



PROJETO DE MICROINJETORA DE TERMOPLÁSTICOS PARA A INDÚSTRIA AUTOMÓVEL

ALEXANDRE LUÍS NUNES VIEIRA

novembro de 2020

PROJETO DE MICROINJETORA DE TERMOPLÁSTICOS PARA A INDÚSTRIA AUTOMÓVEL

Alexandre Luís Nunes Vieira

1131189

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



PROJETO DE MICROINJETORA DE TERMOPLÁSTICOS PARA A INDÚSTRIA AUTOMÓVEL

Alexandre Luís Nunes Vieira
1131189

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho e coorientação do Doutor Francisco José Gomes da Silva.

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira

Professor Adjunto, ISEP

Orientador

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Professor Adjunto, ISEP

Coorientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Adjunto, ISEP

Arguente

Doutor Fernando Jorge Lino Alves

Professor Associado, FEUP

AGRADECIMENTOS

À minha família e amigos pelo apoio extra.

Ao engenheiro Manuel Braga Lino pela experiência transmitida.

À minha namorada pela motivação à finalização desta tese.

DEDICATÓRIA

À minha Mãe, por ser minha Mãe, por me ter ajudado tanto, por sempre me ter apoiado incondicionalmente, mas principalmente porque contém dentro dela um coração feito do material mais resiliente que conheço.

Um obrigado que nunca será suficientemente grato!

Amo-te Mãe!

PALAVRAS CHAVE

Cabos de aço, Automação, Projeto mecânico, Indústria automóvel, Injeção de termoplásticos.

RESUMO

A indústria automóvel é uma indústria que engloba muitas outras indústrias com altos requisitos de qualidade e segurança. É uma indústria de altas cadências e que produz equipamentos relativamente caros. Por isso mesmo é cada vez mais necessário automatizar os processos de forma a garantir grandes índices de eficiência e rapidez de fabrico de componentes. O uso de mão de obra humana insere múltiplas variáveis inerentes ao operador que podem afetar a qualidade e repetibilidade dos processos.

Os cabos de aço e seus subcomponentes são partes do carro que permitem a interligação e transferência de movimento entre diferentes sistemas, tais como: abertura de portas e/ou janelas, sistemas de travagem, ajustamentos de bancos, entre outros.

As pontas destes cabos são sobre injetadas com plástico (polietileno, poliamida com e sem adição de fibras de vidro e poliacetal) que permitem a sua ligação a outras partes do veículo. Atualmente, essas pontas são injetadas por postos de trabalho com uma injetora e um operador cada o que torna o processo moroso. No total cada ponta de cabo demora 6 segundos a ser injetada. Para além disso as injetoras utilizadas são antigas, com uma capacidade de injeção muito maior à requerida e de baixa eficiência inculcando gastos desnecessários à empresa.

O objetivo deste projeto é projetar uma estação de injeção mais recente e adaptada às cadências atuais de injeção de forma a aumentar a eficiência e que possa ser implementada em linhas de produção automatizadas reduzindo o número de operadores.

Como resultado, a máquina de injeção projetada tem uma cadências de 7 pontas de cabo injetadas em 39 segundos, no máximo, o que equivale a 5,57 segundos por peça. Isto traduz-se numa capacidade de injeção cerca de 8 cm³.

KEYWORDS

Bowden cables, Automation, Mechanical project, Automotive industry, Thermoplastic injection.

ABSTRACT

The automotive industry is an industry that encompasses many other industries with high quality and safety requirements. It is a high-speed industry and produces relatively expensive equipment. For this reason, it is increasingly necessary to automate processes in order to guarantee high levels of efficiency and rapid manufacturing of components. The use of human labour inserts multiple variables inherent to the operator that can affect the quality and repeatability of the processes.

Steel cables and their subcomponents are parts of the car that allow the interconnection and transfer of movement between different systems, such as: opening doors and / or windows, braking systems, seat adjustments, among others.

The ends of these cables are over injected with plastic (polyethylene, polyamide with and without the addition of glass fibres and polyacetal) that allow their connection to other parts of the vehicle. Currently, these ends are injected by workstations with an injection machine and an operator each, which makes the process time consuming. In total, each cable end takes 6 seconds to be injected. In addition, the injection moulding machines used are old, with a much higher injection capacity than required and low efficiency, incurring unnecessary expenses for the company.

The objective of this project is to design a newer injection station adapted to the current injection rates in order to increase efficiency and that can be implemented in automated production lines, reducing the number of operators.

As a result, the designed injection machine has a cadence of 7 injected cable ends in a maximum of 39 seconds, which is equivalent to 5.57 seconds per end. This translates to an injection capacity of about 8 cm³.

LISTA DE ABREVIATURAS, UNIDADES E SÍMBOLOS

Lista de Abreviaturas

AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	Classificação Das Atividades Económicas Por Códigos
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>
EDM	<i>Electrical Discharge Machining</i>
GIT	<i>Gas Injection Technology</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
LCP	<i>Liquid Crystal Plastics</i>
MEF	<i>Método de Elementos Finitos</i>
MFI	<i>Melt Flow Index</i>
MIP	Máquinas De Injeção De Plástico
OEM	<i>Original Equipment Manufacturers</i>
PA	Poliamida
PA66	Poliamida 66
PC	Policarbonato
PE	Poliétileno
PET	Poliéster
PMMA	<i>Polimetil-Metacrilato</i>
POM	Poliacetil
PPO	<i>Polyphenylene Oxide</i>
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de Vinilo
TE	Termoendurecíveis
Tg	Temperatura De Transição Vítea
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
TP	Termoplásticos
UHDPE	<i>Ultra High Density Polyethylene</i>

Lista de unidades

GPa	Gigapascal
kgf	Quilogramas Força
MPa	Megapascal
r.p.m.	Rotações Por Minuto

Lista de símbolos

A_p	Área de impressão da peça injetada
P_m	Pressão média da fase de injeção (cerca de 1/3 a 1/5 da pressão de injeção)
F_f	Força de fecho
ΔP	Queda de pressão
η	Viscosidade do plástico
L	Comprimento do canal de escoamento
Q	Caudal

R	Raio do canal de escoamento
π	Número pi
t_k	Estimativa do tempo de arrefecimento
S	Espessura máxima da peça a injetar
α	Difusividade térmica
T_w	Temperatura média do molde
T_a	Temperatura de injeção
T_b	Temperatura de extração
A	Área anelar do fuso
P	Passo do fuso
F_{ad}	Força máxima admissível
E	Módulo de elasticidade
J	Momento de inércia da haste
L_e	Comprimento de encurvadura da haste
CS	Coefficiente de segurança
C	Coefficiente de encurvadura
l	Comprimento haste
P_p	Pressão no pistão de injeção
P_c	Pressão no cilindro de injeção
A_p	Área do pistão de injeção
A_c	Área de avanço do cilindro de injeção
τ_{max}	Tensão máxima aplicada
F	Força imposta
A_p	Área da secção do pino

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Sequência de fabrico de um automóvel (adaptado de Cullom, Hudja, Liu, & Villani, 2017)	9
Figura 2 - Distribuição de empresas produtoras de componentes automóveis por CAE (Vale et al., 2013).	10
Figura 3 - Distribuição do setor de produção de componentes para automóvel por tipo de atividade (adaptado de Martins, 2016).	11
Figura 4 – Localização relativa das empresas construtoras de automóveis em Portugal (Martins, 2016).12	
Figura 5 –Numero de carros vendidos mundialmente de 1990 até 2018 (em milhões de unidades) (Statista, 2018)	15
Figura 6 – Forças vs. Ameaças enfrentadas pelo setor automóvel (Euler Hermes, 2016).	16
Figura 7 – Ciclo de injeção.	17
Figura 8 – MIP de pistão ou <i>plunger</i> (Dominik; et al., 2004).	18
Figura 9 – MIP de fuso recíproco (retirado de Rosato, Rosato, & Rosato, 2000).	19
Figura 10 – MIP de <i>plunger</i> de uma fase (a) e duas fases (b) e MIP de fuso de uma fase (c) e duas fases (d) (Rosato et al., 2000).	20
Figura 11 – MIP com injetor hidráulico com acumulador (Rosato et al., 2000). Legenda: 1-Atuador hidráulico de injeção; 2-Circuito hidráulico; 3-Êmbolo do acumulador; 4-Acumulador; 5-Gás (Rosato et al., 2000)	21
Figura 12 – BABYPLAST 610VP - Máquina de microinjeção de plástico de <i>shuttle</i> ou vertical (Babyplast, 2019)	21
Figura 13 – MIP da ENGEL com sistema rotativo e vertical (Engel, 2019).....	22
Figura 14 – MIP com múltiplos moldes e uma única unidade de injeção de duas fases (Rosato et al., 2000).	22
Figura 15 – Perfis de plástico obtidos por extrusão (EXTRUDEX, 2018).	23
Figura 16 – Esquema de um fuso recíproco com as respetivas zonas (Dominik; et al., 2004).	24
Figura 17 – Corte longitudinal de um fuso de simples hélice (à esquerda) vs. de um fuso de hélice dupla (à direita) (BASF, 2007).	25
Figura 18 – Fuso de barreira (BASF, 2007).	26
Figura 19 – Representação das zonas de um fuso de devolitivização (Womer, 2000).	27
Figura 20 – Arquiteturas típicas da zona de medição de fusos para mistura utilizadas pela marca CONCOR (CONCOR, 2015).	27
Figura 21 – Esquema do funcionamento de uma válvula antirretorno durante a fase de recuo do fuso (a) e durante a fase de injeção propriamente dita (b). As setas verdes e vermelhas representam a circulação do plástico (adaptado de (Craig, 2014).	28
Figura 22 – Esquema de uma válvula antirretorno (adaptado de (Craig, 2014)).	29
Figura 23 – Corte de uma MIP de duas fases sendo o fuso utilizado como válvula de retenção (Ziegenhorn, n.d.).	29
Figura 24 – Bico de injeção aberto com filtro (Herzog, 2019).	30
Figura 25 – Bico de injeção valvulado mecânico (herzog, 2019).	30
Figura 26 – Bico de injeção valvulado controlado (Herzog, 2019)	31
Figura 27 – Bico de injeção para sistemas GIT (Herzog, 2019)	31
Figura 28 – Tremonha para alimentação de plástico por gravidade (ROSCAF, n.d.).	32

Figura 29 – Sistemas para alimentação de plástico por vácuo da CONAIR com uma versão em que a bomba de vácuo está diretamente montada na tremonha (a) ou num suporte de bidões afastado (CONAIR, n.d.) (b).	32
Figura 30 – Aquecedor para retirar a humidade do ar e do plástico (Enterprises, 2012).	32
Figura 31 – Esquema de uma unidade de fecho e abertura (Dominik; et al., 2004).	33
Figura 32 – Esquema de vários mecanismos utilizados em unidade de acionamento mecânicos (Rosato et al., 2000).	34
Figura 33 – Sistema hidromecânico com dois cilindros para movimento do molde, um para exercer força e mais dois para bloquear o movimento do molde (adaptado de Rosato et al., 2000).	35
Figura 34 – Esquema de um circuito hidráulico simples para controlo de um cilindro de duplo efeito (adaptado de Doddannavar & Barnard, 2005).	38
Figura 35 – Viscosidade em função do tempo de residência de TP's (à esquerda) e TS's (à direita) (Rosato et al., 2000).	40
Figura 36 – Exemplos de plásticos amorfos e semicristalinos (tudosobrepolimeros, 2014).....	40
Figura 37 – Propriedades mecânicas de alguns plásticos (Harper, 2006).	41
Figura 38 – Propriedades mecânicas de alguns plásticos Tabela 3(cont.).....	41
Figura 39 – Exemplos de plásticos e sua temperatura de fundido, moldação e secagem e tempos de secagem (Harper, 2006).....	42
Figura 40 – Exemplos de plásticos e sua temperatura de fundido, moldação, secagem e tempos de secagem (Harper, 2006)(cont.)	43
Figura 41 – Constituição de um molde de injeção de plásticos (Crawford, 1998).	45
Figura 42 – <i>Multi daylight mould</i> (moldes com múltiplas aberturas) (<i>Injection Molding of Thermoplastics</i> , 2009).....	47
Figura 43 – Molde de canais quentes (Harper, 2006)	48
Figura 44 – Molde de múltiplas camadas (<i>stacked mould</i>) (Harper, 2006).....	49
Figura 45 – Relação entre a pressão dentro da cavidade moldante e a espessura mínima das placas que contêm a cavidade moldante(Crawford, 1998).	55
Figura 46 – Exemplo esquemático de uma arquitetura de um molde com várias cavidades (adaptado de Crawford, 1998).	56
Figura 47 – Etapas do projeto de um molde e respetivas percentagens de custo face ao custo total do molde (Crawford, 1998).....	56
Figura 48 – Tipo de automação em função da variedade do produto e quantidade de fabrico (adaptado de P.Groover, 2002).....	59
Figura 49 – Sistema de orientação de parafusos baseado em vibração e movimento giratório (HAMOTEK, n.d.).....	61
Figura 50 – Ceifeira-debulhadora JOHN DEERE (John Deere, 2017)	61
Figura 51 – Braços robóticos utilizados na soldadura de carroçarias automóveis (Automóveis Online, 2018).	62
Figura 52 -Exemplo de terminal de cabos de aço.....	65
Figura 53 – Logotipo da Fico Cables (a) e novo pavilhão na Maia, Porto, Portugal (b).	65
Figura 54 - Logo Ficosa	66
Figura 55 – Máquina de injeção Fiser.....	67
Figura 56 – Componente em arame dos sistemas de conforto automóvel	68
Figura 57 - Terminal a ser injetado.....	69
Figura 58 – Injetora Fiser (a) e molde das ponteiras (b).....	70
Figura 59 – Linha de montagem e sobre injeção.....	71
Figura 60 – Sobre injeção por microinjetora Babyplast (a) dos terminais zamak e respetivos moldes (b) 71	

Figura 61 – Sequência e etapas de projeto	72
Figura 62 - Primeira ideia de extrusão.....	74
Figura 63 – Esboço do conjunto constituído pela parte extrusora e parte injetora.....	74
Figura 64 – Esboço da válvula antirretorno de esfera	75
Figura 65 - Esboço da válvula antirretorno através do fuso.....	75
Figura 66 - Esboço do acionamento do fuso	76
Figura 67 - Esboço da parte que faz ligação entre a parte extrusora e a parte injetora	77
Figura 68 – Esboço da forma prensa inicial	78
Figura 69 – Esboço da forma prensa final	78
Figura 70 - Esboço chapa com rasgos em "T" invertido	79
Figura 71 -Esboço da estrutura móvel inicial do conjunto constituído pela parte injetora e parte extrusora	80
Figura 72 -- Estrutura móvel do conjunto constituído pela parte injetora e parte extrusora fixo na estrutura de suporte da injetora	81
Figura 73 - Alimentador automático por vácuo da marca CONAIR (a) e tremonha (b).....	81
Figura 74 – Estimativa dos tempos de arrefecimento.....	85
Figura 75 – Cálculo do tempo de ciclo, cadência e força de fecho do molde	86
Figura 76 – Representação geral da injetora.....	87
Figura 77 – Representação geral da injetora sem proteções	87
Figura 78 – Representação geral da injetora em vista explodida.....	88
Figura 79 – Conjunto da prensa com vista explodida e numeração dos componentes	89
Figura 80 – Conjunto extrusora + injetora com vista explodida.....	91
Figura 81 – Parte extrusora em vista explodida	92
Figura 82 – Motorização do fuso com vista explodida e vista de corte	93
Figura 83 – Parte injetora em vista explodida e vista de corte	95
Figura 84 – Vista em corte do funcionamento da válvula antirretorno (aberta).	97
Figura 85 – Vista em corte do funcionamento da válvula antirretorno (fechada).	98
Figura 86 – Parâmetros do programa de convergência de malha automática	99
Figura 87 – Estrutura de suporte e cotas de atravancamento	101
Figura 88 – Fixações e solicitações da estrutura de suporte	101
Figura 89 – Distribuição de tensões de Von Mises nos elementos de viga da estrutura de suporte.....	102
Figura 90 – Distribuição de tensões de Von Mises nos elementos sólidos da estrutura de suporte	102
Figura 91 – Distribuição de tensões de Von Mises nos elementos sólidos acima de 50 MPa da estrutura de suporte.....	103
Figura 92 – Distribuição de deslocamentos resultantes da estrutura de suporte	103
Figura 93 – Prensa	104
Figura 94 – Sólidos a simular os veios de apoio do conjunto constituído pela parte extrusora e parte injetora.....	105
Figura 95 – Fixações na prensa.....	105
Figura 96 – Solicitações na prensa	106
Figura 97 – Distribuições de tensões de Von Mises e deslocamentos resultantes prensa	106
Figura 98 – Fuso.....	107
Figura 99 – Cilindro plastificador	108
Figura 100 – Fixações e forças impostas no fuso.	108

Figura 101 – Tensões de Von Mises no fuso	109
Figura 102 – Distribuição de tensões superiores a 280 MPa no fuso.....	109
Figura 103 – Conjunto refrigerador (consultar numeração na Figura 82).....	110
Figura 104 – Superfície anelar de contacto do cilindro plastificador	111
Figura 105 – Circuito da água.	111
Figura 106 – Parâmetros teste térmico extrusora.....	112
Figura 107 – Distribuição de temperaturas do teste térmico extrusora	113
Figura 108 – Vorticidade no circuito de água da extrusora.....	113
Figura 109 – Rolamento angular de 2 pontos (esquerda) e 4 pontos (direita)	114
Figura 110 – Esquema de forças no fuso.....	115
Figura 111 – Suporte rolamento	115
Figura 112 – Suporte rolamento, preparação para simulação	116
Figura 113 – Fixações e solicitações impostas no suporte do rolamento	116
Figura 114 – Distribuição de tensões de Von Mises no suporte de rolamento.....	117
Figura 115 – Distribuição de deslocamentos resultantes no suporte de rolamento	117
Figura 116 – Veio de fecho	118
Figura 117 – Veio de fecho	118
Figura 118 – Distribuição de tensões de Von Mises no veio de fecho	119
Figura 119 – Distribuição de deslocamentos resultantes no veio de fecho	119
Figura 120 – Alavanca.....	120
Figura 121 – Fixações e solicitações na alavanca	120
Figura 122 – Distribuição de tensões de Von Mises na alavanca.....	121
Figura 123 – Distribuição de tensões de Von Mises superiores a 250 MPa na alavanca	121
Figura 124 – Distribuição de deslocamentos resultantes na alavanca.....	121
Figura 125 – Pistão de injeção.....	122
Figura 126 – Comprimentos de encurvadura	123
Figura 127 – Força de injeção, força crítica de encurvadura e a diferença entre as duas em função do diâmetro do pistão de injeção	125
Figura 128 – Cálculo diâmetro do pistão de injeção e cilindro de injeção	125
Figura 129 – Cilindro de ligação	126
Figura 130 – Fixações e solicitações no cilindro de ligação	127
Figura 131 – Distribuição de tensões de Von Mises no cilindro de ligação.....	127
Figura 132 – Distribuição de tensões de Von Mises acima de 600 MPa no cilindro de ligação	128
Figura 133 – Distribuição de deslocamentos resultantes no cilindro de ligação	128
Figura 134 – Conjunto refrigerador parte injetora.....	129
Figura 135 – Condições de teste térmico do conjunto refrigerador da parte injetora	129
Figura 136 – Distribuição de temperaturas do teste térmico do conjunto refrigerador da parte injetora	130
Figura 137 – Tampa conjunto refrigerador da parte injetora	130
Figura 138 – Fixações e solicitações na tampa do conjunto refrigerador da parte injetora	131
Figura 139 – Distribuição de tensões de Von Mises na tampa do conjunto refrigerador da parte injetora	131
Figura 140 – Distribuição de deslocamentos resultantes na tampa do conjunto refrigerador da parte injetora.....	132

Figura 141 – Corpo do conjunto refrigerador da parte injetora.....	132
Figura 142 –Preparação do corpo do conjunto refrigerador da parte injetora para simulação	133
Figura 143 –Fixações e solicitações do corpo do conjunto refrigerador da parte injetora	133
Figura 144 –Distribuição de tensões de Von Mises do corpo do conjunto refrigerador da parte injetora	134
Figura 145 –Distribuição de tensões de Von Mises superiores a 150 MPa do corpo do conjunto refrigerador da parte injetora	134
Figura 146 –Distribuição de deslocamentos resultantes do corpo do conjunto refrigerador da parte injetora.....	135
Figura 147 – Coluna espaçadora	135
Figura 148 – Fixações e solicitações na coluna espaçadora	136
Figura 149 –Distribuição de tensões de Von Mises na coluna espaçadora	136
Figura 150 –Distribuição de tensões de Von Mises superiores a 160 MPa na coluna espaçadora	137
Figura 151 –Distribuição de deslocamentos resultantes na coluna espaçadora.....	137
Figura 152 –Suporte do cilindro de encosto ao molde.....	138
Figura 153 –Fixações e solicitações no suporte do cilindro de encosto ao molde	138
Figura 154 –Distribuição de tensões de Von Mises no suporte do cilindro de encosto ao molde.....	139
Figura 155 –Distribuição de tensões de Von Mises superiores a 60 MPa no suporte do cilindro de encosto ao molde	139
Figura 156 –Distribuição de deslocamentos resultantes no suporte do cilindro de encosto ao molde ..	139
Figura 157 –Adaptador cilindro de encosto	140
Figura 158 –Fixações e solicitações no adaptador cilindro de encosto.....	140
Figura 159 –Distribuição de tensões de Von Mises no adaptador cilindro de encosto	141
Figura 160 –Distribuição de tensões de Von Mises superiores a 40 MPa no adaptador cilindro de encosto	141
Figura 161 –Distribuição de deslocamentos resultantes no adaptador cilindro de encosto	141
Figura 162 – Adaptador de montagem do cilindro de encosto	142
Figura 163 –Fixações e solicitações impostas no adaptador de montagem do cilindro de encosto.....	142
Figura 164 – Distribuição de tensões de Von Mises no adaptador de montagem do cilindro de encosto	143
Figura 165 – Distribuição de deslocamentos resultantes no adaptador de montagem do cilindro de encosto	143
Figura 166 – Adaptador de fixação à estrutura da injetora.....	144
Figura 167 – Fixações e solicitações impostas no adaptador de fixação à estrutura da injetora	144
Figura 168 – Distribuição de tensões de Von Mises no adaptador de fixação à estrutura da injetora	145
Figura 169 – Distribuição de tensões de Von Mises superiores a 60 MPa no adaptador de fixação à estrutura da injetora.....	145
Figura 170 – Distribuição de deslocamentos resultantes no adaptador de fixação à estrutura da injetora	145
Figura 171 – Pino	146
Figura 172 – Circuito hidráulico da injetora.	152

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Valores típicos para os parâmetros dos fusos recíprocos (Centimfe & Universidade do Minho, 2004).	25
Tabela 2 - Valores máximos típicos de velocidade de avanço do fuso recíproco em função do tipo de acionamento da injetora (Centimfe & Universidade do Minho, 2004).	25
Tabela 3 – Tabela guia de vantagens e desvantagens dos tipos de unidades de acionamento (Rosato et al., 2000).	36
Tabela 4 – Exemplos de plásticos e respetivas pressões de injeção, manutenção ou segunda pressão e contrapressão e contração (Centimfe & Universidade do Minho, 2004).	43
Tabela 5 – Exemplos de materiais plásticos e respetivas temperaturas de extração do molde (Centimfe & Universidade do Minho, 2004).	44
Tabela 6 – Relação espessura/comprimento máximo de alguns materiais termoplásticos para a espessura de 2.54 milímetros (Rosato et al., 2000).	51
Tabela 7 – Vantagens dos humanos face às das máquinas (P.Groover, 2002).	57
Tabela 8 – Propriedades físicas e químicas dos materiais plásticos a serem injetados.	84
Tabela 9 – Materiais e processo de fabrico do conjunto e dos componentes do conjunto da estrutura geral (Figura 78)(ver desenhos no anexo “Desenhos de fabrico”)	147
Tabela 10 – Materiais e processo de fabrico do conjunto e dos componentes do conjunto da prensa (Figura 79) (ver desenhos no anexo “Desenhos de fabrico”)	147
Tabela 11 – Materiais e processo de fabrico do conjunto e dos componentes do conjunto da parte extrusora (Figura 81 e Figura 82) (ver desenhos no anexo “Desenhos de fabrico”)	148
Tabela 12 – Materiais e processo de fabrico do conjunto e dos componentes do conjunto da parte injetora (Figura 83) (ver desenhos no anexo “Desenhos de fabrico”)	149
Tabela 13 – Materiais e processo de fabrico do reforço entre a parte extrusora e injetora (Figura 80) (ver desenhos no anexo “Desenhos de fabrico”)	150
Tabela 14 – Materiais e processo de fabrico do conjunto e dos componentes das proteções e invólucros (Figura 78)(ver desenhos no anexo “Desenhos de fabrico”)	151
Tabela 15 – Condições de operação dos cilindros hidráulicos (ver Figura 172)	153
Tabela 16 – Componentes e sua descrição utilizados no circuito hidráulico (ver Figura 172)	153
Tabela 17 – Custos horários por processo de fabrico e custos unitários por matéria prima	155
Tabela 18 – Custos de produção (ver desenhos no anexo “Desenhos de fabrico”)	156
Tabela 19 – Custo de acessórios, peças standard e compradas	159

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	Contextualização	3
1.2	Objetivos	4
1.3	Metodologia.....	4
1.4	Organização do relatório.....	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1	Produção de componentes para a indústria automóvel.....	9
2.1.1	A indústria automóvel	9
2.1.2	Indústria Automóvel em Portugal	11
2.1.3	Requisitos de qualidade	12
2.1.3.1	Normalização da qualidade	12
2.1.4	Requisitos de competitividade	13
2.1.5	Paradigmas de produção.....	15
2.2	Injeção de componentes de plástico	16
2.2.1	Equipamentos de injeção	17
2.2.1.1	Tipos de injetoras, seu funcionamento e composição	17
2.2.1.1.1	Ram (plunger).....	18
2.2.1.1.2	Reciprocating screw	18
2.2.1.1.3	Máquinas de injeção de plástico de uma fase vs. duas fases	19
2.2.1.1.4	Outros tipos de máquinas	20
2.2.1.2	Tipos de fusos e cilindros.....	22
2.2.1.2.1	Fuso recíproco.....	22
2.2.1.2.2	Outros tipos de fusos	25
2.2.1.2.3	Cilindro plastificador	28
2.2.1.3	Válvula antirretorno.....	28
2.2.1.4	Bicos de injeção	30
2.2.1.5	Alimentação do plástico no cilindro plastificador.....	31
2.2.1.6	Unidade de fecho e abertura.....	33
2.2.1.6.1	Tipos de unidade de fecho e abertura	33
2.2.1.7	Controlos e acionamento.....	36
2.2.1.7.1	Acionamento hidráulico	37
2.2.1.7.2	Acionamento elétrico.....	38
2.2.2	Materiais plásticos utilizados na injeção	39

2.2.2.1	Grupos de materiais plásticos:.....	41
2.2.2.2	Perfis de temperatura.....	44
2.2.3	Moldes para injeção.....	45
2.2.3.1	Componentes de um molde.....	45
2.2.3.2	Tipos de molde.....	47
2.2.3.3	Classificação de moldes.....	49
2.2.3.4	Comportamento do plástico e aspetos a ter em conta no design de peças e moldes ..	50
2.2.3.5	Sistemas de alimentação.....	52
2.2.3.6	Dimensionamento de moldes.....	52
2.2.3.6.1	Considerações.....	52
2.2.3.6.2	Parâmetros a calcular.....	54
2.3	Automatização de sistemas de produção e montagem.....	57
2.3.1	Soluções baseadas na automação.....	60
2.3.2	Soluções baseadas na robótica.....	62
3	DESENVOLVIMENTO.....	65
3.1	Introdução ao trabalho prático desenvolvido.....	65
3.1.1	Descrição da empresa.....	65
3.1.2	Objetivos do trabalho prático.....	67
3.1.3	Requisitos da injetora.....	69
3.1.4	Resultados pretendidos.....	69
3.1.5	Pressupostos.....	69
3.2	Equipamento inicial.....	70
3.3	Etapas do projeto.....	71
3.4	Anteprojecto.....	72
3.4.1	Ideia geral de extrusão e injeção.....	73
3.4.1.1	Extrusão.....	73
	Válvula antirretorno.....	75
3.4.1.1.1	Acionamento do fuso.....	76
3.4.1.2	Tipo de bico injetora a ser utilizado.....	76
3.4.1.3	Forma como se conecta a parte extrusora à parte injetora.....	77
3.4.2	Ideia do design da prensa onde o molde estará apertado.....	78
3.4.3	Ideia se o conjunto constituído pela parte extrusora e parte injetora é móvel ou fixo.....	79
3.4.4	Alimentação do plástico.....	81
3.4.5	Tipo de acionamento da injetora.....	82
3.4.6	Forma de arrefecimento.....	82
3.5	Projeto final.....	83
3.5.1	Parâmetros de operação da injetora.....	83
3.5.1.1	Materiais a serem injetados e suas propriedades.....	83
3.5.1.2	Potência de plastificação do material plástico.....	85

3.5.1.3	Tempo de arrefecimento da peça.....	85
3.5.1.4	Tempos de ciclo, cadência e força de fecho do molde	86
3.5.2	Representação geral da injetora	86
3.5.2.1	Conjunto prensa	88
3.5.2.2	Conjunto extrusora + injetora.....	90
3.5.2.2.1	Parte extrusora	92
3.5.2.2.2	Motorização da parte extrusora	93
3.5.2.2.3	Parte injetora	94
3.5.2.3	Funcionamento da válvula antirretorno	96
3.5.3	Lista de componentes	98
3.5.4	Dimensionamento dos componentes e seleção de acessórios.....	99
3.5.4.1	Estrutura de suporte.....	100
3.5.4.2	Conjunto prensa	104
3.5.4.2.1	Estrutura da prensa.....	104
3.5.4.2.2	Cilindro de fecho e abertura do molde	107
3.5.4.2.3	Cilindro de ejeção.....	107
3.5.4.3	Parte extrusora	107
3.5.4.3.1	Fuso e cilindro plastificador	107
3.5.4.3.2	Motor elétrico	110
3.5.4.4	Motorização da parte extrusora	110
3.5.4.4.1	Conjunto refrigerador (Tampa, junta e corpo).....	110
3.5.4.4.2	Rolamento.....	114
3.5.4.4.3	Suporte do rolamento.....	115
3.5.4.4.4	Veio de fecho	118
3.5.4.4.5	Alavanca	119
3.5.4.4.6	Cilindro da alavanca	122
3.5.4.5	Parte injetora	122
3.5.4.5.1	Pistão de injeção e cilindro de injeção hidráulico	122
3.5.4.5.2	Cilindro de ligação.....	126
3.5.4.5.3	Conjunto refrigerador de injeção.....	129
3.5.4.5.4	Tampa do conjunto refrigerador da parte injetora.....	130
3.5.4.5.5	Corpo do conjunto refrigerador da parte injetora	132
3.5.4.5.6	Colunas espaçadoras.....	135
3.5.4.5.7	Suporte do cilindro de encosto ao molde	137
3.5.4.5.8	Adaptador cilindro de encosto.....	140
3.5.4.5.9	Adaptador de montagem do cilindro de encosto	142
3.5.4.5.10	Adaptador de fixação à estrutura da injetora.....	143
3.5.4.5.11	Pinos	146
3.5.4.5.12	Cilindro de encosto ao molde.....	146
3.5.5	Seleção de materiais e processo de fabrico	146
3.5.6	Circuito hidráulico	152
3.5.6.1	Legenda e funcionamento	152
3.5.7	Instruções para a montagem do equipamento.....	154

3.5.8	Segurança	155
3.5.9	Orçamento	155
3.5.9.1	Custos de produção e montagem	155
3.5.9.2	Custo de acessórios, peças standard e compradas.....	159
3.5.9.3	Orçamento total	161
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	165
4.1	CONCLUSÕES.....	165
4.2	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS.....	166
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	169
6	ANEXOS.....	175
6.1	Desenhos de fabrico.....	175

INTRODUÇÃO

- 1.1 Contextualização
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Metodologia
- 1.4 Organização do relatório

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Os automóveis, independentemente da forma e tamanho, são meios de evolução da sociedade. A capacidade de transportarem um grande leque de cargas e pessoas a grandes distâncias permite uma maior abrangência de mercado e por conseguinte o crescimento da economia. O aparecimento do automóvel permitiu que o indivíduo vive mais longe do seu posto de trabalho e assim economize no aluguer da casa. Esta consequência possibilitou o aparecimento de novas zonas de alta densidade populacional, o aparecimento de novos mercados locais e o aumento de postos de trabalho. Em suma, o automóvel veio revolucionar o quotidiano da sociedade e trouxe consigo uma maior qualidade de vida.

Tratando-se de meios de transporte de pessoas a altas velocidades exige-se um grande nível de segurança e fiabilidade. Para alcançar estes níveis é necessário garantir a qualidade de fabrico e produto dos componentes que fazem o automóvel. Além deste, atualmente a sociedade vive numa fase em que vê em risco a sua prosperidade devido às alterações climáticas e à poluição ambiental. Uma das indústrias mais poluidoras é a indústria automóvel, não só pela libertação de gases de escape, mas também pelo impacto que as indústrias que produzem os componentes automóveis têm sobre o planeta. Por estas mesmas razões e também para tornar os automóveis economicamente mais acessíveis, é exigida cada vez mais uma maior eficiência nos processos de fabrico, tanto na fábrica de montagem do automóvel como na indústria de componentes.

O automóvel utiliza componentes de base metálica, cerâmica e plástica (polimérica). Exemplos de componentes metálicos são a carroçaria, peças do motor, peças do sistema de travagem, entre outros. Exemplos de componentes plásticos são os tabliers, manípulos, coberturas, terminações de cabos de aço, entre outros.

Os cabos de aço são componentes utilizados para o acionamento de sistemas dentro do automóvel. Estes cabos podem ter terminações de zamak recobertas com plástico, ou terminações inteiramente feitas de plástico. Estas partes plásticas dos cabos são sobre injetadas nos seguintes materiais: polietileno, poliamida com e sem adição de fibras de vidro e poliacetal. Para realizar essa sobre injeção a Fico Cables utiliza máquinas de injeção plástica convencionais com um operador por máquina. Estas máquinas são antigas e sobredimensionadas para o efeito tornado o processo com baixa eficiência. Antes destas pontas serem injetadas, os respetivos cabos de aços são preparados por outras máquinas com cadência de uma ponta a cada 6 segundos. Além disto a Fico

Cables faz a sobre injeção de plástico em componentes dos sistemas de conforto do veículo e em peças metálicas mais pequenas e específicas.

1.2 Objetivos

O objetivo primordial deste projeto é projetar uma estação de injeção mais recente e adaptada às cadências atuais de injeção, de forma a aumentar a eficiência e permitir a implementação em linhas de produção automatizadas, reduzindo assim o número de operadores.

O objetivo secundário é projetar a estação para que possa ser aplicada na sobre injeção dos componentes dos sistemas de conforto e em peças metálicas mais específicas e simples, estando preparada para funcionar como uma solução independente e que possa ser facilmente adaptada ao propósito.

1.3 Metodologia

A execução deste projeto passou pelas seguintes fases:

1. Contextualização ao processo de injeção plástica;
2. Estado de arte dos equipamentos de injeção plástica;
3. Análise de peça a ser injetada, volume requerido e parâmetros de injeção a utilizar;
4. Cálculo do tempo de arrefecimento;
5. *Brainstorming* de ideias;
6. Cálculo da cadência ótima tendo em conta os 6 segundos por ponta de cabo de aço;
7. Cálculo da força de fecho do molde;
8. Cálculo do diâmetro de cilindro e pistão de injeção;
9. Dimensionamento do fuso e cilindro extrusor;
10. Cálculo do binário máximo e rotação nominal do fuso;
11. Seleção do motor elétrico do fuso;
12. Cálculo da força de retorno do fuso durante a plastificação do plástico;
13. Seleção do rolamento do fuso;
14. Cálculo da força necessária ao avanço do fuso para a válvula antirretorno;
15. Seleção do bico injetor;
16. Desenhos em 3 dimensões e simulações em método de elementos finitos (MEF);
17. Simulações MEF e validação dos componentes;
18. Desenhos de fabrico;
19. Redação do presente relatório.

1.4 Organização do relatório

De forma a guiar e facilitar a compreensão do leitor, o relatório está dividido nos seguintes tópicos:

- Revisão bibliográfica: Revisão de conceitos técnico-científicos fundamentados por obras científicas com o intuito de contextualizar e formar minimamente o leitor para o desenvolvimento do projeto;
- Desenvolvimento do projeto dividido nas seguintes partes:
 - Descrição da empresa que requer este projeto, objetivos, resultados pretendidos, limitações ao projeto e pressupostos;
 - Estado inicial do equipamento instalado na empresa;
 - Anteprojeto: *Brainstorming* de ideias, vantagens e desvantagens;
 - Projeto final: Representação geral deste projeto e dos seus constituintes, dimensionamento dos componentes e sua validação através de MEF, seleção de acessórios, seleção de materiais e processos de fabrico dos componentes, projeto do circuito hidráulico, breves instruções para a montagem, acessórios utilizados para a segurança da máquina e por fim orçamento.
- Conclusões e propostas de trabalhos futuros;
- Referências bibliográficas;
- Anexos:
 - Desenhos de fabrico.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Produção de componentes para a indústria automóvel
- 2.2 Injeção de componentes de plástico
- 2.3 Automatização de sistemas de produção e montagem

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Produção de componentes para a indústria automóvel

2.1.1 A indústria automóvel

A Indústria Automóvel teve uma evolução de tal magnitude que se tornou numa indústria que depende de outras subindústrias, desde os componentes obtidos através de injeção plástica até à estampagem de chapa para a carroçaria. Isto deve-se ao facto de que, a certa altura, o crescente aumento de variedade nos modelos fabricados necessitou da adoção de uma estratégia diferente para o fabrico dos diferentes modelos pois uma única empresa não consegue ser capaz de produzir todos os componentes de um automóvel sem que o preço final do automóvel fique elevadíssimo para o cliente final. Para combater o aumento de preços finais do produto as empresas optaram por fazer *outsourcing* (Cao et al., 2018).

O *outsourcing* consiste em recorrer a outras empresas para obter a matéria-prima desejada. Por exemplo, o painel de instrumentos de um automóvel atual é injetado e montado noutra empresa que tem contrato com a marca automóvel. Um exemplo é a Aptiv (em Braga) que tem múltiplos setores e linhas de montagem para fazer componentes para marcas como Audi, BMW, Porsche, Ferrari, Fiat e PSA.

Na Figura 1 está ilustrado um esquema que mostra sucintamente como se processa o fabrico de um modelo automóvel desde as matérias-primas mais básicas (como vidro, borracha, aço, etc) até ao produto final entregue ao consumidor.

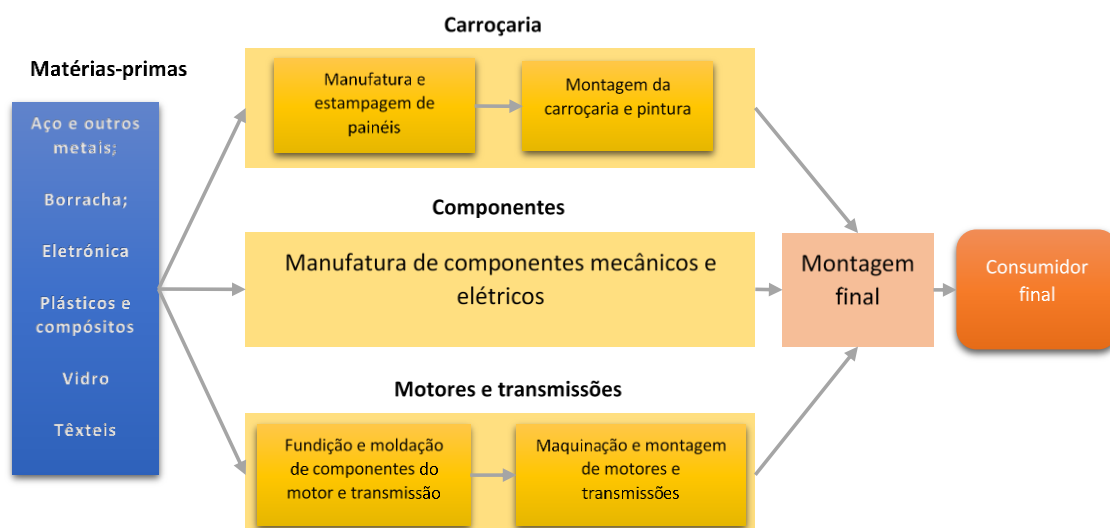


Figura 1 - Sequência de fabrico de um automóvel (adaptado de Cullom, Hudja, Liu, & Villani, 2017)

Na maioria das marcas automóveis apenas a parte da carroçaria é feita na própria marca (*insourcing*), enquanto o restante é obtido através de contratos de produção noutras empresas.

A Figura 2 contém a distribuição das empresas produtoras de componentes automóveis por Classificação das Atividades Económicas (CAE) por Códigos.

CAE	Descrição	%
293	Partes e acessórios para veículos a motor	44,40%
222	Partes plásticas	12,80%
257	Cutelaria, ferramentas e "hardware" geral	10,00%
221	Produtos de borracha	5,60%
139	Outros têxteis	5,00%
259	Outros produtos fabricados a partir do metal	4,40%
245	Moldagem do metal	2,80%
255	Forjamento, prensagem e estampagem do metal	1,70%
256	Tratamento e revestimento de metais	1,70%
281	Produção de maquinaria e equipamento com propósitos gerais	1,70%
273	Cablagem	1,70%
264	Televisões, rádios e outros bens similares	1,10%
243	Outras actividades de processamento do aço	1,10%
Outros	Outros grupos CAE	6,10%

Figura 2 - Distribuição de empresas produtoras de componentes automóveis por CAE (Vale et al., 2013).

Pela análise da Figura 2 consegue-se notar que quase metade das empresas associadas à indústria automóvel são empresas que fabricam partes e acessórios para veículos a motor. Isto deve-se ao facto de que, tratando-se de peças que exigem múltiplos processos de fabrico e diversas máquinas, se pode criar um negócio só pela sua produção. O seu fabrico na própria marca traria custos elevadíssimos, o que se reflete no custo final do produto. E por isso a decisão de optar pelo *outsourcing* é uma mais valia tanto para o consumidor final como para as empresas pelo seguinte (Cao et al., 2018):

- O preço final do automóvel é reduzido;
- A qualidade aumenta, pois, a existência de múltiplas empresas a fabricar diferentes produtos torna-as especialistas no componente, trazendo maior qualidade ao componente;
- A marca automóvel pode concentrar-se mais no desenvolvimento do automóvel num panorama geral trazendo maior qualidade e baixando o custo do automóvel. A produção *insourcing* dos componentes só traria uma preocupação acrescida na fase de desenvolvimento;
- A economia dos diferentes países cresce pois criam-se mais empresas e, por conseguinte, mais postos de trabalho;
- Como resultado disso, as pessoas já têm uma maior possibilidade de comprar automóveis às marcas. É quase como um ciclo.

As empresas que produzem componentes, seja para que indústria for, direcionados para serem montados noutras linhas de montagem, como o caso da indústria automóvel, são chamadas de *Original Equipment Manufacturers* (OEM).

2.1.2 Indústria Automóvel em Portugal

Portugal tem tido uma grande evolução no setor automóvel. Tem recebido cada vez mais reconhecimento e investimento externo o que permite a evolução tecnológica e o melhoramento da empregabilidade do país (Martins, 2016). Por conseguinte, o melhoramento da competência técnica e incorporação de I&D (Investigação e desenvolvimento) possibilita a maior inclusão das universidades e centros de engenharia nas empresas ajudando na integração de estudantes no mercado de trabalho.

“A indústria automóvel em Portugal constitui um pilar importante da economia portuguesa, contribuindo fortemente para o PIB nacional. O fabrico de componentes para automóveis é o setor mais representativo nesta indústria, continuando a gerar emprego e exportando 84 por cento da sua produção.” (Martins, 2016).

Segundo (Martins, 2016), as três principais atividades praticadas pelas empresas do setor automóvel são o fabrico de moldes, o fabrico de componentes e o fabrico de viaturas automóveis. Em maio de 2016 existiam cerca de 200 empresas a fabricar componentes para automóvel, nas quais existiam cerca de 42000 postos de trabalho. Esta mesma indústria gerou, em 2015, 6700 milhões de euros em exportações e um volume de negócios global de 6,5 mil milhões de euros, sendo dividido da forma representada na Figura 3.

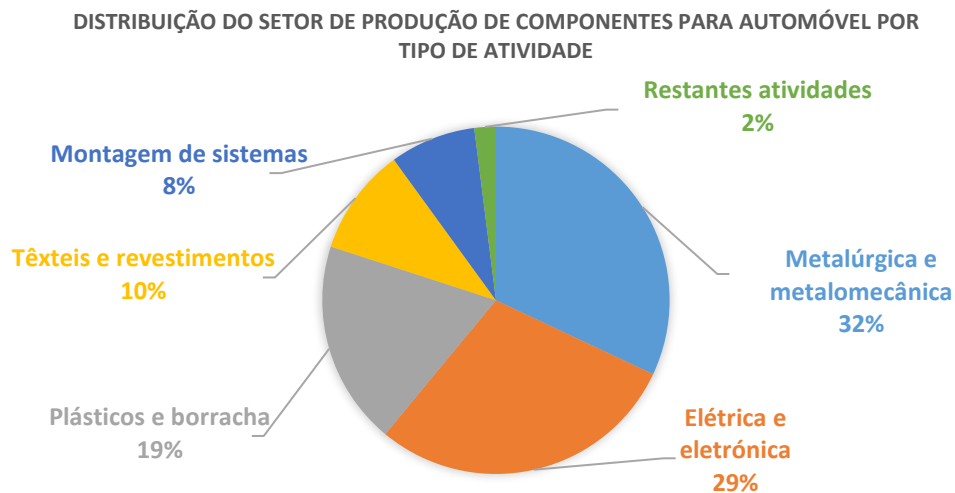


Figura 3 - Distribuição do setor de produção de componentes para automóvel por tipo de atividade (adaptado de Martins, 2016).

A maioria das empresas do setor automóvel estão localizadas no norte do país, principalmente nos distritos de Braga, Porto e Aveiro, pelas seguintes razões (Martins, 2016):

- Terrenos para construção de infraestruturas mais baratos;
- Mão de obra mais barata;
- Boa proximidade a grandes fabricantes de automóveis.

No que toca ao fabrico do automóvel, existem quatro fábricas em Portugal: Mitsubishi Fuso Truck Europe, PSA Peugeot Citroen, Toyota Caetano e Volkswagen Autoeuropa, com as respetivas localizações representadas na Figura 4.

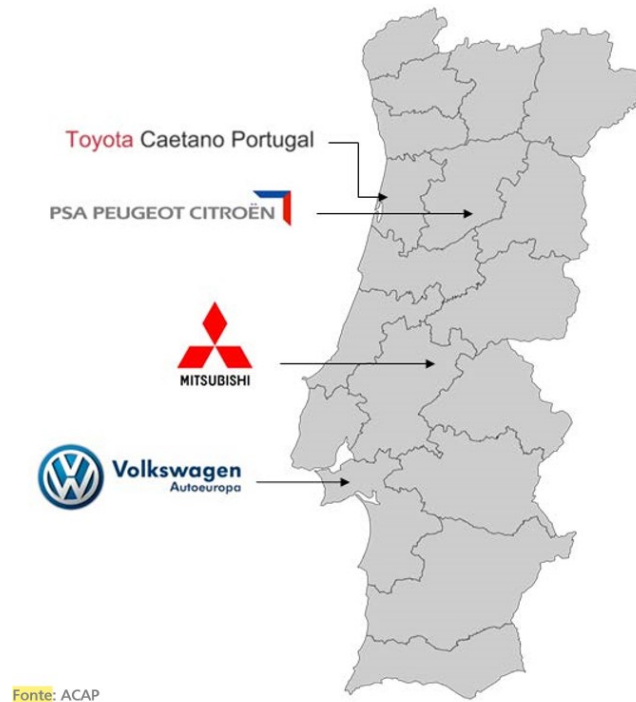


Figura 4 – Localização relativa das empresas construtoras de automóveis em Portugal (Martins, 2016).

Relativamente a fábricas de componentes para automóvel, as mais importantes são: a Continental, Delphi, Faurecia, Renault Cacia e Bosch.

2.1.3 Requisitos de qualidade

De acordo com a norma ISO 8402, qualidade é *“Totalidade de características de um produto ou serviço que lhe confere a capacidade de satisfazer as necessidades explícitas e implícitas”*.

A qualidade também pode ser analisada comparativamente, isto é, pode-se definir a qualidade de um produto relativamente a outro com a mesma função primária comparando as tolerâncias dos mesmos ao satisfazer as necessidades descritas em cima.

O preço não é uma evidência de maior qualidade. Quando se comparam dois produtos deve-se definir com que parâmetros é medida a qualidade para poderem ser comparados.

2.1.3.1 Normalização da qualidade

De forma a igualar todas as organizações em termos da qualidade de produto, independentemente do produto que produzam, existe a norma ISO 9001, que certifica as empresas em termos de qualidade de processo e produto, tornando a organização transparente aos olhos do cliente e aumentando a sua credibilidade no mercado.

Com vista a aumentarem a qualidade dos seus automóveis, os fabricantes exigem que os seus fornecedores tenham implementada a norma ISO/TS 16949 (Lee et al., 2018).

A norma ISO/TS 16949 é baseada na norma ISO 9001, mas adaptada exclusivamente à indústria automotiva. Inicialmente, as diferentes associações de automóveis em todo o mundo tinham referenciais de qualidade que normalizavam os processos de fabrico dos

automóveis. No entanto, não existia uma concordância entre todos esses referenciais. Um estudo realizado pela *International Automotive Task Force* (IATF) resultou na aprovação, em 1999, por parte da ISO, da norma ISO/TS 16949, que tornou o processo de normalização da qualidade reconhecida pelos diferentes produtores de automóveis (AEP, 2006). Esta normativa contém guiões para conceção e desenvolvimento, produção e fornecimento do serviço às atividades de medição, monitorização, competência, consciencialização, formação dos colaboradores, análise e melhoria.

A certificação, em Portugal, da organização para esta normativa pode ser feita pela APCER com ajuda de organismos certificadores da rede IQNet, suportando o processo de auditoria aos sistemas de gestão da qualidade. As auditorias são responsáveis por identificar desvios nos requisitos da qualidade e a sua magnitude. Devido a isso surge o aparecimento de pressões nos produtores de componentes para automóvel por parte dos produtores de automóveis que, também eles, realizam auditorias de qualidade nos seus fornecedores e apertam os prazos de entrega dos componentes, chegando a criar penalizações caso os fornecedores não cumpram os prazos de entrega (AEP, 2006).

2.1.4 Requisitos de competitividade

De acordo com Porter (1985), existem quatro dimensões que representam o campo de ação competitivo de uma empresa:

- **Campo Segmentar:** A variedade de produtos ou serviços produzidos e os clientes servidos;
- **Campo Vertical:** O nível de atividades que são feitas *in-house* em vez de serem feitas por outras empresas (*outsourcing*);
- **Campo Geográfico:** As regiões, países ou grupo de países onde a firma atua;
- **Campo Industrial:** A quantidade de indústrias relacionadas onde a firma negocia.

Campo Segmentar

As empresas de produção de automóveis tentam criar uma variedade de modelos automóveis suficiente para poderem competir em diferentes faixas etárias, diferentes regiões e seus tipos de terreno, e diferentes idades e necessidades dos clientes, de forma a se aproximarem de um número maior de clientes. Tentam, também, criar modelos e designs de forma a construir um mercado próprio e serem os únicos a vender esse tipo de produto. No entanto, esse domínio de mercado é momentâneo pois as outras empresas tentam produzir um produto semelhante, dando-lhe a oportunidade de entrarem nesse mesmo mercado.

Campo Vertical

Estando perante uma das indústrias que mais opta pelo *outsourcing*, as empresas de produção de automóveis tentam ser competitivas escolhendo muito bem os seus fornecedores pela qualidade dos seus produtos e sua reputação. Como os fabricantes de automóveis não têm alternativa ao *outsourcing*, os mesmos exigem aos seus fornecedores que sigam as suas exigências com o risco de não aceitarem os seus produtos (Pop & Elod, 2015). Um exemplo de uma empresa que fabrica os seus modelos de automóvel 100% *in-house* é a Tesla, que apenas compra matérias-primas para fabricarem os componentes dos veículos. Desta forma conseguem controlar melhor os

custos de produção desde a matéria-prima até ao produto final, poupando também em sistemas logísticos.

Campo geográfico

Uma empresa altamente competitiva atua em múltiplas regiões e países, o que a torna numa empresa com vários mercados a nível de tipo de clientes. Uma empresa que actue num único nicho facilmente pode ser consumida por empresas no mesmo ramo. As empresas de produção de automóveis tentam chegar ao maior número de clientes possível de forma a criar um grande mercado de venda e competirem com outras empresas (Lafuente et al., 2019). A Ford é um exemplo pois, há cerca de dois anos, começou a fabricar o modelo Ford Mustang com versão Europeia, vindo competir com os automóveis de alta gama de outras empresas. A abrangência de um maior número de regiões e países não só traz novos mercados e oportunidades, mas também uma maior satisfação de clientes.

Campo industrial

A sustentabilidade e inovação são dois assuntos em que as empresas fortemente competitivas têm em conta no desenvolvimento e produção dos seus produtos. Mas para manterem esse empenho na melhoria da sustentabilidade e inovação, as empresas têm de considerar novas e futuras indústrias. As indústrias das matérias-primas e de investigação são as principais, pois é precisamente aí que se formam novas tecnologias mais inovadoras e sustentáveis e que fazem o mesmo ou mais que as tecnologias anteriores. As nações estão a apostar, cada vez mais, na investigação antes, durante e após o desenvolvimento de um produto, lançando incentivos às empresas para introduzirem a investigação e desenvolvimento nos seus planos de ação. E é aqui que entram as instituições de ensino que, cada vez mais, apresentam parcerias com o mundo empresarial. A aposta na investigação possibilita poupança de recursos e aparecimento de novas tecnologias que dão valor e diferenciação às empresas e, além disso, ajudam a integrar os estudantes finalistas no mercado de trabalho e a desenvolver a sociedade.

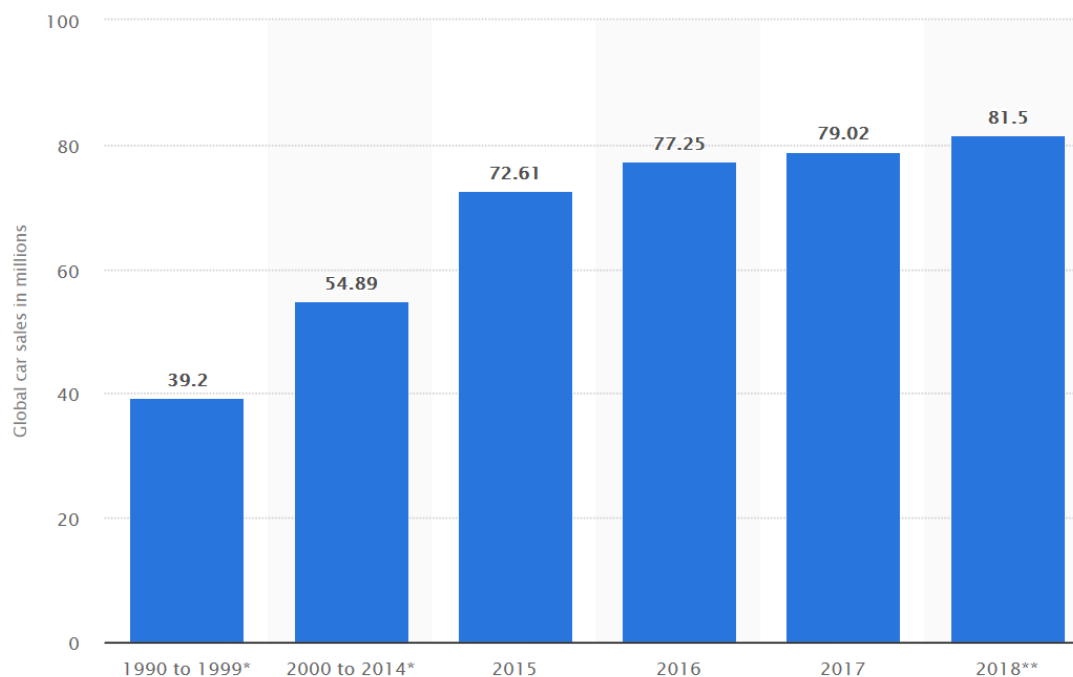
Por último, as empresas têm dois tipos de vantagem competitiva (Porter, 1985): o **custo** e a **diferenciação**. Ambos são conceitos que as empresas não compreendem bem, mas que estão relacionados não só com o produto em concreto mas, também, com a cadeia de valor da empresa.

A avaliação de vantagem de custo tem a ver com os custos de produção, mas, também, com o impacto de outras atividades como o marketing, serviço e infraestruturas. As empresas devem, também, analisar a posição das outras empresas para saberem em que posição competitiva se presenteiam.

“Uma empresa diferencia-se dos seus competidores se conseguir ser única em algo que os clientes valorizam.” (Porter, 1985). A vantagem de diferenciação de uma empresa rege-se não só pelas diferenças do produto em si mas também pela diferenciação das atividades da cadeia de valor do produto. As empresas, normalmente, procuram ser diferentes em aspetos que os clientes não valorizam. Muitas das vezes, diferenças na cadeia de valor, que não são visíveis pelo cliente, refletem-se no produto final, tornando o produto único e altamente valorizado pelos clientes.

2.1.5 Paradigmas de produção

Com o crescimento populacional mundial e o desenvolvimento dos países subdesenvolvidos, aparece uma crescente procura que obriga os construtores automóveis a produzir mais. Uma prova de tal é que as vendas de automóveis têm vindo a aumentar a cada ano que passa. A Figura 5 representa o número de carros vendidos mundialmente, entre 1990 e 2018 (em milhões de unidades).



© Statista 2018

Figura 5 –Número de carros vendidos mundialmente de 1990 até 2018 (em milhões de unidades) (Statista, 2018)

É expectável que até ao final de 2019 as vendas automóveis ultrapassem os 100 milhões (Euler Hermes, 2016).

Os requisitos de segurança e impacto ambiental são cada vez mais apertados, isto é, é cada vez mais exigido que um automóvel cumpra níveis de emissões de gases de estufa mais reduzidos e, também, ofereça uma maior segurança aos passageiros. Isto provoca uma pressão nos construtores cada vez maior o que os obriga a atualizarem o seu paradigma de produção de forma a manterem o seu estatuto no mercado.

Está-se perante uma época de transição de mercado pois existem, cada vez mais, veículos elétricos e autónomos e, devido a isso, os gigantes das tecnologias começam a entrar no mercado automóvel motivando a inclusão das empresas mais pequenas (Dijk et al., 2013). Aliado à transição dos elétricos, as grandes metrópoles estão a implementar taxas ao uso do motor de combustão, nomeadamente o diesel, nos seus centros urbanos chegando, algumas, a proibir a entrada de veículos com esse tipo de propulsão à exceção dos veículos de transporte público (Dijk et al., 2013). De forma a manterem a prosperidade da marca automóvel, os construtores de automóveis vêm-se obrigados a investirem em novas tecnologias e entrarem neste novo mercado. A Tesla é

um exemplo de um construtor que produz veículos 100% elétricos. Algumas empresas de construção de automóveis querem deixar de produzir veículos unicamente movidos a combustão e a Hyundai é um exemplo disso.

O sector automóvel enfrenta o seguinte cenário de forças vs. Ameaças (Figura 6):

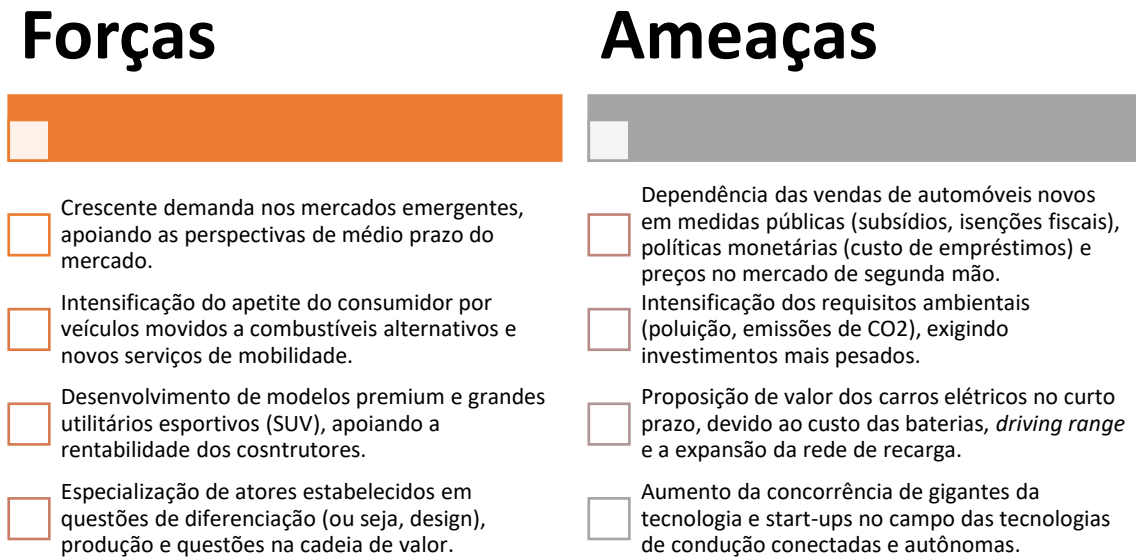


Figura 6 – Forças vs. Ameaças enfrentadas pelo setor automóvel (Euler Hermes, 2016).

Aqui, mais uma vez, refere-se o aparecimento dos elétricos, no entanto, a grande dificuldade em passar para esse mercado é o seu custo a curto-prazo. Os automóveis elétricos, de forma a terem uma autonomia satisfatoriamente grande e terem períodos de carga baixos, necessitam de baterias maiores e redes de carga abrangentes, o que torna os carros demasiados caros para os clientes (Dijk et al., 2013).

2.2 Injeção de componentes de plástico

Os materiais plásticos já são utilizados há milhares de anos (seda, lã, celulose, etc) sendo que os primeiros a serem utilizados são de origem natural como a seda, lã, celulose, etc. Desde os anos 30 e 40 que os plásticos foram introduzidos no quotidiano das pessoas, estando presentes em basicamente todas as indústrias até mesmo na aeroespacial e farmacêutica, trazendo muitas vantagens tais como a facilidade de processamento, diminuição de peso das peças e o seu respetivo preço (J. A. Brydson, 1999). Hoje em dia, os plásticos estão presentes em quase todos os objetos. Estão tão presentes e são tão utilizados que os oceanos estão a ficar cheios de resíduos plásticos provenientes do uso quotidiano das pessoas, o que se tornou um problema ambiental muito preocupante (Schwarz et al., 2019). O uso de materiais plásticos biodegradáveis minimiza este impacto ambiental, mas revelam-se caros, o que dificulta o seu uso.

Existem vários processos de fabrico para produzir peças em plástico, entre os quais se encontra a injeção. A injeção de plástico em moldes (normalmente metálicos) é a melhor forma de produzir componentes plásticos com formas complexas e elevada precisão dimensional. A maquinaria também pode ser utilizada para aumentar, ainda mais, a

precisão dimensional. A injeção de componentes plásticos passa pelas seguintes fases (Figura 7) (Rosato et al., 2000):

1. Fecho do molde;
2. Injeção do plástico na cavidade moldante;
3. Pressurização da cavidade moldante de forma preencher os vazios que o plástico cria quando arrefece e contrai;
4. Plasticização e arrefecimento – Enquanto se plastifica o material para a próxima injeção, o material no molde arrefece por completo até à temperatura do molde;
5. Abertura do molde;
6. Extração das peças plásticas;
7. Tempo de repouso ou espera até ao próximo ciclo de injeção.

