



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS AUTOMÁTICOS
DE ALIMENTAÇÃO E DESCARGA DE INJECTORA DE
PLÁSTICOS**

Mário Jorge Rêgo Soares



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE ALIMENTAÇÃO E DESCARGA DE INJECTORA DE PLÁSTICOS

Mário Jorge Rêgo Soares

1080854

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 Francisco José Gomes da Silva, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP.

Júri

Presidente	Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto <i>Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
Orientador	Doutor Francisco José Gomes da Silva <i>Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
Arguente	Doutor Luís Filipe Martins Pinto Coelho <i>Professor Adjunto, Escola Superior de Estudos Industriais e de Gestão, IPP</i>

Agradecimentos

Ao Doutor Francisco Silva não apenas pela sua orientação, mas também pela dedicação e apoio disponibilizados durante a realização deste trabalho, sem esquecer todos os conselhos e sugestões dadas que serviram de incentivo.

Ao Engenheiro Mário Cardoso, pelo apoio e orientação irrepreensível demonstrado ao longo deste trabalho, e por todas as oportunidades de aprendizagem que proporcionou ao longo deste percurso.

Ao Engenheiro Pedro Oliveira pelas suas contribuições na realização deste trabalho. À FicoCables por me ter proporcionado crescer com a realização deste projeto, assim como todos os apoios evidenciados ao longo deste trabalho.

À minha família, pela ajuda, pela confiança e pelos conselhos dados, não só durante este projeto, como também ao longo de todos os meus projetos.

Por fim, gostaria de deixar um agradecimento a todos os colegas de curso que contribuíram, diretamente ou indiretamente para a concretização deste trabalho, com especial atenção aos colegas Eduardo Braga, João Matos e Ricardo Ferreira, pelo apoio evidenciado durante todo o percurso académico.

Palavras-chave

Indústria de componentes para automóveis, injeção de plásticos, automação, sistemas automáticos de alimentação, sistemas automáticos de descarga

Resumo

A indústria de componentes para automóveis necessita de constante inovação, no sentido de manter a elevada competitividade, imprescindível à sobrevivência de qualquer empresa neste sector. A automação e robótica são vias incontornáveis para a prossecução dos objetivos de produtividade desejados.

Mesmo dentro da automação, a evolução é constante. Para além disso, a crescente inovação nos produtos fabricados, exige também novas soluções em termos de processos de fabrico. Isto leva a que, soluções válidas até uma determinada altura, passem facilmente a obsoletas, com necessidade premente de se implementarem novos sistemas que correspondam às necessidades atuais.

Este trabalho teve por base uma necessidade detetada numa empresa fabricante de acessórios para a indústria automóvel: estruturas para estofo de assento automóvel, entre muitos outros. Atualmente, a estrutura do estofo automóvel assenta numa grelha constituída por um conjunto de arames, que é agregado por uma série de tiras de plástico injetadas em seu redor. As máquinas de injeção responsáveis por este processo têm superfície de apartação horizontal, e necessitam de mão-de-obra adjacente para a colocação dos arames no molde e descarga do conjunto, na razão de uma pessoa para duas máquinas, dependendo do tempo de ciclo da injeção.

O trabalho consistiu no desenvolvimento de um sistema automático de alimentação e descarga da máquina de injeção, que tivesse por base um sistema já existente, mas que passasse a comportar outras funções até agora não desempenhadas pelos sistemas antigos, ou seja, que fossem capazes de ultrapassar os problemas colocados pela complexidade atual dos produtos em fabricação.

O projeto foi concluído com sucesso, tendo sido validado pela empresa FicoCables, através da construção, teste e colocação em funcionamento de vários protótipos.

Keywords

Automotive components industry, plastic injection moulding, automation, automatic feeding systems, automatic unloading systems

Abstract

The automotive components industry requires constant innovation in order to keep high competitiveness necessary to company survival in this sector. Automation and Robotics are indispensable means for the desired productivity goals attainment.

The evolution is constant even within the automation. In addition, the constant innovation in the manufactured products also requires new solutions in terms of manufacturing process. This leads to that valid solutions to a given point, pass easily to obsolete, needing urgently to implement new systems corresponding to current requirements.

This work was based on a need detected in a company devoted to accessories manufacturing for the automotive industry: structures for automobile seats, among many others. Currently, the automotive seat structure is based on a grid consisting of wires that are aggregated by injected plastic strips series. The injection machines used for this process have horizontal parting surface, and require adjacent human labour for placing wires into the mould and set discharge, using a ratio of one person for two or four machines, depending on the injection cycle time.

This work consisted in the development of automatic feeding and unloading tasks on an plastics injection machine, which was based on an existing system, but to behave other functions not performed by older systems, which were not able to overcome the problems brought by the current complexity of products in manufacturing (negative drafts).

The project was successfully completed, having been validated by the company FicoCables, by building, testing and commissioning various prototypes already in use.

Lista de Símbolos e Abreviaturas

σ_{Ced}	Tensão de cedência
σ_{inst}	Tensão máxima instalada
AGV	<i>Automated Guided Vehicles</i>
APT	<i>Automatically Programmed Tools</i>
BMW	<i>Bayerische Motoren Werke</i>
C_a	Consequências esperadas no caso de ocorrer um acidente
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CS	Coefficiente de segurança
C	Capacidade de carga dinâmica
C_m	Centro de massa
C_o	Capacidade de carga estática
$C_{o\ rad}$	Capacidade de carga radial
$C_{o\ ax}$	Capacidade de carga estática no eixo x
E	Exposição ao risco
F	Força
F_1	Força resultante realizada pelo carro 1
F_2	Força resultante realizada pelo carro 2
F_c	Força do cilindro
FS	Fator de segurança
g	Aceleração gravitacional
GMC	<i>General Motors Corporation</i>
GMW	<i>Great Wall Motors</i>
L	Posição do centro de massa relativamente à estrutura analisada
L_{F1}	Distância do centro de massa à força 1 (F_1)
L_{F2}	Distância do centro de massa à força 2 (F_2)

L_{Fc}	Distância do ponto de rotação da balança ao ponto de atuação do cilindro
L_{Cm}	Distância do centro de massa da balança ao seu ponto de rotação
IMVP	<i>International Motor Vehicle Program</i>
IPQ	Instituto Português da Qualidade
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JIT	<i>Just In Time</i>
kg	Quilograma
m	Metro
m	Massa da estrutura suportada pelo conjunto em estudo
mm	Milímetro
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technolog</i>
mA	Miliampere
M_{ox}	Momento estático no eixo x
M_{oy}	Momento estático no eixo y
M_{oz}	Momento estático no eixo z
MPa	Megapascal
M_r	Momento resultante
N	Newton
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
P	Peso suportado pela estrutura analisada
P_b	Probabilidade que um acidente ocorra quando se encontra exposto ao risco
P_{Basc}	Peso da balança
P&D	Pesquisa de Desenvolvimento
POM	Poliacetal
PVC	Policloreto de vinilo
s	Segundo
USA	<i>United States of America</i>
VW	<i>Volkswagen</i>

Índice de Figuras

Figura 1 - Evolução da transferência de responsabilidades para fornecedores imposta pelos OEM's [5]. ...	6
Figura 2 - Pressão sobre os fornecedores de componentes da indústria automóvel [6].	9
Figura 3 - Trabalho-Intensivo versus Capital-Intensivo, respetivamente [14].	11
Figura 4 - Capital intensivo através da utilização de robôs na indústria automóvel [14].	12
Figura 5 - Tipos de automação relativamente à quantidade e à variedade de produtos (adaptado de Groover, 2000).	14
Figura 6 - Máquina a vapor de James Watt [21].	19
Figura 7 - Primeiro robô industrial, o Unimate criado por George Devol [19].	20
Figura 8 - Press Shop - Linha de prensas para estampagem típica da indústria automóvel [23].	21
Figura 9 - Sistema de rolos de transporte e prato rotativo direcional típicos de linhas de montagem da indústria automóvel, respetivamente [23].	22
Figura 10 - Sistema de <i>monorail</i> utilizado numa fábrica da Volkswagen na Alemanha [24].	22
Figura 11 - Soldadura por pontos robotizada do chassis de um automóvel [25].	23
Figura 12 - AVG's SEW usados no transporte de tabliers de automóveis [26].	23
Figura 13 - Sistemas de manipulação que melhoram a ergonomia dos operadores em certas operações manuais [27].	24
Figura 14 - Aspeto de um CLP da FESTO [30].	25
Figura 15 - Estrutura de um autómato (CLP) [29].	26
Figura 16 - Aspeto de sensores indutivo e capacitivo, respetivamente [33].	27
Figura 17 - Representação esquemática e constituintes de um sensor linear ótico [31].	27
Figura 18 - Ilustração dos constituintes de um <i>encoder</i> rotativo [34].	28
Figura 19 - Exemplos de sensores magnéticos aplicados em cilindros [33].	29
Figura 20 - Exemplos de sensores ultrassónicos [31].	30
Figura 21 - Cilindro de simples efeito [35].	31
Figura 22 - Cilindro de membrana ou de foles [35].	31
Figura 23 - Aspeto de um cilindro de duplo efeito [35].	32
Figura 24 - Representação esquemática de um cilindro de dupla ação <i>tandem</i> [35].	32
Figura 25 - Representação esquemática de um cilindro de dupla haste [35].	33
Figura 26 - Aspeto de cilindros rotativos de alhetas [35].	33
Figura 27 - Exemplo de cilindro rotativo de báscula [35].	34
Figura 28 - Esquema de funcionamento de um cilindro rotativo de báscula [35].	34
Figura 29 - Cilindro sem haste de fita [35].	34
Figura 30 - Exemplo de cilindro sem haste [35].	35
Figura 31 - Exemplo de motor pneumático [35].	35
Figura 32 - Exemplo de um músculo pneumático [35].	36
Figura 33 - Exemplo de um cilindro rotacional/linear [35].	36

Figura 34 - Esquema de aplicação de um cilindro rotacional/linear [35].	37
Figura 35 - Exemplos de garras angulares e paralelos [35].	37
Figura 36 - Exemplos de ventosas pneumáticas [35].	38
Figura 37 - Motores de corrente contínua CC [37].	39
Figura 38 - Exemplos de motores Passo a passo [37].	40
Figura 39 - Exemplos de motores de indução lineares CA [37].	40
Figura 40 - Robótica aplicada à montagem de rodas nos automóveis [42].	42
Figura 41 - Ranking dos 10 países mais robotizados do planeta [48].	45
Figura 42 - Linha de montagem da Great Wall Motors [49].	46
Figura 43 - Mão biónica que auxilia os operadores em tarefas repetitivas e que requerem algum esforço físico [49].	47
Figura 44 - Robô a auxiliar operador na montagem de portas de automóveis [49].	47
Figura 45 - Robô a auxiliar na montagem de velas nos motores Volkswagen [49].	48
Figura 46 - "Paint Shop" - Pintura robotizada na indústria automóvel [50].	48
Figura 47 - Célula de injeção de plástico com manipulador cartesiano (<i>gantry</i>) para extração de componentes[52].	49
Figura 48 - Manipulador cartesiano (<i>gantry</i>) para injetoras de plástico [52].	50
Figura 49 - Máquina injetora com robô para extração de componentes [52].	52
Figura 50 - Componentes sobre injetado com insertos metálicos e plásticos, respetivamente [54].	53
Figura 51 - Banco de um automóvel em corte [55].	54
Figura 52 - Composição de um banco automovel [55].	55
Figura 53 - Tipos de estruturas de suspensão encontradas em bancos [55].	56
Figura 54 - Presença global do grupo Ficosa [61].	62
Figura 55 - Volume de vendas da FicoCables, Lda. entre 2009 e 2013.	63
Figura 56 - Manipulador inicial, ajustável para várias referências.	64
Figura 57 - Manipulador dedicado com dois pontos de extração desfasados.	65
Figura 58 - Contra saídas acentuadas que não permitem a remoção da peça com o manipulador.	65
Figura 59 - Exemplo de danos causados numa peça com extração automática.	66
Figura 60 - Exemplos de coxins utilizados em bancos de diferentes marcas.	67
Figura 61 - Exemplos de SP utilizados em bancos de diferentes automóveis.	67
Figura 62 - Estrutura do banco de um automóvel com respetivo SP e coxim.	68
Figura 63 - Outros produtos fabricados nos sistemas de conforto: IBK Suporte lateral e M3M4 SP, respetivamente.	68
Figura 64 - Montagem da referência M3M4 SP.	69
Figura 65 - Localização do suporte lateral na estrutura do banco automóvel.	69
Figura 66 - Peças injetadas com contra-saídas e arames 3D.	70
Figura 67 - Peças injetadas com poucas zonas de arame visível.	70
Figura 68 - Setor de injeção dos sistemas de conforto.	71
Figura 69 - MultiPLAS V4-SD-160T [62].	72
Figura 70 - Layout de abastecimento de arame nos moldes.	73

Figura 71 - Abastecimento por caixas nas máquinas de injeção.	74
Figura 72 - Abastecimento de arame por guias.	75
Figura 73 - Uso dos dois sistemas de abastecimento.	76
Figura 74 - Buchas que contemplam o molde e meio usado no processo de sobre-injeção.	77
Figura 75 - Tipos de molde com diferentes geometrias e número de arames.	78
Figura 76 - Exemplo de molde com gavetas e molde com arames 2D.	78
Figura 77 - Bocas de lobo e pinos guia usados para o posicionamento do arame no molde.	79
Figura 78 - Exemplo de haste extratora cilíndrica e respetiva aplicações.	79
Figura 79 - Exemplo de haste extratora retangular com inclinação (balancé).	80
Figura 80 - Haste extratora com inclinação.	80
Figura 81 - Molde SP com gavetas de extração.	81
Figura 82 - Pormenor A da gaveta de extração.	81
Figura 83 - Sistemas envolvidos no movimento dos produtos.	82
Figura 84 - Sistema de <i>transfer</i> utilizado nos manipuladores.	83
Figura 85 - Braço de ligação e respetivas conexões ao <i>transfer</i>	84
Figura 86 - Afições e particularidades do braço de suporte	84
Figura 87 - Sistema de extração dedicado para a referência 1012128999005F.	85
Figura 88 - SP 1012128999005F.	85
Figura 89 - Sistema de extração dedicado para a referência 1013028999003J.	86
Figura 90 - Coxim 1013028999003J.	86
Figura 91 - Sistema de extração dedicado para as referências 121911548D01 e 1213045999001H.	87
Figura 92 - Coxim 121911548D01.	88
Figura 93 - Coxim 1213045999001H.	88
Figura 94 - Sistema de extração dedicado para as referências 1293017248003I e 1213028999001B.	89
Figura 95 - Deformação elásticas da peça devido aos calcadores.	89
Figura 96 - Coxim 1293017248003I.	90
Figura 97 - Coxim 1213028999001B.	90
Figura 98 - Sistema de extração dedicado para as referências 121911900D01 e 121911901B00.	91
Figura 99 - Barra de desmoldagem adicionada no <i>setup</i> para a referência 121911900D01.	91
Figura 100 - Coxim 121911900D01.	92
Figura 101 - Coxim 121911901B00.	92
Figura 102 - Manipulador de múltiplas referências.	93
Figura 103 - Particularidades do manipulador de múltiplas referências.	93
Figura 104 - Afições da garra, representadas pelas setas a azul.	94
Figura 105 - Sistema de extração com braço rotativo acionado por servomotor.	95
Figura 106 - Estratégia de extração com sensores indutivos para a deteção do arame.	95
Figura 107 - Componentes e movimentos da extração por cilindro pneumático rotativo.	96
Figura 108 - Coxim 1012145999007H.	97
Figura 109 - Dimensões da máquina para montagem dos moldes (SPS - Senur Plastik Sistemleri, s.d.)....	99
Figura 110 - Peça com contra-saída acentuada nas hastes extradoras.	100

Figura 111 - Peça com contra-saída nos balancés das duas extremidades.	101
Figura 112 - Peça sem qualquer contra-saída, de fácil extração manual.....	101
Figura 113 - Movimentos para remover peças com contra-saída numa das extremidades.	102
Figura 114 - Exemplo <i>poka yoke</i> para controlo dos gachos da peça.....	102
Figura 115 - Mesa de controlo com gabaris e calibres <i>poka yoke</i> para o controlo de qualidade.	103
Figura 116 - Peça com contra-saídas nas duas extremidades em que uma delas está desmoldada.	103
Figura 117 - Peça flexível com contra-saídas nas duas extremidades.	104
Figura 118 - Esboço inicial de manipulador com dupla báscula.	105
Figura 119 - Cinemática do manipulador com báscula direita.	106
Figura 120 - Cinemática do manipulador com báscula esquerda.	106
Figura 121 - <i>Cardan</i> introduzido para dar mobilidade à garra.....	107
Figura 122 - Referência M3M4 e respetivo inserto metálico (arame) para sobre injeção.	109
Figura 123 - Molde de seis arames do M3M4 SP.	109
Figura 124 - Estratégia de extração da referência M3M4.....	110
Figura 125 - sistema de garra desenvolvido para a extração M3M4.	111
Figura 126 - Manipulador para extração da referência M3M4.....	111
Figura 127 - Estrutura de guias para a descarga do M3M4 SP.	112
Figura 128 - Estrutura de guias M3M4 posicionada no tapete.	112
Figura 129 - Rampa usada na deposição do M3M4 SP na extração manual.	113
Figura 130 - Rampa de tubos para a recolha dos arames injetados M3M4 SP.	113
Figura 131 - <i>Layout</i> representativo para a extração do M3M4 SP.	114
Figura 132 - Estrutura modular do alimentador M3M4 SP.	114
Figura 133 - Funcionamento do sistema de cames do alimentador (Vista superior).	115
Figura 134 - Gaveta do alimentador e pormenor dos pinos cónicos.	116
Figura 135 - <i>Layout</i> de extração e alimentação do M3M4 SP.....	117
Figura 136 - Alteração da posição das dobradiças.....	119
Figura 137 - Alteração geométrica das barras de ligação indicadas pelas setas a laranja.	119
Figura 138 - Substituição de todas as afinações das garras para parafusos M6.	120
Figura 139 - Modificação da posição da ranhura de afinação dos barramentos.	121
Figura 140 - Pormenor do difícil acesso aos parafusos de afinação dos barramentos.	121
Figura 141 - Vista explodida da ligação rotativa.	122
Figura 142 - Movimento de rotação para alternar posição das pinças rígidas/móveis.	122
Figura 143 - Pinça usada nos manipuladores.	123
Figura 144 - Funcionamento das pinças.	123
Figura 145 - Concavidade introduzida nas garras comparado com modelo substituído.	124
Figura 146 - Exemplo de uso da concavidade das garras.....	124
Figura 147 - <i>Transfer</i> soldado na cabeça da injetora.	125
Figura 148 - Comparação entre o sistema de <i>transfer</i> antigo e modificado, respetivamente.	126
Figura 149 - Fixações do <i>transfer</i>	126
Figura 150 - Sistema de <i>transfer</i> fixo na máquina por ligação aparafusada.	127

Figura 151 - Forma final do manipulador de básculas desenvolvido	127
Figura 152 - Cavidade do molde MQB1 com gavetas,	128
Figura 153 - Espiral e respetivos terminais sobre-injetados.	128
Figura 154 - Tubo esponja da espiral antes e depois de sobre injetada.	129
Figura 155 - Garra modular para manipulador de básculas.	129
Figura 156 - Troca de estruturas de extração do manipulador.	130
Figura 157 - Estrutura do manipulador MQB1.	131
Figura 158 - Pormenor do sistema de alavanca do manipulador MQB1.	131
Figura 159 - Sistema de encravamento das réguas do manipulador MQB1.	132
Figura 160 - Manipulador com garras modulares a extrair a espiral do molde.	132
Figura 161 - Insertos em aço temperado usados nos módulos de extração M3M4.	133
Figura 162 - Perfil com respetivas estruturas de garras de extração para os seis componentes.	133
Figura 163 - Aspeto da garra modular fabricada.	134
Figura 164 - Extração dos seis componentes injetados com o manipulador rotativo.	134
Figura 165 - Peso das guias totalmente abastecidas, calculado via <i>Solidworks</i> ®.	135
Figura 166 - Guias divididas, com pormenor dos respetivos posicionadores.	136
Figura 167 - Batente lateral para correto posicionamento das guias.	137
Figura 168 - Batente de fim curso para posicionamento das guias na zona de descarga.	137
Figura 169 - Rampa provisória de receção dos componentes injetados.	138
Figura 170 - Arames mal acondicionados durante a descarga para a rampa.	139
Figura 171 - Identificação dos declives presentes na rampa de receção de componentes.	140
Figura 172 - Sistemas de receção de componentes extraídos pelos manipuladores M3M4.	140
Figura 173 - Cavidade de injeção dos componentes IBK Suporte lateral.	141
Figura 174 - Verificação da estabilidade de extração com garras existentes.	142
Figura 175 - Barramento e respetivos <i>garras</i> para extração do IBK Suporte lateral.	142
Figura 176 - Conjuntos acoplados no perfil para extração do IBK Suporte lateral.	143
Figura 177 - Representação esquemática do movimento para alternar entre as duas referências.	144
Figura 178 - Sistema rotativo de <i>setup</i> rápido.	144
Figura 179 - Protótipo do módulo do alimentador para fabrico.	145
Figura 180 - Vista explodida do módulo alimentador M3M4.	146
Figura 181 - Módulo do alimentador protótipo fabricado.	146
Figura 182 - Problemas no seletor associados à dobragem do arame.	147
Figura 183 - Sequência de descarga dos arames de forma intermitente.	148
Figura 184 - Chapa da base com parte da forma do arame maquinada.	148
Figura 185 - Estrutura do alimentador.	149
Figura 186 - Cinemática do sistema de cames.	150
Figura 187 - Componentes do sistema de cames.	150
Figura 188 - Insertos de aço e bronze, utilizados como componentes de desgaste.	151
Figura 189 - Sistema de guiamento dos arames.	151
Figura 190 - Folga de passagem do arame, quando empurrado pelos batentes.	152

Figura 191 - Sensores para deteção do <i>stock</i> mínimo de arames nas colunas.	152
Figura 192 - Gaveta com respetiva identificação das barra-guia.	153
Figura 193 - Sensores e ímanes presentes na gaveta.	154
Figura 194 - Sistema de batentes da gaveta.	155
Figura 195 - Batente de bloqueio para a gaveta.	155
Figura 196 - Sistema de afinação do recuo da gaveta.	156
Figura 197 - Abastecimento do alimentador com arames.	156
Figura 198 - Sistema de cames com cilindro avançado no início do ciclo.	157
Figura 199 - Descarga dos primeiros três arames para a gaveta.	157
Figura 200 - Segunda descarga de arames para a gaveta.	158
Figura 201 - Gaveta aberta com 6 arames marcando o fim do ciclo.	158
Figura 202 - Pormenor da gaveta do alimentador complanar com o molde.	159
Figura 203 - Arame mal acondicionado durante a alimentação ao molde.	159
Figura 204 - Chanfros realizados nas “bocas de lobo” do molde M3M4.	160
Figura 205 - Sistema de calcadores do manipulador M3M4.	160
Figura 206 - Representação do manipulador M3M4 final com arames a alimentar.	161
Figura 207 – Aspeto da garra fraturada.	161
Figura 208 - Funcionamento do sistema em cunha.	162
Figura 209 - Guiamentos do sistema de cunha.	163
Figura 210 - Transmissão do movimento paralelo para as garras.	163
Figura 211 - Novo módulo de extração M3M4 completo.	164
Figura 212 - Nova versão fabricada do módulo de extração M3M4.	164
Figura 213 – Posicionamento dos novos módulos de extração relativamente ao molde.	165
Figura 214 - Manipulador a recolher os arames do molde.	166
Figura 215 - Componentes extraídos descarregados para a rampa e arranque do ciclo do alimentador.	166
Figura 216 - Arames a serem recolhidos da gaveta pelo manipulador.	167
Figura 217 - Arames a ser inseridos pelo manipulador no molde correspondente.	167
Figura 218 - O manipulador do lado oposto extrai os componentes injetados.	168
Figura 219 - Componentes descarregados para as guias presentes no tapete.	168
Figura 220 - Recolha dos arames da gaveta pelo manipulador.	169
Figura 221 - Arames inseridos no molde pelo manipulador.	169
Figura 222 - Fluxo de uma análise de um componente com recurso a um <i>software</i> baseado em elementos finitos [63].	170
Figura 223 - Posição estática do manipulador considerada para o estudo.	172
Figura 224 - Estrutura do <i>transfer</i> para análise.	172
Figura 225 - Contactos definidos entre componentes do <i>transfer</i>	173
Figura 226 - Fixações definidas no <i>transfer</i>	173
Figura 227 - Massa do manipulador acoplada ao <i>transfer</i>	174
Figura 228 - Diagrama para cálculo do momento resultante (M_r) na estrutura do <i>transfer</i>	175

Figura 229 - Decomposição do momento resultante nas forças F_1 e F_2 para simplificação da simulação.....	176
Figura 230 - Esforços definidos para a simulação de elementos finitos do <i>transfer</i>	177
Figura 231 – Estrutura do <i>transfer</i> totalmente parametrizada para realização da simulação.....	177
Figura 232 - Parâmetros da última malha de cálculo utilizada na simulação.....	178
Figura 233 - Aspeto da malha de cálculo utilizada na estrutura do <i>transfer</i>	178
Figura 234 - Tensões impostas ao <i>transfer</i> (escala de deformação 100x).....	179
Figura 235 - Volume de material com tensões superiores a 20 MPa.....	180
Figura 236 - Deslocamento máximo da estrutura (escala de deformação 100 vezes superior).....	180
Figura 237 - Contactos definidos entre os componentes do braço.....	181
Figura 238 – Fixações definidas no braço ligação para a simulação de elementos finitos.....	182
Figura 239 - Massa do conjunto suportado pelo braço.....	182
Figura 240 - Definição de todos os contatos, fixações e cargas aplicadas no braço.....	183
Figura 241 - Parâmetros da malha utilizada para a análise de elementos finitos.....	184
Figura 242 - Aspeto da malha utilizada na análise de elementos finitos do braço de ligação.....	184
Figura 243 - Tensões de von Mises a que o braço se encontra sujeito.....	185
Figura 244 - Volume de material com tensões acima de 60 MPa.....	186
Figura 245 - Deslocamento do braço de ligação para a carga instalada.....	187
Figura 246 - Ligação rotativa para a simulação.....	187
Figura 247 - Conexões definidas entre os componentes da ligação rotativa.....	188
Figura 248 - Fixações atribuídas para a simulação do conjunto.....	188
Figura 249 - Massa do conjunto suportado pela ligação rotativa.....	189
Figura 250 - Zonas do conjunto onde o esforçoso é aplicado.....	189
Figura 251 - Parâmetros da malha de cálculo definida.....	190
Figura 252 - Malha de cálculo utilizada na simulação.....	190
Figura 253 - Tensões resultantes da simulação.....	191
Figura 254 - Volume de material com tensões acima de 345 MPa.....	191
Figura 255 - Deslocamento resultante dos esforços aplicados.....	192
Figura 256 - Diagrama esquemático do tipo de solicitações a que as guias lineares poderão estar sujeitas. (catalogo INA, Anexo IV).....	193
Figura 257 - Massa dos componentes a suportar pelas guias lineares.....	194
Figura 258 - Posição do centro de massa do manipulador em relação ao <i>transfer</i>	195
Figura 259 - Cilindro guiado usado no manipulador [68].....	195
Figura 260 - Estrutura e respetiva massa a mover pelo cilindro guiado.....	196
Figura 261 - Massa da báscula do manipulador.....	197
Figura 262 - Diagrama de corpo livre da báscula.....	197
Figura 263 - Cilindro FESTO DSNU-16-90-P selecionado para animar as básculas [30].....	198
Figura 264 - Conjunto do seletor passa/não passa do alimentador de arames em análise.....	199
Figura 265 - Definição de contactos e ligações entre componentes do seletor.....	200
Figura 266 - Fixações e carga aplicada no seletor.....	200

Figura 267 - Parâmetros da malha otimizada usada na simulação do conjunto.	201
Figura 268 - Aspeto da malha obtida para a realização da simulação.	201
Figura 269 - Tensões de vonMises obtidas na simulação de elementos finitos do seletor (escala de deformação 50 vezes superior).	202
Figura 270 - Volume de material com tensões acima de 110 MPa.	203
Figura 271 - Deslocamento do conjunto quando submetido à carga máxima (escala de deformação 50 vezes superior).	204
Figura 272 - Massa da gaveta do alimentador.	205
Figura 273 - Diagrama de esforços da guia <i>Rollon LFS</i>	205
Figura 274 - Dispositivos de segurança já contemplados nas máquinas injetoras.	218
Figura 275 - Dispositivos de segurança do alimentador M3M4.	219
Figura 276 - Batentes de limitação de curso do <i>transfer</i>	227
Figura 277 - Afinação do braço de ligação em altura.	228
Figura 278 - Afinação do alcance do braço de ligação.	228
Figura 279 - Afinação do sistema rotativo do manipulador.	229
Figura 280 - Ajuste em altura da estrutura do manipulador.	230
Figura 281 - Afinação dos barramentos de suporte das pinças.	230
Figura 282 - Afinações nas pinças do manipulador.	231
Figura 283 - Afinação das barras-guia dos arames.	232
Figura 284 - Afinação do ponto zero da gaveta.	232
Figura 285 - Ajuste dos batentes da gaveta.	233
Figura 286 - Batentes de afinação do sistema de cames.	233
Figura 287 - Afinação da velocidade de acionamento das cames.	234
Figura 288 - Seletor do programa do manipulador.	235
Figura 289 - Funções do comando manual do manipulador.	236
Figura 290 - Comando manual da máquina injetora.	237
Figura 291 - Peça captada pelas pinças no arame.	240
Figura 292 - Garra com dedos revestidos com manga retrátil.	241
Figura 293 - Posicionamento da pinça para ajudar a desmoldar as contra-saídas dos ganchos.	242
Figura 294 - Regulador de caudal para ajuste de velocidade das básculas do manipulador.	242
Figura 295 - Exemplo de folha de auxílio para afinação do manipulador de múltiplas referências.	243
Figura 296 - Guias do <i>transfer</i> e respetivos carros a lubrificar.	244
Figura 297 - Zonas das pinças que devem ser lubrificadas.	244
Figura 298 - Seletor de programa do manipulador rotativo.	245
Figura 299 - <i>Setup</i> entre as referências M3M4 e Suporte Lateral.	246
Figura 300 - Escada de acesso ao alimentador com respetivo suporte para caixa de arames.	248
Figura 301 - Identificação das zonas de lubrificação dos dispositivos do manipulador rotativo.	249
Figura 302 - Identificação das zonas de lubrificação dos dispositivos do alimentador.	250
Figura 303 - Referência utilizada para o estudo do tempo de ciclo.	259
Figura 304 - Esquema de funcionamento da célula de injeção em estudo.	260

Figura 305 - Painel de controlo da máquina injetora.....	262
Figura 306 - Máquinas em que foram implementados os novos manipuladores desenvolvidos.	263
Figura 307 - Conjunto automático implementado para uma das duas meias moldações.....	267
Figura 308 - Calçadores auxiliares na queda do arame para a gaveta.	268
Figura 309 - Sistema de elevação de arames desenvolvido.....	273
Figura 310 - Alguns detalhes do funcionamento do elevador.	274
Figura 311 - Elevador e respetivos sistemas de bloqueio.	274
Figura 312 - Sistema de bloqueio e desbloqueio dos arames do elevador.....	275
Figura 313 - Sequência de funcionamento do sistema de abastecimento do elevador.	275
Figura 314 - <i>Layout</i> do sistema M3M4 automático, com elevador de arames.	276

