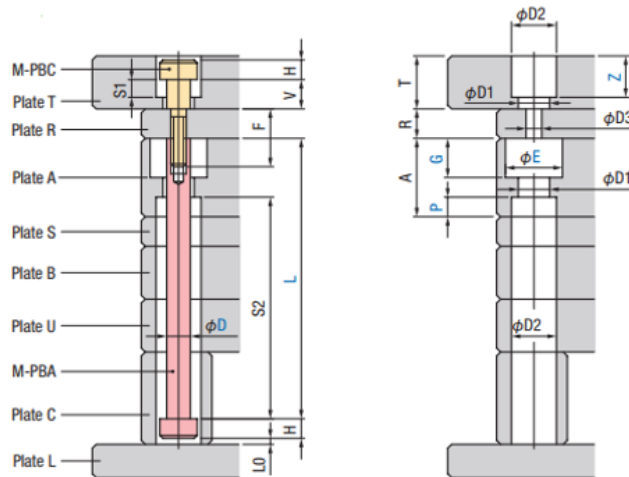


Figura 46 - Sistema de travamento HASCO Z174/b1 xH1 x Hv (HASCO, 2021).

Seguindo as recomendações do catálogo da Futaba, as dimensões dos furos e os rebaixos nas placas para alojar os pinos devem conter os valores que são apresentados na Figura 47.



D	D1	D2	D3	Z	P*1	E*1	Recommened value	G*1	H	T	R	V	F		
10	11	19	7	T-Z ≥ 5*2 When D=10, 13 T-Z ≥ 4*2	P ≤ 80	15 to 60 in 1 mm steps provided E ≥ D+5	19 22 24	See table below	8	25	10	16	22		
13	14	21	9		P ≤ 100		23		27	29	10	25	15	16	27
											14	30	15	21	27
												25	10	15	14
16	17	27	11	P ≤ 110	28	37	34		42	14	30	15	20	15	35
										14	35	20	25	20	40
											45	25	30	30	45
20	21	31	13	P ≤ 130	34	42	41		52	14	45	35	30	50	
										18	35	20	25	20	45
											45	25	30	30	50
25	26	36	17	P ≤ 140	41	52	18		50	30	35	31	60		
										60	35	40	41	65	

*1. Specify P, E and G as necessary.
 $P+G+5 \leq A$ (this formula is not a guarantee of strength)
 *2. This formula is not a guarantee of strength.
 ※ Mold opening stroke between Plate T and Plate R
 $S1=Z+V-T$ $Z=T+S1-V$ $V=T+S1-Z$
 ※ Mold opening stroke between Plate R and Plate A
 $S2=L-A+P$ $P=S2+A-L$ $L=S2+A-P$
 ※ If the distance from the head of puller bolt to the next plate is $L0 < 1$, the $\phi D2$ through holes will be provided in the next plate as well.

E	G max
15 to 19	$G \leq 50$
20 to 27	$G \leq 60$
28 to 34	$G \leq 80$
35 to 44	$G \leq 90$
45 to 60	$G \leq 100$

Figura 47 - Dimensões dos furos e rebaiços para alojar os pinos limitadores (Corporation Futaba, 2014).

3.3 - Sistema de movimento lateral e libertação de contra-saídas

Como referido anteriormente, as configurações do sistema de movimento lateral acionada por pino que se utilizou no desenvolvimento deste molde é um sistema de movimento lateral de contra-saída da HASCO. A Figura 48 ilustra os elementos que constituem o referido sistema.

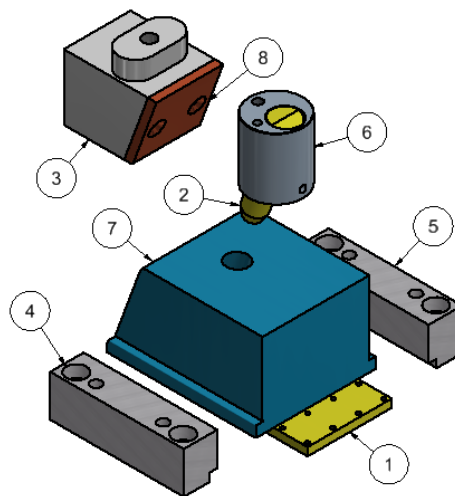


Figura 48 - Elementos do sistema de movimento lateral de contra-saída da HASCO, placa guia autolubrificante (1), pino guia inclinado (2), bloco de travamento (3), régua ou guia do elemento móvel (4), régua ou guia do elemento móvel (5), suporte do pino guia inclinado (6), elemento móvel (7) e placa de desgaste e ajuste (8).

A Figura 49 ilustra o sistema de movimento lateral utilizado no molde proposto, com o elemento móvel e o postigo da contra-saída.

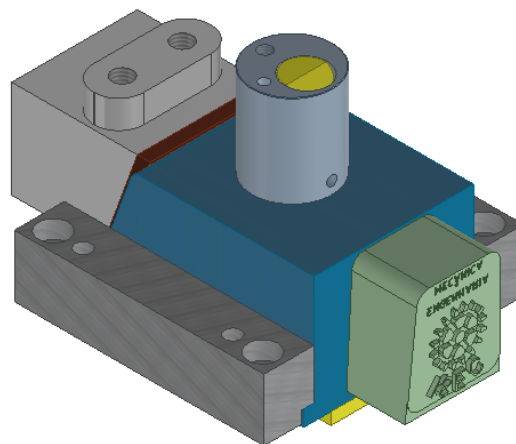


Figura 49 - Sistema de movimento lateral com o postigo da contra-saída.

O acionamento da contra-saída aproveita o próprio movimento de abertura do molde para fazer o movimento do elemento móvel, ou seja, durante a abertura do molde, o pino guia inclinado (2), obriga o elemento móvel (7) que contém as geometrias negativas dos detalhes numa lateral da peça a deslizar sobre suas guias (4) e (5) que estão fixas na placa de extração, libertando a peça. O bloco de travamento (3) serve para manter o elemento móvel na posição correta durante a injeção.

3.3.1 - Cálculo do diâmetro e comprimento do pino guia

Para calcular o diâmetro do pino guia, é preciso saber o comprimento útil, a força de extração que é necessário aplicar, a força no plano inclinado e o momento fletor máximo. Atendendo que o porta-canetas apresenta uma espessura de 2,5 mm, o curso do movimento lateral deverá ser maior que essa espessura. Usando a equação (1) que determina o comprimento útil do pino guia com os seguintes dados é possível calcular o curso do movimento lateral na equação (9).

Dados:

L = Comprimento útil do pino guia [mm];

M = 2,5 mm;

\emptyset = 18°, inclinação do pino guia;

C = 2 mm, folga do pino guia com o elemento móvel.

$$L = \frac{2,5}{\sin 18} + \frac{2 \times 2}{\sin(2 \times 18)} = 14,89 \text{ mm} \cong 1,5 \text{ cm} \quad (9)$$

Para calcular a força de extração, deve-se conhecer a área de contato do polímero com o elemento móvel da contra-saída. Esta força é exercida no mesmo sentido de extração do movimento lateral. Tendo por referência os dados seguintes e as equações (10), (11), (12) e (13) determina-se o diâmetro do pino guia. Essas equações utilizadas são apresentadas por Attili (S/D).

Dados:

F_e - Força de extração [Kgf];

A_p - Área projetada de contato = 22,3 cm²;

F_a - Força de atrito: para materiais plásticos = 10 Kgf/cm² e para alumínio, zamak = 30 Kgf/cm² (Attili, S/D).

$$F_e = F_a \times A_p = 10 \times 22,3 = 223 \text{ Kgf} \quad (10)$$

Para determinar a força que o pino guia exerce no plano inclinado, usa-se a equação (11). Usando o valor da força de extração calculada anteriormente determina-se que a força que o pino guia exerce no plano inclinado tem o valor de 212,09 Kgf.

$$F2 = Fe \times \cos \phi = 223 \times \cos 18 = 212,09 \text{ Kgf} \quad (11)$$

Calculando o momento fletor máximo do pino guia, através da equação (12), determina-se que o momento fletor máximo do pino guia é de 315,8 Kgf.cm.

$$Mf_{\text{máx}} = L \times F2 = 1,489 \times 212,09 = 315,8 \text{ Kgf.cm} \quad (12)$$

Para determinar o diâmetro do pino guia, considera-se que a tensão de flexão do material é 1000 Kgf/cm², sendo que o diâmetro do pino guia é dada pela equação (13).

$$D = \sqrt[3]{\frac{Mf_{\text{máx}}}{0,1 \times \sigma f}} = \sqrt[3]{\frac{315,8}{0,1 \times 1000}} = 1,467 \text{ cm} = 14,67 \text{ mm} \quad (13)$$

O diâmetro que o pino guia deverá ter apresenta um valor de 14,67mm. Atendendo que o valor dos pinos guia são normalizados, selecionou-se um guia com diâmetro de 16mm.

Com o diâmetro do pino já definido, pode-se determinar o comprimento total do pino guia através da equação seguinte (Attili, S/D).

$$CT = (L + R \times \tan 18) + W + \frac{E}{\cos \phi} \quad (14)$$

Onde:

- CT - Comprimento total do pino guia [mm];
- L - Comprimento útil [mm];
- R - Raio do pino guia [mm];
- ϕ - Angulo pino guia [°];
- W - Comprimento do chanfro na ponta do pino guia [mm];
- E - Espessura do suporte do pino guia inclinado ou da placa [mm].

Para calcular o comprimento total do pino guia (equação (15)), vão ser usados os seguintes valores:

- L = 14,89 mm;
- R = 8 mm;

- $\varnothing = 18^\circ$;
- $W = 7 \text{ mm}$;
- $E = 46 \text{ mm}$.

$$CT = (14,89 + 8 \times \tan 18) + 7 + \frac{46}{\cos 18} = 72,86 \text{ mm} \quad (15)$$

Com o comprimento do pino guia definido, seleciona-se a medida *standard* mais próxima disponível. Consultando o catálogo da HASCO a medida *standard* mais próxima disponível é de 80 mm, ou seja, será o elemento Z01/16x80.

Atendendo que o comprimento do pino guia teve um aumento de 7,14 mm em relação à medida necessária e recorrendo à equação (2) é possível calcular qual será o valor real do movimento lateral (equação (16)).

$$M = 22,03 \times \sin 18 - \frac{2}{\cos 18} = 4,7 \text{ mm} \quad (16)$$

Desta forma verifica-se que, o curso da contra-saída será superior a espessura da parede da peça. Assim a libertação do componente é realizada com toda a segurança.

3.3.2 - Dimensionamento do bloco de travamento da contra-saída

A Figura 50 mostra a nomenclatura que irá ser usada para dimensionamento do bloco de travamento.

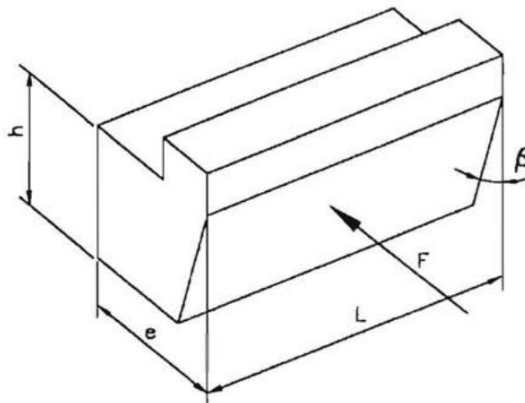


Figura 50 - Representação da nomenclatura do bloco de travamento (Cruz, 2002).

Para determinar a espessura que o bloco de travamento deve ter, aplica-se a equação (17). No entanto, é necessário calcular primeiramente a força que é exercida durante a injeção nas buchas/cavidades. A força que é exercida durante a injeção nas buchas/cavidades é determinada pela equação (18). Essas equações utilizadas são apresentadas por Attili (S/D).

$$e = \sqrt{\frac{F \times h \times 3}{\sigma_f \times L}} \quad (17)$$

$$F = A_p \times p \quad (18)$$

Onde:

- A_p - Área projetada de contato [cm^2];
- p - Pressão de injeção interna da cavidade [kgf/cm^2];
- e - Espessura do bloco de travamento [cm];
- σ_f - Tensão admissível a flexão [Kgf/cm^2];
- L - Largura do bloco de travamento [cm];
- F - Força que atua no elemento móvel [Kgf];
- h - Altura do bloco em balanço [cm];
- $\beta - \phi + 2^\circ$

Usando como dados os seguintes valores:

- $A_p = 22,3 \text{ cm}^2$;
- $p = 561,52 \text{ kgf}/\text{cm}^2$.
- $\sigma_f = 830 \text{ Kgf}/\text{cm}^2$;
- $L = 6,3 \text{ cm}$;
- $F = 12521,9 \text{ Kgf}$;
- $h = 4,9 \text{ cm}$.

A força que tende de abrir o elemento móvel é dada pela equação (19).

$$F = 22,3 \times 561,52 = 12521,9 \text{ Kgf} \quad (19)$$

E a espessura do bloco de travamento é dado pela equação (20).

$$e = \sqrt{\frac{12521,9 \times 4,9 \times 3}{830 \times 5}} = 5,93 \text{ cm} = 59,3 \text{ mm} \quad (20)$$

O bloco de travamento selecionado tem 63 mm de espessura, concluindo-se desta forma que o mesmo se encontra dentro das especificações recomendadas para suportar a pressão de injeção.

3.4 - Sistema de injeção

O sistema de injeção ou alimentação das cavidades pode ser dividido e subdividido de acordo como é apresentado na Figura 51.

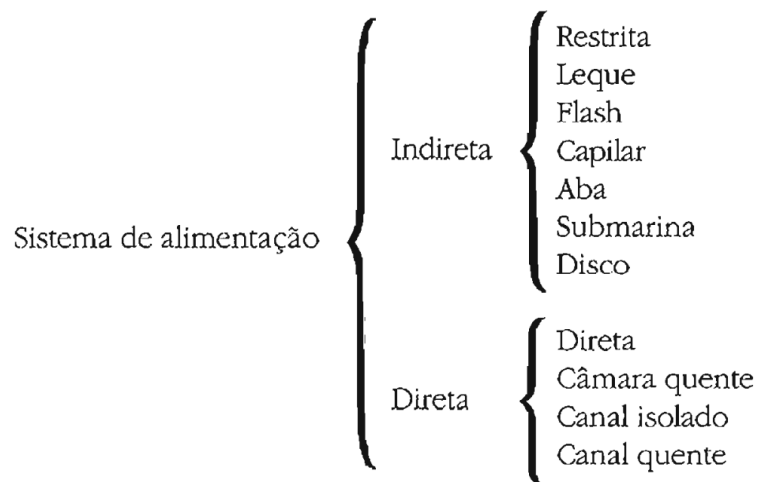


Figura 51 - Representa a subdivisão do sistema de alimentação (Harada, 2004).

O sistema de alimentação é constituído por uma série de canais geralmente maquinados numa ou mais placas do molde pelo qual o polímero fundido é transportado desde o bico de injeção até cada zona moldante, ou seja, o polímero entra no molde pelo jito ou canal de injeção que pode comunicar diretamente com a cavidade ou ramificar-se num sistema de alimentadores fazendo a ligação do canal de injeção às cavidades. A entrada do polímero fundido nas cavidades é feita através das entradas ou pontos de injeção, também designados como ataque (CENTIMFE, 2003). Para este trabalho, optou-se por desenvolver e construir um sistema de alimentação indireta de canais frios, pois necessita por um lado de menos espaço para a implementação e por outro de um menor custo quando comparado com o de canais quentes. A escolha de sistema de injeção de canais quentes é mais usual para

grandes produções de peças e atendendo que o molde em estudo não apresenta essa finalidade, não se justifica selecionar outra solução que não a do sistema de alimentação de canais frios. A Figura 52 mostra a partes com que é constituído um sistema de alimentação de canais frios.

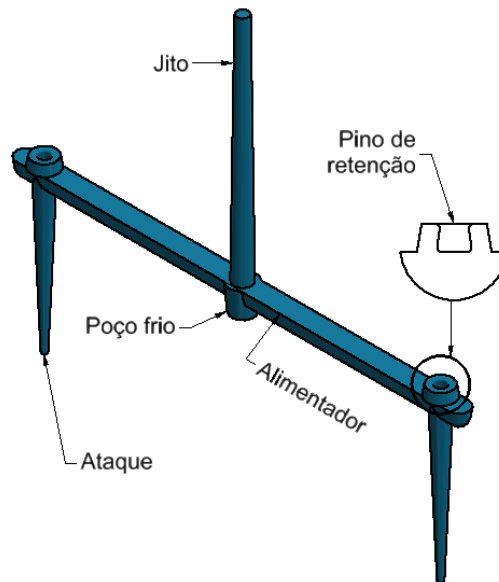


Figura 52 - Constituição do sistema de alimentação com ataque capilar ou bico de alfinete.

Para se proceder à escolha dos elementos do sistema de injeção, o primeiro elemento que deve ser definido é o anel de centragem, posteriormente deve ser escolhido o bico de injeção e por último o guia do bico de injeção. Relativamente ao anel de centragem, este tem como função garantir o alinhamento entre o bico da injetora e o bico de injeção do molde, aquando da colocação do molde na máquina injectora, o anel selecionado foi o Misumi LRJS150-20-50. As especificações do referido anel encontram-se apresentados na Figura 53.

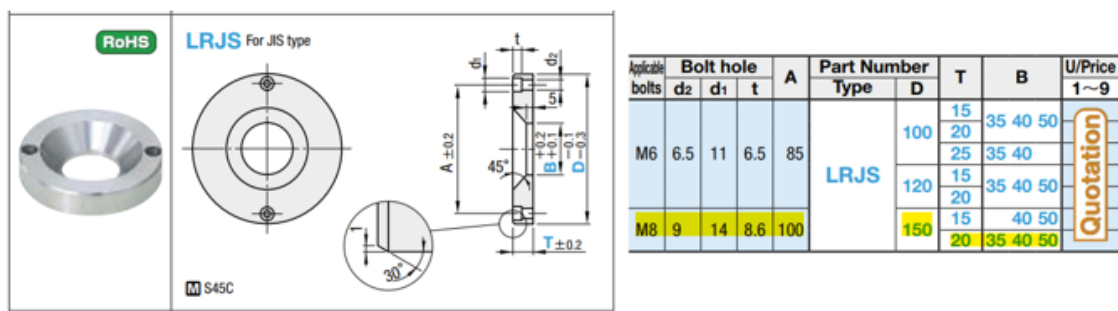


Figura 53 - Especificações do anel de centragem Misumi LRJS (Corporation Misumi, 2015).

O jito não é nada mais do que um tronco de cone de cilindro divergente, com ângulo de abertura de 2° a 5° (facilita a extração), que liga o bico de injeção do equipamento aos alimentadores ou diretamente à cavidade. O bico de injeção onde fica o jito é uma peça postiça, que pode ser facilmente trocada em virtude a ocorrência de desgaste durante o processo de enchimento ou até mesmo pela ocorrência de falha técnica (Manrich, 2005). Relativamente ao molde de 3 placas do porta-canetas, o bico de injeção selecionado foi Misumi SBGH25-80-SR16-P3,5-A2,5-V24,9-G4, cujas características técnicas são apresentadas na Figura 54.

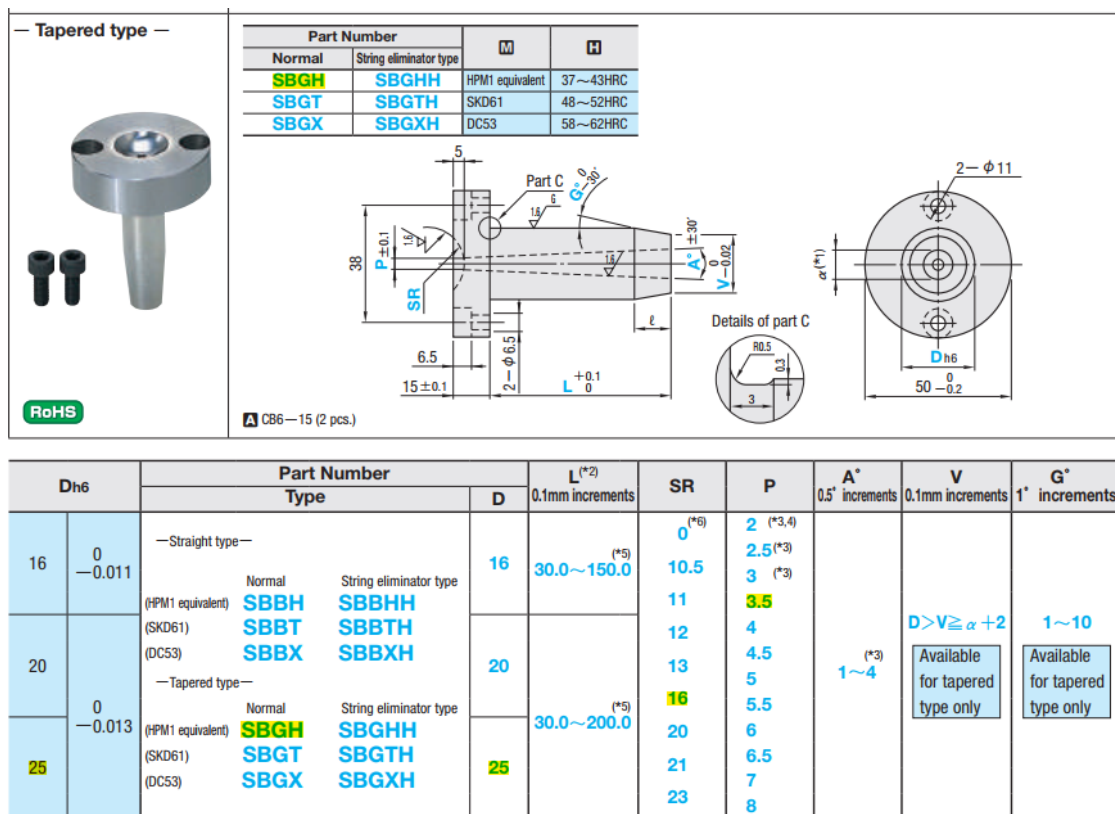


Figura 54 - Especificações técnicas do bico de injeção Misumi SBGH D - L - SR - P - A - V - G (Corporation Misumi, 2015).

O guia do bico de injeção é instalado na placa extratora do sistema de alimentação e tem como função possibilitar o movimento dela, guiar o bico de injeção e fazer a vedação do canal alimentador. Na Figura 55 ilustra-se as características técnicas do componente designado selecionado que foi o, Misumi SBGN35-35-V22-G4.

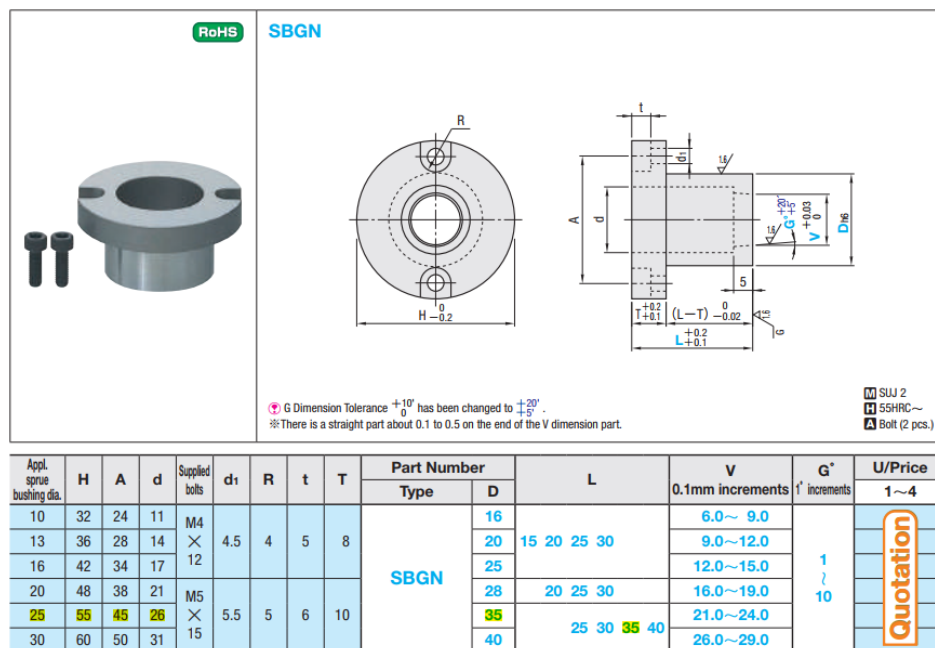


Figura 55 - Especificações técnicas do guia do bico de injeção Misumi SBGN D - L - V - G (Corporation Misumi, 2015).

Terminada a seleção dos elementos do sistema de alimentação é necessário proceder à sua fixação nas placas do molde. Na Figura 56 apresenta-se sob a forma de esquema do posicionamento e elementos de montagem tanto para o anel de centragem, como para o bico de injeção e para a guia do bico de injeção.

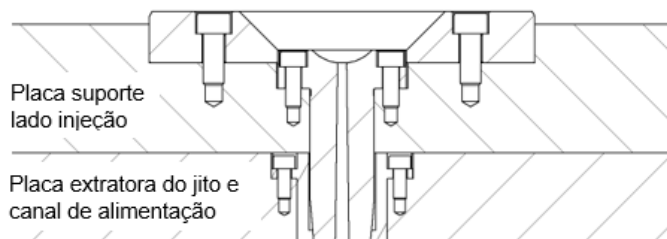


Figura 56 - Representação do posicionamento elementos de montagem do anel de centragem, do bico de injeção e guia do bico de injeção.

3.4.1 - Canal de alimentação

Os alimentadores ou canais de alimentação ligam o jito às entradas das cavidades, e em moldes simples, estão situados na superfície de partição. Estes devem ser projetados para distribuir simultaneamente o fundido em todas as cavidades de modo

a evitar falhas no seu preenchimento. Existem vários tipos de canais de alimentação, como pode ser observado na Figura 57. O canal circular é o tipo de canal mais eficiente sendo que a resistência ao fluxo deste tipo de canal é relativamente menor comparada com os outros. A queda de temperatura do fundido durante o preenchimento também é menor. A única desvantagem é a necessidade de ser maquinado nas duas metades do molde. Por outro lado, o canal trapezoidal modificado é a melhor aproximação ao canal circular e tem a vantagem de ser maquinado em apenas um dos lados do molde. Deste modo, é bastante utilizado para todos os tipos de moldes, pois tem a melhor relação custo/benefício (CENTIMFE, 2003).

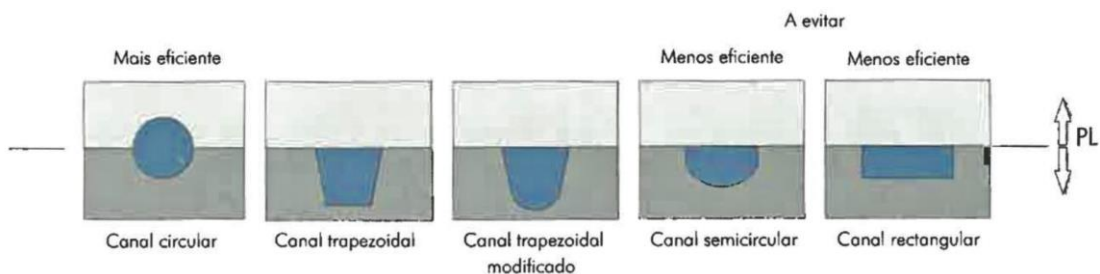


Figura 57 - Tipos de geometrias dos canais de alimentação (CENTIMFE, 2003).