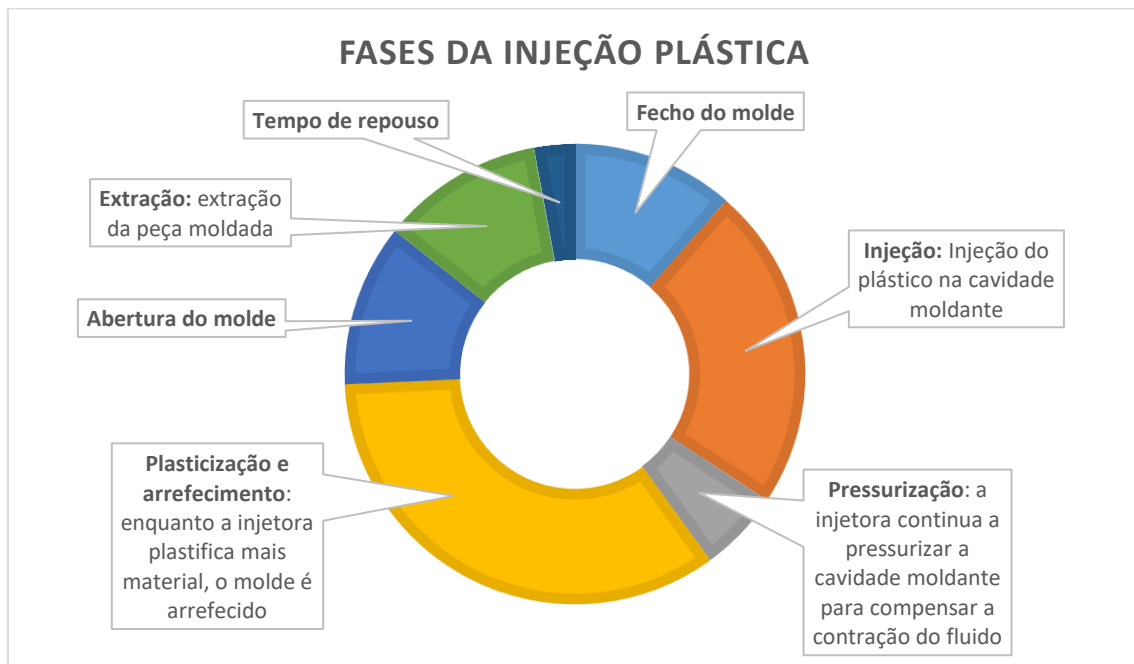


Figura 7 – Ciclo de injeção.

2.2.1 Equipamentos de injeção

2.2.1.1 Tipos de injetoras, seu funcionamento e composição

As máquinas de injeção de plástico (MIP) podem ser diferenciadas pela forma como plastificam o plástico e pela forma como o injetam.

Elas podem plastificar o plástico de duas formas (Rosato et al., 2000):

- Através de um pistão que atua dentro do cilindro plastificador, chamado de **plunger** ou **ram** (Figura 8);
- Através de um fuso recíproco, **reciprocating screw** que, com a sua rotação, vai plastificando o material.

Relativamente à forma como injetam o plástico, as MIP podem apresentar dois sistemas distintos:

- Sistema de **uma fase**;
- Sistema de **duas fases**.

2.2.1.1.1 Ram (plunger)

Nas MIP de pistão (*plunger*), o material entra no cilindro plastificador, é aquecido e de seguida o pistão dentro do cilindro plastificador empurra esse material para dentro da cavidade do molde (Figura 8). O *torpedo* que se vê na Figura 8 pode ou não existir e tem a função de separar o material fundido do sólido, diminuir a espessura do fundido de forma a aumentar a condução de calor pelo material sólido e comprimir o material que ainda está por fundir quando o pistão/*plunger* avança ajudando na sua plasticização. Para além disso, diminui a pressão no cilindro plastificador (Rosato et al., 2000).

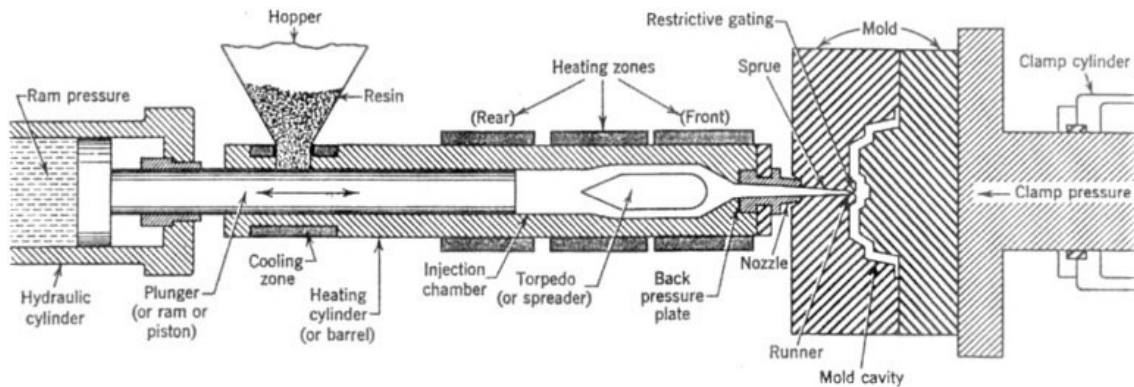


Figura 8 – MIP de pistão ou *plunger* (Dominik; et al., 2004).

Este tipo de sistema foi o primeiro a surgir e era utilizado nas MIP a partir de 1870. Devido ao seu funcionamento, os ciclos de injeção eram consideravelmente maiores comparados aos mais recentes pois, por cada ciclo de injeção, o cilindro plastificador era preenchido com novo plástico que tinha de ser aquecido pelo cilindro e só depois injetado. Ora, como o plástico é um mau condutor de calor e para evitar que o plástico que estivesse mais próximo das paredes do cilindro se desintegrasse, era necessário fornecer calor a um ritmo baixo refletindo-se um tempo de aquecimento muito alto.

Hoje, este sistema é utilizado em situações para processar plásticos com baixa fluidez como o polietileno de peso molecular ultra alto (*ultrahigh-molecular-weight polyethylene (UHDPE)*).

2.2.1.1.2 Reciprocating screw

Nas MIP de fuso (*reciprocating screw*), o material é levado pela rotação do fuso, tal como o parafuso de Arquimedes, e comprimido no cilindro plastificador. Esta compressão aliada ao atrito do plástico com o cilindro, a interação entre os grãos de plástico e o aquecimento do cilindro, plastifica o material que, com a rotação do fuso, é transportado para a frente do fuso (Womer, 2000). Quando chegar o momento de o material ser injetado, o fuso avança criando pressão e injetando o plástico na cavidade do molde (Figura 9). O fuso contém, na sua frente, uma válvula de retenção que, quando o fuso avança, evita que o plástico retorne para trás do fuso. Este assunto é detalhado no ponto 2.2.1.3.

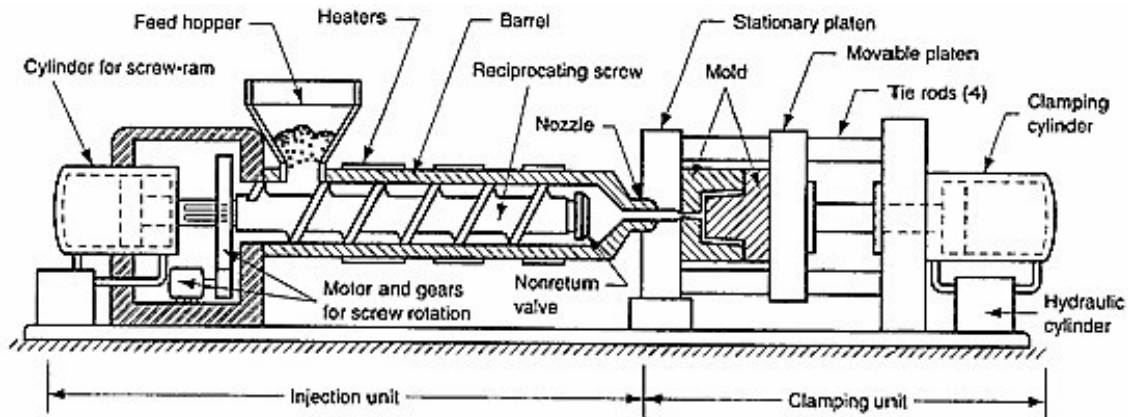


Figura 9 – MIP de fuso recíproco (retirado de Rosato, Rosato, & Rosato, 2000).

Este sistema foi introduzido a partir da década de 50 e ainda hoje é utilizado. O facto de utilizar um fuso recíproco torna o processo de injeção de plástico muito mais rápido e contínuo no caso da extrusão (Singh & Verma, 2017). Aliás, sem este sistema não seria possível a extrusão plástica. Com este sistema, o tempo de arrefecimento do plástico no molde passa a ser a etapa mais demorada dentro do ciclo das MIP de fuso.

Os fusos utilizados por estas MIP's têm diferentes arquiteturas e tamanhos de acordo com o material a ser plastificado. Este assunto é detalhado no ponto 2.2.1.2.

2.2.1.1.3 Máquinas de injeção de plástico de uma fase vs. duas fases

As MIP de **uma fase** fazem as etapas de plastificar o material e o injetarem na mesma câmara, isto é, tanto nas MIP de *plunger* ou de fuso, o material é plastificado no cilindro plastificador e, de seguida, injetado pela ação do *plunger* ou fuso, tal como representado na Figura 10 (a) e (c).

As MIP de **duas fases** são semelhantes em composição às de uma fase, mas diferem das de uma fase na etapa de injeção. No caso das MIP de duas fases, o material é injetado numa segunda câmara, também chamada de acumulador, e posteriormente é injetado para a cavidade do molde (Figura 10 (b) e (d)).

Nas MIP de duas fases, o conjunto cilindro plastificador, fuso ou *plunger* serve apenas de unidade de plasticização do material plástico. A injeção do material dá-se na segunda câmara ou acumulador. Para evitar que, no momento de injeção, o material retorne ao cilindro plastificador, existe uma válvula que fecha o acesso ao cilindro e abre caminho para o molde.

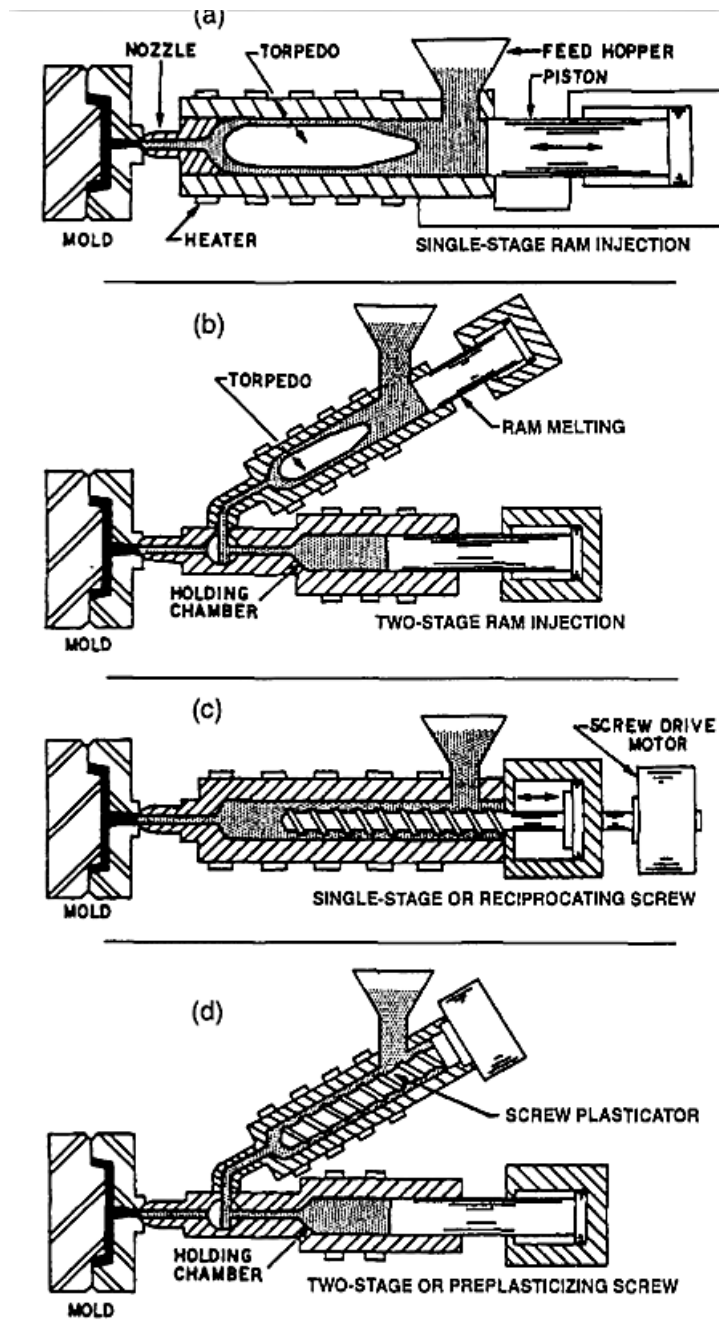


Figura 10 – MIP de *plunger* de uma fase (a) e duas fases (b) e MIP de fuso de uma fase (c) e duas fases (d) (Rosato et al., 2000).

2.2.1.1.4 Outros tipos de máquinas

Outros tipos de MIP contêm plastificadores em diferentes posições, múltiplas unidades de fecho e abertura dos moldes para diferentes tipos de molde e o seu movimento (de *shuttle* (verticais, Figura 12), rotativos (Figura 13), de carril, etc.) e plastificadores com vários *plungers* invés de fusos, que também são chamadas de *screwless-machines* (Rosato et al., 2000).

Injetor hidráulico com acumulador

Quando é exigido uma velocidade de injeção mais rápida, por exemplo em materiais de engenharia, utiliza-se um sistema com acumulador no circuito hidráulico (Figura 12).

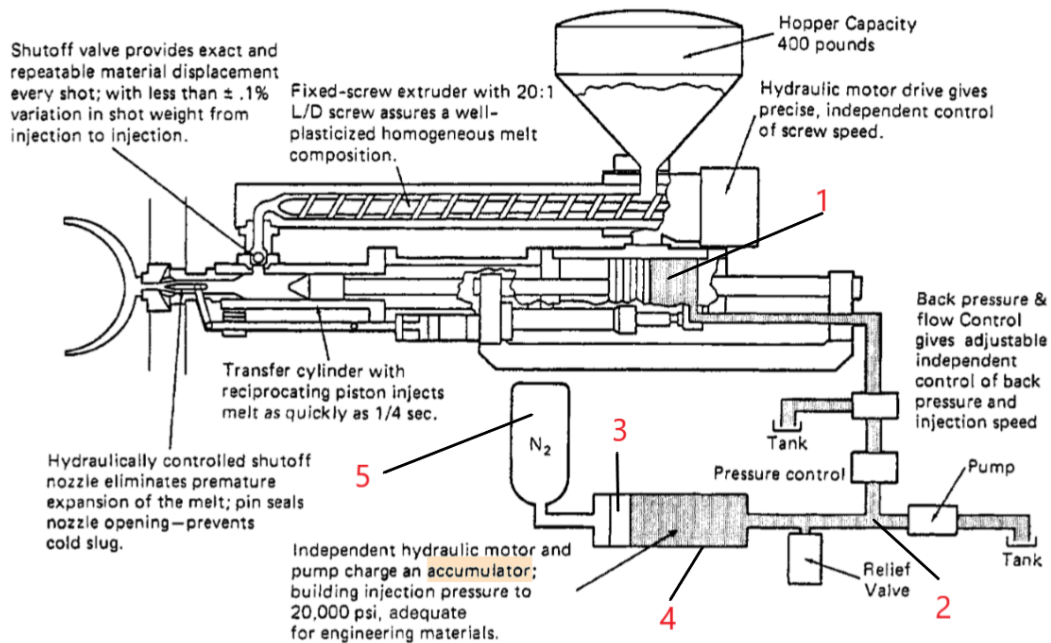


Figura 11 – MIP com injetor hidráulico com acumulador (Rosato et al., 2000). Legenda: 1-Atuador hidráulico de injeção; 2-Circuito hidráulico; 3-Êmbolo do acumulador; 4-Acumulador; 5-Gás (Rosato et al., 2000)

Neste sistema está presente um acumulador (4) que num lado contém um gás inerte (normalmente, azoto) (5) e noutro o fluido hidráulico, separados por um êmbolo (3). Quando a máquina não está a injetar, o acumulador enche-se maioritariamente de fluido hidráulico aumentando a pressão no lado do gás. No momento da injeção é libertada uma válvula à saída do acumulador e no circuito hidráulico (na Figura 11, “Relief valve”), libertando a pressão no lado gasoso e empurrando o atuador de injeção (1) conectado ao circuito hidráulico (2).

Nas Figura 12 e Figura 13 estão representadas MIP's verticais. A MIP da Figura 12 é considerada uma micro injetora pois injeta pequenas quantidades de plástico por cada ciclo. A MIP da Figura 13 contém também um sistema rotativo para montagem de vários moldes.



Figura 12 – BABYPLAST 610VP - Máquina de microinjeção de plástico de *shuttle* ou vertical (Babyplast, 2019)



Figura 13 – MIP da ENGEL com sistema rotativo e vertical (Engel, 2019)

Existem, também, MIP's com múltiplas cavidades de molde com uma única unidade de injeção (Figura 14).

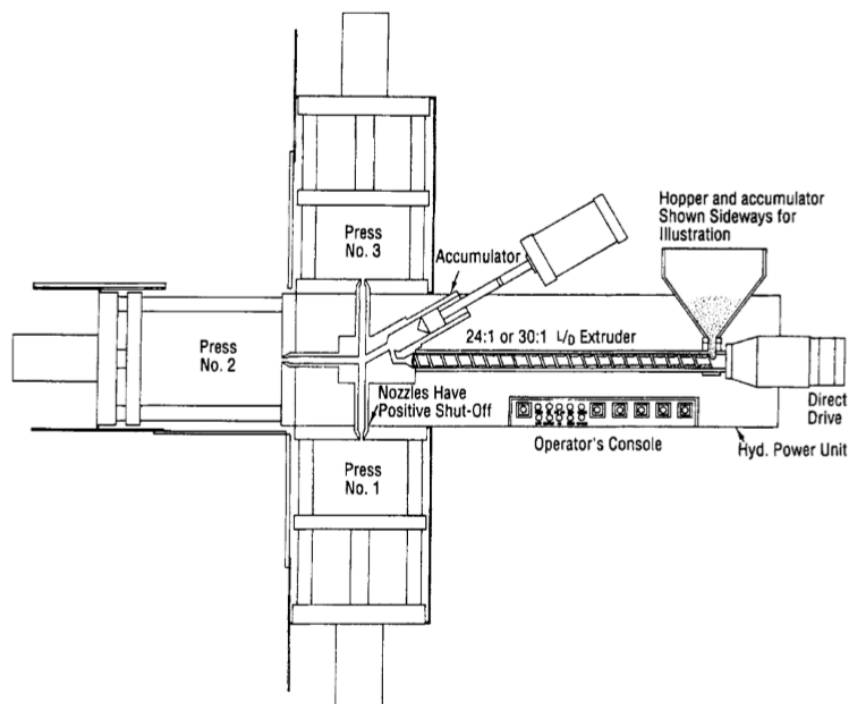


Figura 14 – MIP com múltiplos moldes e uma única unidade de injeção de duas fases (Rosato et al., 2000).

2.2.1.2 Tipos de fusos e cilindros

2.2.1.2.1 Fuso recíproco

A implementação do fuso recíproco veio reduzir drasticamente os tempos de ciclo das injetoras e possibilitou a extrusão contínua de plástico, como os perfis que se podem ver na Figura 15.



Figura 15 – Perfis de plástico obtidos por extrusão (EXTRUDEX, 2018).

Uma das principais funções dos fusos para além de plastificar o polímero é a de misturar vários tipos de plásticos, aditivos e/ou reforços como fibra de vidro. Por vezes utiliza-se mistura de plásticos na injeção, essa mistura seria muito difícil, senão impossível, de obter com MIP's de *plunger*.

O atrito provocado pelo movimento do plástico nas outras partículas de plástico, nas paredes do cilindro plastificador e do fuso, provoca um aumento de temperatura que, associado com o aquecimento das resistências elétricas colocadas à volta do cilindro plastificador, plastifica o plástico, isto é, o plástico plastifica através da condução de calor e atrito mecânico (Meekers et al., 2018).

O fuso é composto por três zonas distintas ao longo do seu comprimento (Rosato et al., 2000), conforme se mostra na Figura 19:

- **Zona de alimentação:** É a zona mais recuada do fuso e é aqui onde o plástico entra e é pré-aquecido. Esta zona pode ocupar 50 a 75% do comprimento útil¹ do fuso. O seu comprimento depende essencialmente da quantidade de calor que o plástico tem de absorver para pré-aquecer. Nesta zona a profundidade do filete do fuso é a maior em todo o fuso e mantém-se constante em todo o comprimento da zona de alimentação;
- **Zona de transição ou compressão:** Esta é a zona intermédia do fuso e pode ocupar 5 a 50% do comprimento útil do fuso. Esta zona tem de ser suficientemente longa para se ter a certeza que o plástico sai desta zona totalmente plastificado. Aqui, a profundidade do filete é mínima no início e máxima no final, por isso se chama zona de compressão. Existem plásticos em que o comprimento útil do respetivo fuso é todo ele zona de compressão, como acontece com o Policloreto de vinilo (PVC). Em alguns plásticos, como é o caso dos termoendurecíveis, existe uma grande sensibilidade ao sobreaquecimento e

¹ Comprimento útil do fuso ou *flight length* é o comprimento desde o ponto onde o plástico é alimentado até ao final do fuso. Não confundir com o comprimento total do fuso. O comprimento total do fuso já tem incluído a zona de ligação com os elementos que lhe fornecem movimento (Figura 16).

uma grande probabilidade de o plástico endurecer entre o cilindro plastificador e o fuso. Nestes casos o comprimento útil do fuso é uma zona de alimentação apenas;

- **Zona de medição:** Esta zona é a última do fuso e tem como propósito uniformizar o fundido e a sua temperatura. Como nesta zona existem altas taxas de corte no plástico, o que provoca um aumento de temperatura, a mesma é dimensionada tendo em conta a sensibilidade à temperatura do plástico e se é necessário algum tipo de mistura, por exemplo quando se misturam dois plásticos. Para plásticos muito sensíveis à temperatura, esta zona não existe ou se existir é muito pequena. Para os restantes plásticos ela pode ter 20 a 25% do comprimento útil do fuso.



Figura 16 – Esquema de um fuso recíproco com as respectivas zonas (Dominik; et al., 2004).

Existe um conjunto de parâmetros que definem o fuso para além daqueles apresentados na definição das zonas do fuso:

- **Razão de compressão** - quociente entre a profundidade do filete na zona de alimentação e a mesma profundidade na zona de medição;
- **Razão L/D** - comprimento em função do diâmetro;
- **Passo** - normalmente é igual ao diâmetro do fuso (passo quadrado).

A Tabela 1 apresenta os valores típicos² para os parâmetros referidos anteriormente. Normalmente utilizam-se fusos universais para o processamento de vários materiais, mas é recomendável utilizar fusos específicos para materiais amorfos e semicristalinos (Centimfe & Universidade do Minho, 2004).

A rotação do fuso deve ser tal de forma a que a velocidade tangencial (mais perto das paredes do cilindro plastificador) não ultrapasse 1 m/s, caso contrário, poderá provocar taxas de corte muito elevadas provocando a degradação do plástico (Centimfe & Universidade do Minho, 2004).

² Atenção estes valores são típicos e por isso podem ser diferentes em situações especiais, dependendo do material a processar.

Tabela 1 - Valores típicos para os parâmetros dos fusos recíprocos (Centimfe & Universidade do Minho, 2004).

Parâmetro	Valores típicos
Razão de compressão	Generalidade: 1,8 a 2,5; Borrachas e termoendurecíveis: 1,3 a 1,5; Termoplásticos amorfos: 2,0 a 2,5; Termoplásticos semicristalinos: menor que 2,0.
L/D	Generalidade: 20; Termoplásticos: 18 a 24; Borrachas e termoendurecíveis: 12 a 16.

O deslocamento do fuso durante a injeção deverá variar entre 1 e 4xD mas o recomendável é entre 2 e 3xD. A Tabela 2 contém os valores máximos típicos de velocidade de avanço do fuso, dependendo do tipo de acionamento.

Tabela 2 - Valores máximos típicos de velocidade de avanço do fuso recíproco em função do tipo de acionamento da injetora (Centimfe & Universidade do Minho, 2004).

Tipo de acionamento	Velocidades máximas [mm/s]
Hidráulicas convencionais	200 – 250
Hidráulicas com acumulador	400 – 450
Elétricas	500 - 1000

2.2.1.2.2 Outros tipos de fusos

Para além do convencional fuso de três zonas, discutido anteriormente, existem outros tipos de geometria que permitem uma maior qualidade de material fundido quando as situações assim o exigem.

Dentro desses fusos alternativos existem:

- Fusos de dupla ou múltipla hélice;
- Fusos de barreira;
- Fusos para extração de gases (devolitização);
- Fusos com zonas de medição especiais.

Fusos de dupla ou múltipla hélice

Estes fusos têm mais de uma hélice, o que permite, sem alterar a geometria básica do fuso, diminuir a espessura de fundido ao longo do fuso (Figura 17).

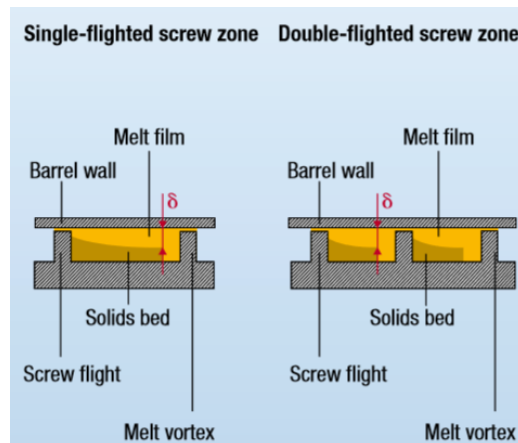


Figura 17 – Corte longitudinal de um fuso de simples hélice (à esquerda) vs. de um fuso de hélice dupla (à direita) (BASF, 2007).

As vantagens de reduzir a espessura de material fundido está em melhorar a transferência de calor entre o cilindro e o plástico sólido e aumentar a taxa de corte através da diminuição desta espessura provocando uma maior libertação de energia calorífica aumentando a eficiência de plasticização.

Estes fusos não são recomendados para plásticos amorfos e/ou sensíveis à temperatura, pois um aumento brusco de temperatura pode degradar rapidamente o material. Por isso, estes fusos são utilizados em situações quando se requer elevados caudais de plástico combinados com altas eficiências de plasticização (Rosato et al., 2000).

Fusos de barreira

Estes fusos contêm ao longo do seu comprimento útil, exceto na zona de alimentação, duas zonas por onde o plástico é transportado: uma zona sólida-líquida e outra líquida (Figura 18).

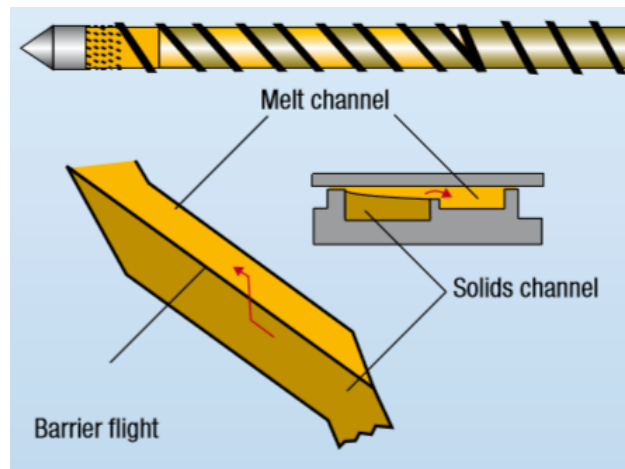


Figura 18 – Fuso de barreira (BASF, 2007).

A zona líquida possui uma profundidade de filete menor criando uma espécie de filtro ao plástico sólido, isto é, os pedaços de plástico por fundir têm de fundir e ficar mais pequenos para passar à zona líquida. E fundirem por completo através do acréscimo da taxa de corte devido provocada pela diminuição da profundidade do filete.

A separação do plástico nestas zonas permite uma maior uniformização do fundido e por conseguinte maior qualidade (Spalding & Hyun, 2009).

Fusos para extração de gases (devolitização)

Alguns plásticos como a poliamida produzem gases durante a sua plasticização mais vulgarmente vapor de água. Para evitar que estes gases afetem a qualidade do fundido e da peça moldada, é necessário retirá-los do cilindro através do uso de fusos de devolitização.

Estes fusos são também chamados de fusos de duas fases (*two stage screws*) e consistem, basicamente, em dois fusos normais, de três zonas, um a seguir ao outro. No entanto, a zona de alimentação da segunda fase serve de zona de ventilação. Esta zona é necessária para reduzir a pressão exercida no cilindro plastificador e evitar que o plástico saia pela janela de ventilação criada no cilindro (Rosato et al., 2000) (Figura 19).

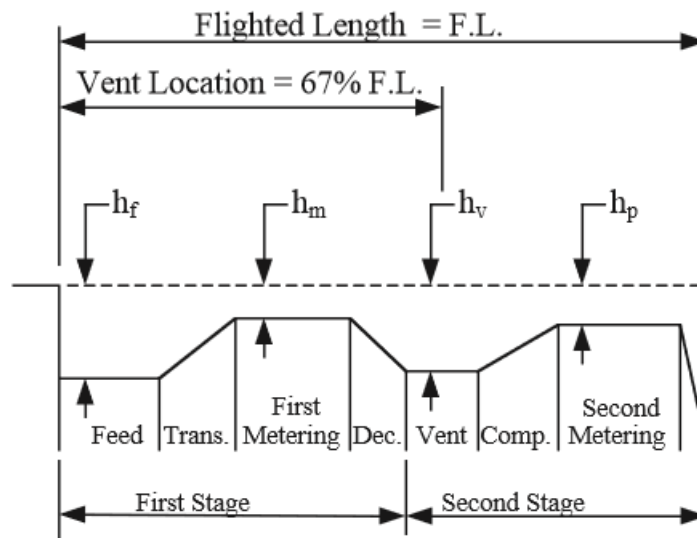


Figura 19 – Representação das zonas de um fusão de devolitivização (Womer, 2000).

Estes fusos têm, tipicamente, valores mínimos da razão L/D entre 30 a 32.

O plástico tem de estar 100% fundido antes de atingir a zona de ventilação, sob pena de parte dos vapores se misturarem no fundido que entrará no molde e comprometerem a qualidade da peça (Spalding & Hyun, 2009).

Fusos com zonas de medição especiais

Para melhorar a uniformização do fundido e, também, para obter uma melhor mistura de plásticos, as empresas de fabrico de fusos criam arquiteturas especiais nas zonas de medição. A Figura 20 representa diferentes arquiteturas de mistura utilizadas pela marca CONCOR.

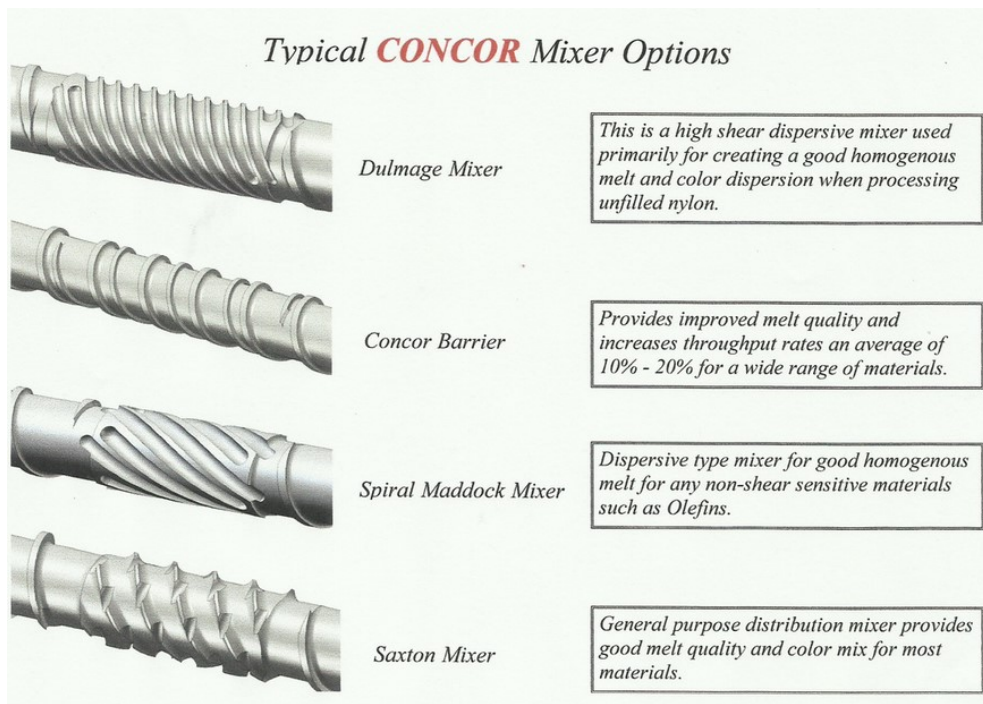


Figura 20 – Arquiteturas típicas da zona de medição de fusos para mistura utilizadas pela marca CONCOR (CONCOR, 2015).

2.2.1.2.3 Cilindro plastificador

O cilindro plastificador tem como funções: conter o material a processar, aquecê-lo e servir de suporte de montagem aos elementos que fornecem movimento ao fuso, ao bico de injeção e adaptador e à tremonha. O aquecimento do material é normalmente feito através de resistências elétricas abraçadas ao cilindro, existindo um conjunto de termopares com a função de medir a temperatura no cilindro. Normalmente, a potência específica de aquecimento ronda os 6 – 8 W/cm² (Centimfe & Universidade do Minho, 2004). No entanto, para materiais termicamente sensíveis utilizam-se ventiladores para arrefecer rapidamente o cilindro e evitar sobreaquecimento do material. No aquecimento de borrachas e termoendurecíveis são utilizados sistemas de aquecimento a óleo ou água pressurizada (Rosato et al., 2000). Os cilindros plastificadores podem atingir os 400°C e os 2000 bar, mas têm uma elevada espessura, essencialmente, para terem uma grande inércia térmica, ou seja, é menos suscetível a criar picos de temperatura nas paredes interiores evitando a degradação do material.

Alguns materiais com compostos abrasivos, como fibra de vidro (por exemplo, poliamida 66 (PA66)), tendem a provocar um acentuado desgaste no cilindro. Para evitar o excessivo desgaste do cilindro, o mesmo passa por processos de nitruração e implementação de soluções bimetálicas de forma a aumentar a sua dureza superficial (Chang et al., 2009). Alguns materiais libertam, na sua plasticização, vapor de água que não pode, de forma alguma, misturar-se com o fundido pois iria ocupar volume na frente do fuso, volume esse que deveria ser ocupado por plástico fundido, provocando defeitos na peça final. Para evitar isso, recorre-se a cilindros com janelas de ventilação por onde escapam os vapores de água. Nesses cilindros são utilizados fusos para escape de gases, explicados, anteriormente, no tema de fuso recíproco (Centimfe & Universidade do Minho, 2004). Existem, também, cilindros de duplo fuso para efeitos de mistura de diferentes materiais e/ou cores.

2.2.1.3 Válvula antirretorno

A válvula de antirretorno está acoplada na frente do fuso e tem a função de, no momento da injeção, criar pressão na frente do fuso e evitar que o plástico recue para trás do fuso (Figura 21).

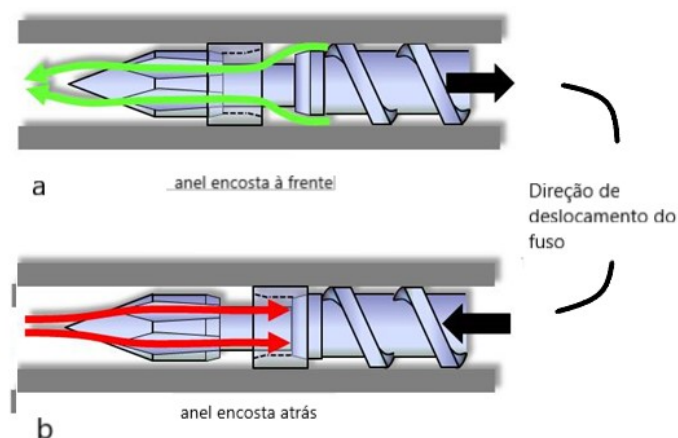


Figura 21 – Esquema do funcionamento de uma válvula antirretorno durante a fase de recuo do fuso (a) e durante a fase de injeção propriamente dita (b). As setas verdes e vermelhas representam a circulação do plástico (adaptado de (Craig, 2014).

A válvula é constituída por (Figura 22):

- **Ponta** – A ponta da válvula é ranhurada para permitir o fluxo do plástico quando o fuso recua;
- **Anel de retenção** – O anel desliza no corpo da válvula criando estanquicidade quando o fuso avança para injetar o material;
- **Rosca de ligação ao fuso** – conecta o bico de injeção ao fuso.

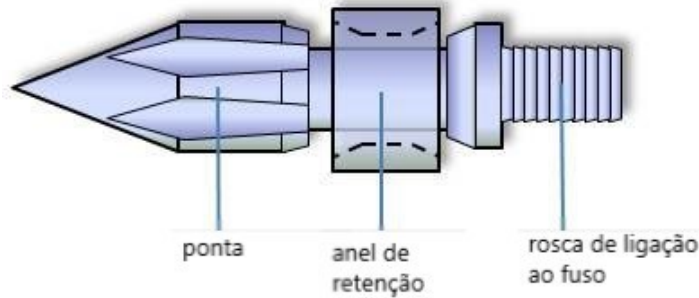


Figura 22 – Esquema de uma válvula antirretorno (adaptado de (Craig, 2014)).

Quando o fuso recua depois da injeção, o anel encosta na parte frontal da válvula e, devido às ranhuras criadas na ponta da válvula, o plástico pode passar para a frente do fuso, preparando-se para a próxima injeção (Figura 21(a)).

Quando o fuso avança para injetar o plástico, o anel encosta na parte de trás da válvula criando estanquicidade e não permitindo que o plástico recue sob a pressão de injeção (Figura 21(b)).

No caso da MIP de duas fases, esta válvula não existe, pois, a injeção não é feita pelo fuso, mas sim por um acumulador (ver ponto 2.2.1.1.3).

No entanto, existem MIP's de duas fases que utilizam o fuso como válvula de retenção. Isto é, quando chega o momento de o plástico no acumulador ser injetado, o fuso avança e encosta na peça montada na frente do cilindro plastificador evitando que o plástico no acumulador retorne ao cilindro. Na Figura 23 está representado o corte de uma MIP de duas fases tendo o fuso como válvula de retenção.

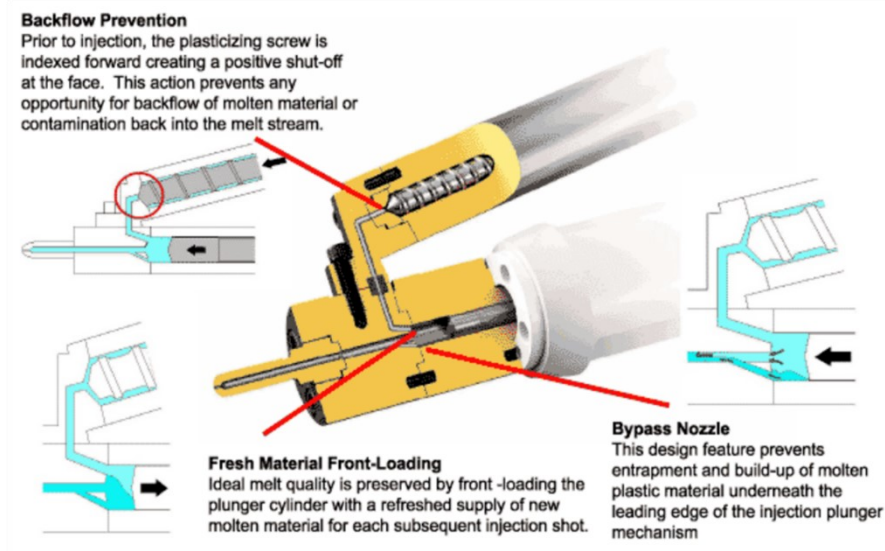


Figura 23 – Corte de uma MIP de duas fases sendo o fuso utilizado como válvula de retenção (Ziegenhorn, n.d.).

2.2.1.4 Bicos de injeção

Os bicos de injeção são peças instaladas na frente do cilindro plastificador e que têm a função de contactarem fisicamente o molde a ser preenchido e podem, também, filtrar e misturar o plástico fundido e servirem de válvula de fecho quando o plástico não é injetado (Bryce, 1996). Eles fecham e impedem que o plástico saia pelo bico. Isto é particularmente útil nos plásticos com alto índice de fluidez, *melt flow index* (MFI)³.

Os bicos podem ser caracterizados por (Rosato et al., 2000):

- **Abertos** – Não têm capacidade de reter o material plástico (Figura 24);
- **valvulados** – Com capacidade de reter o material. Dentro destes os bicos de injeção podem ser:
 - **Mecânicos** – Fecham por ação de uma mola e abrem com uma pressão de circulação do plástico mínima (Figura 25);
 - **Controlados** – Abrem e fecham através do controlo de um atuador, seja ele hidráulico, pneumático ou elétrico (Figura 26).
- Ou para **injeção de gases ou água, *Gas Injection Technology* (GIT)⁴ e *Water Injection Technology* (WIT)**, respetivamente (Figura 27).

Todos estes tipos de bicos têm opções de mistura e filtragem do material plástico e também controlo de temperatura.

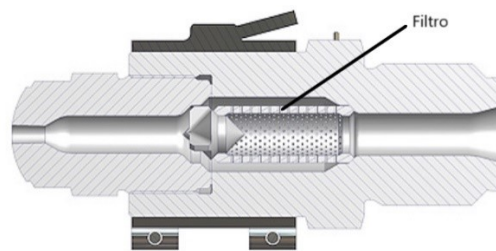


Figura 24 – Bico de injeção aberto com filtro (Herzog, 2019).

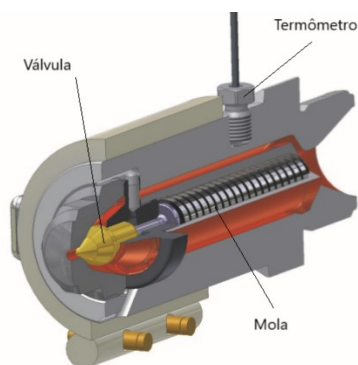


Figura 25 – Bico de injeção valvulado mecânico (herzog, 2019).

³ *Melt flow index* (MFI) mede a facilidade com que um polímero flui (Guerreiro et al., 2012). Um MFI maior significa que o material plástico flui mais facilmente.

⁴ GIT e WIT – É o processo de injetar gás ou água, respetivamente, aquando da injeção de plástico com a finalidade de formar peças ocas. Dessa forma minimiza-se o desperdício de material, baixa-se tempos de ciclo devido ao alto período de arrefecimento, caso se tratasse das respetivas secções maciças, e, por conseguinte, baixa-se o custo de fabrico.

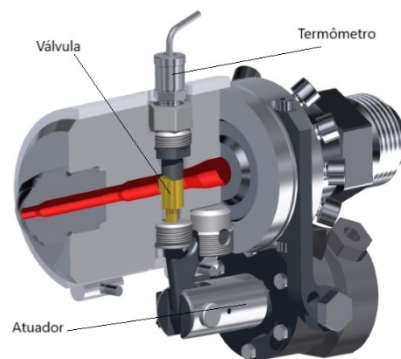


Figura 26 – Bico de injeção valvulado controlado (Herzog, 2019)

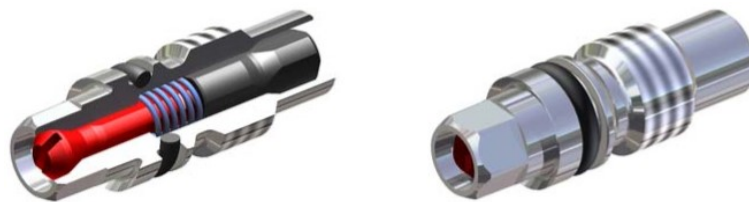


Figura 27 – Bico de injeção para sistemas GIT (Herzog, 2019)

2.2.1.5 Alimentação do plástico no cilindro plastificador

Existem várias formas de alimentar o cilindro plastificador com plástico (Rosato et al., 2000):

- **Por gravidade** – É instalada uma tremonha por cima do cilindro plastificador onde é armazenado o material plástico que por ação da gravidade, cai para dentro do cilindro (Figura 28). Este tipo de alimentação é o mais utilizado;
- **Por vácuo** – Este tipo de sistema utiliza um equipamento de sucção que suga o plástico para a tremonha ou diretamente para o cilindro (Figura 29). É utilizado em situações de difícil acesso à máquina e/ou quando se pretende que não entre humidade para dentro da unidade plastificadora no caso de materiais de fácil absorção de humidade, por exemplo, poliamida.
- **Por quantidades controladas** – Este sistema utiliza diferentes tipos de mecanismos para controlar a quantidade de plástico que entra no cilindro. Isto é utilizado em situações de misturas, por exemplo, para obter um material plástico com um certo tom de cor, ou, ainda, para misturar uma certa percentagem de fibras no plástico bruto, entre outras.

Aliado a estes sistemas podem existir aquecedores, que retiram a humidade do ar e do plástico (Figura 30) evitando que se torne em vapor de água aquando da plastificação do polímero.



Figura 28 – Tremonha para alimentação de plástico por gravidade (ROSCAF, n.d.).

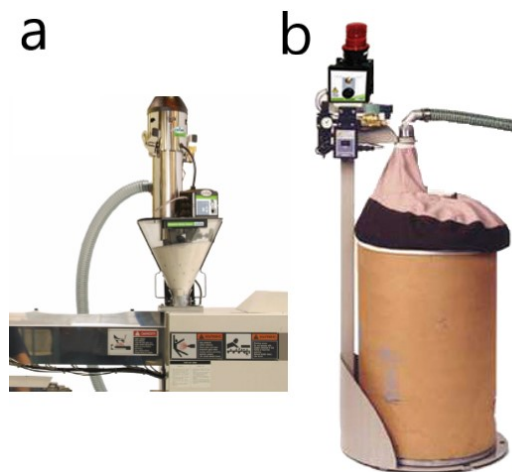


Figura 29 – Sistemas para alimentação de plástico por vácuo da CONAIR com uma versão em que a bomba de vácuo está diretamente montada na tremonha (a) ou num suporte de bidões afastado (CONAIR, n.d.) (b).



Figura 30 – Aquecedor para retirar a humidade do ar e do plástico (Enterprises, 2012).

2.2.1.6 Unidade de fecho e abertura

A unidade de fecho e abertura tem como funções (Centimfe & Universidade do Minho, 2004):

- Fixar e movimentar o molde, principalmente metade do molde;
- Manter o molde fechado durante a fase de enchimento e pressurização, garantindo o nível de força e fecho desejado;
- Acionar os mecanismos necessários à extração da moldação.

A unidade de fecho e abertura é constituída por (Figura 31):

- Placa estacionária – suporta uma das metades do molde;
- O molde propriamente dito;
- Placa móvel – suporta a segunda metade do molde;
- Veios guia – suportam a placa móvel e permitem que a mesma se desloque;
- Unidade de acionamento – movimenta a placa móvel.

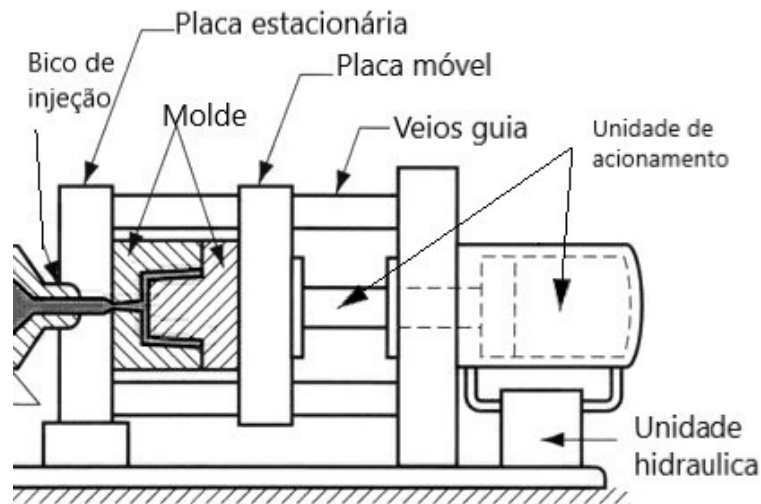


Figura 31 – Esquema de uma unidade de fecho e abertura (Dominik; et al., 2004).

2.2.1.6.1 Tipos de unidade de fecho e abertura

A unidade de acionamento pode ser do tipo (Rosato et al., 2000):

- Hidráulica;
- Mecânica ou *toggle clamps*;
- Hidromecânica;
- Hidroelétrica.

Hidráulica

Uma unidade de acionamento hidráulica utiliza um cilindro hidráulico para movimentar a placa móvel e fornecer a força necessária para manter o molde fechado durante a injeção de material (Figura 31). Neste tipo de unidade, o atuador hidráulico é o elemento que suporta toda a força provocada no molde durante a fase de injeção.

Mecânica ou *toggle clamp*

Esta unidade utiliza um sistema mecânico constituído por tirantes e um pequeno cilindro hidráulico para movimentar esse sistema. São esses tirantes que suportam a força criada na fase de injeção (Figura 32).

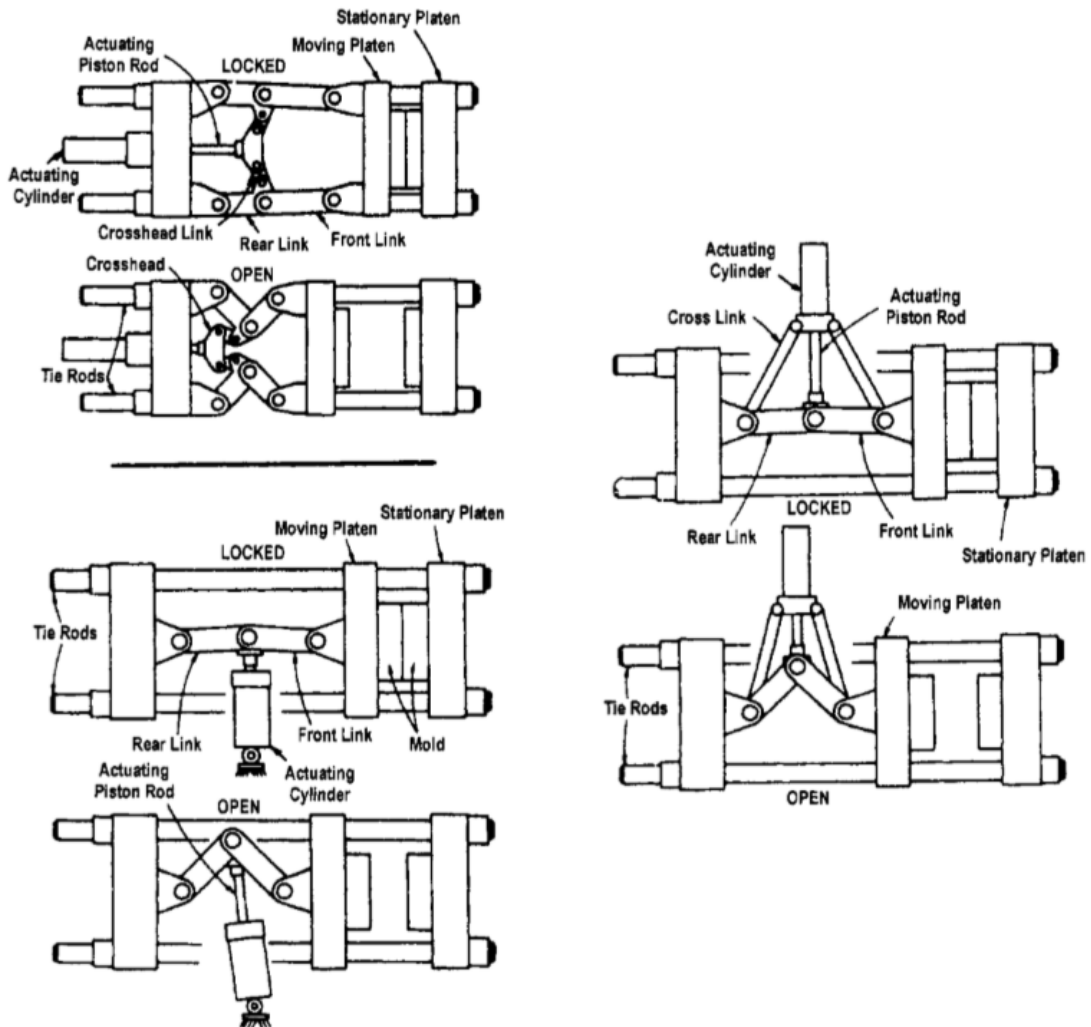


Figura 32 – Esquema de vários mecanismos utilizados em unidade de acionamento mecânicos (Rosato et al., 2000).

Este tipo de unidade tem as vantagens de não necessitar de tanto volume de fluido hidráulico, de precisar de menos energia para movimentar e segurar o molde e de movimentar o molde mais rápido. No entanto, a principal desvantagem é não se conhecer, exatamente, a capacidade de fecho pois, como já referido, a força criada no molde aquando da injeção é suportada apenas pela resistência das peças que constituem a unidade.

Hidromecânica

Numa unidade hidromecânica, parte da força de fecho é criada por um sistema mecânico, como um *toggle clamp*, e outra parte por um sistema hidráulico (Figura 33). Esta combinação confere à unidade operações mais rápidas e por conseguinte redução de custos operativos.

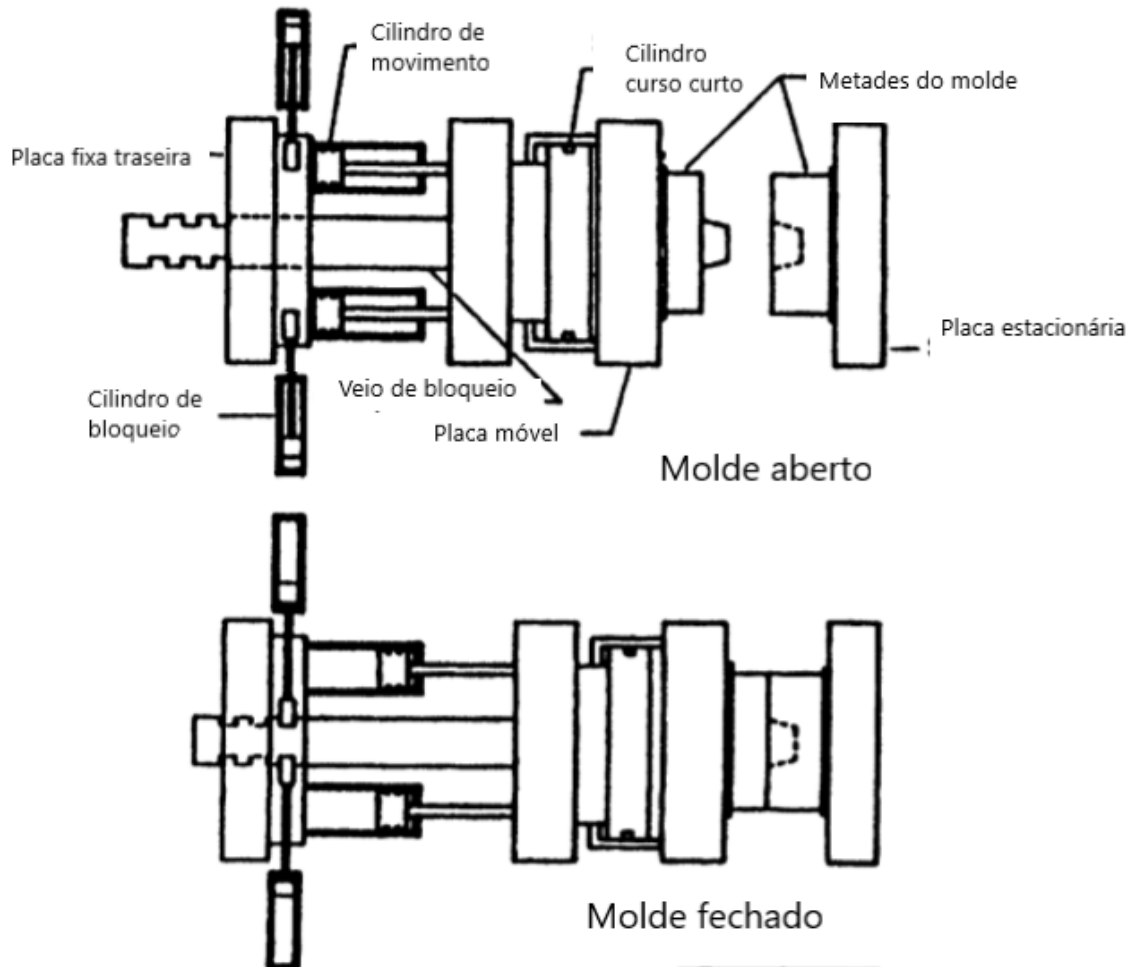


Figura 33 – Sistema hidromecânico com dois cilindros para movimento do molde, um para exercer força e mais dois para bloquear o movimento do molde (adaptado de Rosato et al., 2000).

O molde fecha através dos cilindros de movimento (Figura 33) e, quando estiver fechado, os cilindros de bloqueio avançam, criando uma ancoragem mecânica que evita que o molde se desloque para trás. Por último, o cilindro de curso curto cria a força necessária para fechar o molde e evitar que o mesmo recue quando o plástico é injetado.

Comparação

A Tabela 3 mostra as vantagens e desvantagens dos tipos de unidades de acionamento, nomeadamente, mecânica, hidráulica e hidromecânica.

Tabela 3 – Tabela guia de vantagens e desvantagens dos tipos de unidades de acionamento (Rosato et al., 2000).

	Mecânico	Hidraulico	Hidromecânico
Poucas peças móveis		x	
Força medida diretamente		x	X
Proteção sensitiva do molde		X	X
Longo curso económico		X	X
Fácil de configurar		X	X
Força de fecho bloqueada	X		
Perfil de velocidade incorporado	X		X
Abertura independente do curso	X		X
Abertura independente do ejetor	X		X
Baixo fluxo hidraulico	X		X
Nenhum reservatório superior	X		X
Tirantes igualmente esforçados			X
Menor abertura do molde devido à deformação da moldação quando a cavidade moldante é pressurizada			X
Menor comprimento da moldação			X

2.2.1.7 Controlos e acionamento

Relativamente ao tipo de controlos, as MIP's, tal com as restantes máquinas na generalidade da indústria, podem ser (Rosato et al., 2000):

- **Automáticas** – As máquinas seguem um conjunto de instruções programadas sem parar, sem necessitar de intervenção de um operador. A máquina só para quando aparece um problema ou se for manualmente parada;
- **Semiautomática** – As máquinas semiautomáticas realizam um conjunto de instruções durante um ciclo e no final param. Para voltarem a realizar o ciclo precisam da intervenção do operador;

- **Manuais** – As máquinas manuais são totalmente dependentes do operador. Cada função e a sua duração é feita à ordem do operador.

Em termos de acionamento, as MIP's podem ser do tipo (Rosato et al., 2000):

- **Hidráulico;**
- **Elétrico;**
- **Híbridas** – Combinam o melhor dos sistemas hidráulicos com os dos sistemas elétricos para fornecer soluções mais rápidas, precisas e eficientes.

2.2.1.7.1 *Acionamento hidráulico*

Os sistemas hidráulicos baseiam-se na lei de Pascal: pressão criada num líquido é transmitida por igual em todas as direções por todo o fluido (Britannica, 2018). O facto de que um fluido é facilmente transportado de um lado para o outro através de mangueiras flexíveis, os circuitos hidráulicos são uma excelente solução de automação, pois, consegue-se separar a parte de potência da parte a ser automatizada, resultando em equipamentos mais compactos, leves, flexíveis e capazes de grandes níveis de força (Doddannavar & Barnard, 2005).

Um dos melhores exemplos da implementação de um circuito hidráulico são as máquinas de retro escavação. As primeiras máquinas deste tipo utilizavam sistemas de correntes e rodas dentadas para dar movimento às diferentes partes da máquina. No entanto, estas foram substituídas com o aparecimento de sistemas hidráulicos que eliminaram a complexidade dos sistemas baseados em transmissão de potência por meios mecânicos.

Um circuito hidráulico pode ser por constituído por (Figura 34) (Doddannavar & Barnard, 2005):

- **Reservatório ou tanque** – Local onde é armazenado o fluido hidráulico. O tamanho deste é calculado tendo em conta a quantidade de fluido necessária a circular no sistema e o tempo que o fluido tem de estar em repouso para arrefecer, assim consegue-se evitar o uso de *chillers*⁵. Um tanque maior ajuda a sedimentar resíduos no fundo e evitar que os mesmos prossigam para os componentes hidráulicos, podendo danificá-los;
- **Bomba** – Componente utilizado para fazer circular o fluido e criar pressão no circuito hidráulico;
- **Linhas e mangueiras** – Canais que ligam os diferentes componentes do circuito hidráulico e por onde passa o fluido hidráulico;
- **Filtros** – Componentes utilizados para filtrar o fluido de partículas de pó ou sujidade e de partículas metálicas provenientes do desgaste dos componentes;
- **Válvulas** – As válvulas são utilizadas para limitar tanto pressão como caudal, para efeitos de controlo e para restringir o movimento do fluido num só sentido;

⁵ *Chiller* é o nome dado a um equipamento utilizado para arrefecimento de outro equipamento ou fluido. Pode arrefecer o equipamento ou fluido a arrefecer à temperatura ambiente ou inferior utilizando, para este fim, refrigeração, tal como um frigorífico doméstico ou uma estação de ar condicionado.

- **Componentes a serem controlados (por exemplo: cilindros)** – Estes componentes são, essencialmente, a razão de existência do circuito hidráulico. O circuito hidráulico existe para controlar estes mesmos componentes da forma como se pretende que eles funcionem;
- **Aparelhos de medição** – Os aparelhos mais essenciais medem pressão hidráulica, caudal, temperatura e quantidade de fluido no tanque.

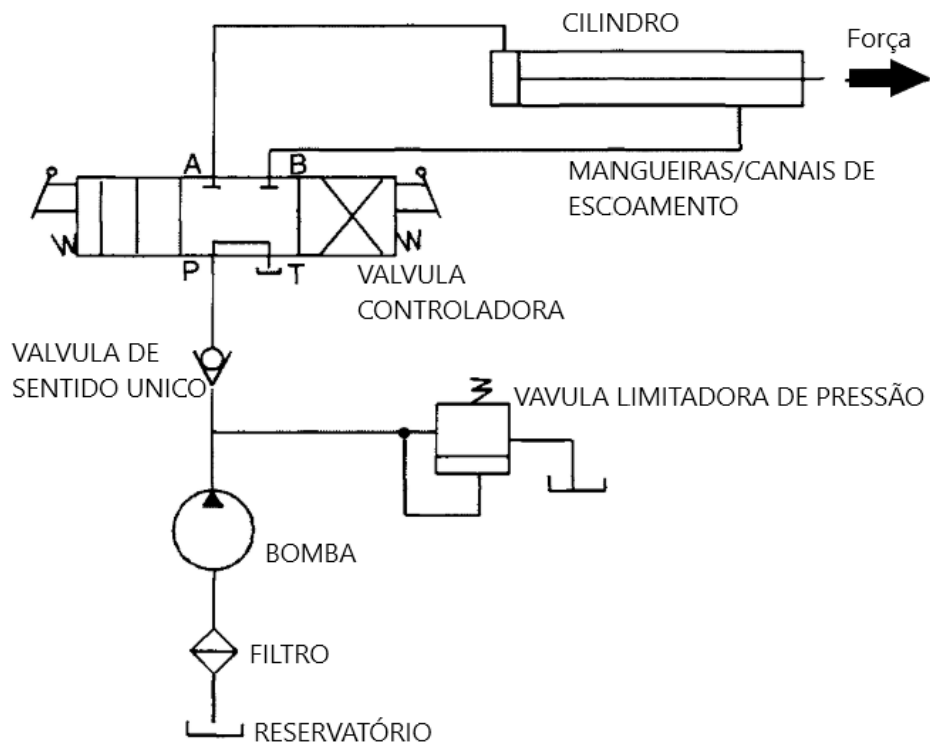


Figura 34 – Esquema de um circuito hidráulico simples para controle de um cilindro de duplo efeito (adaptado de Doddannavar & Barnard, 2005).

2.2.1.7.2 *Acionamento elétrico*

Os sistemas com equipamentos elétricos são mais simples que os hidráulicos, pois o equipamento apenas precisa de uma alimentação elétrica. São mais eficientes, controlam a potência mais facilmente, são mais silenciosos e precisos. Para além disso, uma grande parte do tempo dedicado à manutenção nos circuitos hidráulicos é utilizado para resolver fugas de óleo, enquanto que nos circuitos elétricos isso não acontece. Ao contrário dos circuitos hidráulicos a fonte de potência é descentralizada, pois cada equipamento utiliza a sua própria unidade de potência, e mesmo assim os equipamentos são pouco maiores que os utilizados nos circuitos hidráulicos. A sua grande desvantagem é o preço pois trata-se de equipamentos mais complexos em que no seu interior estão sistemas mecânicos que transformam a energia elétrica em energia de translação ou rotação (Carlos Gonzalez, 2015).

À medida que os componentes utilizados nos equipamentos elétricos se vão tornando mais baratos, os sistemas elétricos vão-se tornando uma solução mais atrativa (Baker, 2019).

Os sistemas elétricos podem ser constituídos por (Rosato et al., 2000):

- **Servomotores** – Estes componentes são utilizados para dar potência sobre a forma de rotação. As MIP's utilizam estes componentes para darem rotação aos fusos recíprocos;
- **Atuadores** – Os atuadores têm a mesma função dos cilindros hidráulicos;
- **Drives controladoras** – As drivers controladoras controlam os servomotores e atuadores. As drives recebem um sinal digital proveniente da consola que controla toda a máquina e convertem esse sinal num sinal utilizado para alimentar diretamente o equipamento a controlar.