Página intencionalmente deixada em branco

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Valorização dos fatores do grau de perigosidade do risco.	59
Tabela 2 - Níveis de importância no modo de atuação em função do grau de perigosidade.	59
Tabela 3 - Vantagens e desvantagens do abastecimento por caixas.	74
Tabela 4 - Vantagens e desvantagens do abastecimento por guias.	76
Tabela 5 - Materiais e respectivas propriedades usados nos componentes estudados [64],[65],[66],[67].	171
Tabela 6 - Subconjuntos do manipulador de básculas.	207
Tabela 7 - Subconjuntos do manipulador M3M4.	211
Tabela 8 - Subconjuntos do alimentador M3M4 SP.	213
Tabela 9 - Lista de peças do manipulador de básculas.	220
Tabela 10 - Lista de peças dos manipuladores Suporte Lateral/M3M4.	222
Tabela 11 - Lista de peças do alimentador M3M4.	224
Tabela 12 - Programas do manipulador de básculas.	235
Tabela 13 - Orçamento para o sistema de <i>transfer</i>	251
Tabela 14 - Orçamento para o braço de ligação.	251
Tabela 15 - Orçamento para estruturas de básculas.	252
Tabela 16 - Orçamento para pinças.	252
Tabela 17 - Orçamento para equipar uma injetora com o manipulador.	253
Tabela 18 - Orçamento para o sistema modular (versão 1, funcionamento com <i>gripper</i> paralelo SMC) para manipulador M3M4.	253
Tabela 19 - Orçamento de sistema modular (versão 2, funcionamento de cunha) para manipulador M3M4.	254
Tabela 20 - Orçamento dos calcadores para manipulador M3M4.	255
Tabela 21 - Orçamentação para um manipulador M3M4.	255
Tabela 22 - Orçamento para todos os componentes normalizados incluídos no alimentador automático.	255
Tabela 23 - Orçamento de todos os componentes maquinados do alimentador M3M4.	257
Tabela 24 - Orçamentação para um alimentador M3M4.	257
Tabela 25 - Orçamento para o sistema de alimentação/ extração M3M4.	257
Tabela 26 - Orçamento para extração automática da referência IBK suporte lateral.	258
Tabela 27 - Orçamento da solução de garras modulares de extração (Cabos MQB1) usadas no manipulador basculante.	258
Tabela 28 - Orçamento para extração automática dedicada do manipulador MQB1.	258
Tabela 29 - Medições efetuadas sem uso de manipulador.	260
Tabela 30 - Medições efetuadas com uso de manipulador.	260
Tabela 31 - Tempos de ciclo e produtividade sem manipulador e com manipulador.	261

Tabela 32 - Levantamento de material normalizado a reutilizar nos novos manipuladores.	264
Tabela 33 - Levantamento de subconjuntos a reutilizar e adquirir.	265
Tabela 34 - Valor total reduzido ao investimento da implementação dos novos manipuladores.	265
Tabela 35 - Total de investimento na implementação dos novos manipuladores.	266
Tabela 36 - Dados referentes às condições de trabalho e investimento efetuado nos manipuladores de báscula.....	269
Tabela 37 - Produtividade sem manipuladores vs Produtividade com manipuladores.	269
Tabela 38 - Dados referentes às condições de trabalho e investimento efetuado no sistema de extração/alimentação M3M4.	271
Tabela 39 - Sistema de elevador vs escada com suporte para caixa.....	277
Tabela 40 - Quadro resumo dos principais dispositivos desenvolvidos (Manipulador de básculas e sistema automático M3M4).	281

Índice

Lista de Símbolos e Abreviaturas	xiii
Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas	xxv
Índice	xxvii
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Metodologia	3
1.4. Estrutura	3
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1. A produção de componentes para a indústria automóvel	5
2.1.1. A indústria automóvel: Conceitos gerais	5
2.1.2. Mão-de-obra intensiva versus Capital intensivo.....	11
2.1.3. Automatização: modelos dedicados ou flexíveis?	14
2.2. A automatização de processos	16
2.2.1. Breve resenha histórica da evolução da automação	19
2.2.2. Filosofias de produção automatizada ligadas à indústria automóvel.....	21
2.2.3. Sistemas de automação úteis na ótica deste trabalho	24
2.2.3.1. Sistemas de controlo	24
2.2.3.2. Atuadores	30
2.3. A robótica aplicada à produção e montagem de componentes	41
2.3.1. Breve resenha histórica da evolução da robótica	43
2.3.2. Filosofias de produção robotizada ligadas à indústria automóvel.....	45
2.3.3. Sistemas de extração automáticos em injetoras de plástico	49
2.3.4. Sistemas de robótica em máquinas de injeção de plástico	51
2.4. Caracterização do produto	54
2.4.1. O banco automóvel	54
2.5. Segurança nos equipamentos.....	57
3. Desenvolvimento	61
3.1. Objetivos específicos deste trabalho prático.....	61
3.2. Caracterização da empresa que acolheu o projeto	62
3.3. O problema	64
3.3.1. Estruturas de conforto do banco automóvel	66
3.3.2. As máquinas de injeção	71
3.3.3. Os moldes de injeção.....	77
3.3.4. Os sistemas de extração existentes	82

3.3.5. Melhorias pretendidas	97
3.4. Anteprojeto	98
3.4.1. Anteprojeto do Manipulador Universal	98
3.4.1.1 Requisitos iniciais para o Manipulador Universal	98
3.4.1.2 Alcance do manipulador/área de trabalho	99
3.4.1.3. Estudo da extração das peças do molde	100
3.4.1.4. Apresentação de soluções prévias – esboços para o sistema de extração de peças	104
3.4.2.1. Anteprojeto Alimentador/Extração	107
3.4.2.2 Requisitos iniciais Alimentador/Extração	108
3.4.2.3. Apresentação de soluções prévias – esboços para o sistema de extração/alimentação de arames	108
3.4.7. Análise e validação pela FicoCables da solução mais viável	117
3.5. Projeto	118
3.5.1. Projeto do sistema de extração das peças injetadas	118
3.5.2. Projeto do sistema de alimentação dos arames ao molde	145
3.5.3. Estrutura do equipamento	170
3.5.3.1. Identificação das solicitações críticas e validações estruturais do manipulador de básculas	171
3.5.3.2. Seleção e dimensionamento de componentes normalizados no manipulador de básculas	192
3.5.3.3. Identificação das solicitações críticas e validações estruturais do alimentador automático	199
3.5.3.4. Seleção e dimensionamento de componentes normalizados no sistema de alimentação automático	204
3.5.4. Equipamento desenvolvido	206
3.5.4.1. Equipamento desenvolvido para a extração das peças injetadas.....	206
3.5.4.2. Equipamento desenvolvido para a alimentação de arames	213
3.5.4.3. Segurança dos equipamentos desenvolvidos	217
3.5.4.4. Lista de peças, componentes, dispositivos e normalizados do manipulador basculante	220
3.5.4.5. Lista de peças, componentes, dispositivos e normalizados do sistema de alimentação automático	223
3.5.4.6. Montagem e afinação do manipulador de básculas.....	227
3.5.4.7. Montagem e afinação do sistema de alimentação automático.....	231
3.5.4.8. Instruções de utilização e manutenção do manipulador de básculas	234
3.5.4.9. Instruções de utilização e manutenção do sistema automático M3M4 / extração IBK Suporte Lateral.....	245
3.5.5. Orçamentação	250
3.5.5.1. Orçamentação do manipulador de básculas	250
3.5.5.2. Orçamentação do sistema de alimentação M3M4 automático	253
3.5.5.3. Orçamentação de outros sistemas de extração.....	258
3.5.6. Estudo do tempo de ciclo	259
3.5.6.1. Estudo do tempo de ciclo do Manipulador de básculas.....	259
3.5.6.2. Estudo do tempo de ciclo no modo automático M3M4.....	261

3.5.7. Implementação dos projetos desenvolvidos	262
3.5.8. Estudo económico do processo (análise financeira)	268
3.6. Melhorias futuras no sistema automático de alimentação de arames	271
4. Conclusões.....	279
5. Bibliografia e Outras Fontes de Informação	283
6. Anexos	288

Página intencionalmente deixada em branco

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A indústria automóvel continua a ser um dos pilares principais da economia mundial, pautando a sua atividade por uma constante e forte inovação. Paralelamente, a produtividade e qualidade são fatores críticos, implicando um enorme esforço por parte das empresas em aplicar as melhores técnicas de fabrico, no sentido de minimizar os custos de produção e assegurar a máxima qualidade.

O desenvolvimento de novos projetos para a área automóvel implica uma forte flexibilidade e entrosamento com o sector, com vista a acompanhar de perto toda a sofisticação que os produtos vão adquirindo. Nesse sentido, os produtores de componentes participam também de forma ativa no desenvolvimento do produto e, em conjunto, estipulam um valor máximo para o custo, o qual fica normalmente sujeito a desvalorizações anuais que devem estar intimamente ligadas aos ganhos de produtividade que terão obrigatoriamente de ser conseguidos pelo produtor.

Assim, é comum um produto começar por ser produzido de uma dada forma e, ao longo da sua vida útil, serem equacionadas outras técnicas de produção que diminuam de forma eficaz o custo, sem degradar a qualidade.

Atendendo à elevada cadêcia necessária a qualquer produto que se destine a modelos do segmento médio ou baixo, a automação ou mesmo a robótica, são técnicas auxiliares praticamente incontornáveis para qualquer produtor de componentes para a indústria automóvel.

As estruturas onde apoiam os estofos de cada assento do automóvel têm conhecido desenvolvimentos significativos nas duas últimas décadas, com vista a incrementar o conforto e a minimizar o peso. Enquanto nos anos noventa os assentos possuíam uma estrutura quase sempre tubular e alguns acessórios soldados, a estrutura atual é muito mais complexa, pois incorpora muitos mais componentes (ligados à movimentação e aquecimento do banco) e necessita fortemente de contribuir para um aligeiramento do peso global do automóvel, passando a ser executada parcialmente em materiais poliméricos.

Assim, a estrutura de suporte das almofadas deixou de ser estritamente em arame, para passar a ter conexões cruzadas plásticas, as quais são realizadas em torno dos arames previamente conformados. Foi a constante necessidade de aumento de produtividade e de flexibilidade deste processo, que esteve na base do desenvolvimento deste trabalho.

1.2. Objetivos

O presente trabalho surgiu face a uma necessidade premente de uma empresa ligada ao fabrico de componentes para a área automóvel, e esteve particularmente relacionada com a automatização do processo de alimentação e descarga de máquinas de injeção de plásticos. Já existiam vários sistemas desenvolvidos pela empresa, mas nenhum deles estava dotado das valências necessárias à sofisticação de determinados produtos atualmente em produção. Por sua vez, era exigida a alocação de meios humanos teoricamente desnecessários ao processo, para contornar as limitações dos sistemas existentes. Assim, foram traçados como principais objetivos:

- Desenvolver um sistema de extração das peças injetadas com a flexibilidade necessária para a remoção da maioria das referências de fabrico existentes, através da conjugação de movimentos em mais do que um plano;
- Permitir a retirada das peças injetadas complexas, com necessidade de remoção de peças com contra-saídas, em que as peças tinham que ser retiradas manualmente;
- Desenvolver um equipamento de alimentação automática dos arames à máquina de injeção de plásticos para uma referência específica, tarefa que estava a ser realizada integralmente de forma manual;
- Minimizar o tempo de preparação, tanto na montagem dos arames como na retirada da peça injetada;
- Minimizar o custo da intervenção, aproveitando grande parte do equipamento já existente.

1.3. Metodologia

Com vista à prossecução dos objetivos atrás enumerados, foi estabelecida a seguinte estratégia para a abordagem do problema:

- Estudo dos sistemas existentes;
- Seleção do sistema mais interessante, de entre os existentes, com vista à conversão para um novo sistema de maior polivalência na extração das peças injetadas;
- Realização de esboços de diferentes alternativas, com vista à apresentação de soluções prévias à empresa;
- Apresentação das soluções, em esboço, para validação por parte da empresa;
- Desenvolvimento do projeto de extração automática de peças injetadas;
- Realização de esboços para a alimentação automática de arames para uma referência;
- Apresentação de soluções para validação por parte da empresa, do equipamento para a alimentação automática de arames ao molde;
- Projeto de equipamento para a alimentação automática de arames ao molde;
- Desenvolvimento de outros sistemas automáticos para alimentação de arames, e extração de peças injetadas;
- Realização de protótipos para a validação prática das soluções;
- Redação da dissertação.

1.4. Estrutura

Esta dissertação está dividida em três grandes secções: a Introdução, que pretende integrar o leitor no tema deste trabalho, a Revisão Bibliográfica, que procura fazer uma resenha teórica sobre os temas diretamente relacionados com este trabalho, e o Desenvolvimento, onde é explicado todo o progresso realizado, com o grau de pormenor entendido como necessário para qualquer leitor interessado nesta matéria.

Para além das secções atrás referidas, serão ainda traçadas as conclusões e apresentados novos caminhos para o desenvolvimento de equipamentos periféricos, diretamente relacionados com os produtos em causa.

Página intencionalmente deixada em branco

2. Revisão Bibliográfica

2.1. A produção de componentes para a indústria automóvel

2.1.1. A indústria automóvel: Conceitos gerais

A indústria automóvel dos dias de hoje é extremamente competitiva, possuindo abrangência global, mas sujeita a diferentes dinâmicas no que respeita ao desenvolvimento dos mercados a nível regional, o que tem conduzido a mudanças nas estratégias dos fabricantes de veículos e nas estruturas dos fornecedores. Por todo o mundo, grandes grupos desencadearam o processo de crescimento a partir da aquisição de outras empresas, fazendo com que conseguissem competir à escala mundial. Este crescimento global, conseguido com as aquisições e fusões mencionadas, deu origem a esforços de consolidação da cadeia de valor. Com o uso de estratégias como a modularização, *outsourcing*¹, partilha de plataformas e componentes, entre outras, permitiu também, não só estabelecer economias de escala e eficiência na montagem, mas fundamentalmente partilhar responsabilidades com fornecedores no que respeita a conceção, desenvolvimento e fabrico [1].

Intervenientes numa lógica de redes – OEM's (*Original Equipment Manufacturers*), fornecedores, clientes e estruturas de apoio alcançaram uma importância decisiva na economia mundial, enquanto sistema complexo e de valor, tornando-se uma indústria cuja classe é reconhecida a nível mundial, impulsionando o crescimento económico em todos os países.

Na indústria automóvel, as grandes tendências subjacentes dos OEM's vêm influenciar diretamente no papel e comportamento, técnico, tecnológico e económico dos fornecedores de componentes, que têm vindo a assumir uma importância crescente no seio desta indústria [2],[3].

¹ Processo utilizado por uma empresa, no qual outra organização é contratada para desenvolver uma certa área dessa empresa.

A transformação do papel e importância acrescida dos fornecedores de componentes teve origem em diversos fatores, dos quais se salientam os seguintes [2],[4]:

- a) Transferência de responsabilidades para os fornecedores por parte dos fabricantes, nomeadamente ao nível do *design* e engenharia, com a conseqüente emergência de autênticos fornecedores globais (Figura 1);
- b) Maior investimento no setor por parte dos fornecedores, dada a sua crescente participação no processo de produção;
- c) Intensificação da importância dos fornecedores de componentes de automóvel como fontes de criação de emprego em diversas regiões do globo, tornando-se alvo privilegiado da atenção, quer das empresas, quer dos governos dessas zonas;
- d) Responsabilidade por uma grande fatia do investimento industrial no sector.

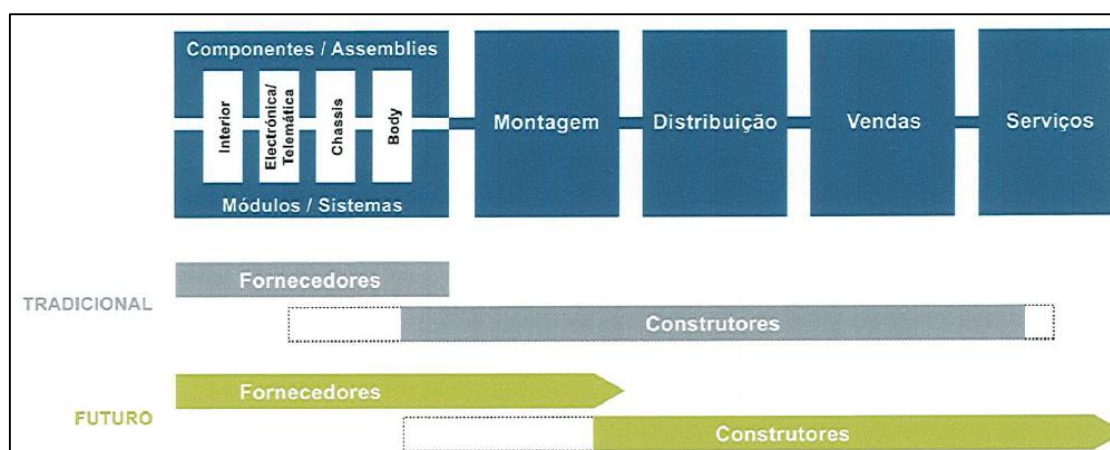


Figura 1 - Evolução da transferência de responsabilidades para fornecedores imposta pelos OEM's [5].

O desenvolvimento das cadeias de valor tem vindo a realçar-se mais por uma distinção das suas funções e capacidades do que propriamente pelo posicionamento relativamente às empresas de montagem. A prova disso é a capacidade de alguns fornecedores se converterem em integradores e fabricantes de sistemas, com a capacidade de abastecer diretamente as linhas de montagem e desempenhar tarefas de desenvolvimento e projeto [6].

Até aos finais dos anos 70, os fornecedores nacionais eram caracterizados pela produção de componentes de baixo valor acrescentado, essencialmente para o mercado doméstico, não existindo uma verdadeira indústria de componentes. Dos anos 70 até aos anos 90, ocorreu o primeiro contacto com a indústria global automóvel. Com a aprendizagem tecnológica e

organizacional, assistiu-se a uma qualificação dos recursos humanos e promoveu-se à atração de investimento estrangeiro. A partir desse momento, os fornecedores têm vindo a consolidar competências baseadas em prazos, custos e qualidade, estabelecer redes de cooperação entre si e congêneres estrangeiras, assim como desenvolver capacidades de engenharia.

Uma análise da estrutura do mercado mostra que o sector, até 1998, era dominado pela produção de peças para motores, transmissões e travões, componentes elétricos e produção de interiores, devido à importância do projeto Renault. Na maioria, relativamente ao posicionamento na cadeia de valor de fornecimento de componentes, os fornecedores nacionais situam-se em níveis inferiores, sendo considerados tipicamente “Fabricantes de Componentes” ou “Fabricantes de Montagem” [1].

As transformações estruturais e tecnológicas no setor automóvel levaram a uma profunda reestruturação dos fornecedores de componentes e subsistemas. Algumas dessas modificações têm origem em movimentações como uma crescente subcontratação de componentes e subsistemas, e cada vez mais módulos funcionais, onde os fornecedores passaram a ser incluídos pelos OEM’s na conceção e desenvolvimento. Os OEM’s deixaram de ser produtores autossuficientes, tornando-se atualmente detentores de uma marca, de um conceito de viatura, do “*product engineering*”, da montagem ou “*assembly*”, do acabamento e da distribuição global. No entanto, são os fornecedores dos OEM’s que produzem as peças, contudo, para além da produção, estes passaram também a fazer parte da sua materialização. No resultado de uma lógica de seletividade, tem-se vindo a assistir a uma redução do número de fornecedores por marca e por fábrica. Com isso, os fabricantes começaram a exercer uma maior exigência sobre a capacidade económica e financeira dos fornecedores que conseguiram “sobreviver”, capazes de sustentar uma produção “*lean*” e trabalhando em JIT (*just-in-time*) em várias frentes. Outro assunto, no qual o construtor passou a exercer pressão aos fornecedores foi a partilha de custos e riscos, quando se trata de um desenvolvimento inicial de um produto. Este tipo de princípios são válidos tanto para fornecedores de 1ª linha como de 2ª linha [7].

Atualmente, e segundo estudos no âmbito do IMVP – *International Motor Vehicle Program*, os fornecedores são cada vez mais caracterizados e distinguidos pelas suas funções e capacidades, do que pela sua localização no fluxo de fornecimentos às empresas de montagem, dando origem à seguinte divisão [8]:

- Fabricantes de Componentes – especialistas num determinado processo, como as empresas de estampagem ou de injeção de plásticos, sendo na sua maioria fornecedores indiretos dos OEM’s. Os seus clientes diretos são outros fornecedores situados num nível mais elevado na hierarquia;

- Fabricantes de montagem – especialistas do processo com capacidades adicionais de maquinagem e montagem. São usualmente responsáveis pelo *design*, projeto e teste dos produtos que fabricam, mas não pelo projeto do subconjunto ou dos restantes componentes que o integram, sendo tipicamente fornecedores indiretos;
- Fabricantes de Sistemas – fornecedores capazes de desenvolver as tarefas de *design*, projeto, desenvolvimento e produção de sistemas complexos. Podem fornecer diretamente os OEM's, ou de forma indireta, através dos “integradores de sistemas”;
- Integradores de Sistemas – fornecedores capazes de integrar componentes, subconjuntos e sistemas em módulos, que são diretamente colocados pelo fornecedor nos OEM's.

Os novos modelos de relacionamento com os clientes finais exige uma organização interna das empresas do setor automóvel, principalmente nos fornecedores de componentes. Com o objetivo de atingir níveis de eficiência elevados, a indústria de componentes submete-se a pressões, adaptando-se às formas de organização e metodologias de produção dos OEM's, ou dos fornecedores de nível superior. Esta pressão acontece tanto ao nível de custos e preços finais, como ao nível da qualidade global dos produtos. As empresas subcontratadas são igualmente submetidas a estas pressões [9].

Os fornecedores de 1ª linha seguem as mesmas tendências dos OEM's, de subcontratar os da linha inferior. No entanto, os fornecedores de 1ª linha não abdicam da inovação e de competências tecnológicas para os fornecedores de 2ª linha. No fornecimento de 2ª linha, as pressões estabelecidas incidem, não só na capacidade de redução de custos, mas também na capacidade de resposta, de acordo com as exigências em termos de qualidade e prazos de entrega (Figura 2). O papel do consumidor é igualmente importante, pois passa por ser um ator ativo, apresentando expectativas, assim como um grau de exigência mais elevado.

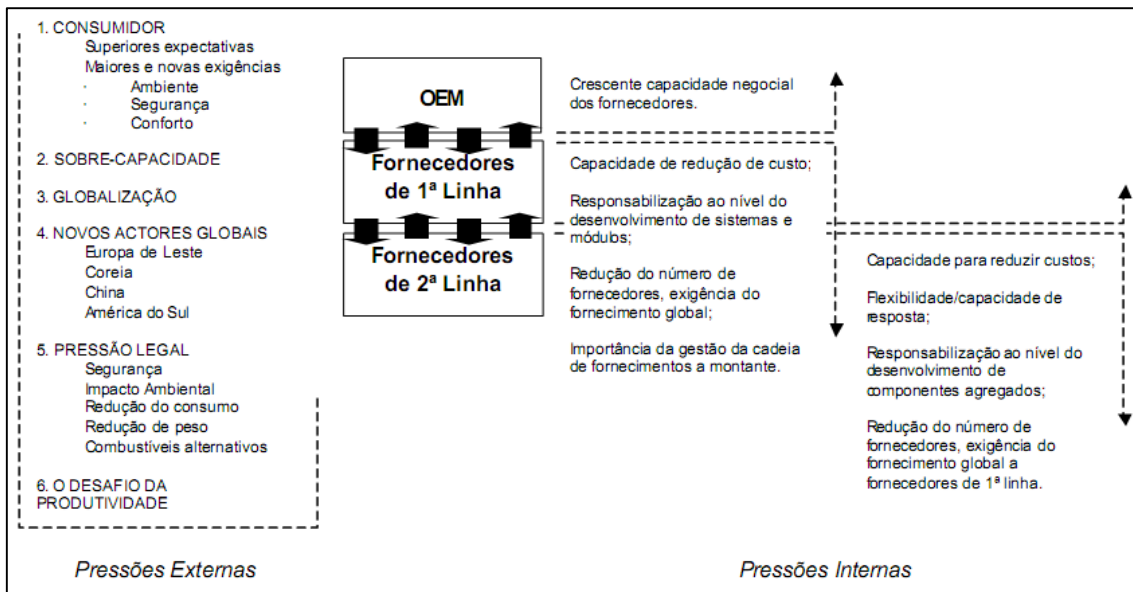


Figura 2 - Pressão sobre os fornecedores de componentes da indústria automóvel [6].

Os fornecedores, por forma a conseguirem maior capacidade de resposta e flexibilidade, assim como atingirem os altos níveis de desempenho nas suas atividades e na qualidade e fabrico que os clientes-construtores esperam, deverão continuar a adaptar-se às novas realidades em mudança permanente, optando pela adoção de novos modelos organizacionais, sejam eles de logística, gestão ou de processos de produção. O cliente deverá reconhecer as potencialidades dos seus fornecedores, atender às suas características tecnológicas e desenvolver uma abordagem às suas atividades de conceção, organização e execução.

No entanto, a maioria das empresas nacionais são relativamente pequenas e os recursos necessários ao desenvolvimento de atividades de maior valor acrescentado são escassos. Como consequência, quando existe atividade de investigação e desenvolvimento, de conceção e engenharia de produto, estas não atingem a dimensão necessária para que as empresas consigam manter o posicionamento competitivo na cadeia de valor da indústria automóvel [1],[2].

Normas

No que respeita ao enquadramento legal, a indústria automóvel é altamente restrita, nomeadamente a nível de segurança e ambiente.

De acordo com o IPQ (Instituto Português da Qualidade)², a normalização ajuda na redução de custos para fornecedores e clientes, aumenta a transparência de mercado, ajuda na criação de novos negócios e mantém os existentes, pois é um meio de garantir aos clientes que os produtos/serviços detêm o adequado grau de qualidade, segurança e respeito pelo ambiente. Também as normas facilitam as trocas comerciais na medida em que, para além da redução de custos, diminuem as assimetrias de informação entre a oferta e a procura.

Os OEM's e os fornecedores têm necessidade de inovar nos seus produtos, para garantirem lugar no mercado e na cadeia de valor. No entanto, para obterem margens de lucro, precisam de diferenciar as suas marcas e elevar o seu desempenho enquanto aceleram os ciclos e reduzem os tempos de desenvolvimento e produção, assegurando a qualidade sem afetarem os prazos de entrega. A complexidade de gestão e a redução de custos e desenvolvimento exigem uma aproximação entre os OEM's e os fornecedores, uma vez que estes fornecedores precisam de interligar o desenvolvimento e o *design* do produto com os requisitos dos OEM's [10]. Os requisitos interligam os vários intervenientes da cadeia de valor, com objetivos em comum, sendo de extrema importância nas relações entre as equipas de engenharia e os demais interessados, incluindo os fornecedores e os clientes.

Com o objetivo de garantir a qualidade dos seus produtos, os OEM's realizam auditorias aos fornecedores. Estas auditorias ajudam a descobrir discrepâncias e falhas nos requisitos dos produtos e até mesmo no processo de fabrico. Este controlo diminui custos de reorganização, no caso de falhas, e reduz o risco de perda de características exigidas pelos consumidores.

No que respeita a níveis de exigência de condições para a qualidade do produto, produtividade, competitividade e melhoria contínua, a indústria automóvel não é exceção. Para garantir todas estas exigências, os fabricantes de veículos solicitam que os fornecedores adiram às apertadas especificações técnicas estabelecidas pelas normas de gestão da qualidade para fornecedores do setor automóvel, conhecidas como ISO / TS 16949.

Com esta especificação, substitui-se e uniformiza-se as normas dos sistemas de qualidade do setor automóvel. São também identificados os requisitos que têm que ser cumpridos pelos sistemas de qualidade para o desenho/desenvolvimento, fabrico, instalação e serviço de qualquer produto do setor automóvel. Destaca-se novamente a competitividade no mercado

² Instituto que tem por missão a coordenação do sistema português da qualidade e de outros sistemas de qualificação regulamentar que lhe forem conferidos por lei, como promoção e coordenação de atividades que visem contribuir para demonstrar a credibilidade da ação dos agentes económicos bem como o desenvolvimento das atividades inerentes às suas funções de Instituição Nacional de Metrologia e de Organismo Nacional de Normalização.

automóvel, pois levou a que a certificação dos fornecedores passasse a ser uma exigência dos clientes e deixasse de ser opcional [11].

2.1.2. Mão-de-obra intensiva versus Capital intensivo

A forma de resposta a fatores externos como, por exemplo, as flutuações no ciclo económico, determina geralmente a natureza de uma empresa. Na verdade, empresas que adotam um modelo de capital intensivo são afetadas de forma diferente quando comparadas com as empresas que seguem um modelo de mão-de-obra intensiva. A existência de capital e a quantidade de mão-de-obra classifica uma empresa de acordo com o modelo adotado, isto é, uma empresa com um modelo de capital intensivo assenta numa produção mais automatizada e com menor ênfase na mão-de-obra. Por isso, empresas pouco automatizadas são normalmente consideradas empresas com um modelo de mão-de-obra intensiva [12].

Embora a indústria automóvel apresente elevadas taxas de empregabilidade, é no entanto muitíssimo automatizada, logo pode ser considerado que a indústria automóvel está inserida num modelo de capital intensivo, porque procura constantemente a automatização dos processos de produção. Qualquer indústria pode ser inserida algures no espectro, que vai desde o grau de mais trabalho intensivo até ao grau de mais capital intensivo. Na nossa economia atual, algumas das indústrias de cariz trabalho-intensivo estão na venda a retalho, hotelaria e pequenos negócios, supermercados, cadeias de lojas, restaurantes e hotéis, pois têm todos de contratar bastantes empregados (Figura 3) [13].



Figura 3 - Trabalho-Intensivo versus Capital-Intensivo, respetivamente [14].

Com o passar do tempo e a conseqüente evolução da tecnologia, a maior parte das indústrias têm uma maior tendência a transitar do modelo de mão-de-obra intensiva para o modelo de capital intensivo. Com o uso massivo de tecnologia nas indústrias recentes, estas são quase sempre inseridas na classe do capital intensivo (por exemplo o uso de robôs na montagem de componentes como demonstrado na Figura 4). Este facto tem ocorrido assim ao longo do tempo, e historicamente tem sido positivo. Se efetuarmos a comparação das indústrias de uma nação desenvolvida, como por exemplo os Estados Unidos, com indústrias de uma nação subdesenvolvida, descobrimos inevitavelmente que a economia americana assenta muito mais em capital intensivo. Uma conseqüência disto foi claramente a introdução de tecnologia mais avançada, que levou ao aumento de produtividade e tornou mais ricas as nações desenvolvidas [13].



Figura 4 - Capital intensivo através da utilização de robôs na indústria automóvel [14].

O uso de capital intensivo na obtenção de tecnologia conduz à perda de alguns empregos, contudo, provoca também preços mais baixos na aquisição de bens e serviços, ou seja, faz com que os consumidores ganhem maior poder compra. Como resultado existe um aumento da procura dos produtos de todo o tipo de indústrias. Como algumas destas indústrias são de mão-de-obra intensiva e têm a necessidade de absorver este aumento de procura, necessitam de contratar mais trabalhadores, mantendo assim o emprego estável. Obviamente que nem tudo

são aspetos positivos pois, por vezes, ocorrem transições desagradáveis como um trabalhador que possuía um emprego bem remunerado e passa a possuir outro inferior [13].

Como referido anteriormente, mão-de-obra intensiva e capital intensivo são modos de investimento em fatores que afetam diretamente a produção e podem ser adotados pelos mais diversos tipos de empresas. Cada um deles possui vantagens e desvantagens associadas.

Vantagens no uso de trabalho intensivo na produção [14]:

- A equipa, ao contrário das máquinas, pode ser usada de forma flexível para responder à alteração dos níveis de exigência do consumidor (por exemplo, trabalhadores temporários);
- Pode fornecer um "toque pessoal" e ficar em sintonia com as necessidades do cliente;
- Pode fornecer produtos e serviços à medida para diferentes necessidades dos clientes. Muitas das vezes as máquinas não são flexíveis o suficiente para fornecer produtos e/ou serviços específicos para clientes individuais;
- O trabalhador pode fornecer *feedback* e contribuir com ideias para a melhoria contínua.

Desvantagens no uso de trabalho intensivo na produção:

- Relativamente caro a longo prazo, quando comparado com o investimento em tecnologia, isto significa maior custo unitário devido aos baixos níveis de produtividade;
- Relativamente ineficiente em grande parte das situações que requerem esforço físico;
- Problemas em relação ao trabalho (por exemplo, podem entrar em greve);
- Pode haver uma escassez de mão-de-obra qualificada.

Vantagens na utilização de capital intensivo na produção:

- Reduz o erro humano - produção mais precisa;
- Maior velocidade (eficiência) e esforço / cadência de produção uniforme;
- Maior eficiência, que resulta na redução do custo médio;
- Não apresenta problemas com a escassez de trabalho / planeamento.

Desvantagens na utilização de capital intensivo na produção:

- Altos custos iniciais de investimento;

- Falta de flexibilidade na resposta a mudanças num pedido. Em contraste, a mão-de-obra intensiva pode ser utilizada de maneira flexível, por exemplo, usando trabalhadores temporários.