O alimentador escolhido para ser desenvolvido do molde porta-canetas foi o canal trapezoidal modificado. O diâmetro do alimentador principal pode ser estimado recorrendo a algumas regras empíricas com base no peso e espessura da moldação. As curvas do gráfico das Figura 58 representam o diâmetro do alimentador em função do peso de cada moldagem com espessuras de 1 a 5 mm (CENTIMFE, 2003). Atendendo que o porta-canetas a ser injectado possui um peso de 101 gramas e com uma espessura média de 2,5 mm o alimentador deverá ter um diâmetro de 4,8 mm.

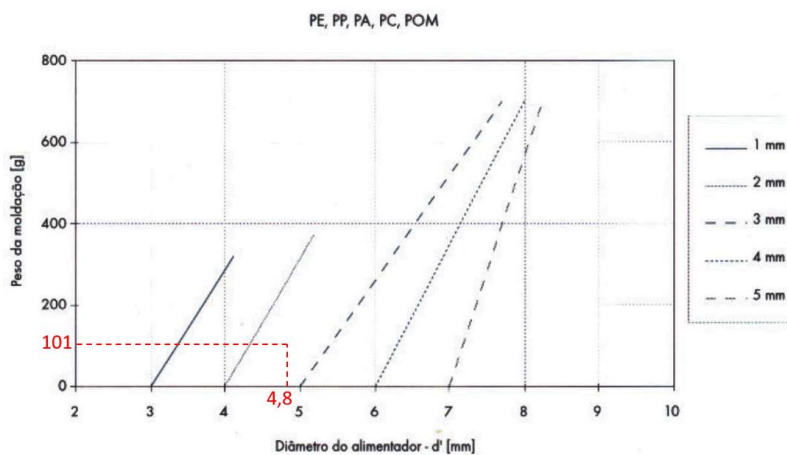


Figura 58 - Diâmetro recomendado para PE, PP, PA, PC e POM (sem correção) (CENTIMFE, 2003).

Atendendo ao comprimento dos alimentadores e devido às perdas de carga que irão surgir durante o processo de enchimento, o diâmetro do alimentador deverá ser corrigido tem com consideração o comprimento do alimentador. Como o alimentador tem 120 mm de comprimento, o fator de correção que é necessário aplicar é de 1,15 (Figura 59).

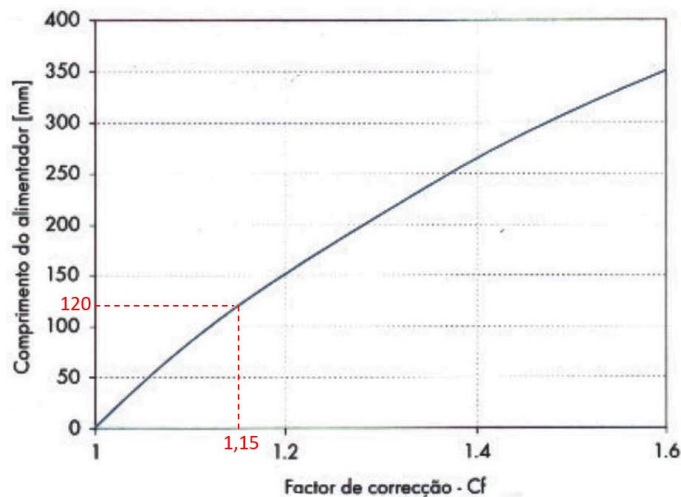


Figura 59 - Fator de correção em função do comprimento do alimentador (CENTIMFE, 2003).

Deste modo, o alimentador pode ser calculado pela seguinte equação.

$$dR = d' \times Cf = 4,8 \times 1,15 = 5,52 \text{ mm} \quad (21)$$

Assim, o valor do diâmetro a ser utilizado no molde será de 5,5 mm. O Autodesk Inventor® 2021 cria o alimentador de forma automática, bastando selecionar o plano de partição na placa das cavidades, e criando um esboço com uma linha no comprimento do alimentador e através do comando “Canal de injeção”, localizado no separador “Layout do molde” do software. A Figura 60 ilustra este comando.

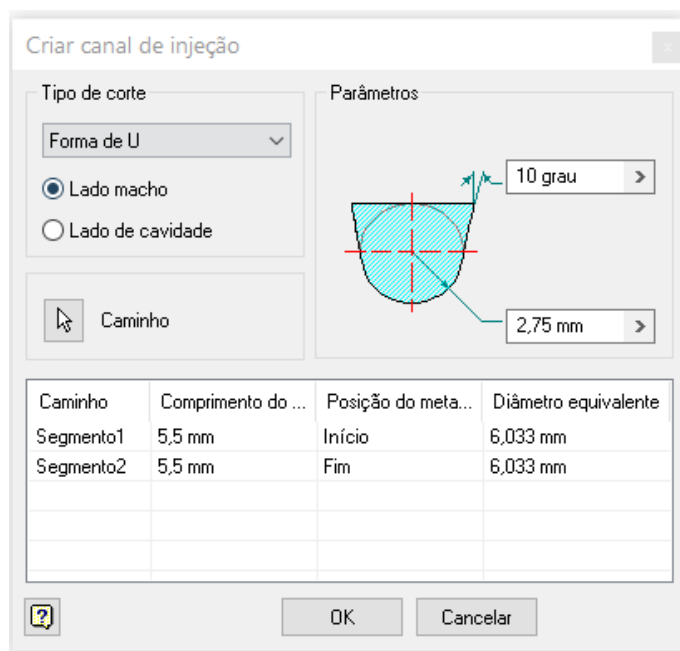


Figura 60 - Comando para criar o alimentador de forma automática no Autodesk Inventor® 2021.

3.4.2 - Ataque ou ponto de injeção

Como observado na Figura 51, existem vários tipos de ataque que podem ser usados no sistema de injeção. As características da geometria da peça e o ponto de injeção determinam normalmente qual tipo de ataque se apresenta ser mais vantajoso. Os *softwares* de simulações de enchimento de cavidade podem ser usados para efectuar uma análise e verificar qual o tipo de ataque apresenta melhores resultados.

Como já mencionado anteriormente, o ataque escolhido foi o capilar ou bico de alfinete. Este tipo de injeção é característico de moldes de três placas e uma das vantagens deste tipo de injeção é a possibilidade de colocar o ponto de injeção no centro de superfícies cuja normal é paralela à direção de extração, permitindo a retirada automática do canal de injeção. O diâmetro recomendado para este tipo de ataque deve ser entre 0,25 e 1,6 mm (CENTIMFE, 2003). A desvantagem deste tipo de ataque é o volume de polímero utilizado para a geração dos canais de alimentação. Com o comando “*Ponto de injeção*” localizado no separador “*Layout do molde*” do *software*, pode-se criar o ataque na peça. A Figura 61 ilustra o referido comando.

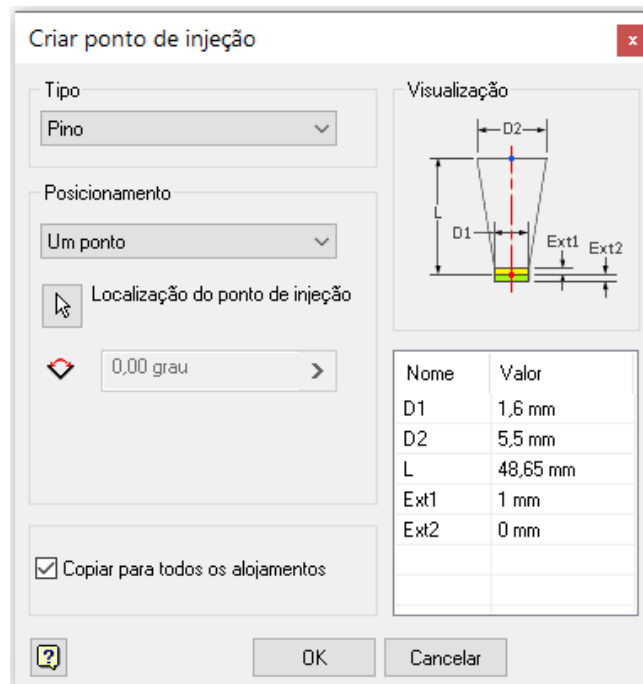


Figura 61 - Comando criar ataque na peça através do Autodesk Inventor® 2021.

3.4.3 - Poço Frio

Todas as intersecções dos canais devem ter um poço frio de forma a captar o material mais frio que se encontra na frente de fluxo. O comprimento do poço frio deve ser igual ao diâmetro do canal (CENTIMFE, 2003). O comando “Poço frio” localizado no separador “Layout do molde”, do software, cria de forma automática o poço frio (Figura 62).

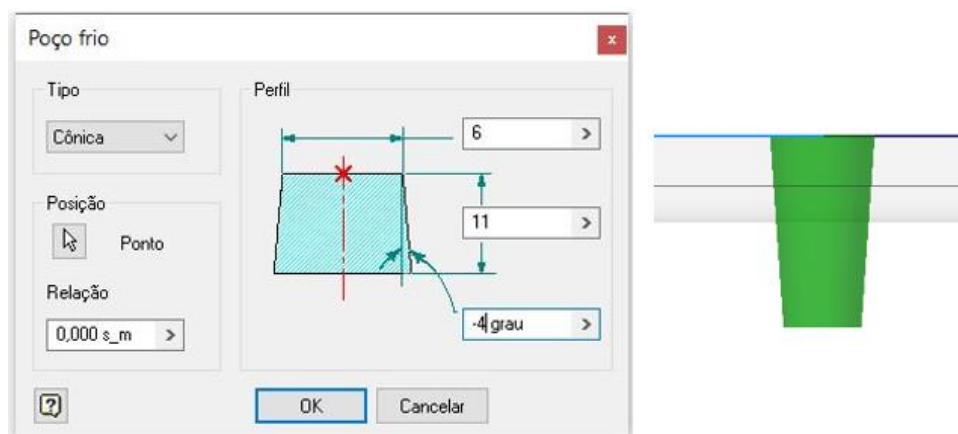


Figura 62 - Comando criar poço frio através do Autodesk Inventor® 2021.

Os resultados dos comandos para criar o alimentador, o ataque e poços frios para a moldação do porta-canetas pode ser observado na Figura 63 .Para além do que se referiu anteriormente também se ilustra o jito e as peças que irão ser moldadas.

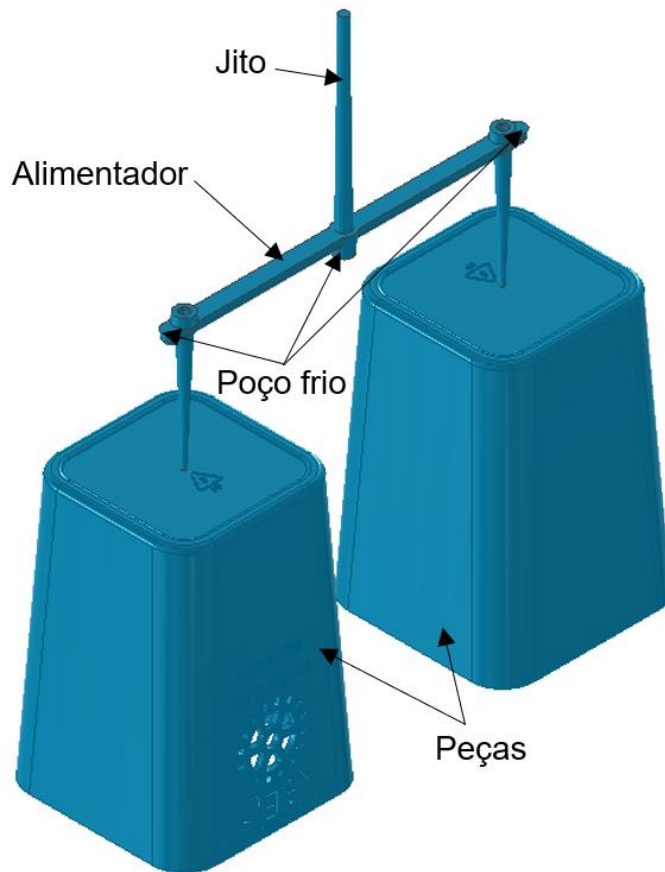


Figura 63 - Representação do sistema de injeção e as peças moldadas.

3.5 - Sistema de escape de gases

Cada cavidade deve ser ventilada de forma adequada para permitir a saída do ar e dos gases que podem ficar presos aquando do processo de enchimento das cavidades. O plástico não poderá fluir de forma normal na cavidade sem que o ar que existe na cavidade saía. Este facto vital é às vezes esquecido, e os resultados inevitáveis desse esquecimento é a origem de peças incompletas, zonas queimadas, junções fracas, mau acabamento, marcas de fluxo ou cavidade preenchida de forma lentamente. Sem uma saída de gases adequada, é impossível obter uma performance aceitável no processo de enchimento de um molde (Harada, 2004).

Para evitar os problemas causados pelo aprisionamento de ar e gases, recomenda-se o uso de *software* de previsão de enchimento. Este tipo de *software* normalmente permite avaliar, com bons resultados a localização dos aprisionamentos de ar e gases. A profundidade do canal de gases de escape, deve permitir a saída do ar, mas ao mesmo tempo deve ser suficientemente pequena para que o fundido não possa sair e criar uma rebarba. Segundo CENTIMFE (2003), a profundidade recomendada para o escape de gases para o polímero escolhido, PP é de 0,025 a 0,051 mm. Como será visto mais à frente na simulação onde se ilustra os aprisionamentos de ar (Figura 116), torna-se necessário criar os rasgos por forma a escoar os gases. A Figura 64 ilustra os rasgos que foram criados na placa extratora do porta-canetas.

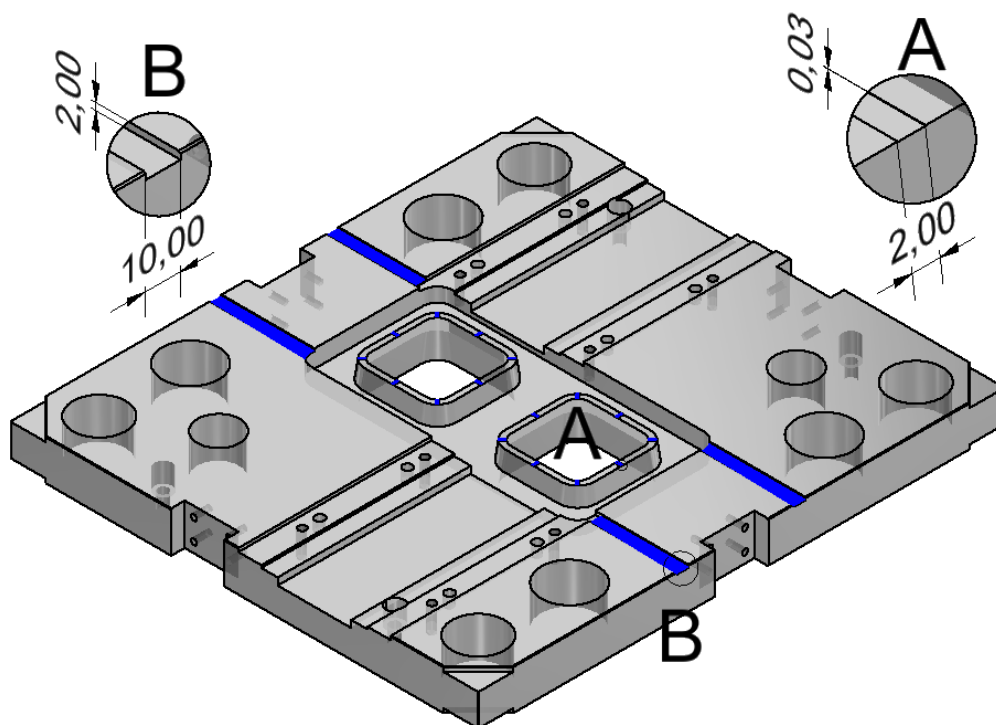


Figura 64 - Representação da localização do escape de gases criados na placa extratora do porta-canetas.

3.6 - Sistema de refrigeração

Idealmente, na injeção de materiais poliméricos, o molde deveria estar à temperatura do fundido durante a fase de injeção e, no momento da extração, o molde e as peças, deveriam estar à temperatura ambiente. Como isso é impossível, é necessário que exista um sistema de arrefecimento no molde de forma a gerir alguns balanços energéticos entre o molde e a peça. Assim, a temperatura do molde deve ser mantida

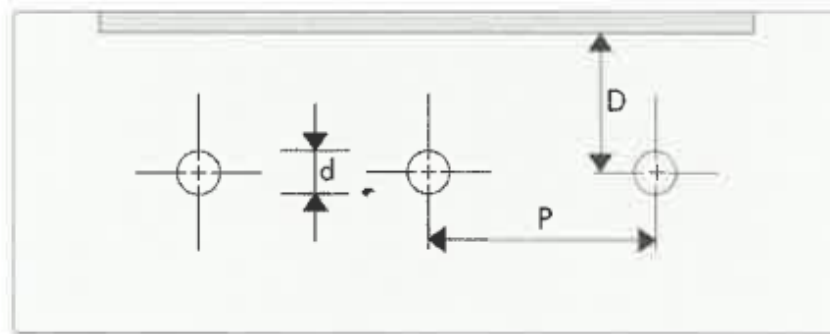
suficientemente baixa, para obrigar o material quente a transferir seu calor de fusão para superfícies do molde (Harada, 2004). O arrefecimento do material injetado é feito por transferência de calor para as superfícies moldantes (que estão a uma temperatura bastante inferior) e através da massa do molde. Assim, a maneira como se faz o arrefecimento deve ser controlado, não só em termos do gradiente de temperatura do fluido que irá circular dentro do sistema de refrigeração, mas também da sua uniformidade na superfície da zona moldante. Ou seja, o sistema de controlo de temperatura tem que garantir o arrefecimento da zona moldante de maneira uniforme, a fim de se obter um produto com as características desejadas. Normalmente o tempo de arrefecimento é cerca de 50%, ou mais, da duração total do ciclo de injeção. Isto mostra bem a importância que este sistema tem no correto funcionamento do molde (CENTIMFE, 2003).

Para construir-se o sistema de refrigeração, são maquinados furos próximos as zonas moldantes para facilitar a transferência de calor da peça para o molde. Estes furos servem para a passagem do fluido de refrigeração, normalmente água, por ser o mais barato e reciclável. Estes furos no sector industrial são designados por linhas de água.

Segundo Sacchelli (2007), as recomendações gerais para o sistema de refrigeração são (Sacchelli, 2007):

- Procurar sempre considerar a uniformidade da refrigeração no molde;
- Prever que os circuitos de refrigeração sejam independentes e simétricos;
- Ser localizado ao longo do perfil do componente injetado para uma maior eficiência;
- Cuidar para que o curso do circuito de refrigeração não seja longo, pois as variações maiores que 5°C não são aconselháveis, visto que a uniformidade da refrigeração no molde tende a ficar prejudicada;
- Numerar todos os circuitos de refrigeração para facilitar a sua identificação;
- As conexões de entrada e saída do molde devem estar do mesmo lado e, normalmente, na parte posterior da máquina de forma a não restringir os movimentos do operador;
- Prever que as ligações do sistema de controlo de temperatura sejam realizadas com componentes normalizados, preferencialmente do tipo engate rápido.

Segundo CENTIMFE (2003), recomenda-se que os furos de águas não sejam posicionados a uma distância inferior a 15 mm das zonas moldantes para que a temperatura na superfície moldante seja o mais uniforme possível. Por outro lado, o distanciamento entre canais de arrefecimento deve, sempre que seja possível obedecer às relações apresentadas na Figura 65.



d = diâmetro dos canais de refrigeração
 P = passo entre canais - 2,5 a 3,5 d
 D = profundidade dos canais - 0,8 a 1,5 P

Figura 65 - Dimensionamento das distâncias dos furos de água em elementos moldantes
(CENTIMFE, 2003).

O sistema de controle de temperatura a desenvolver no molde em estudo é constituído pelos circuitos de refrigeração, lâminas de refrigeração, bocais de ligação, tampões e o-rings.

O circuito de refrigeração escolhido para o lado da injeção, foi baseado no circuito para cavidades retangulares, constituído por 4 circuitos em que os furos têm um diâmetro 8 mm. Os 4 circuitos estão divididos da seguinte forma: 2 circuitos para cada cavidade com 2 níveis de altura cada, assim cada cavidade possui 4 níveis de altura. Seguindo o primeiro fluxo do fluido de refrigeração que entra pela placa das cavidades, chega-se ao bloco das cavidades, este percorre o caminho em volta da peça em 2 níveis arrefecendo metade do comprimento da peça e volta para placa onde se encontra a saída (Figura 66). O segundo circuito percorre o caminho em volta da outra metade do comprimento da peça. Desta forma o primeiro e o segundo circuito se complementam para fazer o arrefecimento de uma cavidade (Figura 67). O terceiro e o quarto circuito são semelhantes aos primeiros circuitos, logo os pressupostos que foram enumerados anteriormente são os mesmos para estes circuitos. Todas as entradas e saídas estão localizadas na placa das cavidades (tal como anteriormente referido), fazendo com que o fluido percorra todos os circuitos que existem no bloco das cavidades e arrefeça de forma eficiente todas as zonas moldantes. Por último importa referir que, o bloco das cavidades é fixado na placa das cavidades com parafusos e na ligação de cada circuito é colocado um o-ring para fazer a vedação.

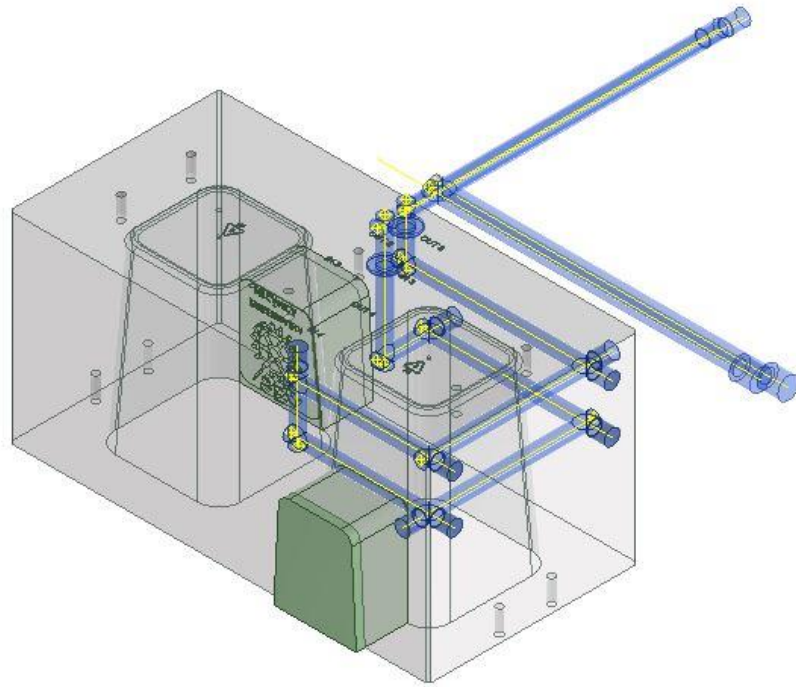


Figura 66 - Representação do primeiro circuito de refrigeração no porta-canetas.

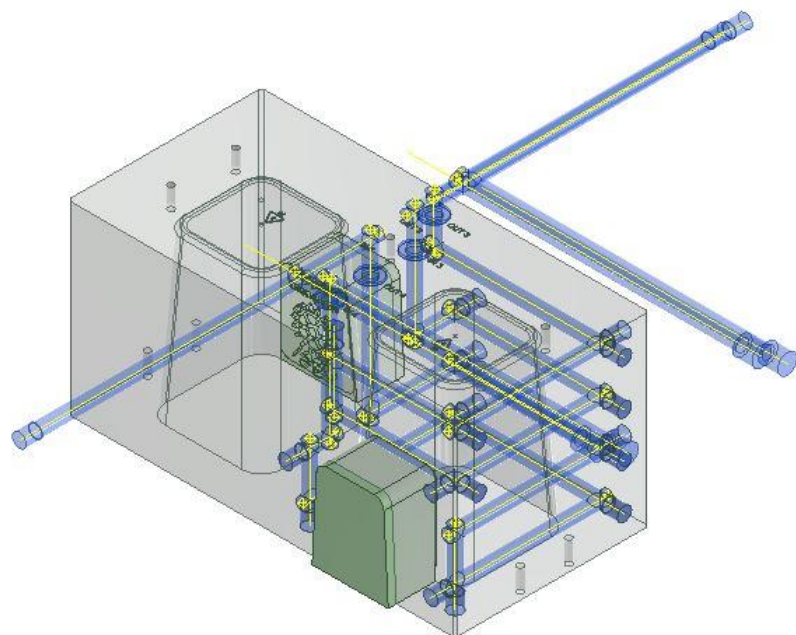


Figura 67 - Representação do primeiro e segundo circuitos de refrigeração no porta-canetas.

Como se pode observar na Figura 67, é necessário fazer furos de ligações para desviar um circuito do outro, pois os circuitos são independentes e não podem se interceptar. A Figura 68 ilustra os 4 circuitos do lado da injeção, bem como a placa das cavidades.

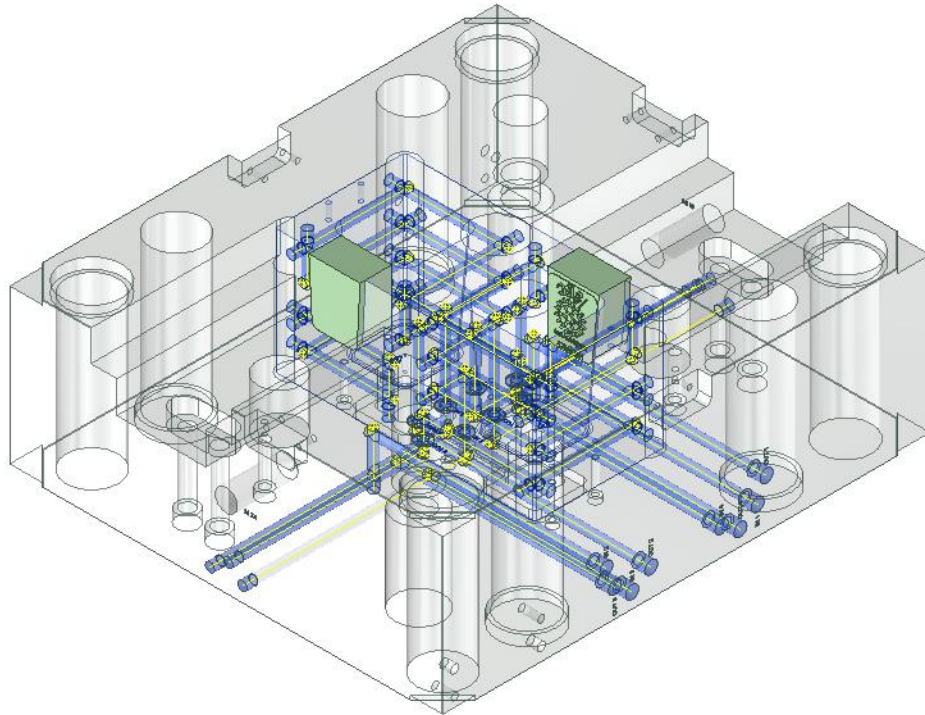


Figura 68 - Representação completa dos circuitos de refrigeração no lado da injeção.