2.2.2 Materiais plásticos utilizados na injeção

Relativamente ao processamento, existem três tipos de plásticos (Harper, 2006):

- **Termoplásticos (TP)** – Estes tipos de plásticos, devido à sua estrutura molecular, podem ser plastificados e moldados várias vezes sem perderem, significativamente, as suas propriedades mecânicas e físicas. No entanto, por cada vez que são reprocessados sofrem uma pequena degradação. Exemplos de TP's são o polietileno (PE), poliamidas ou nylon (PA), policarbonato (PC) e poliacetal (POM).

- **Termoendurecíveis (TE)** – Estes plásticos, ao contrário dos termoplásticos, só podem ser plastificados e moldados uma única vez. A sua estrutura molecular está arquitetada de uma forma que, quando solidificados, criam ligações permanentes entre as moléculas, ligações essas que são rompidas se voltarem a serem plastificados. Porém, estes plásticos têm, na generalidade, uma maior resistência mecânica do que os termoplásticos.

Desta forma é fácil de notar que os mesmos precisam de ser processados com MIP's criadas para o efeito. As principais diferenças entre as MIP's de TP e TE estão na unidade plastificadora (cilindro plastificador, fuso recíproco, sistema de aquecimento e bico de injeção) e no controlo de temperatura do molde (Dodiuk & Goodman, 2013). Aquando da injeção de um TE o molde deve ser aquecido para evitar que o plástico solidifique prematuramente. Para além disso, estes plásticos requerem um controlo mais preciso de temperatura na sua plastificação e do tempo de residência, pois a sua viscosidade varia de uma forma mais brusca e não tão linear como os TP's (Figura 35).

As MIP's de TE não podem sofrer paragens sob pena de o plástico solidificar e encravar a máquina. Exemplos de TE's são poliéster (PET), baquelite e epóxis.

- **Elastómeros (ou borrachas)** - Os elastómeros são plásticos amorfos. Eles podem ser termoplásticos ou termoendurecíveis. O que os distingue é a sua capacidade de sofrer grandes deformações e voltarem rapidamente ao seu estado inicial sem deformarem permanentemente à temperatura ambiente. Isto acontece porque o seu uso normal é feito acima da sua temperatura de transição vítrea⁶ o que torna possível grandes deslocamentos moleculares (Harper, 2006).

⁶ Temperatura de transição vítrea (Tg) é a temperatura à qual um plástico passa do estado rígido para amolecido sem derreter (Becker & Locascio, 2002).

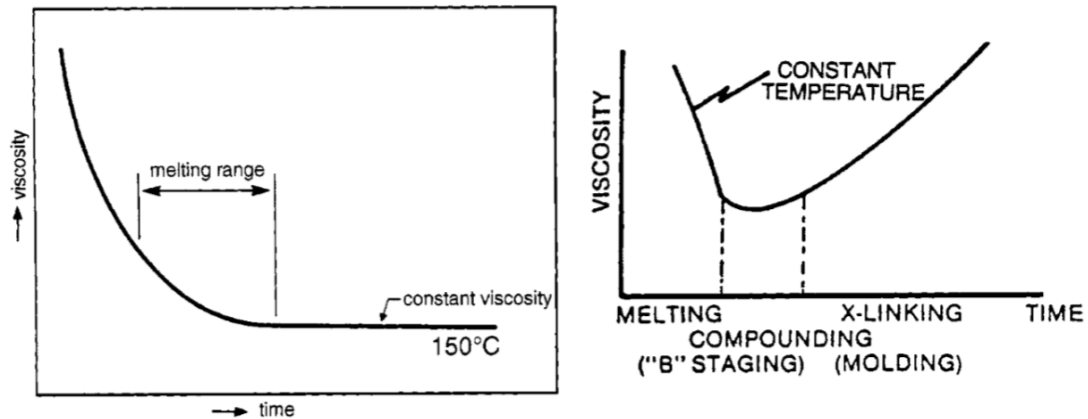


Figura 35 – Viscosidade em função do tempo de residência de TP's (à esquerda) e TS's (à direita) (Rosato et al., 2000).

Plásticos amorfos e semicristalinos ou cristalinos

Os plásticos, devido ao seu arranjo molecular, podem ser distinguidos pelo seu grau de cristalização, sendo divididos em amorfos e cristalinos. No entanto, um plástico nunca é 100% cristalino, na verdade o grau de cristalização de um plástico está entre os 10 e 80%. É por esse motivo que os plásticos cristalinos também podem ser chamados de semicristalinos.

O grau de cristalização de um plástico define várias características dos plásticos, como a aparência (os plásticos amorfos são normalmente transparentes) a rapidez de amolecimento (os plásticos semicristalinos são mais rápidos a amolecerem) a contração durante a solidificação (os amorfos têm uma baixa contração) e as suas propriedades mecânicas (os semicristalinos têm maior resistência à fadiga e fricção)(Harper, 2006).

A Figura 36 contém exemplos de plásticos amorfos e semicristalinos, descrevendo a aplicação e custo relativo dos mesmos.

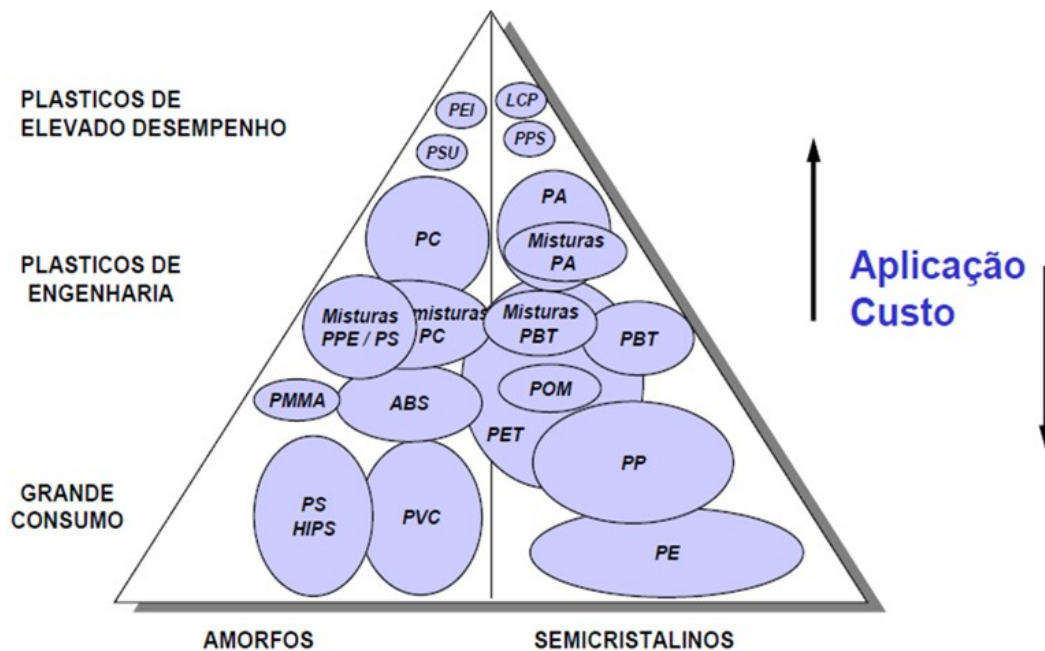


Figura 36 – Exemplos de plásticos amorfos e semicristalinos (tudosobrepolimeros, 2014)

Na Figura 37 e Figura 38 estão representados alguns plásticos e as suas propriedades mecânicas.

Material	Heat deflection temperature @ 1.82 MPa (°C)	Tensile strength, MPa	Tensile modulus, GPa	Impact strength, J/m	Density, g/cm ³	Dielectric strength, MV/m	Dielectric constant @ 60 Hz
ABS	99	41	2.3	347	1.18	15.7	3.0
CA	68	37.6	1.26	210	1.30	16.7	5.5
CAB	69	34	.88	346	1.19	12.8	4.8
PTFE		17.1	.36	173	2.2	17.7	2.1
PCTFE		50.9	1.3	187	2.12	22.2	2.6
PVDF	90	49.2	2.5	202	1.77	10.2	10.0
PB	102	25.9	0.18	NB	0.91		2.25
LDPE	43	11.6	0.17	NB	0.92	18.9	2.3
HDPE	74	38.2		373	0.95	18.9	2.3
PMP		23.6	1.10	128	0.83	27.6	
PI		42.7	3.7	320	1.43	12.2	4.1
PP	102	35.8	1.6	43	0.90	25.6	2.2
PUR	68	59.4	1.24	346	1.18	18.1	6.5
PS	93	45.1	3.1	59	1.05	19.7	2.5
PVC—rigid	68	44.4	2.75	181	1.4	34.0	3.4
PVC—flexible		9.6		293	1.4	25.6	5.5

Figura 37 – Propriedades mecânicas de alguns plásticos (Harper, 2006).

Material	Heat deflection temperature @ 1.82 MPa (°C)	Tensile strength, MPa	Tensile modulus, GPa	Impact strength, J/m	Density, g/cm ³	Dielectric strength, MV/m	Dielectric constant @ 60 Hz
POM	136	69	3.2	133	1.42	19.7	3.7
PMMA	92	72.4	3	21	1.19	19.7	3.7
Polyarylate	155	68	2.1	288	1.19	15.2	3.1
LCP	311	110	11	101	1.70	20.1	4.6
Nylon 6	65	81.4	2.76	59	1.13	16.5	3.8
Nylon 6,6	90	82.7	2.83	53	1.14	23.6	4.0
PBT	54	52	2.3	53	1.31	15.7	3.3
PC	129	69	2.3	694	1.20	15	3.2
PEEK	160	93.8	3.5	59	1.32		
PEI	210	105	3	53	1.27	28	3.2
PES	203	84.1	2.6	75	1.37	16.1	3.5
PET	224	159	8.96	101	1.56	21.3	3.6
PPO (modified)	100	54	2.5	267	1.09	15.7	3.9
PPS	260	138	11.7	69	1.67	17.7	3.1
PSU	174	73.8	2.5	64	1.24	16.7	3.5

Figura 38 – Propriedades mecânicas de alguns plásticos Tabela 3(cont.).

2.2.2.1 Grupos de materiais plásticos:

Existem diferentes categorias de plásticos tendo em conta aditivos adicionados, propriedades mecânicas, térmicas e elétricas, resistências à humidade e intempéries e de acordo com o seu normal uso.

De entre as categorias tem-se (T. J. A. Brydson, 2017):

- **Ligas e misturas**
Ligas e misturas baseiam-se na combinação de diferentes plásticos ou copolímeros de uma forma mecânica e não química. Este tipo de plásticos tem a função de aproveitar as melhores características de pelo menos 2 plásticos. Por exemplo, ABS/nylon, maior resistência química, lubricidade, etc.
- **Materiais de engenharia ou de comodidade**
Estes tipos de plásticos são os mais utilizados pelo simples facto de terem melhor razão custo/qualidade. Algumas características destes plásticos incluem alta resistência térmica, resistência ao impacto e a possibilidade de serem moldados com altos padrões de precisão.
- **Elastómeros**
Elastómeros podem ser termoplásticos ou termoendurecíveis, são normalmente chamados de borrachas. Devido à sua estrutura molecular apresentam um módulo de elasticidade muito baixo, comparado aos demais plásticos.
- **Liquid Crystal Plastics (LCP's)**
LCP's são termoplásticos com anéis de benzeno na sua base com moléculas rígidas com aspeto de haste organizadas em matrizes paralelas. Estes plásticos apresentam uma fase cristalina líquida, o que os torna facilmente processáveis. Quando injetados ou extrudidos, estes materiais desenvolvem uma certa orientação que lhes confere alta resistência mecânica e módulo de elasticidade em baixas e altas temperaturas.

Na Figura 39 e Figura 40 estão representados alguns materiais plásticos com os respetivos intervalos de temperatura de fundido, moldação e secagem, bem como os tempos de secagem.

Material	Melt temp. range, °C	Mold temp. range, °C	Drying temp., °C	Drying times, hr
ASA	250–265	40–80	80–85	2–4
ABS	220–260	60–90	80–85	2–4
BDS	190–230	10–60	60	1
CA/CAB/CAP	160–230	40–80	55–85	3–4
FEP	300–380	200–240	150	2–4
HIPS/TPS	200–270	10–80	65–70	3–4
PA6	230–280	60–90	80–105	12–16
PA66	260–290	20–100	85–105	5–12
PA11/PA12	240–300	30–100	85	3–5
PBT	220–260	20–110	120–150	2.5–5.5
PC	280–320	80–120	120	2–4
PEBA	185–220	20–40	70–80	2–6
PEEL	195–255	10–70	90–120	10
PEEK	360–380	160–170	150	3
PE-HD	205–280	10–60	65	3
PE-LD	180–280	10–60	65	3
PE-LLD	160–280	10–60	65	3

Figura 39 – Exemplos de plásticos e sua temperatura de fundido, moldação e secagem e tempos de secagem (Harper, 2006).

Material	Melt temp. range, °C	Mold temp. range, °C	Drying temp., °C	Drying times, hr
PES	350-380	140-160	135-150	3-4
PET/PETP	265-295	120-140	135-165	2-4
PMMA	210-270	60-90	75	2-4
POM-H	190-215	40-120	110	2-3
POM-CO	175-220	40-120	110	2-3
PPO-M	260-300	60-110	100	2
PPS	300-360	135-160	150	3-6
PP	220-275	30-80	80	2-3
GPPS	200-250	10-80	70	2-3
PSU	350-380	100-150	135-150	3-4
PVDF	180-300	30-120	80	2-4
SAN	200-270	40-80	70-75	3-4
TPU/PUR	180-230	15-70	80	3
UPVC	185-205	30-60	65	2-3
PPVC	175-200	30-50	65	2
EVA	140-225	15-40	50-60	8

Figura 40 – Exemplos de plásticos e sua temperatura de fundido, moldação, secagem e tempos de secagem (Harper, 2006)(cont.).

A Tabela 4 contém exemplos de plásticos e respectivas pressões de injeção, manutenção ou segunda pressão e contra pressão e contração.

Tabela 4 – Exemplos de plásticos e respectivas pressões de injeção, manutenção ou segunda pressão e contrapressão e contração (Centimfe & Universidade do Minho, 2004).

Material	Pressão de injeção (Pinj.) [bar]	Pressão de manutenção ou segunda pressão [bar]	Contrapressão [bar]	Contração [%]
PPO	1000-1400	40-60% Pinj.	<50	0,5-0,7
PET	1000-1600	40-60% Pinj.	<50	1,2-2,0
POM	1000-1500	800-1200	<50	1,9-2,3
PA 66	1000-1600	50% Pinj.	<50	0,5-2,5
PA 6	1000-1600	50% Pinj.	<50	0,5-2,2
PBT	1000-1600	40-60% Pinj.	<50	1,5-2,5
PES	1000-1600	40-60% Pinj.	<50	0,7
PUR	800-1400	40-60% Pinj.	<50	0,9
LDPE	600-1200	30-60% Pinj.	50-200	1,5-2,5
HDPE	800-1400	30-60% Pinj.	50-200	1,5-3
PP	800-1400	30-60% Pinj.	50-200	1-2,5
PS	800-1400	30-60% Pinj.	50-100	0,4-0,7
HIPS	800-1400	30-60% Pinj.	50-100	0,5-0,6
SAN	1000-1500	30-60% Pinj.	50-100	0,5-0,7
ABS	1000-1500	30-60% Pinj.	50-100	0,4-0,7
uPVC	1200-1500	30-60% Pinj.	20-50	0,5
PMMA	1000-1700	40-60% Pinj.	<50	0,1-0,8
PC	1300-1800	40-60% Pinj.	<50	0,6-0,8

A contração do material é um parâmetro muito importante na definição do volume de fundido a ser processado e no dimensionamento da cavidade moldante pois, caso não seja tido em conta, a peça sairá sempre mais pequena que o requerido (Goodship, 2004).

Na Tabela 5 estão representados alguns exemplos de materiais plásticos e as respectivas temperatura para extração das peças do molde.

Tabela 5 – Exemplos de materiais plásticos e respectivas temperaturas de extração do molde (Centimfe & Universidade do Minho, 2004).

Material	Temperatura de extração [°C]
ABS	95
PS	95
SAN	90
ASA	90
PP	70
HDPE	50
LDPE	50
PA	140
PC	140
PMMA	160
POM	150

2.2.2.2 Perfis de temperatura

Os perfis de temperatura utilizados nos cilindros de plasticização dependem de múltiplos fatores como o tipo de plástico, a peça a ser injetada, o processo de fabrico, (injeção, extrusão ou extrusão de cobertura), a capacidade da injetora, tempo de ciclo, etc. Estes perfis nunca são iguais e cada situação tem os seus próprios valores de parâmetros.

Existem abordagens que se podem tomar para facilitar, tornar mais rápido e da forma mais eficiente a plasticização do polímero. Primeiro, deve-se ter em consideração inicial o perfil de temperatura do fabricante do polímero. Depois disso e através da lógica e experiência vai-se variando os diferentes parâmetros do processo com a finalidade de obter a melhor qualidade de fundido. A melhor qualidade de fundido é atingida quando se minimiza as zonas de soldas, de rechupes, etc.

Existem várias formas de determinar a eficiência do perfil de temperatura. Uma é observar o binário de acionamento do fuso, este deve ser cerca de 75% do binário máximo de acionamento do fuso, se for inferior, deve-se diminuir o calor transmitido na zona de alimentação do fuso até o binário começar a aumentar.

Se a qualidade do fundido não for constante, deve-se aumentar a zona central em incrementos de 10 a 15°C com intervalos de 10 a 15 min para estabilização da temperatura.

Com a zona central do fuso definida, baixa-se a temperatura da zona de alimentação até um nível mínimo sem perder a qualidade da moldação. A intenção é obter uma boa moldação a mínimas temperaturas.

Com materiais cristalinos, como nylon, deve-se observar o retorno do fuso. Se o mesmo recuar de uma forma ressaltada não existe calor suficiente na zona traseira e o material sólido está a encavar na zona de compressão (Rosato et al., 2000).

2.2.3 Moldes para injeção

Os moldes utilizados na injeção de componentes plásticos são tão importantes como a própria injetora pois sem um ou outro não se obtêm resultados. Os moldes podem ser simples ou complexos dependendo da peça a ser obtida e do material que a mesma é fabricada (Kazmer & Kazmer, 2016). Os custos envolvidos na fabricação dos moldes só são justificáveis se a quantidade de peças a ser fabricada for grande o suficiente para que a peça não se torne demasiado cara uma vez que um molde é feito para um único conjunto ou peça.

As funções dos moldes são (Kazmer & Kazmer, 2016):

- A compactação do material a ser injetado certificando que o mesmo não sai da cavidade;
- O arrefecimento desse mesmo material com o intuito de obter a peça final.

2.2.3.1 Componentes de um molde

A Figura 41 exemplifica um molde com os componentes que o constituem.

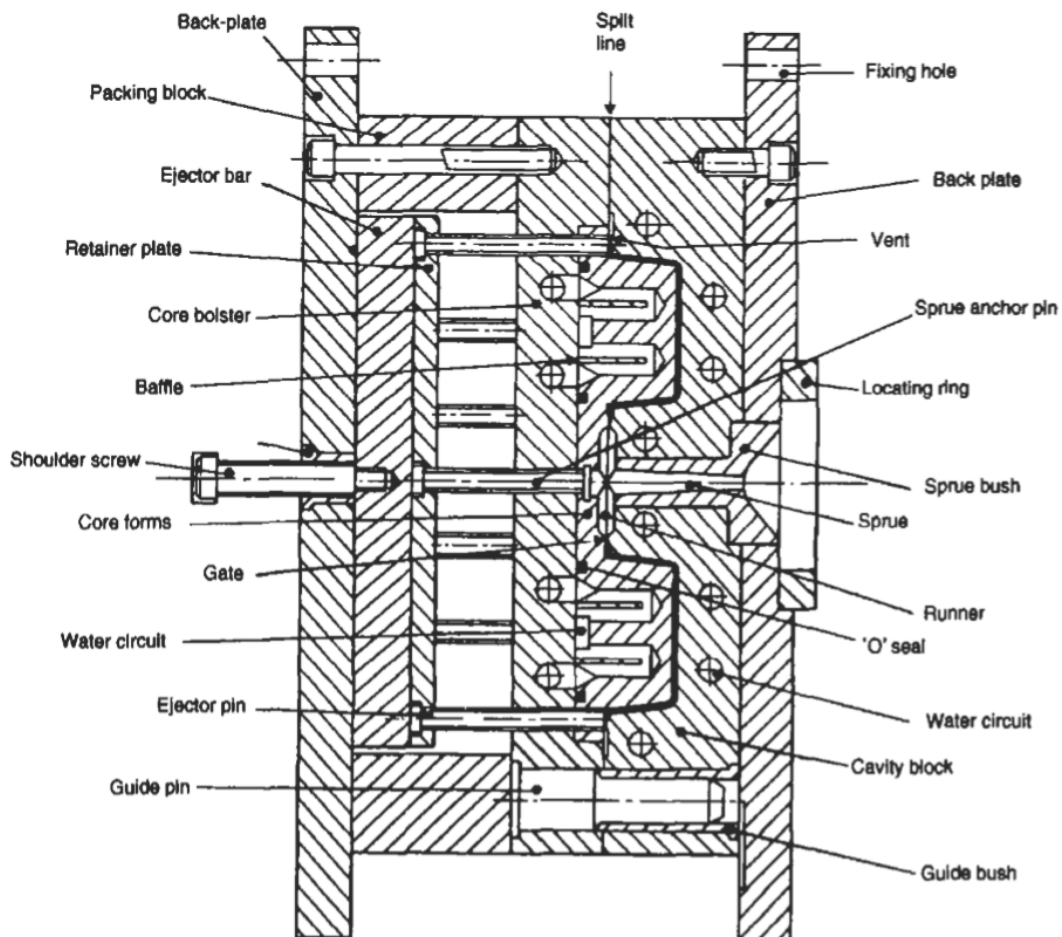


Figura 41 – Constituição de um molde de injeção de plásticos (Crawford, 1998).

Normalmente os moldes são constituídos pelos seguintes componentes (Crawford, 1998):

- **Locating Ring (Anel de localização)** – Este componente é utilizado para guiar e criar estanquicidade entre o bico de injeção e o molde;
- **Sprue (Jito)** – Canal por onde o plástico fundido entra inicialmente no molde;
- **Runner (Canal de alimentação)** – Canais por onde o plástico fundido flui para as entradas das cavidades moldantes;
- **Gate (Portão)** – Os portões são pequenos orifícios que conectam os canais de alimentação à cavidade da peça. Os portões servem para:
 - Criar um ponto fraco onde a peça injetada possa ser facilmente partida;
 - Controlar o fluxo de plástico em moldes de várias cavidades. Quando existem várias cavidades com diferentes distâncias ao bico de injeção, é necessário utilizar uma solução que equilibre os caudais das diferentes cavidades. A solução passa por utilizar canais de alimentação com secção mais pequena para cavidades mais perto do bico de injeção e secções progressivamente maiores para cavidades mais longe do bico de injeção;
 - Pelo facto de serem pequenos, os portões solidificam antes dos canais de alimentação, prevenindo que o material plástico seja sugado de volta para a injetora quando o fuso recua.
- **Cavidade moldante** – Cavidade com a forma da peça a ser fabricada;
- **Vent (local de ventilação)** – Canais por onde o ar presente na cavidade moldante é evacuado;
- **Back plate (Placa do bico de injeção)** – Placa que faz contacto com o bico de injeção. Em alguns casos o bico contacta o molde lateralmente, tal como as injetoras verticais;
- **Cavity block (Bloco da cavidade)** – Bloco com parte da forma da peça a ser fabricada. Normalmente está fixa;
- **Split line (Linha de divisão)** – Linha que divide a cavidade moldante e por onde o molde abre para retirar as peças;
- **Core bolster (Núcleo deslizante)** – Bloco com parte da forma da peça a ser fabricada. É este bloco que se movimenta com o objetivo de abrir o molde e retirar a peça fabricada;
- **Packing block (Bloco espaçador)** – O bloco espaçador cria um espaço entre o núcleo deslizante e a *front plate* de forma a criar um espaço onde a placa injetora se possa movimentar e deslocar os ejetores que extraem a peça;
- **Ejector bar (placa ejetora)** – Placa deslizante que desloca os ejetores que extraem a peça fabricada;
- **Retainer plate (Placa de retenção dos pinos de injeção)** – Placa que prende os pinos ejetores;
- **Front plate (placa contrária ao bico de injeção)** – Placa mais recuada ao bico de injeção e que suporta a segunda metade do molde;
- **Shoulder screw (Parafuso de encosto para empurrar a placa ejetora)** – Este parafuso permite que quando o molde recua empurre a placa ejetora. Permite também o ajuste da distância que os ejetores se deslocam para dentro da cavidade moldante para extrair a peça;
- **Ejector pin e screw anchor pin (pinos de ejeção)** – Ejetores;
- **Guide pin (Pino/s guiador/es)** – Pinos que guiam o movimento das metades do molde em relação uma à outra;

- **Water circuit (Circuito de circulação do fluido refrigerante, normalmente água)** – Circuito por onde circula o fluido que arrefece o molde que, por conseguinte, arrefece a peça moldada. A temperatura e caudal deste fluido é cuidadosamente controlado para arrefecer a peça ao ritmo e temperatura adequados;
- **O'seal (vedantes)** – Vedante utilizado para criar estanquicidade nos canais do fluido refrigerante.

O funcionamento do molde é muito influenciado pela forma da peça a ser fabricada. Se se tratar de um simples copo de plástico o molde torna-se muito simples com apenas um único mecanismo, o de abrir e fechar o molde. No entanto, existem peças que tornam este funcionamento mais complexo e que impossibilitam a tarefa de extrair a peça só com o abrir e fechar do molde. A seguir são apresentados tipos de molde mais relevantes.

2.2.3.2 Tipos de molde

Existem vários tipos de molde caracterizados pela sua arquitetura e a forma como mantêm a energia calorífica nos canais de alimentação. Os tipos de molde são (Crawford, 1998):

- *Two plate mould* (Molde de duas placas);
- *Multi daylight mould* (Moldes com múltiplas aberturas);
- *Hot runner mould* (Molde com canais quentes);
- *Insulated runner moulds* (Moldes de canais isolados);
- *Stacked mould* (Mode de múltiplas camadas).

Two plate mould (Molde de duas placas)

Este tipo de molde é o mais simples e mais utilizado, pois o seu funcionamento baseia-se apenas no ato de abrir e fechar o molde através do afastamento de duas placas.

Multi daylight mould (Moldes com múltiplas aberturas)

Este tipo de molde é utilizado para quando se pretende ter o jito num diferente plano que a peça injetada (Figura 42).

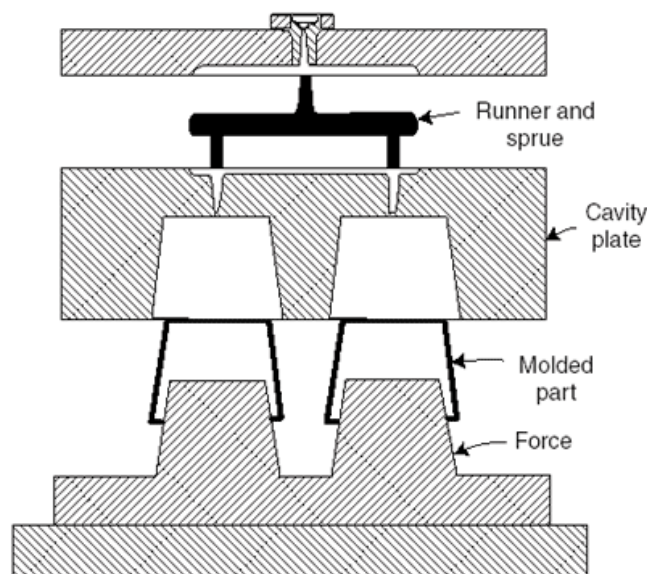


Figura 42 – *Multi daylight mould* (moldes com múltiplas aberturas) (*Injection Molding of Thermoplastics*, 2009)

Com este tipo de molde é possível separar o jito da peça sem adicionar uma operação para retirar o jito.

Hot runner mould (Molde com canais quentes)

Neste tipo de molde os canais, por onde o plástico circula para as cavidades moldantes e que não fazem parte do produto final, são aquecidos e isolados de forma a que apenas a peça a ser fabricada seja arrefecida e extraída. O material presente nestes canais continua fundido. Desta forma evita-se a necessidade de acrescentar operações de corte de jitos que poderiam contaminar e tirar qualidade à peça final. Aliada a esta solução está a poupança de material que por outra forma seria desperdiçado (Beaumont, 2004). Na Figura 43 está representado um molde com canais quentes e isoladores, mas sem fontes de calor.

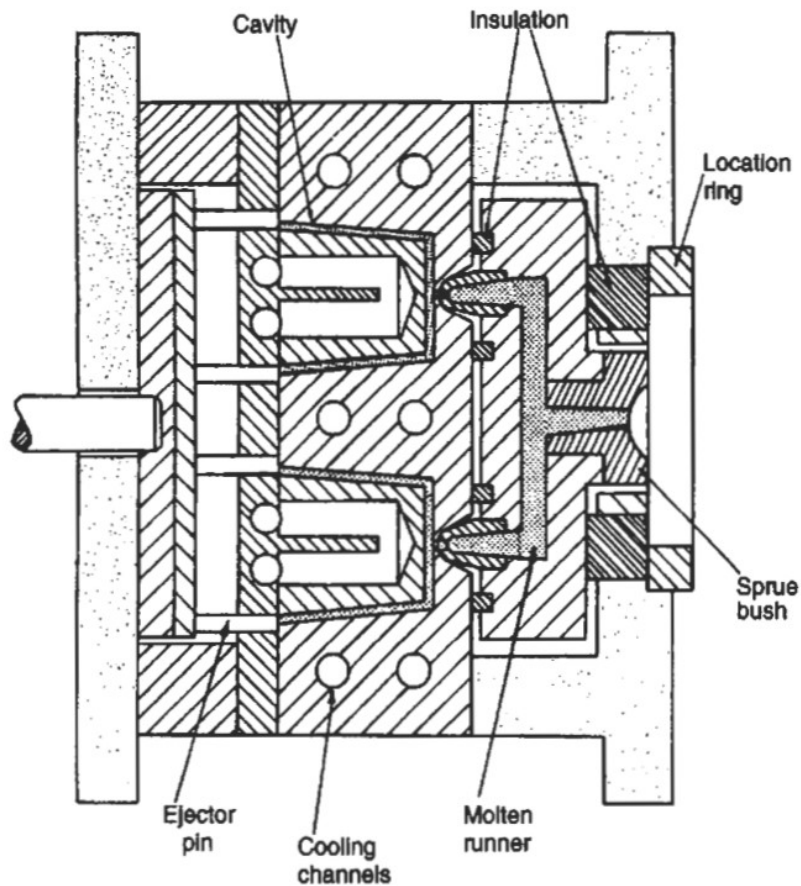


Figura 43 – Molde de canais quentes (Harper, 2006)

Insulated runner moulds (Moldes de canais isolados)

Este molde é semelhante ao anterior (*hot runner mould*). A única diferença é que este tipo utiliza canais de escoamento muito maiores (entre 13 a 25mm). Na periferia destes canais solidifica uma fina camada de plástico que isola o restante material fundido evitando a sua solidificação. A grande desvantagem deste sistema é que não é possível de ser utilizado em plásticos de alta viscosidade, pois o plástico pode solidificar por ficar muito tempo no canal. Este sistema necessita, à mesma, de um sistema de aquecimento à entrada do molde. Pelo facto de restringir o tempo de residência do plástico nos

canais, este sistema só é utilizado em processos com baixo tempo de ciclo (Crawford, 1998).

Stacked mould (Molde de múltiplas camadas)

O molde de múltiplas camadas é um tipo de molde que utiliza várias camadas e linhas de divisão para obter um maior número de peças por injeção sem o aumento da força de fecho (Figura 44).

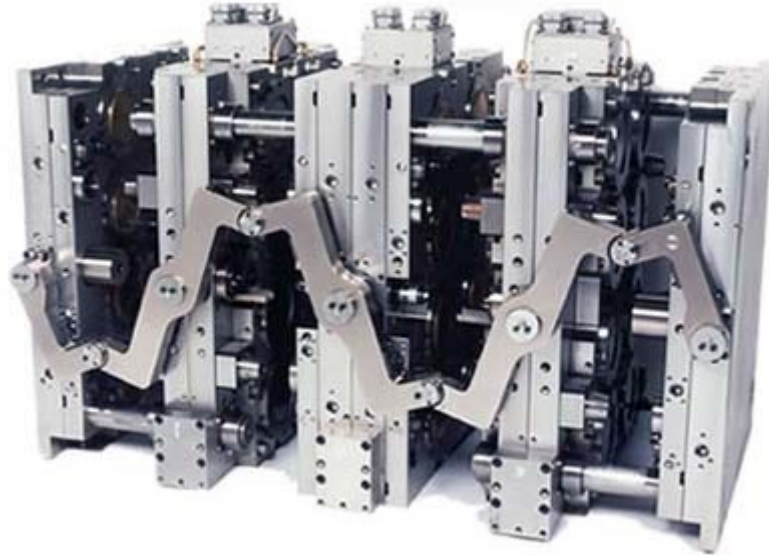


Figura 44 – Molde de múltiplas camadas (*stacked mould*) (Harper, 2006).

2.2.3.3 Classificação de moldes

No que diz respeito à classificação dos moldes, eles podem ser classificados utilizando os seguintes tópicos (Rosato et al., 2000):

- Número de cavidades;
- Material de fabrico:
 - Aço temperado;
 - Aço inoxidável;
 - Aço pré-temperado;
 - Liga de cobre-berílio;
 - Alumínio.
- Tratamento de superfície:
 - Polido;
 - Camada de cromo;
 - Tratamento de superfície com níquel;
 - Tratamento com jato de areia;
 - *Photoetch*;
 - Pigmentado.
- Linha divisória:
 - Regular;
 - Irregular;
 - De duas placas;
 - De três placas;

- *Stack mold*.
- Método de fabrico:
 - Maquinado;
 - *Hobbed*;
 - Vazado por gravidade;
 - Vazado por pressão;
 - Eletrodeposição;
 - *Electric Discharge Machining* (EDM).
- Tipo de canal de alimentação:
 - Aquecido;
 - Isolado.
- Portão:
 - Aresta;
 - Restrito (ponteados);
 - Submarino;
 - Jito;
 - Anel;
 - Diafragma;
 - Rosca;
 - *Flash*;
 - *Fan*;
 - Múltiplo.
- Ejeção:
 - Pinos de extração;
 - Anel ejetor;
 - Placa ejetora;
 - Parafuso;
 - *Cam*;
 - *Jiggler pins*;
 - Inseto removível;
 - Núcleo de encosto hidráulico;
 - Núcleo de encosto pneumático.

2.2.3.4 Comportamento do plástico e aspetos a ter em conta no design de peças e moldes

No design de peças de injeção é necessário ter em conta as funções que a mesma vai ter, mas também o comportamento do plástico ao ser injetado no molde. O modo como o plástico se irá comportar aquando da sua injeção é de grande importância na definição da qualidade da peça final. A seguir são apresentados aspetos a ter em conta no design de peças (Rosato et al., 2000):

- **Direções perpendiculares de escoamento:** é importante saber estas direções pois elas afetam diretamente as propriedades da peça final;
- **Comprimento da peça plástica:** o escoamento do material plástico é devido a um gradiente de pressão dentro da moldação. À medida que o comprimento aumenta e o plástico vai solidificando, ou seja, a sua viscosidade aumenta, este gradiente vai diminuindo. Se este comprimento for demasiado grande, a

cavidade pode não ser devidamente preenchida, resultando numa peça incompleta ou *short shot*. Torna-se claro que a espessura da peça tem um grande efeito neste aspeto;

- **Weld e meld lines:** as regiões que contenham estas linhas são regiões mais fracas. É necessário que na fase de design se tenha em conta que estas regiões não estejam em regiões críticas da peça. *Weld lines* são linhas criadas quando duas frentes de escoamento de direções opostas se encontram. *Meld lines* são linhas criadas quando duas frentes de escoamento de direções iguais se encontram. *Weld lines* são as mais fracas;
- **Peças de grandes dimensões,** grandes superfícies ou espessuras excessivamente finas podem resultar em peças incompletas;
- **Contração:** os polímeros são conhecidos por encolherem muito quando solidificados. Essa contração depende do tipo de polímero a utilizar e também se o mesmo tiver compostos como fibra de vidro. A contração é diferente no sentido de escoamento e perpendicularmente ao escoamento;
- **Geometrias planas devem ser evitadas:** superfícies planas são muito suscetíveis de empeno. Este empeno pode ser minimizado através da utilização de *ribs*, no entanto, estas tendem a formar fossas no outro lado da parede. As *ribs* devem ser mais finas do que as paredes que são reforçadas, por volta de dois terços da espessura, e a sua altura não deve exceder três vezes a espessura da parede;
- **Esquinas devem ser arredondadas:** isto evita a concentração de tensões, previne deformações e diminui a resistência ao escoamento;
- **A espessura das paredes deve ser o mais fina e uniforme possível:** isto assegura o consumo mínimo de plástico, tempo de ciclo mínimo devido ao reduzido tempo de solidificação, contração uniforme, preenchimento uniforme da cavidade e risco mínimo de tensões internas.

É facilmente compreensível que, para plásticos com menor viscosidade (fácil escoamento ou alto índice de fluidez) a espessura mínima de parede seja menor (Masato et al., 2016);

- **Relação entre espessura de parede e comprimento máximo de escoamento:** O comprimento máximo em função da espessura da parede da peça a ser injetada é igual à raiz quadrada da espessura de parede se a espessura estiver entre 0,05 e 0,20 mm. A Tabela 6 contém esta relação para alguns termoplásticos.

Tabela 6 – Relação espessura/comprimento máximo de alguns materiais termoplásticos para a espessura de 2.54 milímetros (Rosato et al., 2000).

Material	Relação
ABS	175:1
Acetal	140:1
Acrylic	130-150:1
Nylon	150:1
Polycarbonate	100:1
Polyethylene	
<i>Low-density</i>	275-300:1
<i>High-density</i>	225-250:1
Polypropylene	250-275:1
Polystyrene	200-250:1
Polyvinyl chloride, rigid	100:1

2.2.3.5 Sistemas de alimentação

O sistema de alimentação de um molde tem a função de transportar o material fundido desde o bico de injeção até à cavidade moldante, garantido o seu adequado preenchimento (Javierre et al., 2006).

Fazem parte do sistema de alimentação os seguintes componentes:

- *Sprue* (jito);
- *Runner* (canal de alimentação);
- *Gate* (portão).

Existem dois tipos de alimentação:

- **Alimentação direta:** O material fundido circula diretamente do bico de injeção à cavidade moldante;
- **Alimentação indireta:** O material fundido, antes de atingir a cavidade moldante, passa por canais de alimentação, inclusive o *runner*. Este tipo de injeção é utilizado quando existem várias cavidades moldantes, isto é, várias peças a serem moldadas no mesmo molde, e quando se pretende eliminar o jito durante o processo de injeção.

2.2.3.6 Dimensionamento de moldes

2.2.3.6.1 Considerações

De acordo com Cruz (2002), no projeto de um molde é necessário ter em consideração os seguintes pontos:

1. O peso do conjunto formado pela moldação. canais de injeção e de distribuição está dentro da capacidade de injeção da injetora?
2. A capacidade de produção esperada é compatível com a capacidade de plastificação da injetora?
3. A capacidade de fecho da injetora é suficiente em relação à área projetada das moldagens e dos canais de distribuição?
4. O molde passa entre as colunas da injetora?
5. O espaço para fixação do molde é compatível com os furos dos parafusos das placas da injetora?
6. A altura do molde está entre o mínimo e o máximo requeridos para a injetora?
7. O curso de abertura da injetora é suficiente para a extração da peça?
8. A linha de abertura corresponde à divisão do molde, é visualmente aceitável na moldação?
9. As posições de quaisquer marcas ou linhas consequentes de blocos de ferramentas. núcleos, extratores, etc, são visualmente aceitáveis na moldação?
10. A posição de entrada é visualmente aceitável na moldação?
11. A posição de quaisquer linhas de fluxo ou de solda que possam ocorrer será aceitável, tendo em conta a aparência?
12. Alguma linha de solda poderão causar fraqueza em alguma área crítica?

13. Alguma seção grossa, na moldação, poderá causar rechupes inaceitáveis?
14. O projeto está livre de quaisquer interrupções que possam evitar a extração?
15. A linha de divisão da ferramenta é a mais eficiente para a operação e construção do molde?
16. O macho e cavidade foram projetados para tornar a maquinagem o mais fácil possível e com o equipamento disponível?
17. Existem quaisquer pinos de pequeno diâmetro ou lâminas que possam deformar sob a pressão ou fluxo na cavidade?
18. A cavidade é de resistência adequada para suportar a pressão a que estará sujeita?
19. Todos os componentes de ferramenta que estarão expostos a esforço transversal de cavidade estão bem fixos, por aço e não somente por parafusos e pinos?
20. A construção da ferramenta é tal que estará livre de qualquer rebarba horizontal?
21. As colunas do molde dão apoio suficiente para a placa da matriz de modo a evitar distorção sob a pressão da cavidade?
22. Podem todas as partes da ferramenta ser desmontadas e separadas no caso de avaria ou modificação da ferramenta?
23. Todas as partes que precisam ser endurecidas foram assim tratadas?
24. Todas as tolerâncias necessárias para a contração foram adicionadas?
25. Todas as partes que formam superfícies de moldação receberam suficiente conicidade para a moldação?
26. As dimensões da ferramenta serão capazes de produzir moldagens dentro das tolerâncias especificadas para a peça?
27. A moldação permanecerá no lado de extração quando o molde se abrir?
28. O curso de extração é suficiente para retirar a peça?
29. Existem extratores suficientes para evitar agarramento, quebra ou distorção da moldação?
30. O extrator e as barras extratoras são suficientemente fortes?
31. O mecanismo de extração é adequado para o sistema extrator da injetora?
32. Está previsto o mecanismo de retorno do extrator?
33. Foram colocados pinos guia adequados entre as metades da ferramenta?
34. Em ferramentas divididas, ou em núcleos móveis, o movimento de abertura provido por cames, cilindros, etc., é suficiente para livrar as recuperações da peça?
35. Os insertos estão bem colocados ou impedidos de se moverem durante a abertura e fecho da cavidade, e sob o fluxo do material plástico?
36. Em ferramentas divididas e em núcleos móveis, o mecanismo é suficientemente á prova de enganos para evitar avarias por operação errada?
37. Em todas as ferramentas divididas e núcleos móveis, a pressão da cavidade é resistida por faces do próprio molde, sólidas e não pelas cames ou cilindro de operação da divisão ou do núcleo?
38. Os canais de arrefecimento são adequados?

39. O arrefecimento é por demais próximo ou por demais distante das superfícies do molde?
40. Os canais de distribuição têm tamanho suficiente?
41. Estão previstos ganchos puxadores do canal de injeção e do poço frio?
42. São necessários ganchos e poços frios para os canais de distribuição?
43. Em ferramentas de três placas deixou-se abertura suficiente entre as placas para permitir a extração da moldação e do sistema de canais?
44. O molde tem suficiente saída de ar?
45. Em moldes fora de centro a força excêntrica é excessiva?
46. Está previsto um anel de localização na placa no lado de injeção?
47. A ponta cônica e o orifício do bico do cilindro ajustam-se bem com o furo cônico do molde?
48. Em ferramentas de partes móveis, todos os extratores podem ser colocados na posição para frente sem interferir com o fecho das partes móveis? Se não podem, foi previsto o mecanismo para assegurar que os extratores retornem antes das partes móveis fecharem?
49. Existe folga suficiente entre as correntes de extração para retirar a peça através delas sem dificuldades?
50. Estão previstos parafusos de suspensão para transporte da ferramenta?

2.2.3.6.2 Parâmetros a calcular

Existem 3 parâmetros importantes a serem calculados no projeto de moldes (Crawford, 1998):

- **Espessura das placas onde a cavidade moldante vai ser feita:** Este parâmetro assegura a resistência mecânica e de fadiga da moldação e, também, a estabilidade dimensional no momento da sua solicitação;
- **Força de fecho:** Este parâmetro é importante para dimensionar a capacidade de fecho do atuador e a resistência de outros elementos diretamente solicitados por esta mesma força;
- **Queda de pressão nos canais de alimentação:** Este parâmetro é utilizado para calcular o diâmetro dos canais de alimentação de forma a obter a pressão necessária na(s) cavidade(s) moldante(s).

Espessura mínima das placas de molde

De acordo com Crawford (1998), a espessura mínima das placas que constituem as metades do molde e onde a(s) cavidade(s) moldante(s) está(ão) impressa(s) é função da pressão atingida na cavidade moldante (Figura 45).

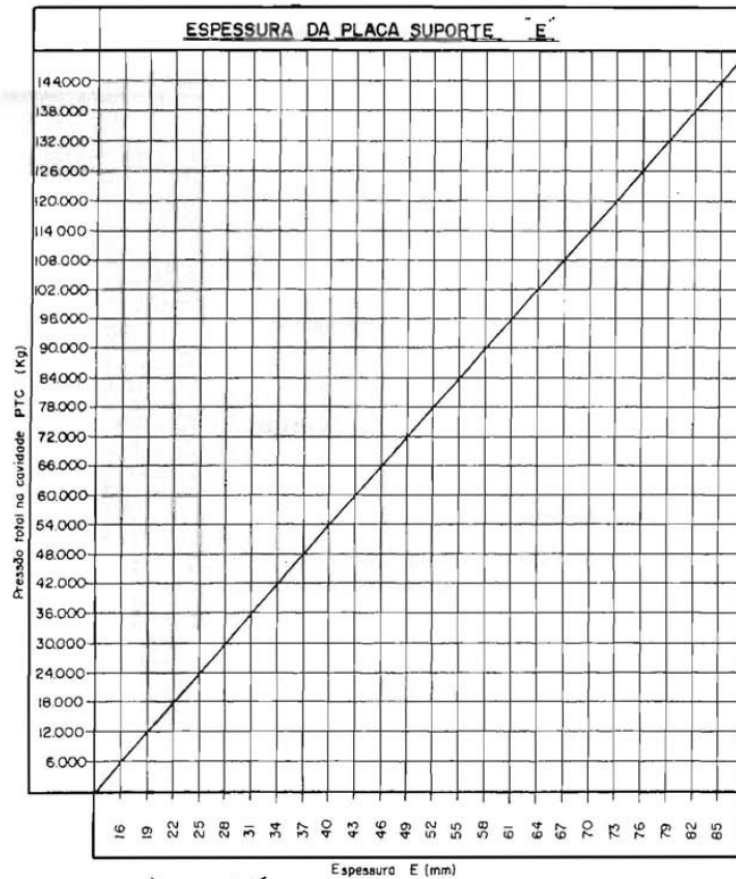


Figura 45 – Relação entre a pressão dentro da cavidade moldante e a espessura mínima das placas que contêm a cavidade moldante (Crawford, 1998).

Força de fecho

A equação (1) representa o cálculo da força de fecho (F_f).

$$F_f = \frac{A_p \cdot P_m}{100} \quad (1)$$

Onde:

A_p – Área de impressão da peça;

P_m – Pressão média da fase de injeção (cerca de 1/3 a 1/5 da pressão de injeção)

Queda de pressão

A expressão que relaciona a queda de pressão com o raio dos canais de alimentação em regime isotérmico está representada na equação (2).

$$\Delta P = \frac{8 \cdot \eta \cdot L \cdot Q}{\pi \cdot R^4} \quad (2)$$

Onde (Figura 46):

ΔP – Queda de pressão;

η – Viscosidade do plástico;

L – Comprimento do canal;

Q – Caudal;

R – Raio do canal.

Na Figura 46 está representado um esquema exemplo de uma arquitetura de um molde com várias cavidades representadas pelos círculos pretos.

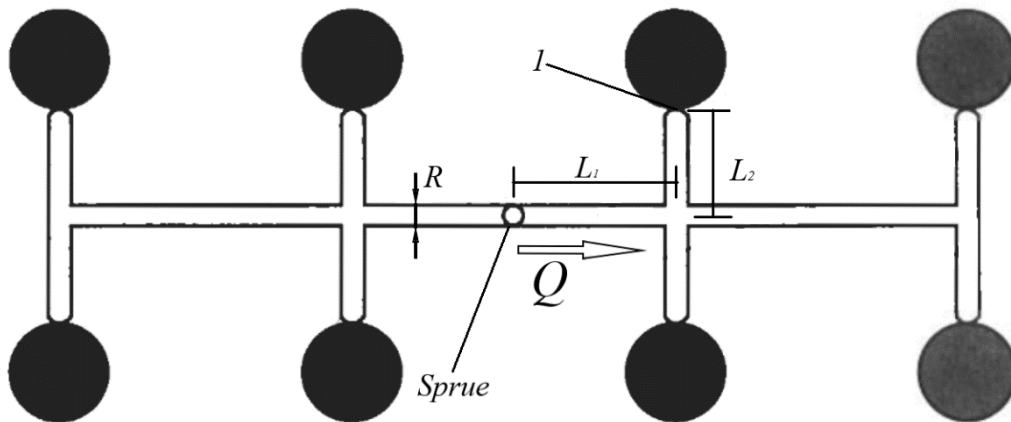


Figura 46 – Exemplo esquemático de uma arquitetura de um molde com várias cavidades (adaptado de Crawford, 1998).

Se se aplicar a equação (2) neste exemplo resulta a equação (3).

$$\Delta P = \frac{8 \cdot \eta \cdot (L_1 + L_2) \cdot Q}{\pi \cdot R^4} \quad (3)$$

A equação (3) tem como bases um regime isotérmico e viscosidade constante (fluidos Newtonianos), no entanto, na realidade isto não acontece, pois, os plásticos assumem viscosidades diferentes em função da temperatura e à taxa de corte que estão sujeitos (fluidos não newtonianos). Além disso, quando o plástico contacta as paredes do molde cria logo uma camada de plástico solidificado que diminui a secção do canal. Para mais detalhes, consultar Crawford (1998), capítulo 4.3.3. Estes fatores devem ser tidos em conta no dimensionamento de moldes.

Distribuição de custos no projeto de um molde

Na Figura 47 está representado um gráfico de pizza com as etapas do projeto de um molde e as respetivas percentagens de custo face ao custo total do molde.

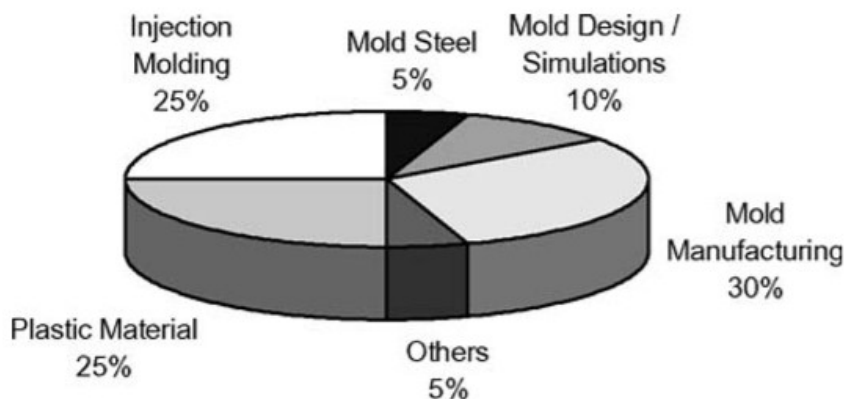


Figura 47 – Etapas do projeto de um molde e respetivas percentagens de custo face ao custo total do molde (Crawford, 1998).

2.3 Automatização de sistemas de produção e montagem

A automatização de sistemas de produção e montagem consiste em utilizar máquinas que realizam as várias etapas de um processo produtivo de uma forma autónoma e sem a necessidade de mão de obra humana.

A automatização de processos fabris é um constante objetivo das empresas porque desta forma consegue-se aumentar a repetibilidade do processo, diminuir produtos defeituosos e diminuir tempos de fabrico (Honda, 1998). Tudo isto são aspetos que as empresas procuram otimizar. No entanto, a mão de obra humana ainda é muito utilizada devido à elevada capacidade de adaptação do ser humano a situações em que as condições, sejam elas de ambiente, espaço ou de processo, variam. Para além disso, essas mesmas máquinas precisam de monitorização e manutenção para garantir o seu bom funcionamento. As máquinas e sistemas computadorizados ainda não estão preparados para reagir e se adaptar a situações imprevisíveis. A Tabela 7 representa as vantagens dos humanos face às vantagens das máquinas.

Tabela 7 – Vantagens dos humanos face às das máquinas (P.Groover, 2002).

Vantagens dos humanos	Vantagens das máquinas
Pressentir estímulos inesperados	Executar tarefas repetitivas consistentemente
Desenvolver novas soluções	Armazenar grande quantidade de informação
Lidar com problemas abstratos	Recorrer a informação em memória confiável
Adaptação à mudança	Executar várias tarefas ao mesmo tempo
Generalização através de observações	Fazer grandes forças e potências
Aprender com a experiência	Executar simples computações rapidamente
Tomar decisões difíceis baseadas em informação incompleta	Tomar decisões de rotina rapidamente

A automatização de sistemas de produção pode ser dividida em duas categorias (P.Groover, 2002):

- **Automatização dos sistemas de manufatura na fábrica:** Esta automatização consiste em automatizar os sistemas de manufatura físicos da fábrica, como por exemplo postos de soldadura, postos de montagem, entre outros;
- **Automatização dos sistemas de suporte à manufatura:** Este tipo de automatização tem como objetivo reduzir o trabalho manual na fase de design de produto, planeamento e controlo de produção e as funções de negócio da

empresa. Este tipo de automatização é vulgarmente implementado através de sistemas computadorizados. *Computer Integrated Manufacturing* (CIM) é o termo dado ao uso de sistemas computadorizados na automatização da fábrica. Dentro deste sistema estão integrados os termos *Computer Aided Manufacturing* (CAM) e *Computer Aided Design* (CAD) que são sistemas que ajudam na fase de design de produto e na sua cadeia de produção. Estes dois sistemas são, normalmente, agregados num só CAD/CAM e um exemplo de um *software* com esses sistemas é o SOLIDWORKS, onde é possível modelar peças e conjuntos para montagem e determinar as respetivas etapas de produção inclusivamente criar programas para máquinas de *Computer Numerical Control* (CNC).

Razões para automatização

De acordo com P.Groover (2002), existem 9 razões para o uso da automatização:

1. Aumentar a produtividade;
2. Reduzir custos em mão de obra;
3. Amortecer a escassez de mão de obra;
4. Reduzir ou eliminar tarefas rotineiras;
5. Aumentar a segurança dos trabalhadores;
6. Aumentar a qualidade do produto;
7. Diminuir o tempo de espera por parte do cliente;
8. Alcançar processos que não podem ser feitos manualmente;
9. Aumentar a competitividade.

Tipos de automatização

Existem três tipos de automatização (P.Groover, 2002):

- **Fixa** – Este tipo de automatização é caracterizado por equipamentos com poucos movimentos como movimento linear ou giratório ou a combinação de ambos. Estes equipamentos fazem uma tarefa em específico sem poderem fazer outra qualquer. A Figura 49 representa um sistema baseado em vibração e movimento giratório que orienta os parafusos de uma forma específica e sempre igual;
- **Programável** – Automatização programável contempla equipamento que podem ser programados para alterar a sua ordem de etapas para fabricar produtos com diferentes características. Exemplo de tal são as quinadoras que se baseiam em puncionar uma peça provocando-lhe uma deformação localmente de forma a criar uma dobra na peça. Existem peças com várias dobras e com sequências de quinagem diferentes, e por isso estas máquinas estão preparadas para receberem programas com sequências de quinagens diferentes. Algumas até suportam um modelo 3D da peça, permitindo a sua rápida programação.
- **Flexível** – A automatização flexível é muito semelhante à programável, mas com curtos tempos de configuração. O melhor exemplo são as máquinas CNC para maquinagem de peças. A matéria prima pode ser inserida na máquina onde todas as operações necessárias para que ela seja produzida são efetuadas,

operações essas como facejar, tornear, escarear, fresar, inclusivamente a troca de ferramentas é feita pela máquina.

Na Figura 48 estão representados os três tipos de automatização referidos e uma linha a tracejado que representa a fronteira entre o não uso e uso de automação.

Pode-se observar que o uso da automação é justificado a partir das 5000 unidades anuais.

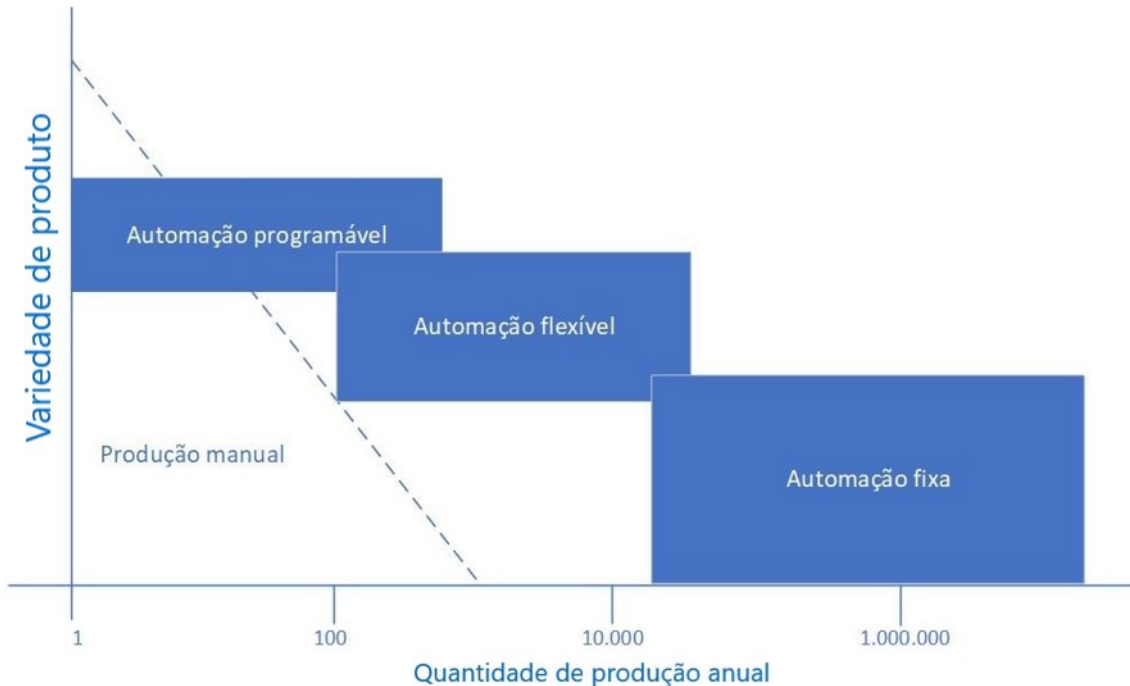


Figura 48 – Tipo de automação em função da variedade do produto e quantidade de fabrico (adaptado de P.Groover, 2002)

Princípios e estratégias para implementação de automatização

Groover (2002) refere que existem três princípios e estratégias que é possível basear para implementar a automatização:

- **Princípio USA**, que consiste em:
 1. Perceber o processo;
 2. Simplificar o processo;
 3. Automatizar o processo.
- **10 estratégias para automatização e sistemas de produção**
 1. **Especialização na operação:** Uso de equipamento específico para realizar uma operação o mais eficientemente possível;
 2. **Combinar operações:** Tentar combinar operações em menos equipamentos possível;
 3. **Operações simultâneas:** Tentar fazer tarefas simultaneamente de forma a reduzir o tempo de processamento;
 4. **Integração de operações:** Ligar diferentes postos de trabalho através da automatização intralogística;

5. **Aumentar a flexibilidade:** Facilitar a adaptação dos equipamentos a diferentes produtos;
 6. **Melhorar os métodos de transporte e armazenamento da matéria-prima e produtos;**
 7. **Inspeção na linha de produção:** A adição de vários postos de inspeção ao longo da linha de produção permite reduzir sucata e custos em produtos defeituosos;
 8. **Controlo e melhoria do processo:** Permite o aumento da eficiência do processo e qualidade do produto;
 9. **Controlo das operações da fábrica:** Coordenar e agregar as operações ao longo da fábrica mais eficientemente;
 10. **Aplicação de sistemas CIM:** Permite uma comunicação mais fácil ao longo da fábrica.
- **Estratégia de migração para automatizar**

Novos produtos começam por ser produzidos manualmente e com postos de trabalho simples. À medida que se vai dominando o produto, vai-se acrescentando mais postos manuais para colmatar a procura desse produto. Depois, quando se prevê que a procura vai ser maior implementa-se a automatização.

Uma estratégia típica de migração para automatizar baseia-se em três fases (P.Groover, 2002):

1. **Produção manual** usando postos de trabalho manuais e simples de forma a facilitar o uso de ferramentas e tornar o processo mais barato possível;
2. **Produção automatizada:** Os postos de trabalho manuais são automatizados, mas o produto continua a viajar pelos postos manualmente, isto para reduzir a mão de obra humana e diminuir tempos de fabrico;
3. **Automatização integrada da produção:** uso de um sistema automatizado de várias estações automatizadas onde o produto flui por meios automatizados. Isto quando o produto vai ser produzido em larga escala e por muitos anos de forma a reduzir, ainda mais, a mão de obra humana e aumentar o ritmo de produção.

2.3.1 Soluções baseadas na automação

A automação consiste na automatização de operações fabris em específico. Quando se automatiza uma operação baseada na automação, os equipamentos utilizados para esse fim apenas podem ser utilizados para efetuar essa operação e não outra. Normalmente este nível de automação não é programável. Em suma trata-se de um tipo de automatização direcionada apenas para automatizar uma tarefa ou conjunto de tarefas em específico.

Exemplos da automação são: tapetes transportadores automáticos, sistemas alimentadores como na Figura 49, armazéns automáticos, etc.



Figura 49 – Sistema de orientação de parafusos baseado em vibração e movimento giratório (HAMOTEK, n.d.).

A Figura 50 representa uma máquina automática de recolha de grãos de cereais. A máquina em causa é uma ceifeira-debulhadora produzida pela JOHN DEERE (à esquerda na imagem) que recolhe a planta que contém o grão de cereal a ser colhido, separa, no seu interior, o grão da planta e deposita-o noutro veículo à direita na imagem. O operador apenas tem que conduzir a máquina para o local de ceifeira pois a mesma inclui um sistema de orientação por GPS (*Global Positioning System*) que conduz a máquina por caminhos previamente programados pelo operador e desta forma o operador só monitoriza o funcionamento da máquina.



Figura 50 – Ceifeira-debulhadora JOHN DEERE (John Deere, 2017)

A Figura 51 representa um conjunto de braços robóticos (a laranja) que efetuam a soldadura de carroçarias automóveis.



Figura 51 – Braços robóticos utilizados na soldadura de carroçarias automóveis (Automóveis Online, 2018).

2.3.2 Soluções baseadas na robótica

A norma ISO descreve o robot como um equipamento programável que se movimenta em três ou mais eixos.

Os robots são equipamento que podem ser programados para fazerem vários tipos de operações como soldadura, posicionamento e transporte de peças, maquinagem de peças como as CNC, montagem de conjuntos, etc.

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Introdução ao trabalho prático desenvolvido
- 3.2 Equipamento inicial
- 3.3 Etapas do projeto
- 3.4 Anteprojeto
- 3.5 Projeto final

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Introdução ao trabalho prático desenvolvido

No âmbito de melhoria e desenvolvimento de uma solução mais automatizada e por conseguinte mais rápida e eficiente foi requerido por parte da Fico Cables e com o Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) como parceiro de desenvolvimento, o projeto de uma estação de microinjeção que será integrada numa linha de produção de cabos de aço para a indústria automóvel. Esta estação tem a finalidade de sobre injeção de terminais em plástico nas pontas das espirais ou nas terminações em zamak do próprio cabo de aço (Figura 52).



Figura 52 -Exemplo de terminal de cabos de aço

3.1.1 Descrição da empresa

A Fico Cables (Figura 53) está localizada Rua Cavaco, nº. 115, concelho da Maia, distrito do Porto e pertence ao Grupo Ficosa.

Especializada na indústria automóvel, a Fico Cables é uma empresa que fabrica componentes e desenvolve equipamentos industriais à medida do cliente e com fabrico próprio. Mais concretamente, a Fico Cables fabrica cabos de aço para diferentes aplicações como comando de abertura de portas, travão de mão e regulação de assentos. Além disso, fabrica componentes para os sistemas de conforto dos veículos e emprega mais de 1400 colaboradores.

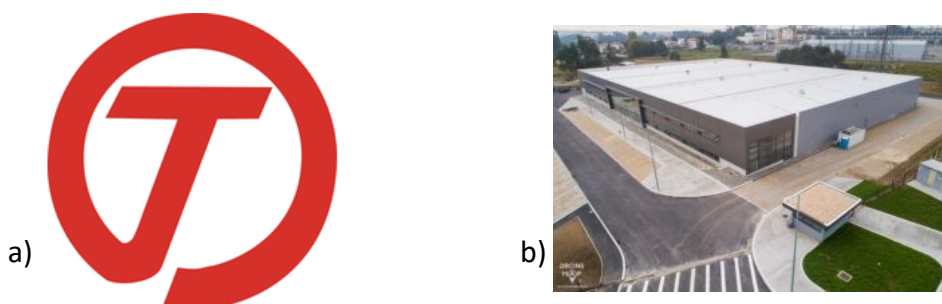


Figura 53 – Logotipo da Fico Cables (a) e novo pavilhão na Maia, Porto, Portugal (b).