2.1.3. Automação: modelos dedicados ou flexíveis?

A utilização de vários contextos tecnológicos (mecânicos, eletrônicos e informáticos), que realizam e controlam o processo de uma forma autónoma, constitui o que chamamos de automação. Sistemas automáticos numa fábrica que executam operações no processamento de um produto, como montagem, inspeção ou manipulação, são chamados de automáticos devido à mão-de-obra interveniente na realização das tarefas ser nula ou quase nula. Como exemplos mais comuns de sistemas automatizados, temos máquinas de controlo numérico computadorizado (CNC), sistemas de montagem automatizada de componentes, sistemas de manipulação e transporte que estabelecem comunicação entre postos de trabalho, etc. [8].

Segundo Groover [15], os sistemas automáticos podem ser classificados em três tipos básicos (Figura 5):

- Automação fixa;
- Automação programável;
- Automação flexível.

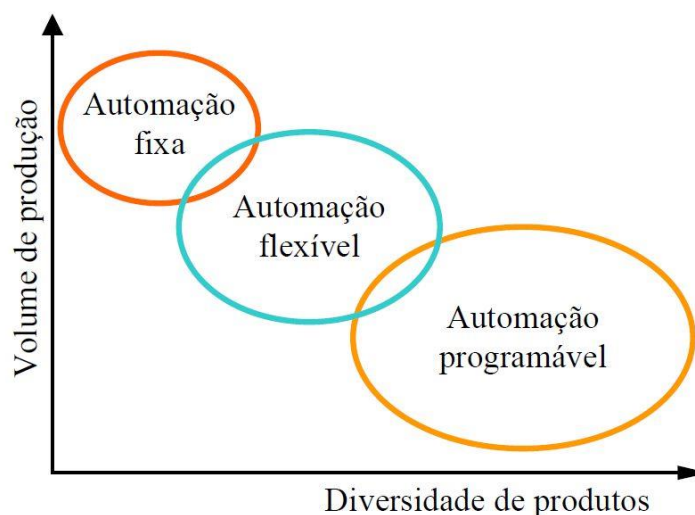


Figura 5 - Tipos de automação relativamente à quantidade e à variedade de produtos (adaptado de Groover, [15]).

Na Figura 5 encontra-se esquematizado o uso dos três tipos de automação em função da diversidade e volume de produção. Quando existe uma grande quantidade a produzir mas com uma variabilidade de produtos reduzida, o tipo mais indicado será a automação fixa ou dedicada. No entanto, se a diversidade é elevada e as quantidades reduzidas, ou seja, automação dedicada a cada série, a estratégia mais viável passa pela utilização de automação programável. Se estivermos perante uma situação intermédia no que respeita à variabilidade de produtos e volume de produção, a solução passa pelo uso de automação flexível, para que se consiga uma boa adaptação às mudanças do produto [16].

Automação fixa

Neste tipo de automação a sequência do processamento das operações é fixa pela configuração do equipamento. A sequência de operações é normalmente simples, envolvendo movimentos lineares ou rotativos, ou então uma operação conjunta dos dois movimentos, nunca muito complexa. A complexidade de um sistema é definida pela interação e coordenação de mais operações num componente. As características mais importantes da automação fixa são:

- Alto investimento inicial no projeto do equipamento;
- Taxas de produção elevadas;
- Flexibilidade reduzida perante a variedade de produtos.

O uso deste tipo de sistemas é normalmente justificado quando existem elevadíssimas taxas de produção, que torna o alto investimento inicial facilmente recuperável, uma vez que torna o custo unitário dos produtos atrativo quando comparado com sistemas alternativos. Linhas de manipulação e máquinas de montagem automática, são bons exemplos da aplicação deste tipo de automação [17],[18].

Automação programável

A automação programável é caracterizada pela facilidade em modificar a sequência operatória de um processo de maneira a acomodar diferentes configurações de produtos. A sequência de operações é comandada por um programa, no qual existe um código de instruções, para que o sistema o interprete e execute. Desta forma, podem ser introduzidos e executados novos programas no equipamento, para que se fabriquem novos produtos. Os pontos característicos deste tipo de automação são:

- Elevado investimento no equipamento;

- Taxas de produção menores, quando comparado com o sistema de automação fixo;
- Flexibilidade para lidar com alterações na configuração do produto;
- Adequado para o sistema de produção em lotes.

A automação programável é geralmente usada com volumes baixos ou médios de produção, que se encontram normalmente organizados por lotes. A produção de cada lote é realizada a partir do *setup*, ou seja, o sistema é programado com as instruções correspondentes ao produto a realizar. O *setup* físico da máquina é também alterado através da introdução de ferramentas diferentes ou sistemas de apoio. Estes *setups* têm a consequência de incrementar o tempo total de produção do lote. Alguns exemplos de sistemas automáticos programáveis são as máquinas de controlo numérico e robôs industriais [17],[18].

Automação flexível

A automação flexível pode ser considerada uma extensão da automação programável. Neste tipo de automação é possível produzir vários produtos, ou parte deles, sem perdas de tempo na realização de *setups*. Com isto, o sistema pode executar várias combinações e programas de produtos, sem que seja necessária a produção por lotes. Isto é possível quando existem diferenças pouco significativas entre componentes a produzir, ou a mudança necessária é mínima. Os sistemas de produção flexível para executar operações de maquinagem são um bom exemplo deste tipo de automação. Em resumo, a automação flexível caracteriza-se da seguinte forma [17],[18]:

- Alto investimento para o projeto personalizado do sistema;
- Produção contínua de diferentes produtos;
- Taxas de produção médias;
- Flexibilidade para lidar com variações no desenho do produto.

2.2. A automatização de processos

Nas últimas décadas, o setor automóvel tem sido o que mais sofreu mudanças no que respeita a necessidades de qualificação da força de trabalho usada. Nos anos 60, as características principais eram as grandes produções em série com trabalho repetitivo de montagem,

suportado em sistemas de automação fixa. No entanto, a partir dos anos 70 iniciou-se uma introdução progressiva da automação flexível para combater a maior diversificação da procura e segmentação de mercados [19].

Com o passar dos anos, a indústria tentou melhorar continuamente a eficiência da produção, economizando ao máximo os recursos, sejam eles energéticos, materiais ou mesmo humanos. Nos fabricantes de componentes ou produtos, a migração de um sistema manual para um sistema automatizado foi sempre um desafio com o objetivo de reduzir custos de produção, aumentar a produtividade na maioria das vezes recorrendo à diminuição dos tempos de ciclo, indo ao encontro dos elevados níveis de qualidade exigidos pelo cliente. Recorrendo a esta estratégia, os fabricantes continuam flexíveis e competitivos em função das variações do mercado. Nem sempre a necessidade de automatização aparece ligada a fatores de competitividade, porque muitas vezes, devido a tarefas perigosas que colocam em risco a integridade física ou psicológica dos trabalhadores, é necessário evitar o uso de mão-de-obra [20].

A grande contribuição da indústria automóvel para o nível crescente do desenvolvimento dos sistemas automatizados estão intimamente relacionados com o elevado número de componentes que compõem um veículo, bem como os vários modelos possíveis dentro da mesma marca, que implicam um acompanhamento em paralelo no desenvolvimento de sistemas automáticos, capazes de contribuir para um aumento significativo de produtividade e flexibilidade [8].

Os fatores que normalmente levam as empresas a apostar no aumento do nível de automatização, são os seguintes [15]:

- Aumentar a produtividade: a automatização de um processo de produção normalmente aumenta a taxa de produção, e isto significa que existe um maior *output* de produtos por unidade de tempo, comparando com um sistema com a mesma função, mas não automatizado;
- Reduzir custos de produção: o investimento na automatização é justificado economicamente para substituir operações manuais. As máquinas têm vindo a substituir a mão-de-obra, reduzindo os custos de produção;
- Aumentar a qualidade do produto: o aumento da produção não é o único objetivo da automação, pois esta também aumenta a repetibilidade e a conformidade;

- Redução dos prazos de entrega: a automatização ajuda a reduzir o tempo desperdiçado entre o pedido do cliente e a expedição do produto, um aspeto fulcral na competitividade da empresa, que pode muitas vezes definir a entrada de novos pedidos;
- Executar tarefas que não podem ser efetuadas manualmente: certas operações não podem ser executadas sem a ajuda das máquinas. Falamos de processos que têm requisitos de precisão, em que o tamanho do objeto seja pequeno e difícil de manipular, ou se possui uma geometria complexa que não possa ser manipulada manualmente;
- Evitar custos da não automatização: os benefícios da automatização melhoram várias áreas da empresa de uma forma indireta. Por exemplo, o aumento da qualidade conduz a um aumento de vendas, a um melhor relacionamento entre empresas e a uma melhor imagem;
- Reduzir ou eliminar rotinas manuais: um dos argumentos fortes para uma empresa preferir a automatização é eliminar as tarefas repetitivas, monótonas e cansativas. Esta opção serve como um propósito para melhorar as condições de trabalho.

Para além dos fatores enumerados, existe um amplo grupo de fatores adicionais que poderiam ser abordados. Um exemplo é o facto de podermos focar a automatização de operações como uma oportunidade para um operador. Quando as funções de um operador são substituídas, existe a ideia errada de que esse operador é dispensável. No entanto, a automatização permite, não só a redução dos custos de trabalho de produção, mas também, a recolocação de pessoal existente para monitorizar e controlar a linha, resolver erros de produção e também, concentrar-se em áreas de crescimento, em vez de interagir com movimentos repetitivos e monótonos ou até atividades não produtivas.

A automatização impõe-se cada vez mais nas indústrias preocupadas em melhorar a produtividade com qualidade, com a redução simultânea de tempos e custos, através do sistema organizacional e produtivo da empresa.

Muitos processos automatizados, com tecnologia baseada na aplicação de sistemas eletrónicos, mecânicos e computados, são largamente usados com o objetivo de eliminar desperdícios e rentabilizar a produção. Exemplos disso são: sistemas de manipulação de materiais, tapetes automáticos, *AGV's (Automated Guided Vehicles)* e armazéns automáticos, que têm a responsabilidade de garantir a entrega do produto com qualidade nas quantidades solicitadas pelo cliente. Linhas de montagem parcialmente ou totalmente robotizadas, são também amplamente utilizadas na indústria devido a fatores de segurança na interface de operadores com as máquinas, repetibilidades das tarefas a realizar, precisão de diversos processos de

fabrico, como o caso da soldadura por pontos dos chassis dos automóveis, sempre com o objetivo de aumentar a produtividade, qualidade e segurança no fabrico do produto [8].

2.2.1. Breve resenha histórica da evolução da automação

A mecanização das atividades do homem tem sido uma preocupação que já vem desde a pré-história. A prova disso é a invenção da roda, os moinhos movidos por vento, cursos de água ou até força animal. Todos estes mecanismos representam as primeiras tentativas do homem poupar esforço na realização do trabalho muito antes da automação industrial. O destaque na sociedade pela automação industrial surgiu por volta da segunda metade do século XVII, na Inglaterra. Foi nesta época que os sistemas agrícolas e artesanais iniciaram a migração para sistemas industriais e foram desenvolvidos os primeiros dispositivos simples e semiautomáticos. No entanto, apenas no início do século XX, apareceram os sistemas totalmente automáticos. A necessidade do aumento de produtividade conduziu a diversas séries de inovações tecnológicas, tais como o desenvolvimento de máquinas com a capacidade de produzir mais e, com rapidez e precisão (quando comparado com o trabalho manual), assim como a substituição da energia muscular pela utilização do vapor [21].

Foi aproximadamente em 1788, que o primeiro sistema de controlo com realimentação que regulava o fluxo de vapor em máquinas, foi inventado por James Watt (Figura 6). Por volta de 1870, a energia elétrica começou a ser introduzida e fez com que houvesse uma evolução das indústrias como a do aço, química e máquinas-ferramentas [22].

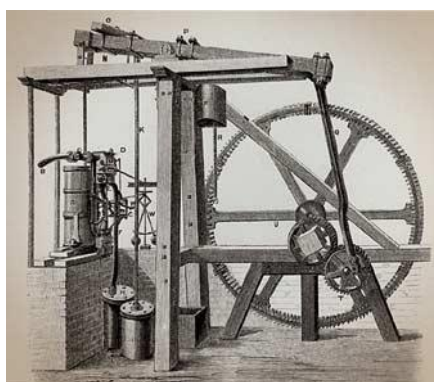


Figura 6 - Máquina a vapor de James Watt [23].

No século XX, os computadores, servomecanismos e controladores programáveis passaram a fazer parte da tecnologia da automação industrial. Hoje, os computadores podem ser

considerados a principal base da automação industrial contemporânea. Depois disso, foi inventada a régua de cálculo e a máquina aritmética e a partir daí, pode ser considerado que a evolução dos computadores está intimamente ligada à base do desenvolvimento da automação industrial [22],[21].

Em 1948, John T. Parsons desenvolveu um método para controlar movimentos de máquinas-ferramenta com o recurso a informações contidas em cartões perfurados. Este sistema foi posteriormente desenvolvido no laboratório de servomecanismos do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) com recurso ao investimento da Força Aérea. Alguns anos depois, esta tecnologia deu origem a um protótipo de fresadora de três eixos com servomecanismos de posição. Com isto, vários projetos desenvolvidos por empresas privadas começaram a surgir, e assim nasceu o comando numérico. O MIT também desenvolveu a linguagem de programação APT (*Automatically Programmed Tools*, ou “Ferramentas Programadas Automaticamente”) para ajudar na entrada de comandos de trajetórias de ferramentas na máquina [24].

Finalmente em 1954, o americano George Devol fez surgir os primeiros robôs (do *tcheco robota*, que significa “escravo”), que alguns anos depois fundaram a fábrica de robôs Unimation (Figura 7). Inicialmente os robôs substituíram a mão-de-obra no transporte de materiais perigosos e alguns anos depois, a GM (*General Motors*) implementou nas linhas de produção, o uso de robôs na soldadura de carrocerias automóveis. Desde então, os processos de automação industrial continuaram a evoluir até chegar aos dias de hoje [21].

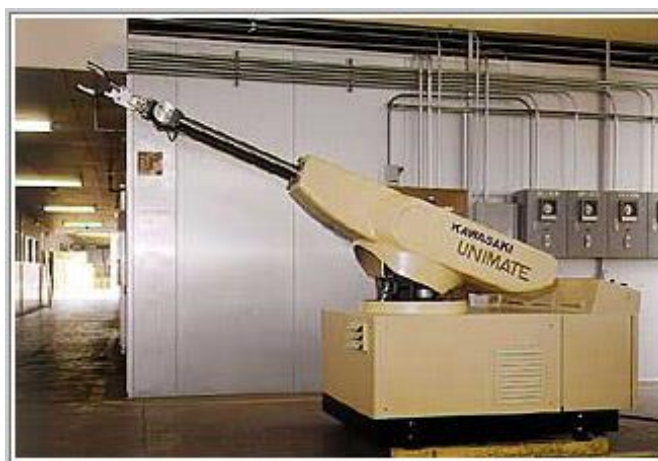


Figura 7 - Primeiro robô industrial, o Unimate criado por George Devol [21].

O setor mais mediático da automatização está ligado à robótica, que para além de ser amplamente utilizado na indústria automóvel, é também muito usado na indústria química, petroquímicas e farmacêuticas, com o uso de transmissores de pressão, caudal, temperatura e

outras variáveis necessárias a um CLP (Controlador Lógico Programável). A automação industrial visa principalmente, a produtividade, qualidade e segurança num processo [21].

2.2.2. Filosofias de produção automatizada ligadas à indústria automóvel

A indústria automóvel encontra-se regularmente confrontada com novos desafios, devido à globalização dos mercados. É de extrema importância ter uma capacidade de resposta rápida, flexível e confiável para com as solicitações dos clientes com novos produtos [16].

A alta qualidade e durabilidade são condições essenciais para o equipamento técnico usado nas linhas de produção, uma vez que, mesmo curtos tempos de paragem implicam custos muito elevados para os fabricantes. Por este motivo, as linhas de montagem possuem estruturas que armazenam os automóveis em determinado estado de produção, chamadas de *buffer*. Quando ocorre uma paragem em determinada área, o *buffer* vai sendo esvaziado. A quantidade de carros presentes no *buffer*, corresponde ao tempo médio para a realização das reparações nos equipamentos. Neste tipo de indústrias, é característico existir uma secção de estampagem dos painéis em chapa da carroçaria dos automóveis, designado por “*Press Shop*”. Esta secção é constituída por um conjunto de prensas de estampagem com sofisticados sistemas de *setup* dos moldes, bem como sistemas *transfer* que fazem a peça avançar de prensa em prensa, nas diferentes etapas de conformação [25]. Na Figura 8 encontra-se representada uma linha de prensas típica da indústria automóvel.

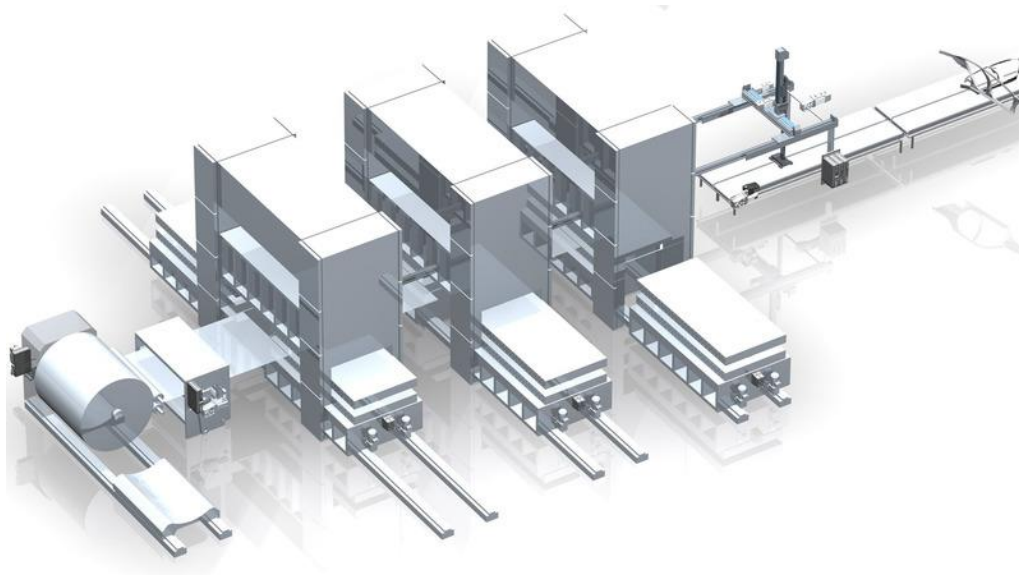


Figura 8 - Press Shop - Linha de prensas para estampagem típica da indústria automóvel [25].

Uma outra etapa típica na produção de automóveis é a montagem do chassis, onde praticamente todo o tipo de sistemas automatizados complexos são aplicáveis. Esta é uma fase em que o processo já se encontra 95% automatizado em fábricas modernas. Para a automatização desta fase do processo, são utilizados dispositivos de manipulação e transporte como: sistemas de rolos que fazem o transporte das carrocerias de uma estação de produção para outra com elevada precisão, mesas rotativas que possibilitam a rotação do chassis para lhe alterar a direção (Figura 9), estações elevatórias para eliminar problemas de diferenças de altura entre etapas do processo e transportadores aéreos de *monorail* que fazem o transporte de componentes, tais como partes do chassis, bancos e outros componentes do interior do veículo (Figura 10). Também nesta fase, cerca de 5000 pontos de soldadura são realizados de forma totalmente robotizada (Figura 11) [16].



Figura 9 - Sistema de rolos de transporte e prato rotativo direcional típicos de linhas de montagem da indústria automóvel, respetivamente [25].



Figura 10 - Sistema de *monorail* utilizado numa fábrica da Volkswagen na Alemanha [26].



Figura 11 - Soldadura por pontos robotizada do chassis de um automóvel [27].

O uso de AGVs é comum em muitos sectores desta indústria para automatizar os processos de transporte de materiais/componentes (Figura 12). Estes dispositivos automatizam o fluxo de materiais interno, e tornam o processo de montagem mais flexível. As principais vantagens face a outros sistemas automatizados de logística, são o alto grau de flexibilidade, não obstrução de espaço, normalização e um alto grau de eficiência [16].



Figura 12 - AVG's SEW usados no transporte de tabliers de automóveis [28].

Técnicas usadas como sistemas auxiliares de manipulação de componentes, são regularmente utilizados em operações de montagem de certos componentes que requerem montagem manual. Estes sistemas aumentam a produtividade através da ergonomia, devido a reduzirem a fadiga e possíveis danos nos operadores, na realização de certas tarefas que poderiam obrigar a um esforço físico acrescido (Figura 13).

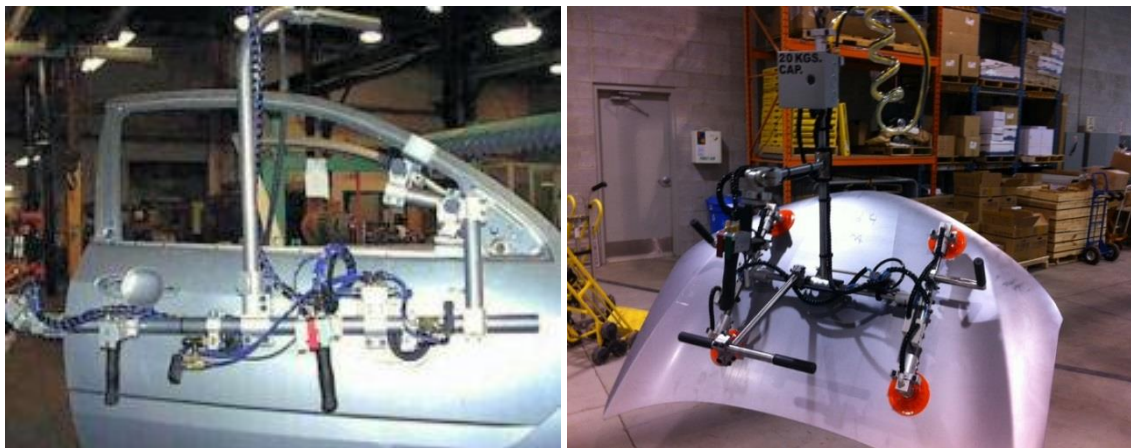


Figura 13 - Sistemas de manipulação que melhoram a ergonomia dos operadores em certas operações manuais [29].

2.2.3. Sistemas de automação úteis na ótica deste trabalho

A automatização de operações realizadas manualmente é na maioria das vezes realizada com recurso a diversos tipos de sistemas de automação, como cilindros pneumáticos ou elétricos para diversos tipos de acionamento, (Ex: com ou sem haste, rotativos, pinças, entre outros), comandados por um CLP, com o recurso a sensores de posicionamento e fins de curso mecânicos, dotados muitas vezes de absorvedores de choque quando são movimentadas cargas significativas.

Existe uma elevada diversidade de componentes e acessórios de automação normalizados, que devem ser fator prioritário em projeto de sistemas automatizados.

2.2.3.1. Sistemas de controlo

Os sistemas de controlo são responsáveis por interligar os resultados obtidos nas leituras dos elementos sensores com os elementos atuadores. As informações lidas a partir dos sensores informam o estado atual do processo, que depois de cálculos e lógicas predefinidas, comunicam com os atuadores, de maneira a que o processo seja modificado para que se atinja um ponto de operação próximo do desejado. A implementação dos sistemas de controlo, é obtida com recurso à utilização de dispositivos como microcontroladores, CLP's e microprocessadores, entre outros (Figura 14). Nestes dispositivos existem portas de entrada e saída, que servem para

realizar a comunicação com os dispositivos periféricos, como por exemplo os sensores e os atuadores [30],[31].

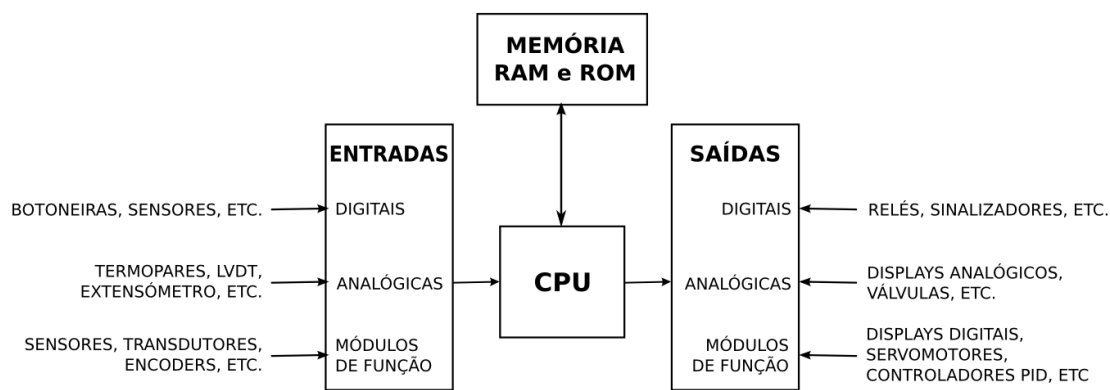
Estas portas de entrada/saída podem também servir para realizar a comunicação com outros sistemas, com o objetivo de fornecer dados de leitura dos sensores ou até receber instruções externas para os atuadores.



Figura 14 - Aspeto de um CLP da FESTO [32].

De um modo geral, os autómatos (CLP's) são constituídos por um CPU (*Central Processing Unit* - Unidade Central de Processamento), por memórias e por cartas de entrada e saída, tanto do tipo digital como analógico, que permitem ao sistema obter informações acerca das instalações e também atuar sobre ela (Figura 15). Normalmente os CPL's são compactos, modulares, multifunções e, quando necessário para arquiteturas mais complexas, possuem funções especiais como entradas/saídas à distância [30],[33].

Softwares especializados e terminais industriais asseguram a programação, exploração, controlo e supervisão de um modo totalmente compatível. As redes entre automatismos geram a comunicação e toda a arquitetura é modular, permitindo que o sistema de automação cresça, no caso de as variáveis a controlar aumentarem em número ou em complexidade. Todas as funções são realizadas a partir de programação, o que determina uma grande versatilidade do sistema, podendo este ser sempre melhorado e/ou otimizado no futuro [33].



- Diagrama de blocos de um autômato

Figura 15 - Estrutura de um autômato (CLP) [31].

Sensores

Variáveis analógicas ou digitais podem ser utilizadas em processos automáticos para que depois do processamento das informações incluídas nessas variáveis, permitam ao controlador tomar decisões como: ligar/desligar um motor, acender uma lâmpada, ligar/desligar um sistema de aquecimento, entre outras. O instrumento que de alguma forma capta o que ocorre no processo e fornece essas informações em forma de variáveis monitorizadas é chamado de sensor. O componente que realiza a tarefa indicada pelo controlador é denominado por atuador. Um sensor pode entender-se como um dispositivo de entrada que converte um sinal de qualquer espécie em outro sinal que possa ser transmitido ao elemento indicador, para que este mostre o valor da grandeza medida, ou seja, o sensor é um componente que "sente" uma grandeza física e a traduz, para que ela possa ser utilizada por um sistema eletrônico [33],[34].

Existe uma vasta gama de sensores usados nos sistemas automáticos ou semiautomáticos. Contudo, serão apresentados apenas os mais relevantes no âmbito deste trabalho.

Sensores de proximidade

Este tipo de sensores tem o objetivo de detetar a presença ou ausência de peças e podem ser indutivos ou capacitivos (Figura 16):

Sensor indutivo [33],[34]:

- Baseiam-se na variação da indutância;

- Exigem peças de metais ferrosos, como por exemplo o aço.

Sensores capacitivos [33],[34]:

- Baseiam-se na variação da capacitância;
- Permitem a deteção de materiais ferrosos e não ferrosos como o vidro, água, madeira, plástico, etc.



Figura 16 - Aspeto de sensores indutivo e capacitivo, respetivamente [35].

Sensores Lineares óticos

São muito mais precisos e apresentam uma vida útil praticamente infinita se forem tomados alguns cuidados elementares em relação à sua utilização. O princípio de funcionamento consiste na colocação de emissores e recetores de luz na parte móvel de uma régua graduada, fixa à base do movimento ou vice-versa, que permite a passagem ou a reflexão apenas de feixes seletivos de luz emitidos. Estes serão detetados pelos recetores e indicarão a posição da parte móvel em relação à fixa (Figura 17) [33].

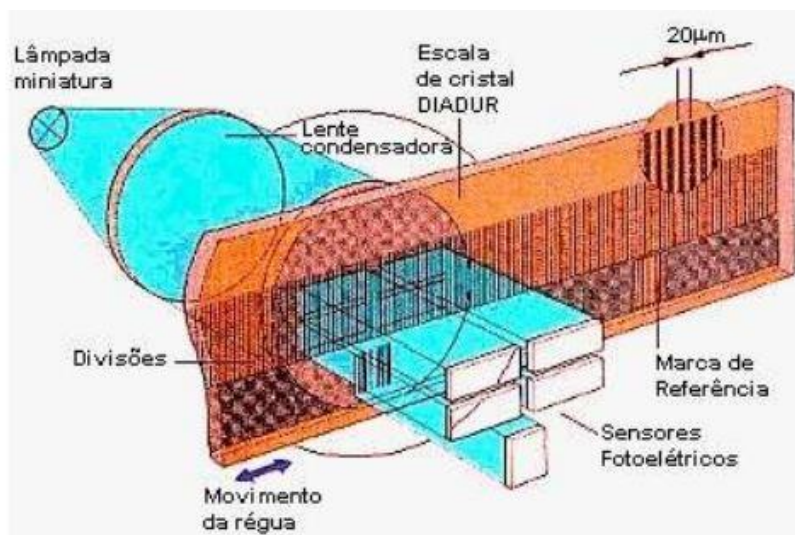


Figura 17 - Representação esquemática e constituintes de um sensor linear ótico [33].

Sensores rotativos óticos (*Encoder*)

Estes sensores, também conhecidos como *encoders*, têm funcionamento semelhante aos lineares, com a diferença de que o sensor está disposto em forma de disco, com marcas ou perfurações. Possui características semelhantes ao sensor ótico linear, ou seja, longa vida útil, alta precisão e médio custo. Estes sensores fornecem medidas absolutas ou incrementais, de acordo com as necessidades de cada aplicação (Figura 18) [34].

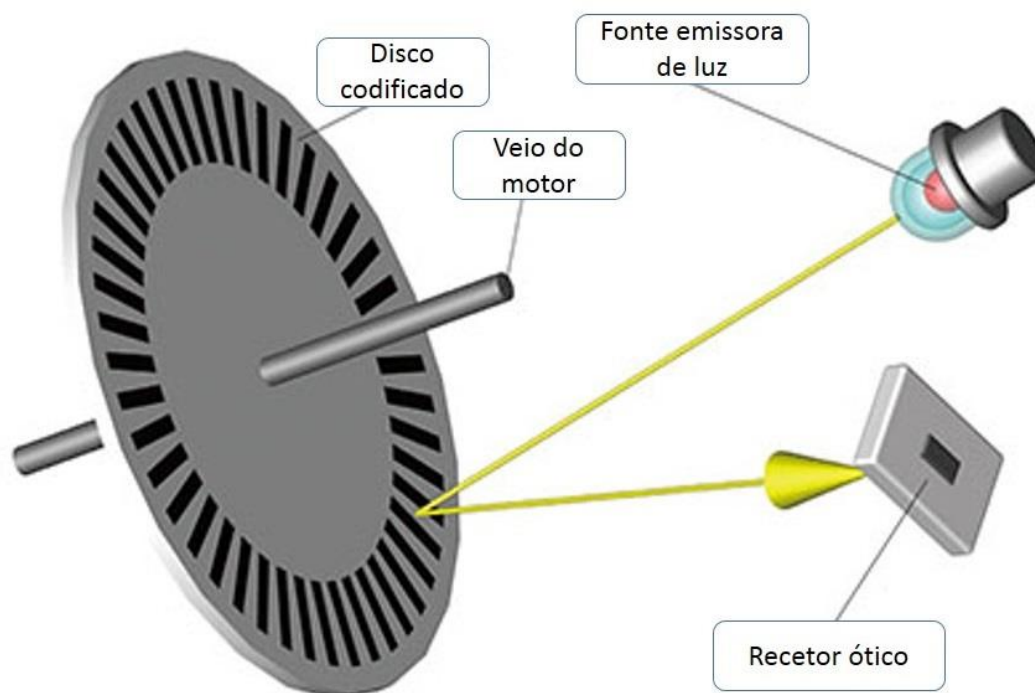


Figura 18 - Ilustração dos constituintes de um *encoder* rotativo [36].