Os circuitos desenvolvidos no lado da extração utilizam lâminas de refrigeração para arrefecer a parte interna das peças sendo constituído por 4 circuitos com diâmetros de 8 mm e sendo 2 circuitos por cavidade.

Analisando o quinto circuito do fluido de refrigeração (Figura 69), este, entra pela placa das buchas e chega ao bloco das buchas. Depois passa por duas lâminas de deflexão fazendo com que seja, arrefecido metade de uma bucha e posteriormente regressa à placa onde se encontra a saída.

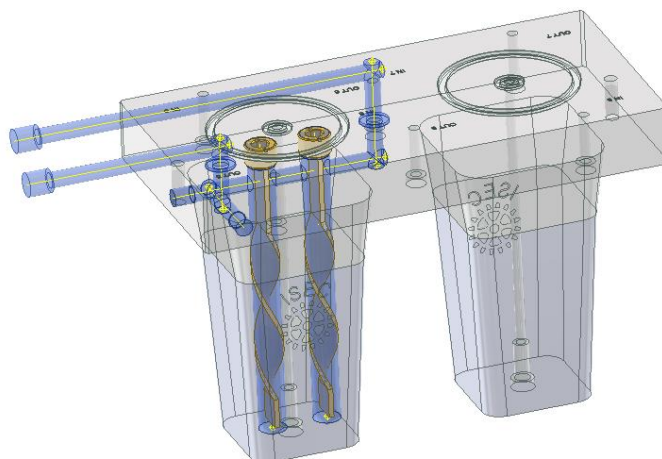


Figura 69 - Representação do quinto circuito de refrigeração do porta-canetas.

O sexto circuito passa em outras duas lâminas de deflexão arrefecendo a outra metade da bucha. Desta forma e tal como no sistema de arrefecimento do lado da injeção, também aqui o quinto e o sexto circuito de arrefecimento, garantem o arrefecimento de metade do bloco das buchas (Figura 70).

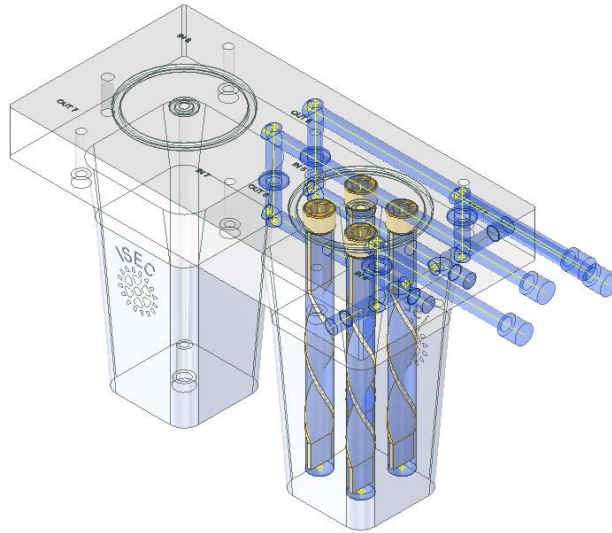


Figura 70 - Representação do quinto e sexto circuito de refrigeração do porta-canetas.

O sétimo e o oitavo circuito, são semelhantes ao quinto e sexto e tende a complementar o restante sistema de arrefecimento da outra metade do bloco das buchas. A Figura 71 mostra os 4 circuitos de refrigeração do lado da extração.

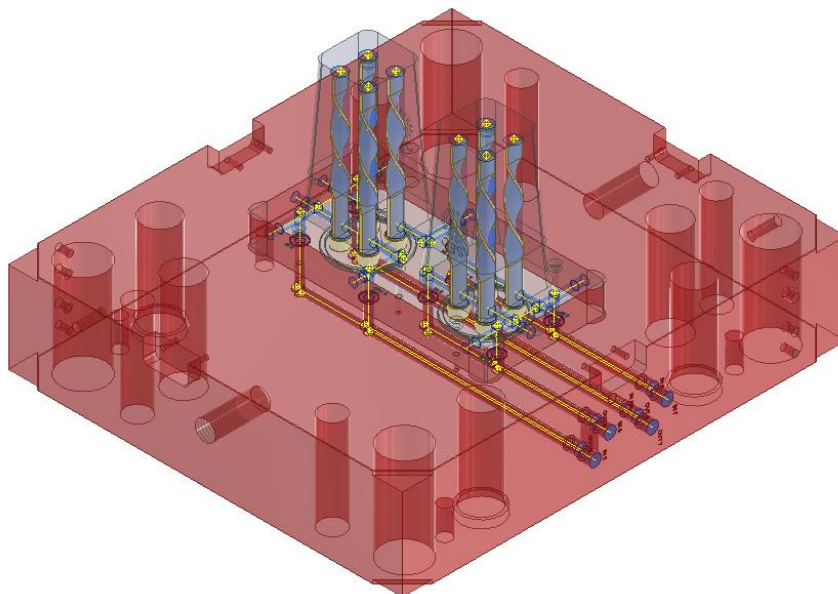


Figura 71 - Representação completa dos circuitos de refrigeração lado extração.

Analisando a figura anterior verifica-se que todas as entradas e saídas estão localizadas na placa das buchas, fazendo que o fluido percorra todos os circuitos que se encontram no bloco das buchas e arrefeça de forma eficiente a parte interna das peças. Tal como referido anteriormente para o circuito de refrigeração no lado da injeção, o bloco das buchas é fixado na placa das buchas com parafusos e na ligação de cada circuito é colocado um o-ring para fazer a vedação.

Com os circuitos desenvolvidos adicionam-se os bocais de ligação nas placas da cavidade/bucha, para que seja possível ligar as mangueiras do fluido refrigerador da máquina injectora ao molde. Para canalizar o fluido dentro das linhas de água é necessário usar tampões de vedação. Estes elementos têm a função de tampar alguns dos furos que tiveram de ser efectuados para construir os circuitos de arrefecimento.

A Figura 72 mostra sob a forma de esquema o bocal de ligação que foi escolhido para a ligação do circuito do molde à máquina injectora, neste caso foi o elemento HASCO Z81/13x14.

Mit Dichtmittel beschichtet
Coated with sealing compound
Recouvert avec ruban d'étanchéité

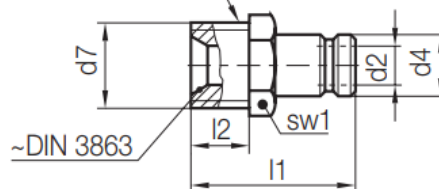


Figura 72 - Bocal de ligação HASCO Z81/d4xd7 (HASCO, 2021).

Tal como referido anteriormente, a refrigeração das buchas optou-se por utilizar lâmina de deflexão. Estas lâminas são elementos torcidos em forma de espiral e garantem uma elevada eficiência devido à turbulência que é induzida no circuito de arrefecimento. As lâminas escolhidas (Figura 73) pertencem à HASCO e têm a referência Z9662/16 x 150.

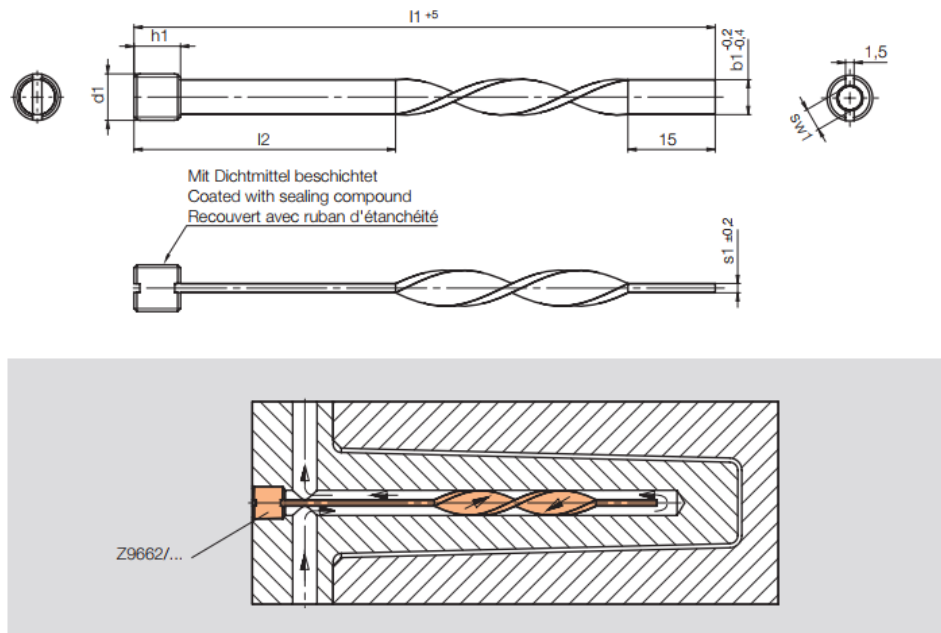


Figura 73 - Lâmina de deflexão em espiral com rosca Z9662/d1x11 (HASCO, 2021).

Relativamente aos tampões de vedação, foram selecionados os HASCO Z9400/10 com composto vedante e na Figura 74 apresenta-se um esquema com as dimensões do referido elemento.

Z9400/...

Verschlusschraube, zylindrisch mit Dichtmittel
Hexagon socket pipe plug, cylindrical with sealing compound
Bouchon, cylindrique avec ruban d'étanchéité

Mat.: 2.0401

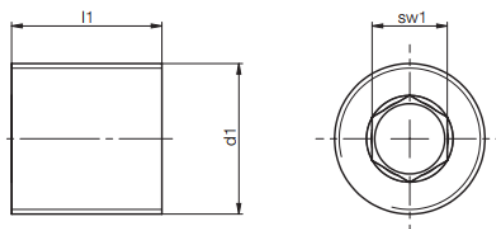


Figura 74 - Tampão HASCO Z9400/d1 (HASCO, 2021).

Para fazer a vedação dos circuitos de água entre as placas da bucha/cavidade e os blocos da bucha/cavidade, foi selecionado o o-ring HASCO Z98/10x2. A Figura 75

mostra os esquemas de como fazer os alojamentos nas placas para colocação dos o-rings.

Z98/...

O-Ring
O-ring
Joint torique

Mat.: Viton®

Medium	max. °C
Luft / air / air	200
Öl / oil / huile	120
Wasser / water / eau	120

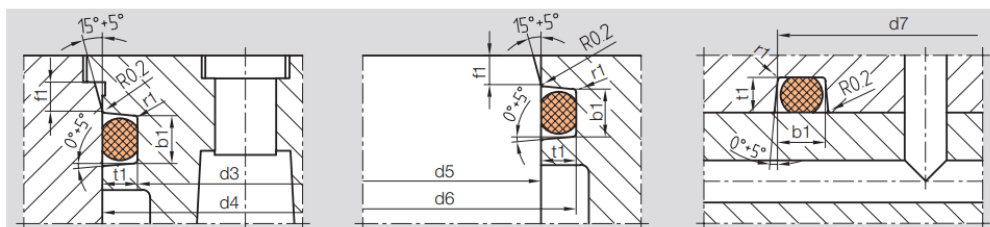
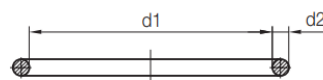
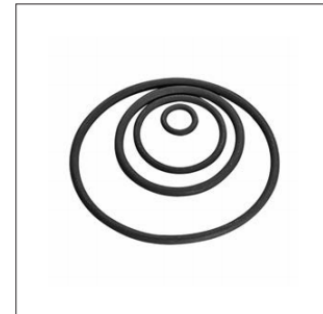


Figura 75 - Representação do esquema para maquinagem das caixas de alojamento dos o-rings HASCO Z98/d1xd2 (HASCO, 2021).

Para além do o-ring de vedação entre as placas bucha/cavidade e os blocos bucha/cavidade, também se optou em colocar o-ring HASCO Z98/63x3 no bloco das buchas onde são colocadas as lâminas de deflexão. A Figura 76 ilustra a localização dos o-rings na ligação dos circuitos de águas do molde porta-canetas.

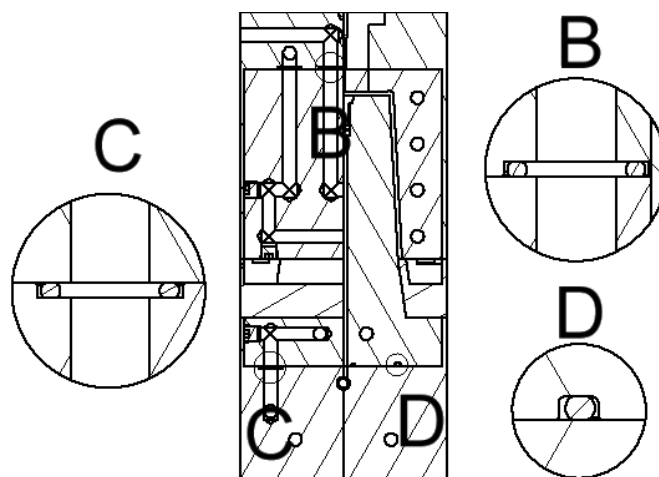


Figura 76 - Representação dos o-rings na ligação dos circuitos de águas, detalhes (B) e (C) anéis Z98/10x2, detalhe (D) mostra uma vista em corte do anel Z98/63x3.

Na Figura 77 mostra-se todos os circuitos de água e os elementos que constituem o sistema de refrigeração.

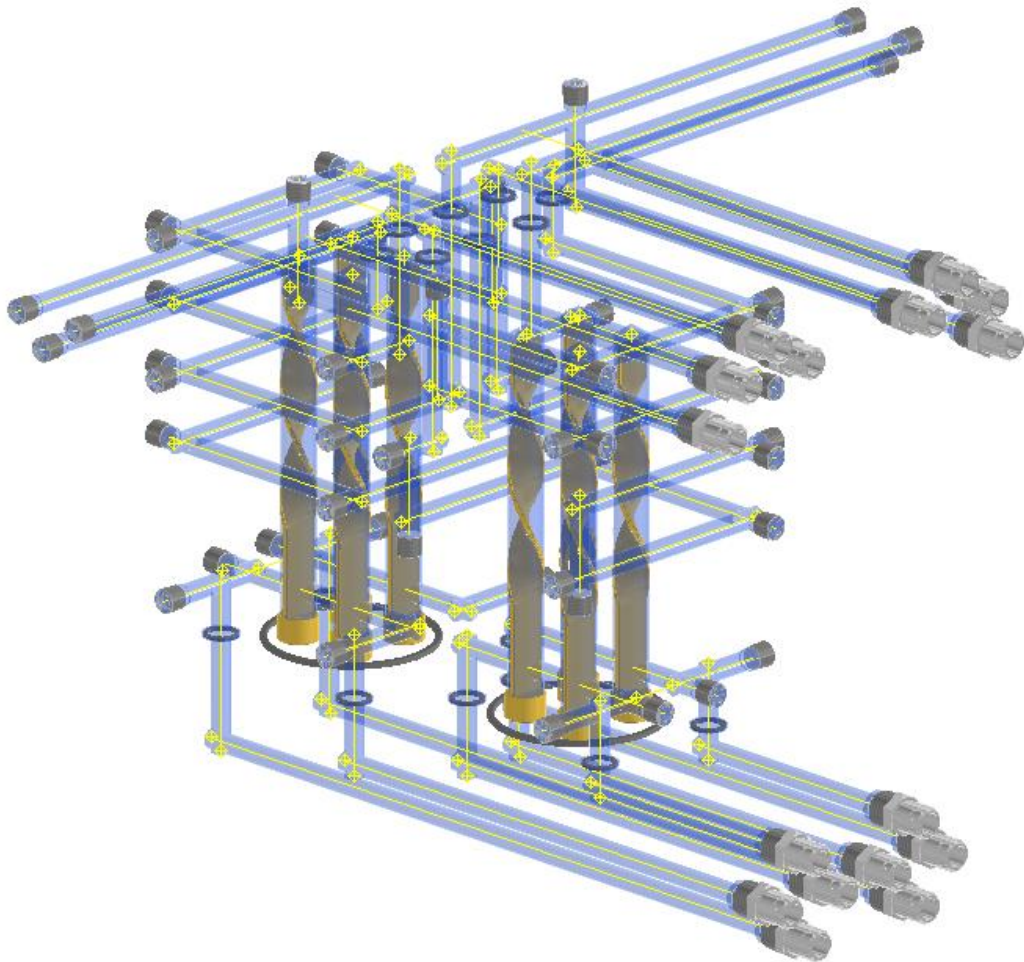


Figura 77 - Circuitos de água e elementos que compõem o sistema de refrigeração.

Importa referir que, para evitar problemas na montagem os tampões que ficam nos blocos da cavidade/bucha precisam estar totalmente embutidos nos blocos da cavidade/bucha para que não existam interferências no encaixe das placas. A Figura 78 ilustra todos os sistemas de refrigeração bem como as placas da cavidade e da bucha para o molde em desenvolvimento.

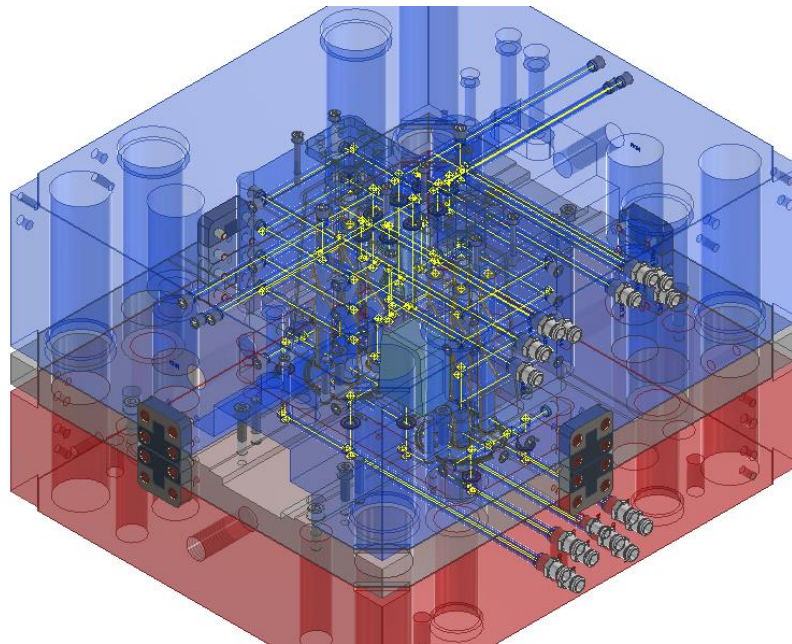


Figura 78- Ilustração de todo o sistema de refrigeração bem como as placas da cavidade e da bucha para o molde em desenvolvimento.

Como já mencionado anteriormente, todas as entradas e saídas do circuito de arrefecimento precisam ser numeradas. Este procedimento deve ser feito de forma a facilitar a conexão das mangueiras do fluido de arrefecimento da máquina de injeção ao molde. A Figura 79 ilustra as numerações de entrada e saída de cada circuito do molde porta-canetas.

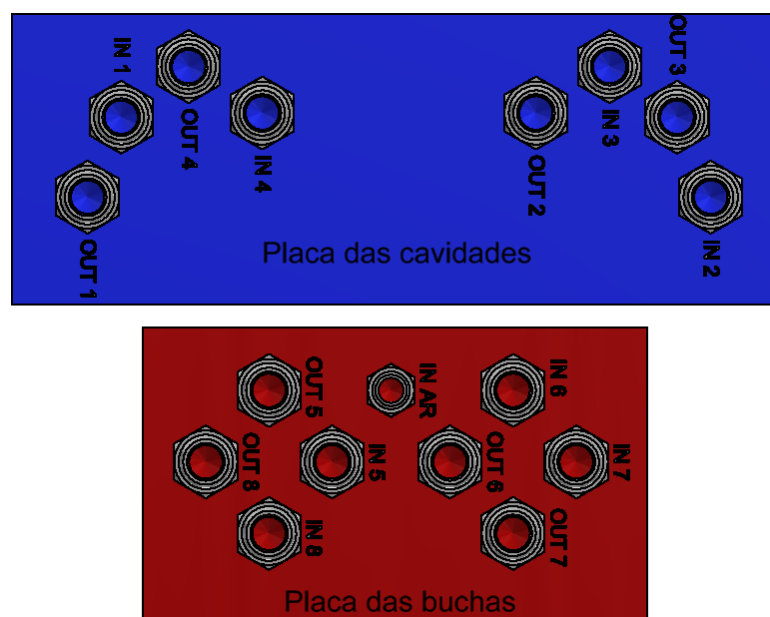


Figura 79 - Identificação das numerações de entrada e saída de cada circuito para a placa das cavidades e para a placa das buchas, do molde porta-canetas.

Analisando a figura anterior importa referir que as entradas e saídas encontram-se intercaladas entre si de maneira a otimizar a transferência de calor na refrigeração do molde. Importa referir que, não foram inseridos circuitos de refrigeração nas contra-saídas, pois estas moldam um comprimento equivalente à espessura da peça, fazendo com que os circuitos de água que as envolvem, juntamente com as lâminas de deflexão das buchas, sejam suficientes para realizar a refrigeração.

3.7 - Sistema de extração

3.7.1 - Extração do jito e sistema de alimentação

Como referido anteriormente, os canais de alimentação que estão a ser projetados para o molde possuem 2 pinos de retenção (Figura 52). A função desses pinos é garantir que todo o canal de alimentação fique preso na placa extratora do jito, aquando da abertura do molde. Posteriormente à abertura do molde e através do sistema de extração do jito é originada uma força de extração que deve separar o sistema de ataque das peças, promovendo desta forma a separação de todo o sistema de alimentação do produto moldado. Importa referir que, os pinos de retenção não se movem durante a abertura do molde. É a placa extratora do jito que se move de acordo com a sequência de abertura do molde. O sistema de extração do jito e alimentadores é composto pela placa extratora do jito, pelo pino de retenção e pelo conjunto de extração do canal de alimentação. Este conjunto é constituído por um extrator, por uma mola e por um pino que empurra o alimentador para fora do molde de acordo com um determinado ângulo.

Na Figura 80 apresentam-se todos os elementos referidos anteriormente e onde é possível visualizar os movimentos que o sistema executa para extração do jito e dos canais de alimentação depois da abertura do molde.

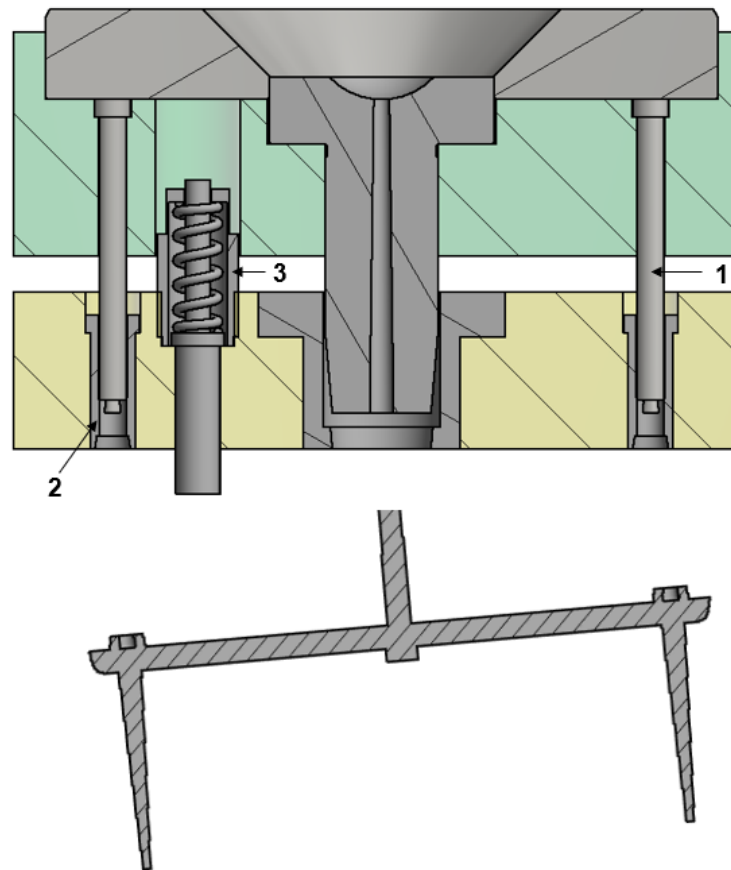


Figura 80 - Representação do sistema de extração dos alimentadores e do jito: pino retentor (1), casquilho guia do pino retentor (2) e conjunto extrator do alimentador e jito (3).

3.7.2 - Sistema de extração das peças

Durante o processo de moldação por injeção, o plástico fundido é injetado para o molde que se encontra fechado com recurso a pressão relativamente elevada (fase de injeção). As elevadas forças exercidas pela unidade de fecho, mantêm o molde fechado evitando desta forma que o material possa sair da cavidade. Após a injeção e para aumentar a densidade e compensar a contração que ocorre no material, é injetado mais material para a cavidade a pressão constante (fase de pressurização) até que todo o fundido solidifique. Depois desta fase, o material arrefece até atingir uma rigidez suficiente (fase de arrefecimento) que permita a sua extração do molde. Uma vez que a plasticização do material para uma nova peça leva tempo, no final da fase de pressurização o parafuso sem fim da máquina injetora continua a rodar e é animado de movimento de recuo fazendo com que o material fundido seja transportado para a sua extremidade. Após estas fases, o molde abre e no intervalo entre a abertura e o fechamento do molde a peça é extraída.

O ideal seria que, a seguir à abertura do molde, a peça pudesse cair por gravidade. Contudo, devido à contração e conseqüente adesão ou devido à existência de contra-saídas na peça esta tende a ficar presa no molde. Em termos gerais, esta prisão deve ocorrer sempre na placa da bucha e para remover a peça deverão ser criadas soluções específicas para as extrair. O sistema de extração requer assim, um projeto próprio, que pode ser bastante complexo em virtude por exemplo, de serem necessários longos cursos e elevadas forças de extração devido a uma excessiva rigidez ou contração de alguns termoplásticos. O sistema de extração das peças é normalmente atuado pela máquina injetora. Caso não seja possível ou necessite de ajuda para extração da peça, este sistema pode ser complementado pela atuação de forma interligado ou autónomo por um sistema hidráulico ou pneumático (CENTIMFE, 2003).