Áreas de negócio

- Indústria automóvel;
- Fabricação de equipamentos industriais à medida do cliente;

O grupo Ficosa

Fundada em 1949, a Ficosa (Figura 54) tem sede em Barcelona, Espanha, e tem centros de produção, de engenharia e de vendas em 16 países espalhados pela Europa, América do Norte, América do Sul e Ásia. Na Ficosa trabalham mais de 10000 colaboradores. Em 2015 faturou mais de 1112 milhões de euros. Todos os anos investe cerca de 6,5% da sua faturação anual em *Research and Development* (R&D).



Figura 54 - Logo Ficosa

História

1949 – 1985

A Ficosa começou em 1949 a fabricar cabos mecânicos para o mercado de peças de reposição. Entre os anos 1950 a 1970 a Ficosa consolidou uma posição de fornecedor local para a indústria automóvel. Na década de 70 iniciou a fase de internacionalização com a construção de uma loja no Porto, Portugal, a Fico Cables.

1986 – 1995

Fornecimento dos grandes produtores europeus com a entrada da Espanha na comunidade económica europeia.

1996 – 2000

Crescimento para a América do Norte e Sul, primeiro nos Estados Unidos e México (1995) depois no Brasil e Argentina (1997) e por último na Ásia (1998) através de uma parceria com o grupo TATA.

2001 – 2009

Construção de centros de produção na Polónia e Turquia. Início de operações na coreia do Sul, Roménia, China e Rússia. Implementação de um centro tecnológico em Mollet del Vallés (Barcelona, Espanha) em 2004.

2011

Aquisição da fábrica da Sony em Viladecavalls. Em 2010 iniciou a transformação para produtos com mais componentes elétricos. Esta fábrica torna-se o principal centro tecnológico a nível global.

2015

A 30 de junho de 2015 deu-se a aliança com a Panasonic.

3.1.2 Objetivos do trabalho prático

O objetivo da presente dissertação consiste no projeto de uma estação de sobre injeção de terminais em plástico nas espirais de cabos de aço ou sobre os terminais zamak dos próprios cabos de aço (Figura 52) para substituir as atuais máquinas de injeção representadas na Figura 55. Esta sobre injeção é atualmente feita por máquinas antigas (Fiser) (Figura 55), que se encontram sobredimensionadas e requerem um operador por máquina de injeção.



Figura 55 – Máquina de injeção Fiser

De forma a reduzir os operadores por máquina e aumentar a eficiência é necessário substituir estas máquinas antigas por máquinas mais pequenas e dimensionadas à medida. A Fico Cables já adquiriu algumas máquinas de microinjeção da marca Babyplast para iniciarem este processo de transição. No entanto, a estratégia é desenvolver uma solução de sobre injeção à medida da empresa que possa ser integrada em vários processos dentro da fábrica. A Fico Cables poderia comprar estações de microinjeção como as Babyplast e integrá-las da forma pretendida, mas uma solução desenvolvida na própria empresa será uma mais valia pelas seguintes razões:

- economiza-se no fabrico da própria estação;
- não são necessárias consolas pois a estação de microinjeção estará integrada num sistema que controla toda a linha de produção;
- não é necessária a compra de bombas e reservatórios hidráulicos visto que a fábrica já contém um circuito geral hidráulico. Desta forma, é necessária a seleção de válvulas de controlo dos cilindros hidráulicos;
- a adaptação a novas cadências de produção seria muito mais facilitada pois ter-se-ia um conhecimento total do funcionamento da estação.

Toda esta estratégia está documentada e fundamentada na tese de mestrado de Robin Penne (2020), que consistia no desenvolvimento dos manipuladores para colocar os cabos nos moldes de sobre injeção.

Em suma, os objetivos primordiais para o desenvolvimento da estação de microinjeção são:

- Substituição das máquinas de injeção Fiser;
- Integração nas linhas de montagem dos cabos de aço de forma a obter uma solução mais automatizada e eficiente.

Outras possíveis aplicações desta estação no futuro são:

- Sobre injeção de terminais das espirais para consumo direto das linhas, ou seja, nesta aplicação a estação de microinjeção não estaria integrada em qualquer linha, mas funcionaria sozinha;
- Integração nas máquinas de injeção de zamak. Ou seja, depois de o terminal zamak ser injetado, o mesmo era sobre injetado com plástico;
- Por último, poderá ser aplicada na sobre injeção de plástico nos sistemas de conforto automóvel substituindo a inserção à pressão de componentes pré moldados (Figura 56).

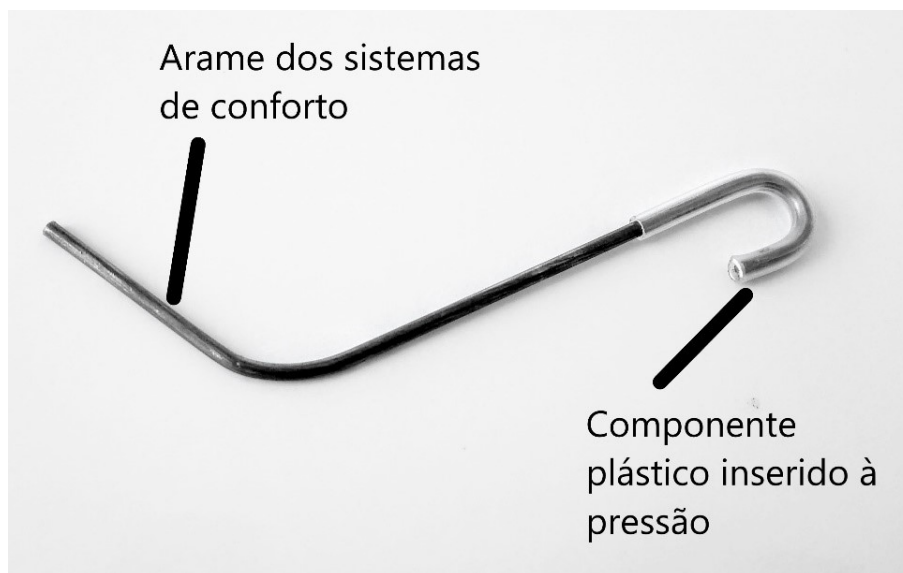


Figura 56 – Componente em arame dos sistemas de conforto automóvel

Para dimensionamento da estação de microinjeção utilizou-se a ponteira representada na Figura 57 para cálculo de volume de injeção e força de fecho do molde.

A sobre injeção do terminal em plástico é feita com os materiais HDPE, LDPE, PA66 ou POM. Esta ponteira tem o volume de $1,148 \text{ cm}^3$. Considera-se uma cadência de no máximo 6 segundos por ponteira. Estes 6 segundos provêm da capacidade do restante equipamento em preparar a espiral para injeção, ou seja, o equipamento consegue preparar um terminal a cada 6 segundos.

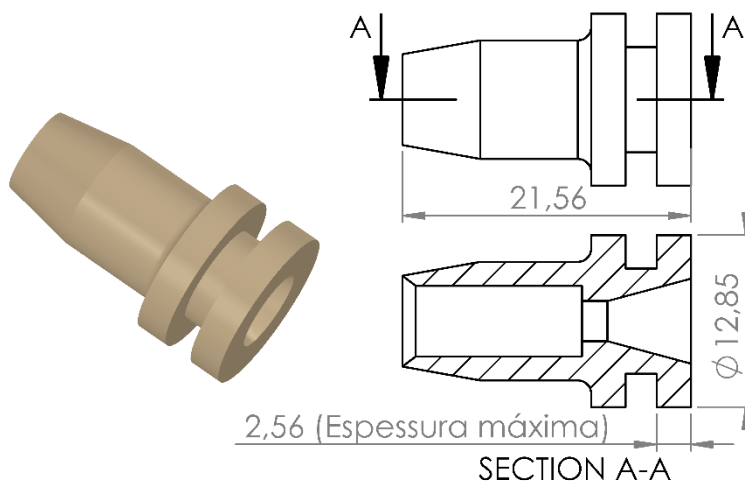


Figura 57 - Terminal a ser injetado

3.1.3 Requisitos da injetora

Os requisitos da injetora são:

- Potência inferior à potência das máquinas de injeção Fiser presentes na Fico Cables;
- Cadência de um terminal a cada 6 segundos.

3.1.4 Resultados pretendidos

São pretendidos os seguintes resultados com a conclusão do projeto:

- Projeto digital em 3 dimensões de toda a estação;
- Desenhos de fabrico em 2 dimensões de montagem de conjunto e de peças individuais não compradas;
- Processo de fabrico dos componentes não comprados da injetora;
- Relatório (presente) para documentação do projeto.

3.1.5 Pressupostos

Os seguintes pontos representam as assunções/pressupostos para a base de desenvolvimento deste projeto. Este projeto inclui:

- O projeto mecânico de toda a estação incluindo acessórios e peças compradas;
- A escolha dos sensores e meios de acionamento, mas não o sistema de processamento e controlo da injetora visto que a estação será controlada juntamente com a restante linha de produção por um único automático, ou seja, no final deste projeto, todo o projeto elétrico terá que ser realizado posteriormente e por outra entidade dentro da Fico Cables;
- O projeto do molde de injeção será realizado posteriormente e por outra entidade dentro da Fico Cables, não sendo incluído neste projeto;

- Não é necessário dimensionamento da alimentação do circuito hidráulico pois a fábrica já tem um circuito geral hidráulico. Apenas é necessária a escolha das válvulas de controlo dos cilindros hidráulicos;
- Não é necessário dimensionar sistema de arrefecimento da água utilizada para arrefecer a injetora, visto que a empresa já tem um circuito geral de água com tubagem de 20mm de diâmetro interno e com temperatura entre 18 a 20 graus Celsius com uma pressão de 3 bar.

3.2 Equipamento inicial

Atualmente, a sobre injeção dos terminais é realizada pelas injetoras Fiser (Figura 55) e é necessário um operador por injetora. As injetoras utilizam dois moldes, para que o operador possa colocar os cabos num dos moldes enquanto o outro molde está a ser injetado (Figura 58).

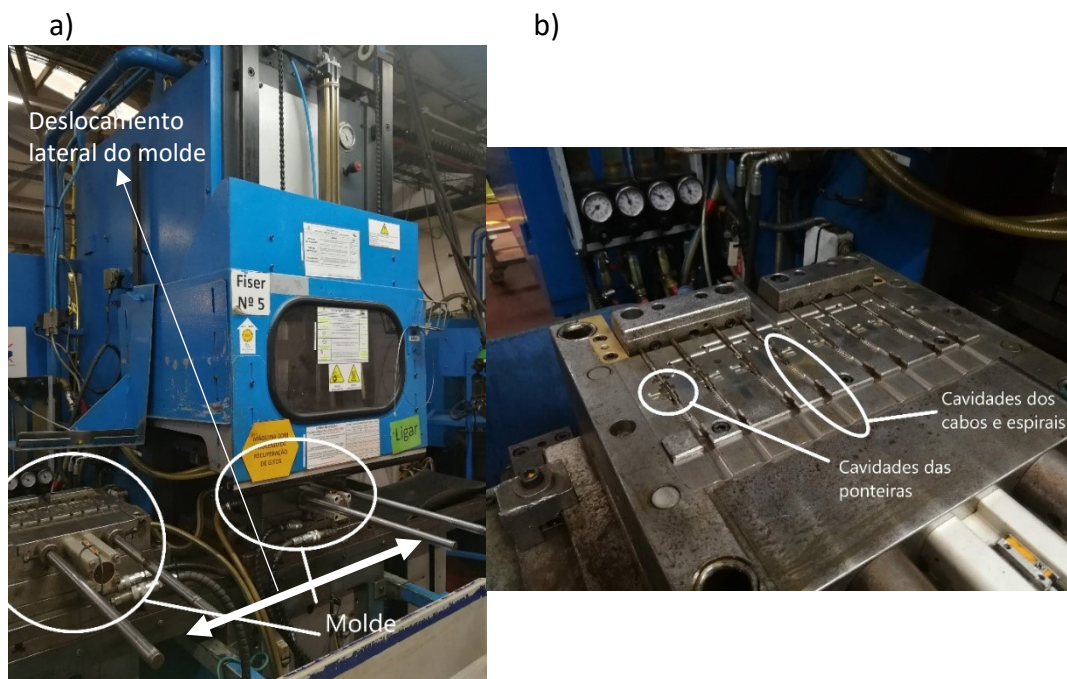


Figura 58 – Injetora Fiser (a) e molde das ponteiras (b)

No entanto, a transição para a microinjeção através de estações de injeção como a desenvolvida neste projeto já foi iniciada, tal como mostra a Figura 59.

Na Figura 59, mais à esquerda, está representada a máquina que insere as mangas e espiras nos cabos de aço e mais à direita está representada a microinjetora babyplast utilizada para sobre injetar os terminais de plástico.

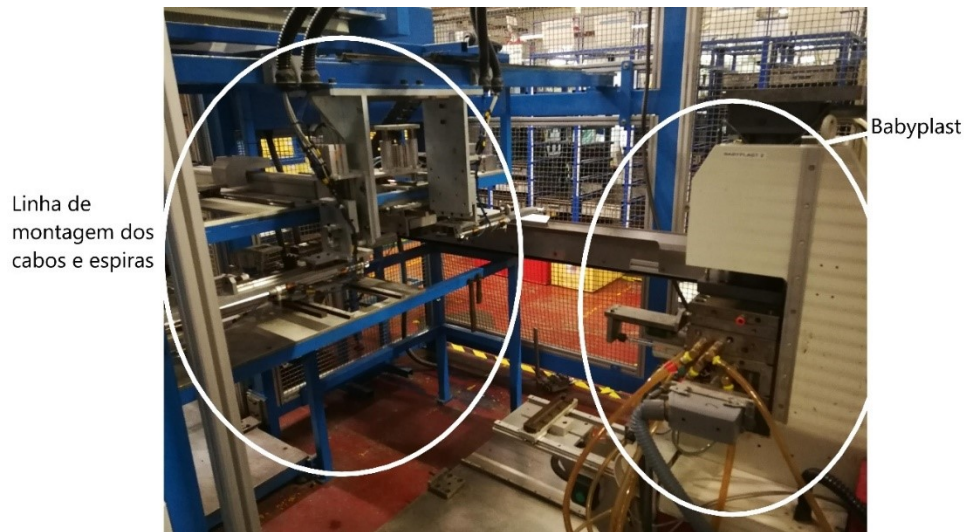


Figura 59 – Linha de montagem e sobre injeção

Também já foi iniciada a transição para microinjetoras na sobre injeção dos terminais de zamak, tal como mostra a Figura 60.

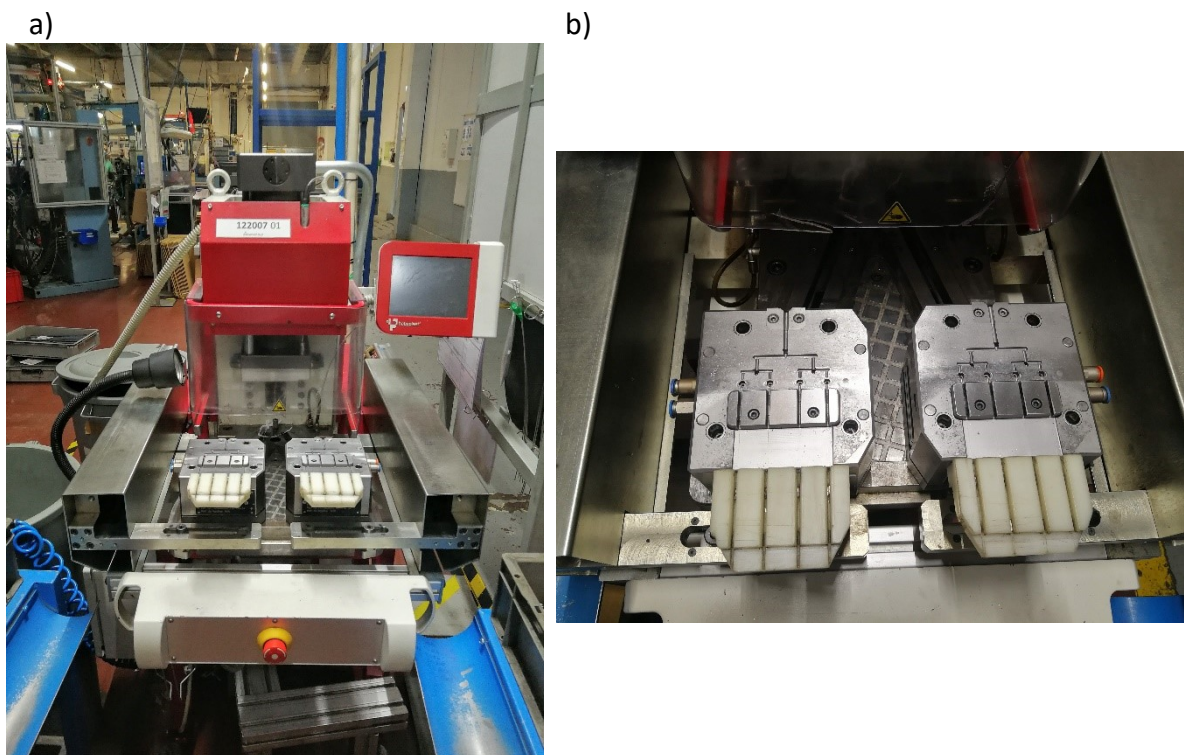


Figura 60 – Sobre injeção por microinjetora Babyplast (a) dos terminais zamak e respetivos moldes (b)

3.3 Etapas do projeto

Na Figura 61 está representada a sequência e etapas que foram tomadas para o projeto desta injetora.

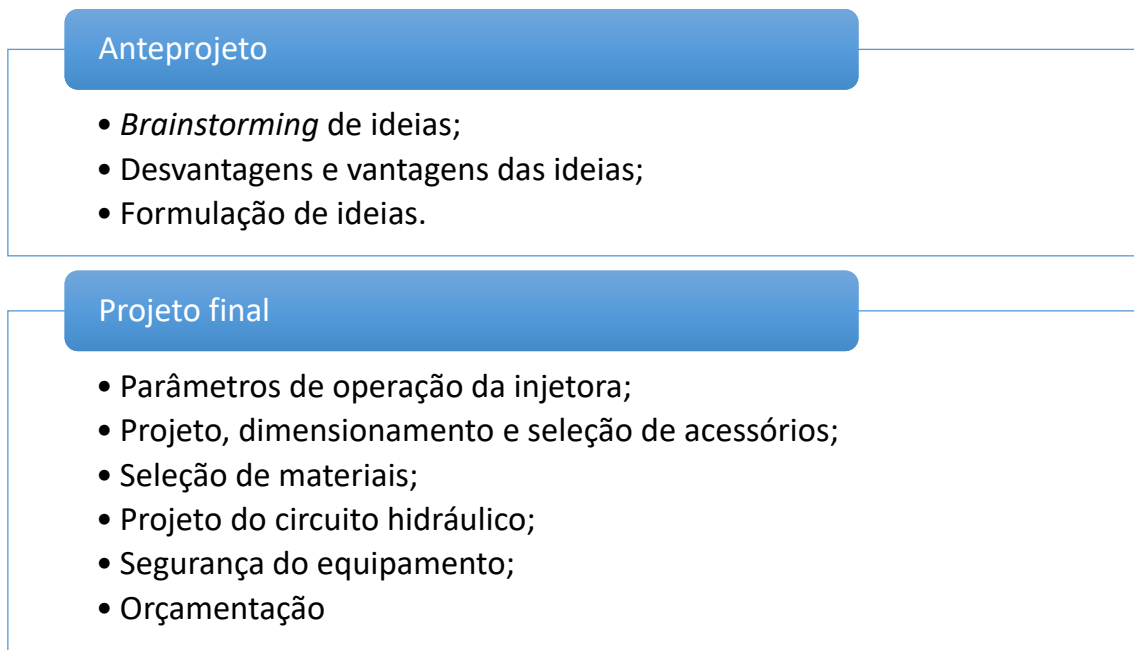


Figura 61 – Sequência e etapas de projeto

3.4 Anteprojeto

Neste capítulo estão descritas as ideias e decisões em que este projeto se baseou. Aqui é representada uma linha de pensamento de ideias para cada subestrutura da Injetora.

Estas ideias estão estruturadas com a seguinte ordem:

- 1) Ideia geral de extrusão e injeção – Dentro deste tópico estão representados:
 - a) Forma de plastificação do material plástico;
 - b) Forma e mecanismo da válvula antirretorno do material plástico;
 - c) Acionamento do fuso;
 - d) Forma como se injeta o plástico no molde;
 - e) Tipo de bico a ser utilizado;
 - f) Forma como se conecta a parte extrusora à parte injetora.
- 2) Ideia do design da prensa onde o molde estará apertado – Dentro deste tópico incluem-se:
 - a) Forma estrutural da prensa;
 - b) Tipo de processo de fabrico da prensa;
 - c) Forma de fixação do molde.
- 3) Ideia se o conjunto parte extrusora e parte injetora é móvel ou fixo – Constituído pela:
 - a) Definição de conjunto fixo ou móvel;
 - b) Forma da estrutura de fixação do conjunto à restante injetora.
- 4) Alimentação do plástico;
- 5) Tipo de acionamento da injetora;
- 6) Forma de arrefecimento.

3.4.1 Ideia geral de extrusão e injeção

Como se pretende injetar pequenas quantidades de material decidiu-se criar uma injetora de duas fases. De facto, uma injetora convencional não garantia o adequado preenchimento do molde devido à forma como a válvula antirretorno funciona. Isto é, as injetoras convencionais utilizam um anel na ponta do fuso que, quando o fuso avança para injetar, encosta ao fuso evitando que o plástico recue. No entanto, existe um instante em que o fuso se está a mover mas o anel não, provocando um recuo de parte do plástico. Para além disso, uma alteração nas propriedades do material, por exemplo, aumento de viscosidade, poderá fazer com que o anel não encoste muito bem ao fuso fazendo com que parte do material plástico recue. Posto isto, é necessário extrudir o material plástico para uma câmara secundária onde este se acumulará na quantidade pretendida até ser injetado.

A peça que fará a ligação entre a parte extrusora e a parte injetora irá conter a válvula antirretorno.

3.4.1.1 Extrusão

Ideia 1 – Uso de cilindro e pistão

Para realizar a extrusão do material pensou-se inicialmente em plastificar o material por aquecimento de um cilindro e promover a extrusão com um pistão, tal como mostra o esboço da Figura 62. No esboço estão representados os grãos do plástico que vão diminuindo de tamanho à medida que a temperatura aumenta, o pistão, um filtro que evitam que grãos de plástico maiores passem para o torpedo entupindo o escoamento do material plástico, e o torpedo.

Segundo esta solução, os grãos entram no cilindro e por aquecimento plastificam. De seguida o pistão empurra esse material fluido para a câmara de injeção. O torpedo aumenta a área de contacto com o plástico, o que ajuda a plastificar o mesmo.

Porem, os seguintes problemas poderiam aparecer: má plastificação do material plástico, entupimento, baixo controlo do tempo de residência do material e desconhecimento do comportamento do material durante o avanço do pistão, visto que o pistão estaria a empurrar material sólido e não fluido.

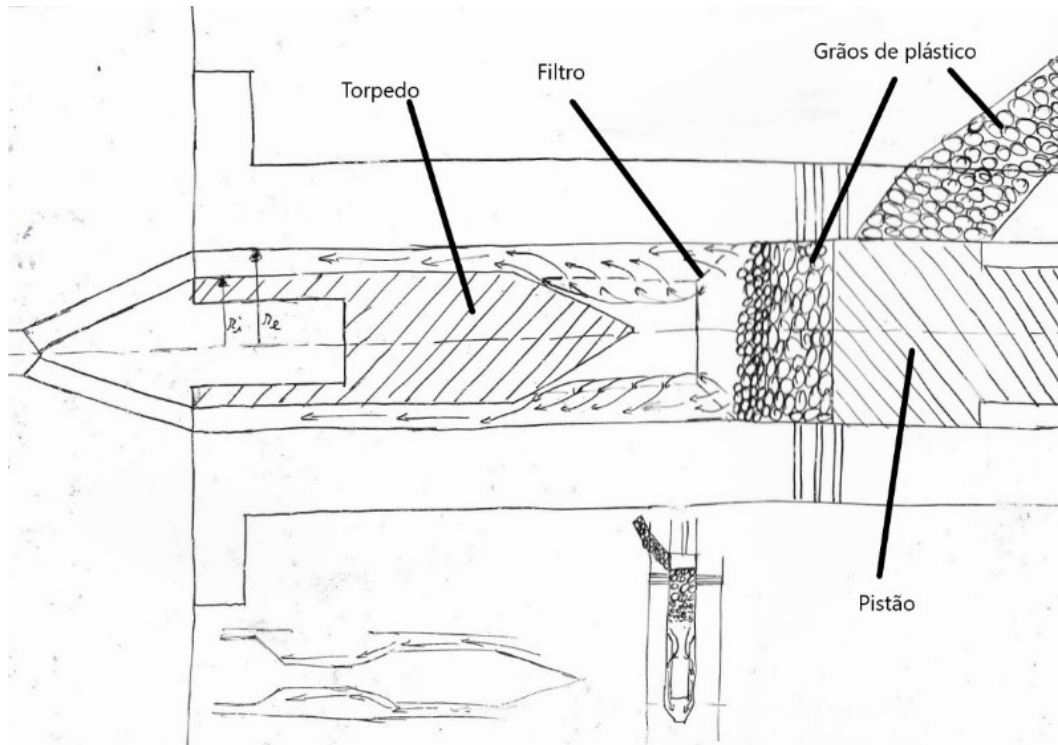


Figura 62 - Primeira ideia de extrusão

Ideia 2 – Extrusão por fuso convencional

A segunda opção passa por utilizar um fuso convencional, mas mais pequeno, adaptado às necessidades de caudal de plástico. Esta arquitetura é a mais utilizada nas máquinas de injeção plástica e por isso bastante conhecida e estudada.

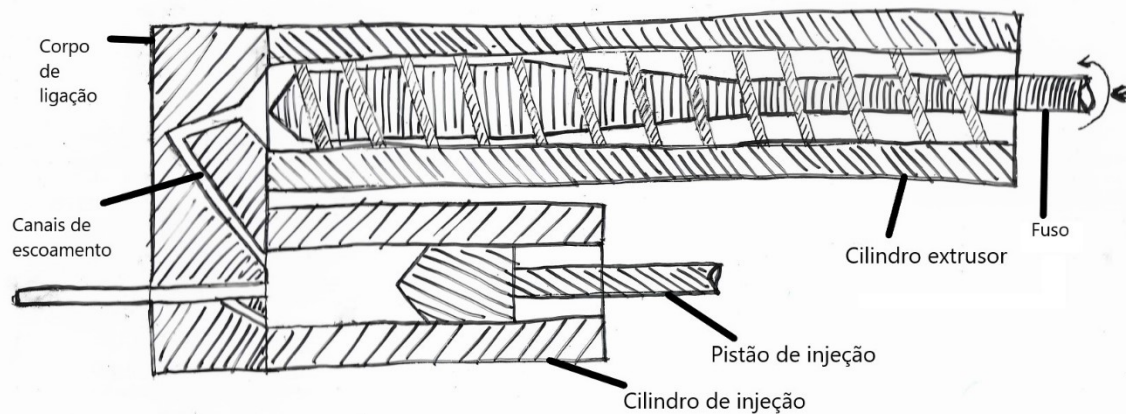


Figura 63 – Esboço do conjunto constituído pela parte extrusora e parte injetora

Decisão

Como o projeto é novo decide-se seguir pela extrusão por fuso e cilindro convencional pois é um método mais conhecido e por isso fácil de instalar, configurar e manter. Como se trata de pequenas quantidades de plástico, as dimensões do fuso são escolhidas de tal forma que se torne o mais pequeno possível.

Válvula antirretorno

Associada ao sistema de injeção de duas fases, é considerada uma válvula antirretorno que evita que o plástico volte para o cilindro de extrusão durante a injeção no molde.

Ideia 1 – Válvula de esfera

Uma das ideias para o funcionamento da válvula consiste na utilização de uma esfera com mola para que, quando a injeção se der, a esfera feche os canais de escoamento por ação da pressão de injeção (Figura 64).

No entanto, no início do processo de injeção a pressão é relativamente pequena, pelo que a esfera pode não fechar por completo. Para além disso, mesmo durante a aplicação de pressão, o plástico pode formar uma pressão na parte oposta da esfera contrariando o seu fecho e, por conseguinte, permitir que parte do plástico escape de volta para o cilindro extrusor. Mais, isto pode não acontecer em todos os ciclos e pode deixar retornar plástico em diferentes quantidades, não sendo uma solução previsível.

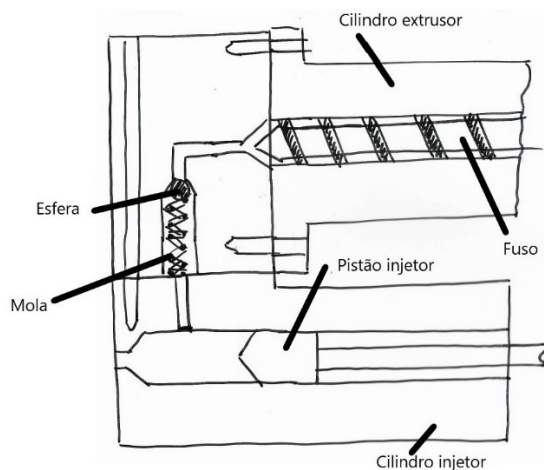


Figura 64 – Esboço da válvula antirretorno de esfera

Ideia 2 – Válvula com fecho através do fuso

Esta ideia consiste em utilizar o próprio fuso como válvula antirretorno, tal como mostra a Figura 65.

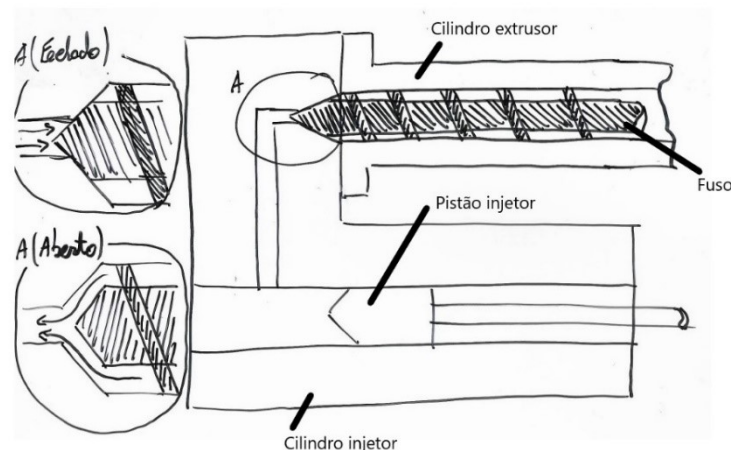


Figura 65 - Esboço da válvula antirretorno através do fuso

Quando a câmara de injeção acaba de ser preenchida, o fuso avança e encosta nas paredes da válvula fechando orifício (visível no pormenor “A(Fechado)” na Figura 65) Desta forma o fecho é controlado como se pretender e não depende da pressão de injeção.

As desvantagens são que torna o funcionamento da extrusão mais complexo pois o fuso passa a ter translação para além da rotação.

Decisão

Analisando as duas soluções decide-se avançar pela ideia 2 pois é aquela que consegue evitar por completo o retorno do plástico.

3.4.1.1.1 Acionamento do fuso

O fuso tem de ser acionado em rotação e em translação. Para tornar a solução o menos complicada possível, recorre-se a um motor ligado ao fuso por uma luva deslizante e a uma alavanca que aciona a luva de forma a empurrar o fuso. A alavanca é acionada por um cilindro hidráulico (Figura 66).

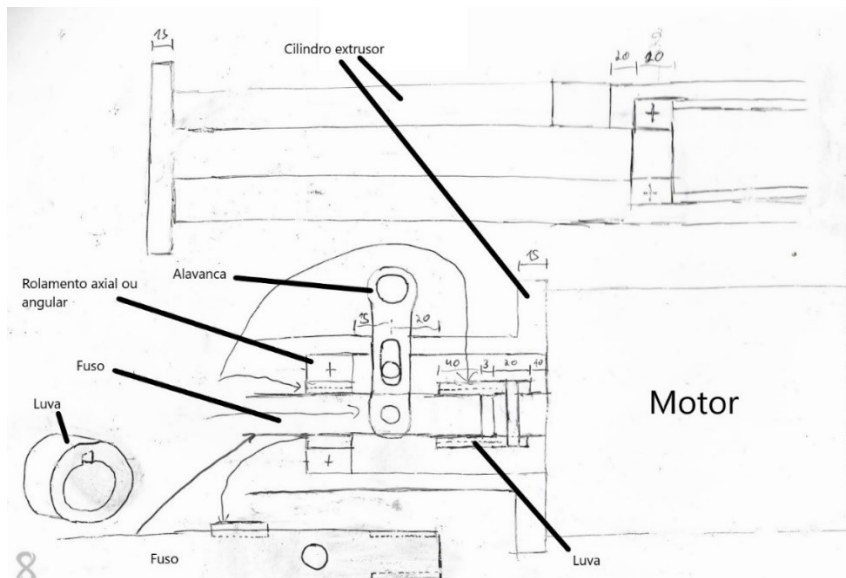


Figura 66 - Esboço do acionamento do fuso

Na Figura 66 mostra que todo este sistema de acionamento está integrado no corpo do cilindro extrusor. No entanto, mais tarde decidiu-se criar um sistema totalmente independente que é aparafusado ao corpo do cilindro. Isto porque é mais fácil isolar os componentes frios das altas temperaturas do cilindro. Além disso, o cilindro passará por processos térmicos e superficiais em que geometrias simples minimizam empenos e concentrações de tensões para além de ser mais económico.

3.4.1.2 Tipo de bico injetora a ser utilizado

Um bico normal (sempre aberto) não pode ser utilizado neste caso devido ao facto de o fuso criar pressão a extrudir o plástico para a câmara de injeção (Figura 24).

Em alternativa tem-se o bico valvulado, que pode ser acionado externamente (Figura 26) ou mecanicamente (Figura 25) através da pressão de injeção. Neste caso decidiu-se

escolher o bico acionado mecanicamente, pois este utiliza a pressão de injeção sem necessitar de acionamento externo.

3.4.1.3 Forma como se conecta a parte extrusora à parte injetora

Chegou-se à conclusão que ligar a parte extrusora à parte de injeção através de um ângulo de 45 graus (Figura 67) seria preferível devido à facilidade em maquinar os canais de escoamento na peça que faz a ligação entre a parte extrusora e a parte injetora. Caso se colocasse as duas partes paralelas, seria necessário furar a peça em vários ângulos para criar o canal de escoamento. Além disso, surgiriam zonas de alteração de direção do fluido onde se podiam acumular sujidades e o plástico ficar lá retido provocando a sua degradação e no final aumentar a dificuldade para limpar os canais durante a manutenção.

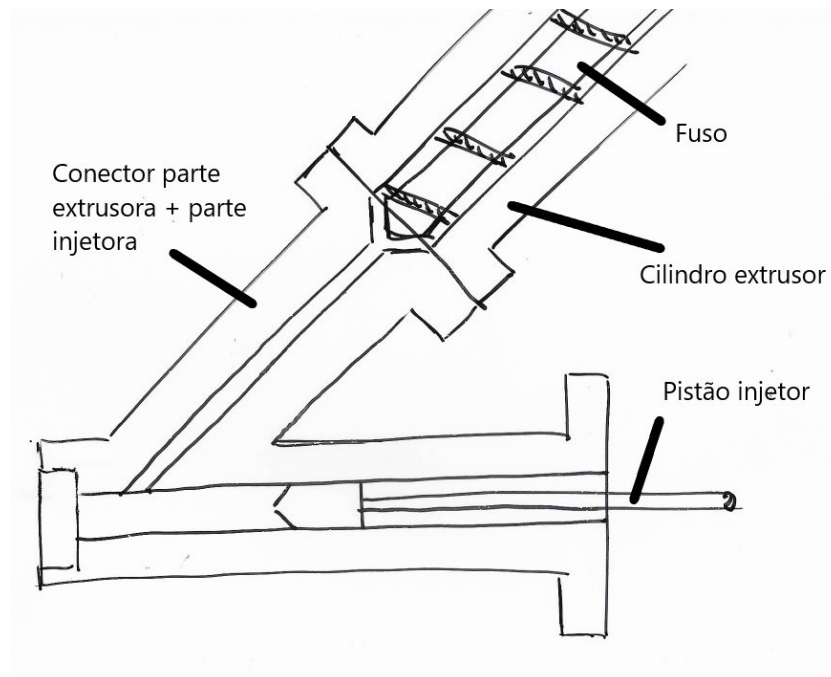


Figura 67 - Esboço da parte que faz ligação entre a parte extrusora e a parte injetora

3.4.2 Ideia do design da prensa onde o molde estará apertado

Forma estrutural da prensa

A forma da prensa ideal seria um design do tipo de perfil em “I” orientado, tal como mostra a Figura 68, pois o material seria distribuído nas zonas de maior tensão. Mas como a alma do perfil ficaria paralela ao eixo longitudinal da injetora, esta ocuparia muito espaço (dimensão “a” na Figura 68) e o perfil teria que ser cortado no centro para o bico injetor poder contactar o molde. Posto isto, decidiu-se orientar o perfil com a alma transversal à injetora tal como mostra a Figura 69, o que também permite reforçar o perfil nas zonas de maiores tensões.

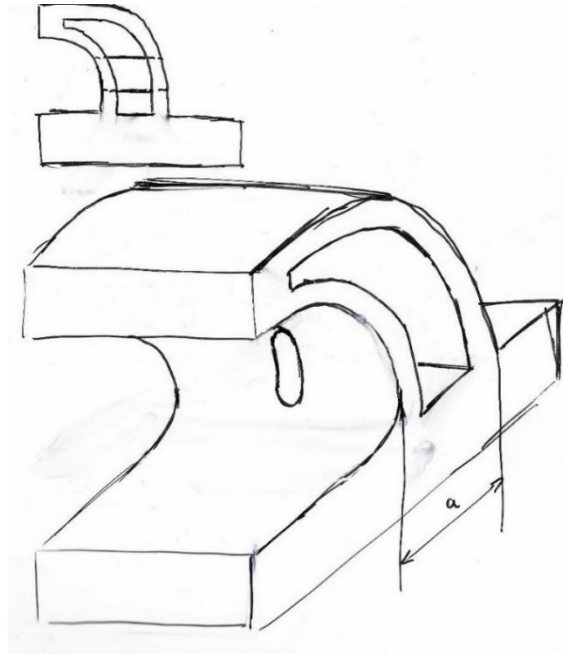


Figura 68 – Esboço da forma prensa inicial

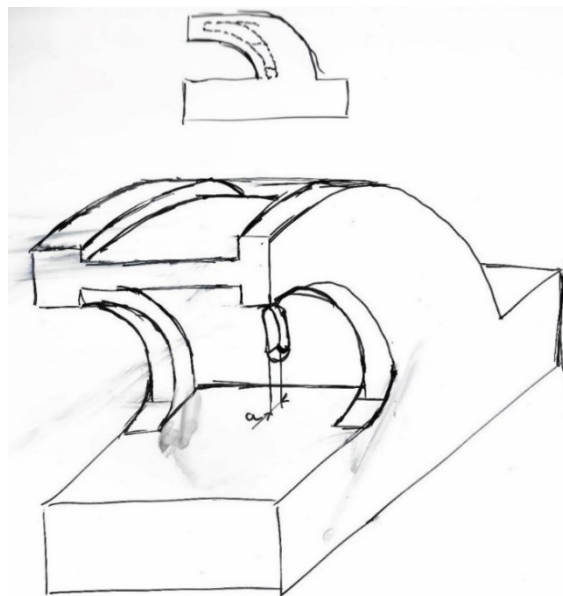


Figura 69 – Esboço da forma prensa final

Tipo de processo de fabrico da prensa

Pensou-se em dois possíveis processos de fabrico:

- 1) Dividir a prensa em várias chapas metálicas, ligar as chapas por soldadura e maquinar as zonas funcionais;
- 2) Fabricar a prensa por fundição por moldação e maquinar as zonas funcionais.

A solução de utilizar várias chapas e de as soldar seria uma opção com um processo de fabrico menos complexo, mas que necessitaria de grande perícia na soldadura para evitar empenos e cordões de soldadura frágeis. Além disso, a repetibilidade do processo de soldadura é inferior à de fundição por moldação de areia, pois depende da perícia do soldador.

Decidiu-se escolher a fundição por moldação de areia porque, depois de o molde ser validado, o processo é repetitivo, não depende da perícia do operador e as zonas de fragilidade seriam sempre as mesmas caso existissem. Aliado a isso está a economia de material porque o corte de chapas na solução anterior implicaria desperdiçar os restos da chapa em bruto e o processo de fundição por moldação de areia pode ser feito a partir da fusão direta de sucata, sendo a matéria-prima mais barata comparada à chapa que já passou por vários processos para ser fabricada.

Forma de fixação do molde

Para fixar o molde recorreu-se a chapas com rasgos em formato "T" invertido, tal como mostra a Figura 70.

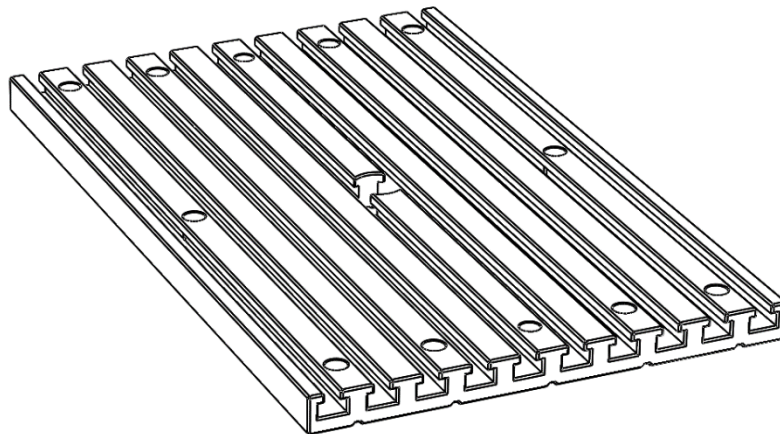


Figura 70 - Esboço chapa com rasgos em "T" invertido

3.4.3 Ideia se o conjunto constituído pela parte extrusora e parte injetora é móvel ou fixo

Definição de conjunto fixo ou móvel

As injetoras convencionais têm o bico injetor permanentemente fixo ao molde e o único movimento é o de o molde a abrir. No entanto, neste tipo de injetoras, de reduzidas dimensões, é uma mais valia colocar a injeção juntamente com o bico injetor móveis, ou seja, o bico injetor só contacta o molde momentos antes da injeção do plástico. Isto permite maior facilidade na montagem do molde e uma melhor estanquicidade entre o bico injetor e o molde.

Posto isto, decide-se colocar o conjunto da parte injetora e parte extrusora móveis.

Forma da estrutura de fixação do conjunto à restante injetora

Ideia 1

Primeiramente, a solução passava por suportar o conjunto constituído pela parte injetora e a parte extrusora num suporte que contenha também os carris e rolamentos e que é aparafusada à prensa, tal como mostra a Figura 71.

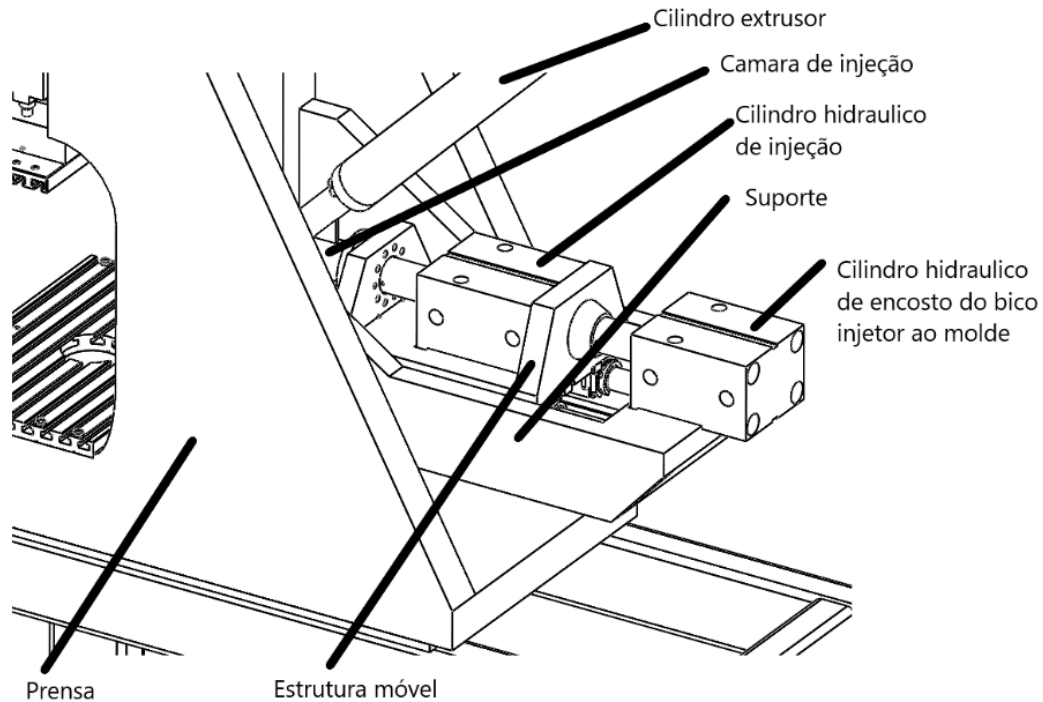


Figura 71 -Esboço da estrutura móvel inicial do conjunto constituído pela parte injetora e parte extrusora

Na Figura 71 estão representados dois cilindros hidráulicos responsáveis por fazer a injeção do material e encostar todo o conjunto até que o bico injetor contacte o molde. Estes cilindros estão dimensionados para fazerem forças na ordem das 3 toneladas, o que provoca uma grande concentração de tensões na estrutura móvel e no suporte, representados na Figura 71. Testes rápidos de elementos finitos revelaram que estas estruturas deformavam na ordem dos 2 milímetros, o que é um valor muito elevado considerando que o bico injetor deve manter concentricidade com o orifício do molde. Posto isto, foi necessário rever a solução.

Ideia 2

A solução passa por afixar o cilindro de encosto do bico injetor à estrutura de toda a injetora e montar o conjunto de injeção a dois veios deslizantes fixos na prensa (Figura 72). Desta forma reduz-se o peso de toda a estrutura, reduz-se a deformação da estrutura quando solicitada e consegue-se manter a concentricidade do bico injetor com o orifício do molde dentro de tolerâncias mais apertadas.

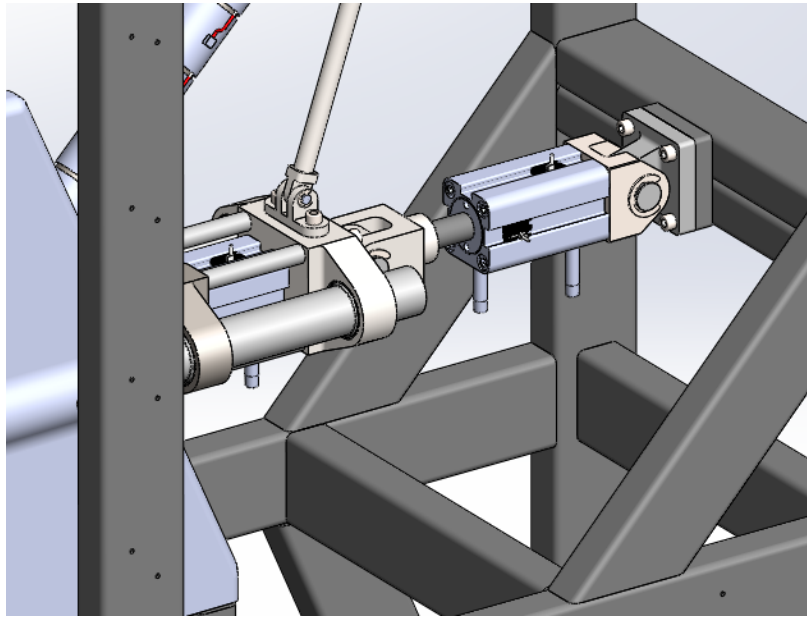


Figura 72 -- Estrutura móvel do conjunto constituído pela parte injetora e parte extrusora fixo na estrutura de suporte da injetora

3.4.4 Alimentação do plástico

A alimentação do plástico pode ser feita manualmente através do enchimento de uma tremonha colocada na injetora ou através de alimentação automática que pode alimentar a mesma tremonha ou diretamente o cilindro extrusor.

Tratando-se de uma injetora de reduzidas dimensões, vai ser utilizada uma tremonha de pequenas dimensões. Decide-se utilizar um sistema de alimentação automático por vácuo, tal como representado na Figura 73, que puxa o material plástico de um reservatório diretamente para a tremonha da máquina, não necessitando do constante reabastecimento da tremonha por parte do operador.



Figura 73 - Alimentador automático por vácuo da marca CONAIR (a) e tremonha (b)

O plástico poliamida, neste caso PA66, é um material muito higroscópico. O processo de extrusão deste material requer um cilindro de extrusão com capacidade para expulsar o vapor de água originário do plástico, um sistema de alimentação com secagem ou plástico em bruto previamente seco.

O sistema representado na Figura 73 foi escolhido considerando que o material plástico já vem previamente seco. No entanto, caso as condições da fábrica sejam de grandes índices de humidade, será necessário contemplar um alimentador com secador integrado. A CONAIR tem diferentes versões de alimentadores, inclusivamente com secador, que encaixam na tremonha representada na mesma figura.

3.4.5 Tipo de acionamento da injetora

Existem três tipos de acionamento possíveis de aplicar: o pneumático o elétrico e o hidráulico.

O acionamento pneumático não tem a potência suficiente para lidar com as forças e velocidades de avanço envolvidas neste projeto. Sistemas pneumáticos normalmente utilizam pressões de entre 5 a 10bar. Seria possível conseguir as forças requeridas através do uso de diâmetros de pistão suficientemente grandes, mas seria necessário um caudal que o sistema pneumático não conseguiria suportar e os cilindros tornavam-se demasiado grandes.

O sistema elétrico é a solução mais eficiente pois não existem tantas perdas de energia. É uma solução de acionamento menos complexa, mais compacta e silenciosa comparada aos outros dois tipos pois os cilindros só têm de ser alimentados por uma fonte elétrica. Qualquer sensor posicional já vem integrado no próprio cilindro e na ligação elétrica. Por fim, é uma solução mais precisa e responsiva.

Em contrapartida, por não ser muito utilizada e por os próprios elementos serem constituídos por muitas partes internas e por conseguinte mais complexos, torna-se uma solução mais dispendiosa a curto prazo.

Como tipo de acionamento da injetora escolheu-se o acionamento hidráulico porque é bem conhecido, é o mais comum neste tipo de equipamentos, mais económico e pelo facto de que a própria fábrica já ter instalado um circuito de alimentação hidráulica. No entanto, refere-se que a aplicação de uma solução totalmente elétrica é uma alternativa mais compacta, silenciosa e precisa, que pode ser aplicada depois de o presente projeto estar validado a nível de capacidade produtiva. A sua implementação seria uma mais valia pois tornava a injetora mais sustentável e silenciosa.

3.4.6 Forma de arrefecimento

Estes tipos de equipamentos utilizam elementos aquecidos a altas temperaturas que podem provocar a falha prematura de outros elementos como os cilindros hidráulicos, sensores, entre outros. Para proteger esses elementos das altas temperaturas, é necessário projetar um sistema de arrefecimento.

O arrefecimento pode ser feito por ventilação, água ou líquido refrigerante.

O arrefecimento por ventilação tornaria a injetora mais ruidosa. Além disso, necessitaria de maior manutenção pois as partículas de pó poderiam acumular-se nos ventiladores.

Neste caso, decidiu-se arrefecer a fronteira entre os elementos frios e quentes com água fornecida pelo circuito de água da fábrica.

3.5 Projeto final

3.5.1 Parâmetros de operação da injetora

Neste ponto são descritos os parâmetros de trabalho da injetora e que são imprescindíveis ao seu projeto, que são:

1. Materiais a serem injetados e suas propriedades;
2. Energia de plastificação do material plástico;
3. Tempo de arrefecimento da peça depois de injetada;
4. Tempo de ciclo;
5. Rotação e binário máximo do fuso;
6. Cadência – volume máximo de injeção da injetora;
7. Caudal necessário do fuso;
8. Força de fecho do molde;
9. Força de ejeção.

3.5.1.1 Materiais a serem injetados e suas propriedades

Na Tabela 8 estão mencionadas as propriedades e respectivos valores que são relevantes para o projeto.

Tabela 8 – Propriedades físicas e químicas dos materiais plásticos a serem injetados.

Abreviatura	Nome	Tipo	Observações	Pressão de injeção(bar)	Temperatura de injeção (C)	Temperatura de molde (C)	Contração (%)	Massa específica[g/cm ³]	Calor específico[J/kg K]	Condutividade térmica[W/mK] a 23C	Coef. De Poisson	Coef. de expansão térmica
HDPE	Poliétileno alta densidade	termoplástico	Semi-cristalino	800-1400	220-270	10-60	1,5-3	0,952	1900	0,45-0,52	0,487	0,000238
LDPE	Poliétileno de baixa densidade	termoplástico	Semi-cristalino	600-1200	180-280	5-50	1,5-2,5	0,894	1900-2300	0,33	0,41	0,00018
PA66	Nylon 6.6 ou poliamida	termoplástico	Semi-cristalino	1000-1600	260-320	70-120	0,5-2,5	1,14	1670	0,25	0,381	0,000107
PAG	Poliamida com fibra de vidro	termoplástico	(igual ao anterior)	(igual ao anterior)	(igual ao anterior)	(igual ao anterior)	(igual ao anterior)	(igual ao anterior)	(igual ao anterior)	(igual ao anterior)	(igual ao anterior)	(igual ao anterior)
POM	Poliacetil	termoplástico	Semi-cristalino	700-1200	180-230	50-150	1,8-2,5	1,41-1,42	1500	0,22-0,24	0,379	0,000118

3.5.1.2 Potência de plastificação do material plástico

Fontes bibliográficas referem que em média são necessários 166 W de potência para plastificar 1 kg de plástico.

3.5.1.3 Tempo de arrefecimento da peça

A equação de Wubken (4) permite o cálculo da estimativa do tempo de arrefecimento de uma peça (t_k).

$$t_k = \frac{S^2}{\alpha\pi^2} \cdot \ln \left[\left(\frac{8}{\pi^2} \right) \cdot \left(\frac{T_w - T_a}{T_w - T_b} \right) \right] \quad (4)$$

Com:

S – Espessura máxima da peça (ver Figura 57);

α – Difusividade térmica do material plástico;

T_w – Temperatura média do molde (Tabela 8);

T_a – Temperatura de injeção, ou seja, do fundido (Tabela 8);

T_b – Temperatura de extração (Tabela 5).

Recorrendo a uma folha excel chegou-se aos resultados representados na Figura 74.

s	0,003 m			
α (HDPE)	2,68134E-07	m ² /s		Tempo de arrefecimento[s]
α (LDPE)	1,75775E-07	m ² /s	HDPE	18
α (PA66)	1,31316E-07	m ² /s	LDPE	27
α (POM)	1,08363E-07	m ² /s	PA66	35
T_w (HDPE)	49 °C		POM	35
T_w (LDPE)	49 °C		Média	29
T_w (PA66)	139 °C		Maior	35
T_w (POM)	149 °C			
T_a (HDPE)	270 °C			
T_a (LDPE)	280 °C			
T_a (PA66)	320 °C			
T_a (POM)	230 °C			
T_b (HDPE)	50 °C			
T_b (LDPE)	50 °C			
T_b (PA66)	140 °C			
T_b (POM)	150 °C			

Figura 74 – Estimativa dos tempos de arrefecimento

Os dados de cálculo foram escolhidos dentro dos parâmetros recomendados e de forma a que os tempos de arrefecimento fossem os maiores possíveis, ou seja, a pior hipótese.

Chegou-se a um tempo de arrefecimento máximo de 35 segundos, correspondente aos materiais PA66 e POM.

3.5.1.4 Tempos de ciclo, cadência e força de fecho do molde

Sabe-se que cada terminal está pronto a ser injetado a cada 6 segundos e que cada peça demora 35 segundos a arrefecer. Como o tempo de arrefecimento é o mesmo independentemente do número de peças injetadas no mesmo ciclo, calcula-se o número de peças a serem injetadas ao mesmo tempo, de forma a que o tempo de ciclo por peça, durante a injeção, seja inferior a 6 segundos e não maior, para evitar tempo de disponibilidade à mais. Desta forma consegue-se aumentar a eficiência produtiva da injetora e evitar que seja o *bottleneck* do processo fabril.

A força de fecho é calculada utilizando a equação (1).

Para os cálculos considera-se um *dry cycle* de 3 segundos e um tempo de injeção de 1 segundo. Com estes valores juntamente com o tempo de arrefecimento máximo obtido no ponto anterior e recorrendo a uma folha excel chega-se aos resultados descritos na Figura 75.

Volume de peça	1,1483 cm ³											
Area de impressão por peça(A _p)	2,01 cm ²											
Pressão de injeção máxima dos materiais	1600 bar											
Dry cycle	3 s											
Tempo de arrefecimento máximo	35 s											
Tempo de injeção	1 s											
Nº de peças	Volume das peças[cm ³]	força de fecho(F _f)[kN]	tempo de injeção[s]	tempo de ciclo'(tempo sem a fase de arrefecimento)[s]	tempo de posicionamento das peças[s]	tempo de dry(tempo de ciclo'+tempo de espera)[s]	tempo de arrefecimento[s]	tempo de ciclo total[s]	Tempo de ciclo por peça[s]	TEMPO DE CICLO + TEMPO DE ESPERA[s]	Tempo de pausa[s]	
1,00	1,15	10,72	1,00	4,00	6,00	10,00	35,00	39,00	39,00	45,00	-33,00	
2,00	2,30	21,44	1,00	4,00	12,00	16,00	35,00	39,00	19,50	51,00	-27,00	
3,00	3,44	32,16	1,00	4,00	18,00	22,00	35,00	39,00	13,00	57,00	-21,00	
4,00	4,59	42,88	1,00	4,00	24,00	28,00	35,00	39,00	9,75	63,00	-15,00	
5,00	5,74	53,60	1,00	4,00	30,00	34,00	35,00	39,00	7,80	69,00	-9,00	
6,00	6,89	64,32	1,00	4,00	36,00	40,00	35,00	39,00	6,50	75,00	-3,00	
7,00	8,04	75,04	1,00	4,00	42,00	46,00	35,00	39,00	5,57	81,00	3,00	
8,00	9,19	85,76	1,00	4,00	48,00	52,00	35,00	39,00	4,88	87,00	9,00	

Figura 75 – Cálculo do tempo de ciclo, cadência e força de fecho do molde

O número de peças correspondente a um tempo de ciclo imediatamente inferior a 6 segundos é de 7 peças. Sendo assim, o volume total de peças por ciclo é de 8,04 cm³ a força de fecho é cerca de 75 kN, o tempo de ciclo por peça de 5,57 segundos e o tempo de espera da injetora por novas peças de 3 segundos.

3.5.2 Representação geral da injetora

Na Figura 76, Figura 77 e Figura 78 está representada a versão final da injetora. A injetora tem as seguintes medidas: 2938 mm de altura, 1632 mm de comprimento e 753 mm de largura.

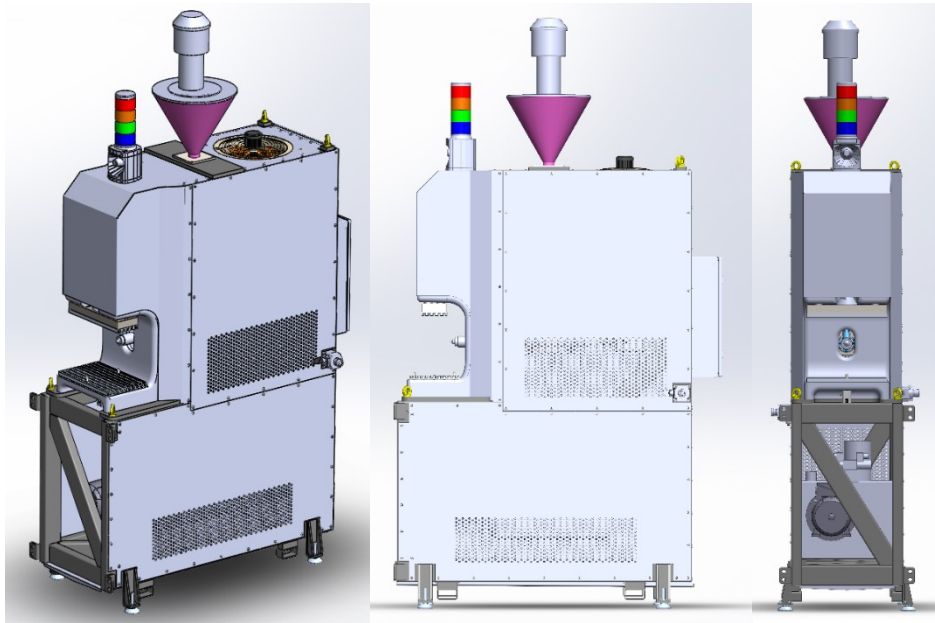


Figura 76 – Representação geral da injetora

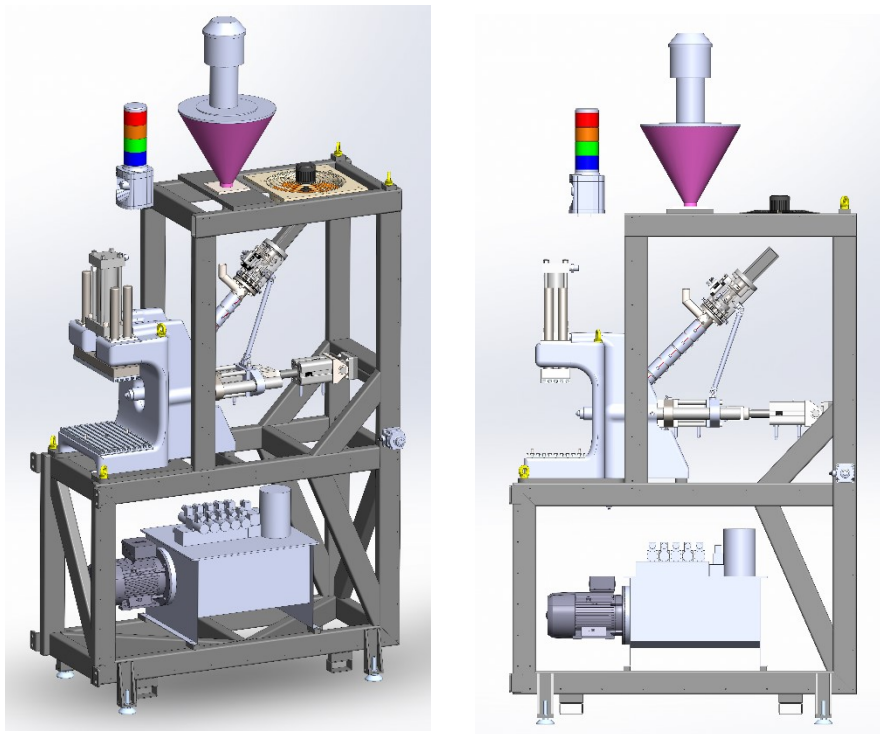


Figura 77 – Representação geral da injetora sem proteções

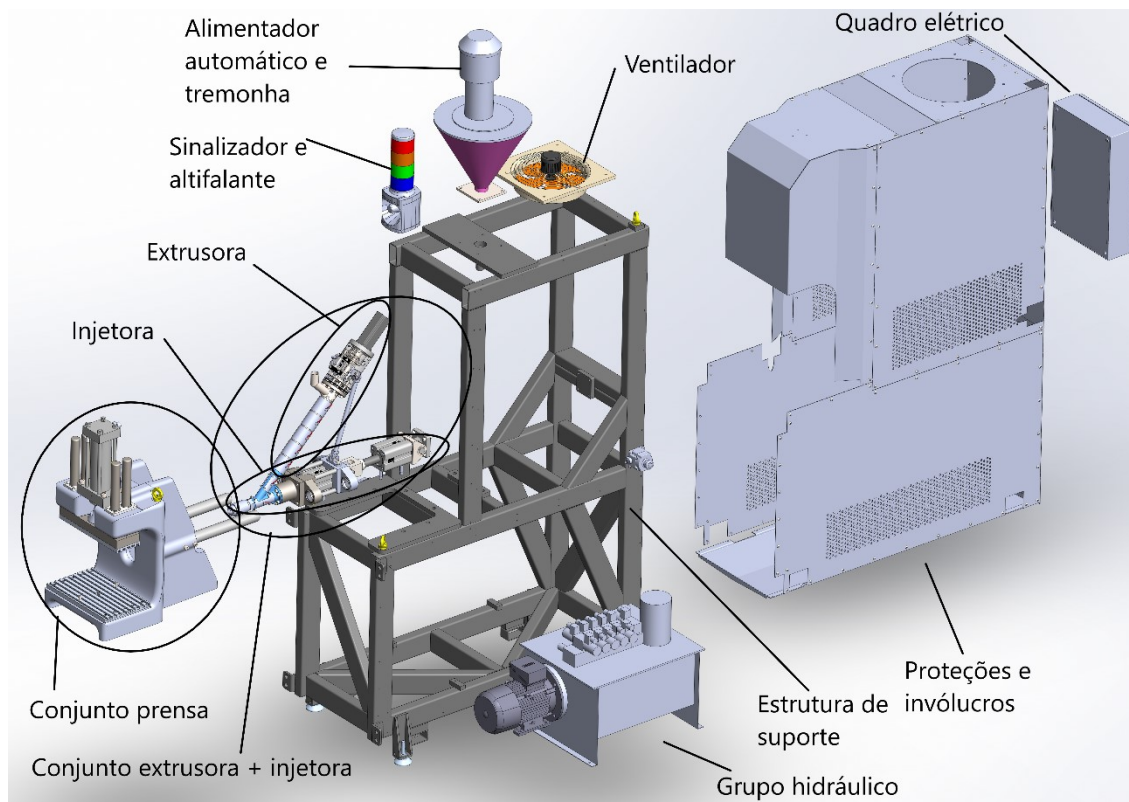


Figura 78 – Representação geral da injetora em vista explodida

O plástico é puxado pelo alimentador automático para a tremonha onde fica armazenado. Esse plástico passa por um tubo flexível para a extrusora onde é plastificado. De seguida, o plástico é extrudido para a injetora e posteriormente injetado pela injetora para o molde afixado no conjunto prensa. O ventilador serve de exaustor para retirar calor e possíveis toxinas do interior das proteções e invólucros. A estrutura de suporte alberga todos estes componentes.