Encoders Incrementais

Este tipo de *encoder* fornece informações sobre o movimento executado e a direção da rotação do motor. *Encoders* incrementais geram um certo número de impulsos por rotação. O número de cada impulso é a medida da distância movida (angular ou linear), ou seja [33],[34]:

- Contando os impulsos e conhecendo o ângulo inicial, obtém-se por cálculo a posição;
- O sentido de rotação é determinado fornecendo um segundo sinal desfasado aproximadamente de 90°, em avanço ou atrasado em função da direção;
- O disco montado no veio é dividido em segmentos separados que são alternadamente opacos ou transparentes.

Encoders absolutos

Os *encoders* absolutos fornecem informações mais rigorosas que os *encoders* incrementais, isto é, possuem a capacidade de informar a posição física de um elemento assim que ele é ativado, sem a necessidade de fixação da posição inicial. Tal, deve-se ao facto do *encoder* transmitir para o controlador um sinal diferente para cada posição da junta [33].

Sensor Magnético

Os sensores magnéticos possuem a característica de realizar um acionamento eletrónico mediante a presença de um campo magnético externo, próximo e dentro da zona sensível do sensor, proveniente na maioria dos casos de um íman permanente (Figura 19). Estes sensores podem ser sensíveis aos dois pólos do íman, NORTE ou SUL, ou ser sensível a apenas um pólo [33],[34].



Figura 19 - Exemplos de sensores magnéticos aplicados em cilindros [35].

Sensor Ultrassónico

Estes sensores são formados por um emissor e um recetor que usam a variação de frequência para detetar a distância de um obstáculo (Figura 20). O sensor ultrassónico tem aplicação na robótica, onde são muito eficazes na deteção de obstáculos e no auxílio à tomada de decisões, conforme a distância em relação ao objeto [33],[34].

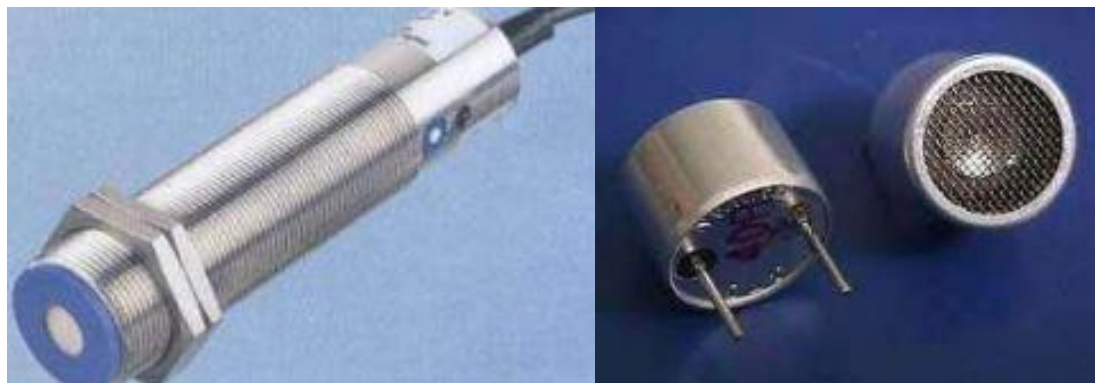


Figura 20 - Exemplos de sensores ultrassônicos [33].

2.2.3.2. Atuadores

Os atuadores são componentes que convertem energia elétrica, hidráulica ou pneumática em energia mecânica. Tanto os atuadores hidráulicos como pneumáticos são acionados por fluidos em movimento. No primeiro caso, o fluido é geralmente óleo e no segundo caso, o fluido é ar comprimido. Estes atuadores podem ser cilindros lineares ou rotativos [37],[38].

Dado o âmbito deste trabalho, e não serem necessários sistemas que efetuam grandes esforços, será dada mais importância aos atuadores pneumáticos e elétricos.

Atuadores pneumáticos

Os atuadores pneumáticos são normalmente usados em sistemas onde se pretende alta velocidade nos movimentos, com pouco controlo sobre o posicionamento final, em aplicações onde o momento exigido é relativamente baixo. Os atuadores pneumáticos funcionam com energia pneumática (ar comprimido) e executam movimentos lineares, rotativos e semi-rotativos ou angulares. As três variáveis básicas para o controlo desses movimentos são o sentido do movimento, a velocidade e a força [38].

Cilindros de simples efeito

Os cilindros de simples efeito são acionados de um só lado, realizando trabalho apenas num sentido. O retorno é realizado mediante a ação de uma mola ou através de força externa (Figura 21).



Figura 21 - Cilindro de simples efeito [37].

Os cilindros de membrana estão também inseridos nos cilindros de simples efeito (Figura 22). Estes atuadores são constituídos por uma membrana de borracha, plástico ou metal, para movimentar o pistão. O pistão é montado no centro da membrana, fazendo parte integral do diafragma [38].



Figura 22 - Cilindro de membrana ou de foles [37].

Cilindros de duplo efeito

Nos cilindros de duplo efeito, a força exercida movimenta o êmbolo do cilindro de duplo efeito, realizando trabalho nos dois sentidos (Figura 23). São produzidas forças ligeiramente diferentes no avanço e no retorno do êmbolo: devido à secção ocupada pela haste do êmbolo, a força de avanço é ligeiramente superior à força de retorno [38].



Figura 23 - Aspeto de um cilindro de duplo efeito [37].

Cilindros de dupla ação em *tandem*

Os cilindros em *tandem* são constituídos por dois cilindros axiais unidos em um só. Por este motivo, o trabalho desenvolvido pelos dois êmbolos é cerca do dobro de um cilindro de duplo efeito (Figura 24). É utilizado em circuitos em que é necessária força elevada [38].

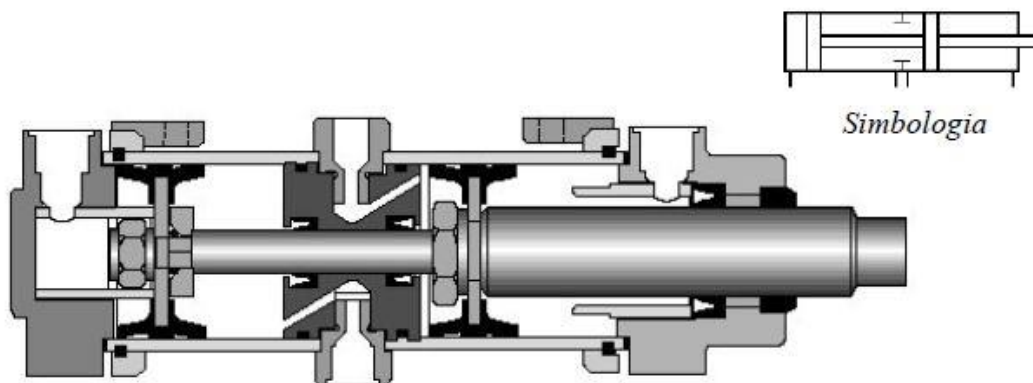


Figura 24 - Representação esquemática de um cilindro de dupla ação *tandem* [37].

Cilindros de dupla haste

Os cilindros de dupla haste possuem uma haste nos dois lados do corpo do cilindro. Atuando sobre a ação do mesmo êmbolo, este desenvolve força igual nos dois sentidos [38]. É comum utilizar este tipo de cilindro quando é necessário afinar o curso do cilindro, aplicando um batente num dos lados da haste (Figura 25).

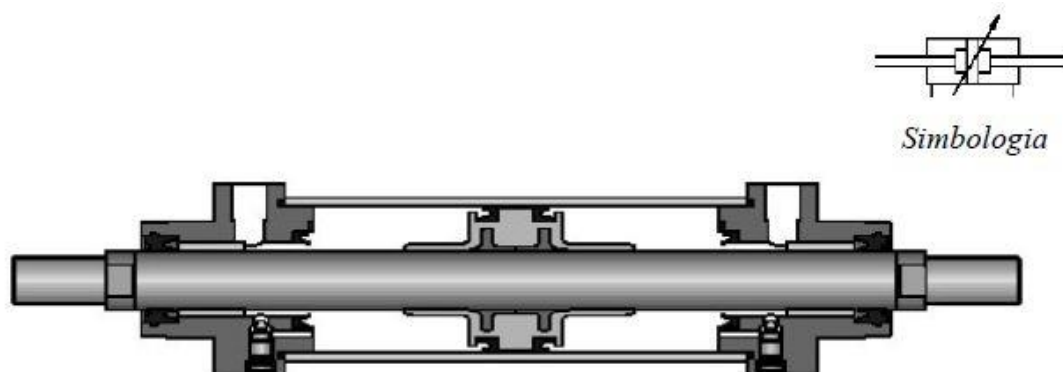


Figura 25 - Representação esquemática de um cilindro de dupla haste [37].

Cilindros rotativos de alhetas

Os cilindros rotativos de alhetas possuem uma alheta giratória que permite movimentos angulares (Figura 26). O seu movimento encontra-se limitado a ângulos de rotação que raramente vão além dos 270° [38].

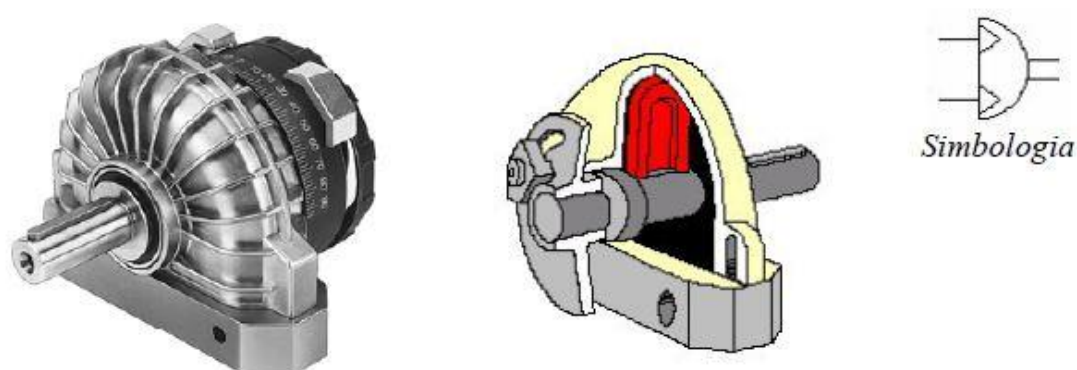


Figura 26 - Aspeto de cilindros rotativos de alhetas [37].

Cilindros rotativos de báscula

Os cilindros rotativos de báscula convertem o movimento linear em movimento de rotação, por meio de uma engrenagem dentada. A gama de rotações varia de 45° , 90° , 180° , 270° ou 360° , podendo possuir ou não regulação de posição final (Figura 27)[38].



Figura 27 - Exemplo de cilindro rotativo de báscula [37].

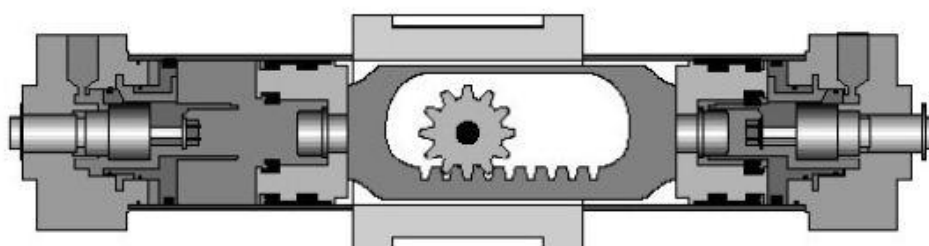


Figura 28 - Esquema de funcionamento de um cilindro rotativo de báscula [37].

Cilindros sem haste

Nos cilindros sem haste, a força do pistão é transferida para um carro guiado deslizante através da fita circulante (Figura 29). A inversão do movimento efetua-se pela introdução de um sinal pneumático na câmara oposta, movendo-se o carro no sentido oposto [38]. Existe também este tipo de cilindro em que o carro está diretamente ligado ao êmbolo da câmara, onde uma membrana entre o carro e o êmbolo  responsável por fazer a vedaco da câmara para o exterior (Figura 30).

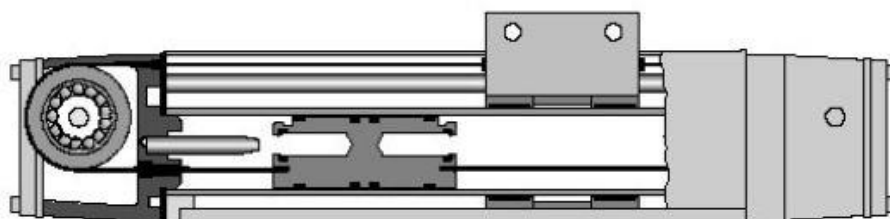


Figura 29 - Cilindro sem haste de fita [37].

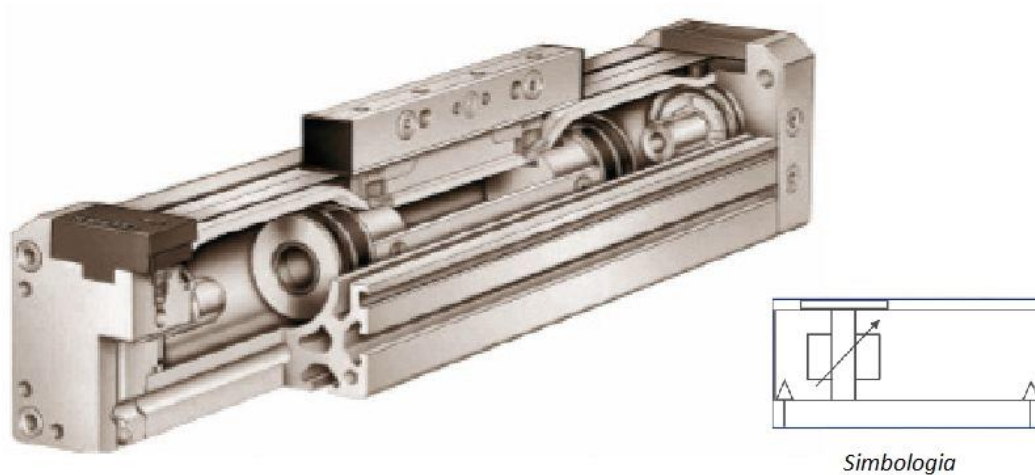


Figura 30 - Exemplo de cilindro sem haste [37].

Atuadores rotativos (Motores)

Os atuadores rotativos transformam energia pneumática em movimento de rotação. Designam-se normalmente por motores pneumáticos, podendo possuir um ou dois sentidos de rotação. Os motores pneumáticos são elementos de trabalho muito utilizados, tanto em ferramentas de precisão, como em equipamentos mais correntes na indústria (Figura 31). Como exemplos de aplicação podemos apontar a medicina dentária no acionamento de brocas, ou mais correntemente sistemas de aperto e desaperto de parafusos [38].



Figura 31 - Exemplo de motor pneumático [37].

Atuadores pneumáticos especiais

Músculo

O músculo é um sistema de contração por membrana, normalmente composto por um tubo flexível, recoberto com uma estrutura de grade tridimensional onde o ar, ao fluir no interior, origina uma força elástica na direção axial, causando a contração do músculo. No estado estendido, o músculo gera até 10 vezes mais força que um cilindro pneumático convencional, usando apenas 40% da energia para a mesma força (Figura 32). Um terço do diâmetro é suficiente para gerar a mesma força que um cilindro convencional em cursos curtos [38].



Figura 32 - Exemplo de um músculo pneumático [37].

Cilindro rotacional/linear

O cilindro rotacional/linear é usado para o posicionamento de peças. O suporte da haste do pistão é projetado de forma a suportar forças laterais elevadas (Figura 33)[38].



Figura 33 - Exemplo de um cilindro rotacional/linear [37].

Este cilindro pode ser montado de diferentes modos, como por exemplo com uma ventosa ou pinça no lado dianteiro, podendo a alimentação pneumática ser realizada através da haste oca do pistão (Figura 34)[38].

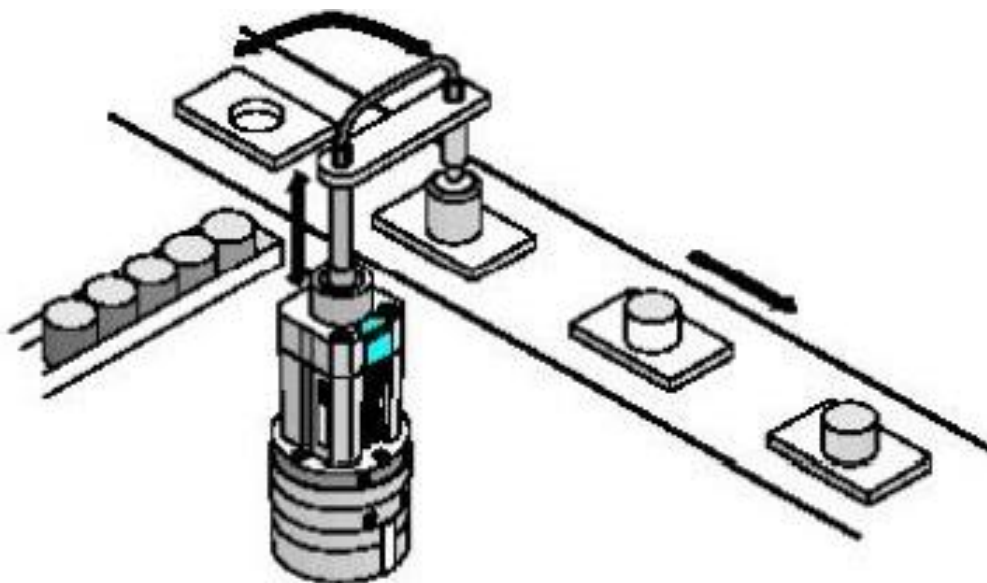


Figura 34 - Esquema de aplicação de um cilindro rotacional/linear [37].

Garras (Gripper)

As garras pneumáticas são usadas na manipulação de objetos para os apanhar, mover ou libertar. São autocentráveis e podem ser utilizadas na manipulação de uma vasta gama de objetos (Figura 35)[38].



Figura 35 - Exemplos de garras angulares e paralelos [37].

Ventosas

As ventosas são utilizadas na fixação e transporte, por vácuo, de cargas que apresentam superfícies planas ou ligeiramente curvas. São produzidas de diferentes formas e material, de acordo com a sua aplicação (Figura 36)[38].



Figura 36 - Exemplos de ventosas pneumáticas [37].

Atuadores elétricos

Os atuadores elétricos são os mais utilizados em robôs, principalmente os motores de corrente contínua (CC) e os motores passo-a-passo. As principais vantagens destes componentes são [39]:

- Grande variedade de fabricantes e modelos no mercado;
- Quando associados a sensores, podem ser aplicados tanto para o controlo de força como para o controlo de posição;
- Os movimentos são mais fáceis de programar, uma vez que podem ser controlados por sinais elétricos, permitindo a utilização de controladores de movimento.

Motores de corrente contínua

Os motores de corrente contínua são geralmente compactos e mantêm o valor do momento torsor numa faixa constante para grandes variações de velocidade. Contudo, estes necessitam de sensores de posição e de velocidade, para controlo de posicionamento em malha fechada (servo controlo). A máxima eficiência mecânica destes motores ocorre geralmente a velocidades elevadas, por isso é comum o uso de redutores, reduzindo deste modo a velocidade e,

consequentemente, obtendo um aumento no momento tórcor disponível à transmissão de potência mecânica (Figura 37). Atualmente, os fabricantes de robôs têm utilizado os motores de corrente contínua (CC) sem escovas (*brushless*), devido à redução de manutenção, decorrente da diminuição de desgastes e otimização da dissipação térmica entre o rotor e o estator [39],[40].



Figura 37 - Motores de corrente contínua CC [39].

Motores passo a passo

Os motores passo-a-passo, são essencialmente um motor CC, mas com controlo sobre o deslocamento do eixo. Cada deslocamento angular do eixo corresponde ao passo, podendo funcionar em controlo de malha aberta em posição e velocidade, e são facilmente interligados a unidades de controlo simples e de baixo custo (Figura 38). Contudo, nos motores passo-a-passo a curva do momento tórcor decresce com o aumento da velocidade e, em baixas

velocidades, podem gerar vibrações mecânicas. Na robótica, este tipo de motor é mais utilizado na movimentação de garras [39],[40].



Figura 38 - Exemplos de motores Passo a passo [39].

Motores de corrente alternada (CA)

Embora muito utilizados em várias aplicações industriais, os motores de CA (Corrente alternada) apenas recentemente foram utilizados em projetos de manipuladores, principalmente os motores lineares (Figura 39)[39].



Figura 39 - Exemplos de motores de indução lineares CA [39].

Os motores de indução linear são motores que produzem um movimento de translação diretamente, sem necessitar de sistemas de engrenagens ou quaisquer outros mecanismos de conversão de movimento rotativo em movimento de translação [39],[40].

2.3. A robótica aplicada à produção e montagem de componentes

A crescente utilização de automação na indústria, e em particular na robótica, deve-se essencialmente à obtenção de aperfeiçoamento significativo da qualidade dos produtos, melhoria do ambiente de trabalho, melhor relação custo eficácia e um elevado aumento na flexibilidade dos processos quando se altera o produto [41].

Melhoria da qualidade

Para certos robôs, algumas tarefas podem apresentar um rigor muito superior em termos de trabalho produzido, relativamente ao executado pelos seres humanos. Quando as tarefas a realizar necessitam de alta precisão de posicionamento, alta repetibilidade, inspeção de alta precisão e medição por meio de sensores, os robôs são a escolha primordial na indústria. Estas melhorias não só completam o aspeto visual do produto, mas também a qualidade intrínseca, obtendo, por exemplo, melhores soldaduras devido ao controlo mais apertado do ângulo da tocha, aumentando a resistência da junta soldada, assim como o espaçamento e número de pontos de soldadura. Na aplicação de vedante nas juntas, obtém-se um melhor controlo do diâmetro do fio depositado, evitando assim, desperdícios de material. Aperfeiçoamentos deste tipo são igualmente implementadas na pintura por pulverização, soldadura por arco elétrico e montagem de componentes [42].

A utilização de robôs na inspeção de superfícies pintadas é usada pela Nissan desde 1984. A iluminação a laser instalada nestes dispositivos consegue detetar qualquer poeira, que possa causar imperfeições na pintura do carro e permite aumentar a taxa de deteção de falhas de 60% para 100%. Esta é uma área que requer por parte dos seres humanos altos níveis de concentração, durante longos períodos, que podem ser um problema devido à fadiga causada [43].

Melhoria do Ambiente de Trabalho

Com o propósito de melhorar o desempenho da força de trabalho a longo prazo, é importante tornar o ambiente de trabalho propício a um trabalho de qualidade e resiliente. Quando o corpo humano é utilizado de forma incorreta, este é suscetível à fadiga no curto prazo, ou então, podendo levar a deficiências a longo prazo.

Sempre que possível, a automação deve ser aplicada para reduzir a fadiga e riscos de lesões. Com a tendência atual do aumento da legislação de higiene e segurança, prevê-se que as

empresas que não consideram ser importante o uso voluntário de automação nessas áreas, serão a longo prazo forçadas pela legislação. Sempre que se esteja perante trabalho pesado, repetitivo, ambientes contaminados e operações que exigem grande concentração do operador, devemos considerar o uso de automatismos. Um exemplo desta implementação é na montagem de rodas das carroçarias de automóveis, onde rodas com peso entre 20-30 kg são manipuladas 1000 vezes por turno. Foram então desenvolvidos robôs com visão artificial e sensores táteis, para manipular as rodas e montar corretamente as mesmas nos automóveis (Figura 40). Outro exemplo passível de automação é o empilhamento de peças moldadas, prensadas ou injetadas [43].



Figura 40 - Robótica aplicada à montagem de rodas nos automóveis [44].

Muitos postos de trabalho na indústria possuem um ambiente hostil para o corpo humano. Solventes orgânicos de pintura são conhecidos por ser cancerígenos, prensas de estampagem são muito ruidosas e podem causar danos auditivos, fundições e oficinas de soldadura têm geralmente um ambiente quente e empoeirado que representam perigo para o sistema respiratório. Nestas circunstâncias, os robôs podem facilmente lidar com estes ambientes sem ameaça para si mesmos, até porque hoje em dia, uma das maiores áreas de pesquisa da robótica é focada no desmantelamento de centrais nucleares e reparação dentro de reatores existentes. Obviamente, este ambiente exclui o uso de seres humanos no trabalho ativo, ficando os robôs com essa tarefa [43],[45].

Eficácia de Custos

A relação custo-eficácia dos robôs nem sempre é um cálculo fácil de realizar. A maior parte do custo é referente ao robô propriamente dito e ferramentas acessórias, no entanto, muitas das vezes, devido à falta de inteligência em robôs, os custos das ferramentas são os mais

significativos. Comparando com a realização do trabalho pelo ser humano, o maior custo é em salários e em ambientes perigosos como uma oficina de pintura: os custos a considerar são relativos aos equipamentos de controlo ambiental que irão tornar o ar respirável.

Sempre que possível, os robôs devem operar continuamente (24 h por dia), a fim de maximizar a produtividade deles. Por vezes, isso não é possível, pois em linhas robotizadas que utilizam seres humanos, são necessárias paragens por causa das pausas [43],[45].

Flexibilidade Produtiva

Na maioria das vezes, o uso de robôs na produção não só permite uma maior flexibilidade, mas também maior rapidez, quando comparados com a utilização da mão-de-obra para o serviço. Com a globalização dos mercados, o tempo de vida de um produto no mercado é cada vez menor, o que se traduz na introdução mais rápida de novos produtos no mercado e exige linhas de produção que lidem com mais do que um produto. A solução é usar automação reprogramável e, sempre que possível, evitar a utilização de ferramentas dedicadas[45].

A Nissan está a tentar levar o conceito de produção flexível ao extremo. Atualmente, estão a trabalhar num sistema de montagem de chassis inteligente, totalmente reprogramável. A estratégia de planeamento para o conseguir é através do uso de robôs simples, substituindo as suas fixações. O objetivo é ter a capacidade de produzir qualquer um dos modelos da marca na mesma linha de montagem. A produção desta célula robotizada complexa, está a ser realizada recorrendo a técnicas de simulação por computador e programação *offline* [43].

2.3.1. Breve resenha histórica da evolução da robótica

O grande interesse pela robótica existe não só pelo conteúdo de desenvolvimento tecnológico, mas também pela forma de perceber como evoluiu o pensamento do ser humano desde os nossos primórdios. A robótica sempre esteve relacionada com algo que pertence ao reino da fantasia, ou algo que teve origem nos desejos mais obscuros da humanidade [46],[47].

Podemos dizer que a robótica teve três grandes períodos de evolução. O primeiro ocorreu na antiguidade, entre os gregos e os árabes, em que a ideia fundamental dessa época era a das máquinas fascinantes que se moviam graças a um conjunto de dispositivos mecânicos. O período seguinte decorreu no século XVI, a partir das ideias de Leonardo da Vinci que incorporou aos mecanismos anteriores a necessidade de precisão de construção e funcionamento e de uma fonte de energia permanente [47]. A ideia de Nicola Tesla no início do século XX marca o início do terceiro período, em que esta surge para complementar a lacuna que faltava para tornar a

robótica como ela é hoje em dia. Tesla viu que para além de mecanismos, peças construídas com precisão e uma fonte de energia para o movimento, os robôs necessitavam também de inteligência. Para isso, era preciso que os robôs estivessem equipados com dispositivos que permitissem a aprendizagem e executassem a instrução por comandos. Estas ideias regem atualmente a imensa revolução tecnológica que figura nos horizontes da ciência. No século XX, a robótica passa a ser objeto de estudo sério e passível de ser analisado cientificamente. Nas décadas de 1940 e 1950, como já referido num capítulo deste trabalho, tecnologias importantes como o comando numérico foram desenvolvidas e causaram grande impacto na robótica. Na década de 1950, surgem vários trabalhos importantes como o comando remoto. Este trabalho permitiu que operadores controlassem remotamente mecanismos de movimentação para manipular substâncias tóxicas e radioativas [48].

Posteriormente, a maior parte do trabalho realizado na área da robótica teve como base o desenvolvimento dos computadores. Apesar dos computadores existirem desde o surgimento da indústria da robótica, apenas em meados da década de 1970, a redução do tamanho destas máquinas permitiu às economias o uso de computadores no controlo de robôs. Atualmente, quase a totalidade dos robôs no mercado são controlados por computador e por isso, é comum considerar a robótica como uma combinação entre máquinas e técnicas de computação.

O primeiro robô industrial moderno foi construído pelo físico Joe Engelberger e George Devol no final dos anos cinquenta, e ficou assim como marco da indústria da robótica. Desde então, tem-se experimentado um crescimento rápido da robótica e por ter sido o primeiro a comercializar robôs, o físico Engelberger é considerado o pai da robótica. Alguns factos mais relevantes deste crescimento são [46]:

- 1959 - Primeiro robô comercial (Planet Corporation). Controlado por chaves e cames.
- 1960 - Primeiro robô Unimate. Usava comando numérico programável.
- 1976 - Robô T3 da Cincinnati Milacron controlado por computador.
- 1982 - Robô RS-1 da IBM programado em linguagem AML.
- 2000 - Instalados milhares de robôs em fábricas e também usados para fins de entretenimento.

Nos anos oitenta, a população de robôs industriais cresceu o suficiente para acabar de vez com a impressão de que o robô é apenas obra de ficção científica. Este crescimento esteve relacionado em grande parte com a indústria automóvel. Na última década do século XX, o grande crescimento dessa população decorreu a partir da indústria de brinquedos e entretenimento [49].

A nível industrial, a robótica continua em alto crescimento. O número de robôs que trabalham nas indústrias de hoje é maior que o número de habitantes de uma pequena cidade. O gráfico da Figura 41 representa o número de vendas de robôs industriais no mundo, no qual o Japão é líder. Embora o Japão ganhe no número de unidades, são a Europa e os Estados Unidos que determinam o ritmo de crescimento estável da indústria robótica [50].

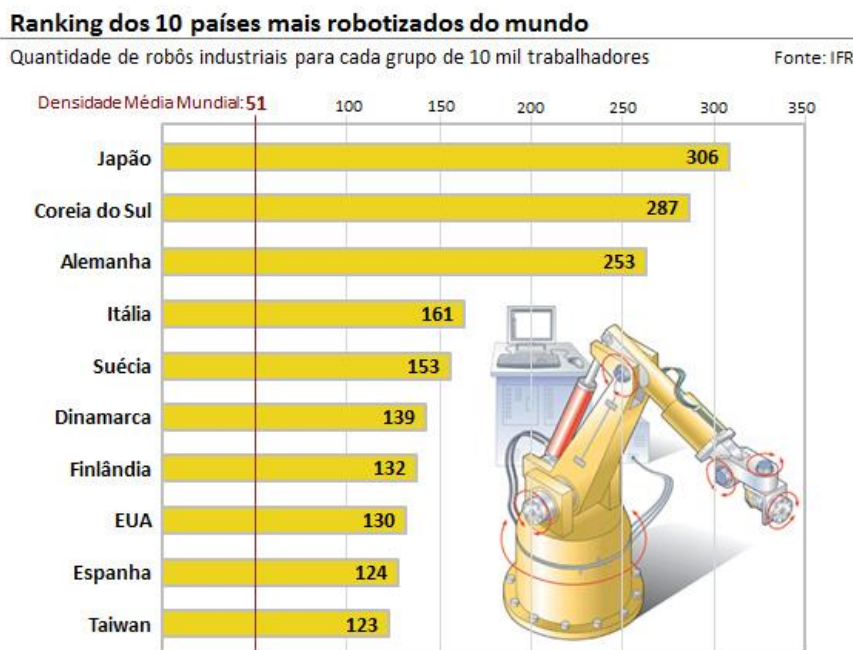


Figura 41 - Ranking dos 10 países mais robotizados do planeta [50].

2.3.2. Filosofias de produção robotizada ligadas à indústria automóvel

Há bastantes anos que a indústria automóvel é associada ao uso intensivo da robótica nas linhas de produção. Desde a implantação dos primeiros robôs industriais na década de 1960, muitas coisas mudaram. Hoje em dia, as linhas de produção deste sector têm a necessidade de ser mais precisas, eficientes e ao mesmo tempo flexíveis. Muitas melhorias foram realizadas desde então, com o objetivo de ajudar os trabalhadores nas suas tarefas. Alguns exemplos de tecnologia utilizados na robótica são por exemplo, na produção do Ford Escape, em que braços robóticos estão equipados com laser e câmara numa matriz, que é capaz de localizar exatamente onde instalar os componentes do carro. Deste modo, o robô recebe um *feedback* instantâneo, permitindo a instalação de pára-brisas, painéis de portas e pára-lamas de uma forma mais precisa. A grande inovação desta tecnologia é o facto de os robôs serem capazes de fazer o deslocamento e instalação de uma peça adequadamente. No caso de haver alguma mudança na

produção, o robô tem a capacidade de adaptar o seu procedimento de montagem à nova peça automaticamente. Esta aplicação reduz as folgas entre as peças, melhorando a sua aerodinâmica, e consequente redução de ruído causado pela passagem do vento.