Segundo Harada (2004), o sistema de extração pode ser dividido como se apresenta na Figura 81. O sistema de extração que foi escolhido para extrair a peça é designado de sistema de extração por placa impulsadora ou extratora. Este sistema tende a não danificar os produtos pois, a força de extração é aplicada em toda a espessura da peça. Se por outro lado, o sistema de extração fosse realizado por pinos extratores ou anel extrator, existiria por um lado um aumento da complexidade no fabrico do sistema de extração, referente aos pinos extratores, necessitaria de pinos de pequeno diâmetro e por outro, a pressão que os pinos exercem durante a extração, pode ser suficiente para danificar ou até mesmo furar a face da peça, que se encontra ainda quente. É devido a estas considerações que o sistema escolhido foi o de extração por placa impulsadora ou extratora, sendo este bem simples e é composto por:

- **Placas dos extratores** (placas n.º 8 e n.º 9) - fixam, posicionam os pinos de retorno e promovem o seu acionamento. Estas placas são acionadas diretamente pela máquina injetora;
- **Calços distanciadores** - servem para garantir o curso necessário às placas dos extratores;
- **Pinos de acionamento e retorno** - Geralmente são aplicados 4 pinos que promovem o acionamento da placa extratora e recuo das placas dos extratores;
- **Placa extratora** - é uma placa ajustada que envolve a base do bloco das buchas, é fixada aos pinos de retorno para funcionar sempre da mesma forma e em conjunto com as placas dos extratores;
- **Casquilhos e pinos guias de extração** - normalmente são quatro, e tem como função guiar o movimento das placas dos extratores, sendo estes pinos guias os mesmo que alinham as placas da cavidade/bucha pois a placa extratora está posicionada entre estas placas;
- **Parafusos** - promovem a união das placas dos extratores e dos pinos de retorno com a placa extratora.

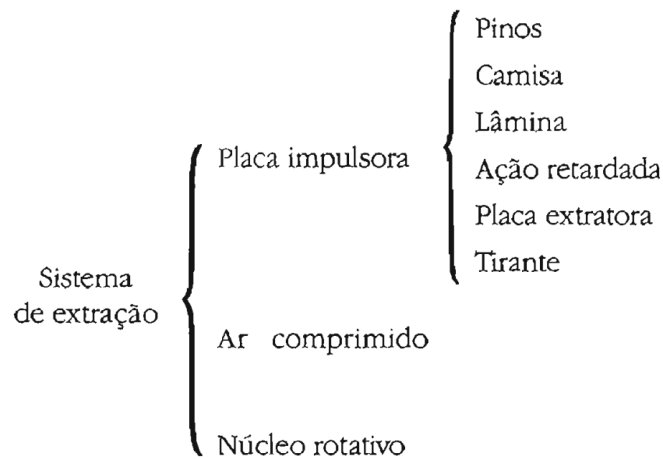


Figura 81 - Representação da divisão do sistema de extração (Harada, 2004).

A Figura 82 ilustra todos os elementos do sistema de extração por placa impulsora ou extratora para o molde porta-canetas.

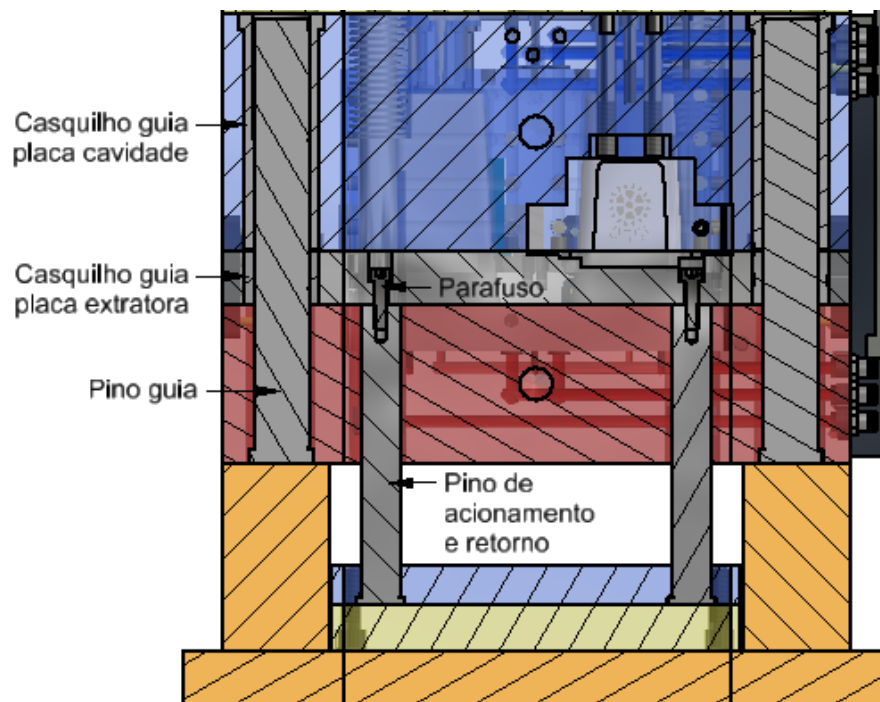


Figura 82 - Representação de todos os elementos do sistema de extração por placa impulsora ou extratora para o molde porta-canetas.

Todos os elementos da placa impulsora ou extratora para o molde porta-canetas foram selecionados a partir do catálogo da empresa Misumi. Relativamente aos elementos redondos, foram escolhidos os 4 pinos guias Misumi GPJL35 - 280 - 90

que fazem o alinhamento das placas cavidade/bucha e a placa extratora. A Figura 83 ilustra a geometria desse pino guia.

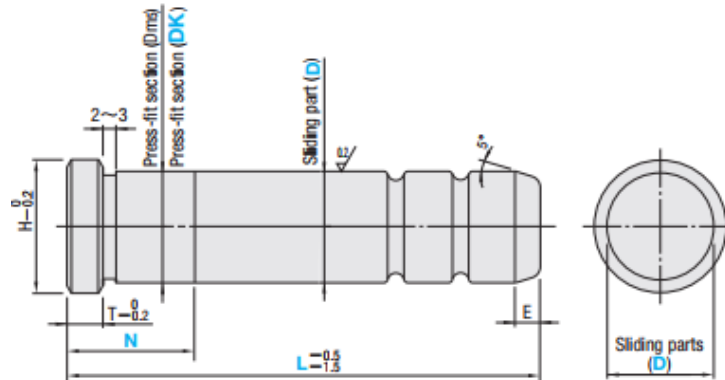


Figura 83 - Pino guia Misumi GPJL D - L - N (Corporation Misumi, 2015).

Relativamente aos casquilhos da placa da cavidade, foram escolhidos 4 casquilhos que tem a referência Misumi GBAM 35 - 150 e a sua representação dimensional pode ser visualizada na Figura 84.

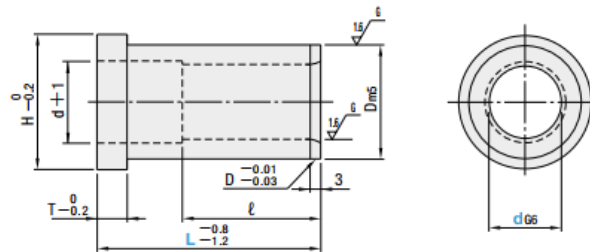


Figura 84 - Casquilho da placa da cavidade Misumi GBAM d - L (Corporation Misumi, 2015).

Para o guiamento da placa extratora foram escolhidos os 4 casquilhos Misumi GBBM 35 - 35 e a Figura 85 ilustra esse casquilho.

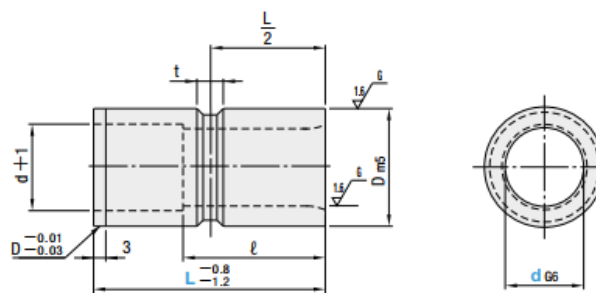


Figura 85 - Casquilho guia Misumi GBBM d - L (Corporation Misumi, 2015).

Por último, na Figura 86 apresenta-se o pino de acionamento e retorno do sistema de extração que foi escolhido, neste caso a escolha recaiu sobre o pino Misumi RP4TLM 25 - 190 - M8.

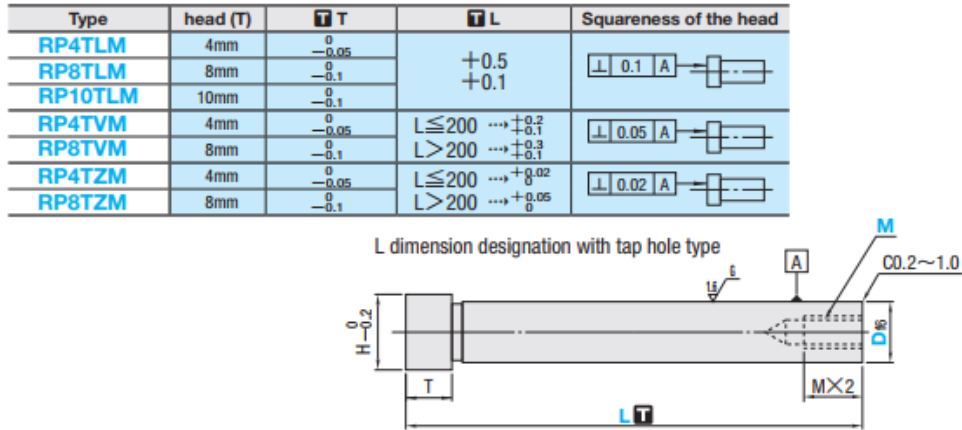


Figura 86 - Pino de retorno Misumi RP4TLM D - L - M (Corporation Misumi, 2015).

Como referido anteriormente, o sistema de extração para além de ser composto por placa impulsora ou extratora, também possui um sistema de ar comprimido, que auxilia na extração das peças. Este sistema pode ser visualizado na Figura 87, onde se ilustra todo o sistema de ar comprimido que irá ajudar na extração dos porta-canetas.

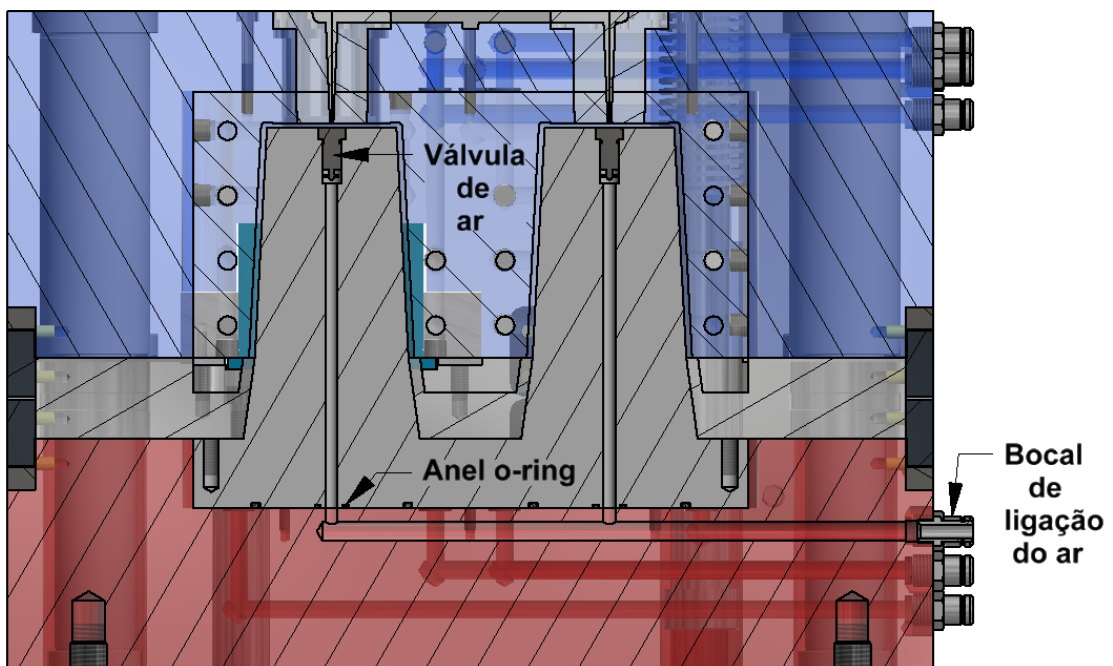


Figura 87 - Representação do sistema de ar comprimido, que auxilia na extração das peças.

A válvula de ar pneumática selecionada para o sistema de extração é da empresa HASCO e tem a referência Z4911/12 x 8, tal como ilustrada na Figura 88.

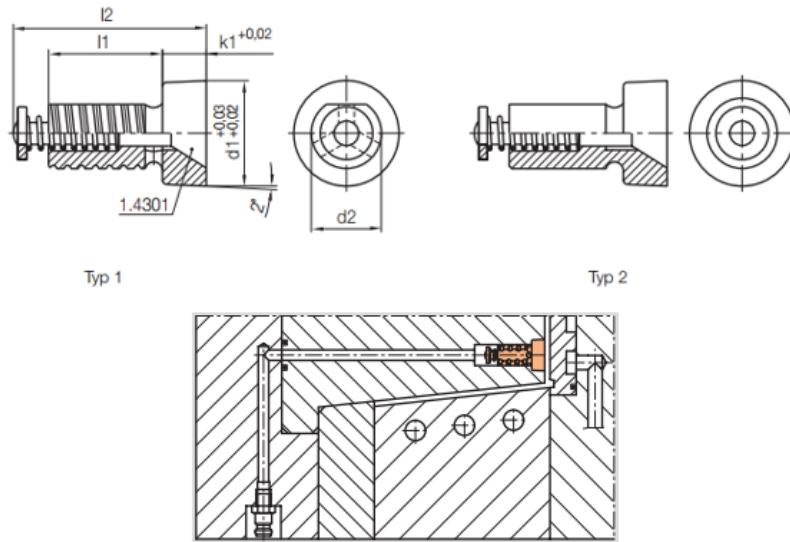


Figura 88 - Válvula pneumática HASCO Z4911/d1 x d2 (HASCO, 2021).

O bocal de ligação do ar selecionado é o HASCO Z 81/9x10, como foi ilustrado na Figura 72 e os o-rings escolhidos foram HASCO Z98/10x2. A extração dos produtos é realizada somente quando o molde já efetuou toda a sua abertura (como visto na Figura 45 iii). Assim, a próxima etapa consiste no acionamento do sistema de extração composto pelo sistema de extração por placa e ar comprimido, sendo que estes dois sistemas são acionados em simultâneo. A Figura 89 ilustra o sistema de extração acionado.

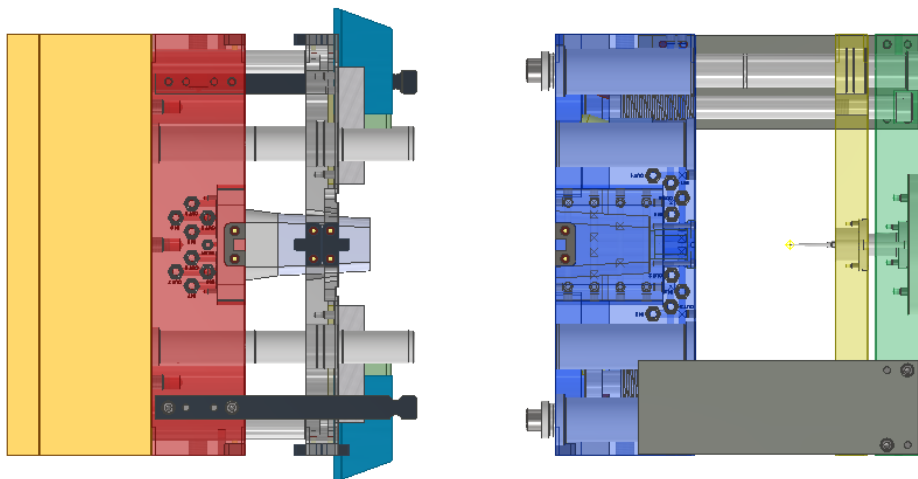


Figura 89 - Representação do sistema de extração acionado.

3.7.3 - Elementos de travamento para transporte do molde

Os moldes são extremamente pesados e exigem o máximo de atenção, sendo que todas as seguranças devem ser previstas para que durante o manuseamento ou até no transporte do molde não ocorram situações de perigo. Relativamente ao molde que foi desenvolvido, o seu peso total em termo de software aponta para o valor de cerca de 700 Kg. Sendo assim, para o seu transporte e manuseamento são necessários meios de elevação adequados. Quando adicionado a estrutura do molde as placas cavidade/bucha possuem furos roscados M24, onde podem ser colocado olhais para facilitar a sua elevação. Os olhais escolhidos são da empresa HASCO e têm a referência Z710/24. Na figura seguinte ilustra-se o olhal escolhido, tendo o mesmo a garantia que ele suporta a elevação um peso muito superior ao peso do molde.

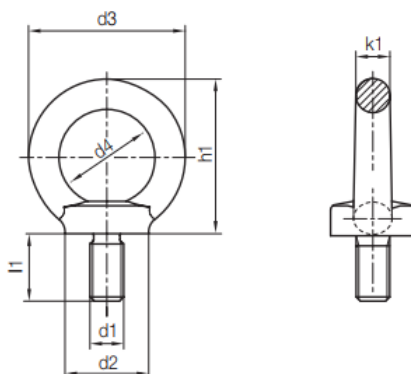


Figura 90 - Representação do olhal HASCO Z710/d1 para elevação (HASCO, 2021).

Para movimentar o molde com segurança, ele precisa estar bloqueado na posição de fechado e evitando assim que ele se abra. Para garantir isso, foi desenvolvido uma barra de bloqueio ou segurança com 300 mm de comprimento, 30 mm de largura e 20 mm de espessura (Figura 91). Esta barra está furada para alojar parafusos M10, sendo um dos parafusos será colocado na placa das buchas e o outro colocado na placa de aperto lado injeção. Para tal, na placa das buchas foi feita uma rosca M10 para a fixação da referida barra de bloqueio. Já na placa de aperto lado injeção, foi necessário prever um rebaixo de 25 mm de profundidade com 32 mm de largura para colocação desta barra, uma vez que o molde apresenta a aba para apertar o molde no prato da máquina injetora. Nesse rebaixo foi feita a rosca M10 que irá ser usada para fixação, sendo que a barra de segurança foi colocada no lado do molde com acesso do operador.

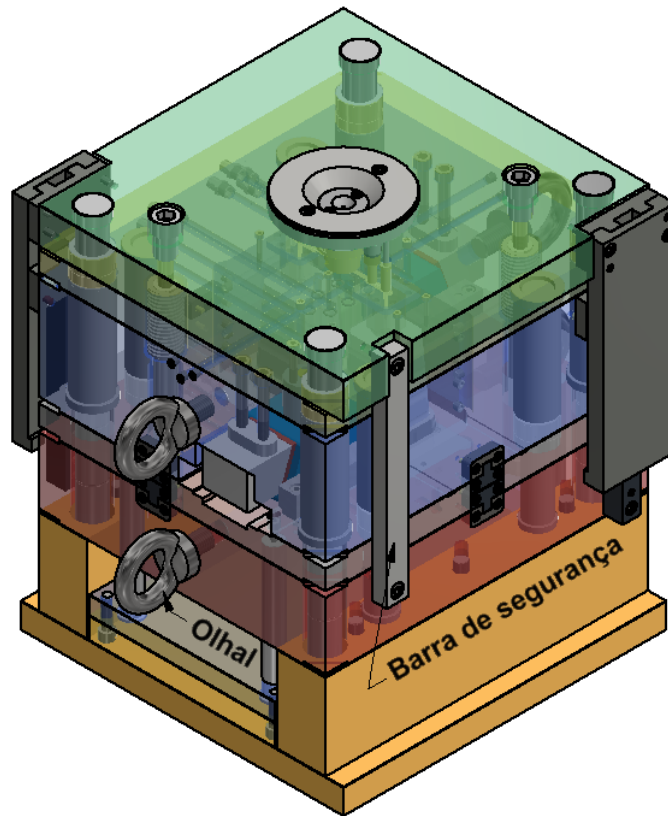


Figura 91 - Representação dos olhais e da barra de bloqueio ou segurança do molde desenvolvido.

4 - Simulações Numéricas

O Cálculo Assistido por Computador (CAE) também é conhecido como Engenharia de Simulação, pois permite simular numericamente o modelo, possibilitando reduzir ou eliminar a “tentativa e erro”. Ou seja, este tipo de *software* permite simular o modelo o mais próximo da realidade, com o intuito de corrigir o projeto antes do seu fabrico. Deste modo, viabiliza reduzir custos, otimizar a produção e aperfeiçoar a qualidade. Os sistemas CAE desenvolvidos na área de injeção de termoplásticos podem reduzir ou até eliminar possíveis problemas que ocorrem durante o preenchimento das cavidades em moldes.

Como já foi referido anteriormente, o *software* Autodesk Inventor® 2021 realiza a análise de preenchimento de uma única peça e também executa a análise de preenchimento do molde. Dessa análise, o *software* analisa o fluxo de plástico que percorre o molde incluindo o sistema de alimentação, prevê os aprisionamentos de ar, as linhas de soldadura, a qualidade da peça moldada e calcula a força de fecho. No entanto, o *software* é limitado porque disponibiliza apenas a simulação de injeção. Atendendo a esse facto, optou-se em utilizar o aplicativo *Plastics* do *software* Solidworks®, pois este oferece aos projetistas de peças e moldes de injeção uma simulação mais avançada. Ou seja, com este *software* para além da simulação de enchimento, é também possível simular o arrefecimento, a compactação e até o empenamento.

4.1 - Análise da injeção das peças e do sistema de alimentação

O Solidworks® *Plastic* não aceita ficheiros no formato de montagem, sendo assim o modelo foi gravado em formato de peça. Para criar o modelo da refrigeração, foram criados os esboços de cada circuito de água. O *software* possibilita criar um molde virtual para a análise, sendo que neste caso o modelo final foi constituído pelos sólidos das peças, sistema de alimentação e os circuitos de água. A Figura 92 ilustra o modelo 3D com os esboços dos circuitos de água.

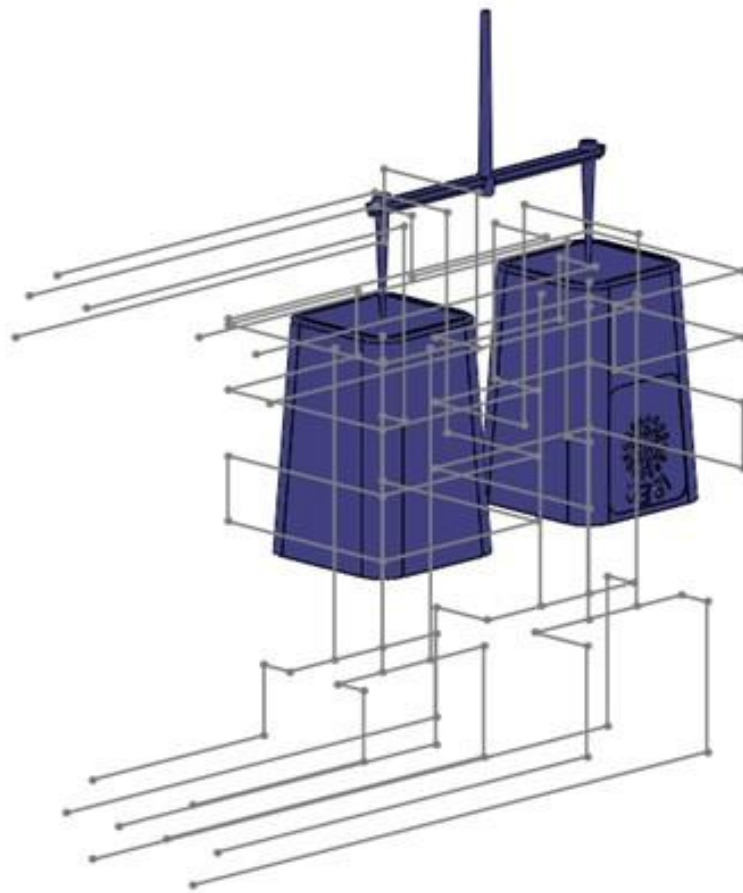


Figura 92 - Representação do modelo 3D com os esboços dos circuitos de água.

4.1.1 - Condições de limite

Nesta primeira etapa, define-se as condições de limite (ou de fronteira). Sendo assim, é necessário indicar o local de injeção, a válvula de controle e a temperatura na parede do molde. Neste momento, apenas será definido o local da injeção onde se encontra a entrada do polímero fundido no molde, como pode ser visto na Figura 93.

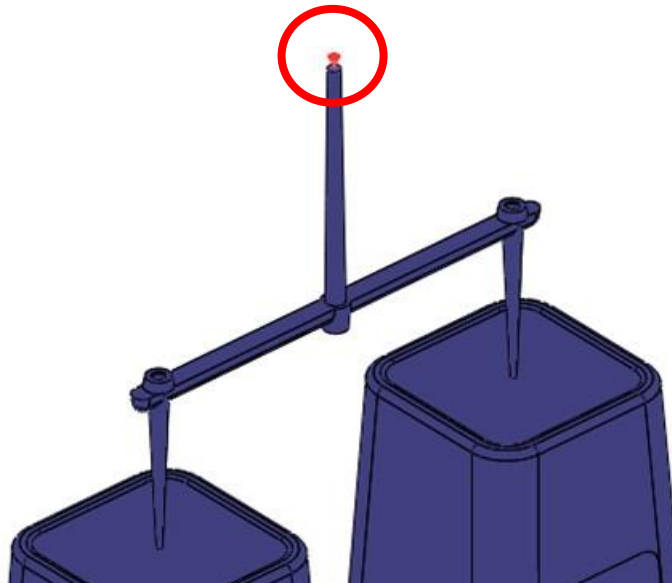


Figura 93 - Representação do local da injeção.

4.1.2 - Seleção da malha

Para executar os cálculos das simulações de moldes de injeções, o Solidworks® *Plastic* utiliza o método de elementos finitos (MEF), com a finalidade de resolver simultaneamente as equações da conservação de massa, quantidade de movimento e quantidade de energia para preenchimento das cavidades. Essas equações utilizadas pelo *software* são apresentadas e explicadas por Miranda (2017). Este método necessita que o modelo 3D seja subdividido em um número finito de partes (elementos), conectados entre si pelos pontos (nós), onde ocorre a geração da malha.

Existem 2 métodos para definir a malha no nosso projeto. A malha pode ser do tipo casca ou sólida, e cada uma delas podem ser geradas de forma automática ou manual. A malha de casca é a mais útil para peças de paredes finas. Ela fornece o melhor equilíbrio entre precisão de análise e tempo computacional. A malha sólida fornece resultados mais precisos para qualquer tipo de modelo, mas necessita de maior tempo computacional. A malhagem pelo método manual permite definir as configurações para melhorar a qualidade da malha.

A malha sólida com o método manual foi a escolhida para o estudo, pois permite selecionar e configurar os corpos sólidos em cavidade, circuito de refrigeração, sistema de alimentação e gerar a estrutura do molde de forma virtual, enquanto no método automático só permite selecionar um corpo sólido. As precisões dos resultados das simulações estão diretamente ligadas ao número de elementos e nós que compõem a malha. A malha é gerada acompanhando a geometria dos corpos e quanto menor o tamanho do elemento, mais idêntica a malha vai ser da geometria do

corpo e, conseqüentemente, mais precisos serão os resultados dos cálculos. Por outro lado, quanto maior o tamanho dos elementos, menor será a precisão dos cálculos, comprometendo a confiabilidade dos resultados das simulações. Porém, quanto mais refinada a malha, maior será o tempo computacional. Portanto, é necessário fazer a convergência da malha para obter o equilíbrio entre a precisão dos cálculos e o tempo computacional. A Figura 94 ilustra a malhagem feita nas peças e sistema de alimentação.