O grupo hidráulico está contido no projeto para que futuramente a injetora possa funcionar independentemente sem necessitar de alimentação da fábrica. Todos os componentes do grupo hidráulico foram escolhidos em reunião com um especialista e um técnico da empresa Teclena, S.A., Porto. No ponto 3.5.6 apenas serão descritas as electroválvulas a serem utilizadas através de um esquema do circuito hidráulico. A bomba, depósitos e acessórios só constarão no ficheiro CAD da injetora para possível consulta e não serão especificados neste relatório pois não são imprescindíveis ao projeto.

3.5.2.1 Conjunto prensa

Na Figura 79 está representado o conjunto da prensa em uma vista explodida com os componentes numerados (componentes como parafusos, porcas, cavilhas e anilhas não são numerados).

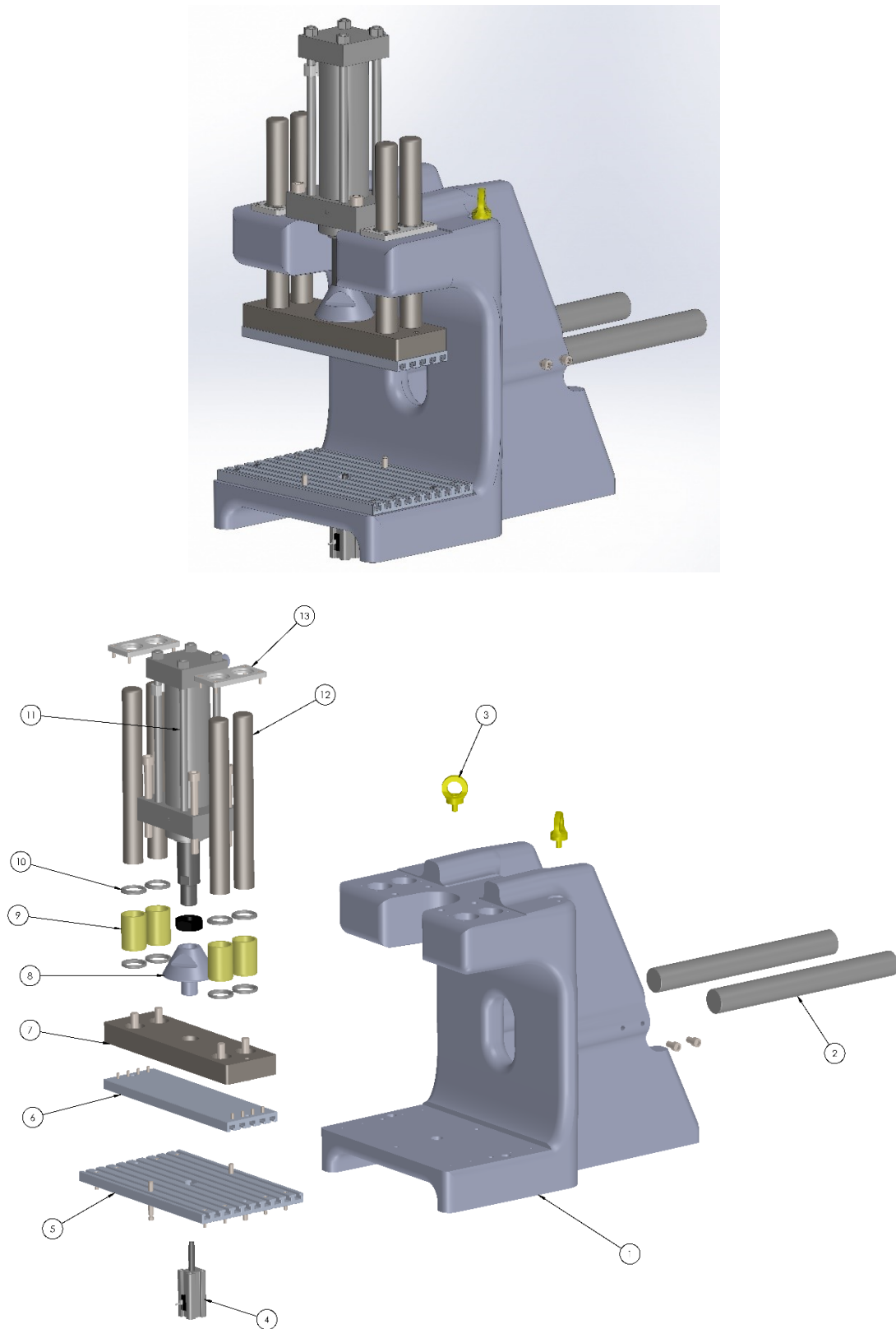


Figura 79 – Conjunto da prensa com vista explodida e numeração dos componentes

Legenda da Figura 79:

1. Estrutura da prensa;

2. Veios de guiamento do conjunto extrusora + injetora;
3. Argolas para transporte;
4. Cilindro de ejeção;
5. Base inferior com rasgos em “T” para fixação do molde;
6. Base superior com rasgos em “T” para fixação do molde;
7. Base de abertura de molde;
8. Adaptador do cilindro 11 para a base 7;
9. Casquilho de bronze grafitado;
10. Raspadores para limpar partículas de sujidade e pó das colunas 12;
11. Cilindro para fecho e abertura do molde;
12. Colunas de guiamento;
13. Tampa dos casquilhos e alojamento dos raspadores superiores.

As colunas (12) e a base (7) foram dimensionadas tomando como base conjuntos já existentes para o mesmo efeito fabricados por marcas como a Roemheld.

A seleção dos veios (2) e dos cilindros (4 e 11) está descrita no ponto 3.5.3.

O motivo pela escolha de casquilhos em bronze grafitados (9) como elementos de quia das colunas (12) está no facto de serem mais económicos, aguentarem esforços superiores e serem mais estáveis (pois a área de contacto com as colunas é maior) e por serem auto lubrificadas, ao contrário de rolamentos lineares de corpos rolantes.

Os raspadores (10) evitam que partículas de pó e sujidades que se agreguem às colunas (12) sejam levadas para os casquilhos (9) diminuindo a sua vida útil.

3.5.2.2 Conjunto extrusora + injetora

Na Figura 80 está representado o conjunto da parte extrusora mais a parte injetora em uma vista explodida.

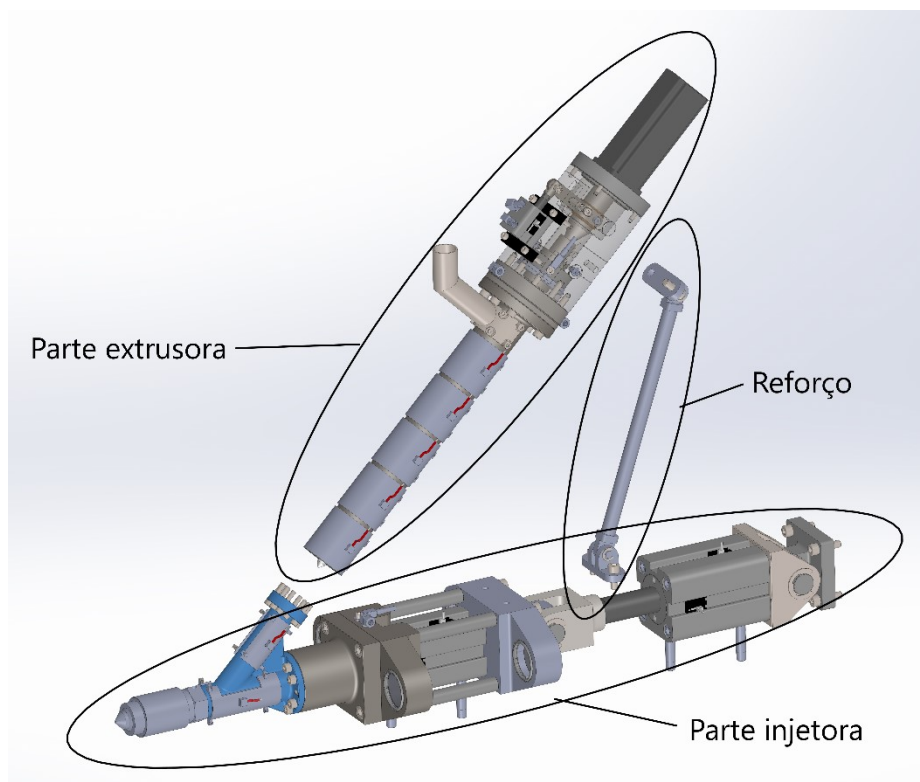
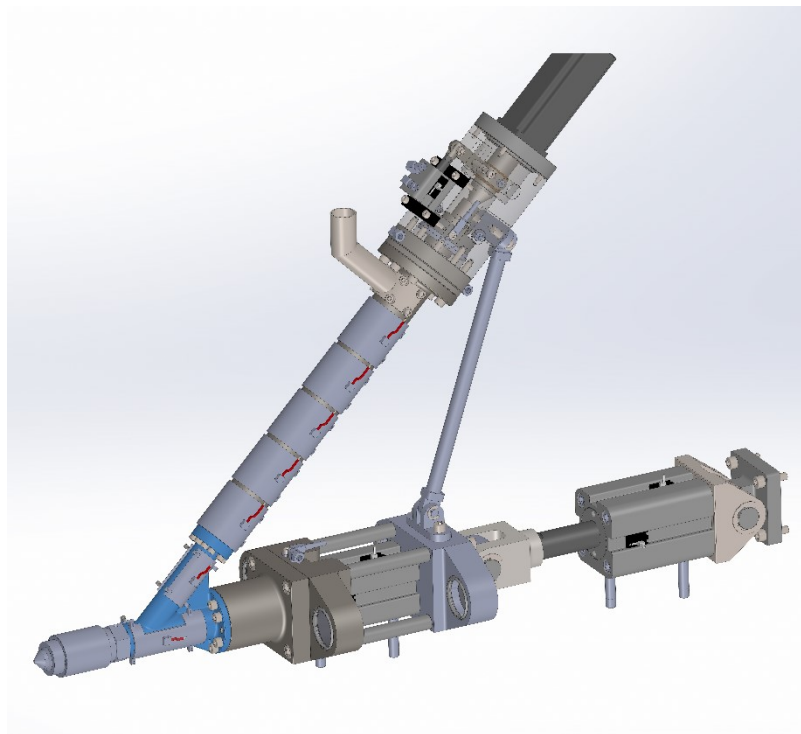


Figura 80 – Conjunto extrusora + injetora com vista explodida

O reforço representado na Figura 80 foi desenhado para tornar o conjunto mais rígido e evitar concentrações de tensões na ligação da parte extrusora com a parte injetora.

3.5.2.2.1 Parte extrusora

Na Figura 81 está representada a parte extrusora com vista explodida.

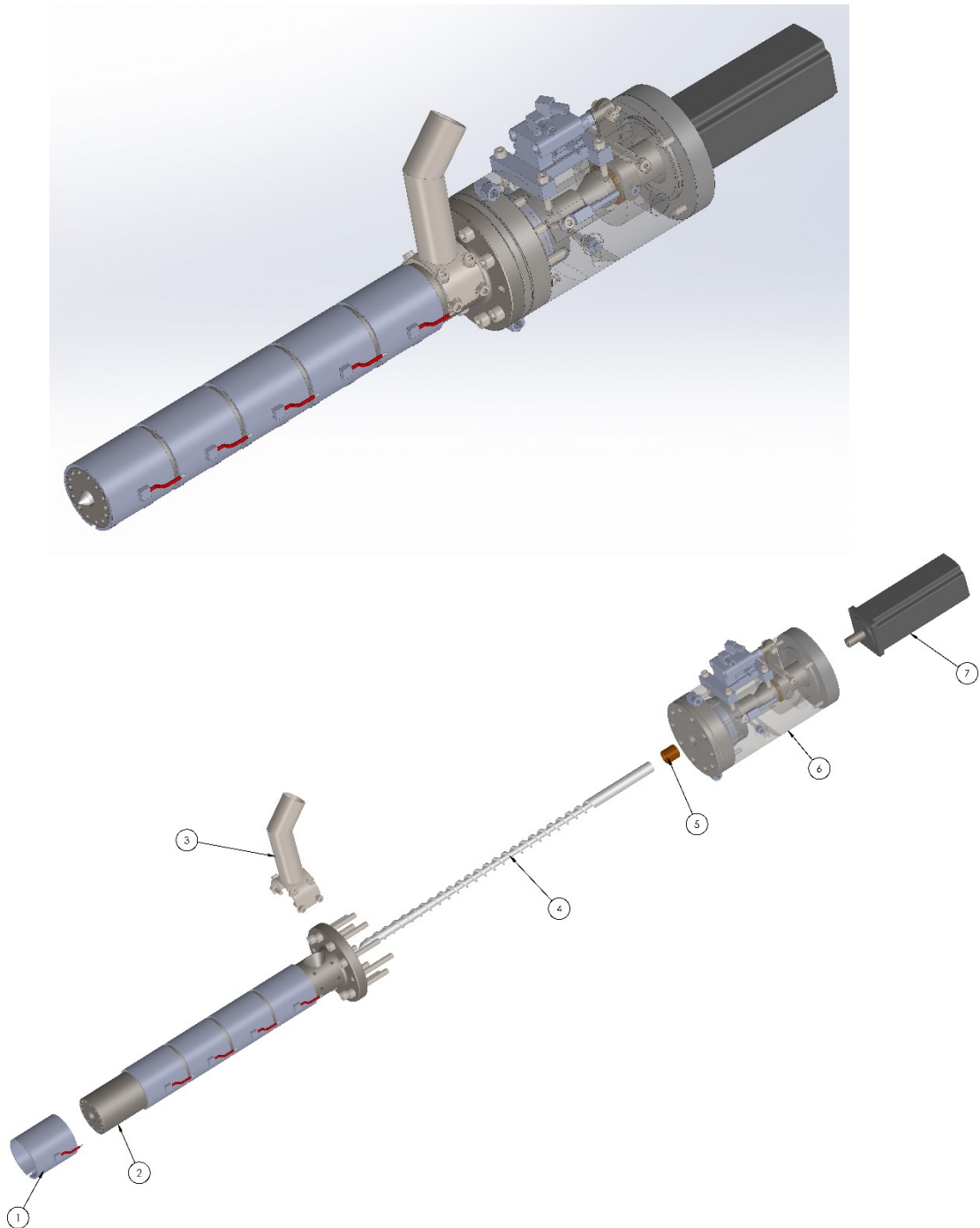


Figura 81 – Parte extrusora em vista explodida

Legenda da Figura 81:

1. Resistências para aquecimento do cilindro plastificador;
2. Cilindro plastificador;
3. Tubo de alimentação do plástico sólido;
4. Fuso;

5. Casquilho de bronze e ferro impregnado com óleo lubrificante;
6. Parte de motorização do fuso;
7. Motor elétrico.

Recorreu-se a 5 resistências iguais e com leitura de temperatura individual, igualmente espaçadas no cilindro plastificador, para criar 5 zonas de aquecimento pois é o normalmente usado. Decidiu-se colocar um casquilho (5) na extremidade traseira do fuso para criar um segundo apoio e evitar que o fuso contacte com as paredes do cilindro plastificador. Para evitar que o alimentador automático de plástico esforce a extrusora com a sua massa decidiu-se colocar o alimentador na estrutura da injetora e criar um tubo flexível que ligue o alimentador ao tubo (3).

3.5.2.2.2 Motorização da parte extrusora

Na Figura 82 está representado o conjunto dos componentes que transferem rotação e translação ao fuso.

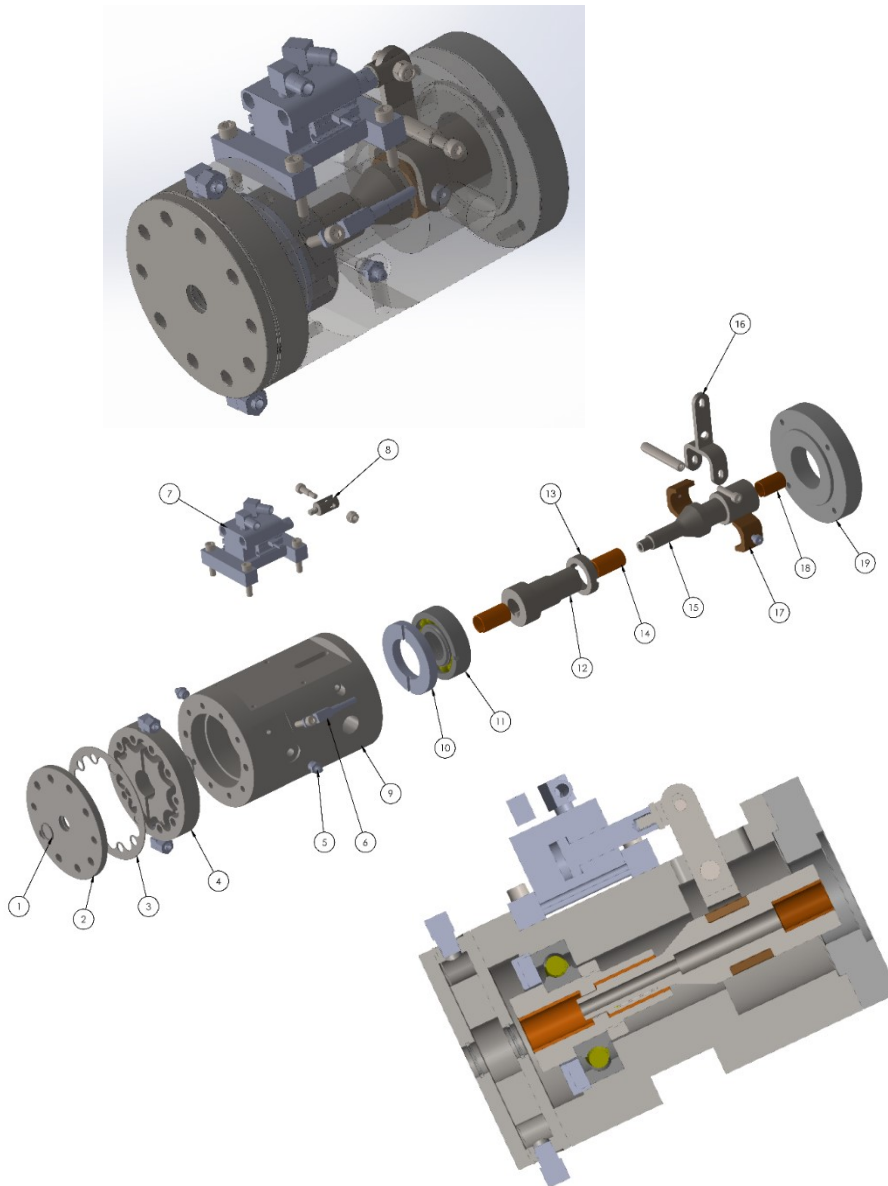


Figura 82 – Motorização do fuso com vista explodida e vista de corte

Legenda da Figura 82:

1. Vedante dinâmico;
2. Tampa do conjunto de refrigeração;
3. Junta do conjunto de refrigeração. É colocada entre o componente 2 e 4;
4. Corpo do conjunto de refrigeração;
5. Bocais para inserção de massa lubrificante para o rolamento;
6. Sensor de temperatura;
7. Cilindro que empurra o fuso;
8. Adaptador do cilindro para a alavanca 16;
9. Corpo de alojamento dos componentes;
10. Porca interior para fixar o anel exterior do rolamento;
11. Rolamento angular de 4 pontos;
12. Suporte do rolamento;
13. Porca para aperto dos anéis interiores do rolamento;
14. Casquilho de bronze;
15. Veio de fecho que transmite rotação e translação ao fuso;
16. Alavanca;
17. Semi anéis de bronze;
18. Casquilho de bronze;
19. Adaptador para fixação do motor elétrico.

O conjunto refrigerador é composto pelos componentes 1, 2, 3, e 4 e tem o propósito de isolar os restantes componentes da temperatura do cilindro plastificador e do fuso. O fuso passa no furo central destes componentes onde está em contacto com a água. São utilizados dois vedantes dinâmicos para estanquicidade do conjunto, um no componente 2 e outro no componente 4. São considerados vedantes dinâmicos pois são utilizados em elementos que se movem entre si.

Os casquilhos de bronze (14 e 18) são simples e recortados para permitirem o uso de chavetas de forma a se transferir rotação entre os componentes.

Os semi anéis de bronze são utilizados para não criarem atrito no veio de fecho (15) e transmitirem translação ao fuso.

3.5.2.2.3 Parte injetora

Na Figura 83 está representada a parte injetora em vista explodida e de corte.

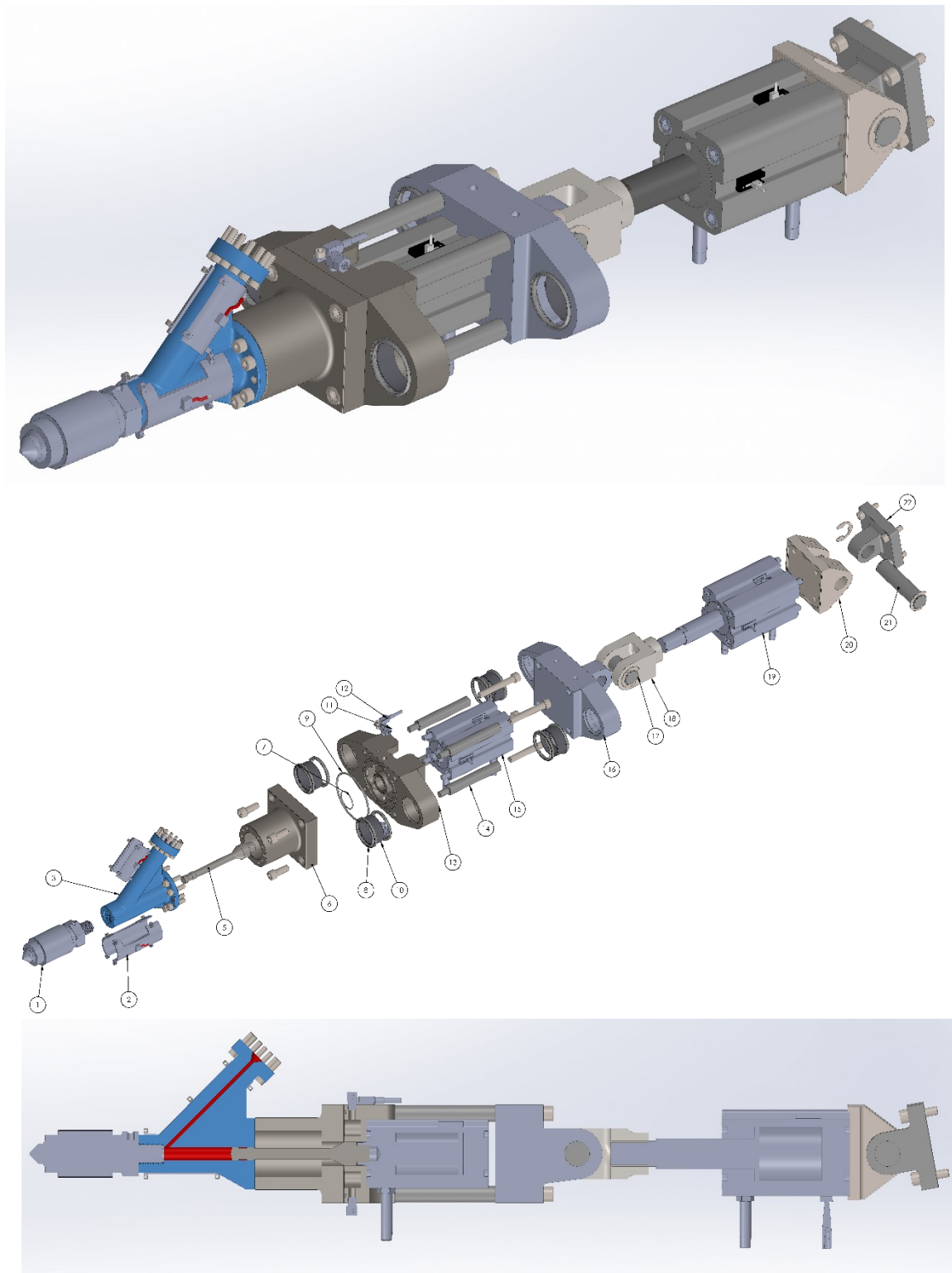


Figura 83 – Parte injetora em vista explodida e vista de corte

Legenda Figura 83:

1. Bico de injeção;
2. Resistência elétrica para aquecimento da camara de injeção;
3. Cilindro de ligação entre extrusora e injetora;
4. Resistência elétrica para aquecimento do canal de escoamento;

5. Pistão de injeção;
6. Tampa do conjunto refrigerador;
7. Vedante interior;
8. Raspador;
9. Vedante exterior;
10. Casquilho de polímero;
11. Conexão para alimentação de água para arrefecimento;
12. Sensor de temperatura;
13. Corpo do conjunto refrigerador;
14. Colunas espaçadoras;
15. Cilindro de injeção;
16. Suporte do cilindro de encosto ao molde;
17. Pino;
18. Adaptador do cilindro de encosto e suporte (16);
19. Cilindro de encosto ao molde;
20. Adaptador de montagem do cilindro de encosto;
21. Pino;
22. Adaptador de fixação à estrutura da injetora.

O conjunto refrigerador da parte injetora é composto pelos componentes 6, 7, 9, 11 e 13. Tem o objetivo de isolar os restantes componentes do componente 3 que é aquecido. Simulações térmicas de fluido (feitas no ponto 3.5.3) demonstram que não é necessário existir contacto direto da água com a haste do pistão de injeção ou a haste do cilindro de injeção, e por isso utilizam-se vedantes estáticos para vedar o conjunto refrigerador.

Escolheram-se casquilhos (10) pois são consideravelmente mais económicos, de fácil manutenção e autolubrificadas comparando aos rolamentos lineares de corpos rolantes. Estes casquilhos são feitos de material polimérico com a mesma resistência ao desgaste que um casquilho de bronze, mas mais económicos.

Para evitar que sujidades e poeiras entrem no alojamento do casquilho e entre o casquilho e o veio guia utilizam-se raspadores (8).

Para acoplamento do cilindro de encosto (19) utilizam-se adaptadores (18 e 20) de pino que permitem pequenas variações de concentricidade entre o cilindro e o bico injetor.

As resistências elétricas foram selecionadas em reunião com um especialista em injeção plástica e que está acostumado a lidar com o aquecimento do material plástico.

3.5.2.3 Funcionamento da válvula antirretorno

A seguir está descrito o funcionamento da válvula de fecho sendo distinguida a posição de abertura e fecho.

Aberto (extrusão do material plástico para a camara de injeção) (Figura 84)

Quando o fuso está retraído, este não encosta no componente a azul e deixar passar o plástico fundido que viaja pelo canal de escoamento e entra na camara de injeção, (Figura 84 (A)). A alavanca puxa o veio de fecho que retrai o fuso, (Figura 84 (B)). A força que o plástico provoca no fuso ao ser fundido ajuda a manter o fuso retraído. Quando o fuso é retraído, este encosta no suporte do rolamento transferindo a força que o plástico provoca para o rolamento. O suporte do rolamento está solidário com o rolamento que

por si está solidário com a estrutura. O fuso desliza no suporte do rolamento. O veio de fecho desliza sobre o suporte do rolamento e no eixo do motor elétrico.

A rotação do motor elétrico é transferida para o veio de fecho que transfere para o suporte do rolamento que está solidário com o próprio rolamento e, por último, a rotação é transferida para o fuso. Toda esta transferência é feita através de chavetas entre os elementos mencionados.

Entre estes elementos encontram-se casquilhos de bronze feitos à medida para diminuir o atrito no deslize dos elementos. Como o deslize entre elementos é de pequenas dimensões (não mais que 10 mm), a baixas velocidades e baixas forças (sendo forças provenientes apenas da massa dos componentes) não se escolheram casquilhos grafitados. No entanto, é necessário comprovar esta decisão através de testes práticos realizados depois do fabrico da injetora.

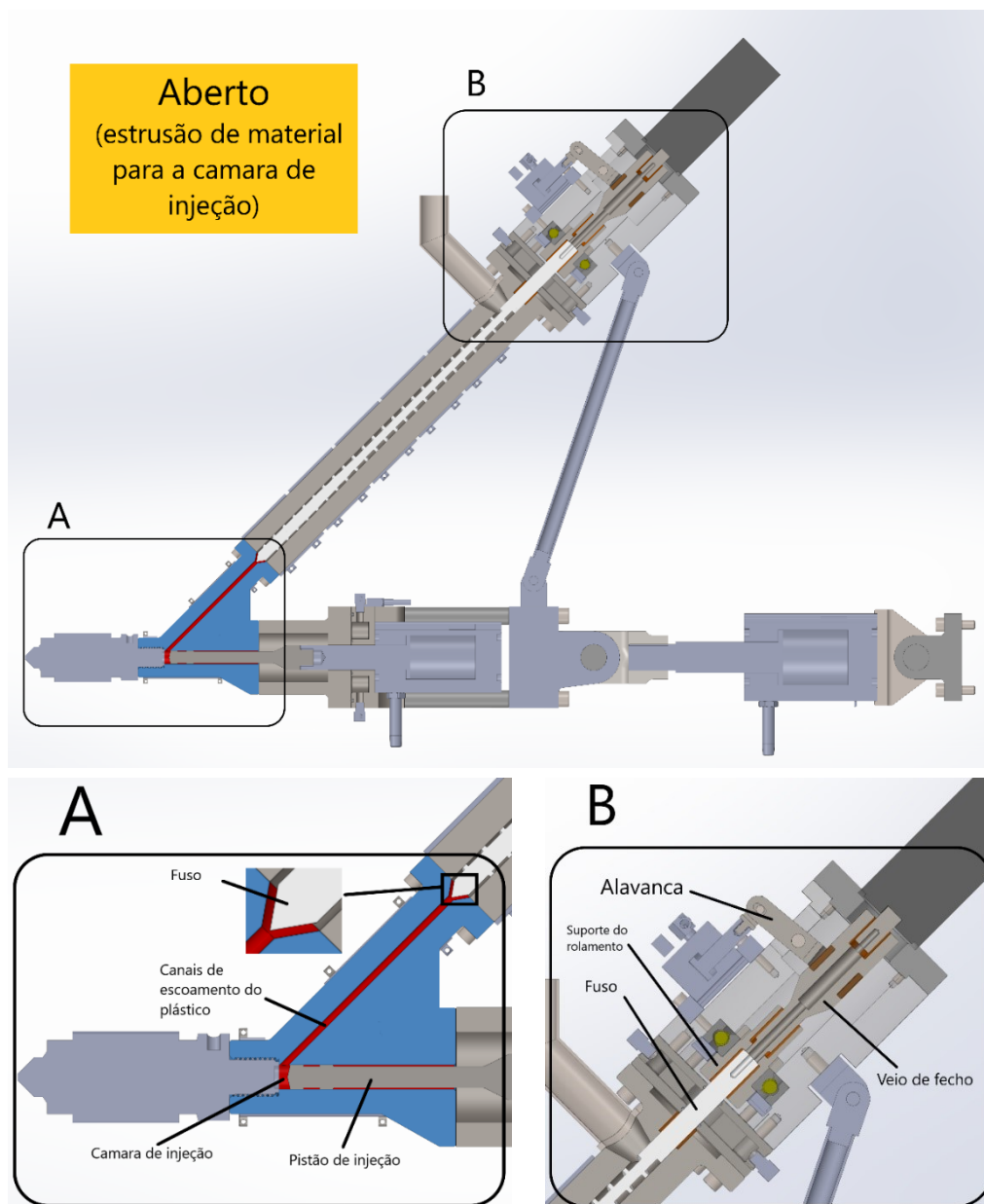


Figura 84 – Vista em corte do funcionamento da válvula antirretorno (aberta).

Fechado (injeção do material para o molde)

Quando o material plástico é injetado para o molde a alavanca empurra o veio de fecho que empurra o fuso (Figura 85 (B)) contra o componente a azul fechando o orifício de passagem do material plástico (Figura 85 (A)).

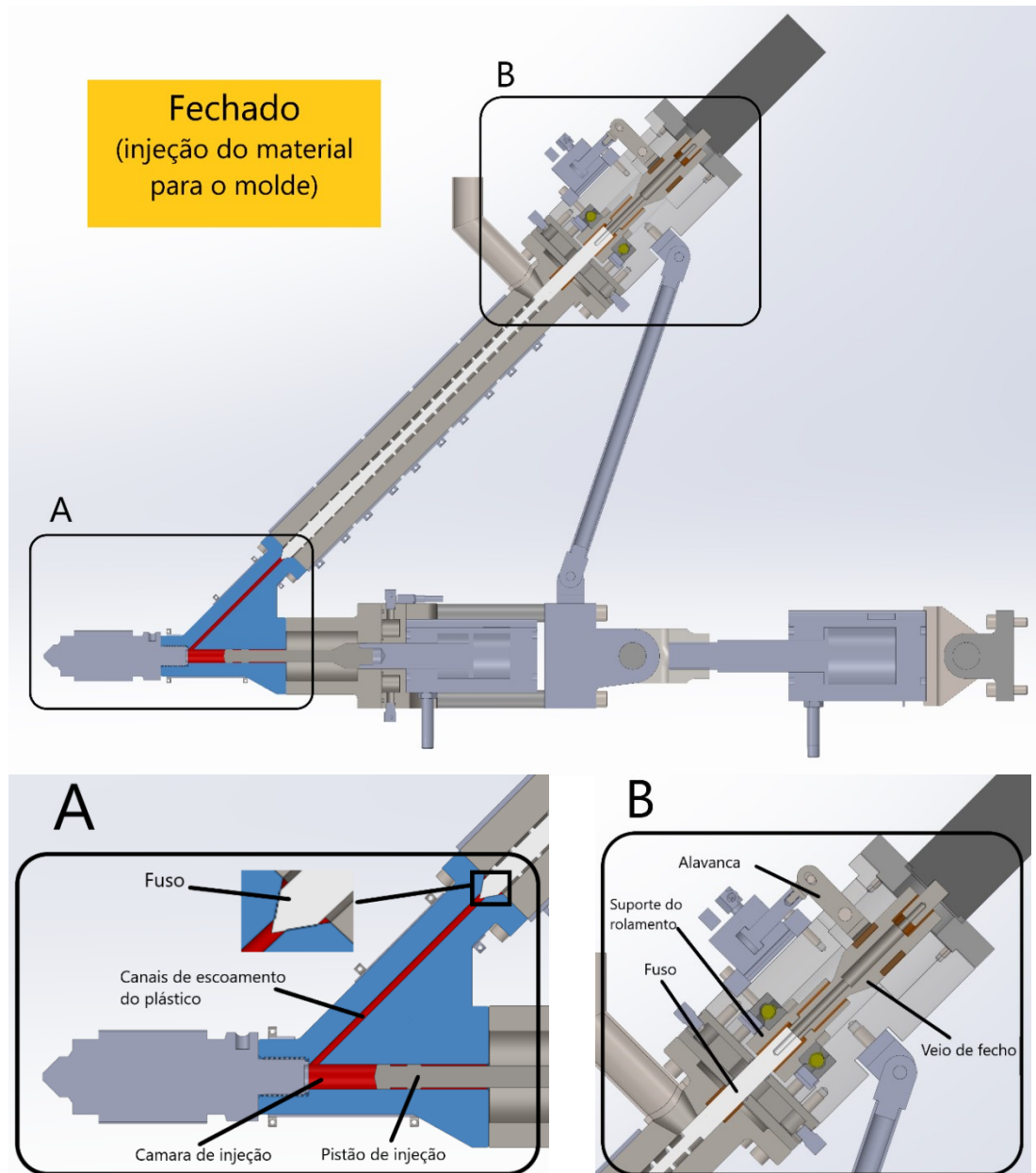


Figura 85 – Vista em corte do funcionamento da válvula antirretorno (fechada).

3.5.3 Lista de componentes

Para tomar conhecimento de todos os componentes pertencentes a este projeto consultar os desenhos de conjunto e fabrico no anexo “Desenhos de fabrico”.

3.5.4 Dimensionamento dos componentes e seleção de acessórios

Neste capítulo são descritos todos os componentes que se acha ser necessária a documentação do seu projeto.

Em alguns componentes é feita uma validação através de análise estrutural pelo método de Elementos Finitos, considerando o software Solidworks. Nesta validação é mostrado como os componentes foram fixos e as solicitações impostas. À exceção da estrutura de suporte, todos os restantes componentes foram considerados como sólidos e foi considerada uma malha de elementos triangulares. Para a convergência de malha foi utilizado o processo automático “*h – adaptive*” do Solidworks para fazer a convergência automaticamente e com os parâmetros ilustrados na Figura 86.

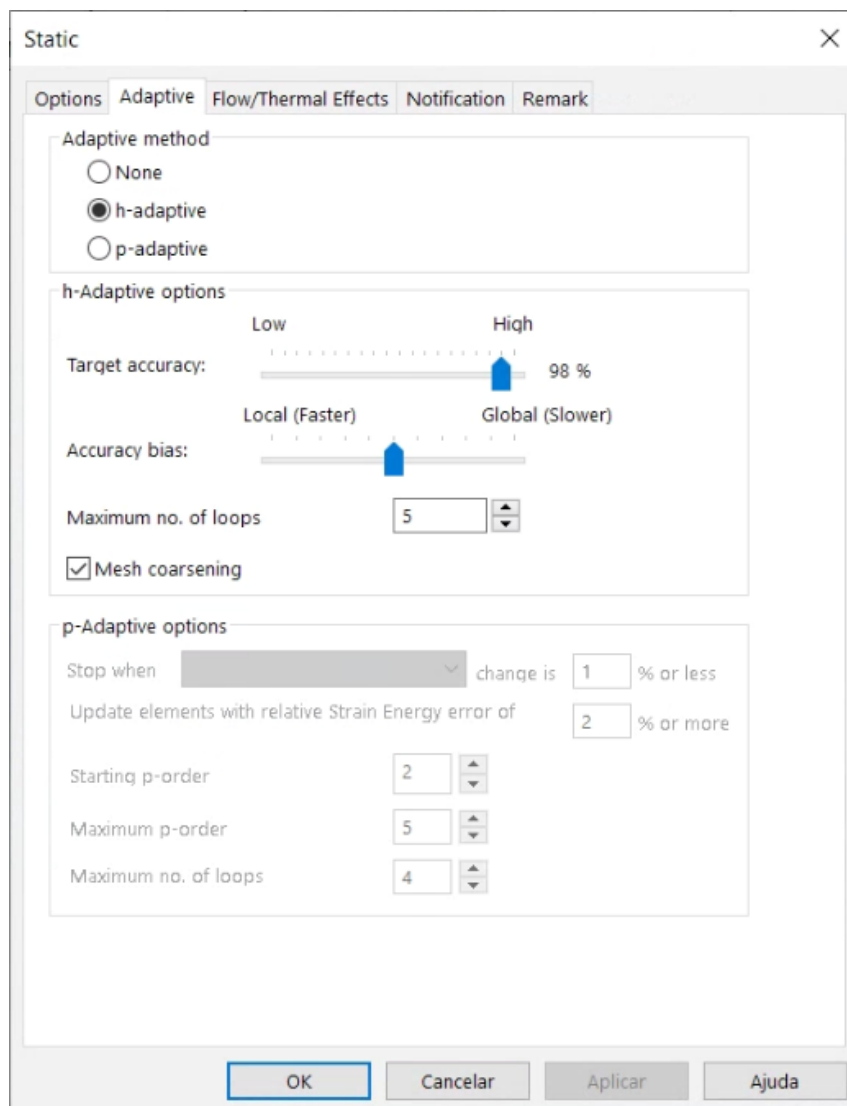


Figura 86 – Parâmetros do programa de convergência de malha automática

A ordem de documentação e numeração dos componentes será feita de acordo com o ponto 3.5.2 pelo que é necessário analisar as figuras correspondentes a cada conjunto.

Valores de deformação aceitáveis

Consideram-se aceitáveis valores de deslocamento inferiores a 0.5mm.

Serão documentados os seguintes componentes:

Estrutura de suporte (Figura 78);

Conjunto prensa (Figura 79);

- Estrutura da prensa (1);
- Cilindro de fecho e abertura do molde (11);
- Cilindro de ejeção (4);

Parte extrusora (Figura 81);

- Fuso (4);
- Fuso (4) e cilindro plastificador (2);
- Motor elétrico (7);

Motorização da parte extrusora (6) (Figura 82);

- Tampa do conjunto de refrigeração (2);
- Junta do conjunto de refrigeração (3);
- Corpo do conjunto de refrigeração (4);
- Rolamento (11);
- Suporte do rolamento (12);
- Veio de fecho (15);
- Alavanca (16);
- Cilindro da alavanca (7);

Parte injetora (Figura 83);

- Pistão de injeção (5);
- Cilindro de injeção (15);
- Cilindro de ligação (3);
- Tampa do conjunto refrigerador (6);
- Corpo do conjunto refrigerador (13);
- Colunas espaçadoras (14);
- Suporte do cilindro de encosto ao molde (16);
- Adaptador cilindro de encosto (18);
- Adaptador de montagem do cilindro de encosto (20);
- Adaptador de fixação à estrutura da injetora (22);
- Pinos (17 e 21);
- Cilindro de encosto ao molde (19);

3.5.4.1 Estrutura de suporte

A Figura 87 representa a estrutura de suporte com as cotas de atravancamento.

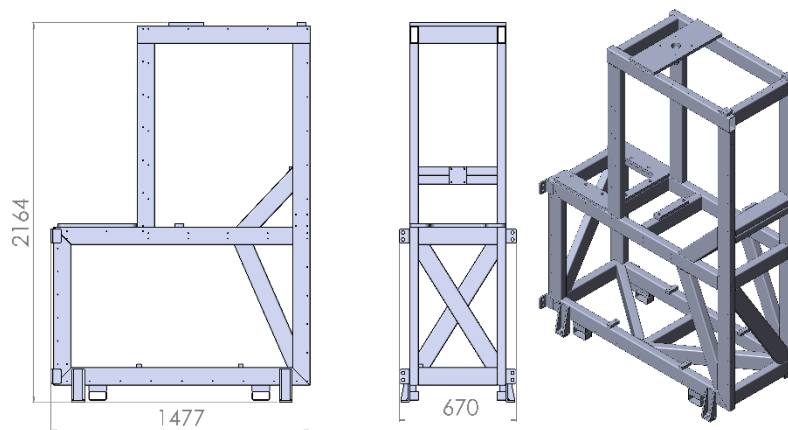


Figura 87 – Estrutura de suporte e cotas de atravancamento

O perfil tubular utilizado tem as dimensões de 100 por 50 mm com espessura de parede de 4mm.

Validação

Na Figura 88 estão representadas as fixações e solicitações impostas no componente. Considera-se um aço com 205 GPa de módulo de elasticidade longitudinal.

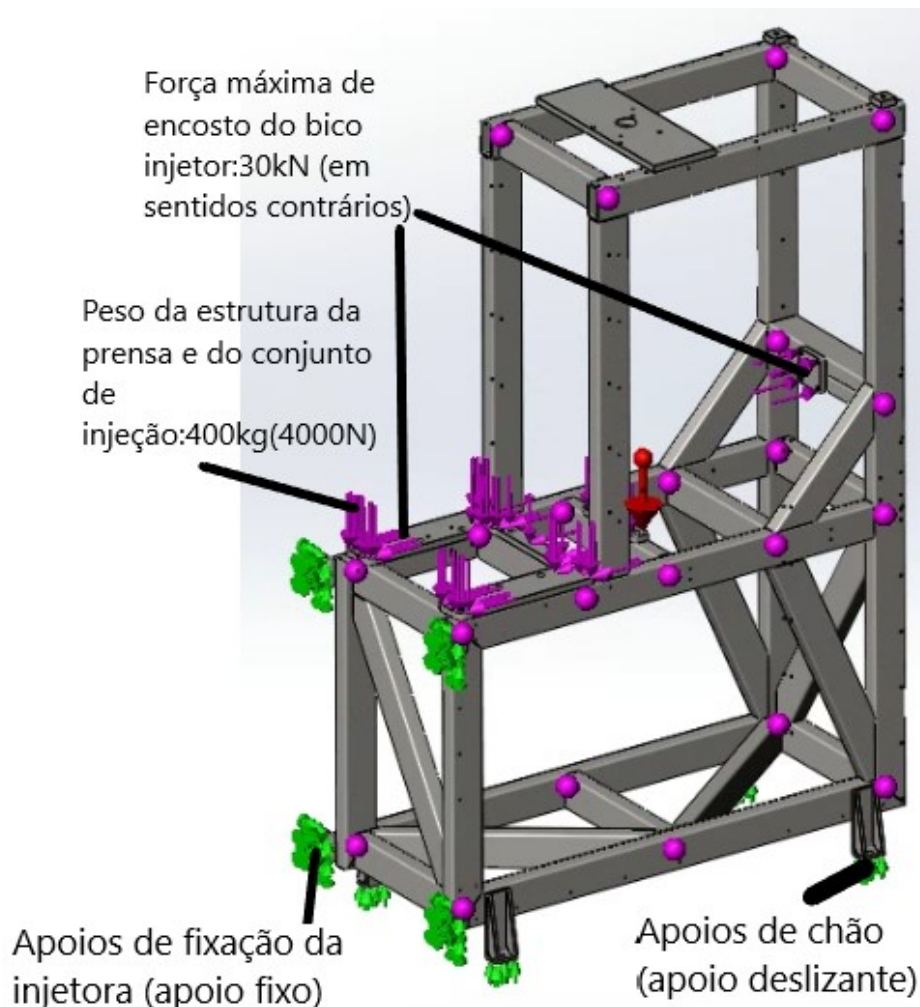


Figura 88 – Fixações e solicitações da estrutura de suporte

Nesta simulação estática foram tidas em conta dois tipos de malha, malha de elementos de viga utilizada nos componentes tubulares e malha de elementos triangulares para os sólidos que apoiam nos elementos tubulares. Por isso obtiveram-se 2 gráficos de distribuição de tensões (Figura 89 e Figura 90).

Resultados

Na Figura 89, Figura 90, Figura 91 e Figura 92 estão representadas, respetivamente, as distribuições de tensões axiais nos elementos de viga, a distribuição de tensões nos elementos sólidos, distribuição de tensões nos elementos sólidos acima de 50 MPa e a distribuição de deformações.

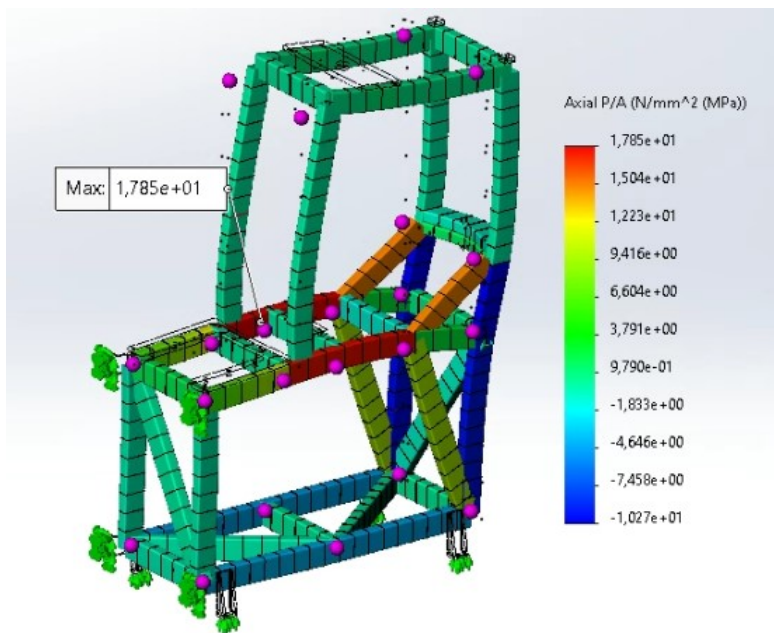


Figura 89 – Distribuição de tensões de Von Mises nos elementos de viga da estrutura de suporte

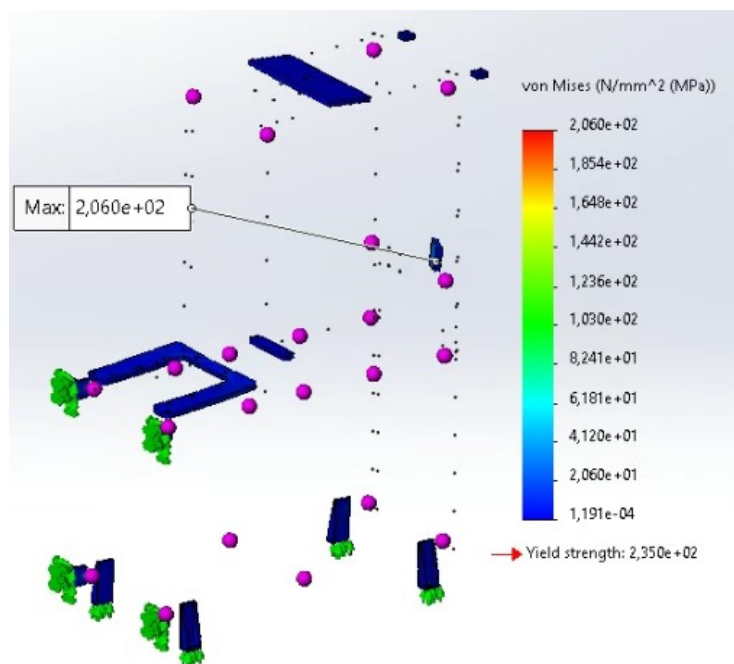


Figura 90 – Distribuição de tensões de Von Mises nos elementos sólidos da estrutura de suporte

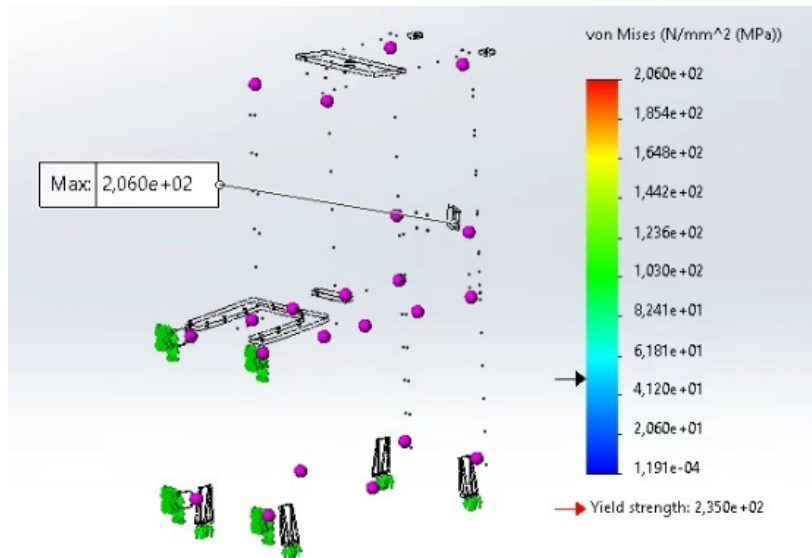


Figura 91 – Distribuição de tensões de Von Mises nos elementos sólidos acima de 50 MPa da estrutura de suporte

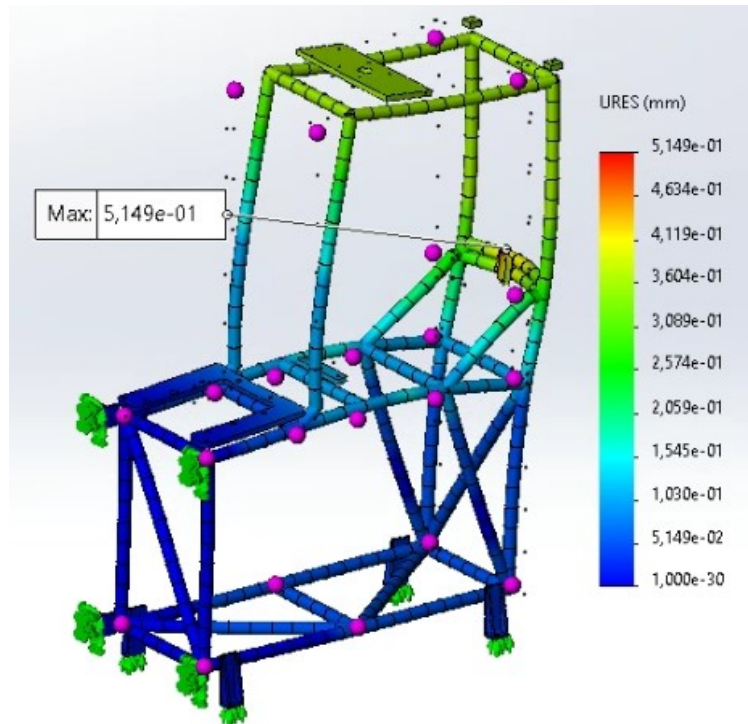


Figura 92 – Distribuição de deslocamentos resultantes da estrutura de suporte

Conclusões e comentários

Feita uma análise a estas distribuições repara-se que a tensão máxima é de 206 MPa, no entanto, se se analisar a Figura 91 repara-se que essas tensões resultam de imprecisões de cálculo pois são localizadas e sem qualquer ligação com o restante sólido. Por isso considera-se que a tensão máxima do componente não ultrapassa os 50 MPa.

Relativamente às deformações, a deformação máxima é cerca de 0,5 mm

3.5.4.2 Conjunto prensa

3.5.4.2.1 Estrutura da prensa

Na Figura 93 está representada a estrutura da prensa com as respetivas dimensões de atravancamento.

Como este componente foi idealizado para ser produzido em moldação por areia auto secativa, todas as faces foram projetadas com uma ligeira inclinação de forma a que o componente seja facilmente retirado do molde. A linha de separação do molde e a respetiva direção de abertura estão representadas na Figura 93 pela linha A e as setas opostas, respetivamente.

As faces a laranja ilustradas na Figura 93 representam as zonas maquinadas da prensa.

O material da prensa será um ferro fundido cinzento pois é mais barato que um aço, é muito utilizado na indústria de máquinas e equipamentos industriais e revelou resistência e rigidez suficientes para a aplicação em causa, tal como mostram as simulações realizadas a seguir.

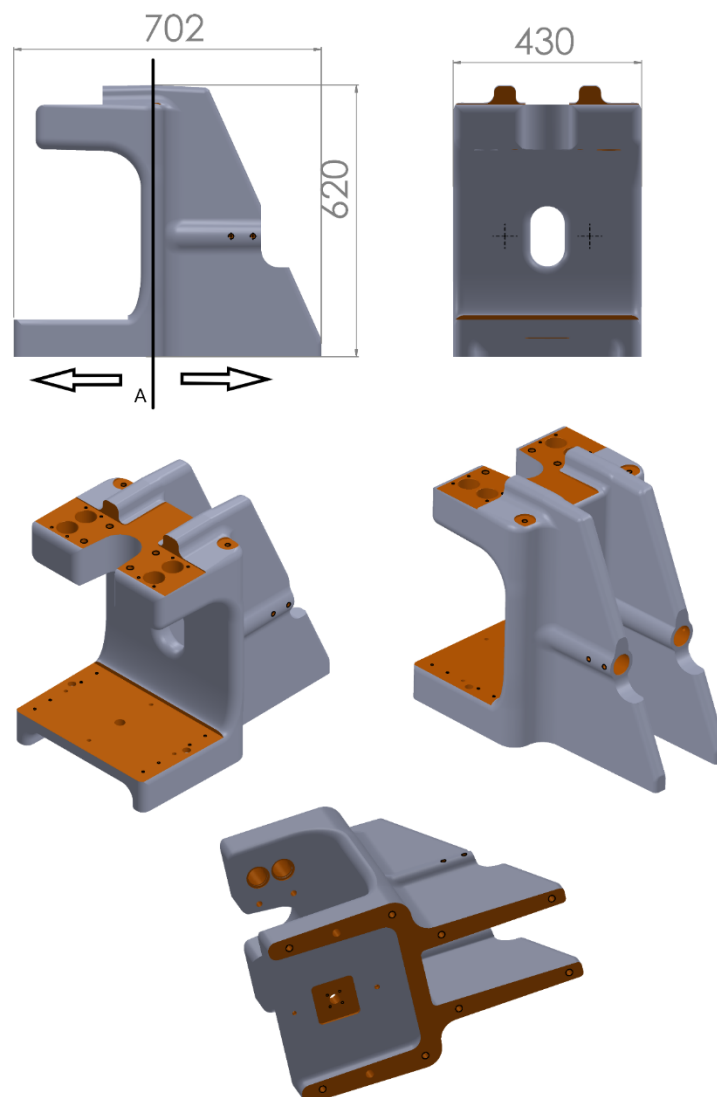


Figura 93 – Prensa

Validação

Na Figura 95 e Figura 96 está representada a prensa com as zonas de fixação e solicitações impostas. A força de 30000 N correspondem à máxima força que o bico de injeção pode sofrer quando encosta ao molde.

O módulo de elasticidade do material utilizado é o equivalente ao de um ferro fundido cinzento com 66,2 GPa.

Para realizar as simulações foi necessário incluir uns corpos semelhantes aos guias de rolamentos lineares (assinalado a vermelho na Figura 94) pois, caso contrário, resultava em altas concentrações de tensões nos furos laterais a laranja, na Figura 94, originárias de singularidades nos cálculos dos elementos finitos.

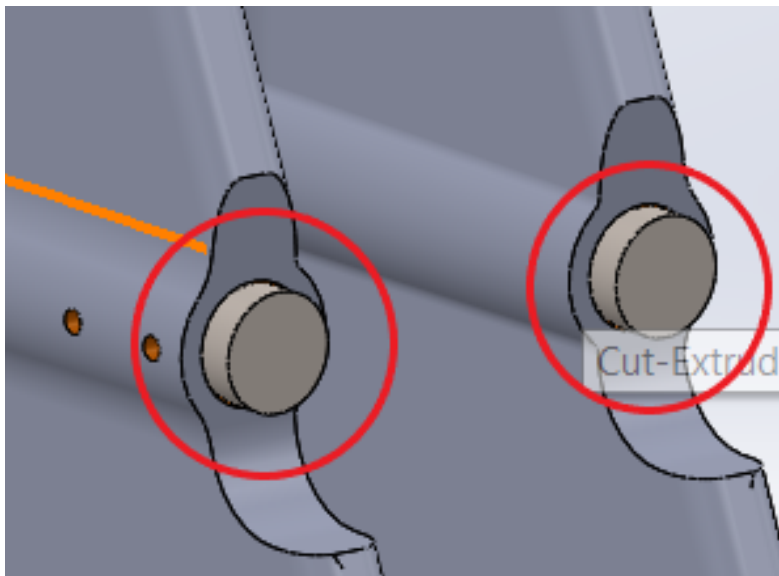


Figura 94 – Sólidos a simular os veios de apoio do conjunto constituído pela parte extrusora e parte injetora

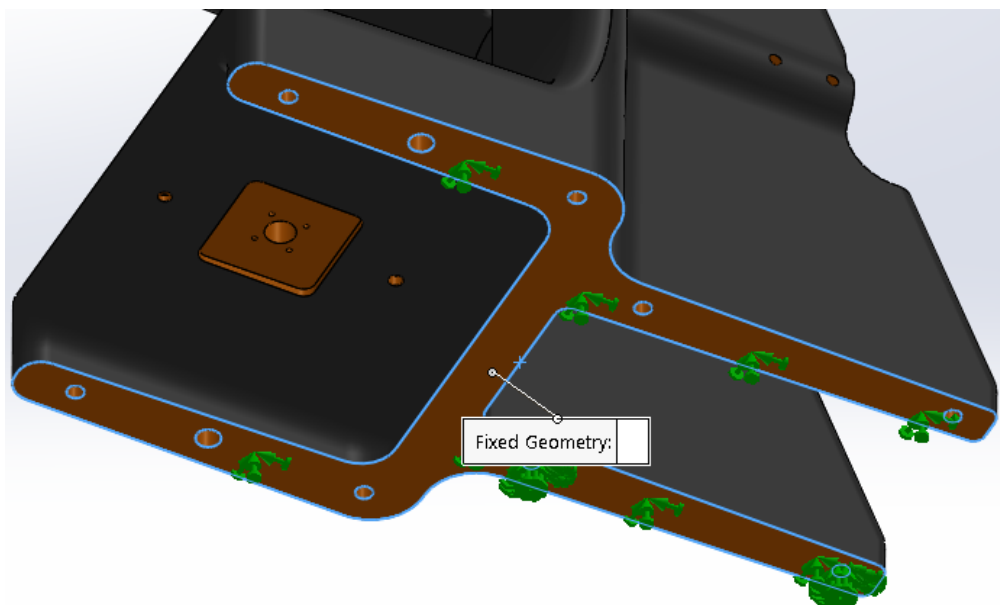


Figura 95 – Fixações na prensa

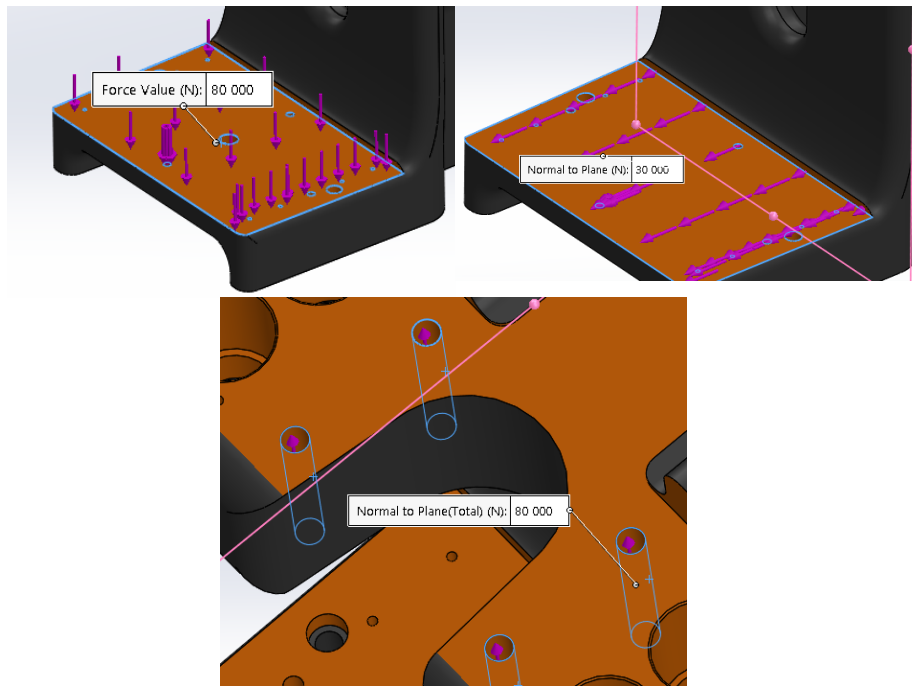


Figura 96 – Solicitações na prensa

Resultados

Na Figura 97 estão representados os resultados das simulações.