Uma outra técnica interessante utilizada é a realização do trabalho com a cooperação entre robôs. Um bom exemplo é uma fábrica de automóveis chinesa, GWM (*Great Wall Motors*), em que a linha de soldadura é considerada uma das linhas mais produtivas já alguma vez implementadas. Constituída por vinte e sete Robôs ABB a trabalhar em trinta estações de trabalho diferentes, estes robôs interagem entre si com processos de manipulação de componentes e soldadura (Figura 42). Enquanto um robô coloca um painel num preciso local, um outro robô realiza as operações de soldadura. Esta linha robótica realiza mais de quatrocentas operações de soldadura sobre o chassis do carro num tempo de ciclo de 86 segundos, incluindo o transporte de peças [51].

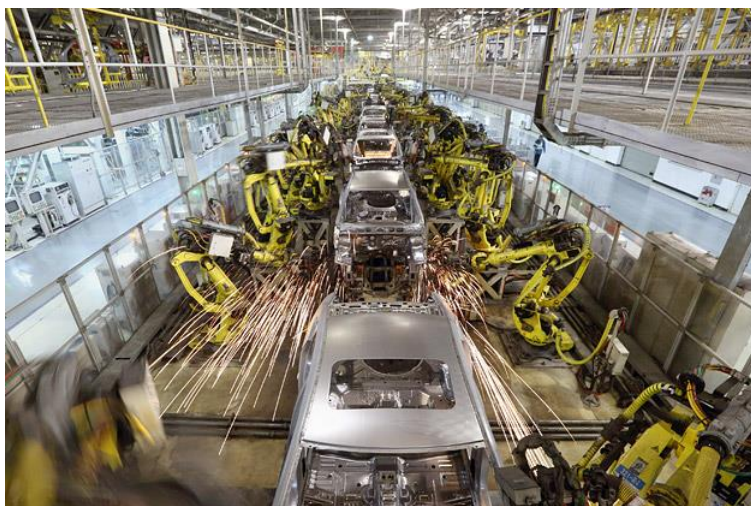


Figura 42 - Linha de montagem da Great Wall Motors [51].

Embora na indústria automóvel seja esmagador o uso de robôs nas linhas de produção, os trabalhadores continuam a ter um importante contributo na realização de certas tarefas da conclusão do carro. Como a maioria das operações de fabrico são realizadas pelos braços robóticos industriais, parte das tarefas de montagem como passagem de cabos e suas ligações, ainda são executadas através de mão-de-obra humana. Para reduzir o esforço físico, foi desenvolvida uma mão biónica chamada *X-Ar arm* (Figura 43). Esta tecnologia usada há alguns anos pela GMC (*General Motors Corporation*), está equipada com sensores, atuadores e nervos simulados, que não só reduzem a fadiga nos músculos e tendões causada pelas tensões induzidas pelos movimentos repetitivos, mas também, aumentam a destreza manual. Com este sistema o trabalhador tem um incremento de mais 4.5 kg de força [51].



Figura 43 - Mão biônica que auxilia os operadores em tarefas repetitivas e que requerem algum esforço físico [51].

Realizar o trabalho duro/sujo durante todo o horário de trabalho, pode não só ser desgastante como também causar lesões, que levam a motivação a cair drasticamente. Por este motivo, certas empresas como a BMW e VW têm robôs que auxiliam os trabalhadores nas linhas de montagem. Estes robôs, “amigos do homem”, ajudam na montagem das portas dos carros, através da deposição de vedante ou manuseamento de velas de incandescência, por ser um produto delicado, como demonstrado nas Figura 44 e Figura 45. O objetivo desta implementação não é substituir os trabalhadores humanos, mas sim auxiliar nas tarefas diárias, tornando-as mais seguras e produtivas[51].

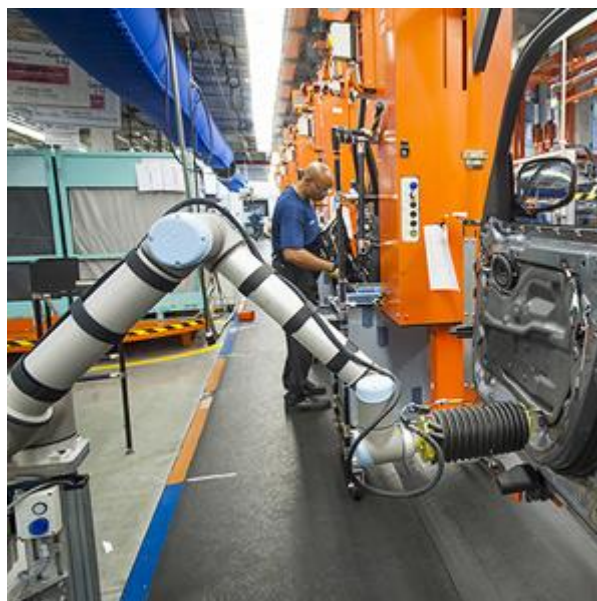


Figura 44 - Robô a auxiliar operador na montagem de portas de automóveis [51].



Figura 45 - Robô a auxiliar na montagem de velas nos motores Volkswagen [51].

O processo de pintura dos automóveis com robôs industriais não é novidade, contudo é importante destacá-lo. Hoje em dia, os pintores altamente qualificados são difíceis de encontrar e tendo em consideração o tamanho dos carros, é bastante mais fácil para uma empresa deixar esta tarefa para os robôs. Isto refere-se ao facto de o processo de pintura ser altamente complexo, árduo e tóxico para quem o executa. Outro aspeto importante na pintura com robôs é a redução de resíduos e garantia da qualidade da pintura efetuada, uma vez que os robôs estão equipados com medidores de caudal, conseguindo garantir uma uniformidade de tinta em todas as partes (Figura 46).



Figura 46 - "Paint Shop" - Pintura robotizada na indústria automóvel [52].

2.3.3. Sistemas de extração automáticos em injetoras de plástico

As máquinas injetoras podem ser automatizadas, não apenas para substituir o elemento humano, mas principalmente para garantir uma alta produtividade com elevada eficiência e padrão de qualidade, permitindo com isso a redução no custo final do produto. Assim, é possível disponibilizar o produto mais rapidamente e em quantidades superiores.

Atualmente são utilizados robôs para substituição de operações realizadas em situações de alto risco para o trabalhador, ou então extremamente repetitivas. Nestes casos, o robô é um elemento fundamental para aumentar a produtividade, sem que o operador corra riscos desnecessários, podendo o mesmo ser direcionado para outras atividades [53]. Na Figura 47 e Figura 48 encontra-se demonstrada uma célula de injeção de plástico muito utilizada na indústria, com manipulador cartesiano para a extração dos componentes injetados.

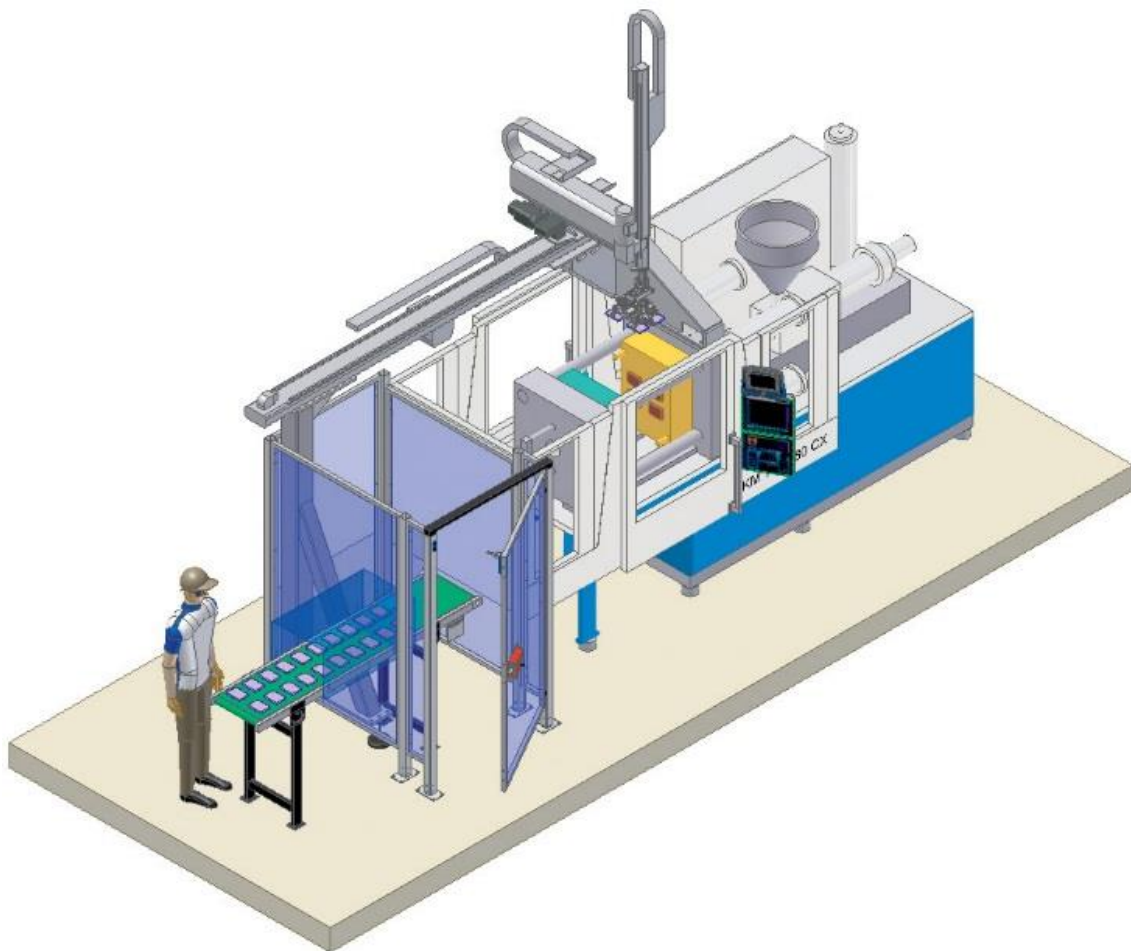


Figura 47 - Célula de injeção de plástico com manipulador cartesiano (*gantry*) para extração de componentes[54].



Figura 48 - Manipulador cartesiano (*gantry*) para injetoras de plástico [54].

As principais aplicações da automatização nas máquinas de injeção de plástico são as seguintes [54]:

- Extração automática de peças que normalmente trabalham em regime semiautomático;
- Separação da peça do gito;
- Extração de peças que correm o risco de danos na extração manual;
- Montagem de insertos nos moldes a serem sobre injetados;
- Otimização do *layout* de fábrica;
- Otimização da mão-de-obra;
- Montagem de paletes.

A aplicação dos sistemas automatizados como os robôs em injetoras na realização das tarefas acima listadas, trazem vantagens tais como [53]:

- Aumento da produção devido a serem eliminadas parte das tarefas, ou mesmo à eliminação completa da necessidade do operador na máquina;
- Obtenção de um tempo de ciclo constante, caso a máquina passe a não depender do operador;
- Repetibilidade do processo com qualidade, isto é, com o tempo de ciclo constante, a qualidade do processo mantém-se estável no tempo, reduzindo desperdícios e permitindo também uma otimização dos parâmetros de injeção, com consequente redução do tempo de ciclo da máquina, que resulta em maiores ganhos de produtividade.

2.3.4. Sistemas de robótica em máquinas de injeção de plástico

O processo de injeção de plásticos é uma área que tem vindo a ser bastante influenciada pela robótica. A utilização de robôs na montagem de insertos em moldes e remoção do produto final, assim como realização do acabamento e montagem das peças injetadas, tem trazido a este tipo de indústria vantagens significativas (Figura 49). Os robôs são capazes de realizar cada vez mais tarefas secundárias, como decoração *in-mold* e rotulagem de componentes [55].

Extração e insertos em componentes injetados

No passado, usava-se em muitas máquinas de injeção, manipuladores dedicados. No entanto, agora começa-se a perceber as limitações desta abordagem no que respeita a peças extraídas. *“Eu vejo um crescimento do interesse em substituir extratores dedicados para novos sistemas robóticos. Robôs de 6 eixos podem fazer mais numa só intervenção”, declarou Tom Sipple, Handling Technology Leader at Motoman Inc. (West Carrollton, Ohio).*

Na mesma linha de pensamento, a KUKA antevê uma tendência no aumento do uso de robôs na extração de componentes das máquinas injetoras de plástico. *“Depois de uma peça ser retirada da máquina, os robôs são capazes de fazer tarefas secundárias, oferecendo mais flexibilidade do*

que um manipulador dedicado de dois ou três eixos”, afirmou James Cooper, vice-presidente de vendas da KUKA Robotics Corp.

“Os robôs realizam tarefas como inserções de cliques, corte, montagem e embalagem como processos secundários fora da máquina. Isto significa que o mesmo robô que extraiu a peça injetada pode realizar processos secundários, permitindo que os utilizadores finais consigam ir mais longe com um único investimento” (Clinton Township, Michigan).

“Os utilizadores finais estão sempre a tentar tornar o produto o mais rentável possível. A FANUC integrou células de trabalho in-mold de rotulagem, onde os rótulos são puxados para dentro da máquina de injeção por um robô, fazendo estes tornarem-se parte integrante da peça injetada”, afirma Joseph McReynolds, District Manager da FANUC.

McReynolds acrescenta que os rótulos in-mold são uma boa estratégia de marketing para os utilizadores, pois evita a preocupação de danos devido a estarem permanentemente nas peças”. McReynolds fala também acerca da introdução de insertos nos moldes. “Os robôs podem inserir peças metálicas ou plásticas, como cliques usados em muitos componentes para os interiores do automóvel” [55].

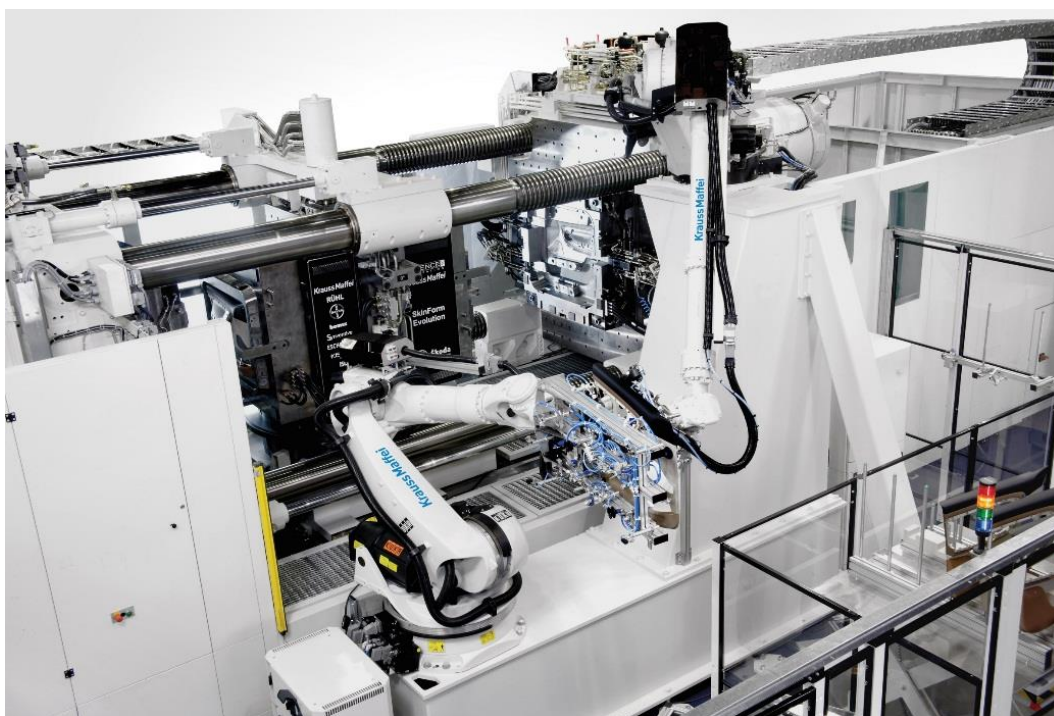


Figura 49 - Máquina injetora com robô para extração de componentes [54].

Com a realização de todas estas tarefas com recurso a robôs, não só se proporciona uma maior eficiência no processo, mas também uma diminuição à exposição dos trabalhadores a lesões

ergonómicas, quando feitas manualmente. Este motivo serve também de incentivo, para que as empresas readaptem o *layout* fabril, tornando-o num sistema de produção flexível. O retorno do investimento, devido à poupança de trabalho e diminuição das indemnizações aos trabalhadores, pode ser tão curto quanto quatro meses [55].

Sobre-injeção

A sobre-injeção consiste na injeção de plástico sobre outro componente previamente inserido no molde (Figura 50). Insertos de metal ou plástico são sobre-injetados utilizando robôs de 6 eixos entre duas máquinas de injeção. O robô capta uma peça injetada numa máquina e insere-a noutra para o processo de sobre-injeção. Esta é uma técnica utilizada no fabrico de muitos elementos que constituem os interiores dos automóveis, bem como no fabrico das óticas dos mesmos [55].



Figura 50 - Componentes sobre injetado com insertos metálicos e plásticos, respetivamente [56].

Segundo Douglas Stangle, *Plastic Product Manager* na *Reis Robotics USA Inc.* (Eglin, Illinois), células de injeção de plástico com robôs são também usadas para realizar soldadura por ultrassons e laser. “A extremidade dos robôs pode ser equipada com dispositivos para realizar soldadura por ultrassons ou laser. Desta forma, podemos reduzir o tempo de ciclo que é essencial na indústria de injeção de plásticos”.

O pré-tratamento de componentes em plástico ou borracha constitui outra tarefa para este tipo de células de injeção robóticas. Algumas extremidades dos robôs são equipadas com módulos de plasma para realizar o tratamento da superfície dos termoplásticos e elastómeros, antes de serem pintados ou aplicados adesivos. Esta operação torna-se importante dado que, a limpeza das superfícies por este método melhora significativamente a adesão do substrato [55].

2.4. Caracterização do produto

Dos diversos componentes que complementam a configuração de um carro, o banco é entendido como um elemento chave na segurança e no conforto do condutor. O banco faz a ligação entre o ocupante e o veículo, e desempenha um papel chave na segurança, no caso de um acidente ou manobras bruscas, mantendo o condutor solidário com a estrutura do carro. À parte todos os critérios e requisitos de segurança, o papel principal do banco é assegurar um conforto na condução, tanto do condutor como dos ocupantes, seja a viagem curta ou longa, amenizando as vibrações provocadas pelo estado da estrada como fatores dinâmicos pertencentes ao veículo [57].

2.4.1. O banco automóvel

Um banco possui geralmente na sua configuração diferentes mecanismos de ajuste, como o encosto de cabeça e de braços para se adaptar ao nível de conforto requerido pelo ocupante. Mediante a classe do carro, o grau de complexidade de um banco pode variar, isto é, quanto maior for a classe de um carro, mais opções e funcionalidades mecânicas e elétricas estarão ao dispor do condutor, sendo normalmente maior o nível do conforto. Com todas estas funcionalidades, é evidente que o número de componentes num banco é elevado, e que cada componente compromete-se com um papel a desempenhar no conforto ou na segurança do condutor.

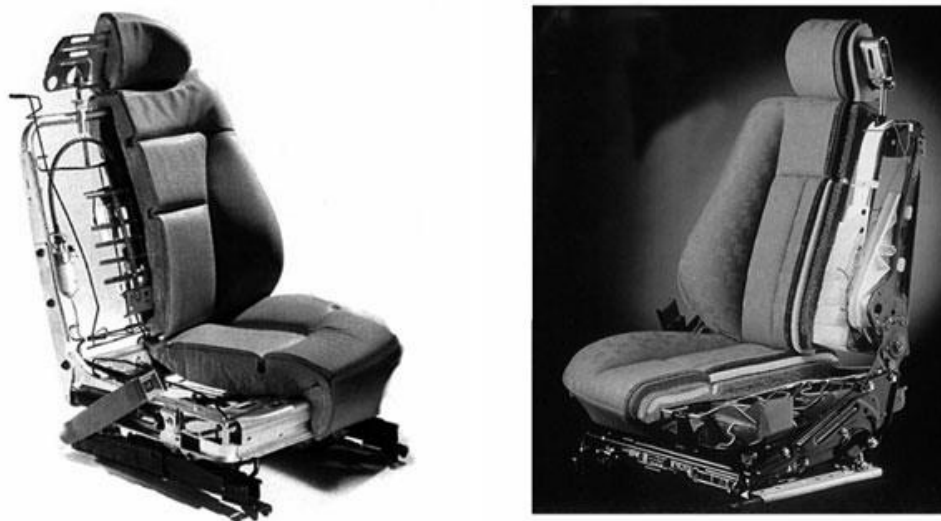


Figura 51 - Banco de um automóvel em corte [57].

O banco constitui um sistema de suspensão, formado por espumas e estruturas de molas com a capacidade de filtrar as vibrações (Figura 51). O grau de isolamento das vibrações varia de acordo com o tipo de veículo. Num veículo pesado, são concebidos sistemas de suspensão adicionais que podem ser ajustados de acordo com as características exigidas pelos ocupantes, pois aí o objetivo é isolar o ocupante das vibrações. Com o objetivo oposto, num carro desportivo, os condutores procuram uma ligação direta com a estrutura do carro, com o objetivo de se sentirem solidários com o carro, ficando sensíveis a cada manobra efetuada. A Figura 52 ilustra os principais componentes que constituem o banco de uma automóvel[57]:

1. Capas/Forras;
2. Espumas;
3. Encosto de cabeça;
4. Estrutura da suspensão: Coxim e *Suspension mat*;
5. Estrutura de plástico;
6. Estrutura de interface entre o veículo e os mecanismos.

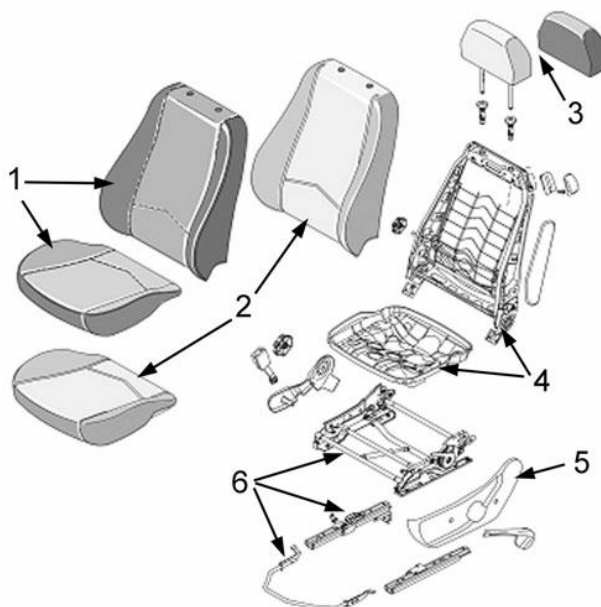


Figura 52 - Composição de um banco automovel [57].

Espumas e estrutura de suspensão

O principal objetivo do conjunto espuma e estrutura de suspensão é isolar o ocupante das vibrações que são transmitidas à estrutura do banco. Até aos anos 50 eram usadas molas

helicoidais para fazer o isolamento das vibrações. De facto, se o peso do ocupante era apenas suportado por um sistema composto por molas com amortecimento limitado, o comportamento esperado era o aumento do nível de vibração, até um valor aproximadamente perto do valor da frequência de ressonância do sistema massa-mola, antes que as vibrações fossem atenuadas a frequências elevadas. A massa-mola representa um sistema de isolamento de vibrações de baixa frequência, pobre. Contudo, com o aumento da frequência das vibrações, o comportamento do sistema melhora. Caso seja adicionado, em paralelo, um amortecedor ao sistema massa-mola, a amplitude perto da frequência de ressonância é reduzida, mas por outro lado o isolamento a altas frequências é comprometido. As espumas usadas na constituição do banco (espumas de poliuretano), quer no assento quer no encosto, demonstram um comportamento complexo, comparado com um sistema simultâneo de molas e amortecedores em paralelo e em série, o que acabou por se tornar um sistema bastante eficaz na prática [57].

Como suporte das espumas existe uma estrutura metálica e um subconjunto formado por componentes que oferecem flexibilidade ao banco. Estas estruturas podem adotar diferentes configurações, que originam um sistema que finaliza o isolamento das vibrações e estabelece o nível global de conforto. Com base na Figura 53 podemos enumerar vários tipos de estruturas:

- A - Suporte rígido obtido por estampagem;
- B - Conjunto de várias molas;
- C - Conjunto de hastes de aço (teia de aranha);
- D - Suporte formado por tiras de borracha e tecido.

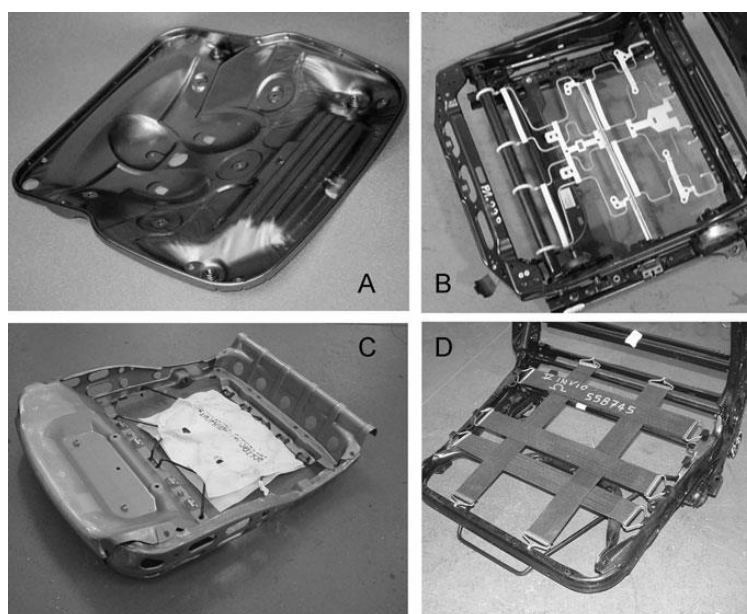


Figura 53 - Tipos de estruturas de suspensão encontradas em bancos [57].

Atendendo aos tipos de estruturas apresentadas na Figura 53, a estrutura do tipo B é a que se encontra inserida no âmbito deste trabalho. A estrutura é concebida a partir da sobre injeção de plástico em insertos de arame dobrado.

2.5. Segurança nos equipamentos

Segundo estatísticas Europeias e Nacionais, existe uma elevada taxa de incidência decorrente de acidentes com máquinas [58]. O custo social decorrente do elevado número de acidentes diretamente provocado pela utilização de máquinas pode ser reduzido através da integração de segurança na conceção e fabrico das máquinas [59][60].

De forma a serem eliminados os riscos e serem implementadas as medidas de segurança necessárias durante as várias fases decorrentes do projeto foram avaliadas as condições de segurança dos equipamentos. A avaliação dos riscos em fase de projeto tem como principal objetivo identificar e descrever os perigos que podem levar à ocorrência de acidentes de trabalho e, por conseguinte, a limitação das condições de saúde dos intervenientes [61].

A avaliação relativa aos requisitos de segurança foi levada a cabo tendo em conta o cumprimento dos requisitos legais da Diretiva Máquinas 2006/42/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de Maio de 2006 transporta para regime jurídico interno no Decreto-Lei nº 103/2008 de 24 de Junho.

Segundo a Diretiva Máquinas os equipamentos aqui apresentados são definidos como quase-máquinas. Estes equipamentos não funcionam *per si* sem estarem ligados a máquinas. De forma a clarificar este conceito é importante a sua definição:

- “Quase-máquina: conjunto que quase constitui uma máquina mas que não pode assegurar por si só uma aplicação específica. A quase-máquina destina-se a ser exclusivamente incorporada ou montada noutras máquinas, ou noutras quase-máquinas ou equipamentos, com vista à constituição de uma máquina (...)”.

A Diretiva Máquinas identifica os requisitos essenciais de saúde e segurança que deverão ser cumpridos a fim de garantir a conformidade da máquina. Os requisitos presentes na Diretiva não se aplicam na totalidade a quase-máquinas, contudo o cumprimento dos requisitos específicos são obrigatórios. O cumprimento dos requisitos legais aplicáveis à Diretiva máquina

pressupõe que máquinas construídas na União Europeia têm as condições de segurança necessárias para a sua utilização em segurança.

Para além do cumprimento dos requisitos técnicos, existe vária documentação que terá de ser realizada ao longo da projeção dos equipamentos. O artigo 13º indica que no fabrico de uma quase-máquina terá de ser assegurada a preparação de documentação técnica relevante (Parte B do Anexo VII da Diretiva Máquinas):

- Preparação do manual de montagem (Anexo VI da Diretiva Máquinas);
- Declaração de Incorporação na Máquina (Anexo II, Parte B da Diretiva Máquinas).

O objetivo da elaboração da documentação técnica é ter evidência do cumprimento da Diretiva Máquinas e de Normas Harmonizadas e, na eventualidade de serem requisitados por autoridades nacionais competentes, demonstrar a conformidade das quase-máquinas. Esta documentação deverá conter os seguintes elementos:

- Processo de Fabrico (Desenhos de conjunto, desenhos de circuitos de comando, desenhos de pormenor, avaliação de riscos, medidas de proteção implementadas, ensaios, entre outros).

A metodologia utilizada foi baseada na Norma ISO 12100:2010 "*Safety of machinery: general principles for design: risk assessment and risk reduction*" e metodologia William T. Fine [62]. De seguida será explicado resumidamente a metodologia adotada. O risco é avaliado tendo em conta três fatores:

- **Consequência (C_a):** normalmente esperadas no caso de ocorrer um acidente;
- **Exposição ao risco (E):** tempo que os indivíduos se encontram expostos ao risco de acidente;
- **Probabilidade (P_b):** que o acidente ocorra quando se encontra exposto ao risco.

Através do produto dos três fatores descritos anteriormente, será calculado o Grau de Perigosidade do risco (G.P.):

$$G.P. = C_a \times E \times P_b$$

A valorização de cada um dos fatores é obtida a partir da Tabela 1:

Tabela 1 - Valorização dos fatores do grau de perigosidade do risco.

Fator	Descrição	Valor
1-CONSEQUÊNCIA (C) <i>(Resultado mais provável de um potencial acidente)</i>	Várias mortes; danos superiores a 300.000 €.	50
	Morte: danos de 60.000 € a 300.000 €.	25
	Lesões extremamente graves (amputações, incapacidade permanente) danos de 600 € a 60.000 €.	15
	Lesões com baixa, danos até 600 €.	5
	Feridas leves. Contusões, golpes, pequenos danos.	1
2-EXPOSIÇÃO (E) <i>(Frequência com que ocorre a situação de risco)</i>	Continuamente (ou várias vezes ao dia).	10
	Frequentemente (aproximadamente uma vez ao dia).	6
	Ocasionalmente (de uma vez por semana a uma vez ao mês).	3
	Raramente (sabe-se que pode ocorrer).	1
	Remotamente possível (não se sabe que já ocorreu).	0,5
3-PROBABILIDADE (P) <i>(Probabilidade da ocorrência do acidente)</i>	Resultado mais provável e esperado se a situação de risco ocorrer.	10
	Completamente possível; probabilidade de 50%.	6
	Ocorrência rara: 10%.	3
	Remotamente possível. Sabe-se que ocorreu. Probabilidade de 1%.	1
	Nunca ocorreu em muitos anos de exposição, mas poderá ser possível.	0,5

Recorrendo ao cálculo do grau de perigosidade de cada caso, é possível estabelecer níveis de importância no modo de atuação a partir da Tabela 2:

Tabela 2 - Níveis de importância no modo de atuação em função do grau de perigosidade.