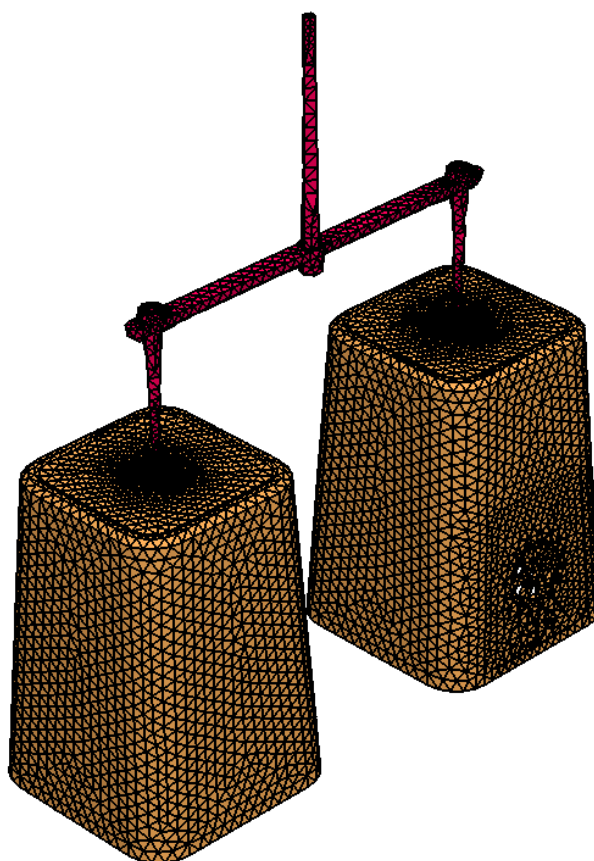


Figura 94 - Representação da malha nas peças e no sistema de alimentação.

Para fazer a convergência da malha, foi executada apenas a simulação de injeção. Os resultados das simulações são exibidos na Tabela 5. A partir desta tabela é possível verificar que os erros dos resultados da malha 7 e malha 6 estão abaixo de 3%, mas o tempo de processamento da CPU da malha 7 são 4,14 vezes maiores que o da malha 6. Assim, não há necessidade de continuar diminuindo o tamanho do elemento da malha, pois o tempo de CPU está a aumentar muito em relação a precisão dos resultados.

O refinamento apresentado na Tabela 5 foi feito na face lateral onde se encontra o furo e as faces das geometrias vazadas da peça. A fórmula para calcular o erro mencionado nesta mesma tabela pode ser observada na equação (22).

$$Erro = \left(\frac{(Malha (X - 1) - Malha X)}{Malha (X - 1)} \right) \times 100 \quad (22)$$

Onde:

X - Número da malha.

Tabela 5 - Análise da convergência da malha sólida.

	Malha 1	Malha 2	Malha 3	Malha 4	Malha 5	Malha 6	Malha 7
Tamanho dos Elementos [mm]	6	4	3	2	1,5	1	0,75
Refinamento [mm]	-	3	2	1,5	1	0,75	-
Nº de Elementos	1825588	1982397	2207932	2716255	3459101	5714160	8367327
Tempo de CPU [s]	2048,7	2539,7	3315,3	6111,3	11881,3	41342,1	170993,6
Pressão de Injeção [MPa]	73,25	57,41	42,83	40,33	38,57	37,6	37,68
Erro [%]		21,62	25,40	5,84	4,36	2,51	0,21
Massa [g]	111,81	112,39	112,5	113,21	113,3	113,5	113,54
Erro [%]		0,52	0,10	0,63	0,08	0,18	0,04
Tempo de Preenchimento [s]	2,14	2,22	2,29	2,48	2,63	2,68	2,60
Erro [%]		3,59	3,30	8,03	6,04	1,94	2,82

Com o intuito de ilustrar e analisar os dados da Tabela 5 foram construídos os gráficos da Figura 95 onde é possível verificar a convergência da malha sólida do modelo.

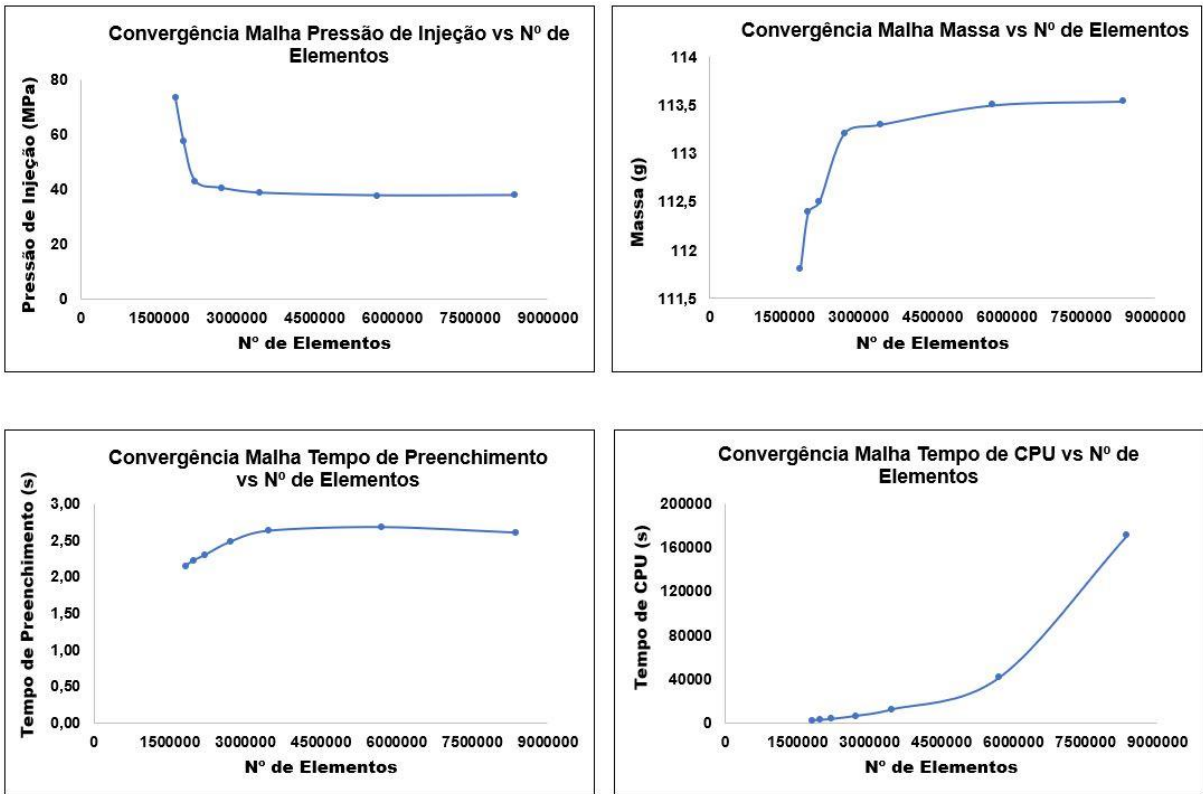


Figura 95 - Representação da convergência da malha.

Para além da representação da convergência da malha, foram também efetuadas as correlações do tempo de CPU com a pressão de injeção, com o tempo de preenchimento, com a massa da peça e com o tamanho dos elementos de malha, representados nas Figura 96, Figura 97 e Figura 98, respetivamente.

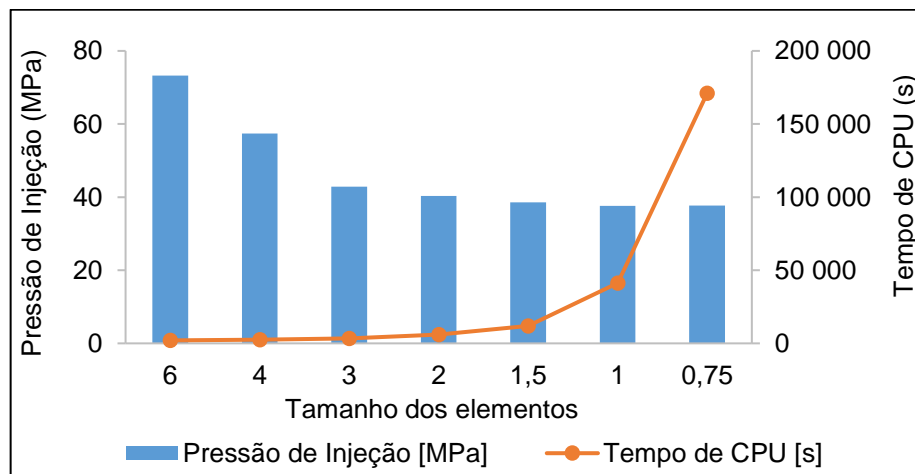


Figura 96 - Correlação da Pressão de Injeção vs Tempo de CPU com o tamanho dos elementos da malha.

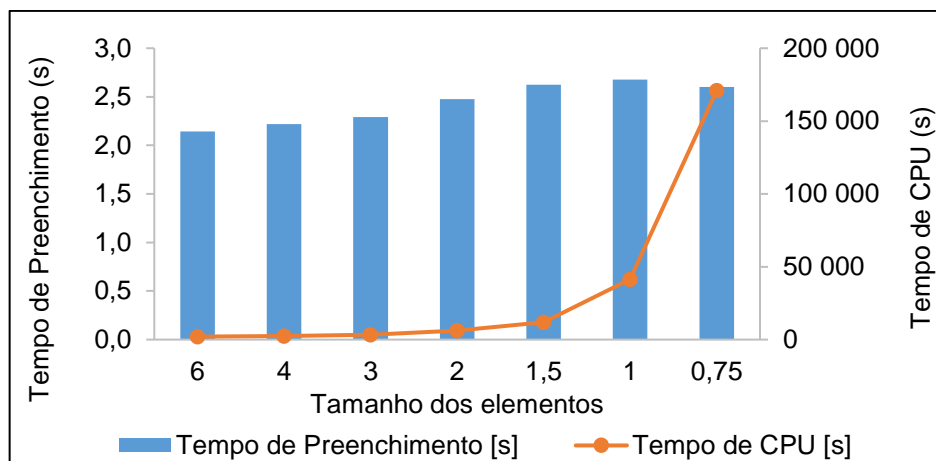


Figura 97 - Correlação do Tempo de Preenchimento vs Tempo de CPU com o tamanho dos elementos da malha.

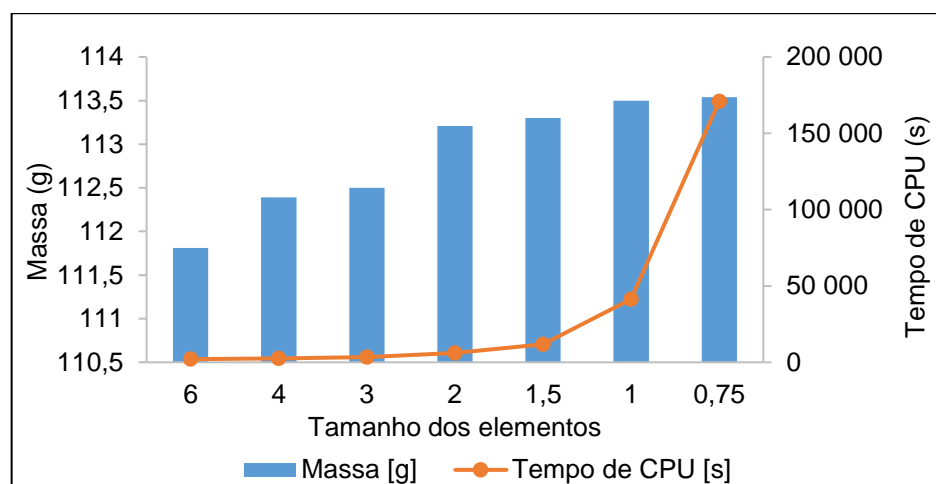


Figura 98 - Correlação da Massa vs Tempo de CPU com o tamanho dos elementos da malha.

Em relação ao tipo de elementos finitos, foi escolhida uma malhagem híbrida (elementos tetraédricos e prismáticos), sendo que os elementos prismáticos se localizam próximos às superfícies da cavidade, aumentando assim a precisão da simulação do fluxo de material. Para o domínio das cavidades, foi definida uma transição dos elementos de 0,1 mm. E para os domínios do molde e sistema de refrigeração, os requisitos não são tão importantes e, portanto, foi definida uma transição dos elementos de 1 mm.

Estes domínios possuem uma malhagem de elementos tetraédricos, conforme é ilustrado na Figura 99.

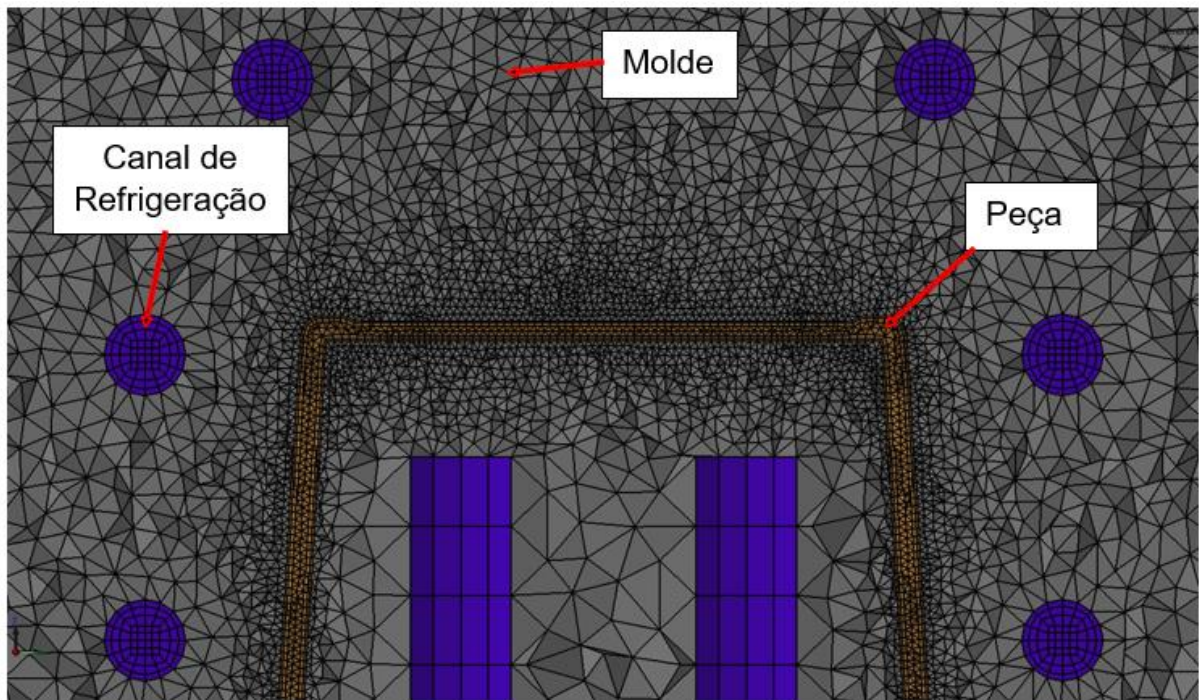


Figura 99 - Representação da malha no molde, peça e canais de refrigerações.

O molde virtual é um bloco único. Este possui as medidas correspondentes das placas de aperto, extratora do jito, das cavidades, extratora e das buchas como pode ser observado na Figura 100.

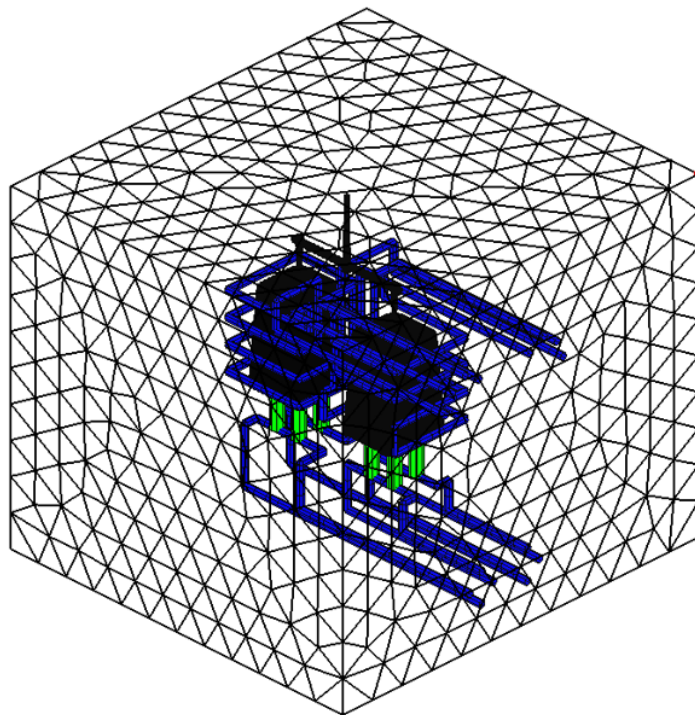


Figura 100 - Representação do molde virtual para simulações.

4.1.3 - Seleção dos materiais e fluido de refrigeração

Com a malha da simulação definida, seleciona-se o polímero a ser utilizado. Como já referido anteriormente, o material definido foi o PP - Moplen HP500N. Este polimérico está disponível na biblioteca do Solidworks® *Plastics*. Quando selecionado qualquer material da biblioteca do *software*, este apresenta as características do material. Na figura seguinte, apresenta-se algumas dessas características do polímero que estão disponíveis.

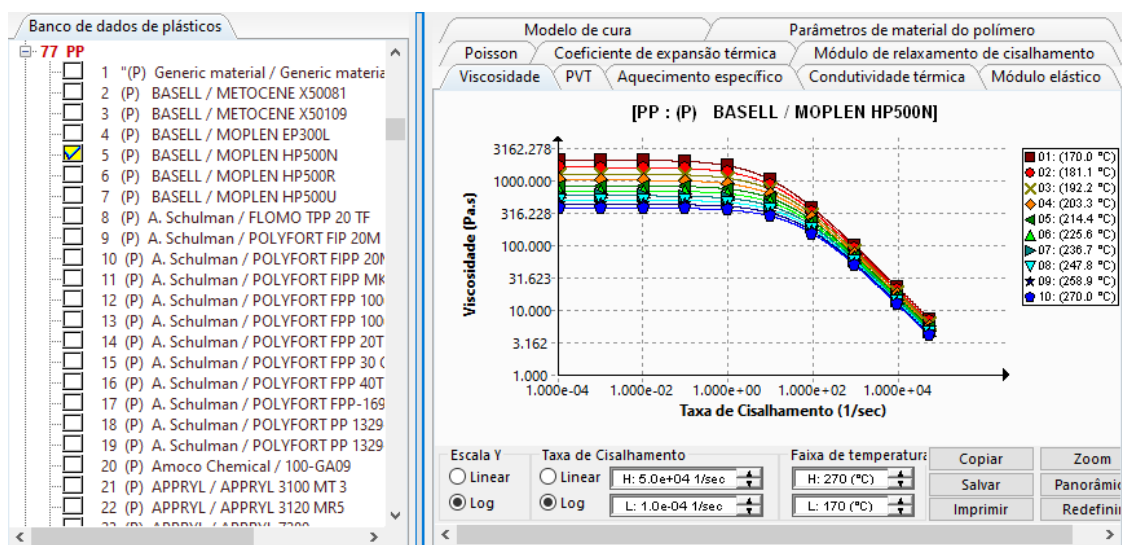


Figura 101 - Definição do material que irá ser injetado.

O fluido de refrigeração escolhido para a simulação de arrefecimento do molde foi a água, como ilustrado na Figura 102.

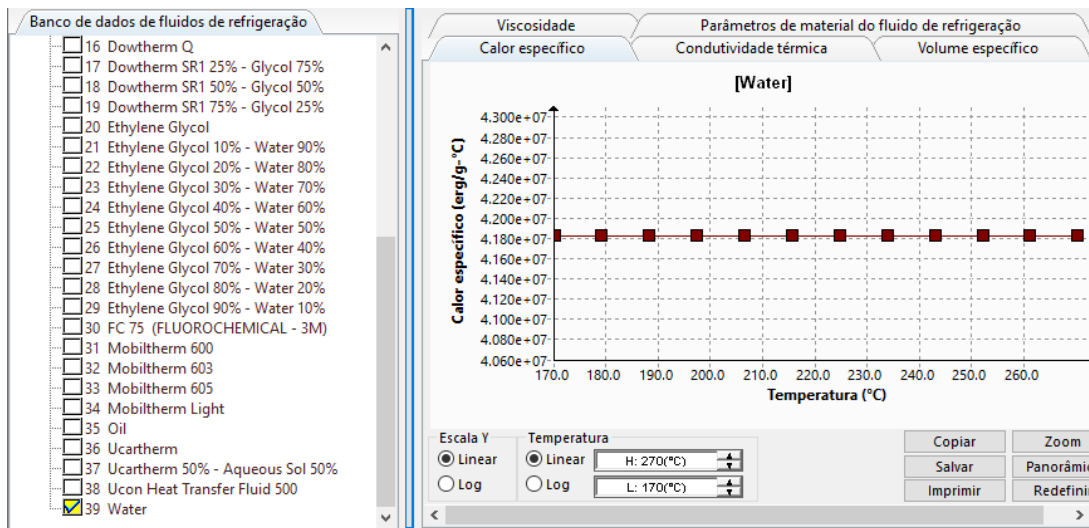


Figura 102 - Definição do fluido de refrigeração.

O *software* permite escolher o material do molde de injeção. Quando selecionado um material, todas as suas propriedades químicas, físicas e mecânicas serão utilizadas nos cálculos de simulação. A estrutura do molde é feita em aço, mas os blocos posições onde se encontram as cavidades/buchas com as geometrias das peças, para este estudo, foram considerados em alumínio 7075-T651, como pode ser observado na Figura 103.

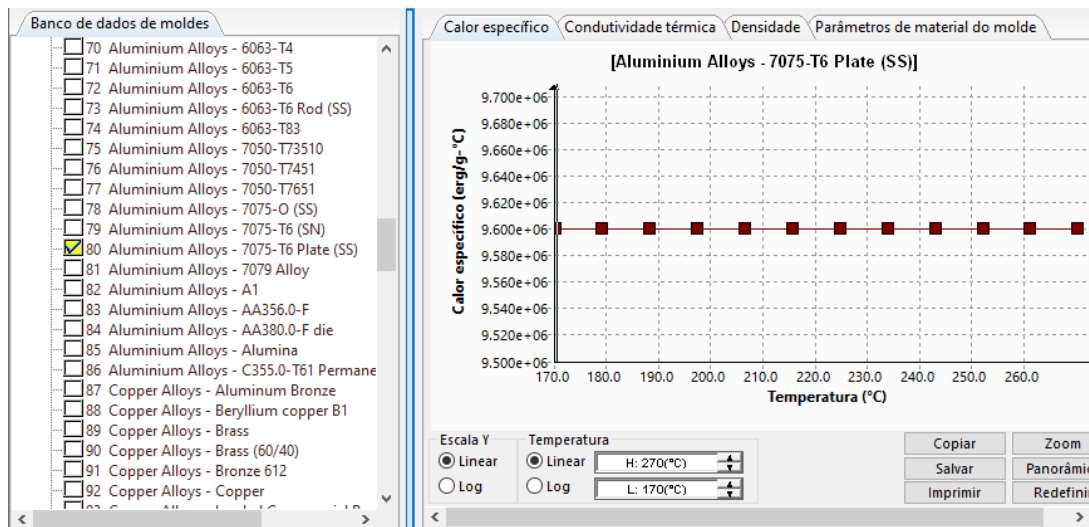


Figura 103 - Definição do material do molde.

4.1.4 - Introdução dos parâmetros de processos

A simulação de moldagem por injeção é realizada com quatro módulos de análise:

- Arrefecimento (*COOL*) - Realiza a análise de transferência de calor com o objetivo de obter a distribuição de temperatura dentro do molde. Durante o ciclo de molde por injeção, as temperaturas calculadas variam por localização e tempo. Os efeitos do preenchimento de cavidade e do sistema de refrigeração do molde estão incluídos na simulação *COOL*. Uma vez que as mudanças de temperatura ocorrem de maneira relativamente mais lenta em relação à velocidade com a qual a cavidade é preenchida, uma aproximação é feita no *software* que permite que a simulação *COOL* seja realizada primeiro, separadamente da simulação *FLOW*. Os resultados de temperatura de *COOL* são armazenados em um banco de dados para uso em simulações *FLOW* e *PACK* subsequentes (Dassault Systemes, 2022).
- Injeção (*FLOW*) - Prevê como o material preenche a cavidade. Ele é responsável pela transferência de calor entre o material e o molde durante o preenchimento e prevê as alterações de viscosidade conforme o material começa a se solidificar. Os resultados da simulação *FLOW* incluem distribuições de pressão e temperatura dentro da cavidade e detecção de possíveis processos curtos e linhas de solda. Pode-se controlar como o material é injetado na cavidade especificando o tempo de preenchimento, a taxa do fluxo de injeção ou o perfil de velocidade do parafuso. Deve-se selecionar AUTOMÁTICO para que o software aplique os parâmetros do processo de forma automática. (Dassault Systemes, 2022).
- Compactação (*PACK*) - Avalia o processo de arrefecimento do material na cavidade. Durante *PACK*, pressão é aplicada ao sistema de injeção para fazer com que material adicional entre na cavidade conforme a peça encolhe e solidifica. Os resultados de *PACK* preveem o histórico de tempo de temperatura em todos os pontos da peça, o que permite que se avalie pontos quentes, solidificação do ataque e tempo de ciclo. Distribuições dos resultados de pressão, tensão e contração também estão disponíveis na simulação *PACK* (Dassault Systemes, 2022).
- Empenamento (*WARP*) - Prevê a forma e as dimensões finais da peça depois de ser injetada e completamente arrefecida. O módulo *WARP* usa resultados de dados de tensão residual de *FLOW* e *PACK*. Ao contrário da análise de preenchimento de volume finito usada em *FLOW* e *PACK*, a simulação *WARP* se baseia no método de elementos finitos, e a peça plástica é considerada um corpo elástico linear (pequenas deformações são consideradas). Ataques e canais podem ser excluídos da simulação *WARP* para focar somente na peça da cavidade aparada (Dassault Systemes, 2022).

Estes módulos requerem parâmetros para que seja possível efetuar cálculos de simulação. E estes são fornecidos pelos fabricantes de materiais poliméricos. Assim, os parâmetros de processamento foram introduzidos nas simulações com os valores da Tabela 2. A Figura 104, ilustra como são introduzidos os valores de processamento do módulo de preenchimento.

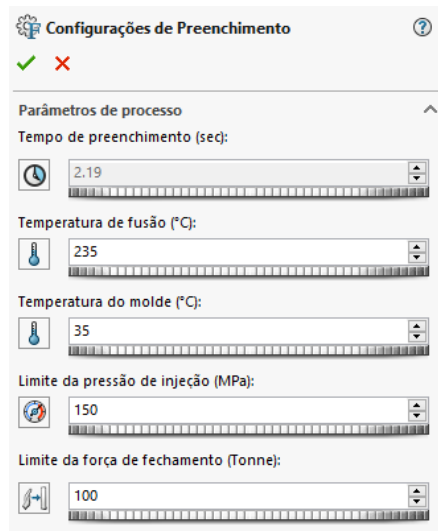


Figura 104 - Parâmetros de configurações do módulo de preenchimento.