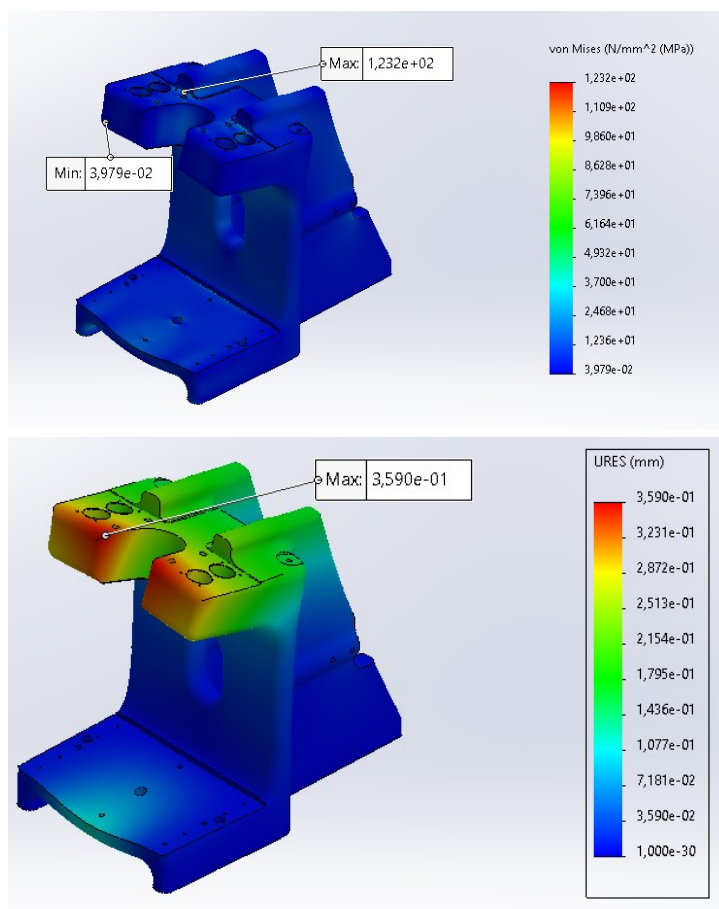


Figura 97 – Distribuições de tensões de Von Mises e deslocamentos resultantes prensa

Comentários e conclusões

Na Figura 97 repara-se que a maior parte da prensa se encontra a azul, ou seja, não ultrapassa os 37 MPa de tensão e apenas surgem tensões mais altas e máximas em zonas onde o programa encontra singularidades. Por isso considera-se os 37 MPa como a tensão máxima.

Relativamente aos deslocamentos máximos (Figura 97), estes são aceitáveis pois têm a magnitude de apenas 0,36 mm que não influenciarão o correto funcionamento da injetora.

Além de o tipo de material já estar escolhido como sendo ferro fundido cinzento é necessário escolher um ferro com tensão de cedência superior à tensão máxima obtida nas simulações e com um coeficiente de segurança de 2. Utiliza-se um coeficiente de segurança de 2 pois é o recomendado em peças fundidas.

3.5.4.2.2 Cilindro de fecho e abertura do molde

Como a força de necessária de fecho é cerca de 75 kN (ver capítulos 3.5.1.4) escolheu-se o modelo CHDSGFY80-200AN-B-M9P da SMC que é capaz de realizar 80 kN de força com a pressão hidráulica de 160 bar.

3.5.4.2.3 Cilindro de ejeção

É difícil de estimar a força de injeção devido às pequenas dimensões das peças a injetar. No entanto, decidiu-se basear a seleção do cilindro de acordo com a Babyplast que contém um cilindro capaz de 630 kgf. Posto isto, o cilindro selecionado foi o modelo CHDKGB20-50-M9PVM_BOLT M5X100I X4 da SMC que perfaz 500 kgf com a pressão hidráulica de 160 bar e que se acha ser suficiente para extrair a peça.

3.5.4.3 Parte extrusora

3.5.4.3.1 Fuso e cilindro plastificador

Na Figura 98 está representado o fuso. Trata-se de um fuso relativamente simples e já standard, mas adaptado à solução em causa. O diâmetro do fuso foi recomendado por vários fornecedores de fusos e cilindro*s. O material do fuso é o AISI 4140, que é o mais comum de ser usado entre os fabricantes de fusos. Trata-se de um aço nitruado com uma tensão de cedência de 415 MPa e um módulo de elasticidade longitudinal de 205 GPa.

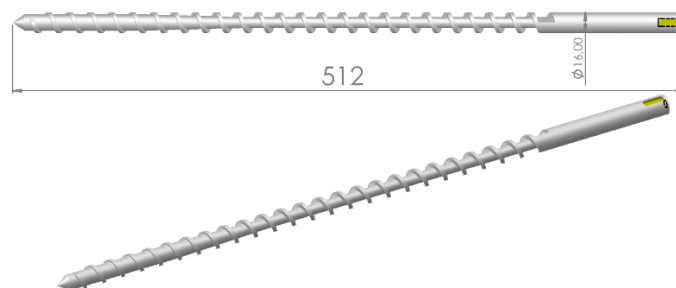


Figura 98 – Fuso

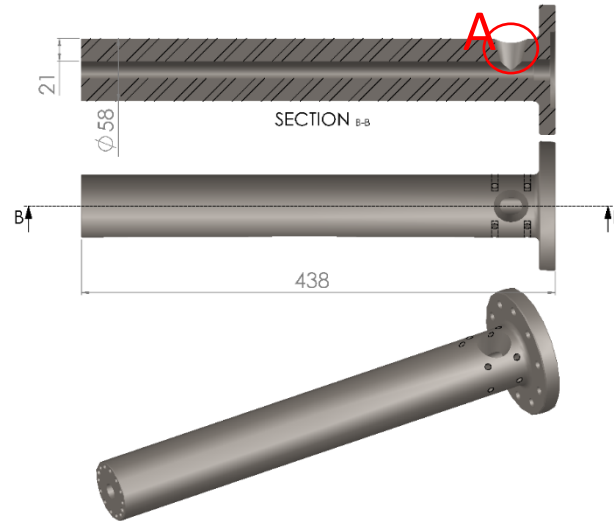


Figura 99 – Cilindro plastificador

A Figura 99 representa o cilindro plastificador. O pormenor “A” representa a entrada do plástico sólido. O cilindro tem uma espessura de 21 mm é para evitar que flutuações na alimentação das resistências provoquem aumentos de temperatura bruscos no plástico dentro do cilindro plastificador, ou seja, uma espessura maior aumenta a inércia na condução de calor no cilindro.

Binário máximo do fuso

O binário máximo do fuso é importante ser calculado para a seleção do motor elétrico. Para isso realizou-se uma simulação de elementos finitos com vários binários para concluir qual o binário máximo que se pode aplicar ao fuso para que a tensão imposta seja o equivalente à tensão de cedência do material a dividir pelo coeficiente de segurança (1.5) o que equivale a cerca de 280 MPa.

Na Figura 100 estão representadas as fixações e forças impostas ao fuso. O último binário calculado foi de 20N.m.

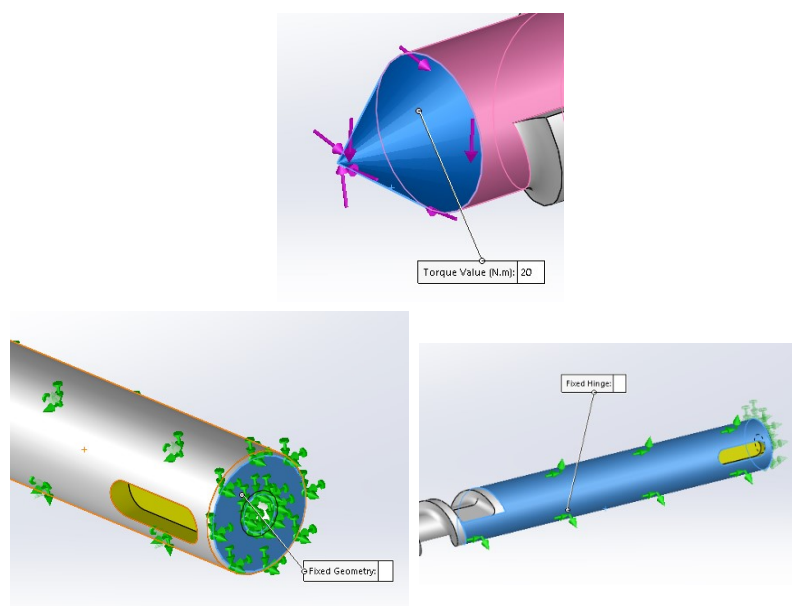


Figura 100 – Fixações e forças impostas no fuso.

Nas Figura 101 e Figura 102 estão representados os resultados da simulação.

Na Figura 101 repara-se que a tensão máxima é muito superior à tensão de cedência mas, se se reparar na Figura 102, que é uma representação das zonas de tensões superiores a 280 MPa, essas tensões estão concentradas em zonas pontuais (realçado a vermelho) o que evidencia zonas onde o cálculo dos elementos finitos é impreciso. Por isso, conclui-se que o fuso aguenta um binário máximo de 20 N.m.

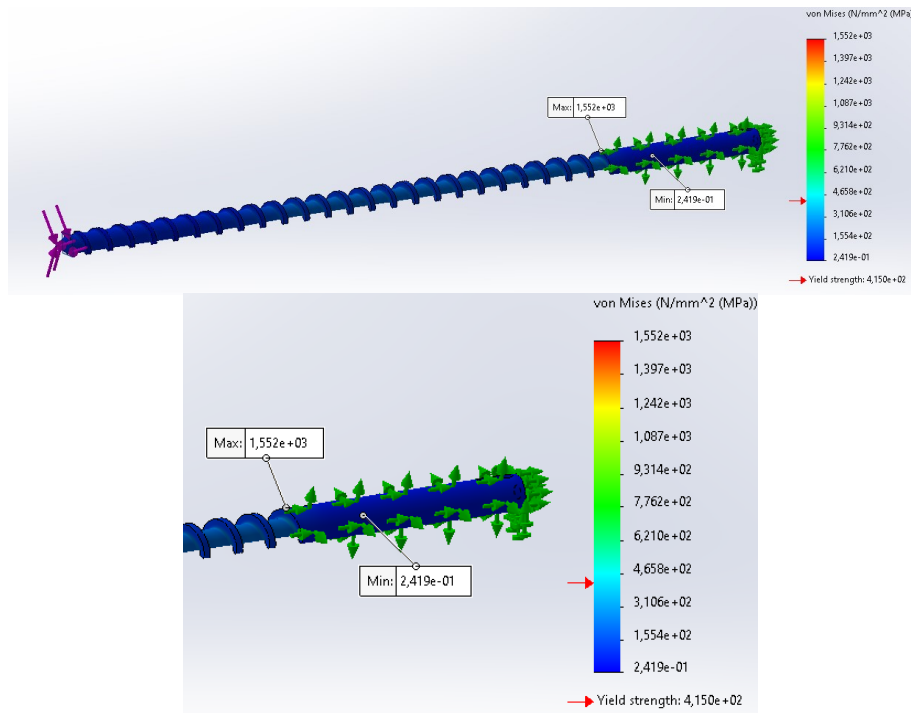


Figura 101 – Tensões de Von Mises no fuso

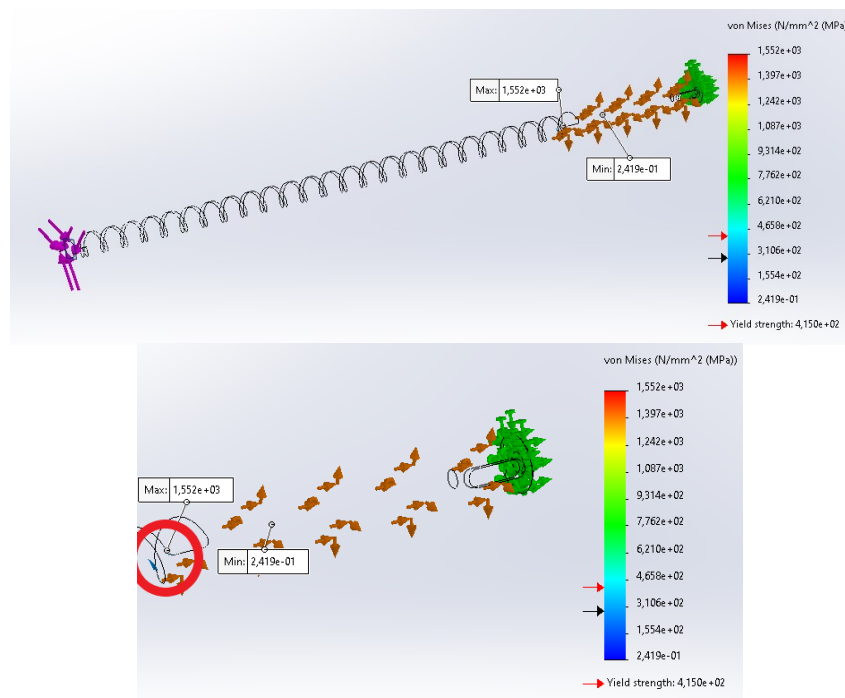


Figura 102 – Distribuição de tensões superiores a 280 MPa no fuso.

3.5.4.3.2 Motor elétrico

Para selecionar o motor elétrico a usar para dar rotação ao fuso é necessário saber:

- O caudal necessário, de forma a calcular a rotação de trabalho normal;
- Potência de plastificação do material, de forma a calcular o binário necessário.

Rotação normal de trabalho

O caudal de plastificação do fuso pode ser calculado através da equação (5).

$$Q = A \cdot P; \quad (5)$$

em que:

Q – Caudal;

A – Área anelar do fuso, ou seja, utilizando o diâmetro externo do fuso e o diâmetro interno na zona de medição do fuso (79,3 mm²) (Figura 16);

P – Passo do fuso. Igual ao diâmetro do fuso (16) como referido no capítulo 2.2.1.1.2;

Pela expressão (5), considerando os valores descritos na legenda, obteve-se um valor de 1,27 cm³ de volume a cada rotação do fuso.

É necessário plastificar 12,4 c de material plástico por ciclo, o que equivale a 9,8 rotações por ciclo. Considera-se que a extrusão deste material é feita durante os 3 segundos de *dry cycle* da injetora, o que resulta em 196 rotações por minuto (r.p.m).

Tendo em conta, também, o binário máximo de 20N.m do fuso, a potência máxima do fuso será de 410 W.

O motor escolhido é o seguinte: HMP06-015-024-30-E07 da HEIDRIVE que realiza 17,28 N.m às 200 r.p.m.

3.5.4.4 Motorização da parte extrusora

3.5.4.4.1 Conjunto refrigerador (Tampa, junta e corpo)

Na Figura 103 estão representados os componentes que fazem parte do conjunto que evita que a temperatura do cilindro plastificador seja transferida para os componentes frios.

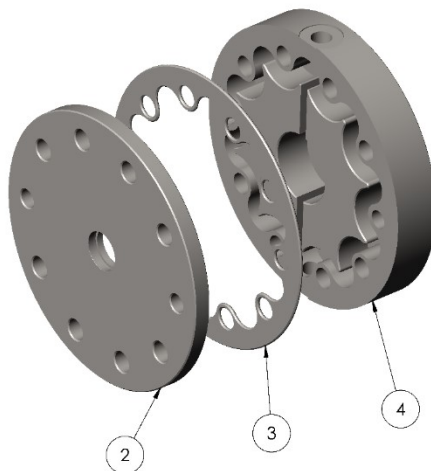


Figura 103 – Conjunto refrigerador (consultar numeração na Figura 82)

Como o cilindro plastificador tem um rebaixo na extremidade que contacta a tampa (2), a maior parte do calor é transferido pela superfície anelar do cilindro (a laranja na Figura 104) e pelos parafusos que unem o cilindro a tampa, a junta (3) e o corpo (4). Por isso o circuito da água foi desenhado de forma a evitar zonas estacionárias provocadas pelos vórtices, que podem provocar erosão, e de forma a que a água seja deslocada para as zonas de maior transferência de calor, ou seja, perto dos parafusos e no próprio fuso (Figura 105).

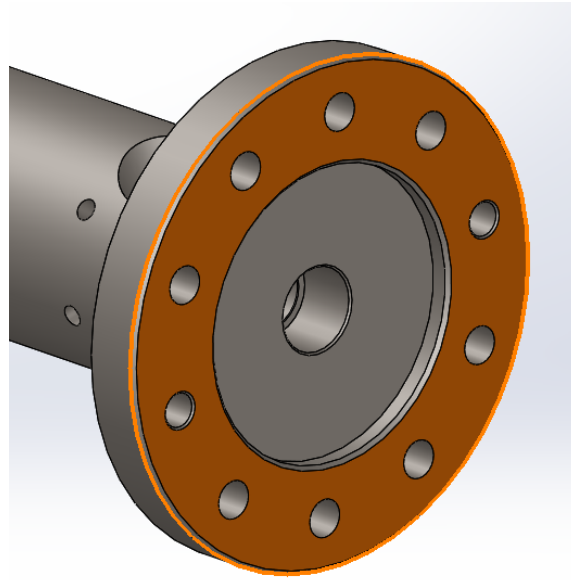


Figura 104 – Superfície anelar de contacto do cilindro plastificador

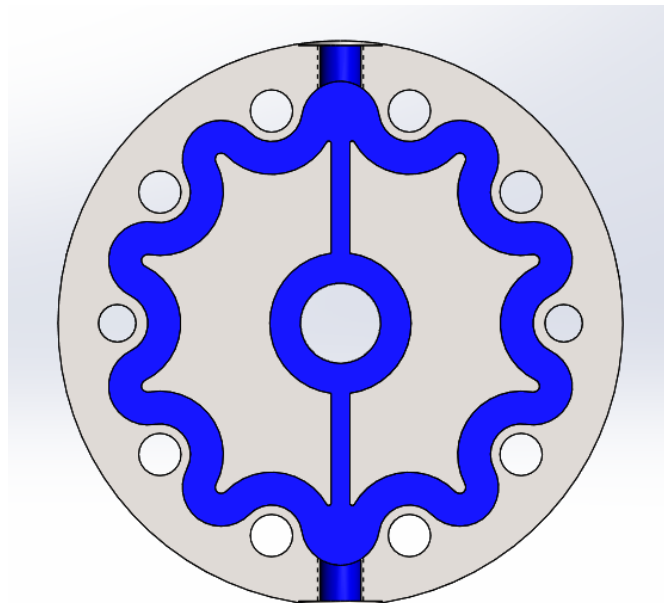


Figura 105 – Circuito da água.

Simulação térmica

Para concluir se a alimentação de água da fábrica é suficiente para arrefecer estes componentes realizou-se uma simulação térmica (em Solidworks) para calcular a distribuição de temperaturas nos componentes. Para tornar a simulação o mais realista possível consideraram-se todos os componentes da parte extrusora (Figura 81). A Figura 106 representa os parâmetros utilizados para fazer a simulação. A água entra a 0,3 MPa (3 bar) e a 20 °C e sai por um orifício à pressão atmosférica. Para obter uma simulação de uma situação em que as temperaturas são máximas considerou-se que todas as resistências do cilindro aqueciam à temperatura máxima de plastificação do material PA66, que é 320 °C. Considerou-se aço como o material dos componentes. Como se pretendia calcular a distribuição de temperaturas depois do equilíbrio térmico utilizou-se uma análise estática, ou seja, não dependente do tempo.

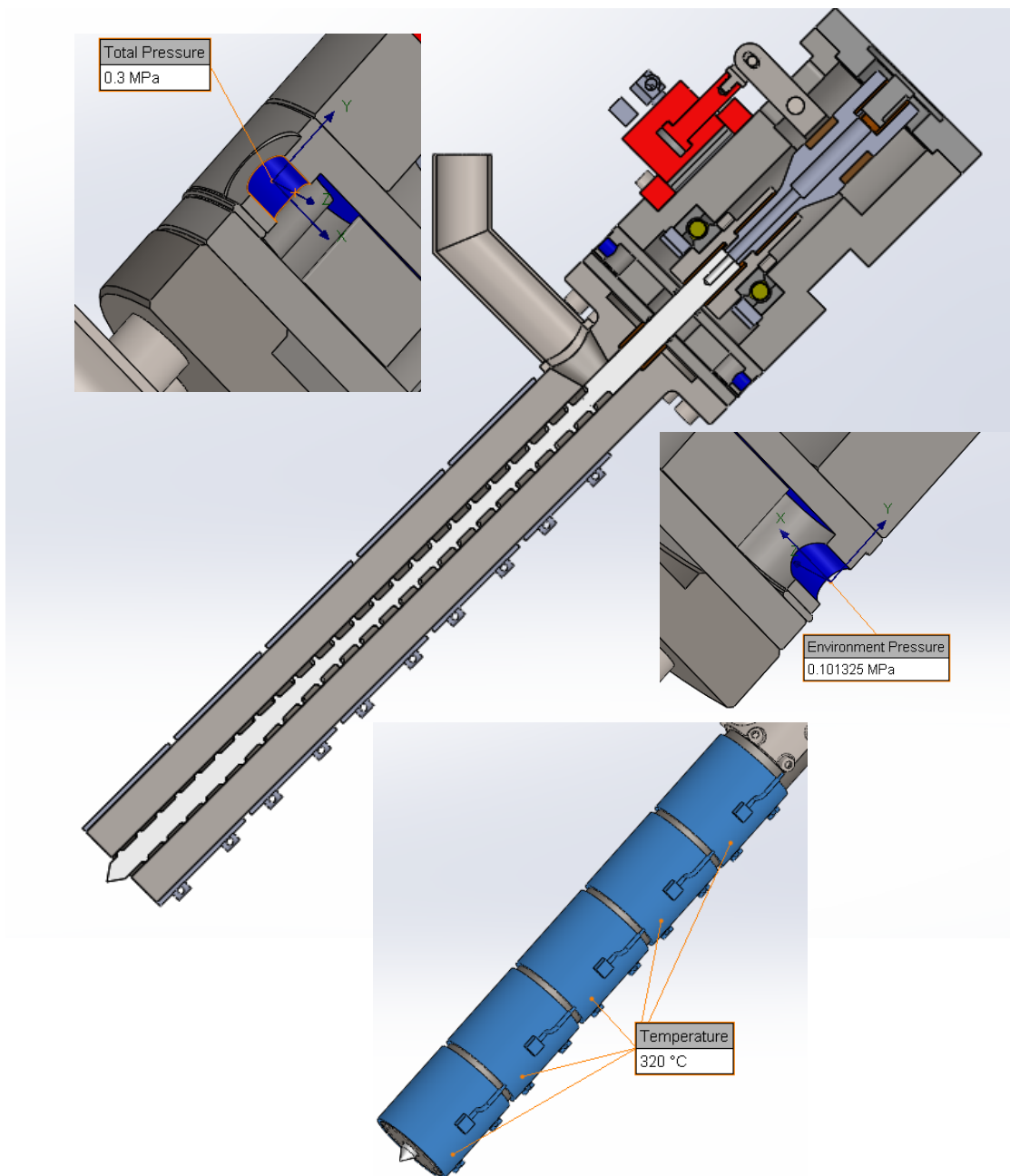


Figura 106 – Parâmetros teste térmico extrusora

Resultados

A Figura 107 e Figura 108 representa, respetivamente, a distribuição de temperaturas e vorticidade.

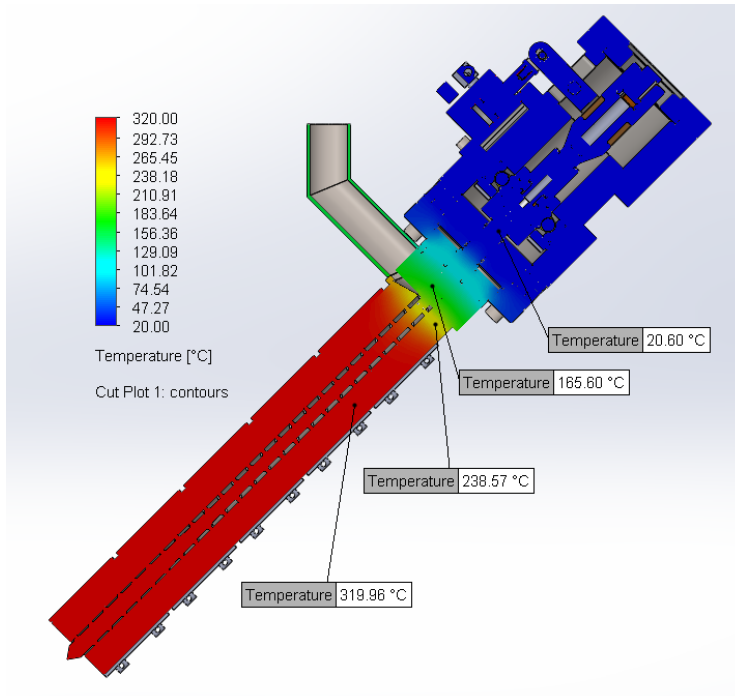


Figura 107 – Distribuição de temperaturas do teste térmico extrusora

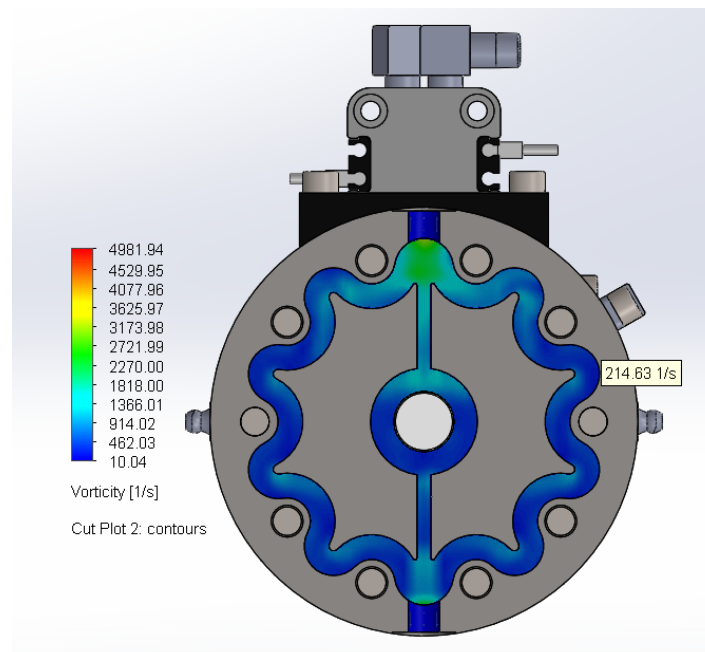


Figura 108 – Vorticidade⁷ no circuito de água da extrusora

⁷ Vorticidade é uma grandeza que quantifica a rotação das partículas de um fluido em movimento.

Conclusões e comentários

Ao analisar os resultados obtidos pode-se considerar que a alimentação de água é suficiente pois os componentes frios são isolados dos componentes quentes.

Relativamente à vorticidade, repara-se que esta é reduzida, embora seja intensificada na entrada de água. Isto deve-se ao facto da água passar de um canal estreito para um mais largo.

3.5.4.4.2 Rolamento

A escolha do rolamento tem por base a força que o fuso faz ao plastificar o plástico. Toda essa força será direccionada para o rolamento, pelo que se torna necessário um rolamento com grande capacidade de carga axial. Estes rolamentos podem ser rolamentos axiais ou rolamentos de contacto angular.

A vantagem em utilizar rolamentos de contacto angular está no facto de suportarem também cargas radiais. Por isso não é necessário utilizar um rolamento radial, juntamente com o axial, para suportar o fuso. Existem 2 tipos de rolamentos de contacto angular: de 2 pontos e de 4 pontos. Na Figura 109 os círculos a vermelho representam os pontos de contacto das esferas com os anéis dos rolamentos.

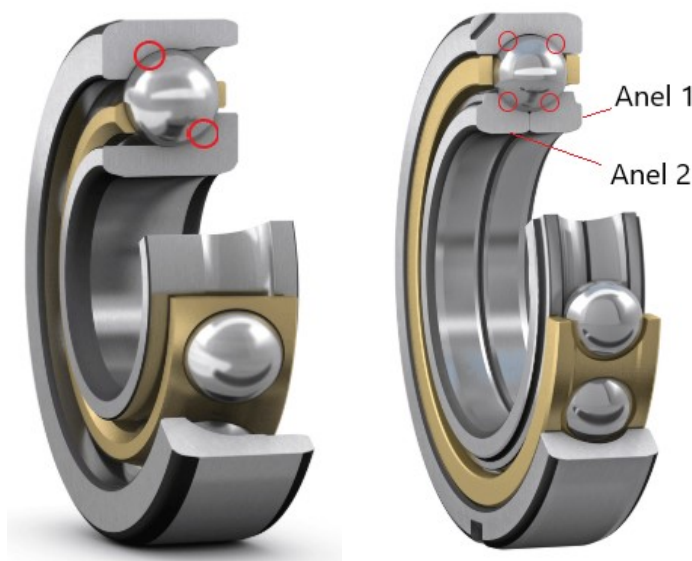


Figura 109 – Rolamento angular de 2 pontos (esquerda) e 4 pontos (direita)

Visto que o fuso pode deslizar em relação ao rolamento é necessário que o mesmo suporte cargas axiais nos dois sentidos para não se desmontar. Desta forma é escolhido o caso do rolamento de 4 pontos.

Sabe-se que o fuso será solicitado no máximo com 20 N.m, o que equivale a uma força tangencial na zona de alimentação (força tangencial máxima) de 3921 N. O filete do fuso está com um ângulo de avanço de 72 graus. A força tangencial calculada atrás é uma das componentes da força de resistência (FN) que o plástico faz no fuso. A força axial que se pretende calcular é a outra componente de FN (Figura 110).

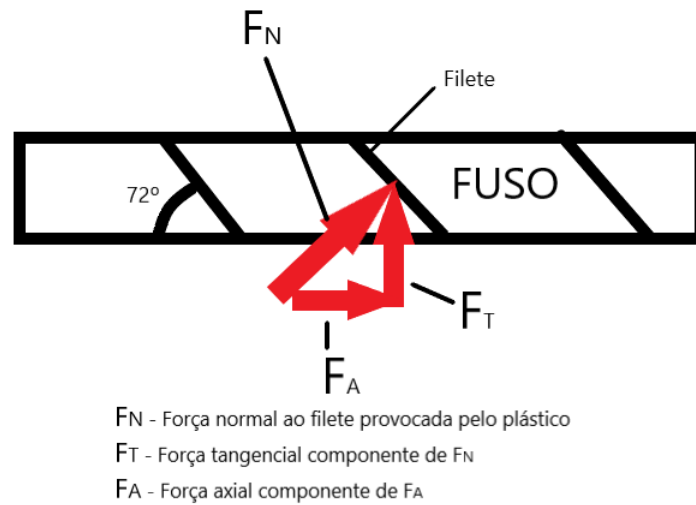
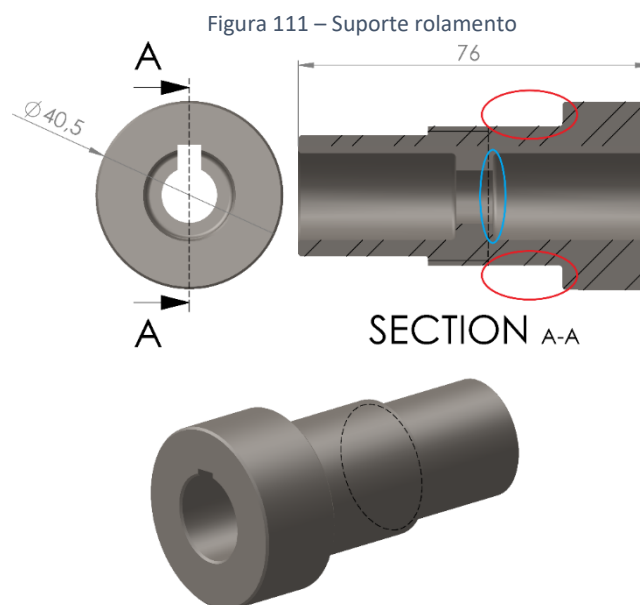


Figura 110 – Esquema de forças no fuso

Sabendo a força tangencial consegue-se calcular a força axial, que é de 12067 N. O rolamento escolhido é o modelo QJ 306 N2PHAS da SKF capaz de suportar uma carga axial cerca de 45 kN.

3.5.4.4.3 Suporte do rolamento

Na Figura 111 está representado o suporte do rolamento. Pormenorizado a vermelho está a zona de montagem do rolamento e a azul o encosto do fuso.



Validação

Para realizar as simulações de elementos finitos foi necessário criar corpos a simular o fuso e o veio de fecho de forma a obter resultados mais realistas (Figura 112). Considera-se o aço com 205 GPa de módulo de elasticidade longitudinal como o material a utilizar para este componente, sendo especificado mais à frente qual o aço.

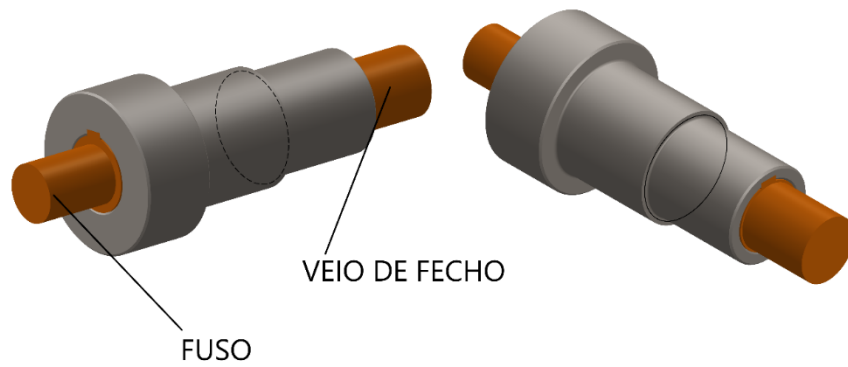


Figura 112 – Suporte rolamento, preparação para simulação

Na Figura 113 estão representadas as fixações e solicitações.

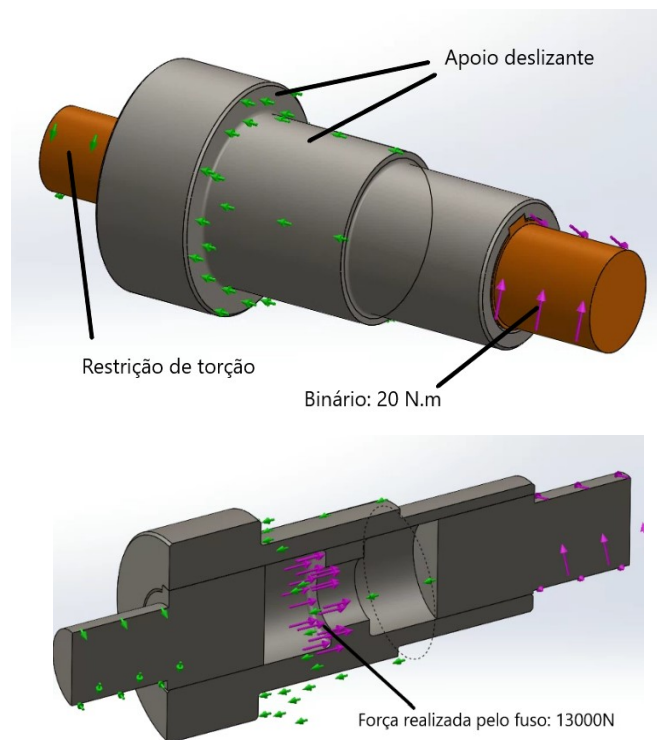


Figura 113 – Fixações e solicitações impostas no suporte do rolamento

Resultados

Na Figura 114 e Figura 115 estão representados os resultados das simulações.

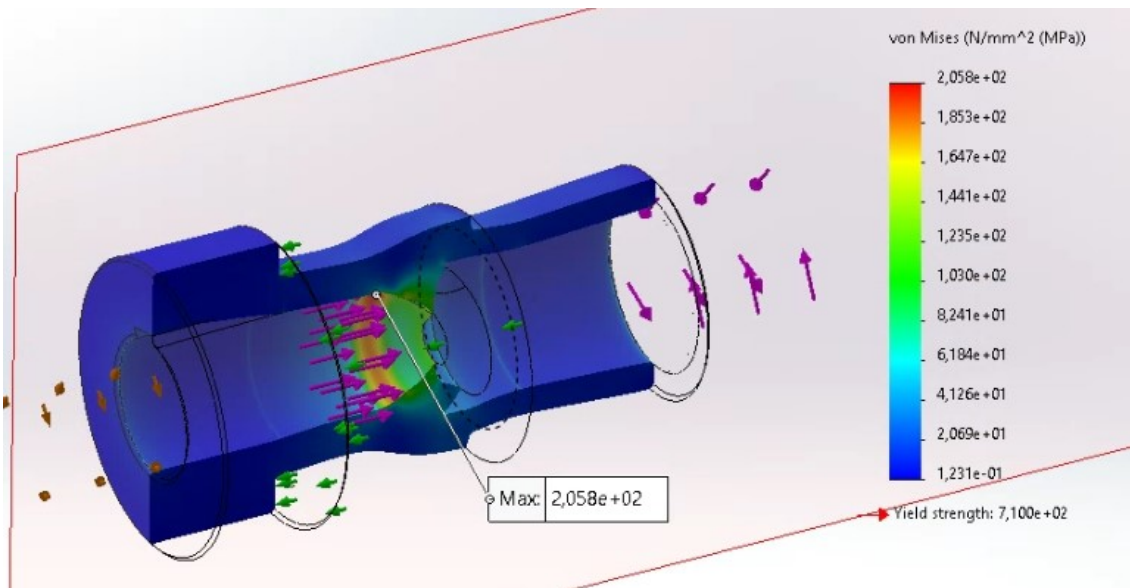


Figura 114 – Distribuição de tensões de Von Mises no suporte de rolamento

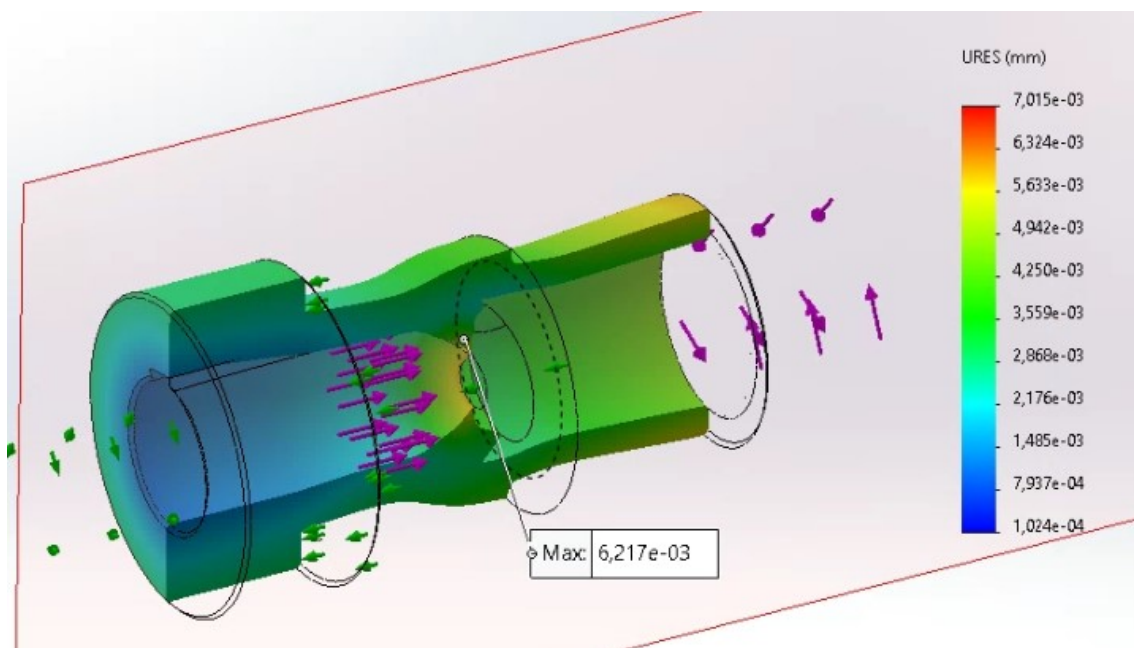


Figura 115 – Distribuição de deslocamentos resultantes no suporte de rolamento

Conclusões e comentários

Ao analisar a distribuição de tensões de Von Mises (Figura 114) repara-se que a tensão máxima se dá no encosto do fuso e tem o valor de 205 MPa. Na escolha de material vai ser considerado um coeficiente de segurança de 1,5.

Relativamente aos deslocamentos resultantes repara-se que o deslocamento máximo é cerca de 0,007 mm sendo um valor muito baixo e por isso aceitável à aplicação.

3.5.4.4.4 Veio de fecho

Na Figura 116 está representado o veio de fecho com as respetivas cotas de atravancamento. Este veio é responsável por transmitir a rotação do motor elétrico ao fuso e por empurrar o fuso durante a injeção do material plástico no molde.

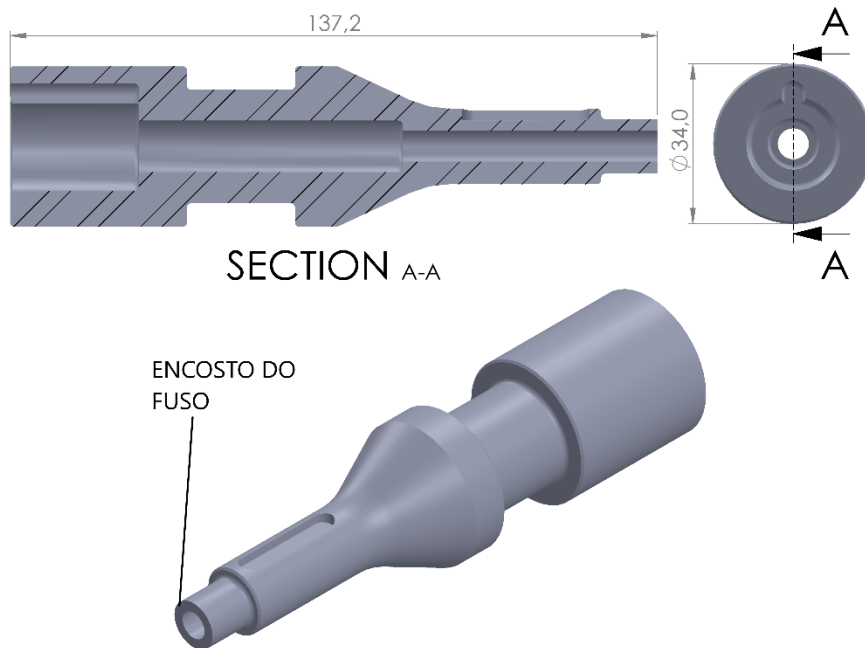


Figura 116 – Veio de fecho

Para realizar as simulações é necessário conhecer a força de recuo no fuso. Para isso utiliza-se a pressão de injeção máxima dos materiais que é 1600 bar (160 MPa) e o diâmetro do canal de escoamento no componente que faz a ligação entre a parte extrusora e injetora (componente 3 na Figura 83), resultando numa força de 2011 N.

A Figura 117 mostra as fixações e solicitações.

O material utilizado será um aço com 205 GPa de módulo de elasticidade longitudinal.

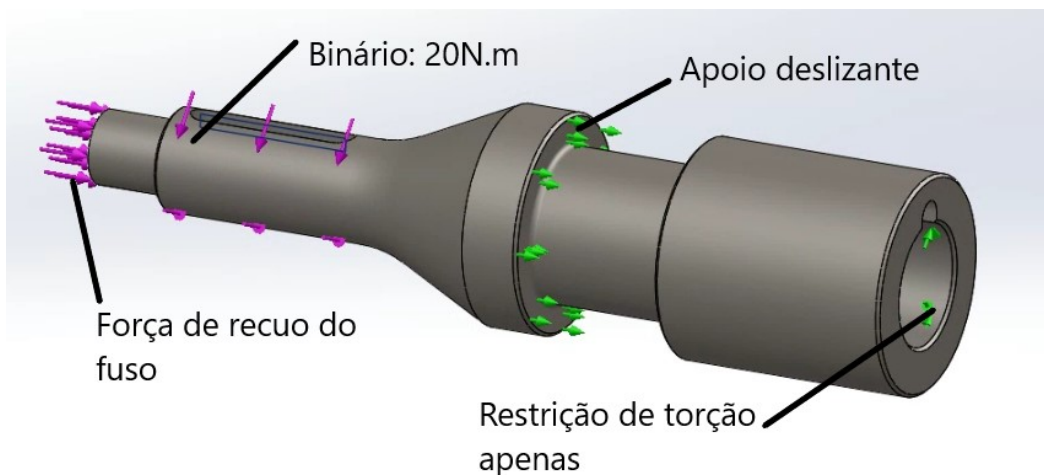


Figura 117 – Veio de fecho

Resultados

Os resultados da simulação estão representados na Figura 118 e Figura 119.

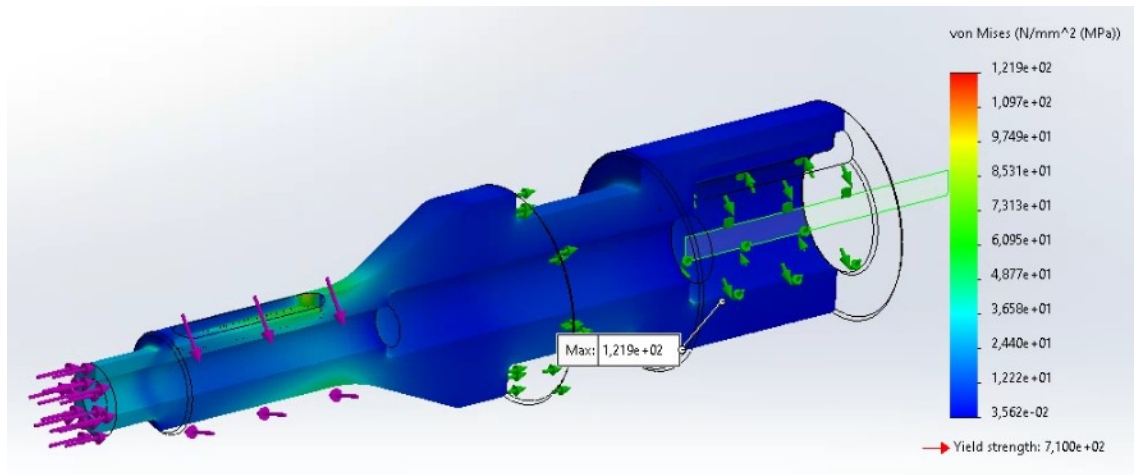


Figura 118 – Distribuição de tensões de Von Mises no veio de fecho

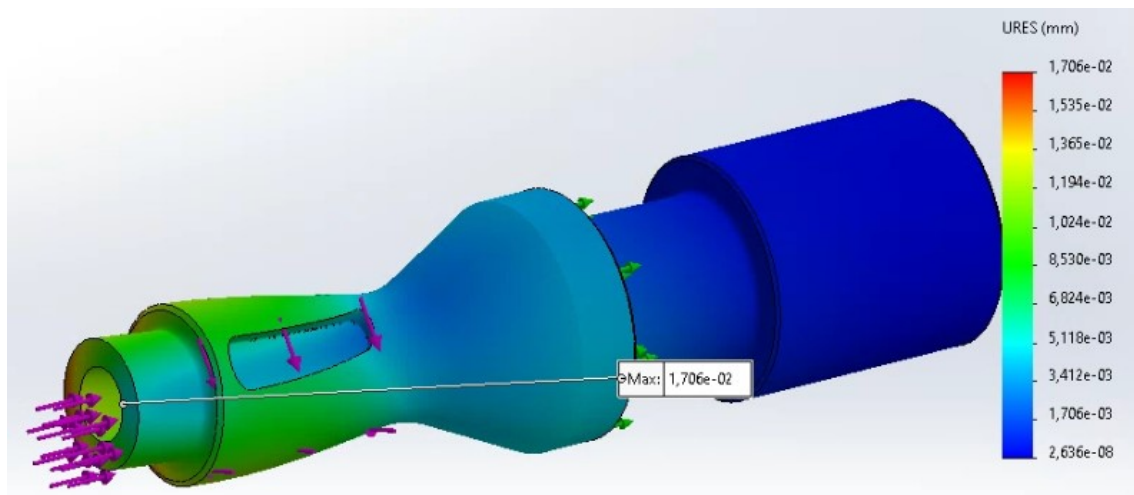


Figura 119 – Distribuição de deslocamentos resultantes no veio de fecho

Conclusões e comentários

Uma análise à distribuição de tensões (Figura 118) mostra que a tensão máxima de Von Mises é cerca de 122 MPa. O aço, em específico, será escolhido tendo em conta um coeficiente de segurança de 1,5. A Figura 119 mostra que o deslocamento resultante é cerca de 0,017 mm, que é um valor muito baixo e aceitável.

3.5.4.4.5 Alavanca

Na Figura 120 está representada a alavanca com as cotas de atravancamento. Esta alavanca é responsável por empurrar o veio de fecho através de um cilindro hidráulico.

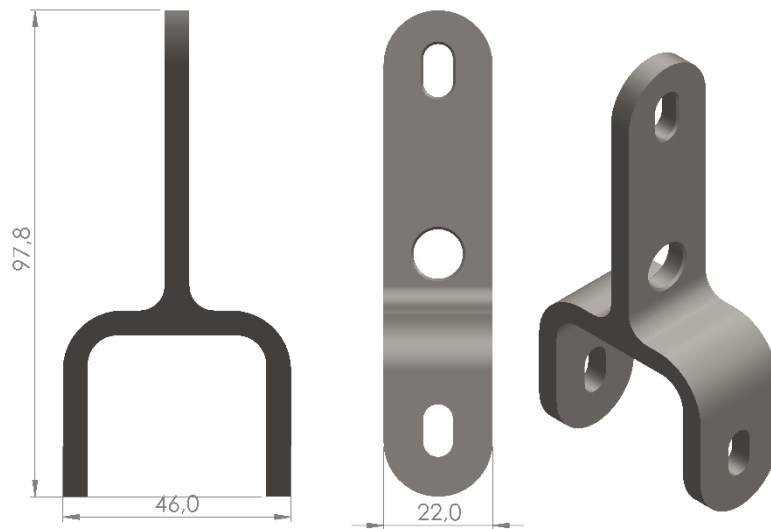


Figura 120 – Alavanca

Validação

A Figura 121 representa as fixações e solicitações aplicadas na alavanca.

Considera-se um aço de 205 GPa de módulo de elasticidade longitudinal como material de fabrico.

A força de recuo do fuso é de 2011 N calculada através do diâmetro do canal de escoamento do plástico na ligação da parte extrusora e da parte injetora e da pressão de injeção máxima.

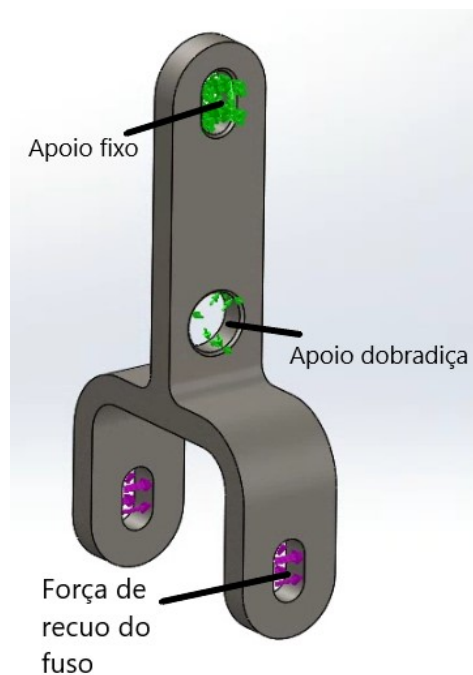


Figura 121 – Fixações e solicitações na alavanca

Resultados

A Figura 122, Figura 123 e Figura 124 representam os resultados da simulação.

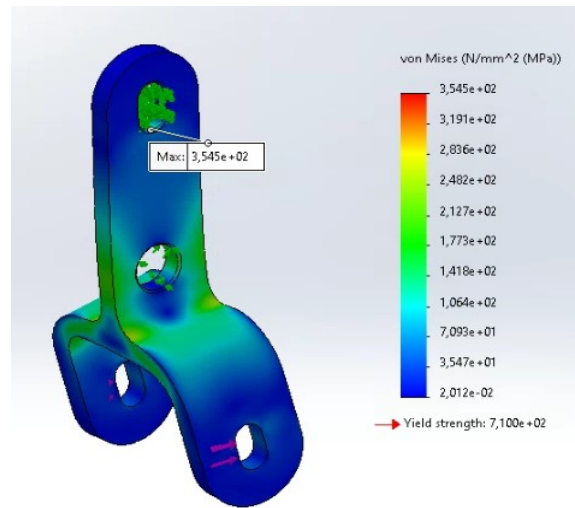


Figura 122 – Distribuição de tensões de Von Mises na alavanca

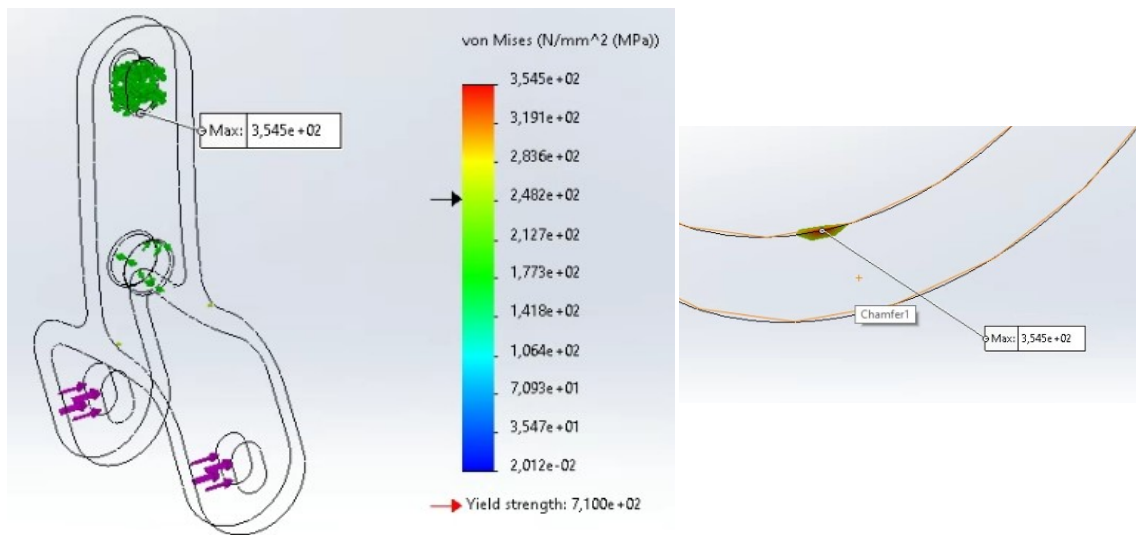


Figura 123 – Distribuição de tensões de Von Mises superiores a 250 MPa na alavanca

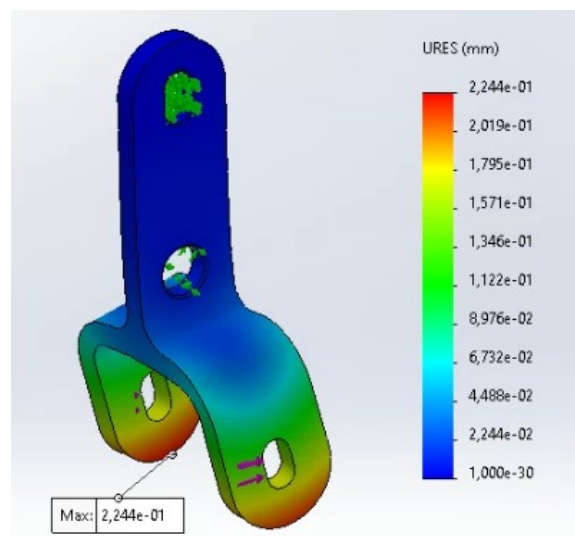


Figura 124 – Distribuição de deslocamentos resultantes na alavanca

Conclusões e comentários

A Figura 122 demonstra que a tensão máxima é cerca de 355 MPa. No entanto, a Figura 123, que é uma distribuição de tensões acima de 250 MPa, mostra que essa tensão é localizada e não simétrica na peça, pelo que revela ser uma singularidade no cálculo dos elementos finitos. Por isso, considera-se que a tensão máxima da peça é cerca de 250 MPa. Relativamente aos deslocamentos resultantes (Figura 124) repara-se que o máximo deslocamento é cerca de 0,22 mm o que na situação em causa não tem influência no funcionamento da mesma e por isso é aceitável.

3.5.4.4.6 Cilindro da alavanca

Como a alavanca tem a mesma distância do seu centro até aos pontos de solicitação, a força que o atuador terá de realizar é igual à força de recuo do fuso (2011 N). Mais, o deslocamento máximo do fuso será de 3 mm. Tendo isso em conta, escolhe-se o modelo CHDKGL20-5-M9PVM da SMC com 5 mm de curso e força máxima à pressão de 160 bar de 5026 N.

3.5.4.5 Parte injetora

3.5.4.5.1 Pistão de injeção e cilindro de injeção hidráulico

Estes componentes foram dimensionados em conjunto porque dependem os dois da pressão de injeção e da pressão hidráulica. Na Figura 125 está representado o pistão de injeção com as diferentes zonas de interesse.

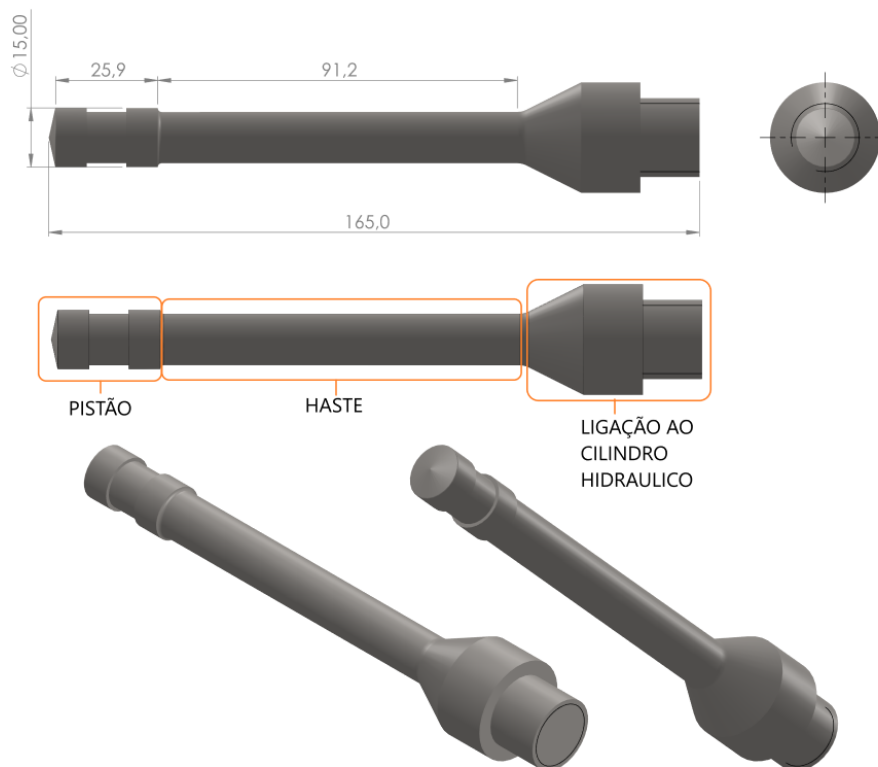


Figura 125 – Pistão de injeção

O pistão de injeção (Figura 125) é composto por uma zona “Pistão”, a “Haste” e a “Ligação ao cilindro hidráulico”. A zona “pistão” tem duas áreas distintas de contacto com o cilindro onde irá ser inserido. Isto tem o propósito de criar uma barreira extra à fuga do plástico fundido e criar estabilidade no pistão quando este estiver montado dentro do cilindro. A zona “haste” é a zona de menor diâmetro e por isso considera-se como sendo a zona crítica de encurvadura. Considera-se que o diâmetro da zona “haste” tem menos 2 mm que o da zona “pistão”. Considera-se também um módulo de elasticidade longitudinal de 205 GPa equivalente a um aço.

O diâmetro do pistão de injeção tem de ser calculado tendo em conta o comprimento de encurvadura da haste e a pressão de injeção requerida.

O comprimento de encurvadura pode ser calculado pela equação (6), que é utilizada pelas empresas fornecedoras de material hidráulico para dimensionar as hastes dos cilindros hidráulicos e baseia-se na carga crítica de Euler.

$$F_{ad} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{L_e^2 \cdot CS}, \text{ com} \quad (6)$$

$$L_e = C \cdot l, \quad (7)$$

onde:

F_{ad} – Força máxima admissível;

E – Módulo de elasticidade do material da haste;

J – Momento de inércia da haste;

L_e – Comprimento de encurvadura da haste;

CS – Coeficiente de segurança (3,5);

C – Coeficiente de encurvadura (Figura 126);

l – Comprimento haste.

A Figura 126 mostra qual a expressão de “ L_e ” a utilizar (linha “solução”).

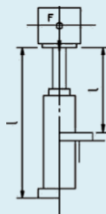
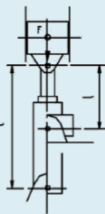
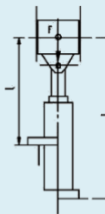
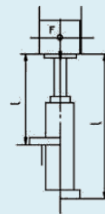
Tabela 3				
Solicitações Segundo EULER				
Casos	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Descrição	Uma extremidade livre. Uma extremidade fixa.	Duas extremidades articuladas.	Uma extremidade articulada. Uma extremidade fixa.	Duas extremidades fixas.
Tipo de Fixação				
Solução	$Le = 2 \cdot l$	$Le = l$	$Le = 0,7 \cdot l$	$Lp = 0,5 \cdot l$
Ref.ª	FAP	OS; OR	FAP (*)	FAP
Legenda	(*) com olhal na ponta da haste			

Figura 126 – Comprimentos de encurvadura

Se se colocar a equação (6) em ordem a “l” obtém-se a equação (8).

$$l = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{F_{ad} \cdot C^2 \cdot S}} \quad (8)$$

Neste caso, considera-se o caso 2 (ver Figura 126) em que ambos os topos do pistão de injeção são uniões articuladas, mesmo sabendo que a traseira do pistão de injeção está encastrada na haste do cilindro de injeção. Desta forma considera-se uma situação mais desfavorável à resistência à encurvadura, o que resulta num cálculo mais seguro.

A força que o cilindro de injeção faz com a pressão hidráulica é a mesma que a pressão de injeção faz no pistão de injeção. A equação (9) representa a relação de pressões e áreas entre o pistão de injeção e o cilindro de injeção.

$$\frac{P_p}{A_p} = \frac{P_c}{A_c}, \quad (9)$$

em que:

P_p – Pressão no pistão de injeção;

A_p – Área do pistão de injeção;

P_c – Pressão no cilindro de injeção;

A_c – Área de avanço do cilindro de injeção.

Para encontrar o diâmetro ideal do pistão de injeção é necessário criar um processo iterativo com a seguinte sequência:

1. Arbitrar diâmetro do pistão;
2. Calcular comprimento de encurvadura da haste através da equação (7);
3. Calcular a força de injeção com o diâmetro;
4. Calcular a força crítica de encurvadura através da equação (6);
5. Calcular a diferença entre a força crítica e a de injeção.

Recorrendo ao Excel conseguem-se representar as forças referidas atrás em função do diâmetro (Figura 127).

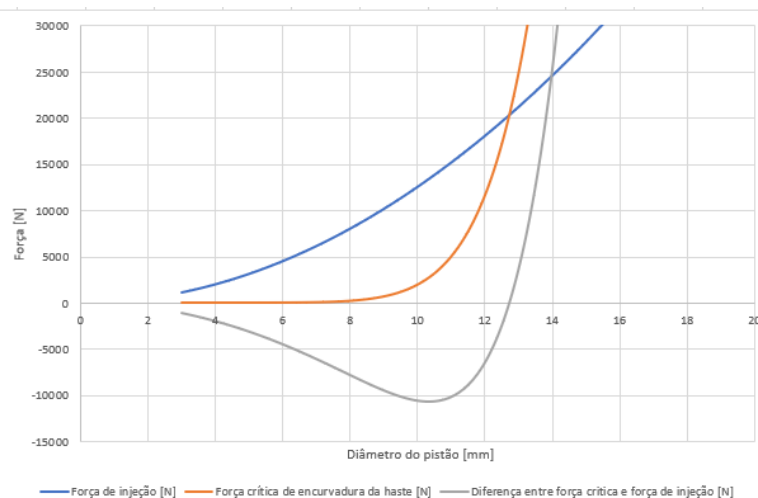


Figura 127 – Força de injeção, força crítica de encurvadura e a diferença entre as duas em função do diâmetro do pistão de injeção

Pela análise do gráfico da Figura 127 chega-se à conclusão de que diâmetros acima de cerca de 13 mm não atingem a força crítica de encurvadura.

A Figura 128 representa os dados e resultados do cálculo do diâmetro do pistão de injeção e cilindro de injeção.

A almofada representa uma quantidade de material plástico extra utilizado durante a fase de manutenção no ciclo injeção e que tem o propósito de colmatar a falta de plástico que possa existir no molde durante o processo de injeção. A almofada utilizada de 15% é o equivalente a mais 1 peça injetada.

A tabela “Pistão de injeção” representa os diâmetros mínimos da zona “pistão” e da zona “haste” do pistão de injeção para que a força de injeção não atinja a força crítica de encurvadura.

A tabela “Cilindro de injeção” representa o diâmetro/área mínima do cilindro de injeção para criar a força de injeção necessária. Através destes valores e do valor “curso de injeção + almofada” na tabela “Resultados” escolheu-se o modelo CHDKGB50-75-M9PVM_BOLT M10X150I x4 da SMC com uma área de 19,6 cm² e curso máximo de 75 mm. Com esta área pode-se fornecer o cilindro com apenas 104 bar de pressão hidráulica, ou ter-se uma pressão de injeção máxima de 2456 bar ou passar o diâmetro do pistão de injeção para 15,8 mm.