Grau de Perigosidade	Nível de risco	Modo de Atuação
>200	1	A medida de correção deve ser imediata. A linha de montagem/equipamento deverá estar parada até que o risco tenha reduzido/eliminado.
$200 \geq G.P. > 85$	2	Atuação urgente. A medida deve ser tomada num curto espaço de tempo.
$85 \geq G.P. > 12,5$	3	O risco deve ser eliminado o quanto antes, contudo a situação não é considerada de emergência.
$G.P. \leq 12,5$	3	Risco Aceitável/Residual; O técnico decide se é ou não necessária a implementação de medida adicional

Página intencionalmente deixada em branco

3. Desenvolvimento

3.1. Objetivos específicos deste trabalho prático

O presente trabalho tem como objetivo a otimização do processo de sobre-injeção de plástico em componentes para a indústria automóvel. As metas definidas estão divididas em duas fases interligadas, uma em que se realizará um sistema de extração de componentes altamente versátil e outro, em que se realizará um sistema de alimentação automático de insertos nos moldes para uma determinada referência.

Algumas máquinas de injeção já possuíam sistemas de extração, no entanto, eram altamente específicos, isto é, não eram válidos para mais do que dois produtos, sendo que até a maioria, era válida apenas para uma referência. Devido à falta de flexibilidade dos sistemas, a empresa estabeleceu uma primeira meta, que consistia no projeto e conceção de um sistema de extração universal, capaz de extrair todas as referências, garantindo a sua funcionalidade mesmo para projetos futuros, sem grandes modificações.

A alimentação dos arames no molde é atualmente realizada por um operador, o que implica a sua presença permanente durante o funcionamento da máquina na realização de uma tarefa altamente repetitiva, que pode levar a lesões físicas ou psicológicas, com conseqüente queda da produtividade. Constatando este facto, a empresa estabeleceu um segundo objetivo, que consiste em desenvolver um sistema automático para a alimentação dos arames no molde. A automatização do sistema de alimentação dos arames dobrados tem a condicionante de deixar disponível o método manual de alimentação sempre que pretendido. A variedade de produtos dos sistemas de conforto é grande e de morfologias significativamente diferentes. Dada a duração do estágio, a empresa achou por bem, de modo a não comprometer a conclusão dos objetivos, o desenvolvimento de um sistema de alimentação para uma só referência de fabrico, que possua um elevado volume de vendas e com isso, atingir o objetivo global de deixar uma máquina de injeção totalmente automatizada. Futuramente, o conceito desenvolvido poderá servir como “ideia-chave” para outras referências de grande volume, com possibilidade de ser flexível entre alguns produtos relativamente semelhantes.

3.2. Caracterização da empresa que acolheu o projeto

Grupo Ficosa (Ficosa *International*, S.A.)

A Ficosa é uma empresa multinacional. Em 1949, Josep Maria Pujol e Josep Maria Tarragó criaram uma oficina em Barcelona (Espanha), com o nome “Pujol i Tarragó”, dedicada a cabos mecânicos. Em 1987 foi renomeada para *Ficosa International*. A empresa dedica-se à pesquisa, desenvolvimento, produção e comercialização de componentes e sistemas para o sector automóvel. Conta com centros de produção, centros de engenharia e escritórios comerciais, em 19 países na Europa, América do Norte, América do Sul e Ásia. A empresa afirma-se como fornecedor oficial e parceiro tecnológico de uma grande parte das empresas produtoras de veículos em todo o mundo (Figura 54). A empresa investe, todos os anos, 4% da sua faturação em atividades de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento).



Figura 54 - Presença global do grupo Ficosa [63].

FicoCables, Lda.

Durante a década de 70, a Ficosa dá os seus primeiros passos no que toca à internacionalização, implantando-se no distrito do Porto, Portugal, conseguindo alcançar um volume de negócios de 36 milhões de euros, em 1986. O principal objetivo desta internacionalização era cobrir e servir

o mercado global da Península Ibérica. A Ficosa Portugal, conhecida desde 1993 por FicoCables, Lda., nasceu da associação, em 3 de Agosto de 1972, entre a Ficosa e uma empresa designada por Teledinâmica, formada pelo Eng.º Franco Dias. Esta iniciou a sua atividade focada no fabrico de componentes para a indústria automóvel, em 1971, numa garagem arrendada em Vila Nova de Gaia, e era constituída apenas por três funcionários.

A empresa apresenta duas áreas de negócio, sendo uma delas designada por Sistemas de Portas e Assentos e a outra por Sistemas de Conforto. Especificamente, produz cabos utilizados na transmissão de movimento e sistemas de conforto que se incorporam nos assentos dos veículos permitindo a sua regulação. Estes produtos são projetados para serem adaptados em diferentes soluções, tais como: sistema de elevadores de janela, travão de mão, abertura de porta, regulação lombar do assento, sistemas de inclinação do banco, entre outros.

Dos vários clientes da empresa, podem-se destacar a *Volkswagen*, *Audi* e *Seat*, que juntamente com todos os outros, ajudam a empresa a criar o volume de negócios apresentado na Figura 55.

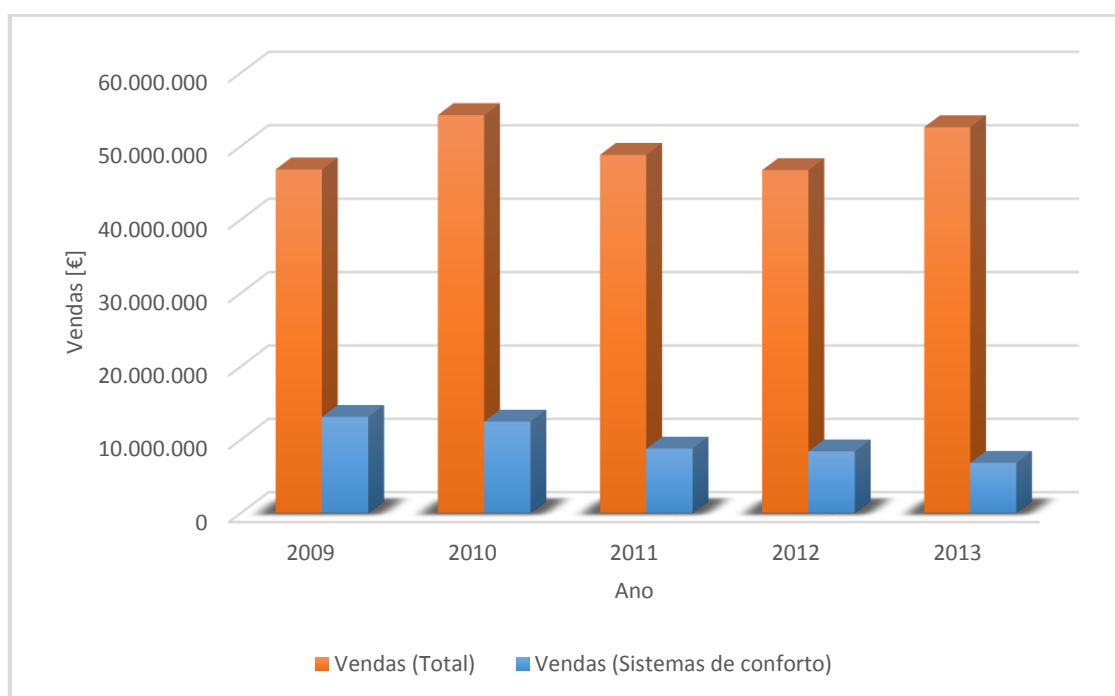


Figura 55 - Volume de vendas da FicoCables, Lda. entre 2009 e 2013.

A unidade portuguesa, FicoCables Lda., tem um Capital Social de 1,75 milhões de euros. Em 2013, empregava mais de 1000 trabalhadores e faturou cerca de 53 milhões de euros (Figura 55)

3.3. O problema

Como já referido, a extração das peças sobre-injetadas é, em grande parte das referências realizada manualmente, e nos casos em que existe sistema automático de extração, o sistema é dedicado para uma referência em concreto. No entanto, existem duas injetoras que estão equipadas com um manipulador desenvolvido pela empresa, que permite afinação para várias referências (Figura 56). Contudo, devido à extração se realizar em apenas um eixo, possui a limitação de não conseguir extrair várias peças, devido à da existência de contra-saídas.

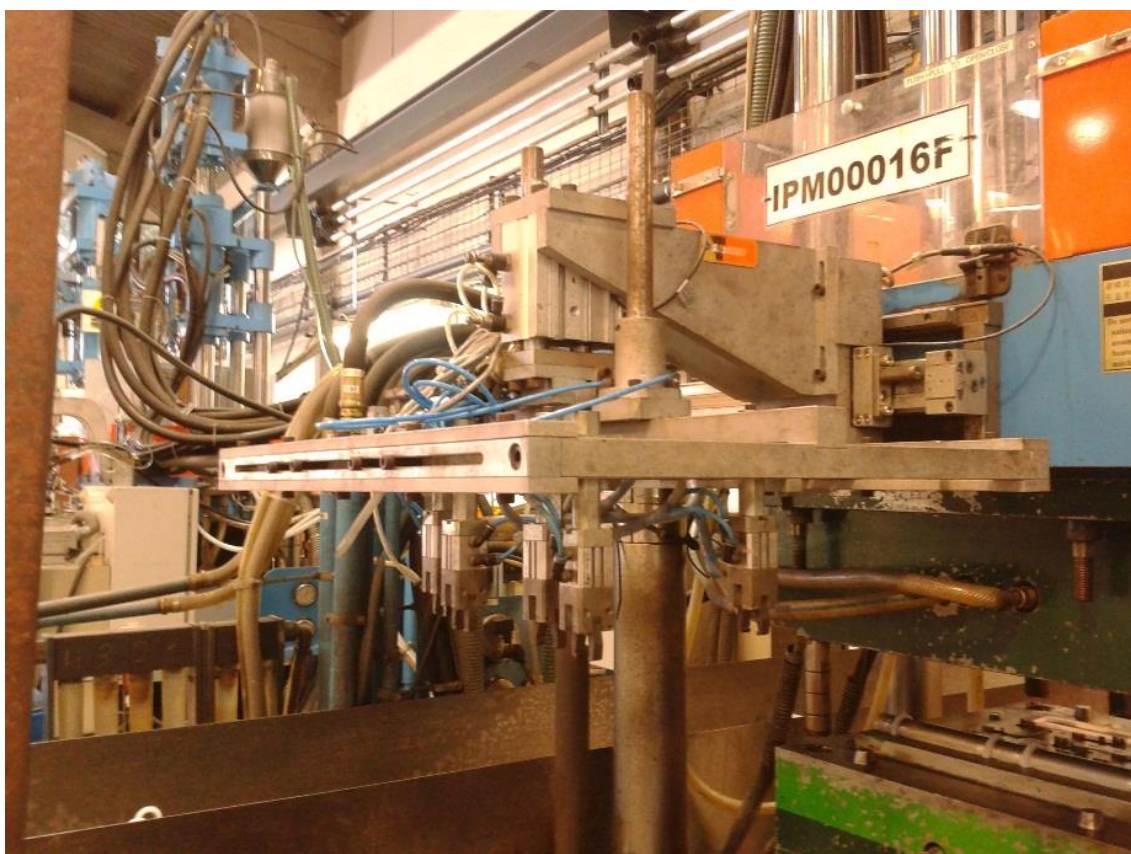


Figura 56 - Manipulador inicial, ajustável para várias referências.

Certos sistemas existentes, para contornarem este obstáculo, possuem dois pontos de extração com subidas desfasadas (Figura 57), que têm como objetivo minimizar a profundidade da contra-saída e realizar a remoção da peça. Porém, os sistemas que possuem este extra são em modelos dedicados e não são eficazes em contra-saídas mais acentuadas, como as representadas na Figura 58.

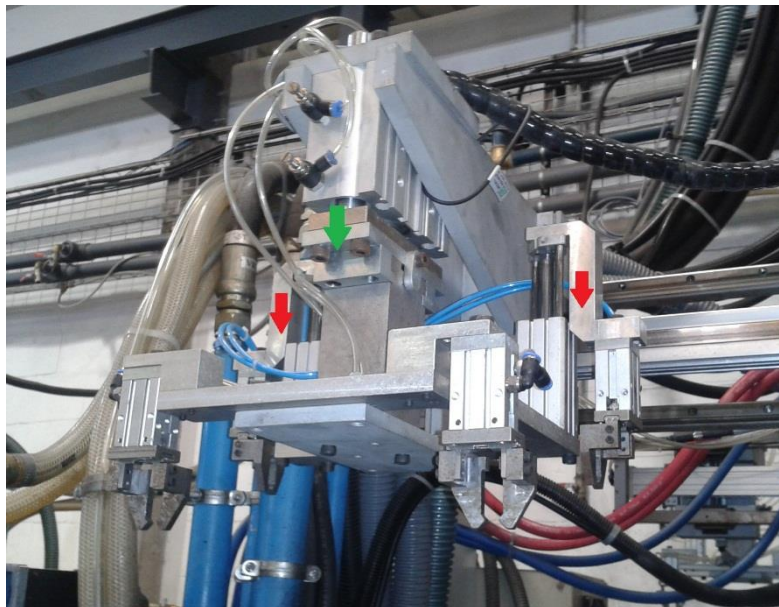


Figura 57 - Manipulador dedicado com dois pontos de extração desfasados.

O manipulador da Figura 57 permite a extração de peças com contra-saídas ligeiras, apenas com movimento vertical, através do acionamento independente das pinças frontais e traseiras. Dada esta característica, a peça é puxada na vertical, no lado oposto às contra saídas (setas a vermelho), levando a uma ligeira rotação dos ganchos sobre as hastes de extração com contra-saída, que tem como resultado a desmoldagem da peça. De seguida, o cilindro central do manipulador (seta a verde) eleva todo o manipulador, que depois, a partir de um sistema *transfer*, realiza o transporte da peça para um tapete.

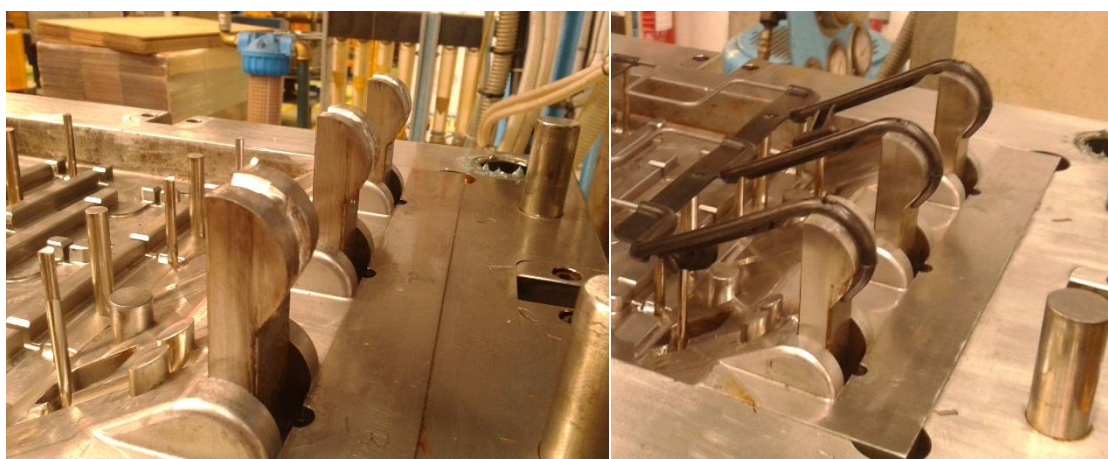


Figura 58 - Contra saídas acentuadas que não permitem a remoção da peça com o manipulador.

Como se verifica na Figura 58, a estratégia de extração do manipulador dedicado acima referido não resultaria, dado que a contra-saída é muito acentuada e para remover a peça, teríamos quase que fazer uma rotação completa sobre a haste de extração.

Outro problema comum é o facto de algumas vezes os manipuladores danificarem as peças durante a sua extração, nos locais de contra-saídas. Este fenómeno pode acontecer por causa da falta de qualidade do arame, resultante de desvios na realização das dobras, que levam a um aumento da prisão da peça nas zonas de contra-saída. Contudo, deve-se essencialmente à robustez e eficácia da extração automática em desmoldar a peça. Na Figura 59 estão representados danos numa peça injetada durante a extração automática.

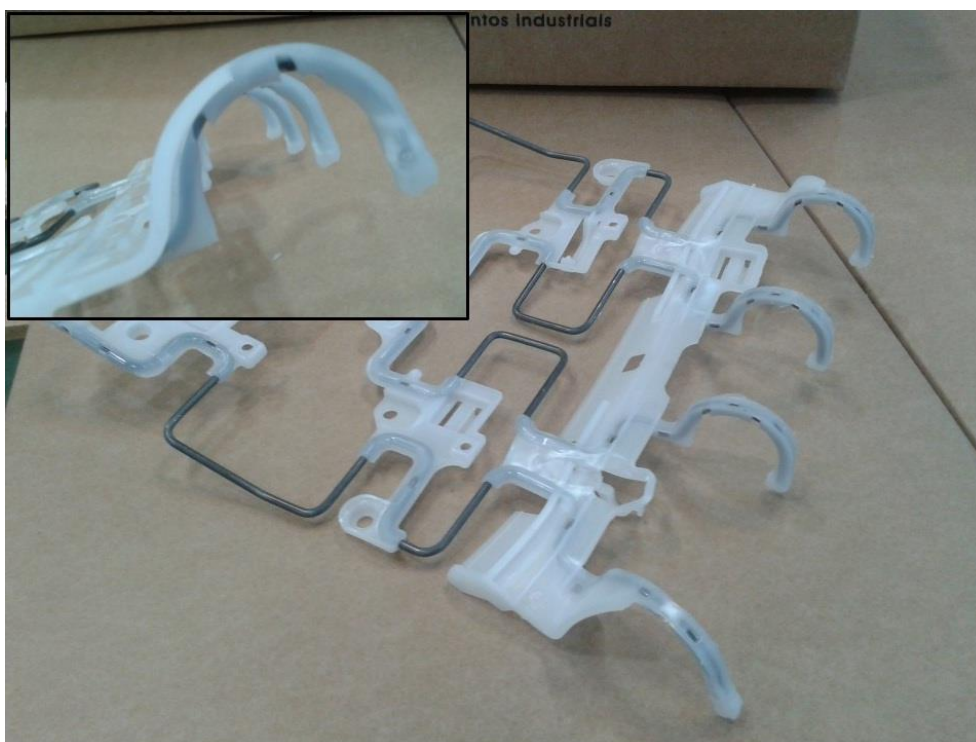


Figura 59 - Exemplo de danos causados numa peça com extração automática.

3.3.1. Estruturas de conforto do banco automóvel

O produto fabricado no processo abordado neste trabalho faz parte do banco automóvel. Consiste basicamente numa estrutura responsável pelo conforto oferecido nos bancos aos seus utilizadores. Estas estruturas estão subdivididas quanto à sua localização de montagem no banco, em coxins e *suspension mat* (A partir deste momento, por uma questão de simplicidade passar-se-á a referir *suspension mat* como SP):

- Os coxins são as estruturas flexíveis responsáveis pelo conforto/suporte do assento, que se localizam no interior do estofa inferior dos bancos dos automóveis (Figura 60);

- Os SP são estruturas flexíveis responsáveis pelo conforto/suporte da zona lombar dos bancos (Figura 61).

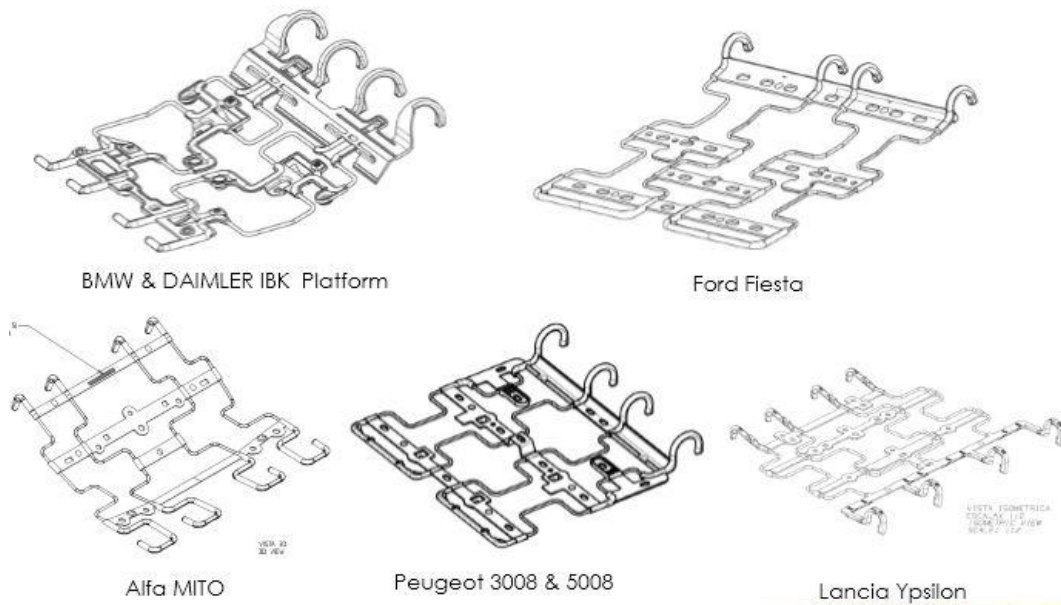


Figura 60 - Exemplos de coxins utilizados em bancos de diferentes marcas.

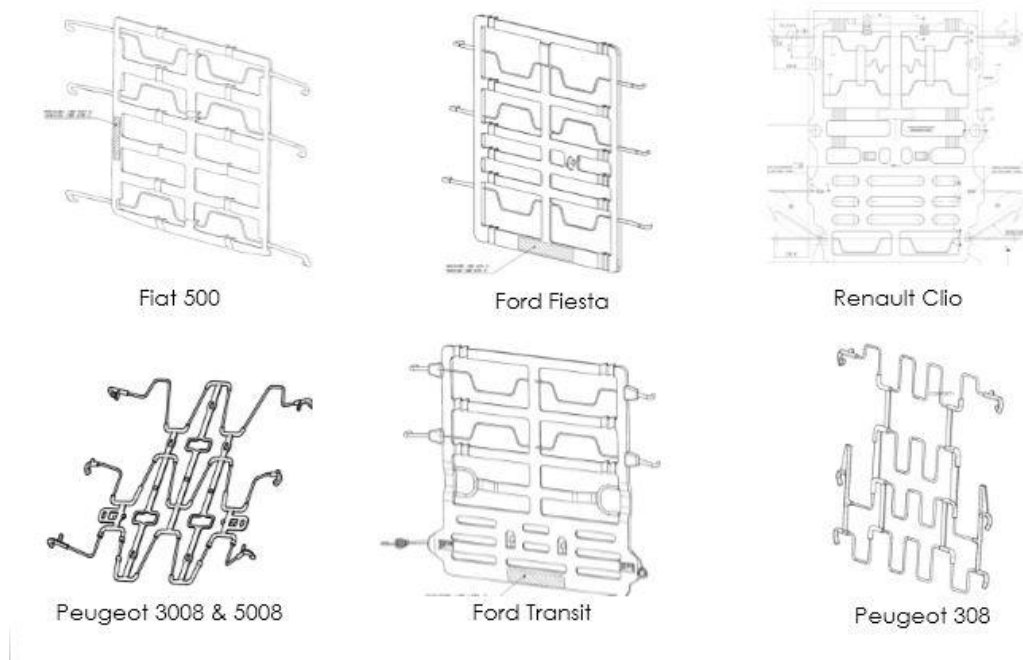


Figura 61 - Exemplos de SP utilizados em bancos de diferentes automóveis.

Na Figura 62 encontra-se demonstrado uma estrutura de um banco automóvel com os respetivos sistemas de conforto coxim e SP montados.

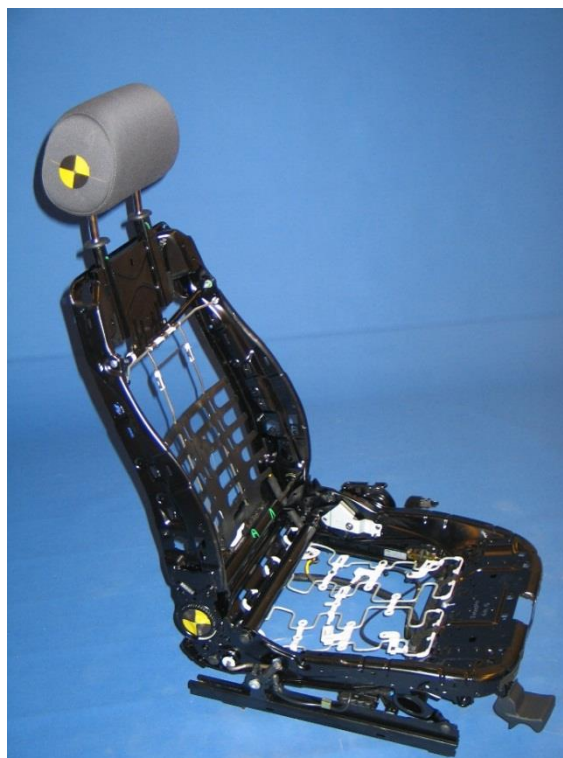


Figura 62 - Estrutura do banco de um automóvel com respetivo SP e coxim.

Outras estruturas com o mesmo objetivo, mas com morfologias diferentes, são também fabricadas. Na Figura 63 podemos encontrar exemplos dessas mesmas estruturas.

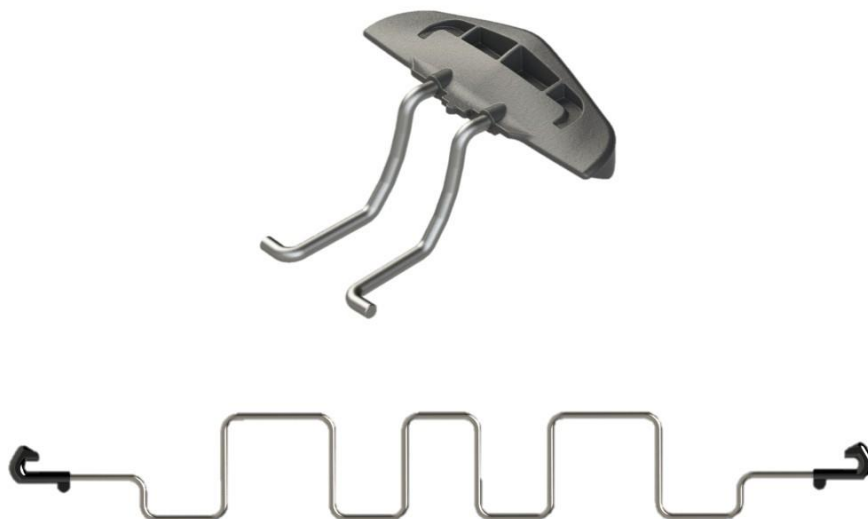


Figura 63 - Outros produtos fabricados nos sistemas de conforto: IBK Suporte lateral e M3M4 SP, respetivamente.

Os coxins e SP são estruturas de suspensão constituídas por arames dobrados que depois de sobre-injetados, originam o produto final. A referência M3M4 constitui igualmente um SP. No

entanto, possui a particularidade de os arames dobrados e sobre-injetados não possuírem ligação entre si, isto é, apenas os seus terminais são injetados. Na Figura 64 está demonstrada como é realizada a aplicação deste componente no banco.



Figura 64 - Montagem da referência M3M4 SP.

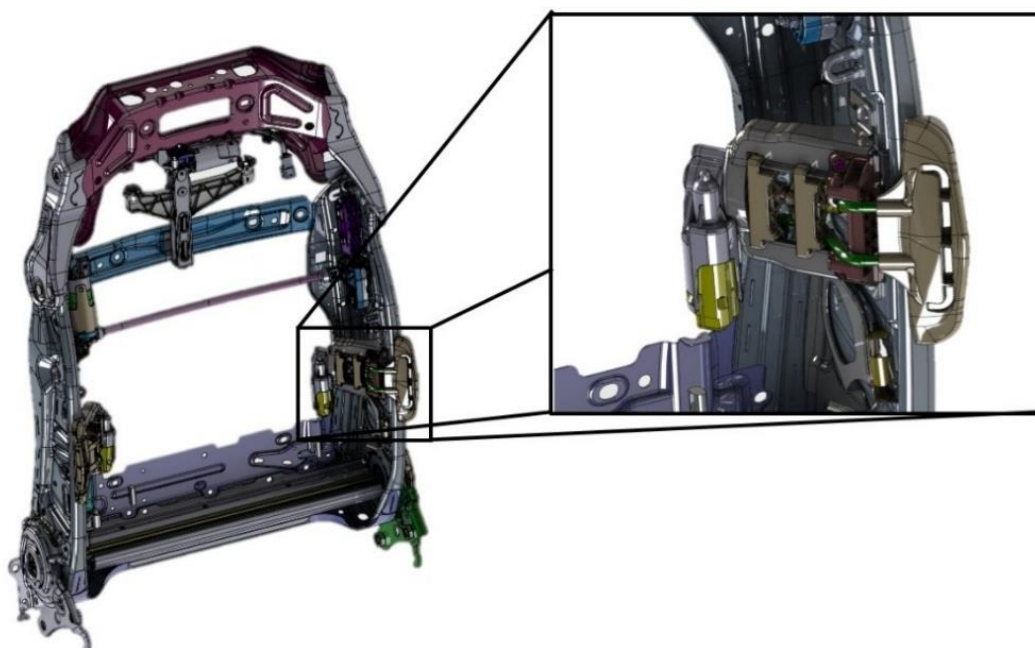


Figura 65 - Localização do suporte lateral na estrutura do banco automóvel.

O suporte lateral, à semelhança dos outros produtos referidos, constitui um componente estrutural dos bancos automóveis, que tem o papel de suportar e regular a posição das saliências existentes nas laterais que alguns bancos possuem. Na Figura 65, encontra-se representada a aplicação deste componente na estrutura de um banco.

Morfologias do produto que influenciam a extração automática do molde

Os tipos de estruturas fabricados pela empresa são em grande número e possuem variações de geometria significativas entre si. Certas características como o número de arames, geometria da dobragem do arame, pinos extratores do molde e até mesmo geometrias em plástico que a peça possui depois de injetada, têm de ser consideradas na realização da remoção da peça do molde. Na Figura 66 e Figura 67 estão representados vários casos em que essas morfologias podem dificultar tanto a remoção da peça, como também o número de atuadores e movimentos necessários para as remover.

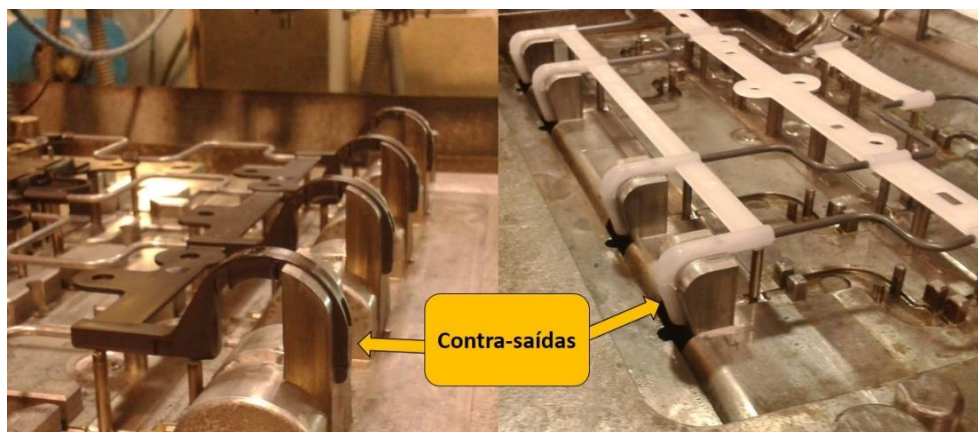


Figura 66 - Peças injetadas com contra-saídas e arames 3D.



Figura 67 - Peças injetadas com poucas zonas de arame visível.

3.3.2. As máquinas de injeção

O módulo de injeção dos sistemas de conforto na FicoCables é constituído por 16 máquinas de injeção de plástico. No que respeita ao *layout* fabril, as máquinas estão ordenadas em duas linhas de 8 injetoras, separadas por um corredor central, dispostas duas a duas, posicionadas frontalmente formando uma célula de fabrico. Na Figura 68 é mostrada uma vista desse setor.



Figura 68 - Setor de injeção dos sistemas de conforto.

As injetoras usadas são máquinas MultiPLAS V4-SD 160T e são de injeção vertical (Figura 69) (Anexo I). Estas máquinas possuem a particularidade de estarem equipadas com uma mesa deslizante para o uso de molde e meio, o que favorece o processo de injeção com insertos, isto é, sobre-injeção de plástico.



Figura 69 - MultiPLAS V4-SD-160T [64].