A Figura 105 apresenta como são introduzidos os valores para o módulo de compactação (designado de recalque no software). O *software* insere o tempo de arrefecimento puro de forma automática, pois este parâmetro é calculado na simulação de injeção.

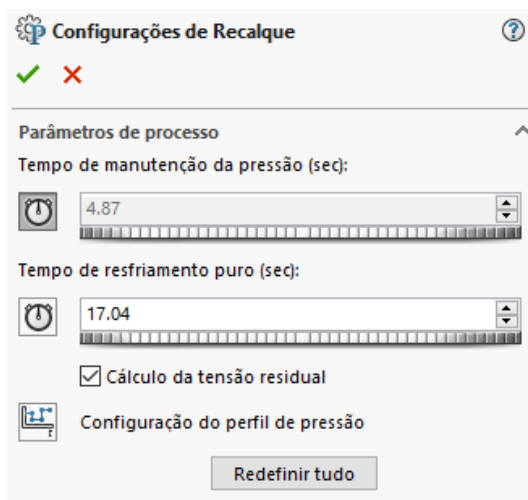


Figura 105 - Parâmetros de configurações no módulo de compactação.

Relativamente ao módulo de empenamento e de arrefecimento, a Figura 106 e a Figura 107 apresentam os valores introduzidos nas simulações.

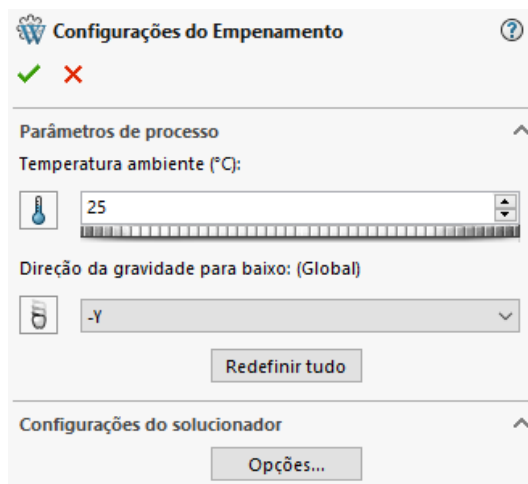


Figura 106 - Parâmetros de configurações no módulo de empenamento.

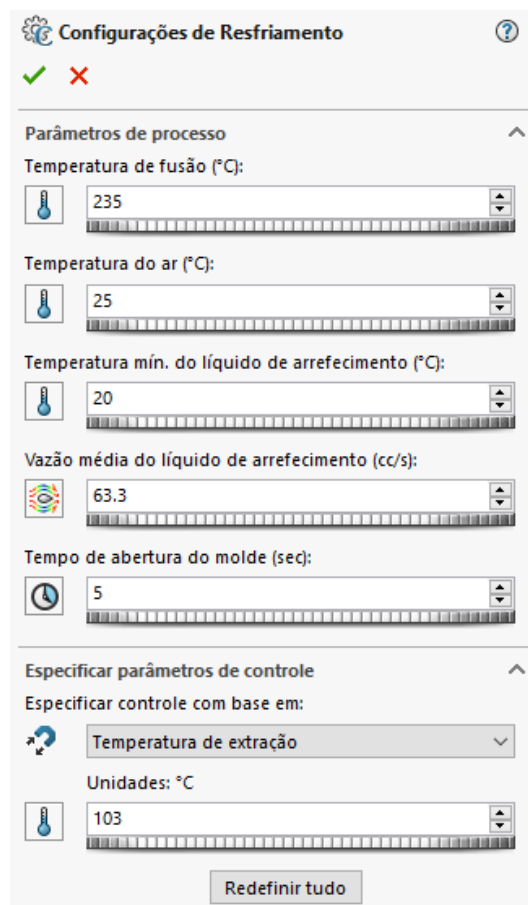


Figura 107 - Parâmetros de configurações no módulo de arrefecimento.

Como pode ser observado na Figura 107, no campo vazão média do líquido de arrefecimento, o qual diz respeito ao fluxo, o valor introduzido foi de 63,3 (cc/s). Este valor foi considerado porque os diâmetros dos furos de refrigeração são de 8 (mm) e segundo CENTIMFE (2003) o fluxo para este diâmetro é de 3,8 (l/min).

4.1.5 - Condições de fronteira

A primeira condição de fronteira que o *software* solicita é a localização da injeção, mas esta já foi definida na face do topo do jito nas condições de limite, conforme visto na Figura 93. Afinal, por estar a trabalhar a malha sólida, não é necessário indicar outra localização, sendo esta face o ponto inicial para o trajeto do polímero fundido. A segunda condição de fronteira definida foi a direção da força de fecho do molde, em que se selecionou o eixo Z, como pode ser observado na Figura 108.

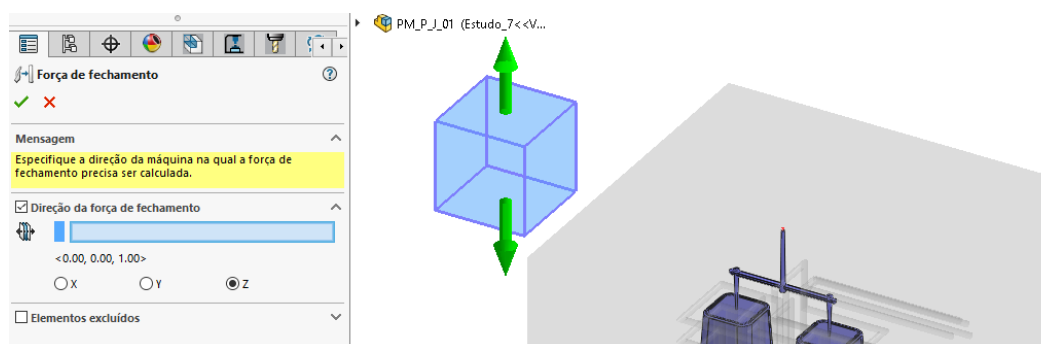


Figura 108 - Indicação para a direção de abertura e fecho do molde.

A terceira e última condição de fronteira definida são os parâmetros referentes a temperatura de entrada, fluxo e localizações das entradas do fluido de arrefecimento, tendo em vista que não há necessidade de se colocar mais condições de fronteira neste estudo.

O sistema de refrigeração foi criado a partir de esboços para definir o *layout* dos circuitos de resfriamento, inserindo os diâmetros dos canais nas propriedades do projeto de canal. Desta maneira, foi utilizada a condição de fronteira de tubo de arrefecimento. Quando o sistema de refrigeração é criado a partir de geometria sólida, utiliza-se a condição de fronteira entrada de fluido de refrigeração (Dassault Systemes, 2022).

Na Figura 109 pode ser observado que as entradas do fluido estão representadas com o símbolo azul e as saídas com a símbolo vermelho.

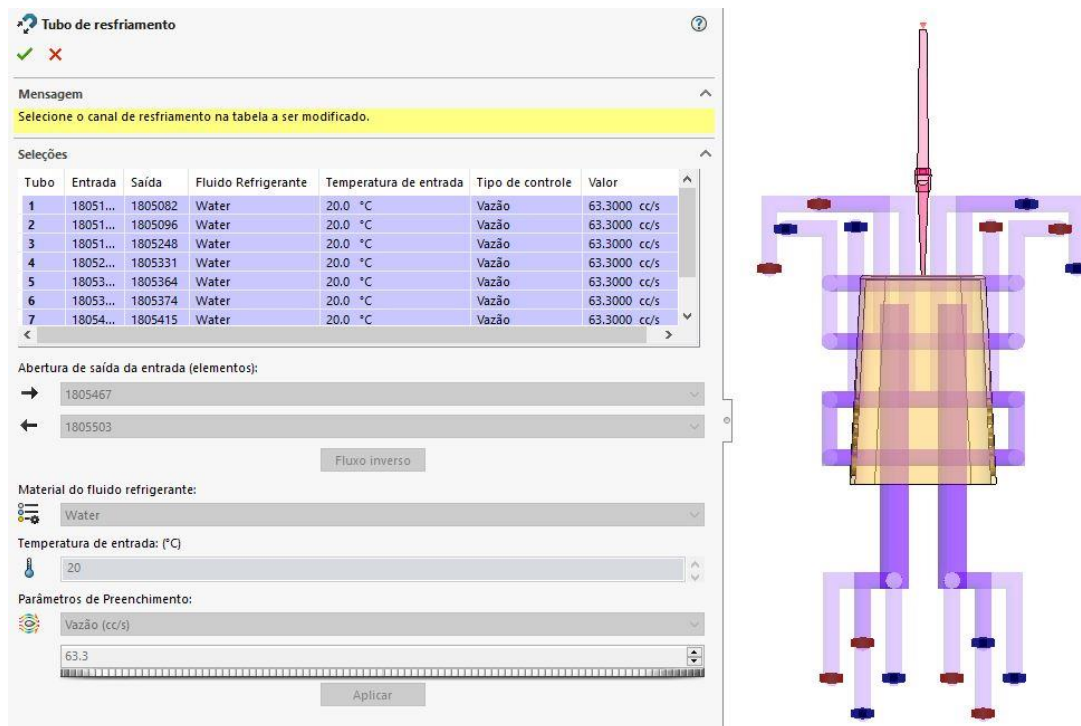


Figura 109 - Parâmetros de configurações da condição de fronteira referente a entrada de água.

4.2 - Análise dos resultados das simulações

4.2.1 - Resultados das simulações de injeção (*FLOW*) e compactação (*PACK*)

A Figura 110 representa o tempo de preenchimento e exibe o perfil do polímero fundido, à medida que flui através das cavidades durante o estágio de preenchimento.

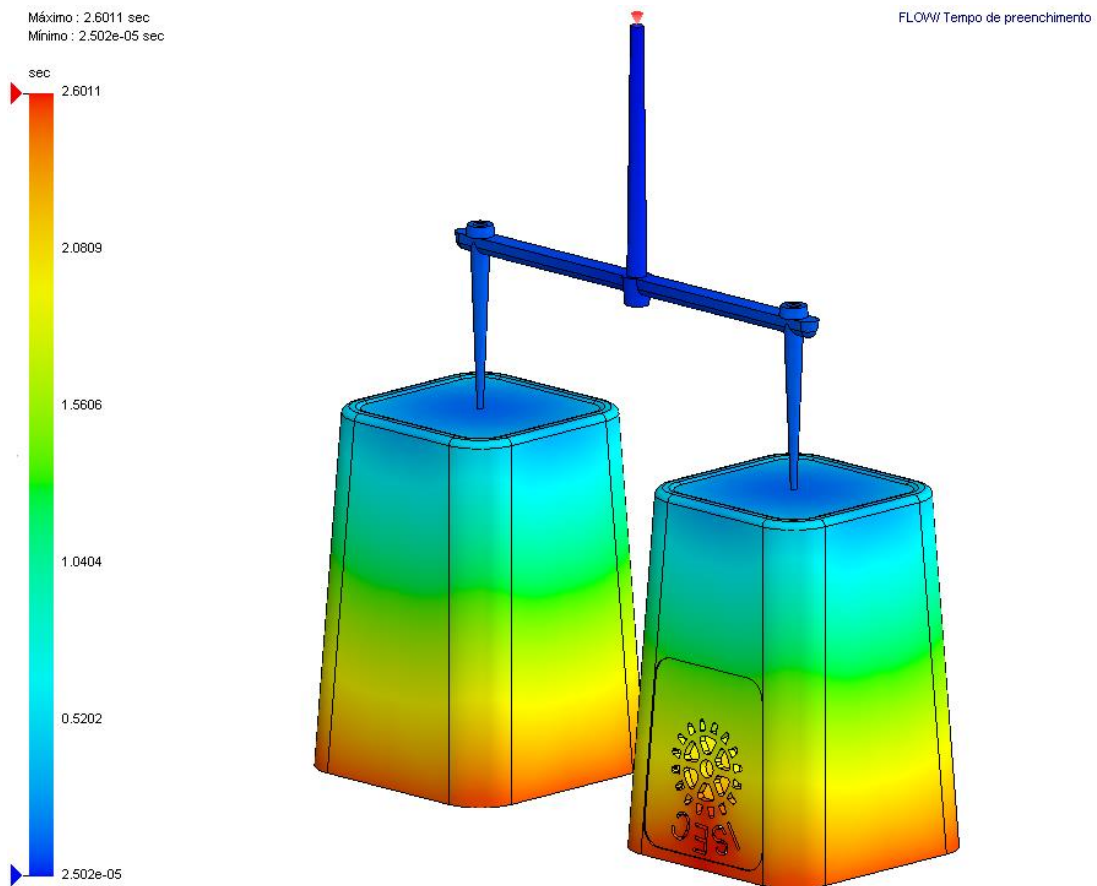


Figura 110 - Representação dos resultados referente ao tempo de preenchimento.

As regiões azuis indicam o início da frente de fluxo. As regiões vermelhas indicam a posição da frente de fluxo em qualquer intervalo de tempo durante o estágio de enchimento ou o fim do enchimento. O padrão de preenchimento irradia do centro (azul) até o final do preenchimento (vermelho) localizado em cada canto da peça. A escala de cores localizada à esquerda indica o tempo que a frente de fluxo leva para atingir uma determinada região da cavidade. O *software* calcula de forma automática o tempo de preenchimento e o fluxo volumétrico recomendáveis. Este tempo é muito importante na maior parte dos resultados, visto que aumentando o tempo de preenchimento pode-se reduzir a pressão de injeção, a taxa de corte e a tensão de corte do material plástico (Solidworks, 2019). O resultado da previsão do tempo de preenchimento é de 2,60 segundos. Durante a fase de preenchimento, a velocidade de injeção é controlada através do parafuso sem-fim que avança na direção do bico de injeção, o que resulta na pressão necessária para preencher a cavidade nessa velocidade.

A pressão de injeção é propagada através do plástico fundido e resulta em uma queda de pressão distribuída ao longo do comprimento do fluxo. A pressão calculada ao final do preenchimento é uma indicação muito boa da regularidade com que a cavidade foi preenchida. A Figura 111 ilustra a pressão ao final do preenchimento.

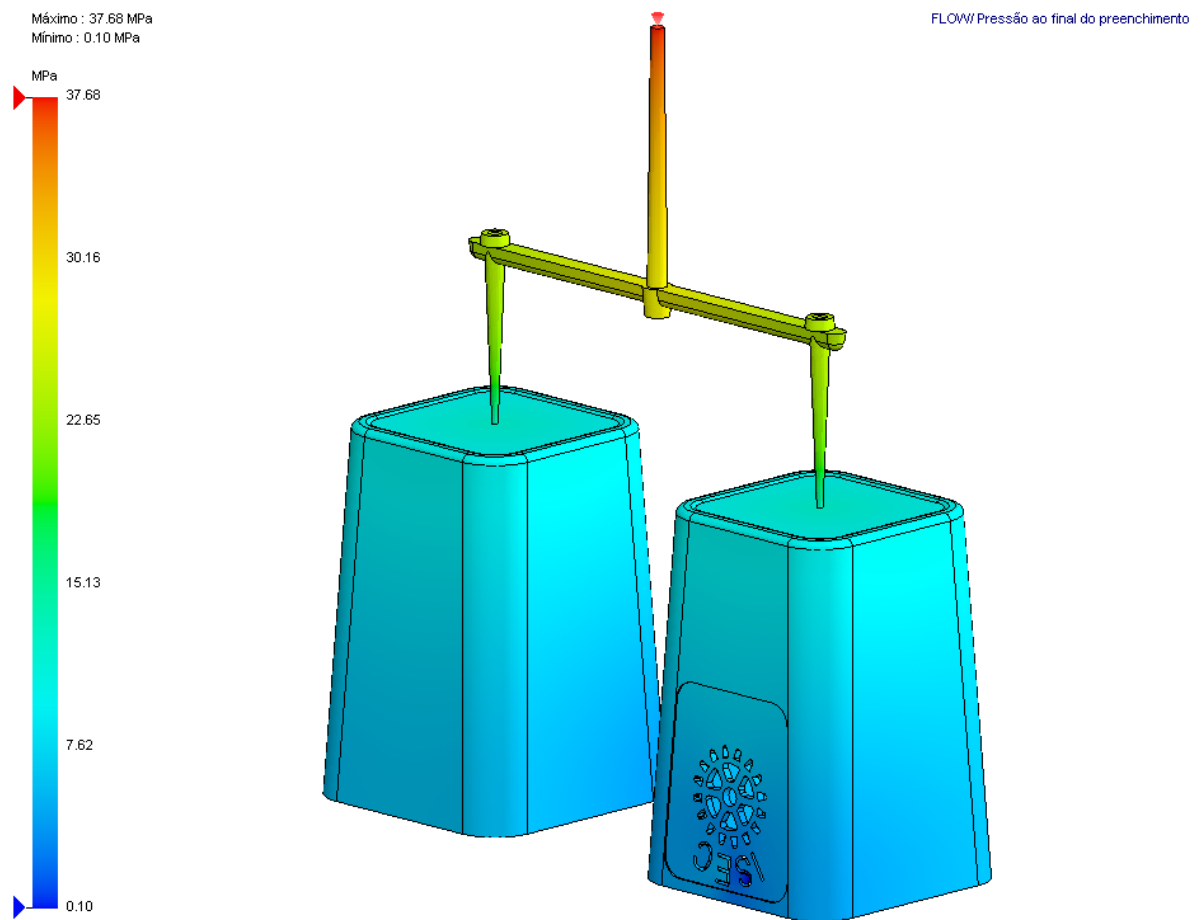


Figura 111 - Representação dos resultados referente a pressão ao final do preenchimento.

A representação dos resultados demonstra que a distribuição de pressão está homogênea em toda a cavidade, ou seja, igual em todas as extremidades e o resultado da pressão máxima atingida foi de 37,7 MPa, localizada no canal de injeção.

Na fase de enchimento, o polímero está sujeito a tensão de corte, que é a medida da força de corte por área de unidade. O sentido da força de corte é paralelo ao plano da força (a parede da cavidade) e pode ser entendido como a força usada para empurrar a parede da cavidade no sentido do fluxo. A Figura 112 representa o diagrama das tensões de corte e mostra uma parede móvel que passa por um fluido estacionário.

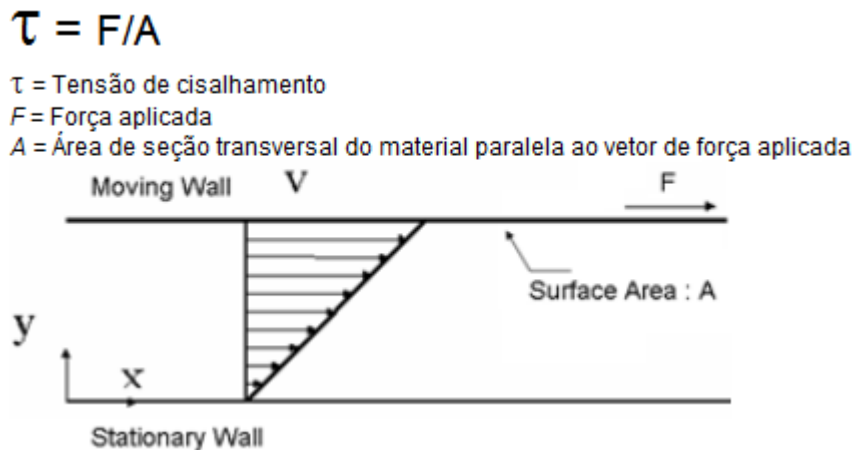


Figura 112 - Representação do diagrama da tensão de corte aplicada ao longo de uma parede (Solidworks, 2019).

À medida que a parede se move, o seu movimento arrasta o fluido para a frente. A parede móvel impõe mais tensão de corte ao líquido com o qual mantém contato e aplica a tensão de corte mínima sobre o fluido mais afastado em contato com a parede estacionária. Este exemplo vai na direção inversa do fluxo do plástico através de uma cavidade. A parede não se move, é o plástico fundido que se move ao longo da parede da cavidade. O material no centro do fluxo move-se com a menor resistência, enquanto o material ao longo da parede da cavidade não se move devido a maior resistência do fluxo. Para a secção transversal do polímero fundido é necessária uma força extra para o fluxo ao longo da parede da cavidade sendo que esta força está relacionada com as maiores tensões de corte. O material no centro do fluxo apresenta muito menos tensão de corte porque há menos resistência ao fluxo (Solidworks, 2019).

A tensão de corte não deve exceder o valor máximo recomendado para o material na base de dados, sendo este valor de (0,25 MPa). Como pode ser observado na Figura 113, o valor máximo atingido foi de 0,24 MPa, não ultrapassando o valor máximo recomendado. Nota-se que este valor máximo se encontra na zona do ataque, pois é onde se encontra a menor secção de passagem do polímero. Outro dado importante a considerar é a taxa de corte do polímero que mede a velocidade de uma camada de fluido passando por cima de outra camada de fluido em uma velocidade diferente. O material plástico solidificado em contato com a parede da cavidade não se move em relação à parede, o que resulta em uma taxa de corte zero (0 /seg). O material plástico fundido se move sobre o material solidificado, o que gera uma taxa de corte (>0 /seg). A taxa de corte continua aumentando até um valor máximo ser alcançado apenas dentro da parede. Em seguida, a taxa de corte começa a diminuir na direção do centro do fluxo, atingindo um valor mínimo no centro. Esse valor mínimo ocorre porque as cadeias do polímero no centro do fluxo se movem com a mesma velocidade e não se movem em relação umas às outras, resultando em uma taxa de corte de zero (0 /seg).

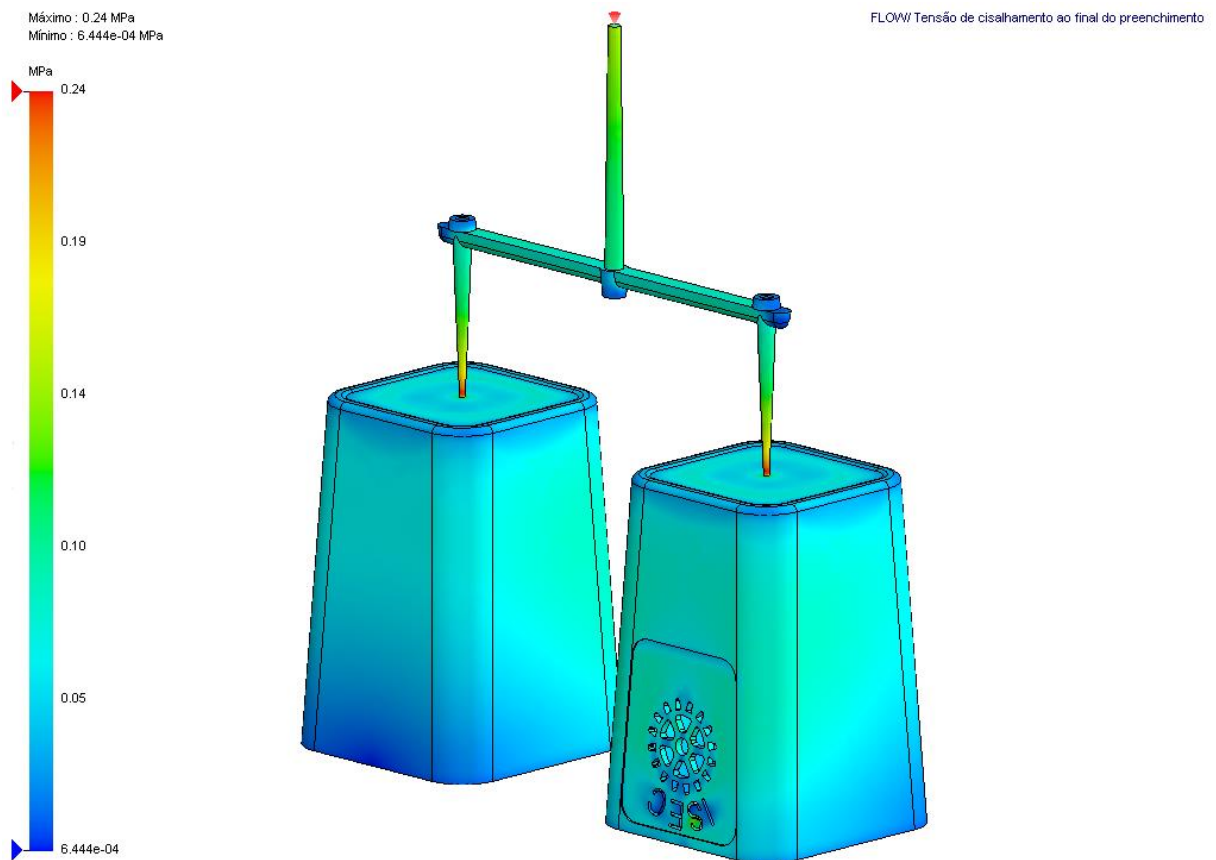


Figura 113 - Representação dos resultados referentes a tensão de corte.

A Figura 114 ilustra este acontecimento, onde mostra o valor do movimento relativo das camadas do polímero, conforme elas se movem umas pelas outras em velocidades diferentes, resultando em uma taxa de corte positiva. Por exemplo, as camadas do polímero que solidificam ao longo da parede da cavidade não se movem (mínimos do lado externo), mas os fluxos de polímero fundido que passam por elas induzem uma taxa de corte extremamente elevada (máximos). As duas camadas de polímero no centro do fluxo movem-se com a mesma velocidade, o que não produz qualquer corte (mínimo no centro) (Solidworks, 2019).

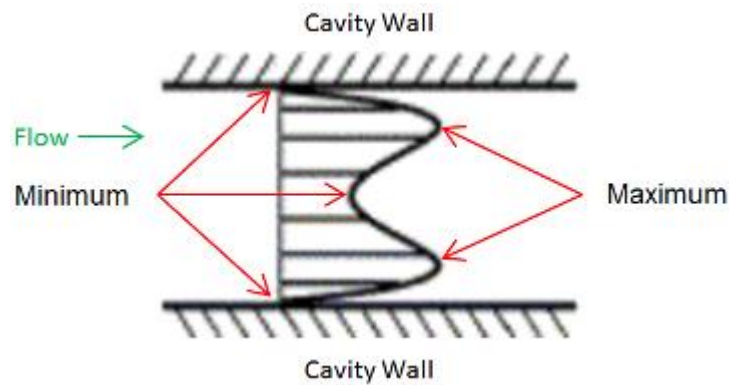


Figura 114 - Representação do diagrama da taxa de corte dentro de uma parede da cavidade (Solidworks, 2019).

Da mesma maneira que a tensão de corte, a taxa de corte não pode ultrapassar o valor máximo recomendado para o material, pois poderia ocorrer a degradação do material, sendo este valor de 61300 /seg. O valor obtido na simulação é de 58223 /seg, como mostra a Figura 115 e este valor se encontra na região do ataque, onde já se esperava, por ser a zona de maior estrangulamento, mas este valor é aceitável, pois não ultrapassa o valor máximo recomendado para o material.