Pressão circuito	160	bar	Pistão de injeção		
Pressão de injeção máxima	1600	bar	Diametro minimo do pistão de injeção	12,8	mm
Coefficiente do comprimento de encurvadura	1		Diametro minimo da haste do pistão de injeção	10,8	mm
Almofada	15%	%			
volume da almofada	1,62	cm ³	Cilindro de injeção		
Volume de fundido a injetar minimo	10,8	cm ³	Diametro teórico do pistão do cilindro de injeção	40,3	mm
volume a injetar+almofada	12,42	cm ³	Area teórica do pistão do cilindro de injeção	12,8	cm ²
Coefficiente de segurança	3,5		Area do pistão do cilindro de injeção	19,6	cm ²
Módulo de elasticidade da haste	210	GPa			
Folga entre diametro do pistão e da haste	2	mm	Tendo em conta a area real do cilindro de injeção implica que:		
			Pressão necessária no cilindro de injeção	104	bar
			OU		
			Pressão de injeção real	2456	bar
			OU		
			Diametro real do pistão de injeção	15,8	mm
			Resultados		
			Diametro adotado do pistão	15,0	mm
			Diametro da haste	13,0	mm
			Area do pistão	1,8	cm ²
			Momento de inercia da haste	1402,0	mm ⁴
			Pressão de injeção maxima	1775	bar
			Força de injeção/atuação	31360	N
			Curso de injeção necessário para o volume das peças	61,1	mm
			Curso de injeção + almofada	70,3	mm
			Curso máximo para não encurvar	162,7	mm

Figura 128 – Cálculo diâmetro do pistão de injeção e cilindro de injeção

Por fim conclui-se admitir um diâmetro do pistão de injeção de 15 mm, o que permite uma pressão de injeção máxima de 1775 bar, um pouco acima da necessária (1600 bar), e um curso máximo de 70,3 mm. Com estes dados seria necessária uma haste de pistão de 162,7 mm para que a força de injeção igualasse a força crítica de encurvadura.

Tensão instalada

Considerando a secção da haste como a secção crítica e através da força de injeção chega-se a uma tensão de compressão instalada de 236 MPa.

3.5.4.5.2 Cilindro de ligação

Este componente faz a ligação entre a parte extrusora e a parte injetora, onde se conecta o bico de injeção, onde o pistão de injeção é alojado e onde o fuso encosta como válvula antirretorno. Na Figura 129 está representado o cilindro de ligação com as cotas de atravancamento.

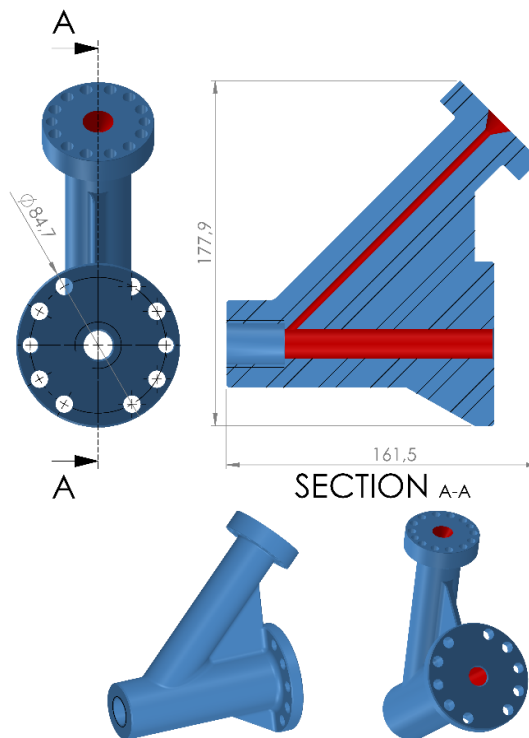


Figura 129 – Cilindro de ligação

Validação

Na Figura 130 estão representadas as fixações e solicitações impostas no cilindro. Utiliza-se, por segurança, uma pressão de 1800 bar que corresponde a uma pressão superior à pressão de injeção máxima que o pistão de injeção pode realizar. Os 30 kN correspondem à máxima força que o bico de injeção resiste quando encosta ao molde. Considera-se um aço com 205 GPa de módulo de elasticidade longitudinal.

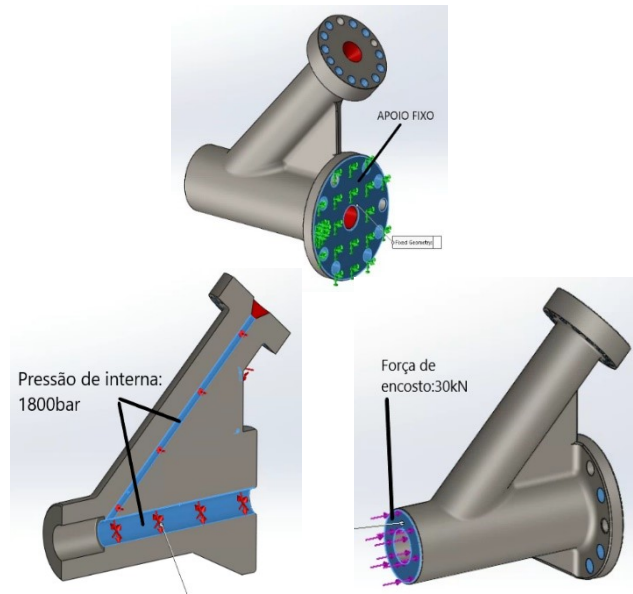


Figura 130 – Fixações e solicitações no cilindro de ligação

Resultados

Na Figura 131, Figura 132 e Figura 133 estão representados, respetivamente, a distribuição de tensões, distribuição de tensões acima de 600 MPa e a distribuição de deslocamentos resultantes.

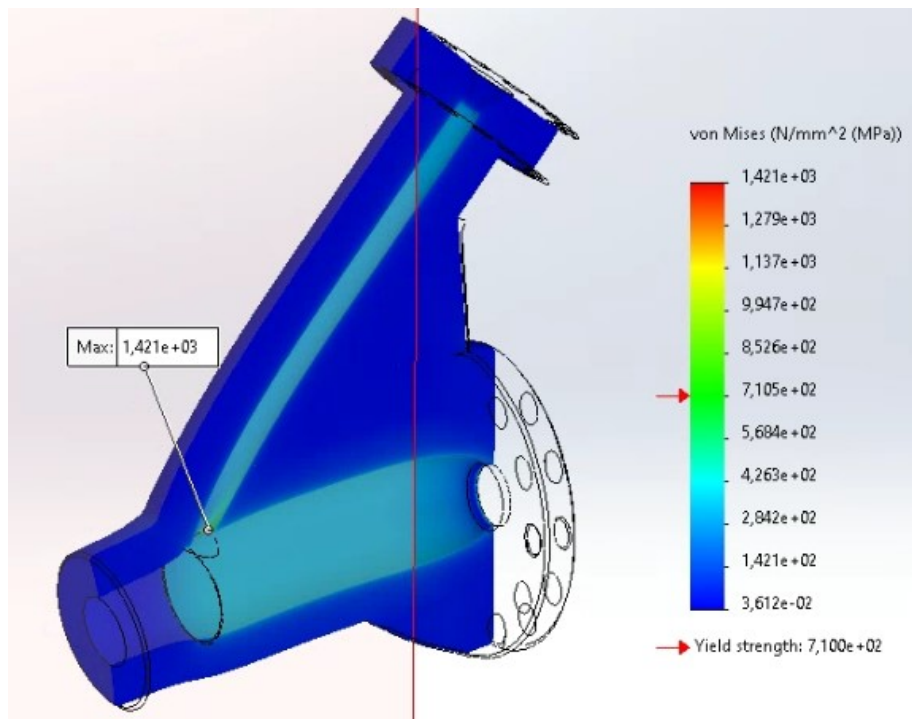


Figura 131 – Distribuição de tensões de Von Mises no cilindro de ligação

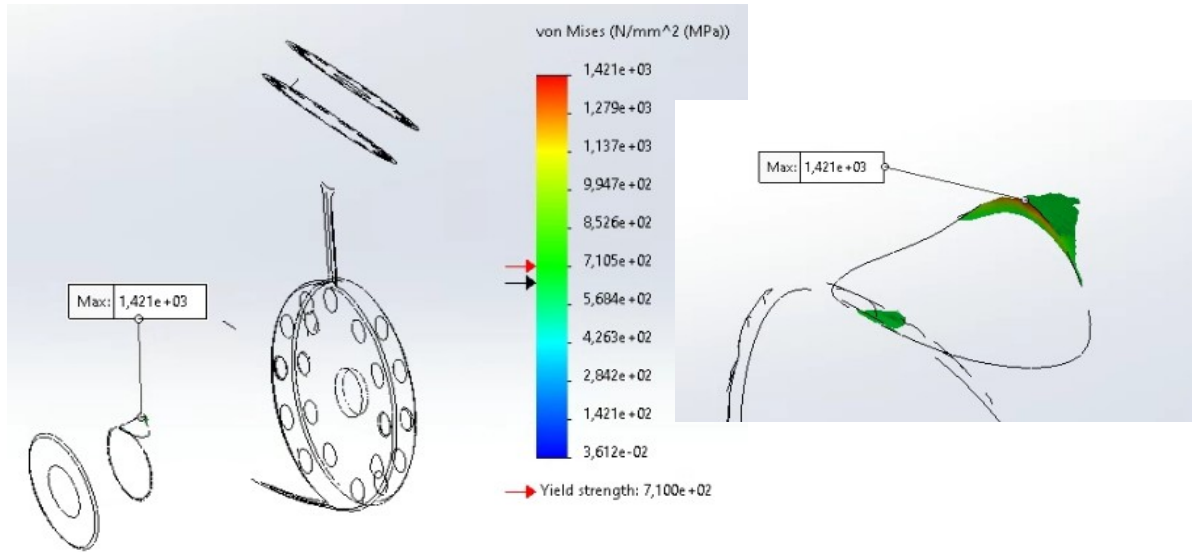


Figura 132 – Distribuição de tensões de Von Mises acima de 600 MPa no cilindro de ligação

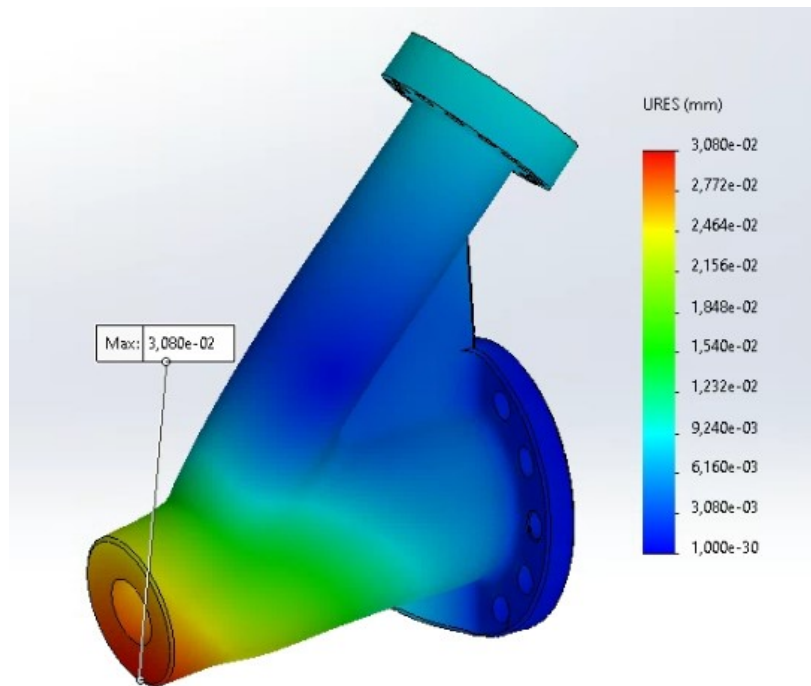


Figura 133 – Distribuição de deslocamentos resultantes no cilindro de ligação

Conclusões e comentários

Repara-se que a tensão máxima calculada atinge cerca de 1421 MPa (Figura 131). No entanto, se se consultar a Figura 132, repara-se que essas tensões resultam de singularidades nos cálculos e que o componente não ultrapassa os 600 MPa de tensão. Relativamente aos deslocamentos resultantes, o deslocamento máximo é de 0,03 mm, o que é aceitável para a aplicação deste componente.

3.5.4.5.3 Conjunto refrigerador de injeção

O conjunto refrigerador da parte injetora, apresentado na Figura 134 é composto por uma tampa (componente 6 da Figura 83) e pelo corpo (componente 13 da Figura 83)(Figura 134). Tal como na parte extrusora, este conjunto protege os componentes frios (por exemplo, cilindro hidráulico, rolamento lineares, entre outros) dos componentes aquecidos.

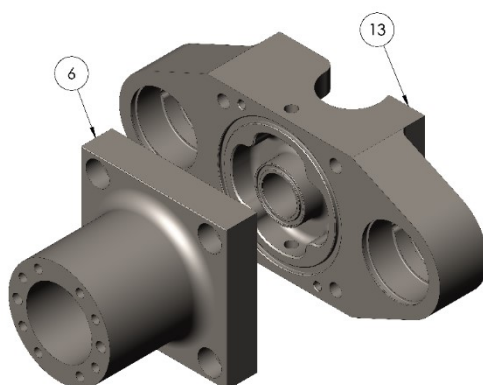


Figura 134 – Conjunto refrigerador parte injetora

Teste térmico

Para testar se a alimentação de água da fábrica é suficiente foi feito um teste térmico considerando um teste estático. A Figura 135 mostra as condições de teste. Considerou-se o corpo azul como estando a 320 °C, o que representa a situação mais desfavorável, os restantes componentes estão inicialmente a 20 °C.

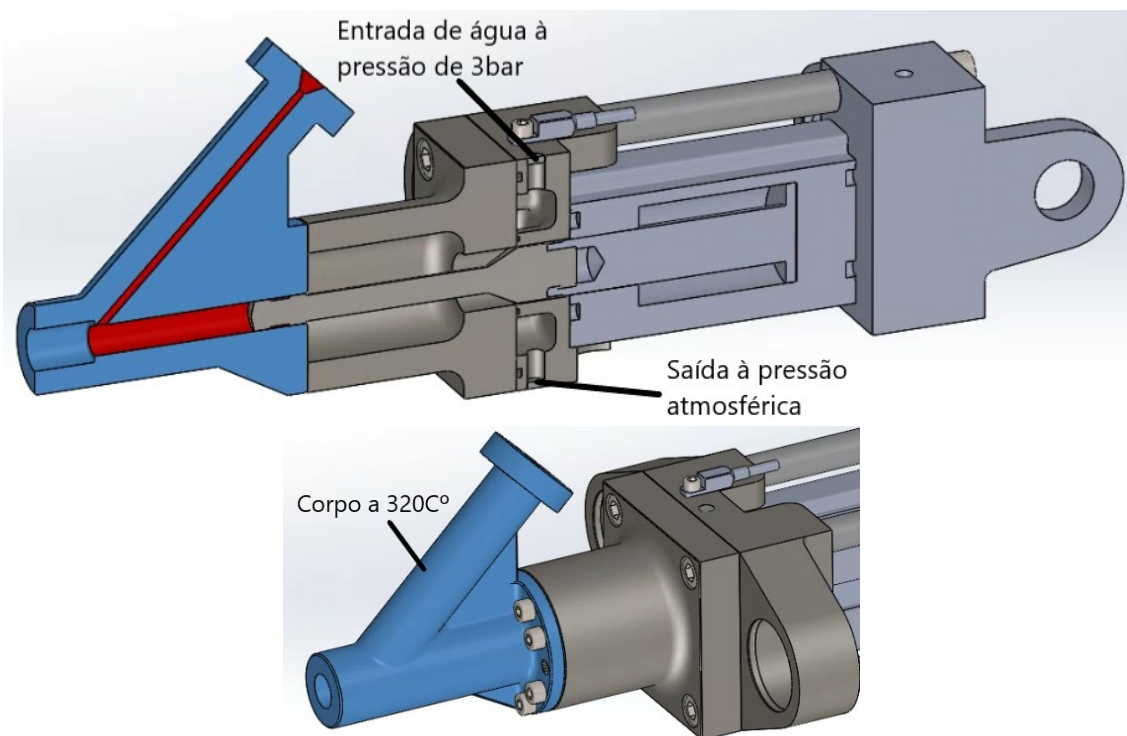
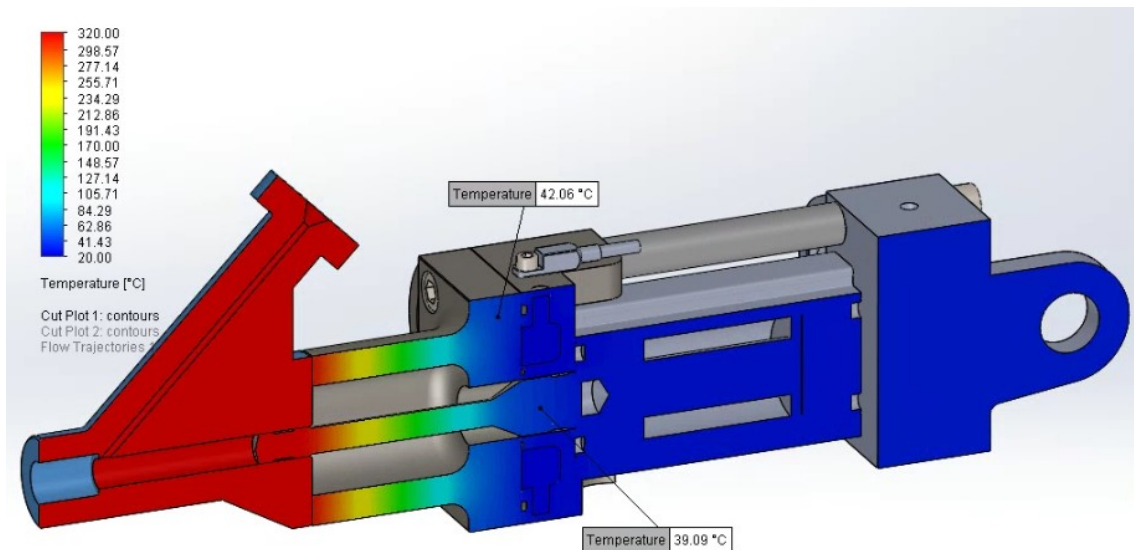


Figura 135 – Condições de teste térmico do conjunto refrigerador da parte injetora

Resultados

A Figura 136 mostra os resultados do teste.

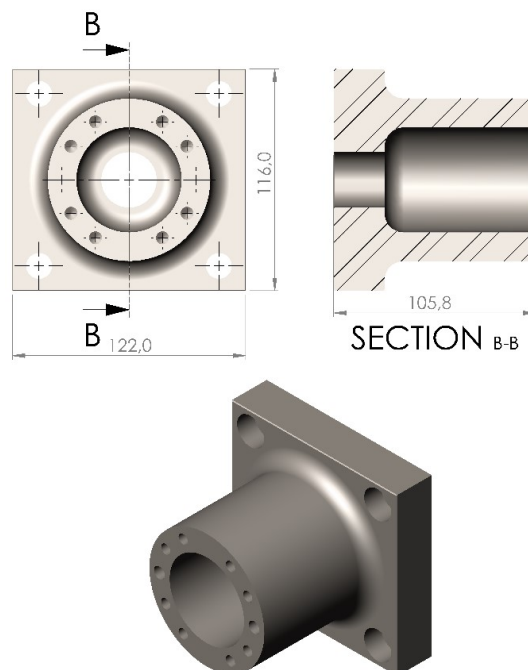


Conclusões e comentários

Uma análise aos resultados permite chegar à conclusão que a alimentação de água é suficiente, visto que as temperaturas estão dentro dos parâmetros de funcionamento dos componentes (cerca de 100 °C)

3.5.4.5.4 Tampa do conjunto refrigerador da parte injetora

A Figura 137 ilustra o componente com as cotas de atravancamento.



Validação

Foram feitas simulações de resistência à tampa e ao corpo do conjunto refrigerador. A Figura 138 representa as fixações e solicitações aplicadas no componente. Considera-se um aço com 205 GPa de módulo de elasticidade longitudinal para realizar o teste.

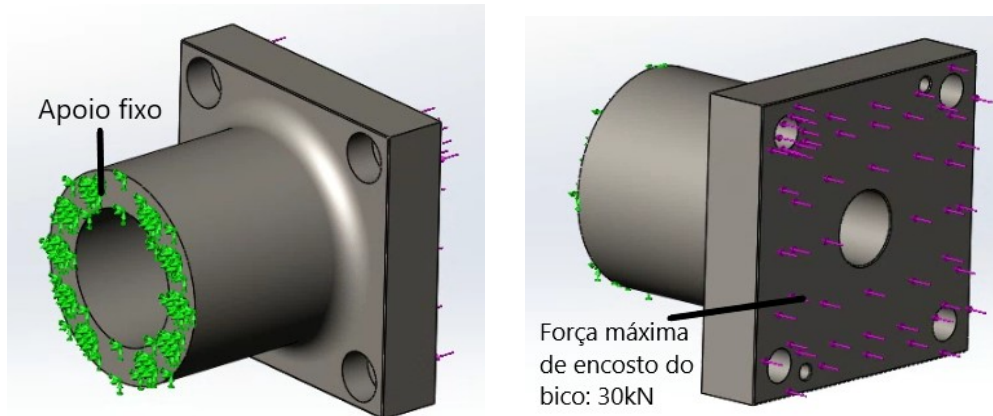


Figura 138 – Fixações e solicitações na tampa do conjunto refrigerador da parte injetora

Resultados

Na Figura 139 e Figura 140 estão representadas, respetivamente, as distribuições de tensões de Von Mises e de deslocamentos resultantes.

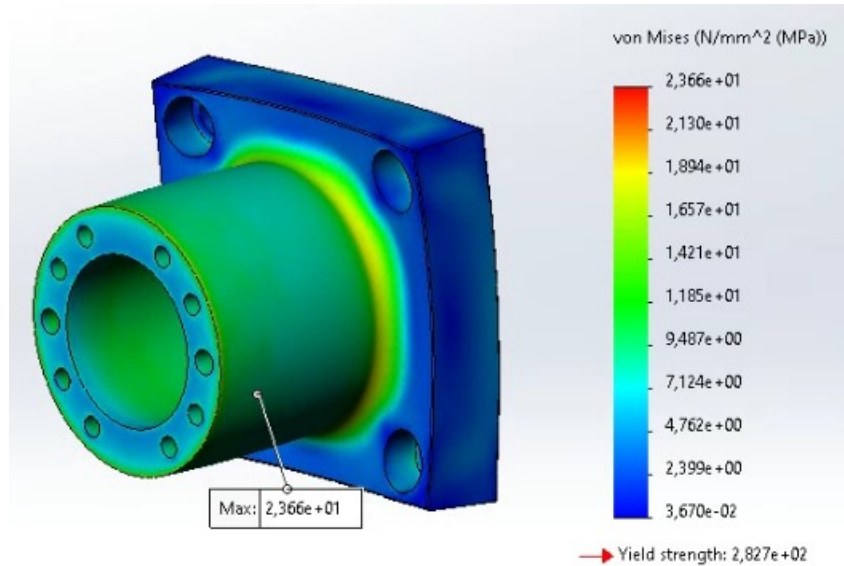


Figura 139 – Distribuição de tensões de Von Mises na tampa do conjunto refrigerador da parte injetora

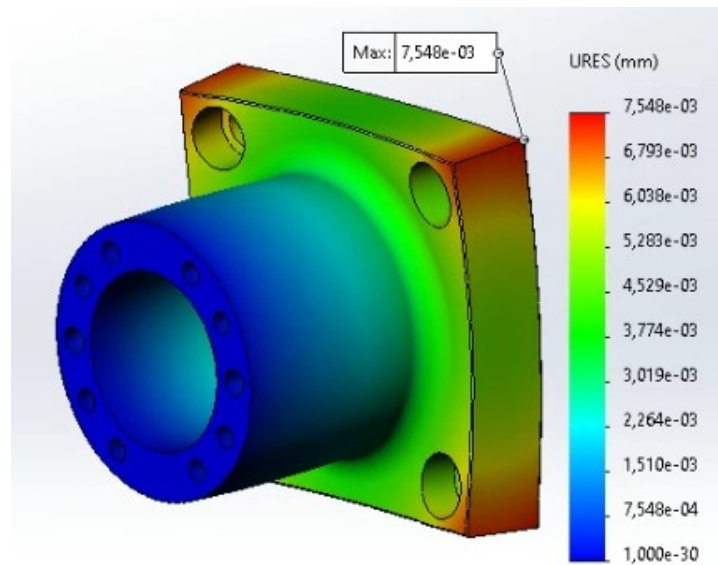


Figura 140 – Distribuição de deslocamentos resultantes na tampa do conjunto refrigerador da parte injetora

Conclusões e comentários

Analisando as distribuições de tensões e deslocamentos resultantes (Figura 139 e Figura 140) repara-se que a tensão máxima não ultrapassa os 24 MPa e o deslocamento máximo não passa dos 0,0075 mm, o que é perfeitamente aceitável.

3.5.4.5.5 Corpo do conjunto refrigerador da parte injetora

Na Figura 141 está representado o componente com as cotas de atravancamento.

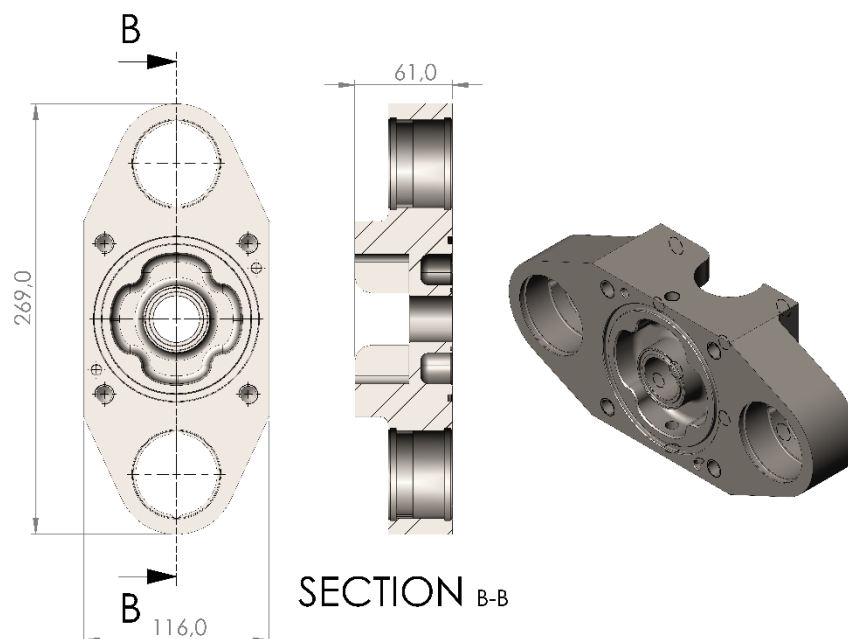


Figura 141 – Corpo do conjunto refrigerador da parte injetora

Validação

Para realizar as simulações foi necessário modelar a forma simplificada da tampa, das colunas espaçadoras e dos parafusos que apertam o cilindro de injeção, pois os resultados que se estava a obter sem estes sólidos resultava em muitas singularidades nos furos de aperto destes mesmos sólidos (Figura 142). Considera-se um aço de 205 GPa de módulo de elasticidade longitudinal.

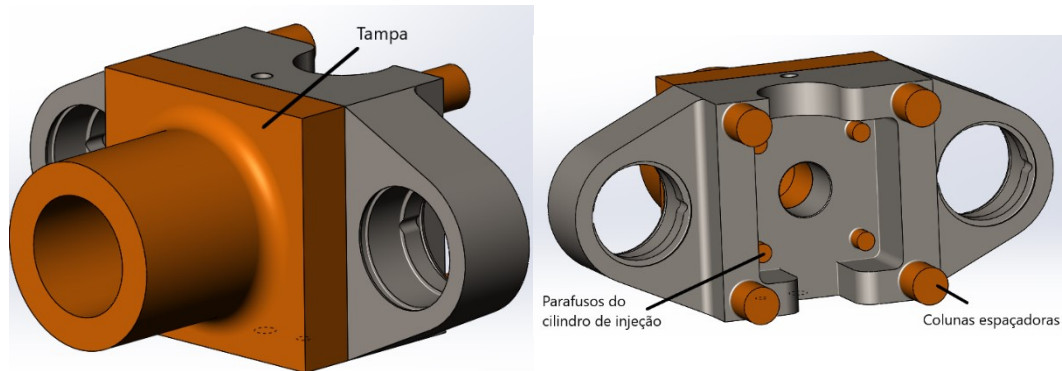


Figura 142 –Preparação do corpo do conjunto refrigerador da parte injetora para simulação

Na Figura 143 estão representadas as fixações e solicitações aplicadas ao componente.

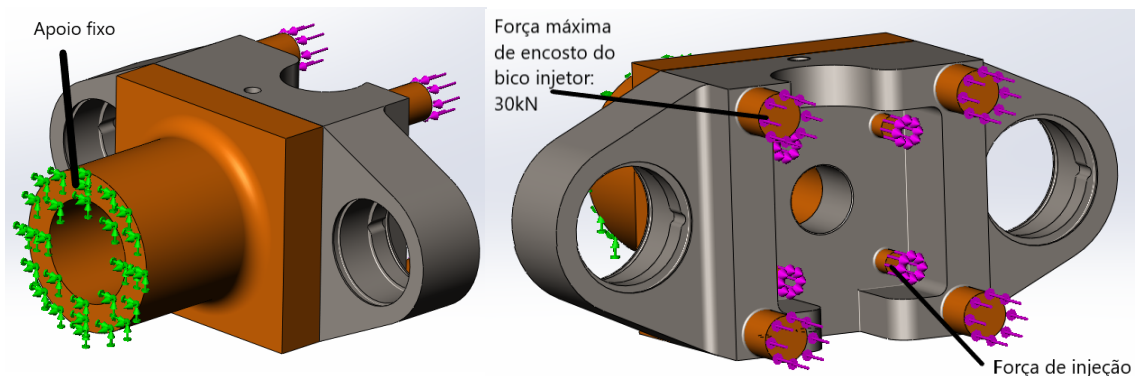


Figura 143 –Fixações e solicitações do corpo do conjunto refrigerador da parte injetora

As forças de 30 kN e força de injeção estão divididas, ambas, por 4 apoios.

Resultados

Os resultados da distribuição de tensões de Von Mises e deslocamentos resultantes estão representados, respetivamente, na Figura 144,.Figura 145 e Figura 146.

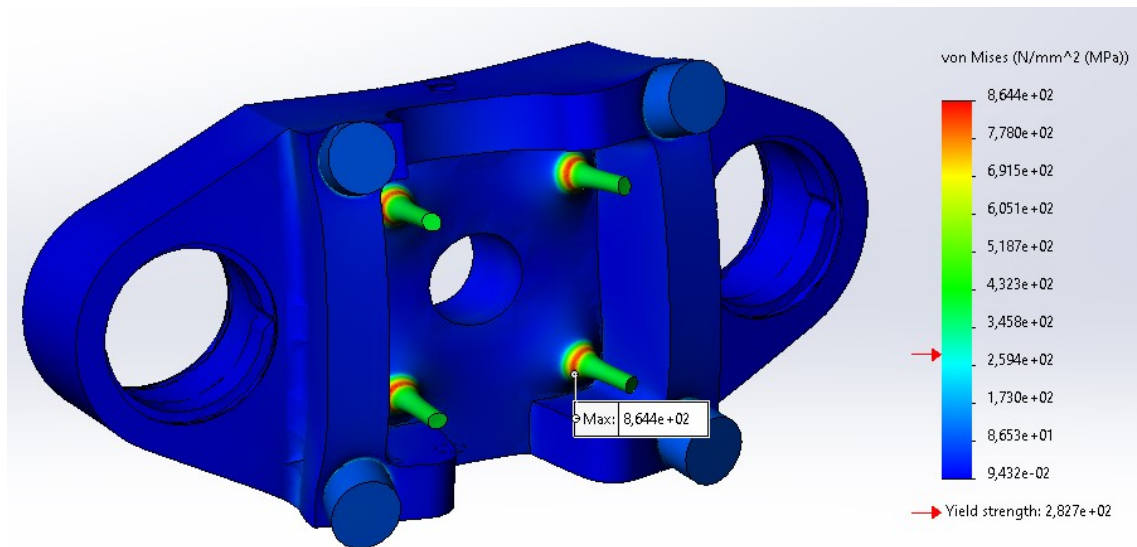


Figura 144 –Distribuição de tensões de Von Mises do corpo do conjunto refrigerador da parte injetora

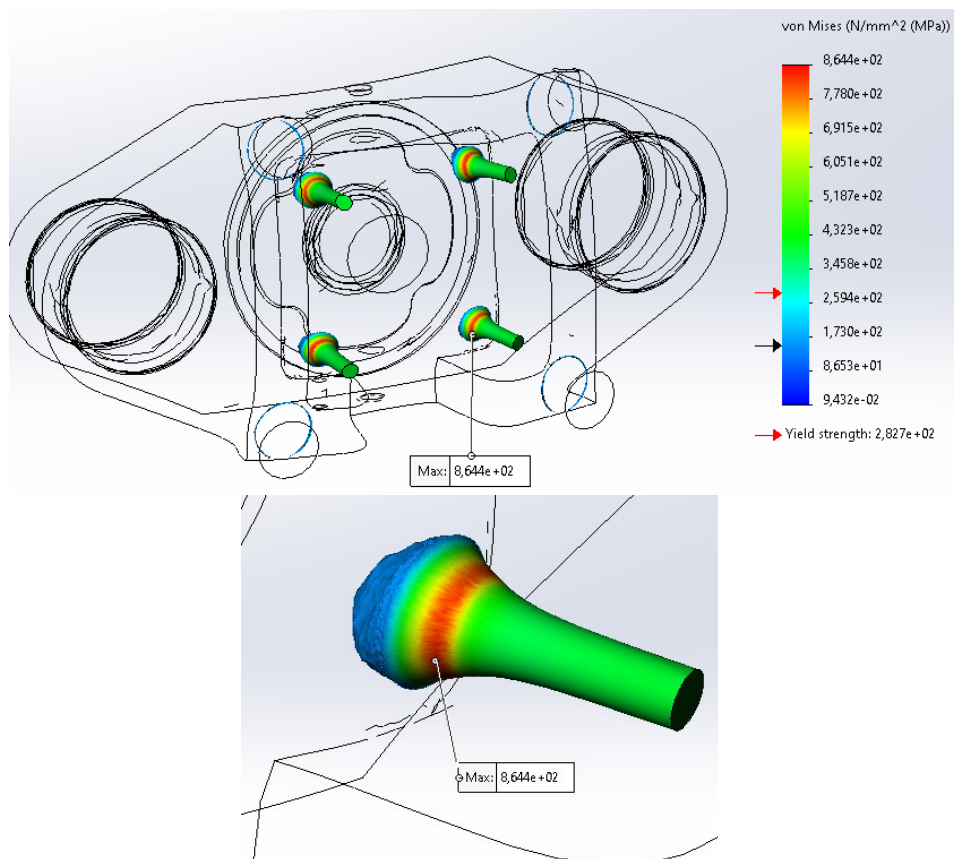


Figura 145 –Distribuição de tensões de Von Mises superiores a 150 MPa do corpo do conjunto refrigerador da parte injetora

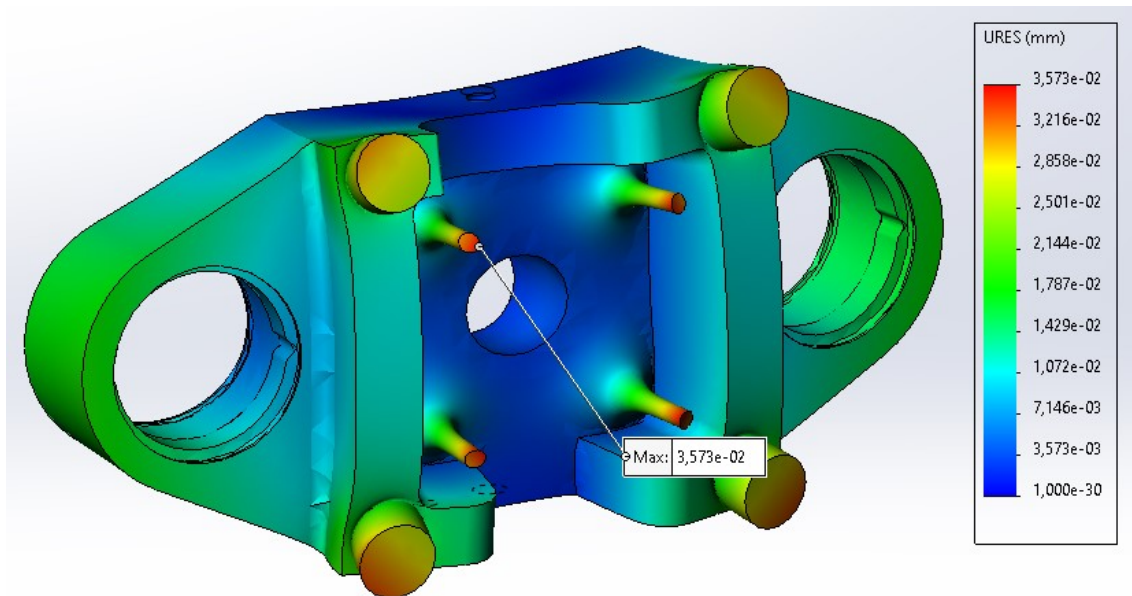


Figura 146 – Distribuição de deslocamentos resultantes do corpo do conjunto refrigerador da parte injetora

Conclusões e comentários

Analisando a distribuição de tensões (Figura 144) nota-se que a tensão máxima atinge 865 MPa. No entanto, feita uma análise à distribuição de tensões superiores a 150 MPa, repara-se que essas tensões estão localizadas nos elementos que simulam os parafusos de aperto do cilindro de injeção, desta forma não pertencendo ao componente em questão. Por isso conclui-se que a tensão máxima do componente não ultrapassa os 150 MPa. Relativamente à distribuição de deformações, a deformação máxima atinge os 0,036 mm, o que é aceitável para a aplicação deste componente.

3.5.4.5.6 Colunas espaçadoras

A Figura 147 ilustra a coluna espaçadora com as cotas de atravancamento.

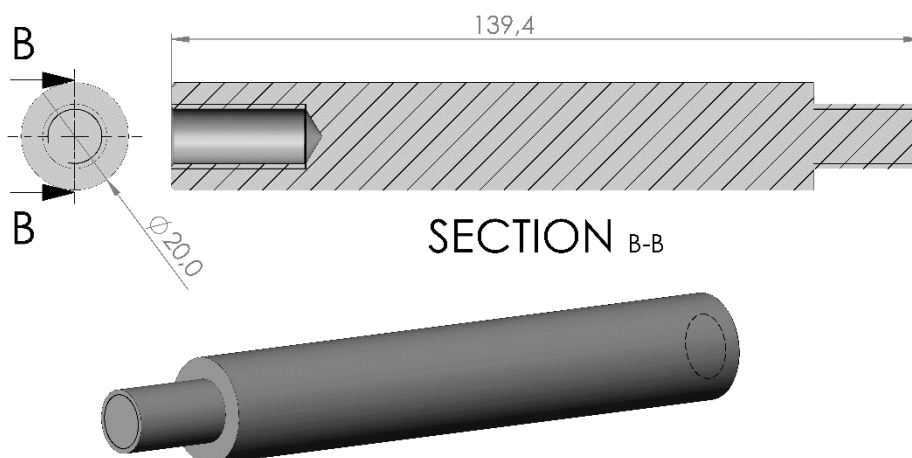


Figura 147 – Coluna espaçadora

Validação

Na Figura 148 estão representadas as fixações e solicitações impostas no componente. Considera-se um aço de 205 GPa de módulo de elasticidade longitudinal.

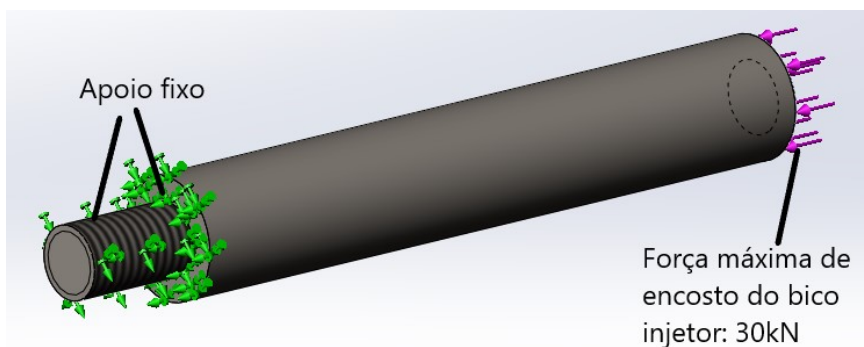


Figura 148 – Fixações e solicitações na coluna espaçadora

Resultados

Na Figura 149, Figura 150 e Figura 151 estão representadas, respetivamente, a distribuição de tensões, a distribuição de tensões de Von Mises superiores a 160 MPa e a distribuição de deslocamentos resultantes.

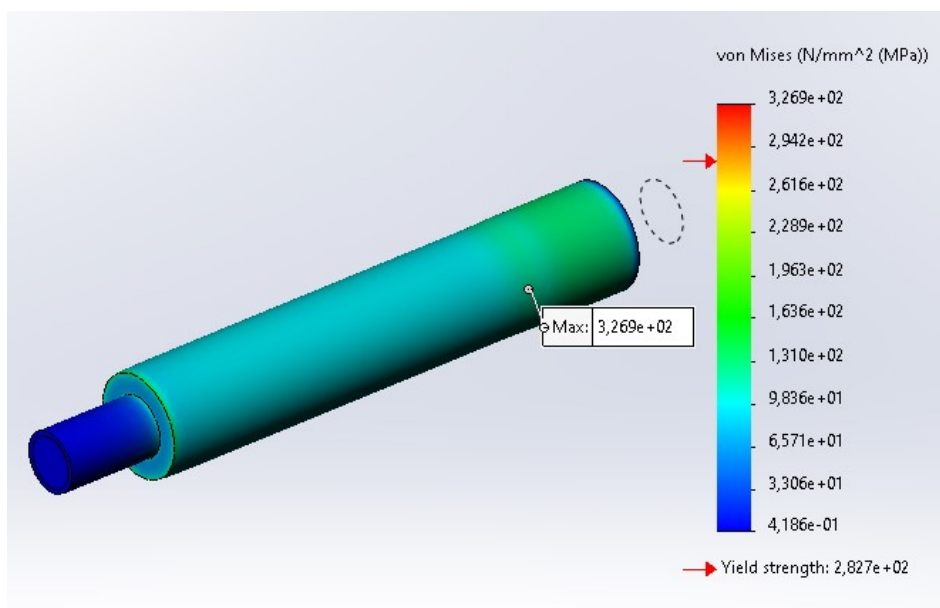


Figura 149 – Distribuição de tensões de Von Mises na coluna espaçadora

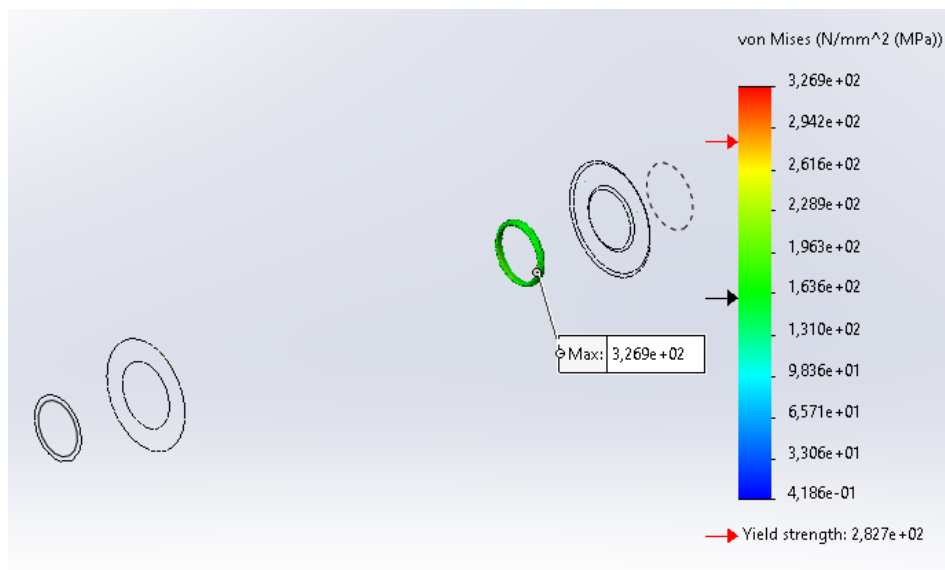


Figura 150 –Distribuição de tensões de Von Mises superiores a 160 MPa na coluna espaçadora

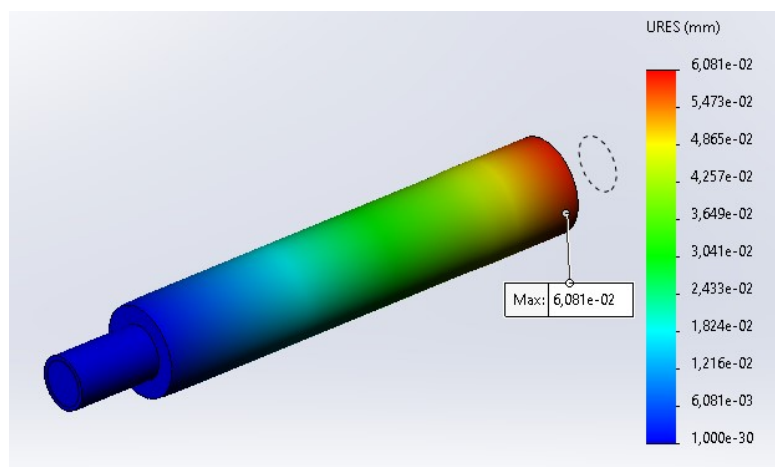


Figura 151 –Distribuição de deslocamentos resultantes na coluna espaçadora

Conclusões e comentários

Uma análise à distribuição de tensões (Figura 149) revela uma tensão máxima de 327 MPa. No entanto, a Figura 150 revela que essa tensão máxima se dá no final do furo roscado sem continuidade com o resto do componente sendo, portanto, tensões resultantes de singularidades. Por isso, considera-se que o componente tem uma tensão máxima de 160 MPa. Relativamente aos deslocamentos resultantes (Figura 151), o deslocamento máximo é de 0,061 mm, sendo considerada desprezável para a situação em causa e por isso aceitável.

3.5.4.5.7 Suporte do cilindro de encosto ao molde

Na Figura 152 está representado o componente com as cotas de atravancamento.

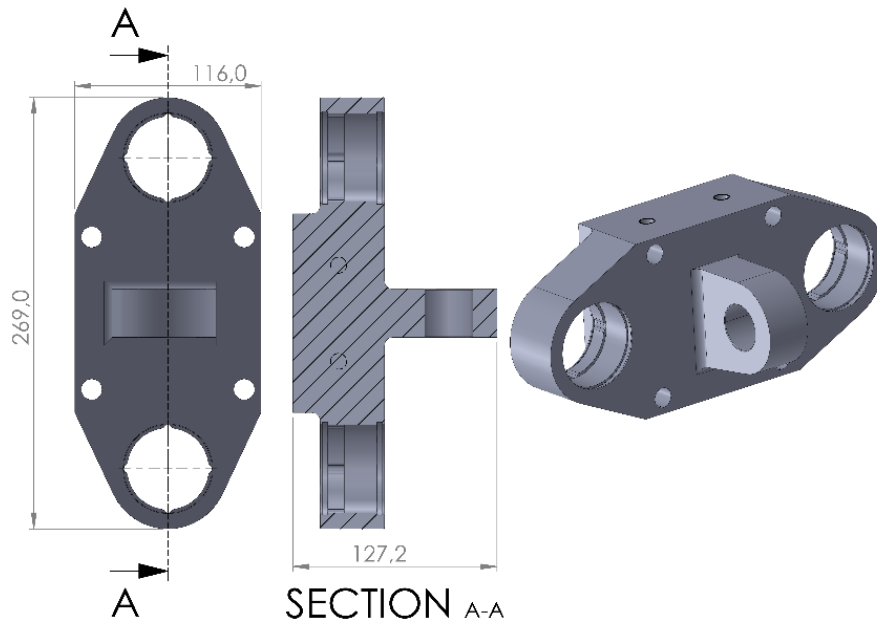


Figura 152 –Suporte do cilindro de encosto ao molde

Validação

Considera-se um aço de 205 GPa de módulo de elasticidade longitudinal para as simulações. Na Figura 153 estão ilustradas as fixações e solicitações impostas ao componente. Foi necessário modelar parte das colunas espaçadoras representadas a laranja na Figura 153 para alcançar resultados mais realistas.

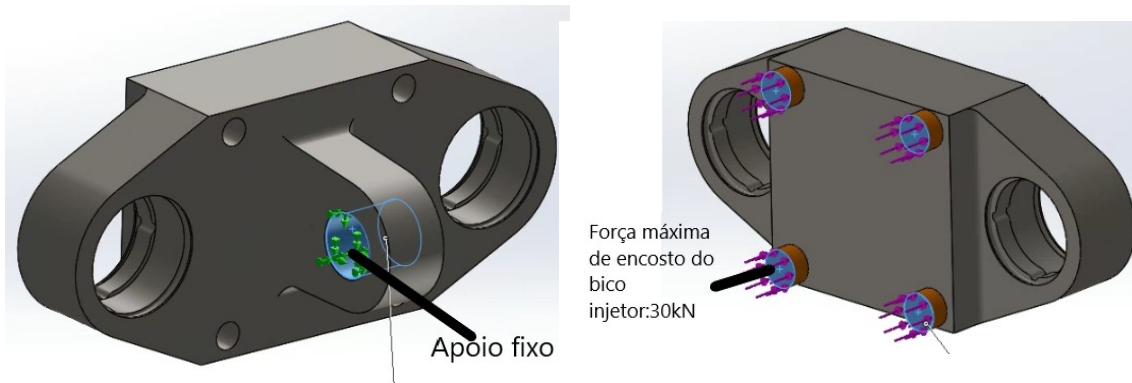


Figura 153 –Fixações e solicitações no suporte do cilindro de encosto ao molde

Resultados

Na Figura 154, Figura 155 e Figura 156 estão representadas, respetivamente, a distribuição de tensões de Von Mises, a distribuição de tensões de Von Mises superiores a 60 MPa e a distribuição de deslocamentos resultantes.

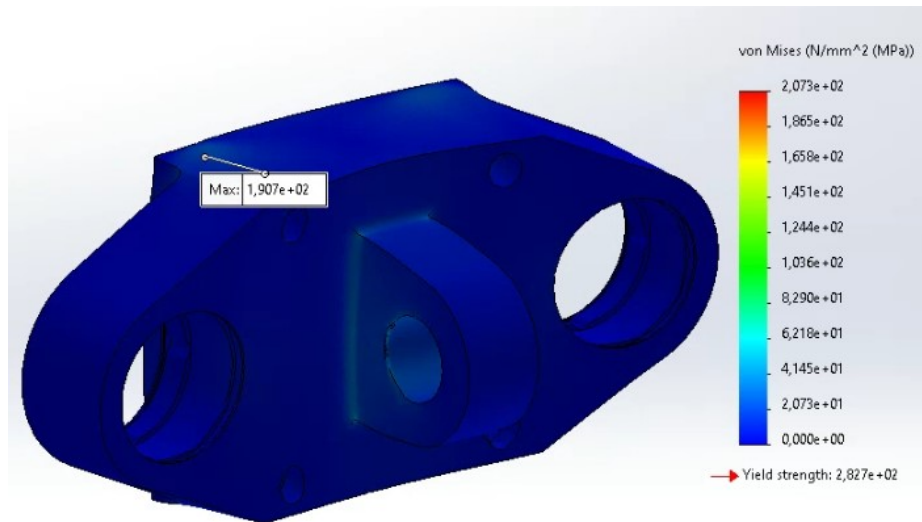


Figura 154 –Distribuição de tensões de Von Mises no suporte do cilindro de encosto ao molde

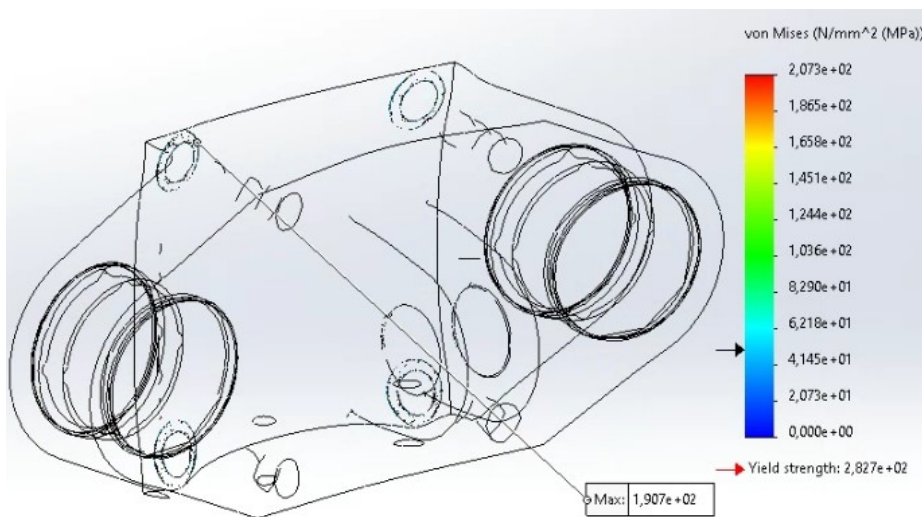


Figura 155 –Distribuição de tensões de Von Mises superiores a 60 MPa no suporte do cilindro de encosto ao molde

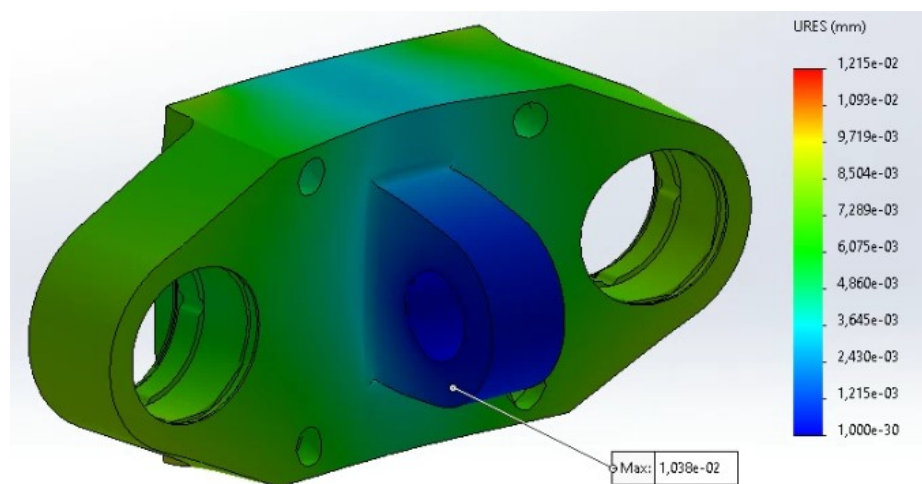


Figura 156 –Distribuição de deslocamentos resultantes no suporte do cilindro de encosto ao molde

Conclusões e comentários

A distribuição de tensões (Figura 154) revela que a tensão máxima atinge os 191 MPa. No entanto, a distribuição de tensões superiores a 60 MPa revela que essa tensão máxima é localizada e originária de singularidades nos cálculos, pelo que se considera que a tensão máxima do modelo não é superior a 60 MPa. A distribuição de deslocamentos resultantes (Figura 156) revela que o componente não tem um deslocamento considerável (Máximo de 0,012 mm) e por isso é aceitável.

3.5.4.5.8 Adaptador cilindro de encosto

Na Figura 157 está representado o componente com as cotas de atravancamento.

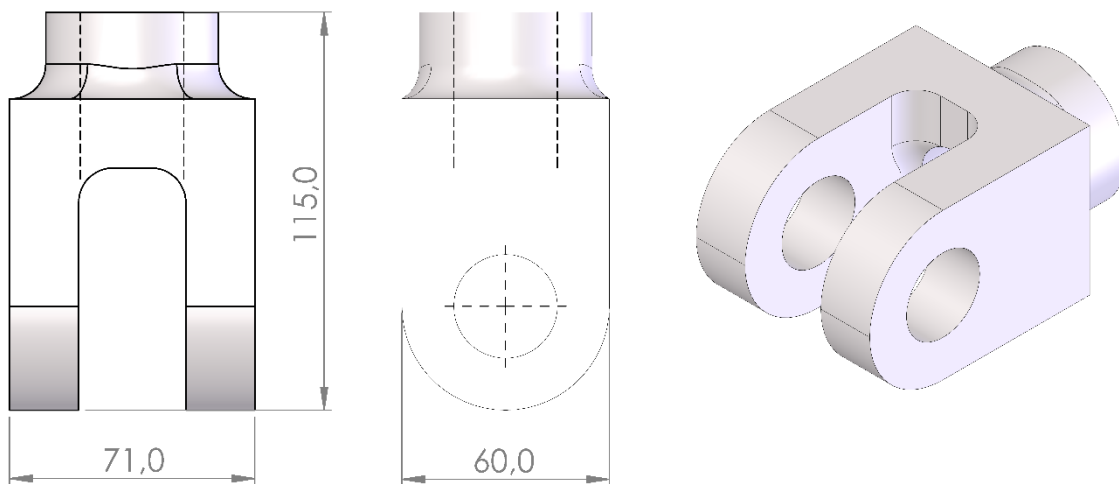


Figura 157 – Adaptador cilindro de encosto

Validação

Na Figura 158 estão representadas as fixações e solicitações impostas no componente. Considera-se um aço com 205 GPa de módulo de elasticidade longitudinal para as simulações.

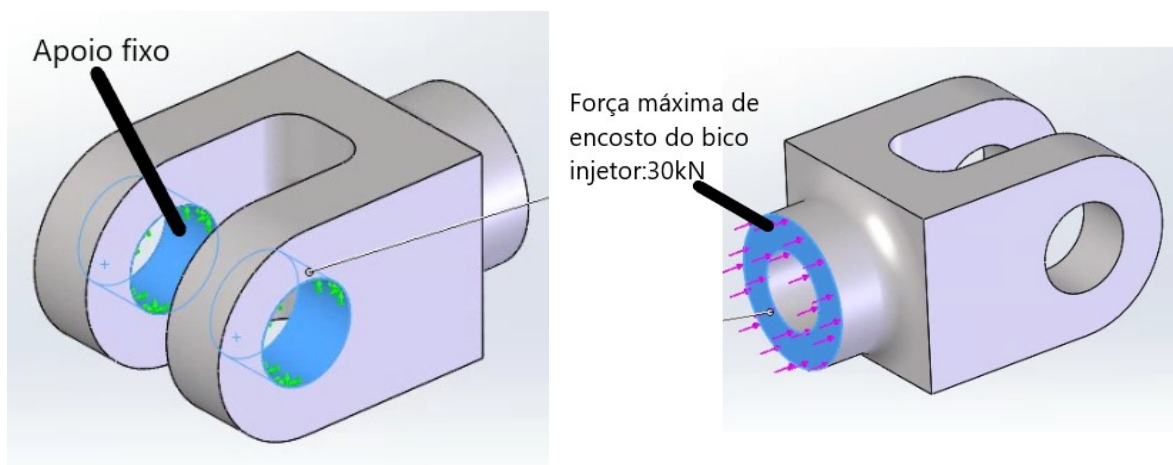


Figura 158 – Fixações e solicitações no adaptador cilindro de encosto

Resultados

A Figura 159, Figura 160 e Figura 161 representam, respectivamente, a distribuição de tensões de Von Mises, a distribuição de tensões de Von Mises superiores a 40 MPa e a distribuição de deslocamentos resultantes.

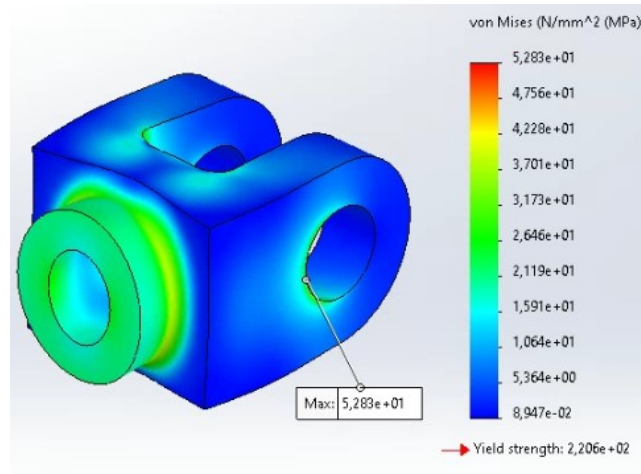


Figura 159 –Distribuição de tensões de Von Mises no adaptador cilindro de encosto

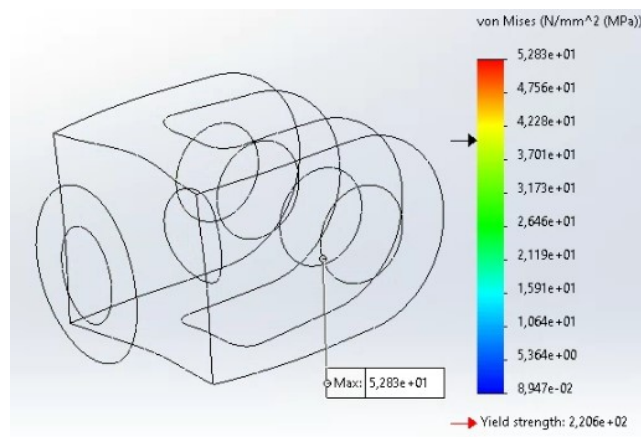


Figura 160 –Distribuição de tensões de Von Mises superiores a 40 MPa no adaptador cilindro de encosto

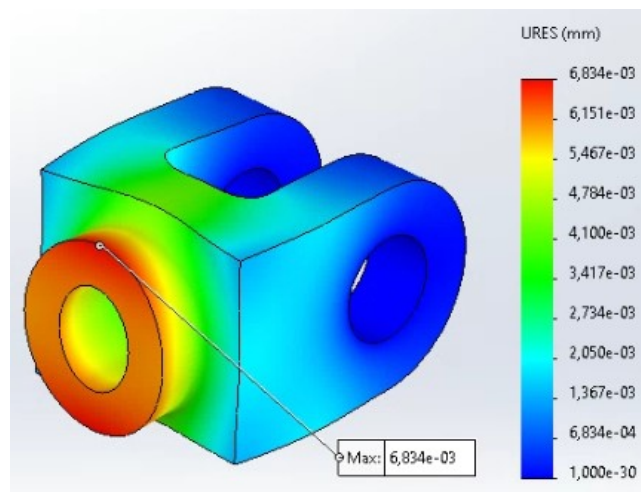


Figura 161 –Distribuição de deslocamentos resultantes no adaptador cilindro de encosto

Conclusões e comentários

A tensão máxima de Von Mises atingida é cerca de 53 MPa (Figura 159). No entanto, essas tensões estão concentradas numa aresta sem continuidade com o resto do modelo sendo, por isso, originárias de singularidades, tal como se pode ver na Figura 160. Conclui-se então que a tensão máxima não ultrapassa os 40 MPa.

O deslocamento máximo atinge os 0,007 mm (Figura 161) o que é perfeitamente aceitável.

3.5.4.5.9 Adaptador de montagem do cilindro de encosto

Na Figura 162 está representado o adaptador de montagem do cilindro de encosto com as cotas de atravancamento.

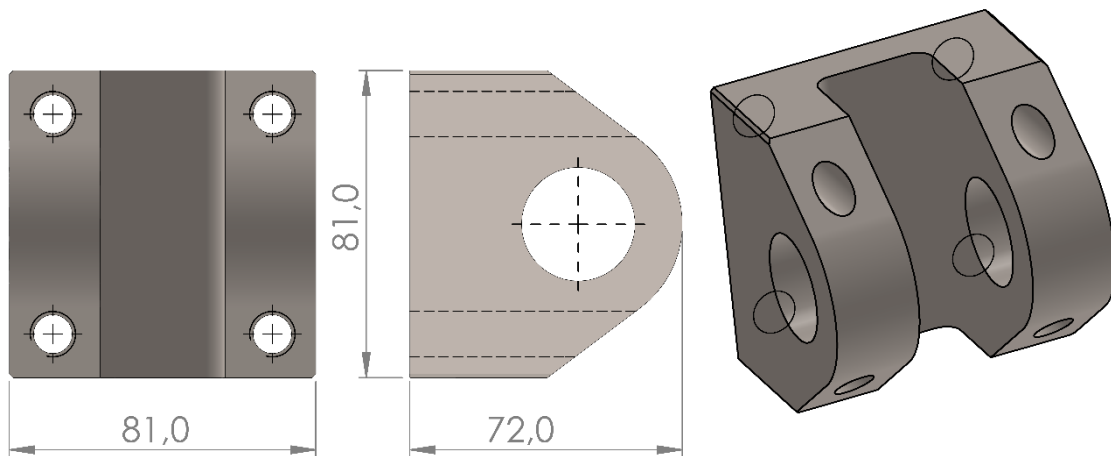


Figura 162 – Adaptador de montagem do cilindro de encosto

Validação

Na Figura 163 estão representadas as fixações e solicitações impostas ao componente. Considera-se um aço de 205 GPa de módulo de elasticidade longitudinal.