Relativamente às células constituídas por duas máquinas de injeção, normalmente são utilizadas por apenas um operador, que tem as seguintes tarefas:

- Abastecer os moldes de cada injetora com os arames;
- Remover a peça injetada, no caso de não haver sistema de extração.

O operador executa o abastecimento dos moldes em cruz, como demonstra o diagrama seguinte:

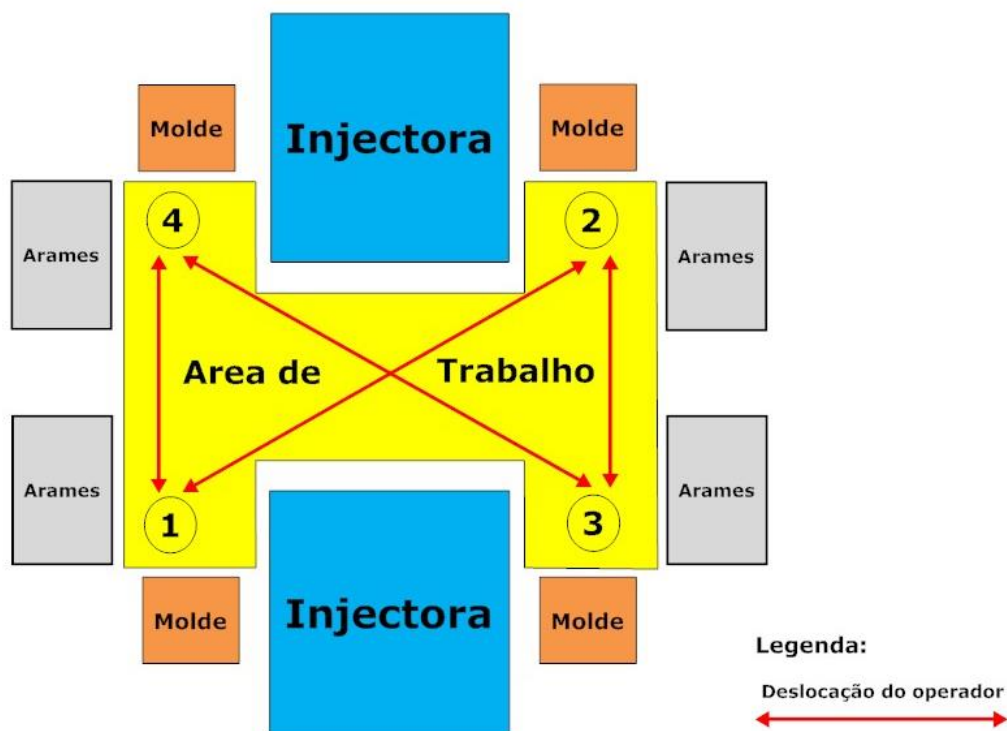


Figura 70 - Layout de abastecimento de arame nos moldes.

Com se verifica na Figura 70, sempre que o operador abastece o molde com os arames, executa a ordem de injeção. Dada esta ordem, o molde desloca-se lateralmente para a injetora, deixando um segundo molde do lado oposto da máquina, pronto para retirar a peça pelo manipulador, ou no caso de não haver sistema de extração, a operadora retira a peça e de seguida abastece o molde. Como o tempo de ciclo da injeção, dependendo dos moldes, varia em média entre os 20 e os 25 segundos, o operador realiza o abastecimento alternadamente nas duas máquinas, segundo as deslocações da figura referida anteriormente, para otimizar o tempo de ciclo total das duas máquinas.

Cada máquina de injeção possui duas áreas de abastecimento de arame. O tipo de abastecimento pode ser realizado de duas formas distintas:

- Abastecimento por caixas;
- Abastecimento por guias.

Abastecimento por caixas

No abastecimento por caixas, os arames encontram-se armazenados ordenadamente, separados em níveis por placas de cartão (Figura 71). O módulo de dobragem de arame é responsável por recolher os arames dobrados e armazenar nas caixas. Depois, um abastecedor tem a tarefa de movimentar as caixas e colocar nas prateleiras que se encontram na zona de trabalho da máquina.



Figura 71 - Abastecimento por caixas nas máquinas de injeção.

Na Tabela 3, encontram-se referenciadas vantagens e desvantagens no uso deste tipo de abastecimento.

Tabela 3 - Vantagens e desvantagens do abastecimento por caixas.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - As caixas estão posicionadas estrategicamente para melhorar a ergonomia do operador; - Quantidade de arames por caixa (cerca de 500 arames) 	<ul style="list-style-type: none"> - Este método mostra-se pouco ergonómico, quando o produto a injetar é mais complexo (alimentado com mais de dois tipos de arame diferentes), isto é, necessita de um número de caixas equivalente ao número de tipo de arames, que traz como consequência, o

Vantagens	Desvantagens
	alojamento de caixas mais afastado do operador. - Estatura do operador influencia bastante na captação de arames.

Abastecimento por guias

Nesta forma de abastecimento, os arames estão armazenados em guias (Figura 72). O *stock* dos arames é realizado igualmente em caixas, só que neste caso o abastecedor, em vez de colocar as caixas diretamente na zona apropriada, tem a tarefa extra de colocar os arames nas guias. A principal vantagem de fazer com que o abastecedor realize este acondicionamento é o facto de se melhorar a ergonomia, reduzindo assim a fadiga do operador que, conseqüentemente, resulta num aumento da produtividade.

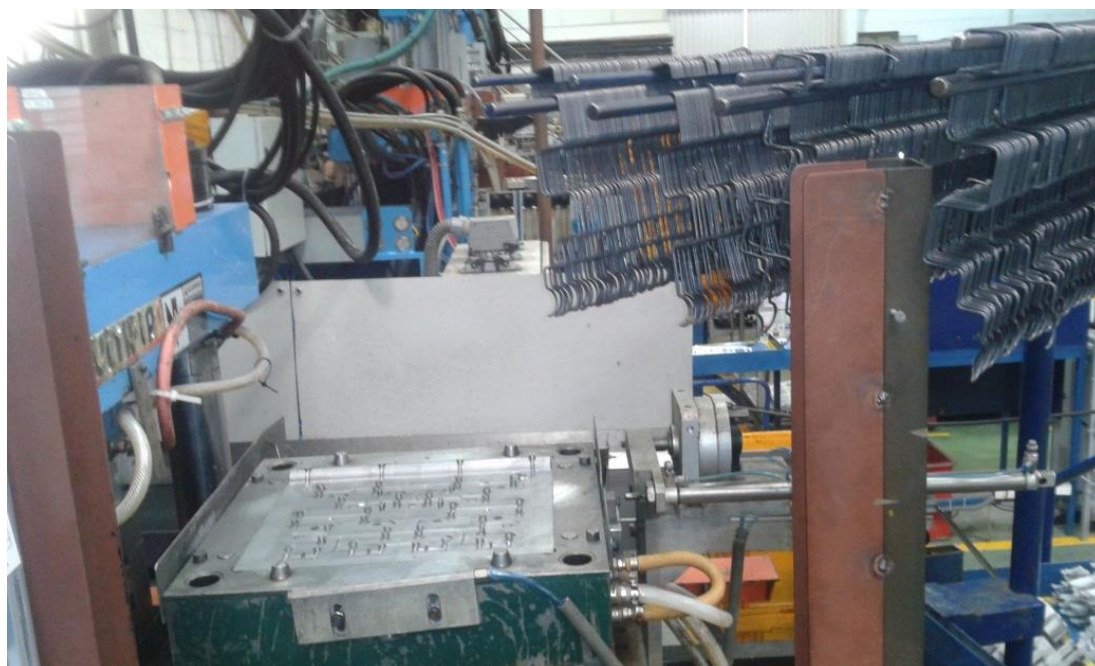


Figura 72 - Abastecimento de arame por guias.

As principais vantagens e desvantagens do uso deste modo de abastecimento, encontram-se referenciadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Vantagens e desvantagens do abastecimento por guias.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">- Arames perfeitamente ordenados;- Melhor ergonomia para o operador;- A ergonomia não é afetada pela complexidade da peça a injetar.	<ul style="list-style-type: none">- Baixa quantidade de arames por guia (250 arames);- Estatura do operador influencia bastante na captação de arames.

Por vezes, devido há complexidade dos moldes albergarem quatro tipos de arames diferentes, obriga à presença de quatro caixas, o que pode, ser um problema de espaço em algumas máquinas. Por outro lado, o uso de quatro caixas faz com que pelo menos uma caixa de arames fique pouco acessível ao operador, piorando muito a ergonomia, que se reflete numa queda de produtividade. Nestes casos, ultrapassa-se o problema através de uma solução híbrida dos dois sistemas apresentados, isto é, os dois sistemas de abastecimento são usados em simultâneo, como demonstrado na Figura 73.



Figura 73 - Uso dos dois sistemas de abastecimento.

3.3.3. Os moldes de injeção

Os moldes de injeção desenvolvidos para o fabrico dos sistemas de conforto, são compostos por molde e meio, isto é, duas buchas inferiores que ficam fixas na mesa deslizante e uma bucha superior, fixa na cabeça da injetora onde se localiza o fuso (Figura 74).

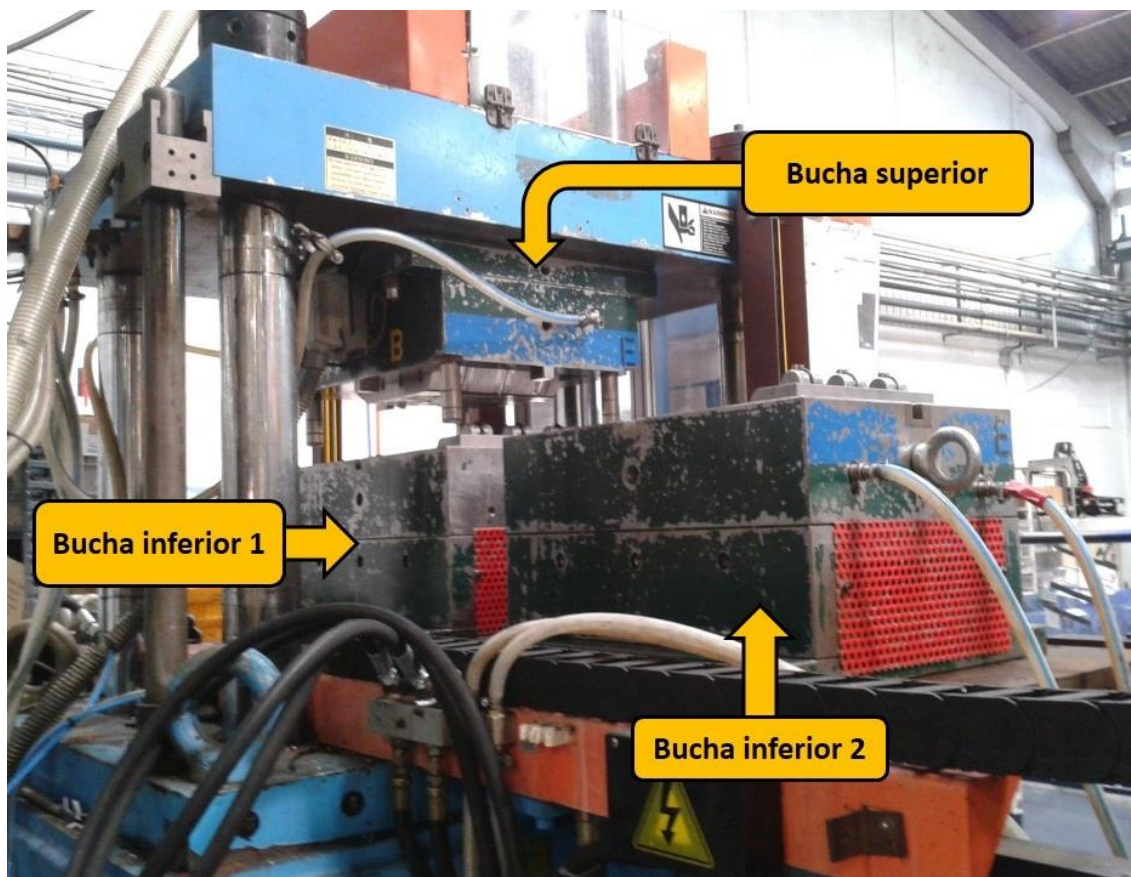


Figura 74 - Buchas que contemplam o molde e meio usado no processo de sobre-injeção.

No seguimento deste trabalho, a configuração dos moldes é de elevada importância para que se realize o projeto de um sistema de extração funcional para a maioria das referências. Características como o número de arames que o molde necessita, geometria do arame (arame com dobragem 2D ou 3D), tipos de guia do arame, pinos e hastes de extração e presença de gavetas extratoras, condicionam a estratégia de remoção da peça injetada. Na Figura 75 e Figura 76 podemos ver moldes com diferentes graus de complexidade, no que respeita ao número de arames e geometria das dobras.



Figura 75 - Tipos de molde com diferentes geometrias e número de arames.

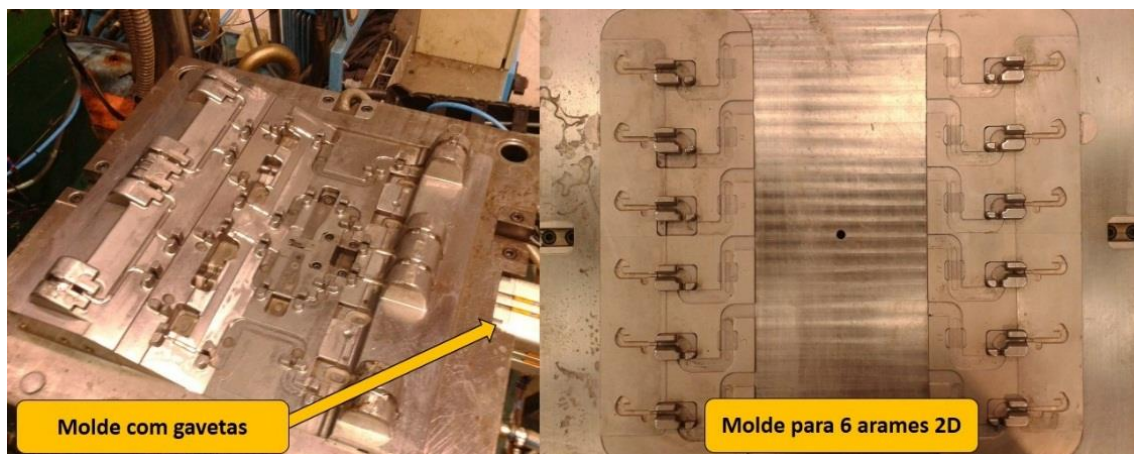


Figura 76 - Exemplo de molde com gavetas e molde com arames 2D.

O guiamento do arame no molde é uma característica importante para garantir o seu correto posicionamento durante o fecho do mesmo. É muitas vezes neste guiamento que se detetam problemas de qualidade na dobragem do arame, quer seja por não se conseguirem inserir no molde, ou por ficarem salientes em algum ponto da sua extensão. Estes guiamentos são normalmente realizados por pinos-guia, ou então, por bocas de lobo (Figura 77). As duas formas de guiamento apresentadas têm também a função de ajudar o operador na colocação correta dos arames.

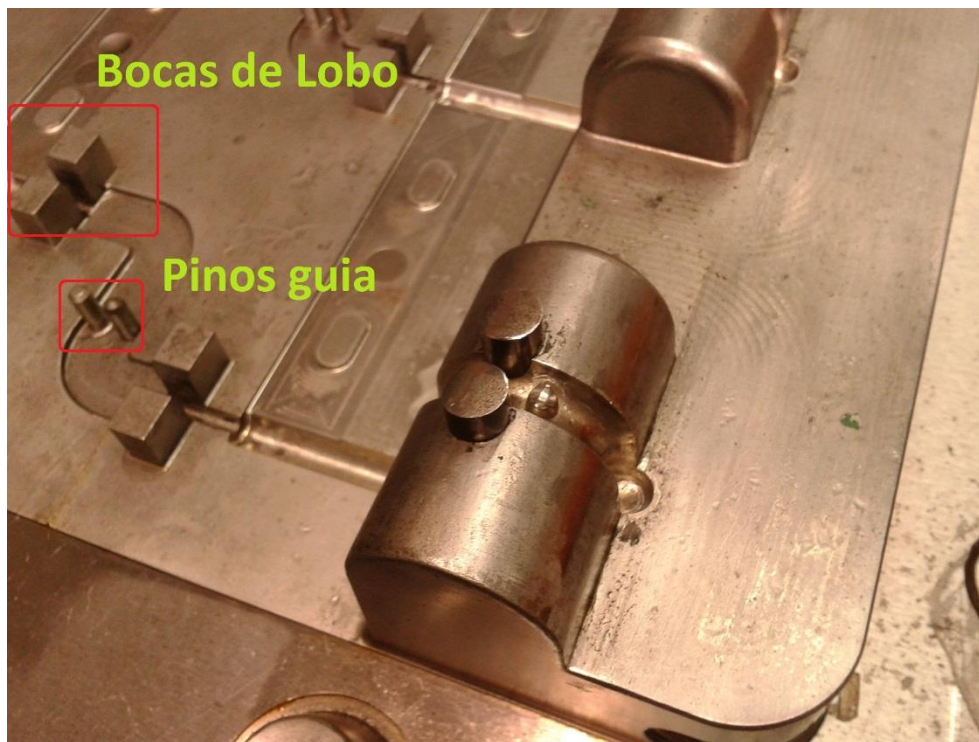


Figura 77 - Bocas de lobo e pinos guia usados para o posicionamento do arame no molde.

Os pinos e hastes de extração são de grande importância, por muitas vezes estarem associados às contra-saídas que levam aos problemas anteriormente referidos. Abaixo são apresentados alguns exemplos de hastes extratoras para as várias configurações de produto.

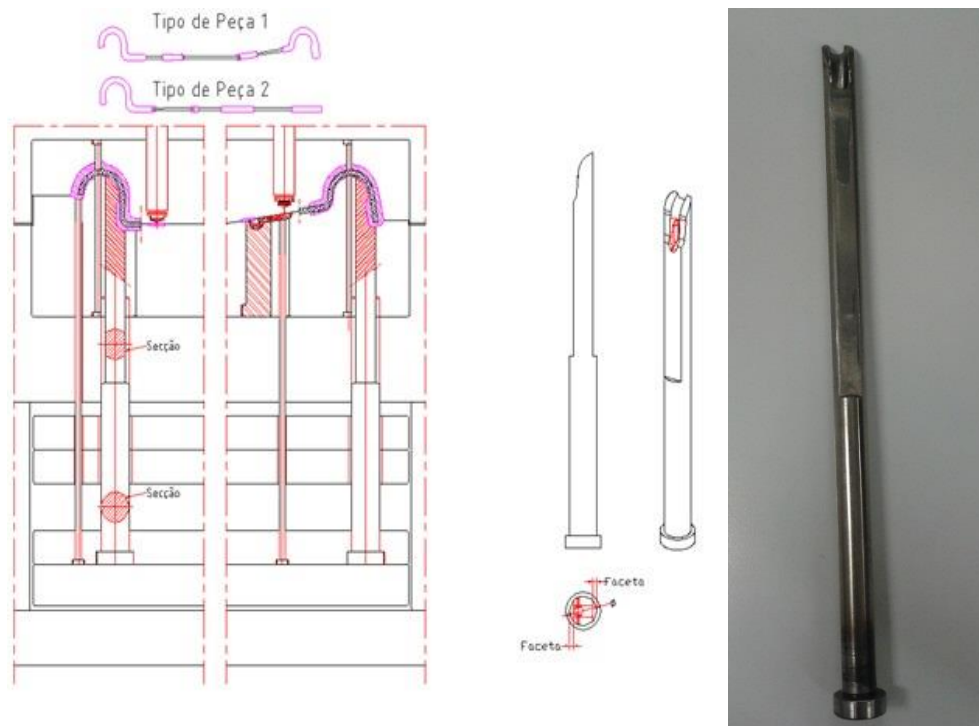


Figura 78 - Exemplo de haste extratora cilíndrica e respetiva aplicações.

As hastes cilíndricas como as representadas na Figura 78, são normalmente aplicadas para extração de peças na zona dos ganchos sobre-injetados que não possuem zonas negativas ou contra-saídas.

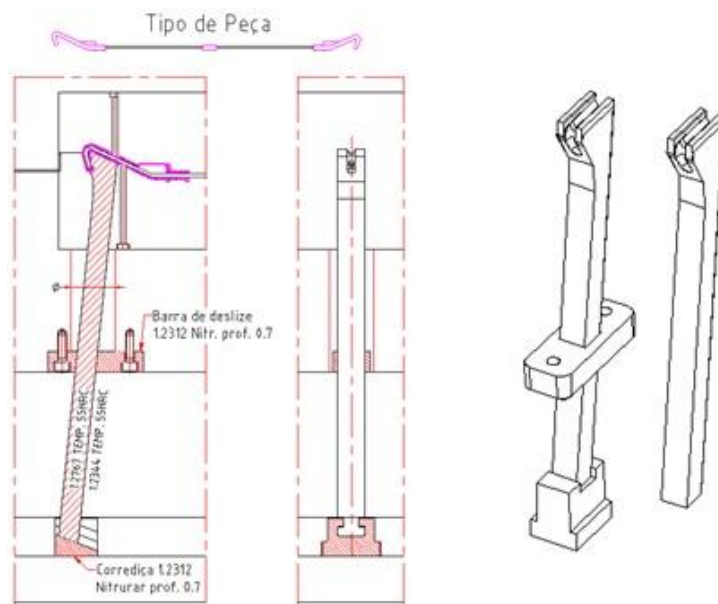


Figura 79 - Exemplo de haste extratora retangular com inclinação (balancé).

O tipo de hastes ilustradas na Figura 79, também designadas por balancés, possui uma inclinação de 15° a 20° com o objetivo de, quando acionadas, extrair a peça e ao mesmo tempo minimizar a contra saída dos ganchos, através do seu afastamento. Na Figura 80, assinalado pela seta a vermelho, podemos verificar que após os balancés acionados, a peça fica livre numa zona que possuía contra-saídas.

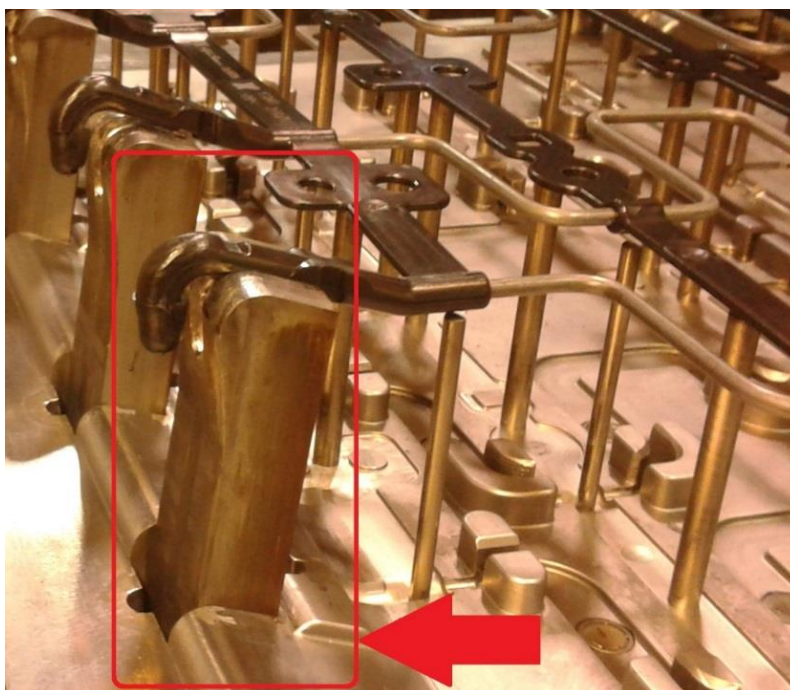


Figura 80 - Haste extratora com inclinação.

Alguns moldes possuem gavetas que abrem perpendicularmente à contra-saída da peça, possibilitando assim a sua remoção com apenas um movimento vertical. No entanto, nem todas as peças são viáveis para a implementação desta solução, devido ao facto de as zonas com contra-saídas em algumas peças serem muito próximas. Na Figura 81 e Figura 82 podemos ver um exemplo, em que o molde possui duas gavetas de extração acionadas por cilindros pneumáticos.

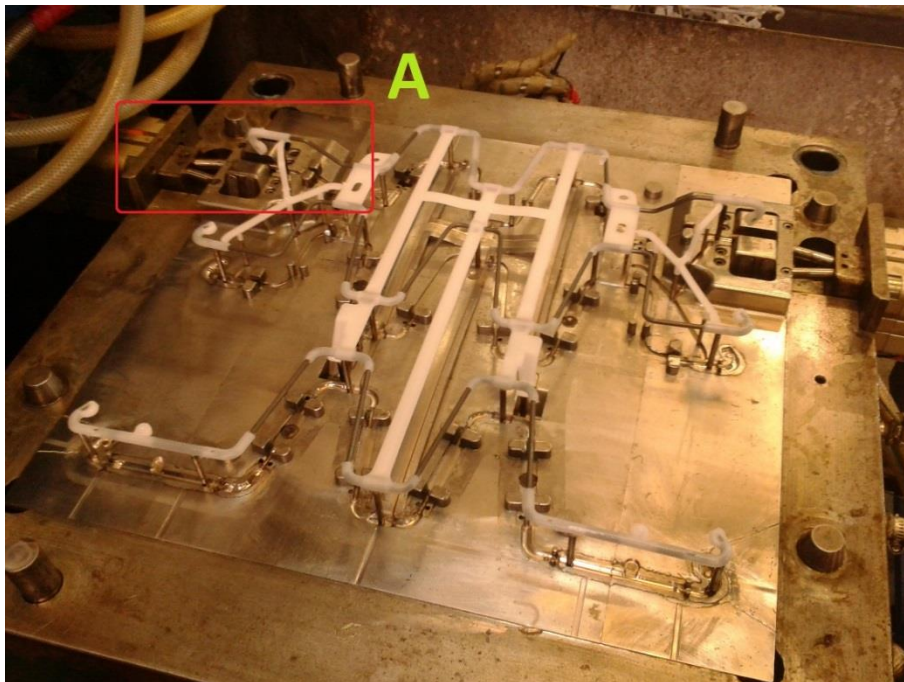


Figura 81 - Molde SP com gavetas de extração.

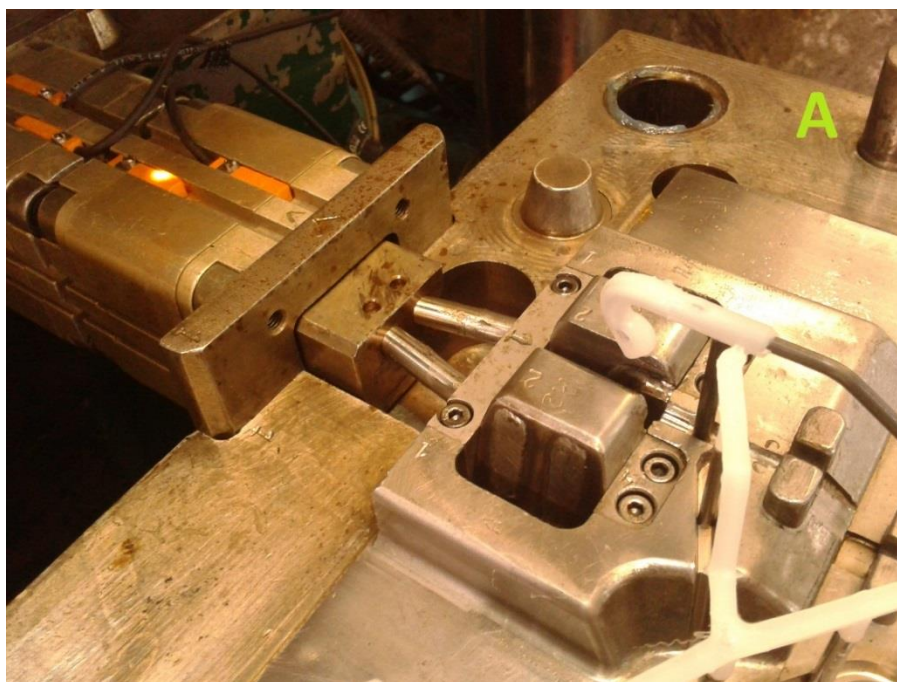


Figura 82 - Pormenor A da gaveta de extração.

Este sistema tem a vantagem de evitar danos no molde por mau acondicionamento do arame pelo operador, ou mesmo falta de qualidade do processo de dobragem, isto é, se o cilindro não conseguir fechar as gavetas devido ao mau posicionamento do arame, o sensor de fim de curso não é ativado, o que impede o molde de se mover e iniciar o ciclo de injeção.

3.3.4. Os sistemas de extração existentes

Diversas máquinas de injeção já possuíam sistemas de extração desenvolvidos pela empresa, contudo, possuíam pouca ou nenhuma flexibilidade para se adaptarem a outras referências.

Cada sistema de extração é composto por dois conjuntos (um esquerdo e um direito), que têm a função de retirar a peça que é injetada na meia moldação correspondente. Depois de removida, a peça é transferida para um tapete que faz o transporte para a bancada de verificação das peças (Figura 83).

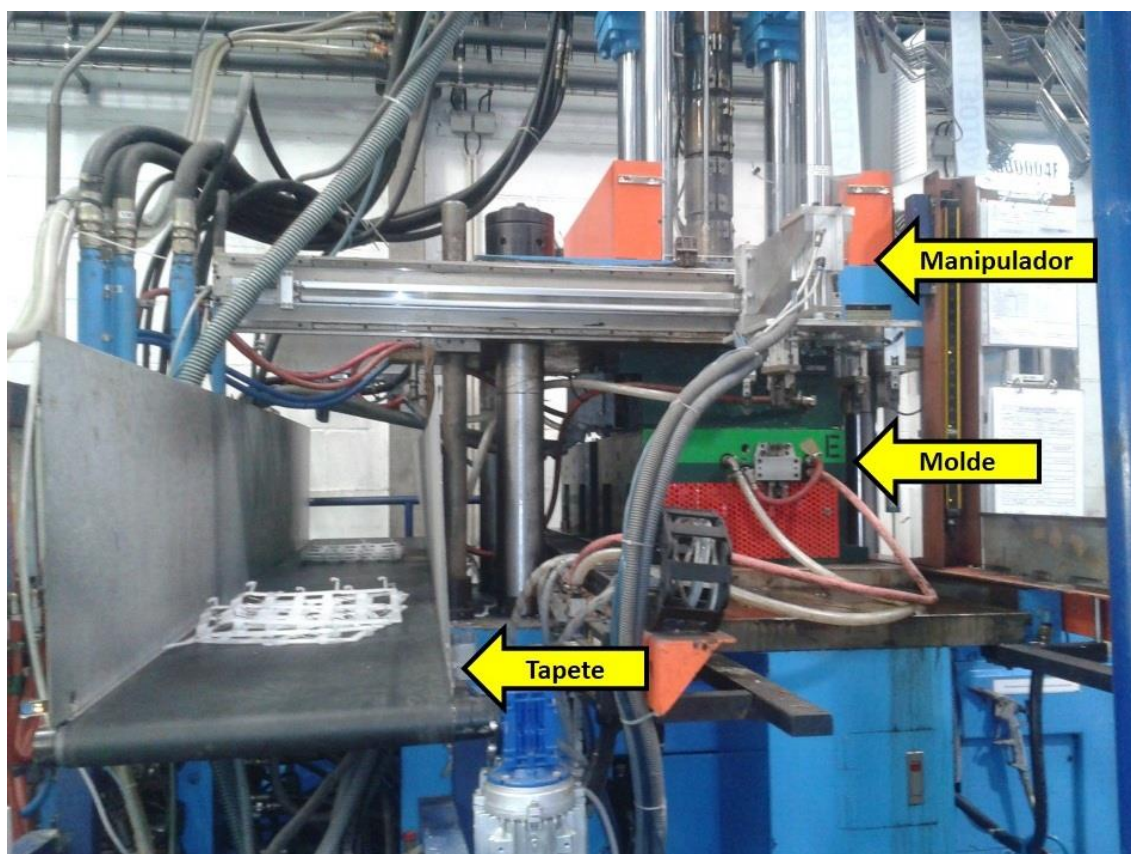


Figura 83 - Sistemas envolvidos no movimento dos produtos.

Os sistemas de extração existentes podem ser divididos quanto ao seu movimento de transporte das peças para o tapete. Existem duas formas distintas para a realização desta função:

- Transporte por um sistema de *transfer* (*gantry*);
- Transporte por um braço rotativo acionado por um servomotor.