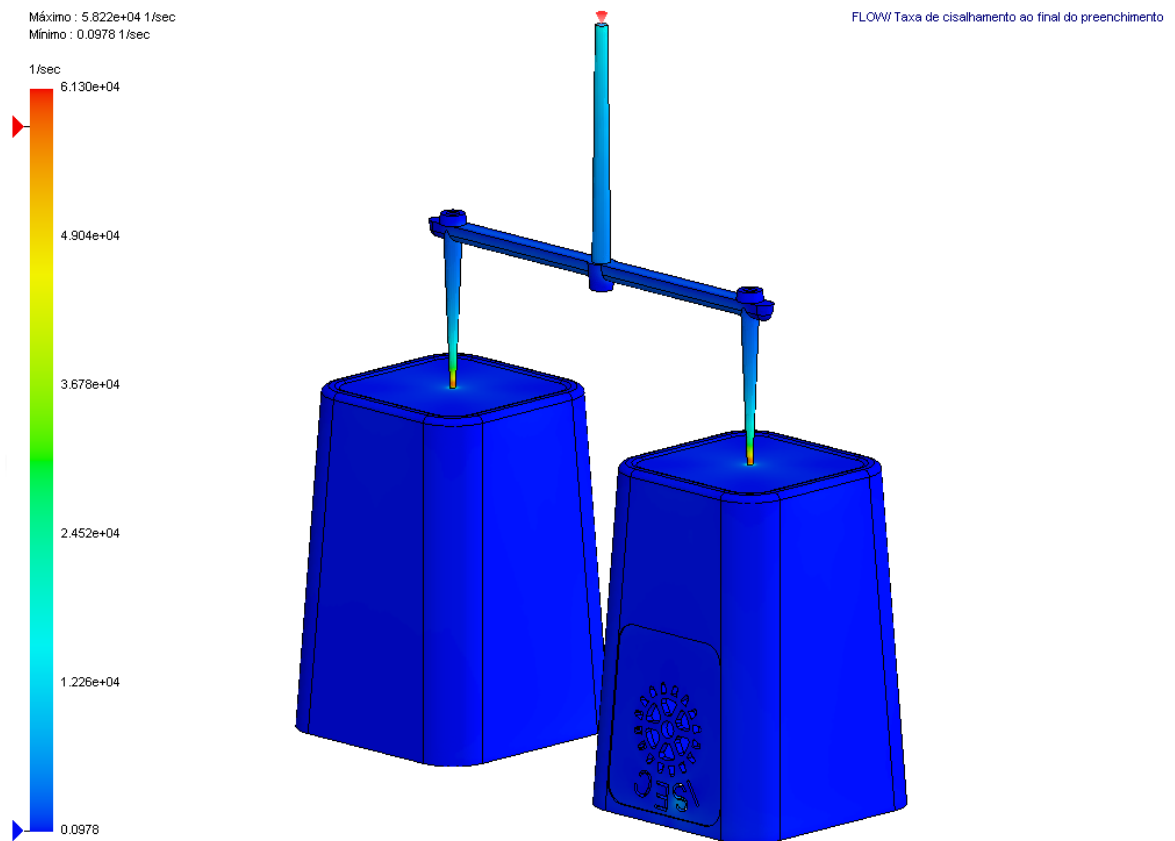


Figura 115 - Representação dos resultados referentes a taxa de corte.

Como já mencionado anteriormente sobre o aprisionamento de ar nas cavidades e com o intuito de confirmar as zonas onde ocorrem estes aprisionamentos, a Figura 116 exibe o resultado da simulação do Solidworks® *Plastics*, nos quais as esferas de cor roxa indicam os locais de aprisionamento de ar.

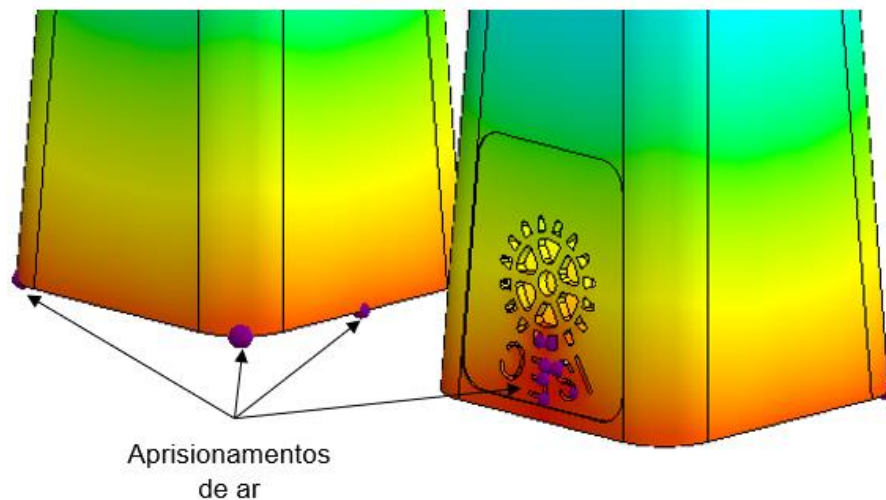


Figura 116 - Representação dos locais de aprisionamento de ar nas peças.

As linhas de soldadura, como já referidas anteriormente, são formadas quando o fluxo do material fundido se divide por causa de furos ou geometrias vazadas e quando esses fluxos voltam a se encontrar estes geram as linhas de solda. Embora possa ser capaz de mover a localização do ponto de injeção para alterar o local da linha de solda, a linha de solda não pode ser eliminada. A Figura 117 ilustra as linhas de soldadura.

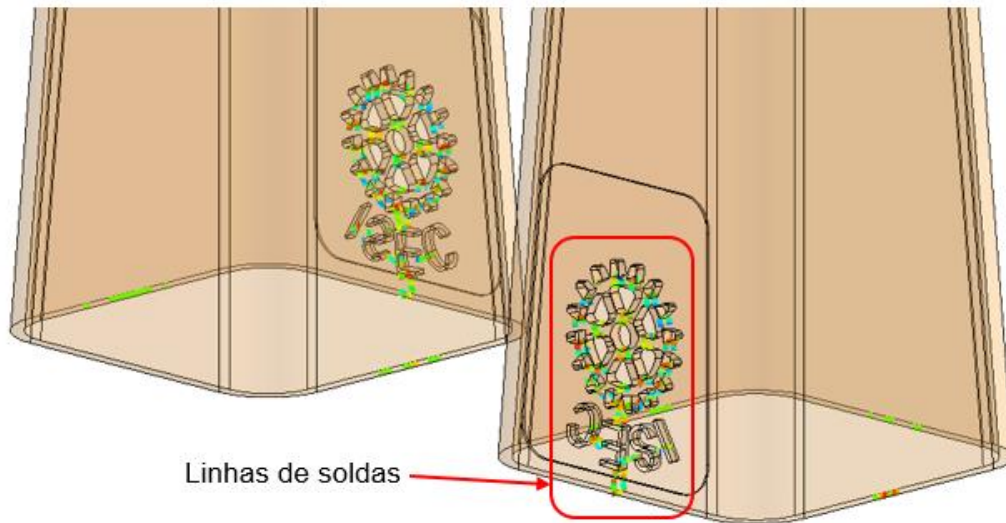


Figura 117 - Representação dos locais das linhas de soldaduras nas peças.

Na simulação pode-se analisar a variação da pressão de injeção. A “pressão ao final do preenchimento” deve indicar a pressão requerida para o molde, incluindo o jito e os canais de distribuição, os ataques e as cavidades. Visto que está tudo representado na malha, o *software* a denomina de “pressão da injeção obrigatória”. Nessa simulação, esse valor foi de 37,7 MPa, como pode ser observado no gráfico da Figura 118. Na fase final, a compactação (PACK) possui 40% da pressão máxima alcançada na etapa de injeção (FLOW), ou seja, aproximadamente 15 MPa.

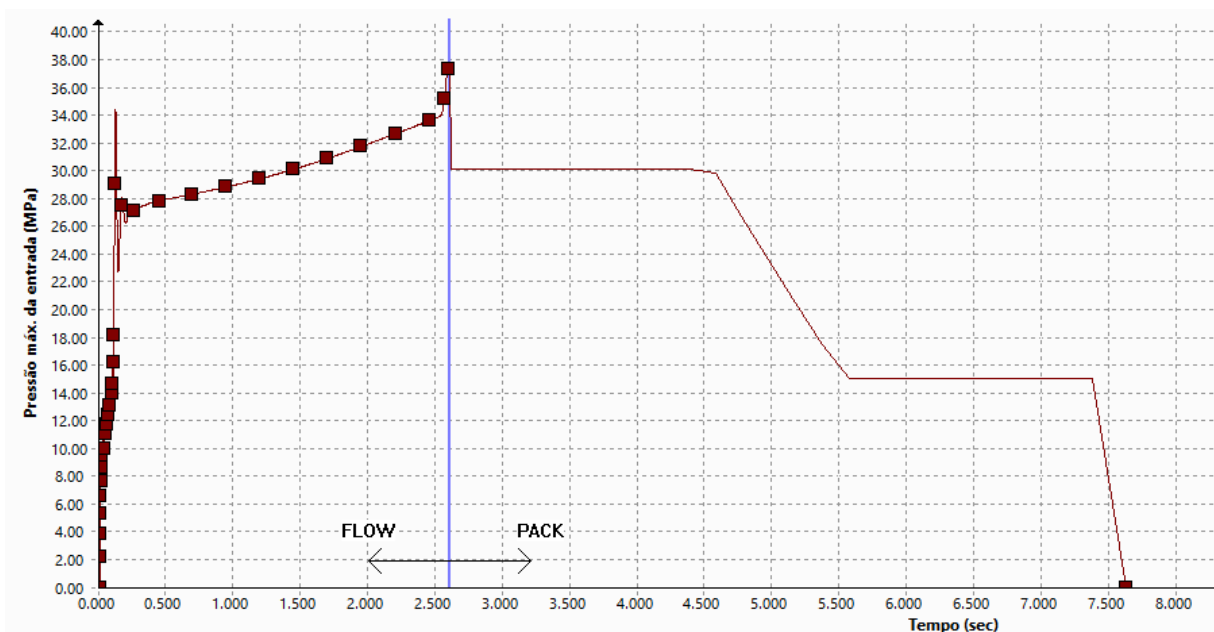


Figura 118 - Representação da variação de pressão de injeção *versus* tempo.

A variação da força de fecho pode ser observada no gráfico da Figura 119, onde a força de fecho aumenta durante o preenchimento até um valor de 7,6 Ton. No início da etapa de compactação, atinge um pico máximo de 26,8 Ton e diminui até o final. Esta força de fecho é menor do que a força calculada pelo *software* Autodesk Inventor® 2021 e mais próxima do valor calculado pela equação (5). Esta diferença se dá pelo facto do *software* Autodesk Inventor® 2021 não permitir ajustar a malha, enquanto no Solidworks® *Plastics* é possível configurá-la e afiná-la.

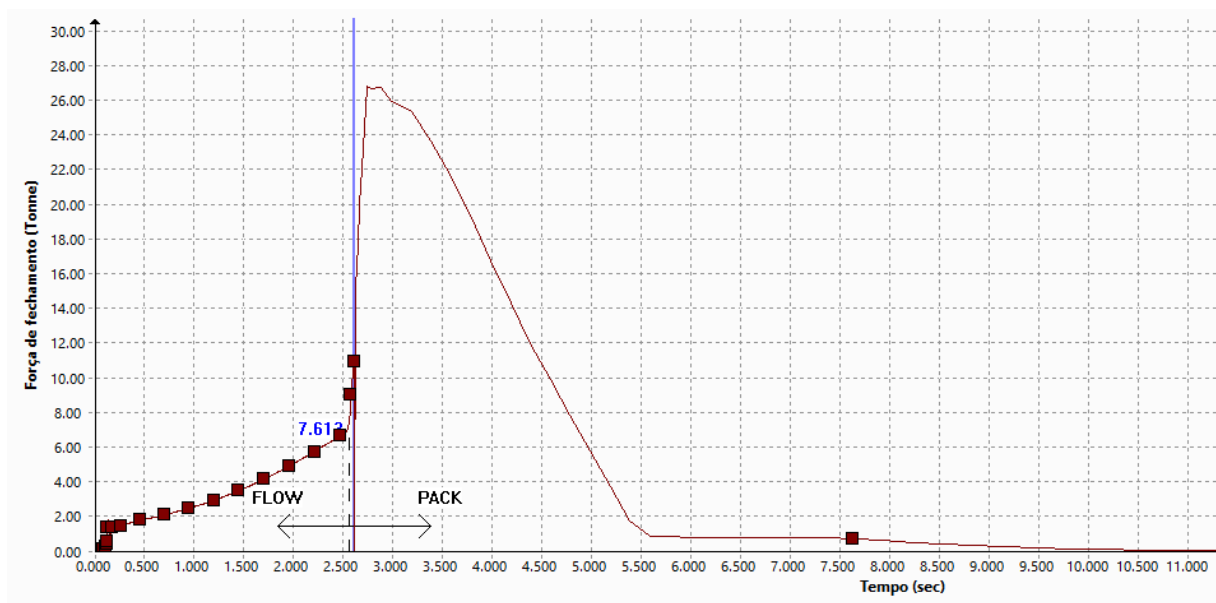


Figura 119 - Representação da variação da força de fecho *versus* tempo.

4.2.2 - Resultados das simulações de arrefecimento (COOL) e empenamento (WARP)

De um modo geral, existem 2 considerações a serem levadas em conta quando se executam análises de arrefecimento. A primeira é manter um tempo de arrefecimento uniforme em toda a geometria da superfície da peça plástica e a segunda consiste em uma distribuição uniforme de temperatura no núcleo e nas superfícies das cavidades do molde. A Figura 120 mostra que as peças possuem a mesma tonalidade de cor, indicando que o arrefecimento está uniforme.

Com a simulação de empenamento pode-se analisar os “rechupes” que são as marcas de depressões na superfície de uma peça de plástico moldada por injeção. A causa fundamental destas marcas são a falta do polímero na etapa de compactação para compensar a contração que ocorre. As secções mais espessas de uma peça

arrefecem com taxas mais lentas do que secções mais finas, resultando em uma redução mais significativa nas mais espessas. Após a camada exterior de material plástico ter arrefecido e solidificado, o material de núcleo fundido deve transferir calor através da superfície de plástico solidificado para a parede da cavidade. Materiais plásticos são isolantes e não transferem o calor com eficiência, o que diminui a taxa de arrefecimento dos volumes de núcleo mais grossos. Quanto mais tempo um material plástico precisar arrefecer, mais o material encolherá. O alto grau de redução no volume do núcleo empurra a superfície da peça para dentro, causando uma depressão na superfície da peça (Solidworks, 2019).

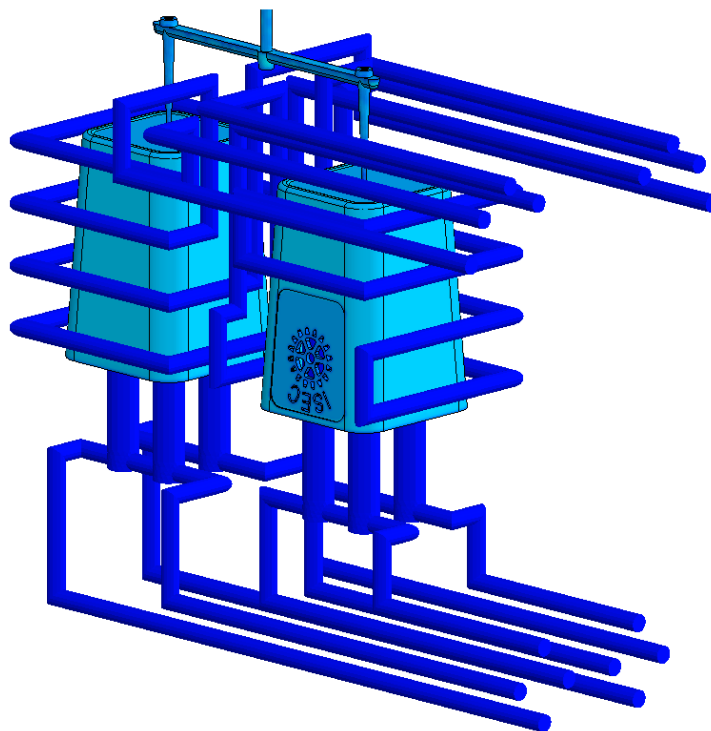


Figura 120 - Representação do arrefecimento das peças.

A Figura 121 mostra o resultado desta análise e os “rechupes” nas peças apresentam valores inferiores a 0,01 mm.

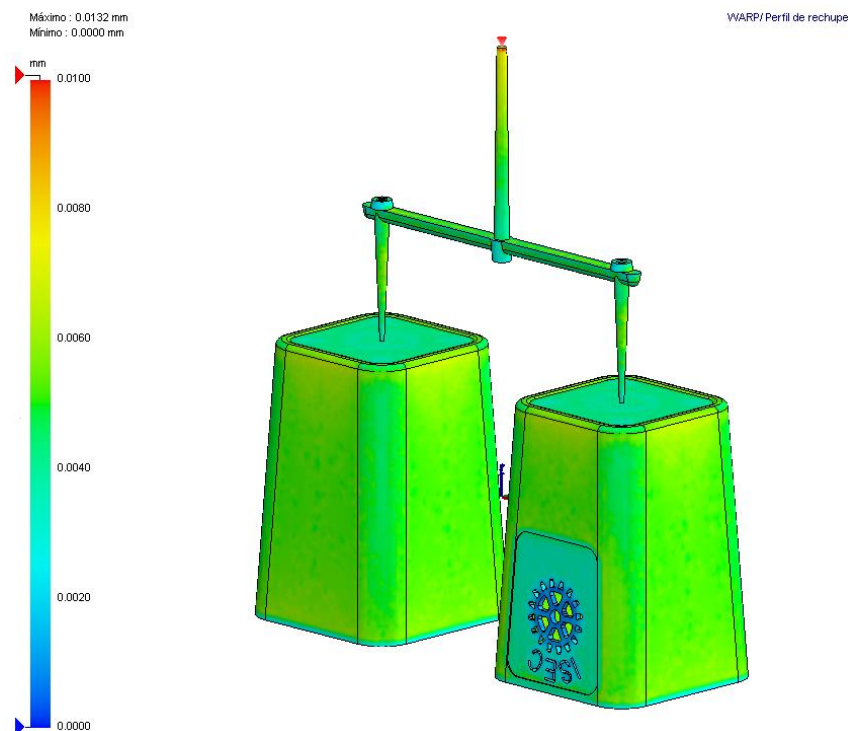


Figura 121 - Representação dos resultados referentes aos “rechupes”.

4.2.3 - Resumo dos tempos das etapas do ciclo de injeção

Com o molde fechado e a máquina injetora com a dosagem para realizar a injeção, o parafuso de rosca sem fim começa a empurrar o polímero para dentro da cavidade do molde, como se fosse um pistão. A etapa de injeção é responsável pelo preenchimento e a pressurização que é conhecida como pressão de compactação. Logo após iniciar a etapa de compactação, também se inicia o arrefecimento da moldagem. Terminado a compactação, a rosca retorna à posição inicial para produzir a próxima dosagem. Atingido o tempo de arrefecimento o molde se abre para fazer a extração das peças. O resumo do tempo de cada etapa do ciclo de moldagem é mostrado na Figura 122. O tempo total do ciclo será aproximadamente de 29,7 segundos, pois foi definido um tempo de 3 segundos para abrir e 5 segundos para fechar o molde, este tempo pode variar de uma máquina para outra. De facto, a fase que ocupa mais tempo é a do arrefecimento, ocupando 15,6 segundos do ciclo de injeção.

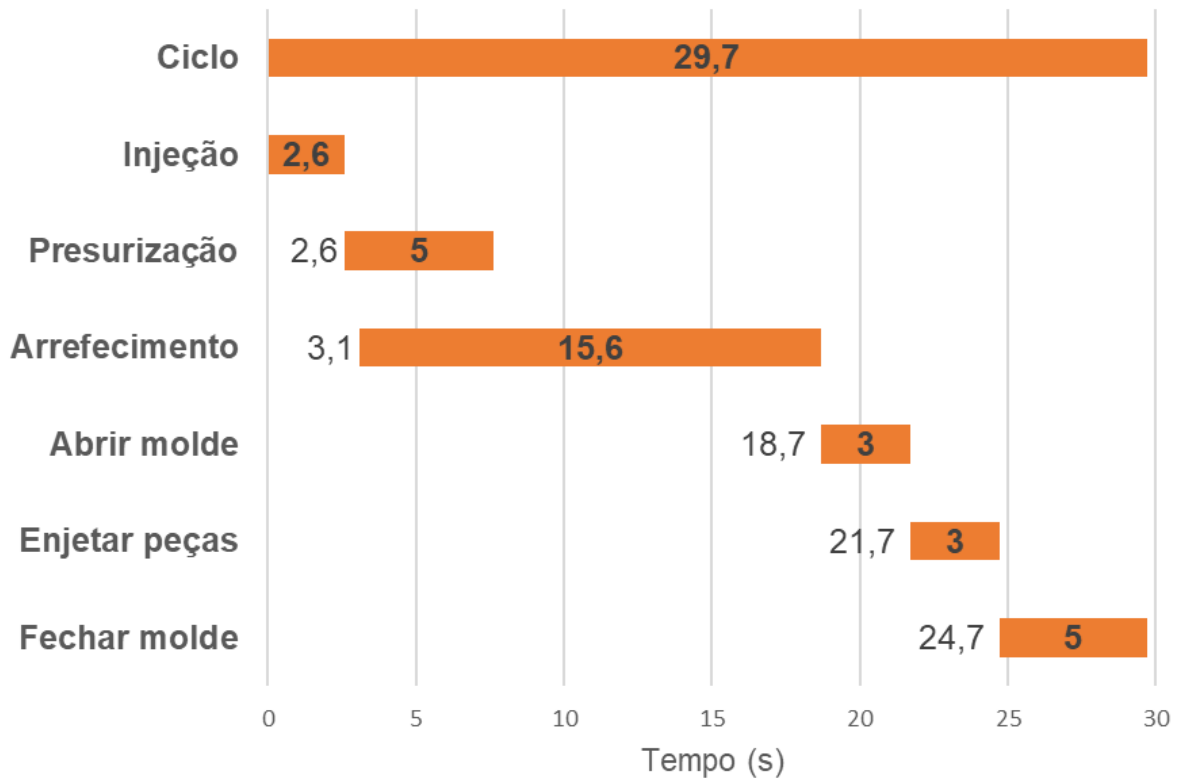


Figura 122 - Representação do diagrama de tempos de cada etapa do ciclo de moldagem por injeção do molde desenvolvido.

4.3 - Simulação do funcionamento do molde

Para ilustrar o funcionamento do molde, a Figura 123 representa o molde fechado. É nesta etapa que ocorre a injeção, pressurização e arrefecimento do polímero.

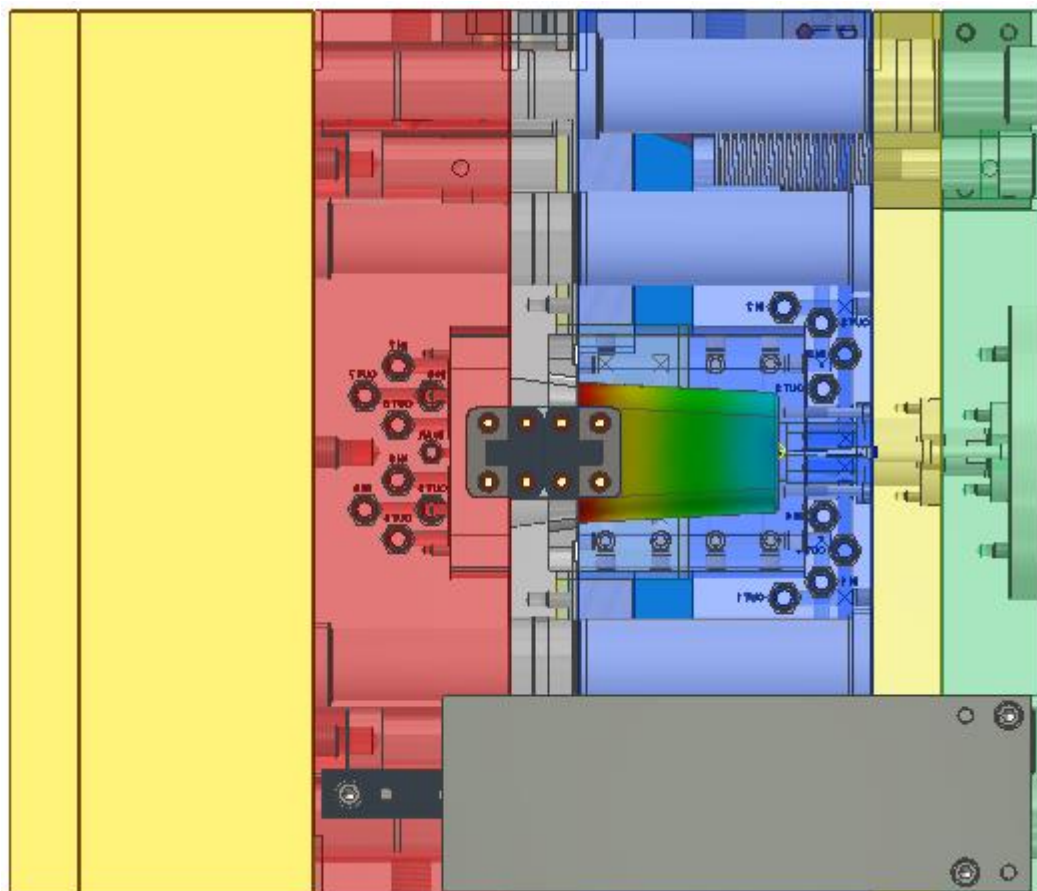


Figura 123 - Representação do molde fechado.

A Figura 124 mostra a primeira abertura do molde. Esta fase é responsável por separar as peças do jito. A cor das peças representa o resultado da facilidade de preenchimento que determina se a cavidade é preenchida com êxito. As regiões verdes indicam as áreas que podem ser preenchidas em condições normais de pressão da injeção. As peças ficaram 100% na cor verde, no qual indica que as peças puderam ser preenchidas facilmente.