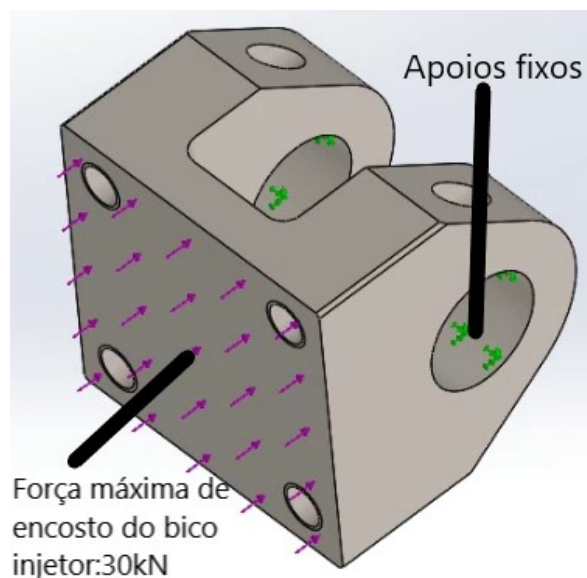


Figura 163 –Fixações e solicitações impostas no adaptador de montagem do cilindro de encosto

Resultados

A Figura 164 e Figura 165 representam, respetivamente, a distribuição de tensões de Von Mises e a distribuição de deslocamentos resultantes.

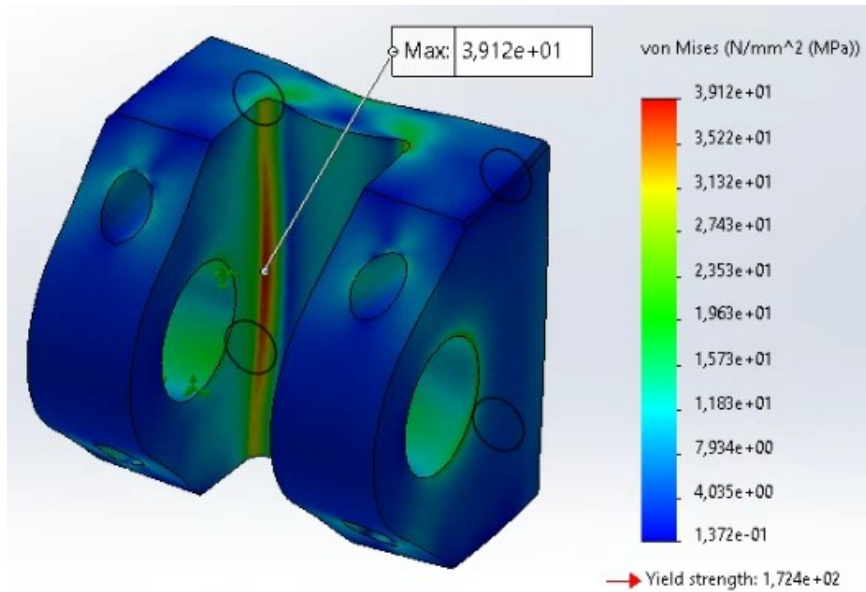


Figura 164 – Distribuição de tensões de Von Mises no adaptador de montagem do cilindro de encosto

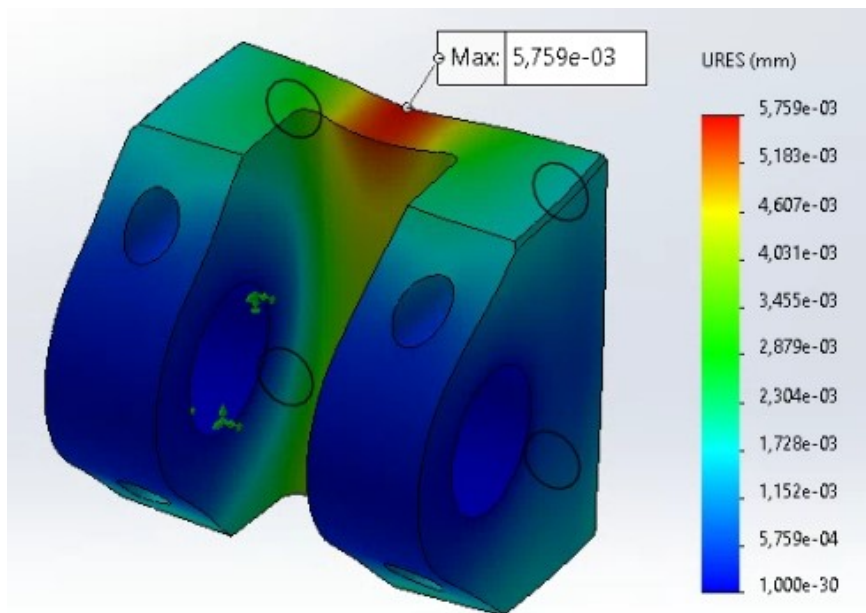


Figura 165 – Distribuição de deslocamentos resultantes no adaptador de montagem do cilindro de encosto

Conclusões e comentários

A distribuição de tensões (Figura 164) mostra uma tensão máxima cerca de 39 MPa. A deformação máxima atinge os 0,0046 mm que é aceitável para a situação em causa.

3.5.4.5.10 Adaptador de fixação à estrutura da injetora

A Figura 166 tem representado o componente com as cotas de atravancamento.

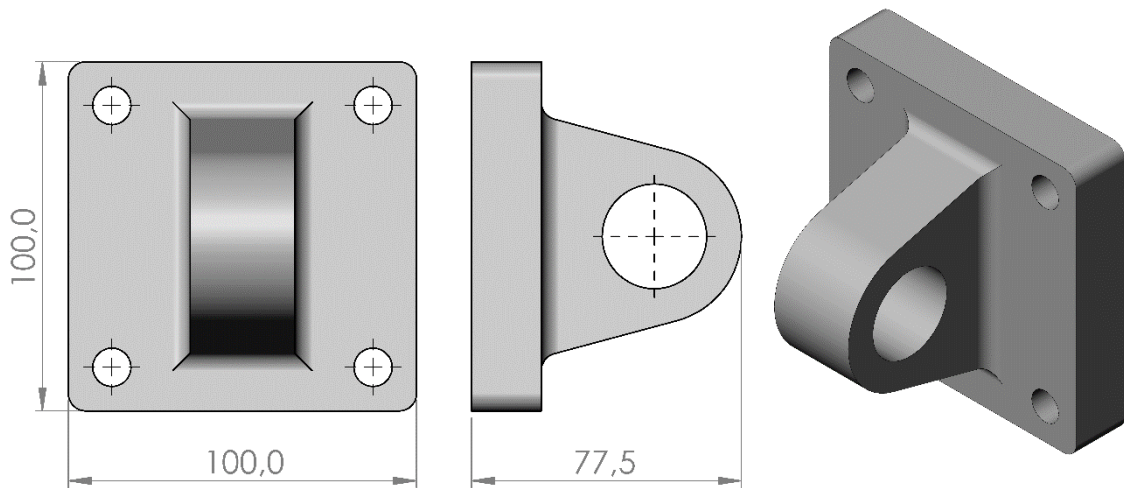


Figura 166 – Adaptador de fixação à estrutura da injetora

Validação

Na Figura 167 estão representadas as fixações e solicitações aplicadas ao componente. Considera-se um aço de 205 GPa de módulo de elasticidade longitudinal.

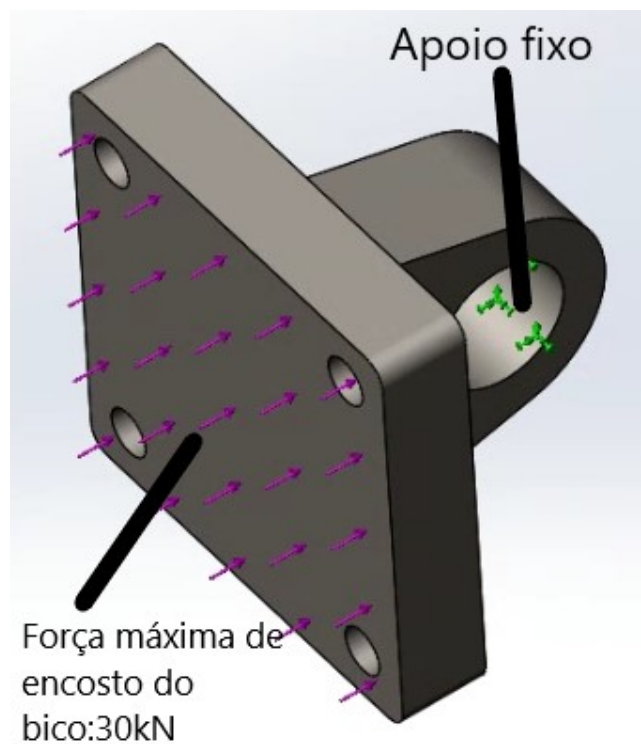


Figura 167 – Fixações e solicitações impostas no adaptador de fixação à estrutura da injetora

Resultados

Na Figura 168, Figura 169 e Figura 170 estão representadas, respetivamente, a distribuição de tensões de Von Mises, distribuição de tensões de Von Mises acima de 60 MPa e distribuição de deslocamentos resultantes.

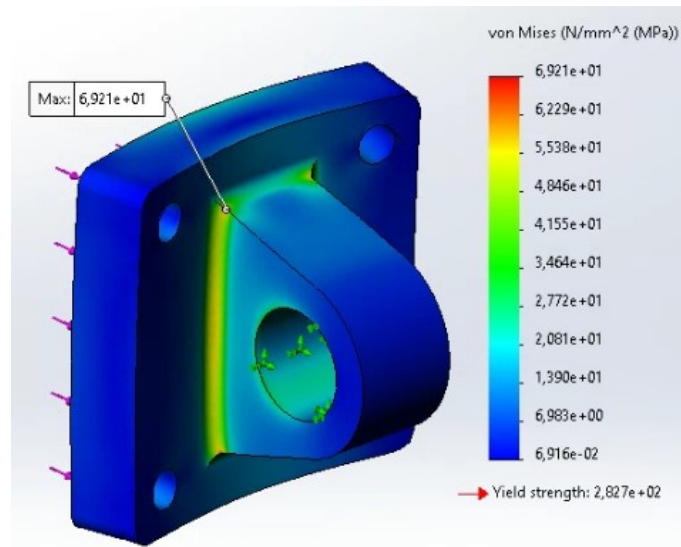


Figura 168 – Distribuição de tensões de Von Mises no adaptador de fixação à estrutura da injetora

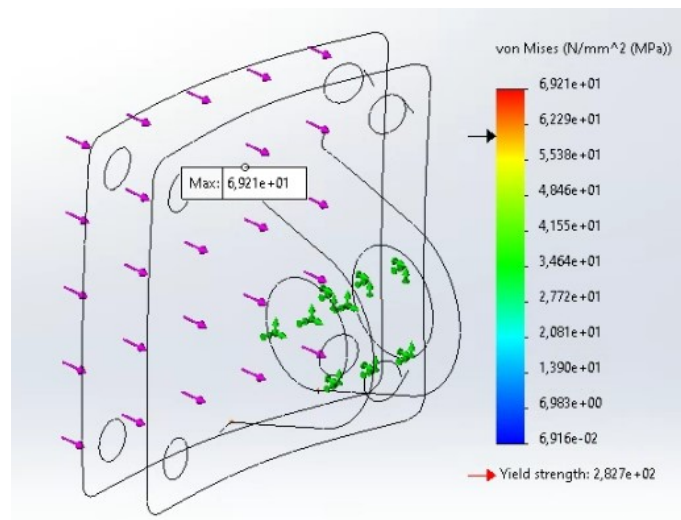


Figura 169 – Distribuição de tensões de Von Mises superiores a 60 MPa no adaptador de fixação à estrutura da injetora

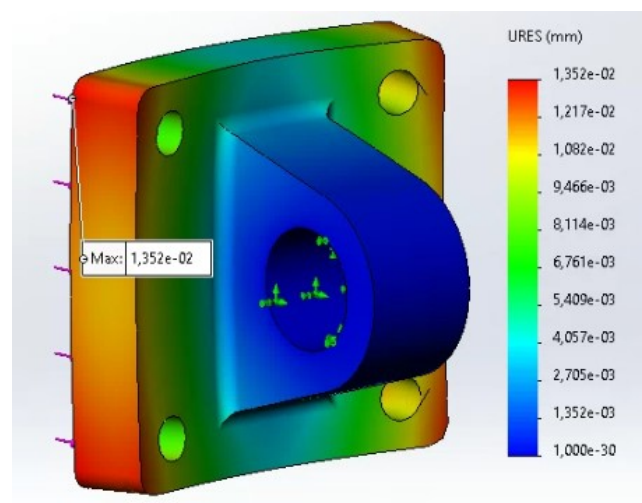


Figura 170 – Distribuição de deslocamentos resultantes no adaptador de fixação à estrutura da injetora

Conclusões e comentários

A tensão máxima de Von Mises (ver Figura 168) atinge os 70 MPa. No entanto, uma análise feita à Figura 169 revela que essa tensão é originária de singularidades. Por isso considera-se que a tensão máxima da peça atinge os 60 MPa. Relativamente ao deslocamento resultante, a deformação máxima atinge os 0,013 mm que é aceitável nesta situação.

3.5.4.5.11 Pinos

A Figura 171 mostra as solicitações aplicadas no pino.

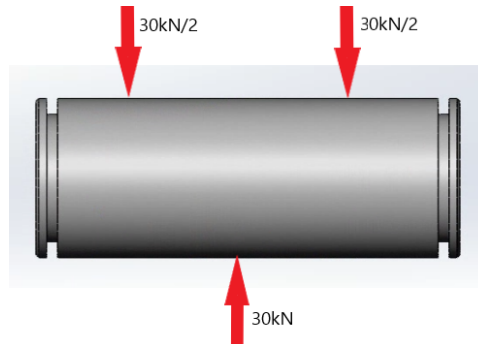


Figura 171 – Pino

Desta forma o pino terá que resistir apenas a 15 kN, uma vez que se encontra sujeita a uma solicitação de corte duplo.

A tensão aplicada no pino é calculada pela equação (10)

$$\tau_{\max} = \frac{F}{A_p}; \quad (10)$$

onde:

τ_{\max} – Tensão máxima aplicada;

F – Força imposta (15 kN);

A_p – Área da secção do pino.

Sendo a área da secção do pino igual a 706,86 mm² tem-se uma tensão máxima aplicada de 21,2 MPa.

3.5.4.5.12 Cilindro de encosto ao molde

Sabe-se que a força máxima que o bico injetor suporta é de 30 kN que é pouco menos que a força de injeção. Por isso, escolhe-se um cilindro igual ao cilindro de injeção mudando apenas a forma de aperto da haste. O modelo do cilindro escolhido é o CHDKGB50-75M-M9PVM_BOLT M10X150I x4 da SMC que é capaz de realizar uma força cerca de 31 kN.

3.5.5 Seleção de materiais e processo de fabrico

Da Tabela 9 à Tabela 14 estão representados os materiais e processos de fabrico escolhidos para os componentes da injetora.

Tabela 9 – Materiais e processo de fabrico do conjunto e dos componentes do conjunto da estrutura geral (Figura 78)(ver desenhos no anexo “Desenhos de fabrico”)

Referência do componente	do Conjunto - ADAAA0	ADAAA1; ADAAA2; ADAAA4; ADAAA6; ADAAA7; ADAAA9; ADAAA15; ADAAA17; ADAAA20; ADAAA21; ADAAA22; ADAAA23; ADAAA25; ADAAA26; ADAAA27; ADAAA28; ADAAA29; ADAAA30; ADAAA10; ADAAA14	ADAAA3; ADAAA5; ADAAA12; ADAAA16; ADAAA18; ADAAA8; ADAAA11	ADAAA13
Requisitos	Tensão de cedência: superior a 75 MPa			
Tipo material	Aço carbono (construção)			
Observações				
Material escolhido e propriedades	DIN ST-37 (235MPa de tensão de cedência)			
Processo de fabrico	1.Soldadura 2.Maquinagem 3.Pintura electroestática	Serrote	Corte laser 2D	1.Corte laser 2D 2.Quinagem 3.Soldadura

A pintura electroestática é utilizada para dar acabamento ao conjunto e proteção contra a oxidação.

Tabela 10 – Materiais e processo de fabrico do conjunto e dos componentes do conjunto da prensa (Figura 79) (ver desenhos no anexo “Desenhos de fabrico”)

Referência do componente	ACAAA1	ACAAA2	ACAAA3	ACAAA4
Requisitos	Tensão de cedência >= 74 MPa			
Tipo material	Ferro fundido cinzento	Aço carbono construção	Aço carbono construção	Aço carbono construção

Observações	Material de grande facilidade de fabrico; Mais utilizado em máquinas e equipamentos; Boa maquinaalidade											
Material escolhido e propriedades	e	EN-GJL-150 (Tensão de cedência:98 MPa)	DIN ST-37 (235 MPa de tensão de cedência)	DIN ST-37 (235 MPa de tensão de cedência)	DIN ST-37 (235 MPa de tensão de cedência)							
Processo de fabrico	1.Fundição com moldação de areia 2.Maquinagem 3.Zincagem			1.Maquinagem 2.Zincagem		1.Torno 2.Maquinagem 3.Zincagem		1.Corte laser 2D 2.Maquinagem 3.Zincagem				

É criada uma camada de zinco durante a zincagem para proteger os componentes da oxidação.

Tabela 11 – Materiais e processo de fabrico do conjunto e dos componentes do conjunto da parte extrusora (Figura 81 e Figura 82) (ver desenhos no anexo “Desenhos de fabrico”)

Referência do componente	ABCAA2	ABCBA1	ABCBA2	ABCBA3	ABCBA4	ABCBA5	ABCBA6; ABCBA8	ABCBA7; ABCBA9	ABCBA10	ABCBB1	ABCBB2	ABCBB3; ABCBB4	
Requisitos	Grande proteção contra oxidação/corrosão e desgaste	Tensão de cedência superior a 183 MPa; Grande resistência ao desgaste; Resistência à corrosão	Resistência ao desgaste; Baixa ductilidade	Resistência ao desgaste	Tensão de cedência maior que 375 MPa; Resistência ao desgaste	Tensão de cedência superior a 308 MPa; Grande resistência ao desgaste; Resistência à corrosão/oxidação	Resistência à corrosão/oxidação	Resistência ao desgaste; Baixa ductilidade	Resistência à corrosão/oxidação	Resistência à corrosão/oxidação	Boa ductilidade; Resistência a altas temperaturas	Proteção contra corrosão/oxidação	Grande proteção ao desgaste devido à erosão provocada pela água
Tipo material	Aço inoxidável	Aço carbono construção	Bronze	Aço carbono construção	Aço inoxidável	Aço carbono construção	Aço carbono construção	Bronze	Aço carbono construção	Bronze	Aço inoxidável	Aço inoxidável	
Observações	Material para reduzir atrito e reduzir desgaste												

Material escolhido e propriedades	1.0503 (Tensão de cedência de 410 MPa)	1.0503 (Tensão de cedência de 410 MPa)	AISI 303 (Tensão de cedência de 415 MPa)	1.0503 (Tensão de cedência de 410 MPa)	1.0503 (Tensão de cedência de 410 MPa)	1.0503 (Tensão de cedência de 410 MPa)	1.0503 (Tensão de cedência de 410 MPa)	1.0503 (Tensão de cedência de 410 MPa)	1.0503 (Tensão de cedência de 410 MPa)	AISI 304	AISI 304
1.Serrote			1.Corte laser 2D								
2.Corte laser 2D	1.Torno		1.Torno	2.Quinagem	1.Torno	1.Torno	1.Torno	1.Torno	1.Maquinagem	1.Torno	1.Torno
3.Calandragem	2.Maquinagem	Maquinagem	2.Maquinagem	3.Soldadura4.Cromo duro	2.Maquinagem	2.Maquinagem	2.Maquinagem	2.Maquinagem	2.Corte fio	2.Maquinagem	2.Maquinagem
4.Soldadura TIG	3.Cromoduro		3.Cromoduro			3.Zincagem		3.Zincagem	resistência		3.Cromoduro
5.Cromoduro											

Os componentes mecânicos descritos na Tabela 11 funcionarão a baixas rotações e baixas velocidades lineares. Serão solicitados com ciclos de períodos relativamente grandes e, por isso, considera-se que não sofrerão fadiga. No entanto, são necessários testes de funcionamento para averiguar se existe fadiga dos componentes. Posto isto, não serão necessários materiais com alta capacidade de resistência ao impacto, alta tenacidade e alta resistência à fadiga. Desta forma, escolhe-se um aço ao carbono que será recoberto com uma camada de cromo duro que lhe confere uma alta resistência ao desgaste e proteção à oxidação.

O material de bronze escolhido é o mais utilizado em componentes de deslize e que não necessita de lubrificação intensiva, basta o uso de massa lubrificante.

Tabela 12 – Materiais e processo de fabrico do conjunto e dos componentes do conjunto da parte injetora (Figura 83) (ver desenhos no anexo “Desenhos de fabrico”)

Referência do componente	ABBAA1	ABBAA2	ABBAA3	ABBAA4	ABBAA5; ABBAA6	ABBAA7	ABBAA8	ABBAA9	ABBBA1	ABBBA2
Requisitos	Tensão de cedência superior a 900 MPa; Grande resistência ao desgaste; Resistência à corrosão e oxidação	Tensão de cedência superior a 354 MPa; Grande resistência ao desgaste; Resistência à corrosão e oxidação	Tensão de cedência superior a 60 MPa; Resistência à corrosão e oxidação	Tensão de cedência superior a 32 MPa; Resistência à corrosão e oxidação	Tensão de cedência superior a 31,8 MPa; Resistência à corrosão e oxidação	Tensão de cedência superior a 240 MPa; Resistência à corrosão e oxidação	Tensão de cedência superior a 90 MPa; Resistência à corrosão e oxidação	Tensão de cedência superior a 90 MPa; Resistência à corrosão e oxidação	Tensão de cedência superior a 225 MPa; Grande resistência à corrosão e oxidação	Tensão de cedência superior a 36 MPa; Grande resistência à corrosão e oxidação

Tipo material	Aço carbono construção	Aço carbono construção	Aço carbono construção	Aço carbono construção	Aço carbono construção	Aço carbono construção	Aço carbono construção	Aço carbono construção	Aço carbono construção	Aço inoxidável	Aço inoxidável
Material escolhido e propriedades	AISI 4142 temperado (Tensão de cedência de 966 MPa)	1.0503 (Tensão de cedência de 410 MPa)	DIN ST-37 (235 MPa de tensão de cedência)	DIN ST-37 (235 MPa de tensão de cedência)	DIN ST-37 (235 MPa de tensão de cedência)	DIN ST-37 (235 MPa de tensão de cedência)	DIN ST-37 (235 MPa de tensão de cedência)	DIN ST-37 (235 MPa de tensão de cedência)	DIN ST-37 (235 MPa de tensão de cedência)	AISI 304 (Tensão de cedência de 215 MPa)	AISI 304
Processos de fabrico	1.Maquinagem 2.Cromoduro	1.Torno 2.Cromoduro	1.Maquinagem 2.Torno 3.Zincagem	1.Maquinagem 2.Torno 3.Zincagem	1.Torno 2.Zincagem	1.Torno 2.Zincagem	1.Maquinaçã 2.Zincagem	1.Maquinagem 2.Zincagem	1.Maquinagem 2.Zincagem	1.Maquinagem	1.Maquinagem 2.Torno

Tabela 13 – Materiais e processo de fabrico do reforço entre a parte extrusora e injetora (Figura 80) (ver desenhos no anexo “Desenhos de fabrico”)

Referência do componente	ABAAA1	ABAAA2	ABAAA3	ABAAA4
Requisitos	Resistência à corrosão			
Tipo material	Aço carbono construção			
Material escolhido e propriedades	DIN ST 37			
Processo de fabrico	1.Maquinagem 2.Zincagem	1.Torno 2.Zincagem	1.Maquinagem 2.Zincagem	1.Serrote 2.Zincagem

Tabela 14 – Materiais e processo de fabrico do conjunto e dos componentes das proteções e invólucros (Figura 78)(ver desenhos no anexo “Desenhos de fabrico”)

Referência do componente	AEAAA1; AEAAA2; AEAAA3; AEAAA6; AEAAA8; AEAAA9	AEAAA4; AEAAA7	AEAAA5
Requisitos	Resistência à corrosão	Resistência à corrosão	Resistência à corrosão
Tipo material	Aço inoxidável	Aço inoxidável	Aço inoxidável
Material escolhido e propriedades	Chapa AISI 304	Chapa AISI 304	Chapa AISI 304
Processo de fabrico	Corte laser 2D	1.Corte laser 2D 2.Torno 3.Quinagem 4.Soldadura	1.Corte laser 2D 2.Quinagem

3.5.6 Circuito hidráulico

Na Figura 172 está representado o circuito hidráulico da injetora com cada componente devidamente identificado. Este esquema foi construído e simulado no programa FluidSIM da SMC. Como o programa só aceita uma força máxima nos cilindros de 20 kN foi necessário fazer uma correspondência das forças no programa para as forças realizadas na injetora:

- 20 kN – 80 kN (Força de fecho do molde);
- 75 kN – 30 kN (Força de injeção máxima e de encosto do bico injetor ao molde);
- 0,75 kN – 3 kN (Força de encosto do fuso).

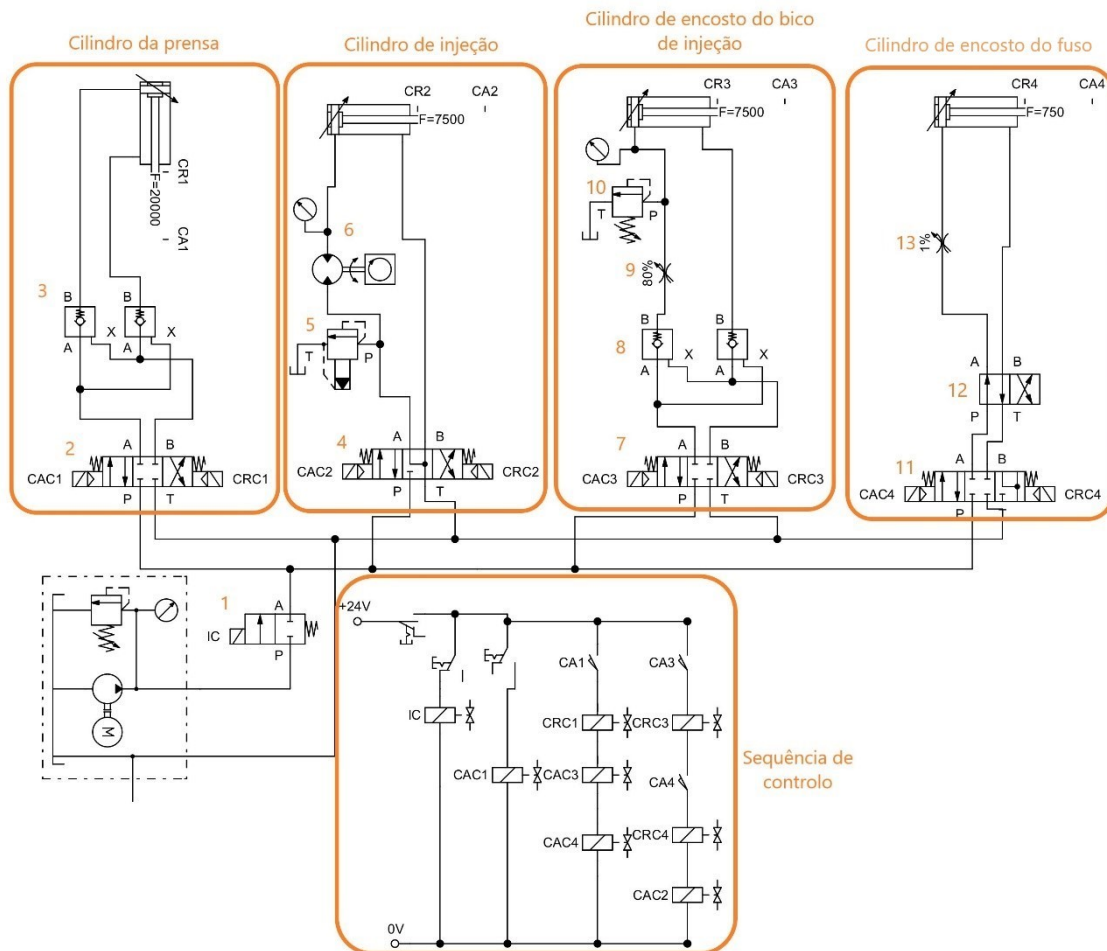


Figura 172 – Circuito hidráulico da injetora.

3.5.6.1 Legenda e funcionamento

Na Tabela 15 estão descritas as condições de operação dos cilindros hidráulicos imprescindíveis para o projeto do circuito hidráulico.

Tabela 15 – Condições de operação dos cilindros hidráulicos (ver Figura 172)

Cilindro	Condições de funcionamento
Cilindro da prensa	<p>Simples funcionamento de aberto ou fechado;</p> <p>Sem controlo de velocidade, pressão e/ou deslocamento (sendo importante monitorizar a posição de aberto e fechado);</p> <p>Necessário que sustente a sua posição quando aberto para não deixar cair a parte superior do molde;</p> <p>Necessário realizar força máxima na posição de fecho.</p>
Cilindro de injeção	<p>Necessário controlo de velocidade e pressão independente;</p> <p>Depois da injeção é necessário que o cilindro esteja livre para ser empurrado pelo plástico. Se for o plástico a empurrar o cilindro evita-se a formação de ar dentro do plástico fundido, que se formaria caso o cilindro recuasse por ação do óleo. No entanto, é necessário ter a possibilidade de recuar o cilindro por ação do óleo por motivos de manutenção.</p>
Cilindro de encosto do bico de injeção	<p>Semelhante ao cilindro da prensa, mas com limitador de pressão máxima para não atingir a força de encosto máxima do bico injetor.</p>
Cilindro de encosto do fuso	<p>Simples funcionamento de aberto ou fechado;</p> <p>Sem controlo de velocidade, pressão e/ou deslocamento (sendo importante monitorizar a posição de aberto e fechado);</p> <p>Necessário ficar livre depois do avanço do fuso para que a rotação do fuso no plástico fundido abra o cilindro evitando a mesma situação referida no cilindro de injeção.</p> <p>Necessário realizar força máxima na posição de fecho.</p>

Componentes

Na Tabela 16 estão legendados os componentes e a respetiva descrição de funcionamento. Todas as válvulas, exceto a 3,8,9,10 e 13, são comutáveis eletricamente.

Tabela 16 – Componentes e sua descrição utilizados no circuito hidráulico (ver Figura 172)

Componente	Descrição
1 - Válvula 2 por 1 normalmente fechada	Permite a alimentação do circuito com óleo
2 – Válvula 4 por 3 normalmente fechada	Controla o cilindro da prensa. É necessário comutar continuamente um dos lados para abrir/fechar o cilindro.
3 – Válvulas antirretorno desbloqueáveis	Evitam que o cilindro seja movimentado por forças externas. Só pode ser controlado pelo óleo.

4 – Válvula 4 por 3 proporcional com posição normal aberta no cilindro	Possibilita controlar o avanço e recuo do cilindro e deixá-lo livre para que o plástico o empurre. É necessário comutar a válvula continuamente para que mude de posição. O conceito proporcional possibilita o controlo do caudal.
5 – Válvula limitador da pressão pilotada	Válvula que permite o controlo de pressão no cilindro e por conseguinte o controlo da pressão de injeção.
6 – Sensor de caudal e pressão eletrónicos	Sensores para <i>feedback</i> à consola de controlo.
7 – Válvula igual à 2	
8 – Válvulas iguais às 3	
9 – Válvula estranguladora	Limita o caudal para controlar a velocidade de avanço/recuo do cilindro. Utilizada porque o diâmetro do cilindro é consideravelmente inferior ao cilindro da prensa, avançando com muita rapidez.
10 – Válvula limitadora de pressão	Limita a pressão máxima para evitar que o cilindro realize uma força superior à que o bico injetor aguenta.
11 – Válvula semelhante à 2, mas com a posição mais à direita livre na parte do cilindro	Esta válvula, juntamente com a 12, possibilita avançar o cilindro, prender a sua posição sem uso da bomba hidráulica, deixá-lo livre para que o fuso o empurre ou forçar a sua abertura por motivos de manutenção.
12 – Válvula 4 por 2 para alteração do sentido do óleo	Permite mudar a alteração do óleo para fazer avançar ou recuar o cilindro.
13 – Válvula igual à 9	Utilizada porque o diâmetro do cilindro é consideravelmente inferior ao cilindro da prensa, avançando com muita rapidez.

3.5.7 Instruções para a montagem do equipamento

Aqui é referida a sequência de montagem do subconjunto “Parte extrusora” (Figura 81 e Figura 82), o que se considerou necessário pois este é o subconjunto mais complexo. Relativamente aos restantes basta seguir os desenhos de conjunto em anexo.

Primeiro é necessário montar os componentes 2, 5, 3 e 1 referidos na Figura 81. De seguida, e tendo em atenção a Figura 82, a ordem de montagem é a seguinte (consultar os desenhos em anexo):

- a) Montar os componentes 15 e 18;
- b) Montar o componente 12 com os casquilhos (14), com o componente 11 e 13;
- c) Montar os componentes do passo a) com b) e o fuso;
- d) Montar o componente 16 dentro do 9 com a respetiva cavilha;
- e) Colocar os apoios de bronze (17) no componente 15;
- f) Montar os componentes do passo e) com os do passo d) juntamente com o 10;
- g) Montar os componentes do passo f) com o 19 e o motor elétrico;
- h) Montar os vedantes dinâmicos (1) com o componente 2 e 4;
- i) Montar os componentes referidos da Figura 81 com os componentes do passo h) e do passo g);

- j) Montar o componente 8 com o cilindro hidráulico;
- k) Montar os componentes do passo j) ao componente 9 e ao 16;
- l) Montar restantes acessórios.

3.5.8 Segurança

Para a segurança do meio envolvente à injetora foram implementadas as seguintes soluções:

- Sensor de temperatura e humidade;
- Ventilador para extrair fumos, humidade e calor;
- Luzes de estado com buzina de incêndio integrada;
- Dois botões de emergência alcançáveis com a amplitude dos braços.
- Calha colocada no fundo da injetora para recolher fugas de óleo.

3.5.9 Orçamento

3.5.9.1 Custos de produção e montagem

Para calcular os custos de produção consideraram-se os custos horários e unitários descritos na Tabela 17. Estes custos foram obtidos através de uma média de custos de empresas da indústria metalomecânica. O processo de zincagem pressupõem zincagem eletrolítica. Na Tabela 18 estão demonstrados os custos de matéria prima e os custos por processo de fabrico de cada componente, inclusivamente o custo de montagem da injetora e dos subconjuntos.

Tabela 17 – Custos horários por processo de fabrico e custos unitários por matéria prima

Processo	Custo/unidade	unidade
Soldadura	15,00 €	h
Maquinagem/torno	60,00 €	h
Serrote	25,00 €	h
Corte laser 2D	80,00 €	h
Quinagem	25,00 €	h
Corte fio	35,00 €	h
Zincagem	0,70 €	kg
Cromoduro	1,00 €	kg
Montagem	25,00 €	h
Custo de matéria prima por kilograma		
Material	Massa específica (kg/mm ³)	Custo/kg
AISI 303	0,00000786	3,00 €
AISI 304	0,00000786	3,00 €
DIN ST37	0,00000786	2,15 €
1,0503	0,00000786	3,00 €
AISI 4142 TEMPERADO	0,00000786	5,50 €
DIN CuSn 7 ZnPb	0,000008803	15,00 €
TUBO ST37 100X50X4	5,81	€/m

Tabela 18 – Custos de produção (ver desenhos no anexo “Desenhos de fabrico”)

Referência componente	Matéria prima	Tipo matéria prima	Custo de "outros"	Dimensões matéria prima por peça(mm)				Custo de matéria prima	Horas de serrote	Custo de serrote	Horas de maquinagem/torno	Custo de maquinagem/torno	Horas de soldadura	Custo de soldadura	Horas de Corte laser 2D	Custo de corte laser 2D	Outros processos		Custo unitário p/peça	Quantidade de produção	Custo total	Horas montagem	Custo montagem
				H (mm)	C(mm)	L(mm)	D(mm)										Tipos de processo	Custo					
Injetora (AAAAA0)								0	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0	0	48	1.200,00 €							
Conj. extrusora mais injetora (ABAAA0)																			4	100,00 €			
Conj. injetora (ABBAAD)																				16	400,00 €		
ABBAA1	AISI 4142 TEMPERADO	BLOCO	95	172	188	132,80 €	0,25	6,25 €	2	120,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	Cromoduro	3,00 €	255,80 €	1	255,80 €				
ABBAA2	1,0503	VARÃO		175	33	0,14 €		0,00 €	1	60,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	Cromoduro	0,30 €	60,44 €	1	60,44 €				
ABBAA3	DIN ST37	BLOCO	70	81	125	11,98 €	0,25	6,25 €	1	60,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	Zincagem	1,33 €	73,31 €	1	73,31 €				
ABBAA4	DIN ST37	BLOCO	82	91	91	11,48 €	0,25	6,25 €	0,5	30,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	Zincagem	1,33 €	42,81 €	1	42,81 €				
ABBAA5	DIN ST37	VARÃO		90	35	0,05 €		0,00 €	0,25	15,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	Zincagem	0,04 €	15,10 €	1	15,10 €				
ABBAA6	DIN ST37	VARÃO		100	35	0,06 €		0,00 €	0,25	15,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	Zincagem	0,05 €	15,11 €	1	15,11 €				
ABBAA7	DIN ST37	VARÃO		150	25	0,06 €		0,00 €	0,25	15,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	Zincagem	0,05 €	15,11 €	4	60,45 €				
ABBAA8	DIN ST37	BLOCO	88	110	110	17,99 €	0,25	6,25 €	0,5	30,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	Zincagem	0,18 €	48,18 €	1	48,18 €				
ABBAA9	DIN ST37	BLOCO	126	237	280	141,30 €	0,25	6,25 €	2	120,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	Zincagem	6,30 €	267,60 €	1	267,60 €				
Conj. Refrigerador injetora (ABBBAD)																							
ABBBA1	AISI 304	BLOCO	71	126	280	59,07 €	0,25	6,25 €	2	120,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €			179,07 €	1	179,07 €				
ABBBA2	AISI 304	BLOCO	116	126	132	45,49 €	0,25	6,25 €	0,75	45,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €			90,49 €	1	90,49 €				
Conj. extrusora (ABCAA0)																				16	400,00 €		

ABCAA2	AISI 304	OUTRO	5,00 €			5,00 €	0,00 €	0,5	30,00 €	0,5	7,50 €	0,17	13,60 €	Calandra	4,25 €	60,35 €	1	60,35 €	
Conj. motriz do fuso (ABCBA0)																			
ABCBA1	1,0503	VARÃO			147	45	0,16 €	0,00 €	1,5	90,00 €		0,00 €	0,00 €	Cromoduro	0,50 €	90,66 €	1	90,66 €	
ABCBA2	DIN CuSn 7 ZnPb	BLOCO		27	33	44	5,18 €	0,17	4,25 €	0,25	15,00 €		0,00 €			20,18 €	2	40,35 €	
ABCBA3	1,0503	VARÃO			42	20	0,02 €	0,00 €	0,5	30,00 €		0,00 €	0,00 €	Cromoduro	0,02 €	30,04 €	1	30,04 €	
ABCBA4	AISI 303	CHAPA	5	57	120		0,81 €	0,00 €		0,00 €	0,17	2,55 €	0,17	13,60 €	Quinagem e Cromoduro	4,38 €	21,33 €	1	21,33 €
ABCBA5	1,0503	VARÃO			86	50	0,10 €	0,00 €	1,5	90,00 €		0,00 €	0,00 €	Cromoduro	0,46 €	90,56 €	1	90,56 €	
ABCBA6	1,0503	VARÃO			20	45	0,02 €	0,00 €	0,5	30,00 €		0,00 €	0,00 €	Zincagem	0,04 €	30,06 €	1	30,06 €	
ABCBA7	DIN CuSn 7 ZnPb	OUTRO	2,00 €		45	25	2,00 €	0,00 €	0,17	10,20 €		0,00 €	0,00 €			12,20 €	2	24,40 €	
ABCBA8	1,0503	VARÃO			20	80	0,04 €	0,00 €	0,5	30,00 €		0,00 €	0,00 €	Zincagem	0,02 €	30,06 €	1	30,06 €	
ABCBA9	DIN CuSn 7 ZnPb	OUTRO	2,00 €		38	25	2,00 €	0,00 €	0,17	10,20 €		0,00 €	0,00 €			12,20 €	1	12,20 €	
ABCBA10	1,0503	VARÃO			30	125	0,09 €	0,00 €	1,25	75,00 €		0,00 €	0,00 €	Zincagem	0,91 €	76,00 €	1	76,00 €	
ABCBB1	DIN CuSn 7 ZnPb	VARÃO			17,5	130	0,30 €	0,00 €	2	120,00 €		0,00 €	0,00 €	Corte fio	8,75 €	129,05 €	1	129,05 €	
ABCBB2	AISI 304	VARÃO			172	130	0,53 €	0,00 €	2,5	150,00 €		0,00 €	0,00 €			150,53 €	1	150,53 €	
ABCBB3	AISI 304	VARÃO			31,5	130	0,10 €	0,00 €	1,25	75,00 €		0,00 €	0,00 €			75,10 €	1	75,10 €	
ABCBB4	AISI 304	VARÃO			10	130	0,03 €	0,00 €	1	60,00 €		0,00 €	0,00 €			60,03 €	1	60,03 €	
Conj. reforço extrusora/injetora							0,00 €		0,00 €	0,5	7,50 €		0,00 €			7,50 €	1	7,50 €	
ABAAA1	DIN ST37	BLOCO		40	50	100	3,38 €	0,25	6,25 €	0,25	15,00 €		0,00 €	Zincagem	0,20 €	18,58 €	2	37,17 €	
ABAAA2	DIN ST37	VARÃO			46	15	0,01 €	0,00 €	0,25	15,00 €		0,00 €	0,00 €	Zincagem	0,002 €	15,01 €	2	30,03 €	
ABAAA3	DIN ST37	BLOCO		35	35	47	0,97 €	0,25	6,25 €	0,25	15,00 €		0,00 €	Zincagem	0,07 €	16,05 €	2	32,10 €	
ABAAA4	DIN ST37	OUTRO	1,00 €				1,00 €	0,08	2,00 €		0,00 €	0,00 €	0,00 €	Zincagem	0,20 €	1,20 €	1	1,20 €	

															4	100,00 €				
Conj. prensa (ACAAA0)																				
ACAAA1	EN-GJL-150	OUTRO	4.000,00			4.000,00			0,00 €	2	120,00 €	0,00 €	0,00 €	Zincagem	210,00 €	4.330,00 €	1	4.330,00 €		
ACAAA2	DIN ST37	BLOCO	50	135	410	46,77 €	0,25	6,25 €	0,5	30,00 €	0,00 €	0,00 €	Zincagem	9,10 €	85,87 €	1	85,87 €			
ACAAA3	DIN ST37	VARÃO			110	100	0,19 €	0,00 €	0,75	45,00 €	0,00 €	0,00 €	Zincagem	1,33 €	46,52 €	1	46,52 €			
ACAAA4	DIN ST37	CHAPA	10	70	130	1,54 €	0,00 €	0,5	30,00 €	0,00 €	0,17	13,60 €	Zincagem	0,35 €	45,49 €	2	90,98 €			
Conj. estrutura geral (ADAAA0)																				
DIN ST37	OUTRO		166,06 €			166,06 €			0,00 €	1	60,00 €	16	240,00 €	0,17	13,60 €	Pintura	30,00 €	509,66 €	1	509,66 €
Invólucros e proteções (AEAAA0)																				
AEAAA1	AISI 304	CHAPA	2	554	590	15,41 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,25	20,00 €	Pintura	10,00 €	45,41 €	1	45,41 €			
AEAAA2	AISI 304	CHAPA	2	936	1194	52,71 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,25	20,00 €	Pintura	10,00 €	82,71 €	1	82,71 €			
AEAAA3	AISI 304	CHAPA	2	884	1454	60,62 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,25	20,00 €	Pintura	10,00 €	90,62 €	1	90,62 €			
AEAAA4	AISI 304	CHAPA	2	1315	1647	102,14 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,25	20,00 €	Pintura	10,00 €	132,14 €	1	132,14 €			
AEAAA5	AISI 304	CHAPA	2	554	1209	31,59 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,25	20,00 €	Pintura	10,00 €	61,59 €	1	61,59 €			
AEAAA6	AISI 304	CHAPA	2	554	850	22,21 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,25	20,00 €	Pintura	10,00 €	52,21 €	1	52,21 €			
AEAAA7	AISI 304	CHAPA	3	536	1461	55,40 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,25	20,00 €	Pintura	10,00 €	85,40 €	1	85,40 €			
AEAAA8	AISI 304	CHAPA	2	884	1454	60,62 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,25	20,00 €	Pintura	10,00 €	90,62 €	1	90,62 €			
AEAAA9	AISI 304	CHAPA	2	937	1194	52,76 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,25	20,00 €	Pintura	10,00 €	82,76 €	1	82,76 €			
Total															7,923,50	2.200,00 €				

3.5.9.2 Custo de acessórios, peças standard e compradas

Na Tabela 19 estão descritos o custo de cada acessório comprado e o total de todos os acessórios.

Tabela 19 – Custo de acessórios, peças standard e compradas

Acessório	Fornecedor	Custo unitário	Quantidade	Total
BOTÃO EMERGÊNCIA BANNER SSA-EB1PL2-12ED1Q8	BANNERENGINEERING	129,20 €	2	258,40 €
SENSOR TEMPERATURA BANNERENGINEERING M12FTH3Q	BANNERENGINEERING	173,40 €	1	173,40 €
FUNIL CONAIR HOPPER 100 590 02	CONAIR	506,94€	1	506,94€
ALIMENTADOR DE PLÁSTICO CONAIR HOPPER LOADING_TPCX038-1018-TLM	CONAIR	1.393,02€	1	1.393,02€
MOTOR HEIDRIVE HMP06-015-024-30 E07	HEIDRIVE	400,00 €	1	400,00 €
BICO DE INJEÇÃO HERZOG SHUT-OFF TYPE A(S)_A1.1	HERZOG	2.300,00 €	1	2.300,00 €
SENSOR TEMPERATURA IFM TS-500KEKD06....._5M_3D_3G	IFM	112,20 €	2	224,40 €
CASQUILHO LINEAR IGUS GSM_5055_20_1	IGUS	6,69 €	4	26,76 €
VEIO IGUS EEWM-50 L_440	IGUS	117,45 €	2	234,90 €
PLACA RANHURADA EM T ISELGERMANYAG 2010140150 20X125X400mm	ISELGERMANYAG	43,92 €	1	43,92 €
PLACA RANHURADA EM T ISELGERMANYAG 2010140150 20X250X400mm	ISELGERMANYAG	82,54 €	1	82,54 €
CILINDRO EXTRUSOR E FUSO	JINYISCREW	1.100,00 €	1	1.100,00 €
VEDANTE KASTAS KO-0948435 İ	KASTAS	1,60 €	1	1,60 €

VEDANTE KASTAS KO-0340020 ĩ	KASTAS	1,10 €	1	1,10 €
RASPADOR KASTAS K05-050 PU	KASTAS	2,00 €	8	16,00 €
VEDANTE DINÂMICO KASTAS KX-0156017 ĩ	KASTAS	5,00 €		0,00 €
RASPADOR KASTAS K05-040 PU	KASTAS	2,00 €	8	16,00 €
ADAPTADOR LONGO MISUMI MACHO_MACHO G1_4 YCPLF22F.stp	MISUMI	17,24 €	4	68,96 €
ADAPTADOR 90º MISUMI YCLPF11F	MISUMI	4,97 €	2	9,94 €
ADAPTADOR MISUMI YCPF66F	MISUMI	13,26 €	2	26,52 €
ANEL DE ELEVAÇÃO NORELEM 07695-12181	NORELEM	39,73 €	6	238,38 €
CONECTOR MASSA LUBRIFICANTE NORELEM_97940-2118	NORELEM	3,96 €	2	7,92 €
COLUNA OMCR E45.30.040355	OMCR	68,47 €	4	273,88 €
CASQUILHO OMCR E46.20.040050070	OMCR	20,85 €	4	83,40 €
PATLITE LUZ DE ESTADO E BUZINA INCÊNDIO LKEH-402F	PATLITE	953,25 €	1	953,25 €
CASQUILHO POLYLANEMA TIPOA DI_16 DE_20 L_20	POLYLANEMA	4,50 €	1	4,50 €
CAIXA ELÉTRICA SCHNEIDER NSYCRN64150	SCHNEIDER	146,55 €	1	146,55 €
ROLAMENTO ANGULAR 4 PONTOS SKF QJ 306 N2PHAS	SKF	109,68 €	1	109,68 €
CONECTOR COTOVELO ÁGUA SMC KFG2L0806-01S	SMC	21,23 €	4	84,92 €
CILINDRO SMC CHDKGB50-75-M9PVM_BOLT M10X150I x4	SMC	197,92 €	1	197,92 €
CILINDRO SMC CHDKGB50-75M-M9PVM_BOLT M10X150I x4	SMC	197,92 €	1	197,92 €
CILINDRO SMC CHDKGL20-5-M9PVM	SMC	197,92 €	1	197,92 €

CILINDRO SMC CHDSGFY80-200AN-B-M9P	SMC	80,41 €	1	80,41 €
CILINDRO SMC CHDKGB20-50-M9PVM_BOLT M5X100I X4	SMC	620,25 €	1	620,25 €
VENTILADOR SODECA HCD-30-4M	SODECA	93,80 €	1	93,80 €
Circuito hidraulico	TECLENA	2.000,00 €	1	2.000,00 €
RESISTÊNCIA D_58X70 230V 500W MB2020 C/CABO 2M SONDA J	TECNOCANTO	50,00 €	5	250,00 €
RESISTÊNCIA D_34X40 230V 200W MB2020 C/CABO 2M SONDA J	TECNOCANTO	50,00 €	2	100,00 €
RESISTÊNCIA D_45X90 230V 700W MB2020 C/CABO 2M SONDA J	TECNOCANTO	80,00 €	1	80,00 €
FERRAMENTARIA (PARAFUSOS, PORCAS, CAVILHAS, ANEIS RETENTORES, ENTRE OUTROS)		300,00 €	1	300,00 €
Total		11.648,97 €		12.905 €

3.5.9.3 Orçamento total

Somando o custo de produção com o custo de acessórios tem-se um custo total cerca de 23000 €.

**CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE
TRABALHOS FUTUROS**

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

A Fico Cables sobre injeta plástico utilizando máquinas de injeção obsoletas e sobredimensionadas para o fim em causa, o que acarreta custos adicionais no processo fabril. Além disso utiliza micro injetoras compradas que são incorporadas nas suas linhas de produção e que não são adaptadas às necessidades do processo. Estas micro injetoras contêm elementos como um grupo hidráulico e um sistema de controlo totalmente autónomos tornando a solução mais cara.

Desta forma, foi requerido o projeto de uma estação de injeção que substitua as máquinas de injeção antigas com o intuito de aumentar a eficiência, que se adapte à alimentação óleo-hidráulica da fábrica, que fosse controlada por um autómato global, que também controla outras máquinas em simultâneo, e adaptada às necessidades e cadências dos equipamentos atuais. Para além disso, esta estação de injeção deve ser facilmente adaptada a linhas de produção e a outros processos de injeção dentro da fábrica.

Tratando-se de peças injetadas de reduzidas dimensões estava-se perante uma micro injetora, o que levantou três principais questões: a forma de injeção do material plástico, a forma de plastificação do material e a forma de evitar o retorno do material plástico durante a injeção do mesmo.

A forma de injeção do material plástico poderia ser idêntica às injetoras convencionais em que o fuso contém um anel vedante à sua frente que, quando o fuso injeta o material, evita o retorno do material plástico. No entanto, este sistema deixa sempre retornar uma pequena quantidade de material e que não é sempre a mesma. Isto poderia provocar defeitos nas peças a injetar. Para solucionar esta questão resolveu-se utilizar uma segunda camara de injeção que utiliza um pistão que injeta o material no molde. O fuso extrude o material para esta camara até que a mesma seja completamente preenchida ficando preparada para injetar. De seguida o pistão avança e injeta o material no molde.

Relativamente à forma de plastificação do material pensou-se em utilizar um sistema de cilindro e pistão como as primeiras injetoras da história, mas seria necessário projetar um sistema com uma geometria que permitisse a rápida plastificação do material para combater os elevados tempos de ciclo das primeiras injetoras e minimizar o tamanho do cilindro plastificador. Como solução decidiu-se utilizar um fuso convencional comum a todos os tipos de plástico a injetar, mas de dimensão mais reduzida (16 mm de

diâmetro). Desta forma tem-se uma maior certeza de sucesso no funcionamento da injetora, pois trata-se de um sistema já conhecido.

A utilização de uma segunda câmara de injeção implicou o projeto de uma válvula antirretorno nova. Pensou-se em utilizar uma válvula com esfera, porém, até que a esfera tapasse o orifício de passagem do plástico retornava sempre uma pequena e imprevisível quantidade de plástico. Para solucionar esta questão utilizou-se o fuso como válvula antirretorno, ou seja, depois de preencher a câmara de injeção o fuso avançava e tapava o orifício antes de se dar a injeção do material no molde, evitando o retorno de qualquer material plástico para o cilindro de plastificação.

O solucionamento destas questões deu resultado a uma injetora com as seguintes características:

- Cadência de 7 peças a cada 39 segundos, o que equivale a 5,57 segundos por peça o que cumpre os requisitos e garante que a injetora não se torna no pescoço de garrafa do processo, o que diminuiria a disponibilidade da máquina tornando-a mais eficiente;
- Capacidade de injeção de 8 cm³ de material plástico;
- Capacidade de fecho de 8 toneladas;
- Pressão máxima de injeção de 1775 bar;
- Potência de funcionamento cerca de 5 kW, 6 vezes inferior à potência de funcionamento das máquinas de injeção Fiser instaladas na Fico Cables.

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Pensa-se que a utilização de um cilindro e pistão como forma de plastificar o material seria mais eficiente e menos complexa. No entanto, esta solução precisa de simulações térmicas e testes intensivos para procurar a melhor geometria e reduzir os tempos de ciclo. Esta é uma proposta de trabalho futuro que visa o aumento de eficiência da injetora e permite tornar a injetora mais compacta.

Os equipamentos industriais evoluem no sentido de utilizar soluções 100% elétricas. Estas soluções são mais eficientes, precisas, silenciosas e que tornam o equipamento mais compacto. A única desvantagem é o seu elevado preço devido à complexidade dos componentes elétricos. Esta é outra proposta de trabalho futuro que visa aumentar a eficiência desta injetora, diminuir o ruído de funcionamento e torná-la mais compacta.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- AEP. (2006). *Norma 16949*.
<http://www.aeportugal.pt/Inicio.asp?Pagina=/Areas/Qualidade/FerramentasQualidadeNorma16949&Menu=MenuQualidade>
- Automóveis Online. (2018). *No Title*. <https://noticias.automoveis-online.com/o-bailados-2-000-robots-da-seat/>
- Babyplast. (2019). *No Title*. <https://www.babyplast.com/pt/products/babyplast-6-12v-5/>
- Baker, M. (2019). *Hydraulic vs. Pneumatic vs. Electric Actuators*.
<https://yorkpmh.com/resources/hydraulic-vs-pneumatic-vs-electric-actuators/>
- BASF. (2007). *Screw designs in injection molding*.
- Beaumont, J. P. (2004). *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding* (p. 286).
- Becker, H., & Locascio, L. E. (2002). Polymer microfluidic devices. *Talanta*, 56(2), 267–287. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(01\)00594-X](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(01)00594-X)
- Britannica, T. E. of E. (2018). *Pascal's principle*.
<https://www.britannica.com/science/Pascals-principle>
- Bryce, B. D. M. (1996). *Plastic Injection Molding fundamentals: Vol. I*.
- Brydson, J. A. (1999). *Plastics Materials*. *Elsevier*, 7, 920. [https://doi.org/10.1016/0142-9418\(88\)90055-4](https://doi.org/10.1016/0142-9418(88)90055-4)
- Brydson, T. J. A. (2017). *Brydson's Plastics Materials*. In *Brydson's Plastics Materials*.
<https://doi.org/10.1016/c2014-0-02399-4>
- Cao, J., Mukherjee, A., & Sinha, U. B. (2018). Firm-asymmetry and strategic outsourcing. *International Review of Economics and Finance*, 53(November 2016), 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2017.10.008>
- Carlos Gonzalez. (2015). What's the Difference Between Pneumatic, Hydraulic, and Electrical Actuators? *Machine Design*, 0–3. http://beta.machinedesign.com/linear-motion/what-s-difference-between-pneumatic-hydraulic-and-electrical-actuators?utm_test=redirect&utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.co.uk%2F%0Ahttp://machinedesign.com/linear-motion/what-s-difference-between-pneumati
- Centimfe, & Universidade do Minho. (2004). *Manual de Projetista para moldes de injeção de plásticos*.

- Chang, J. H., Chou, J. M., Hsieh, R. I., & Lee, J. L. (2009). Influence of fusing temperature on microstructure, wear and corrosion resistance of induction melted bimetal of Co-based alloy and AISI 4140 steel. *Materials Chemistry and Physics*, 118(2–3), 314–321. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2009.07.055>
- CONAIR. (n.d.). *CAML-EVB Evacuation System*. Retrieved January 20, 2020, from <https://www.conairgroup.com/product/caml-evb-evacuation-system/#features>
- CONCOR. (2015). *INJECTION MOLDING SCREWS EXTRUSION MOLDING SCREWS*. <http://www.concortool.com/injection-and-extrusion-molding-screws.html>
- Craig. (2014). *No Title*. <https://www.plasticert.com/2014/04/but-who-checks-the-check-3/>
- Crawford, R. J. (1998). *Plastics Engineering*.
- Cruz, S. da. (2002). *MOLDES DE INJEÇÃO: TERMOPLÁSTICOS (2ª EDIÇÃO)*.
- Cullom, J. O. N., Hudja, G., Liu, J., & Villani, L. (2017). Auto Industry Analysis. In *Penn State University*. <http://php.scripts.psu.edu/users/l/a/law5039/assign5.html>
- Dijk, M., Orsato, R. J., & Kemp, R. (2013). The emergence of an electric mobility trajectory. *Energy Policy*, 52, 135–145. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.024>
- Doddannavar, R., & Barnard, A. (2005). *Practical Hydraulic Systems_ Operation and Troubleshooting for Engineers and Technicians*.
- Dodiuk, H., & Goodman, S. H. (2013). Handbook of Thermoset Plastics. *Handbook of Thermoset Plastics*, 1–768. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-09694-1>
- Dominik;, R. V., Donald, R. V., & Matthew, R. V. (2004). *No Title*. https://ars.els-cdn.com/content/image/3-s2.0-B9781856174312500074-f04-12-9781856174312.jpg?_
- Engel. (2019). *No Title*. <https://www.exapro.com/engel-insert-500v100-rotary-p90620010/#prettyPhoto>
- Enterprises, D. (2012). *No Title*. <https://www.indiamart.com/proddetail/hopper-dryer-for-injection-molding-machine-4883657062.html>
- Euler Hermes. (2016). *Global Sector Report: AUTOMOTIVE*.
- EXTRUDEX. (2018). *No Title*. <https://extrudex.net/plastic-extrusion-profiles/>
- Goodship, V. (2004). Practical guide to injection moulding. In *Metal Powder Report* (Vol. 52, Issue 6). [https://doi.org/10.1016/s0026-0657\(97\)91031-6](https://doi.org/10.1016/s0026-0657(97)91031-6)
- Guerreiro, S. D. C., João, I. M., & Real, L. E. P. (2012). Evaluation of the influence of testing parameters on the melt flow index of thermoplastics. *Polymer Testing*, 31(8), 1026–1030. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2012.07.008>
- HAMOTEK. (n.d.). *No Title*. Retrieved February 26, 2020, from <https://hamotek.at/de/produkt/cad-cam-zufuehrsysteme/>

- Harper, C. (2006). *Handbook Of Plastics Technologies*.
- herzog. (2019). *fechados mecanicos*.
<https://www.herzogsystemsag.com/cms/content/view/38/27/lang,en/>
- Herzog. (2019a). *controlados pneu/hidra*.
<https://www.herzogsystemsag.com/cms/content/view/40/27/lang,en/>
- Herzog. (2019b). *gás*.
<https://www.herzogsystemsag.com/cms/content/view/60/27/lang,en/>
- Herzog. (2019c). *open nozzle*.
<https://www.herzogsystemsag.com/cms/content/view/131/27/lang,en/>
- Honda, T. (1998). Production, computers and humanity. *Journal of Materials Processing Technology*, 76(1–3), 2–7. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(97\)00307-5](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(97)00307-5)
- Injection Molding of Thermoplastics*. (2009).
<http://www.longmold.com/viewnews.php?id=87>
- Javierre, C., Fernandez, A., Aisa, J., & Clavería, I. (2006). Criteria on feeding system design: Conventional and sequential injection moulding. *Journal of Materials Processing Technology - J MATER PROCESS TECHNOL*, 171, 373–384. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.06.076>
- John Deere. (2017). *No Title*. <https://www.deere.pt/pt/a-nossa-empresa/noticias-e-meios-de-comunicação/notas-de-imprensa/2017/06-2017-ceifeiras-debulhadoras-S700.html>
- Kazmer, D. O., & Kazmer, D. O. (2016). Injection Mold Design Engineering. In *Injection Mold Design Engineering*. <https://doi.org/10.3139/9781569905715.fm>
- Lafuente, E., Leiva, J. C., Moreno-Gómez, J., & Szerb, L. (2019). A non-parametric analysis of competitiveness efficiency: The relevance of firm size and the configuration of competitive pillars. *BRQ Business Research Quarterly*. <https://doi.org/10.1016/j.brq.2019.02.002>
- Lee, G., Shin, G. cheol, Hwang, D. W., Kuper, P., & Kang, M. (2018). How manufacturers' long-term orientation toward suppliers influences outsourcing performance. *Industrial Marketing Management*, 74(June), 288–297. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2018.07.003>
- Martins, C. C. P. (2016, May). Portugal global. *Portugalglobal Nº87*. www.portugalglobal.com
- Masato, D., Sorgato, M., & Lucchetta, G. (2016). Analysis of the influence of part thickness on the replication of micro-structured surfaces by injection molding. *Materials and Design*, 95, 219–224. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.01.115>
- Meekers, I., Refalo, P., & Rochman, A. (2018). Analysis of Process Parameters affecting Energy Consumption in Plastic Injection Moulding. *Procedia CIRP*, 69(May), 342–347. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.042>
- P.Groover, M. (2002). *Automation, Production Systems, and Computer Integrated*

Manufacturing.

- Pop, L. D., & Elod, N. (2015). Improving Product Quality by Implementing ISO / TS 16949. *Procedia Technology*, 19, 1004–1011. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2015.02.143>
- Porter, M. E. (1985). *COMPETITIVE ADVANTAGE: CREATING AND SUSTAINING SUPERIOR PERFORMANCE.*
- Rosato, D. V., Rosato, D. V., & Rosato, M. G. (2000). *Injection Molding Handbook (3rd Ed.)*.
- ROSCAF. (n.d.). *Manutenç.*
- Schwarz, A. E., Ligthart, T. N., Boukris, E., & van Harmelen, T. (2019). Sources, transport, and accumulation of different types of plastic litter in aquatic environments: A review study. *Marine Pollution Bulletin*, 143(March), 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.029>
- Singh, G., & Verma, D. A. (2017). A Brief Review on injection moulding manufacturing process. *Materials Today: Proceedings*, 4, 1423–1433. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.164>
- Spalding, M. A., & Hyun, K. S. (2009). The Plasticating System for Injection Molding Machines. In *Injection Molding*. <https://doi.org/10.3139/9783446433731.003>
- Statista. (2018). *Number of cars sold worldwide from 1990 to 2018 (in million units)*. <https://www.statista.com/statistics/200002/international-car-sales-since-1990/>
- tudosobrepolimeros. (2014). *No Title*. <https://tudosobrepolimeros.webnode.pt/materiais-plasticos/>
- Vale, A., Costa, D., Monteiro, G., Ferreira, J. P., Santos, M., & Ribeiro, P. (2013). *A Indústria Automóvel em Portugal*.
- Womer, T. W. (2000). *Basic Screw Geometry: “Things Your Screw Designer Never Told You About Screws!!”*
- Ziegenhorn, A. (n.d.). *Two-Stage Injection Molding*. Retrieved August 16, 2018, from <https://www.matrixplastic.com/blog-1/60-two-stage-injection-molding>

ANEXOS

6.1 Desenhos de fabrico

6 ANEXOS

6.1 Desenhos de fabrico