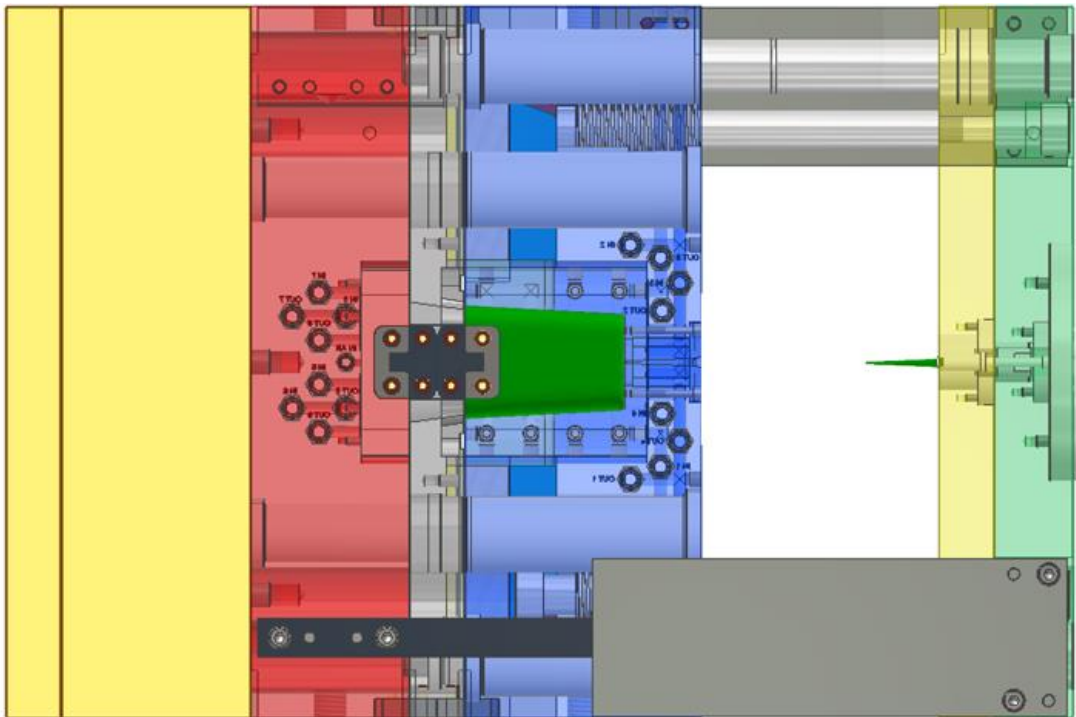


Figura 124 - Representação da primeira abertura molde.

A segunda abertura do molde pode ser observada na Figura 125. A função desta abertura é extrair o jito que ficou agarrado nos pinos de retenção.

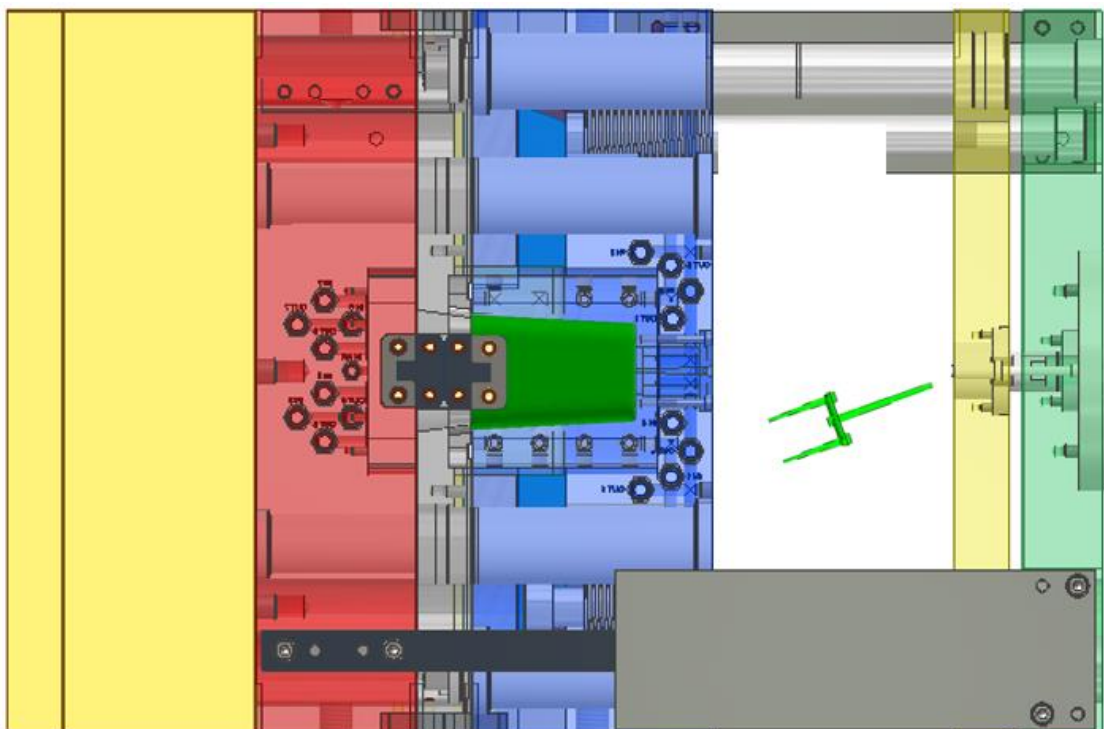


Figura 125 - Representação da segunda abertura do molde.

A terceira abertura ocorre na linha de partição separando a bucha da cavidade. As peças ficam presas nas buchas por causa da contração que estão sujeitas. A Figura 126 ilustra esta abertura.

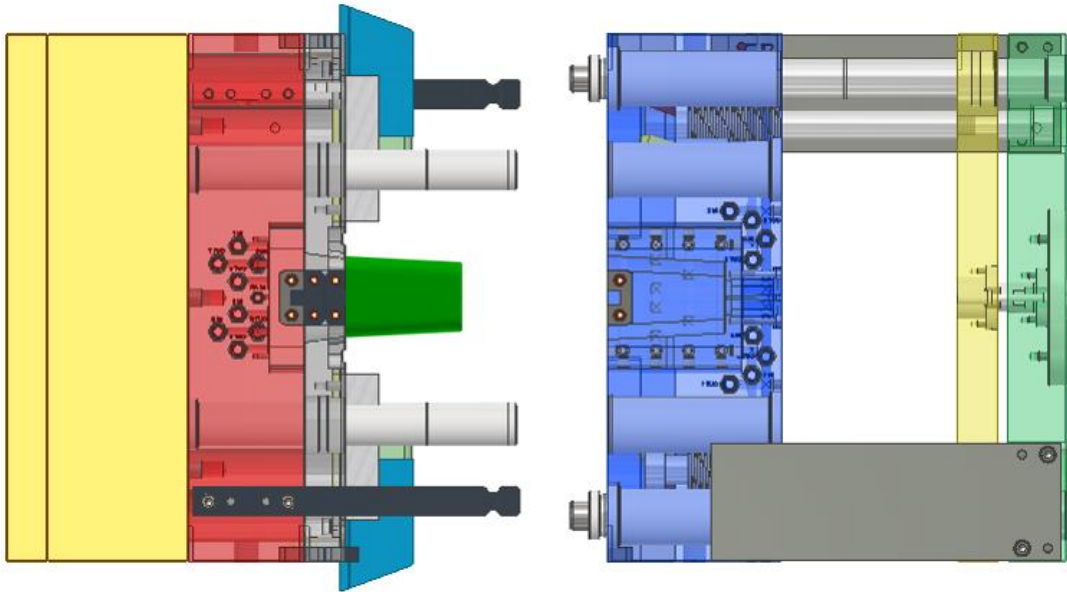


Figura 126 - Representação da terceira abertura do molde.

A Figura 127 ilustra o sistema de extração que é acionado pela máquina injetora. A placa extratora move-se extraíndo as peças das buchas.

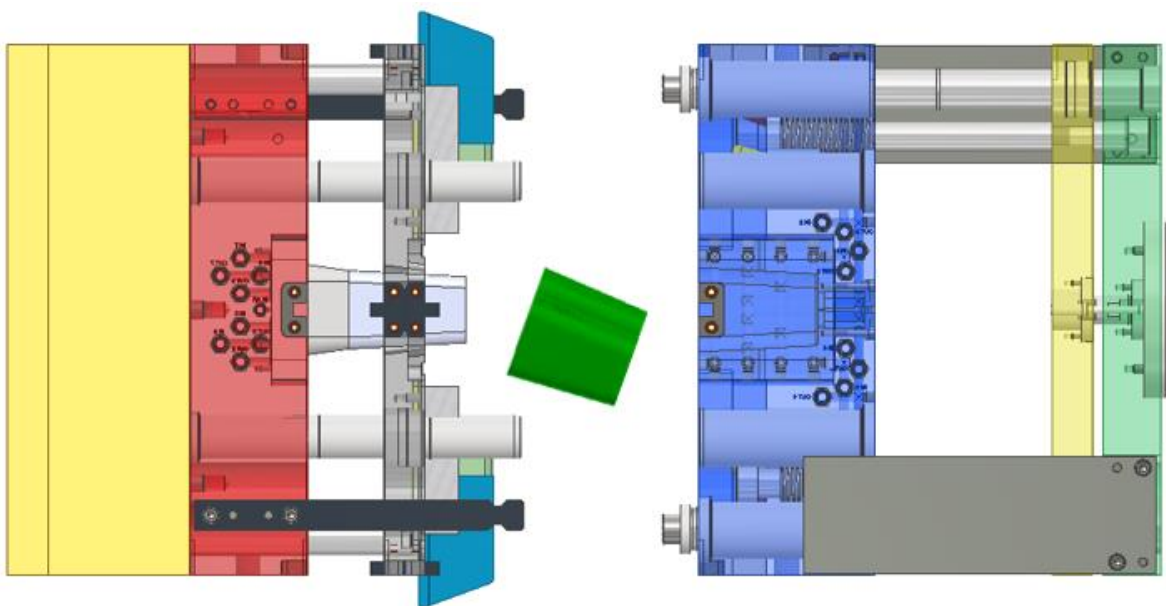


Figura 127 - Representação da abertura do sistema de extração.

5 - Conclusão

Neste trabalho foi elaborado um molde de injeção, sendo este utilizado para a produção de grandes quantidades de produtos plásticos. Esta produção está diretamente ligada a complexidade da geometria, do volume, do polímero a injetar, da qualidade exigida, o número de peças moldadas por ciclo de injeção do molde e capacidade de plastificação da máquina injetora.

A peça projetada para moldação foi pensada com as características necessárias para elaborar um molde de 3 placas. No processo de desenvolvimento da peça, foram feitos vários ajustes, a fim de simplificar o molde, ou tornar viável a sua construção. De modo a selecionar os componentes adequados para o molde, durante este trabalho recorreu-se a diversas expressões matemáticas, as quais foram apresentadas ao longo do documento. Por questões de conveniência, utilização mais simples e facilidade de compreensão, as equações apresentadas são, por vezes, referenciadas aos principais livros de referência da área do projeto de moldes e algumas vezes referenciadas a manuais e catálogos de fabricantes de componentes de moldes, os quais se baseiam na literatura de referência.

Assim, o molde de 3 placas foi elaborado com os seguintes sistemas:

- **Sistema de injeção** a frio, indireta, com ataque capilar, sendo este recomendado pela literatura para molde de 3 placas;
- **Sistema de escape de gases**, que permite eliminar o ar e gases de dentro das cavidades, permitindo fazer a injeção do polímero sem causar falhas;
- **Sistema de refrigeração** contendo circuitos em toda a volta das peças nas cavidades e lâminas de refrigeração nas buchas, visando um arrefecimento uniforme das peças;
- **Sistema com movimentos laterais** possibilitando a libertação das regiões das peças com ângulo de saída negativo.
- **Sistema de extração** constituído por extração do jito e alimentadores e extração das peças por placa extratora complementada com ar comprimido.

Este trabalho diz respeito ao desenvolvimento do projeto, não compreendendo a etapa de fabrico do molde. Porém, tendo em vista o fabrico futuro deste molde, foram incluídos componentes *standard* comercializados pelos seguintes fabricantes que atuam nesta área: Futaba, HASCO e Misumi. Também foram seguidas todas as recomendações dos catálogos dos fabricantes citados, visando a facilidade de aquisição e manutenção dos componentes incluídos, com reflexo positivo na redução de custo. As cavidades e buchas que fazem parte deste molde foram um projeto único,

e por esta razão, propõem-se efetuar a maquinagem em blocos/postiços metálicos independentes. Os moldes de 3 placas exigem máquinas injetoras com cursos e distância entre os pratos maiores, pois são mais altos, tem duas aberturas para extração, do jito e das peças. Para exemplificar, o molde desenvolvido poderia ser utilizado na máquina injetora da marca KRAUSS MAFFEI, modelo KM 420_390-160CZ, pois a configuração desta máquina suporta as dimensões da estrutura do molde (largura entre colunas), e está de acordo com as especificações para realizar a injeção das peças.

A utilização do *software* da Autodesk Inventor® 2021 teve grande relevância para criar o molde, pois a sua biblioteca possui múltiplos componentes de diversificados fabricantes de moldes, possibilitando a inserção da estrutura, do tipo de canais de alimentação, do tipo de ataque, poço frio, bem como criar circuitos de refrigeração e dos elementos que compõe o molde. Quando inserido os componentes e o sistema de contra-saída, o *software* realiza os cortes necessários para os alojar, diminuindo muito o tempo de adaptação do molde, se comparado com inserções e cortes realizados de forma manual. O *software* permite realizar análises de preenchimentos da cavidade antes de desenvolver o molde, podendo analisar se a localização do ponto de injeção foi bem definida, verificar se a peça é preenchida com qualidade aceitável e diagnosticar se existem erros para serem corrigidos no modelo. O cálculo dos esforços a que o molde estará submetido de acordo com o polímero escolhido é também uma das possibilidades existentes neste *software*, mas é limitado e disponibiliza apenas a simulação de injeção. Optou-se então em utilizar o Solidworks® *Plastics* por oferecer aos projetistas de peças e moldes de injeção uma simulação avançada, onde simula arrefecimento, compactação, empenamento e a injeção. Também possibilita configurar a malha para as simulações. Portanto, a utilização de programas computacionais para projetar moldes é indispensável no mundo global e competitivo que as empresas enfrentam atualmente.

No desenvolvimento do molde, teve-se a percepção da sua complexidade, o que por vezes não aparentam, e que requerem cumprir um amplo conjunto de regras e parâmetros definidos.

Referências Bibliográficas

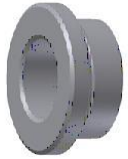
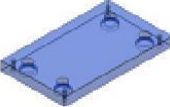
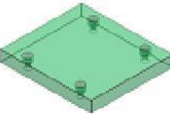
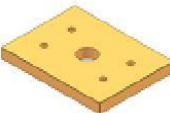
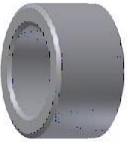
- Attili, S. (S/D). Curso de Qualificação Profissional Técnico em Plásticos. *Projeto de Moldes para Plásticos Moldes de Gavetas*. Escola Senai "Mario Amato".
- Caetano, M. J. (17 de 06 de 2021). CTB. Fonte: Ciência e Tecnologia da Borracha: www.ctborracha.com
- CENTIMFE. (2003). *Manual do Projectista para Moldes de Injeção de Plástico*.
- Corporation Futaba. (03 de 2014). Catálogo Futaba. *BLUE BOOK Plastic Mold Components VOL. 1*.
- Corporation Futaba. (2014). Catálogo Futaba. *Plastic Mold Components Additional Mold Base Processing & Mold Parts VOL. 1*.
- Corporation Misumi. (2015). Catálogo Misumi. *Standard Components for Plastic Mold*.
- Cruz, S. (2002). *Moldes de Injeção Termoplásticos*. Curitiba: Hemus.
- Dangel, R. (2020). *Injection Molds for Beginners*. Munich: Hanser.
- Dassault Systemes. (04 de 2022). *Solidworks Plastic Help*. Fonte: https://help.solidworks.com/2019/English/swplastics/c_SOLIDWORKS_Plastics_Welcome.htm
- Garcia, M. C. (2009). *Fundamentos de Projeto de Ferramentas - Moldes de Injeção para Termoplásticos*. Sul Rio Grandense Campus Sapucaia do Sul: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia.
- Harada, J. (2004). *Moldes para Injeção de Termoplásticos*. São Paulo: Artliber.
- HASCO. (2021). Catálogo HASCO. *Z-Standards*.
- Inventor, A. (2021). *Autodesk Inventor 2021 User's Manual*. Fonte: <https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2021/PTB/>
- Malloy, R. A. (2010). *Plastic Part Design for Injection Molding : An Introduction*. Munich: Hanser.
- Manrich, S. (2005). *Processamento de Termoplásticos : Rosca Única, Extrusão e Matrizes, Injeção e Moldes*. São Paulo: Artliber.
- Miranda, D. A. (2017). Dissertação Mestrado. *Estudo Experimental e de Simulação Computacional para Análise e Melhoria da eficiência de um Molde de Injeção de Termoplásticos*. Santa Catarina, Brasil: Programa de Mestrado em Engenharia de Processos da Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE.
- Neuplast. (2020). *Polipropileno: Conheça as Características e Vantagens desse Material*. Fonte: Neuplast: <https://www.neuplast.com.br/blog/polipropileno-conheca-as-caracteristicas-e-vantagens-desse-material/>

Rosato, D. V. (2000). *Injection Molding Handbook (3ª ed.)*. Norwell, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.

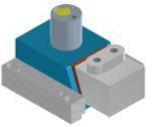


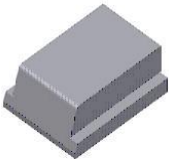
Sacchelli, C. M. (2007). Tese de Doutorado. *Sistematização do Processo de Desenvolvimento Integrado de Moldes de Injeção de Termoplásticos*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

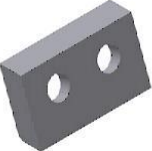
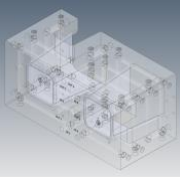
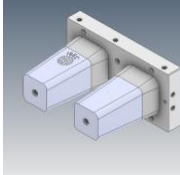
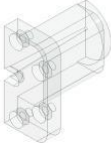
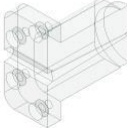
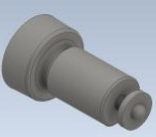


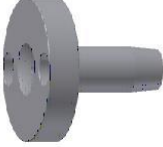
Solidworks. (2019). *Solidworks Plastics Help*.

Anexo I - Lista de Componentes

Item	Identificação da peça	Representação	QTDE	Material	Fornecedor	Descrição
1	DD - S - OH		1		Futaba	Estrutura do molde
1.1	M-RPN 25x190		4	DIN 1.2067	Futaba	Pino de retorno
1.2	DD-OH-SB-450x400x120		2	DIN 1.1203	Futaba	Calços
1.3	M-GBA 35x149		8	DIN 1.2067	Futaba	Casquilhos guia
1.4	DD-ERP-450x260x25		1	DIN 1.1203	Futaba	Placa de extratores
1.5	DD-OH-TCP-450x450x50		1	DIN 1.1203	Futaba	Placa de aperto lado injeção
1.6	DD-BCP-450x450x35		1	DIN 1.1203	Futaba	Placa de aperto lado extração
1.7	M-GBB 35x34		8	DIN 1.2067	Futaba	Casquilho guia
1.8	M-GPA 35x282x69		4	DIN 1.2067	Futaba	Pino guia

Item	Identificação da peça	Representação	QTDE	Material	Fornecedor	Descrição
1.9	M-SPN 35x400		4	DIN 1.2067	Futaba	Pino suporte
1.10	DD-S-OH-BP-450x400x100		1	DIN 1.1203	Futaba	Placa das buchas
1.11	DD-S-OH-AP-450x400x150		1	DIN 1.1203	Futaba	Placa das cavidades
1.12	M12x40		4	DIN 912	Futaba	Parafusos para fixar a placa de aperto de extratores na placa de extratores
1.13	DD-OH-STP-450x400x35		1	DIN 1.1203	Futaba	Placa extratora
1.14	DD-EP-450x260x30		1	DIN 1.1203	Futaba	Placa de aperto de extratores
1.15	DD-OH-RSP-450x400x35		1	DIN 1.1203	Futaba	Placa extratora do jito
1.16	M16x150		6	DIN 912	Futaba	Parafusos para fixar as placas e os calços do lado móvel do molde
2	Projeto		1			Movimentos laterais

Item	Identificação da peça	Representação	QTDE	Material	Fornecedor	Descrição
2.1	Postiço Contra-Saída		2	Alumínio 7075		Bloco das contra-saídas com 50x60x35mm
2.2	Contra-Saída		2		HASCO	Conjunto de elementos da contra-saída
2.2.1	Z186W/63x6x100		1	DIN 2.0492	HASCO	Placa guia autolubrificante
2.2.2	Z01/16x80		1	DIN 1.0401	HASCO	Pino guia inclinado
2.2.3	Z185/25x32x125_R		1	DIN 1.2842	HASCO	Régua ou guia do elemento móvel
2.2.4	Z185/25x32x125_L		1	DIN 1.2842	HASCO	Régua ou guia do elemento móvel
2.2.5	Z187/40x46x16		1	DIN 1.2312	HASCO	Suporte do pino guia inclinado
2.2.6	Z180/63x112x80/2343		1	DIN 1.2343	HASCO	Elemento móvel
2.2.7	Z182/50x63		1	DIN 1.2162	HASCO	Bloco de travamento


Item	Identificação da peça	Representação	QTDE	Material	Fornecedor	Descrição
2.2.8	Z1821/50x6x63		1	DIN 1.2842	HASCO	Placa de desgaste e ajuste
3	Projeto		1	Alumínio 7075		Bloco das cavidades com 240x120x115mm
4	Projeto		1	Alumínio 7075		Bloco das buchas com 240x120x165mm
5	Postiço de Injeção 1		2	Alumínio 7075		Bloco do postiço de injeção com 25x51x49mm
6	Postiço de Injeção 2		2	Alumínio 7075		Bloco do postiço de injeção com 25x51x49mm
7	Z4911/12x8		2	DIN 1.4112	HASCO	Válvula pneumática
8	Z9662/16x150		8	DIN 2.0401	HASCO	Lâmina de refrigeração em espiral com rosca
9	Z94/10x1		52	DIN 2.0401	HASCO	Tampão
10	SBGH25-60-SR16-P3,5-A1,5-V22-G5		1	DIN 1.2738	MISUMI	Bico de Injeção

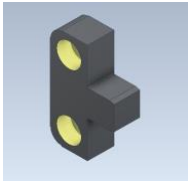
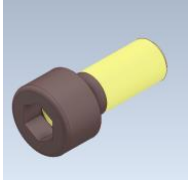


Item	Identificação da peça	Representação	QTDE	Material	Fornecedor	Descrição
11	LRJS150-20-50		1	DIN 1.1191	MISUMI	Anel de centragem
12	SBGN_35_35_V22_G5		1	DIN 1.2067	MISUMI	Guia bico de injeção
13	RLBST6-30-A7-V8		2	DIN 1.2379	MISUMI	casquilho guia do pino retentor
14	RES10_33_70_WL		1		MISUMI	conjunto extrator do alimentador e jito
14.1	RESA18		1	DIN 1.7220	MISUMI	Alojamento do pino
14.2	RESB10_33_70		1	DIN 1.1274	MISUMI	Pino extrator do jito
14.3	WL7_20		1	SWP-A	MISUMI	Mola de compressão
15	RLRL6-67		2	DIN 1.3343	MISUMI	Pino de bloqueio do jito
16	STBG25_30_59		2	DIN 1.7220	MISUMI	Parafusos de batente placa extratora do jito

Item	Identificação da peça	Representação	QTDE	Material	Fornecedor	Descrição
17	PBTN25_L250		2	DIN 1.7220	MISUMI	Parafusos de batente placa das cavidades
18	Z174/100x195x0		2	DIN 1.2767	HASCO	Dispositivos de travamento
18.1	Z31/8x18		2	DIN 912	HASCO	Parafusos para fixar o item 18.11
18.3	Z26/8x24		2	DIN 7979	HASCO	Pinos para guiar o item 18.11
18.5	Z174/100-05		2		HASCO	Peça interna do dispositivo de travamento
18.7	Z174/100-08		2		HASCO	Parafusos do dispositivo de travamento
18.9	Z174/100-06		1		HASCO	Peça interna do dispositivo de travamento
18.10	Z174/100x195-01		1	DIN 1.2767	HASCO	Peça do dispositivo de travamento
18.11	Z174/100-04		1	DIN 1.2767	HASCO	Peça do dispositivo de travamento

Item	Identificação da peça	Representação	QTDE	Material	Fornecedor	Descrição
18.12	Z174/100x195x0_1		1	DIN 1.2343	HASCO	Haste do dispositivo de travamento
18.13	Z174/100x195x0_2		1	DIN 1.2767	HASCO	Peça do dispositivo de travamento
19	M8 x 20		2	DIN 912		Parafusos para fixar o anel de centragem
20	M6 x 16		2	DIN 912		Parafusos para fixar o bico de injeção
21	M5 x 12		2	DIN 912		Parafusos para fixar o casquilho guia do bico de injeção
22	M8 x 40		4	DIN 912		Parafusos para fixar o item 18.10
23	8 m6 x 45		4	DIN 7		Pinos para guiar o item 18.10
24	8 h8 x 35		4	DIN 7		Pinos para guiar o item 18.12
25	M8 x 25		4	DIN 912		Parafusos para fixar o item 18.12

Item	Identificação da peça	Representação	QTDE	Material	Fornecedor	Descrição
26	Trava		1	DIN 1.1191		Barra de segurança, manter o molde fechado no transporte
27	M10 x 25		2	DIN 912		Parafusos para fixar a barra de segurança
28	M8 x 30		4	DIN 912		Parafusos para fixar a placa extratora nos pinos de retorno
29	Z81/13/14x1,5		16	DIN 2.0401	HASCO	Bocais de ligação dos circuitos de água
30	Z81/9/10x1		1	DIN 2.0401	HASCO	Bocal de ligação do ar comprimido
31	Z98/63x3		2	Viton	HASCO	O-ring para vedação circuitos de água
32	Z98/10x2		18	Viton	HASCO	O-ring para vedação circuitos de água
33	M5 x 40		6	DIN 912		Parafusos para fixar o bloco postigo das cavidades
34	M5 x 35		6	DIN 912		Parafusos para fixar o bloco postigo das buchas

Item	Identificação da peça	Representação	QTDE	Material	Fornecedor	Descrição
35	M8 x 50		2	DIN 912		Parafusos para fixar os suportes dos pinos guia inclinado
36	5 h8 x 18		2	DIN 7		Pinos para guiar os suportes dos pinos guia inclinado
37	M12 x 80		4	DIN 912		Parafusos para fixar os blocos de travamento
38	8 h8 x 40		8	DIN 7		Pinos para guiar as réguas ou guias do elemento móvel
39	M8 x 35		8	DIN 912		Parafusos para fixar as réguas ou guias do elemento móvel
40	SWS37-100		2	SWOSC	MISUMI	Molas espirais de média deflexão
41	Z71/24		4	DIN 580	HASCO	Olhal de segurança para elevação e transporte
42	Z086/46x12		8	DIN 1.2162	HASCO	<i>Interlocks</i>
42.1	Z086/46x12		1	DIN 1.2162	HASCO	<i>Interlocks</i> partes fêmeas

Item	Identificação da peça	Representação	QTDE	Material	Fornecedor	Descrição
42.2	Z086/46x12_1		1	DIN 1.2162	HASCO	<i>Interlocks</i> partes machos
43.3	Z086/46x12_2		4	DIN 912	HASCO	Parafusos para fixar os <i>Interlocks</i>
43	Z561/40x8		4	DIN 1.1213	HASCO	Anilha de segurança da placa das cavidades
44	M16 x 35		4	DIN 912		Parafusos para fixar as anilhas de segurança