Sistemas de extração com sistema de *transfer*.

Os sistemas de *transfer* são compostos por uma estrutura em aço, fixa por soldaduras na cabeça da injetora. Esta estrutura possui um par de guias lineares e um cilindro pneumático sem haste que efetua a animação do sistema. No cilindro sem haste existem dois batentes reguláveis, com a finalidade de definir o curso desejável (Figura 84).

A ligação do *transfer* ao chassis, onde se encontram os componentes que interagem com a peça a extrair, é realizado por um braço de ligação. O braço é constituído por uma base com carros de esferas e dois acoplamentos, que encaixam nas guias lineares e pinos de acoplamento do *transfer* (Figura 85).

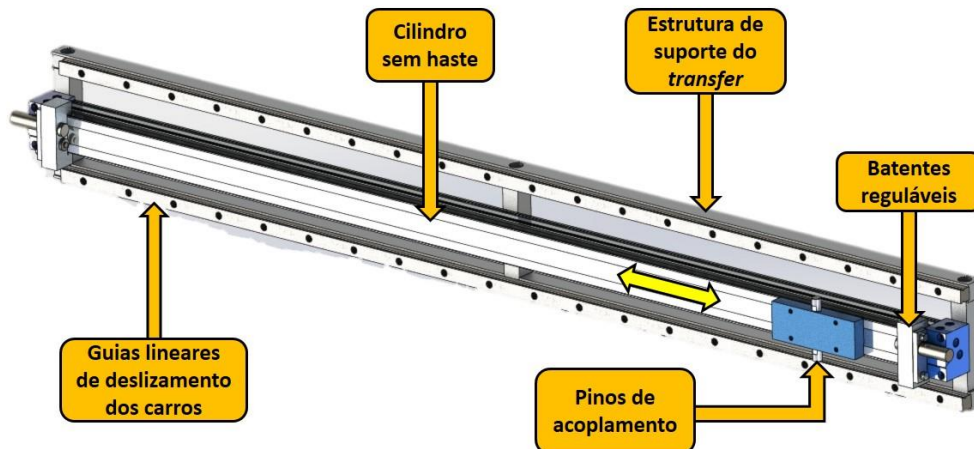


Figura 84 - Sistema de *transfer* utilizado nos manipuladores.

A base de suporte contém um sistema de parafuso que permite ajustar o braço em altura, relativamente à base de suporte (Figura 86). A outra extremidade do braço de ligação suporta um cilindro pneumático de duplo efeito, responsável pelo movimento vertical do manipulador. A base de suporte deste cilindro possui afinação no eixo x. Na base da haste do cilindro central,

encontra-se acoplado um barramento de conexão, que faz a ligação às estruturas dedicadas de extração das peças injetadas, que serão a seguir detalhadas individualmente.

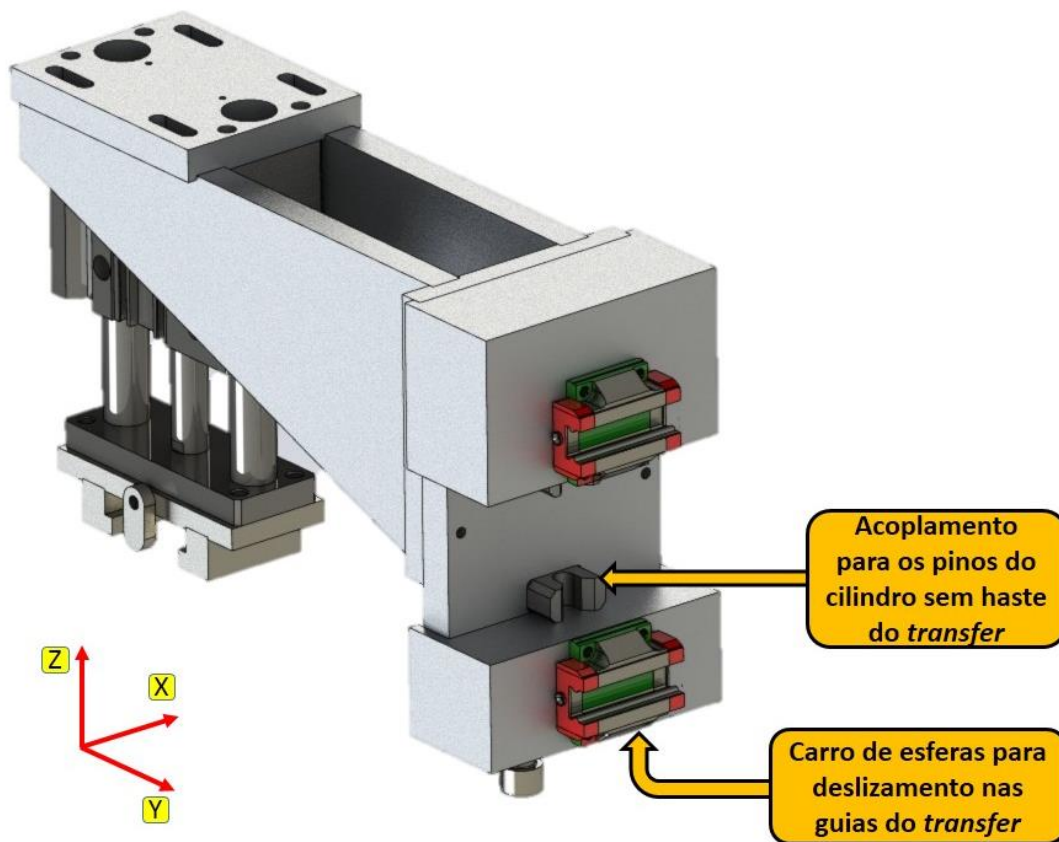


Figura 85 - Braço de ligação e respetivas conexões ao transfer.

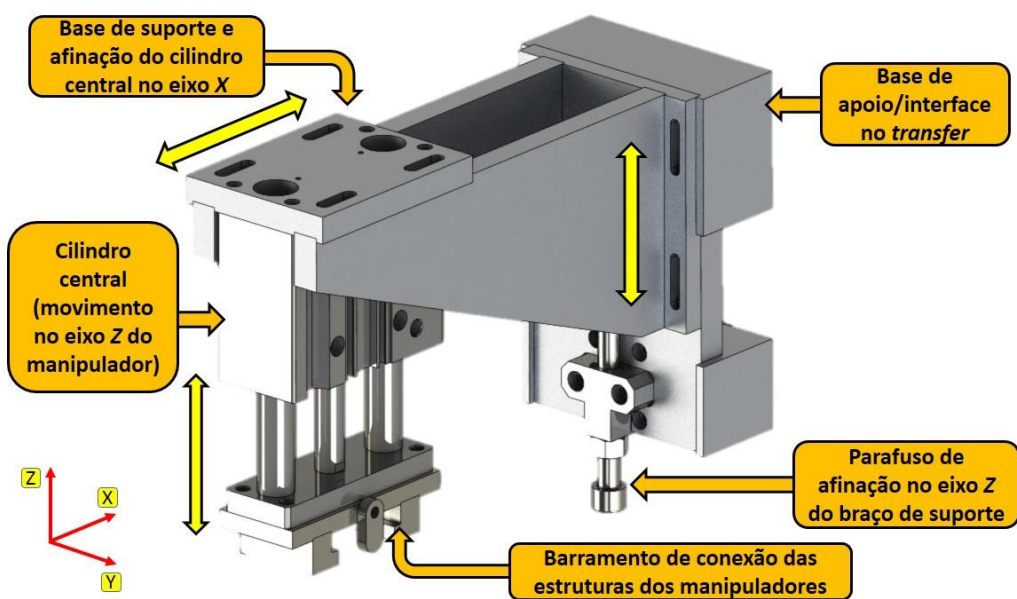


Figura 86 - Afinações e particularidades do braço de suporte

Manipulador dedicado referência 1012128999005F.

Este manipulador é um dos mais simples sistemas de extração dedicados. É composto pelo sistema de *transfer* que faz o transporte da peça para o tapete, acoplado ao braço de suporte com um cilindro central que executa o movimento de subida e descida de duas *garras* que captam a peça. A estrutura possui ainda uma barra estabilizadora, que impede oscilações da peça durante o transporte, como demonstrado na Figura 87.

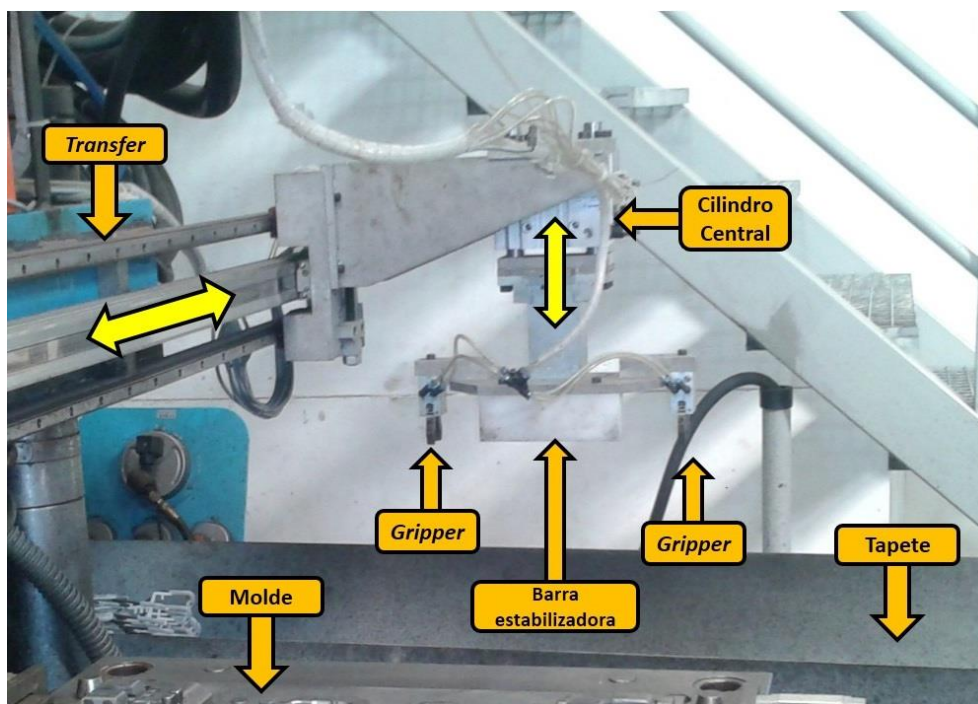


Figura 87 - Sistema de extração dedicado para a referência 1012128999005F.

Na Figura 88 encontra-se representada a peça final removida pela extração da Figura 87 acima referida.

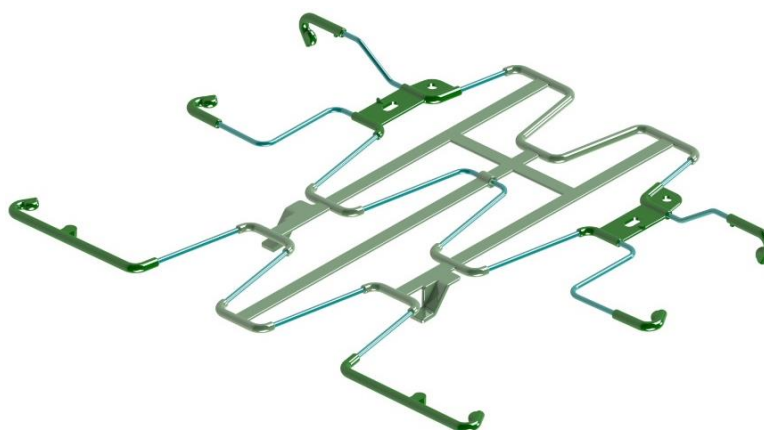


Figura 88 - SP 1012128999005F.

Manipulador dedicado referência 1013028999003J

O manipulador da Figura 89 possui o mesmo sistema para os movimentos de transporte e aproximação ao molde. O chassi é composto por uma chapa de alumínio com quatro garras posicionados estrategicamente para a captação da referência correspondente.

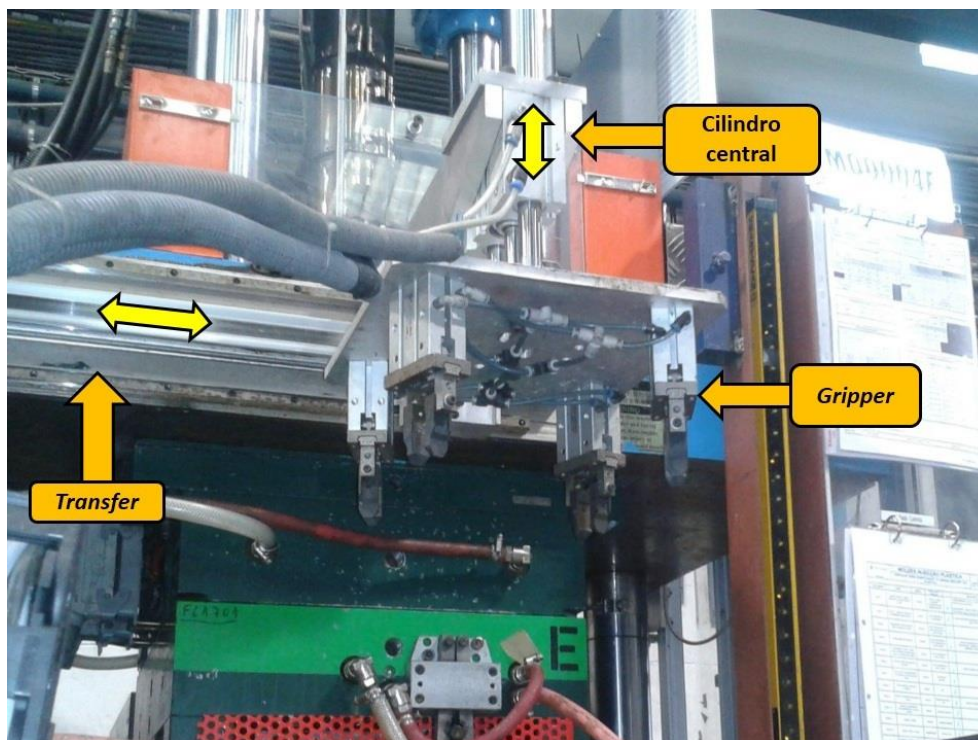


Figura 89 - Sistema de extração dedicado para a referência 1013028999003J.

A peça removida pelo manipulador dedicado demonstrado acima encontra-se representada na Figura 90.

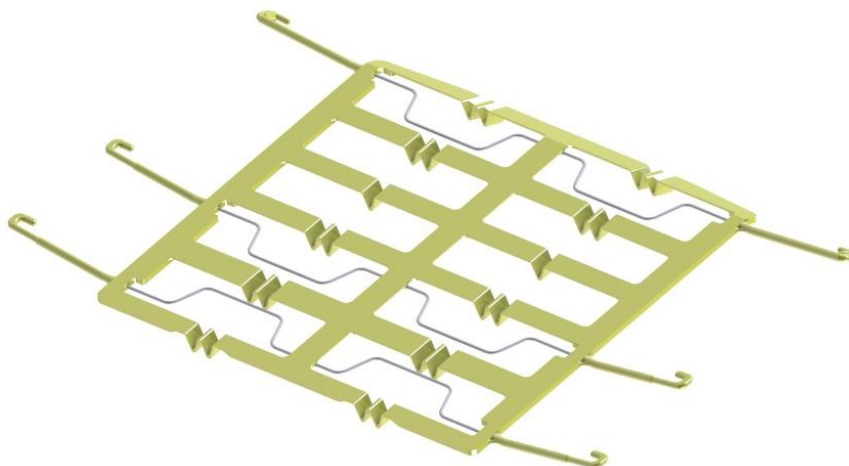


Figura 90 - Coxim 1013028999003J.

Manipulador dedicado referências 121911548D01 e 1213045999001H

O chassis deste manipulador possui quatro garras, em que duas estão animadas de mais um movimento vertical, por estarem acopladas a um cilindro auxiliar. Esta característica, como já referido no problema das contra-saídas, permite introduzir um declive na peça que faz com que se minimize ou mesmo anule o efeito de contra-saídas existente nas hastes de extração de alguns moldes. Este manipulador é funcional para duas referências que são muito semelhantes (Figura 91).

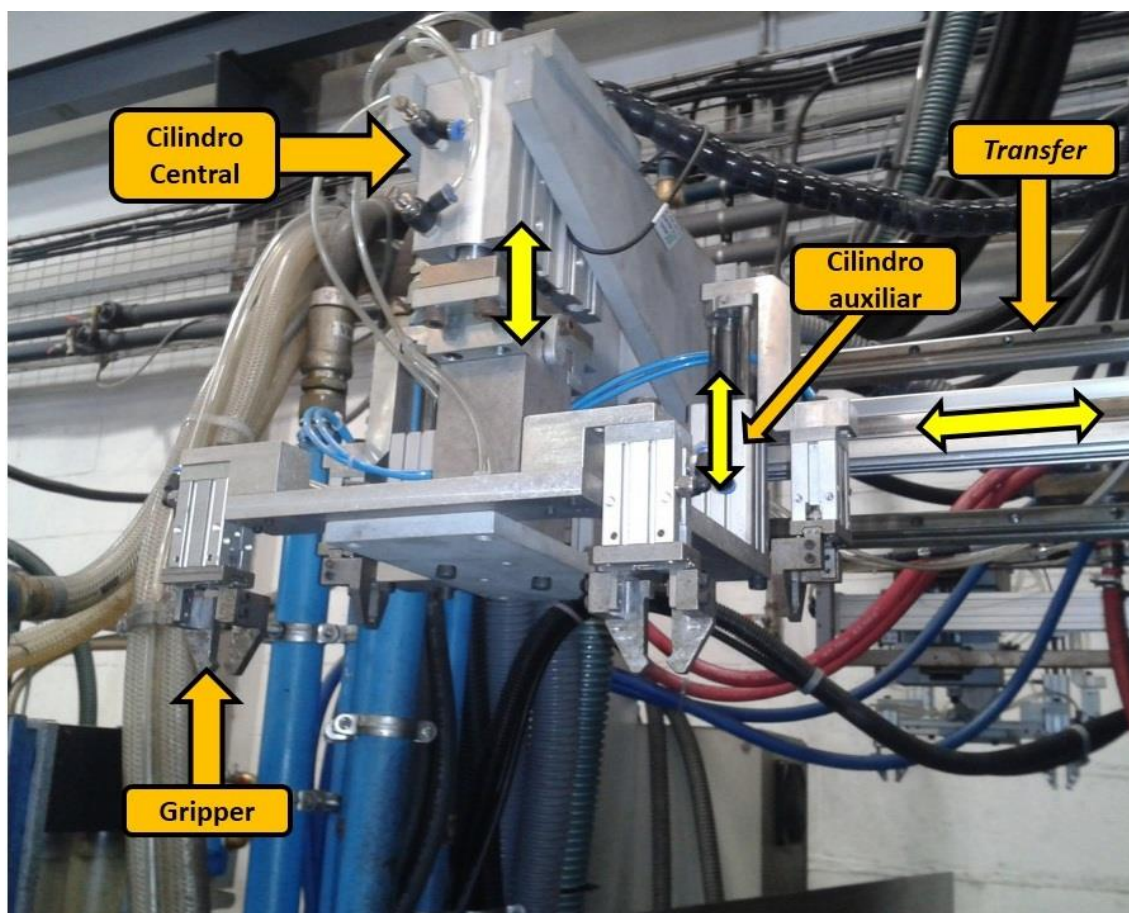


Figura 91 - Sistema de extração dedicado para as referências 121911548D01 e 1213045999001H.

As duas referências extraídas pelo manipulador acima referido encontram-se ilustradas na Figura 92 e Figura 93.

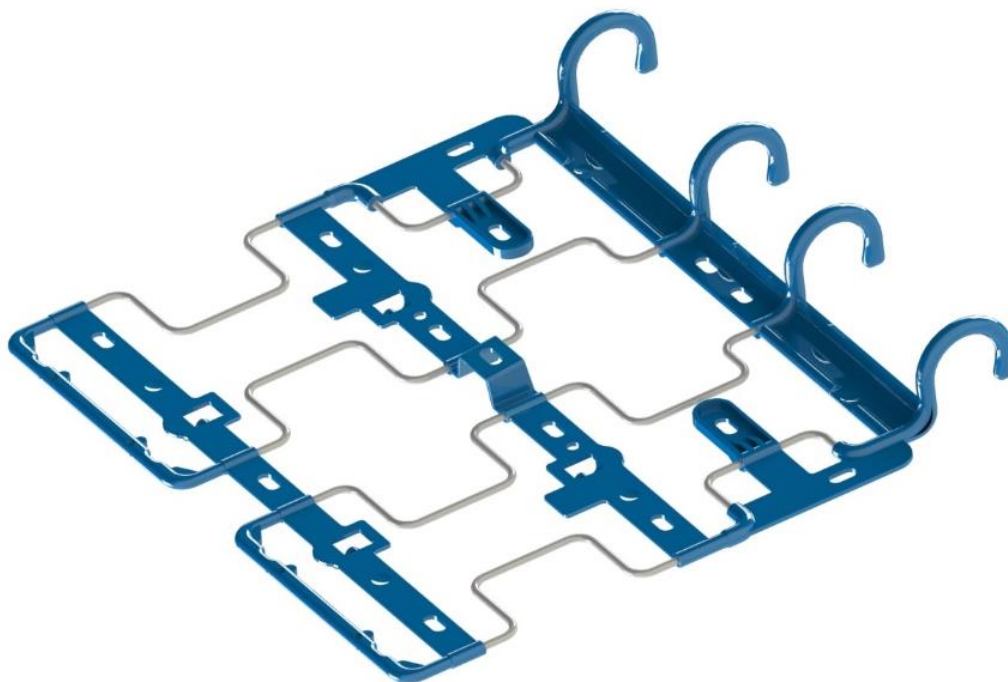


Figura 92 - Coxim 121911548D01.

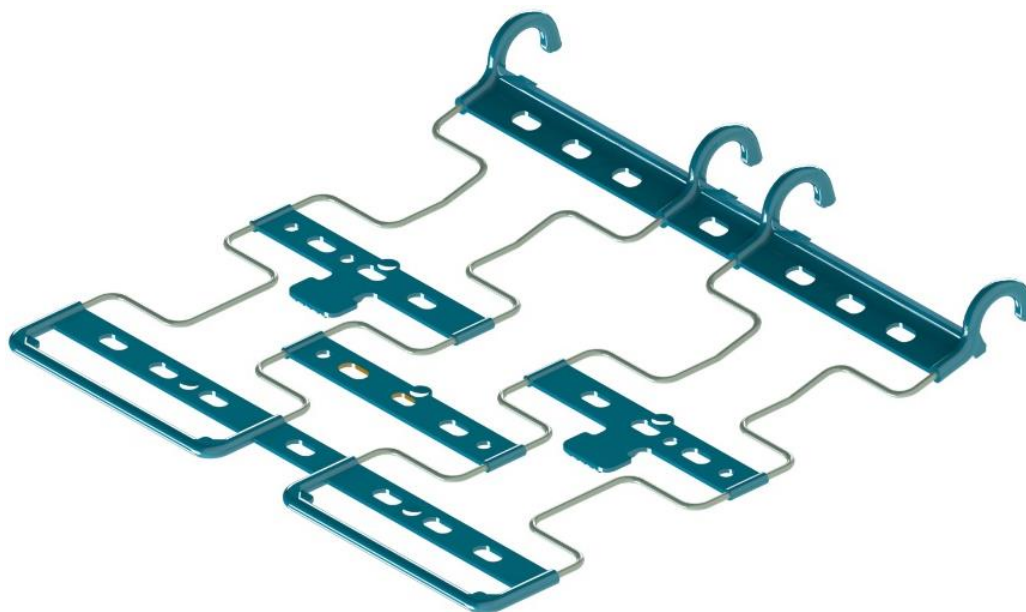


Figura 93 - Coxim 1213045999001H.

Manipulador dedicado referências 1293017248003I e 1213028999001B

Este manipulador realiza também a extração de duas referências. No entanto, este sistema necessita de um *setup*, em que duas garras são movimentadas, devido a uma das referências necessitar de seis pontos de captação e a outra de apenas quatro (Figura 94).

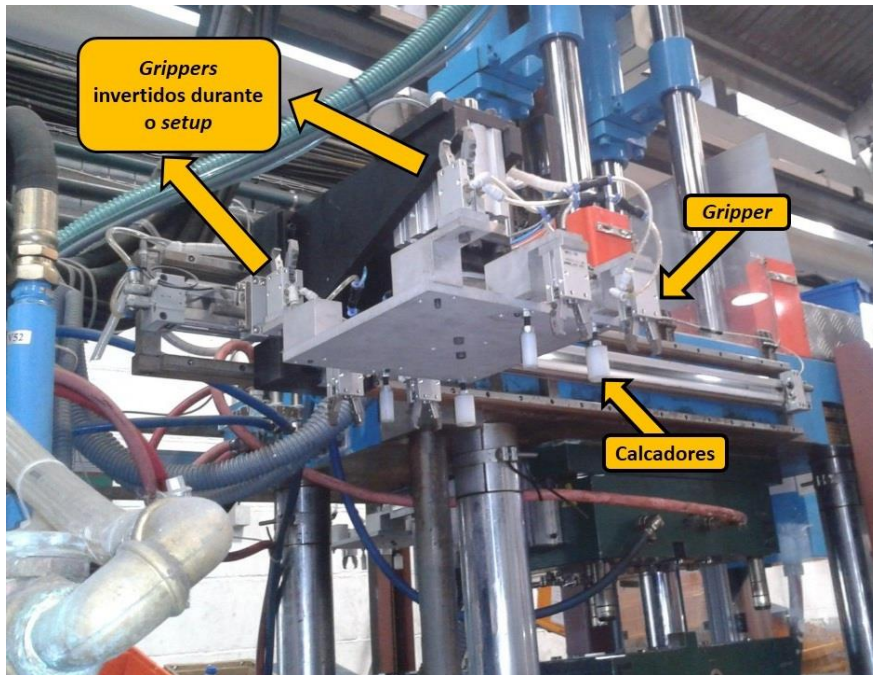


Figura 94 - Sistema de extração dedicado para as referências 1293017248003I e 1213028999001B.

Outra particularidade deste sistema de extração é o uso de calcadores, que deformam a peça elasticamente durante o movimento de descida do cilindro central. Esta deformação tem o objetivo de desmoldar as contra-saídas existentes nas duas laterais da peça a extrair (Figura 95).

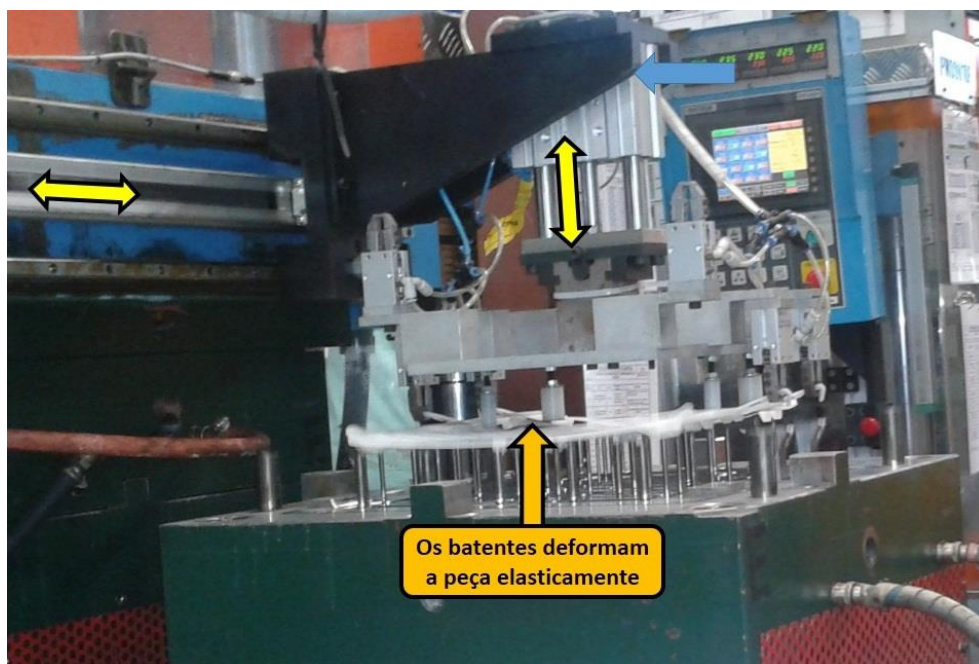


Figura 95 - Deformação elástica da peça devido aos calcadores.

As peças extraídas pelo manipulador da Figura 95 são as apresentadas na Figura 96 e Figura 97.

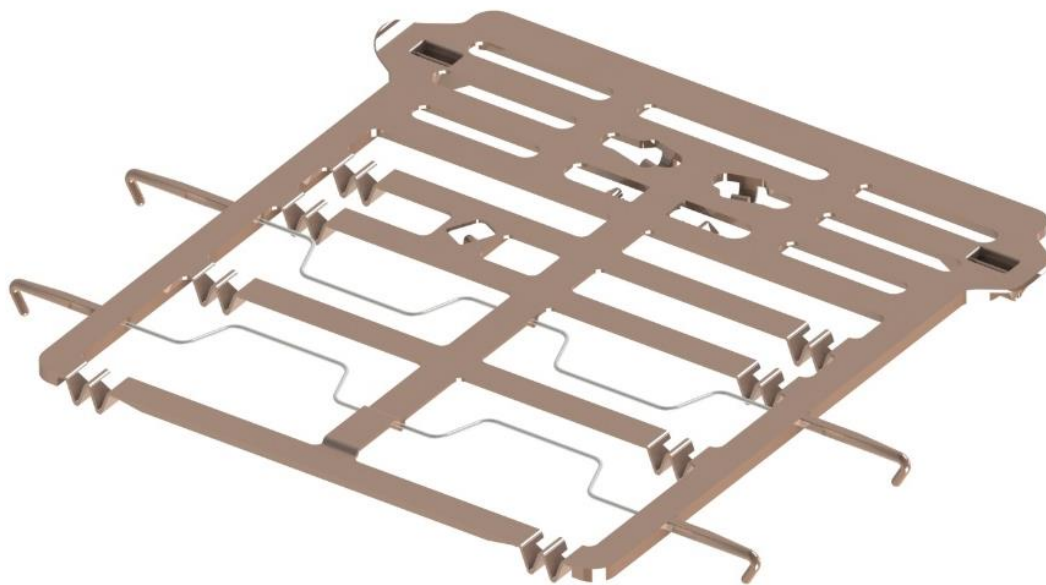


Figura 96 - Coxim 1293017248003I.

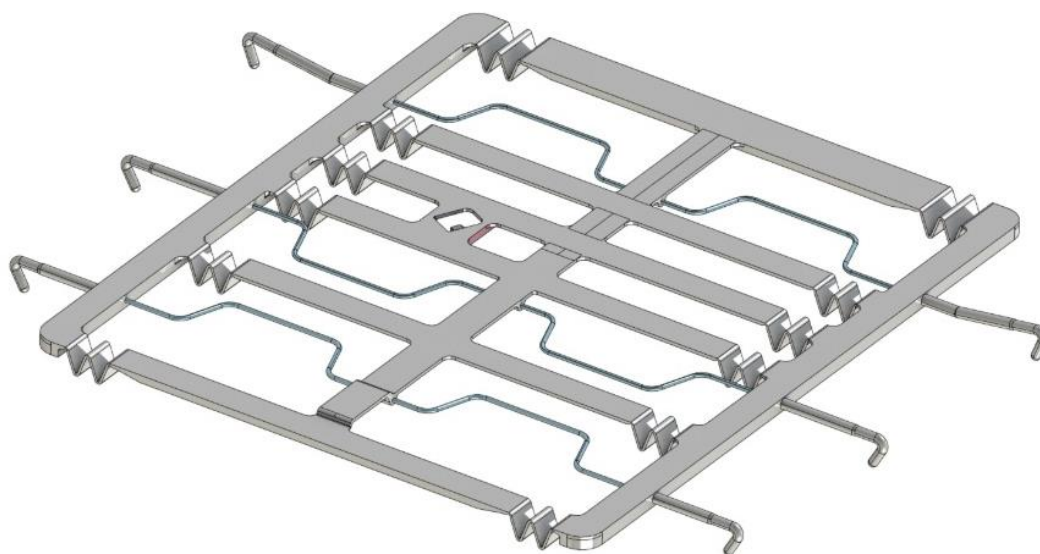


Figura 97 - Coxim 1213028999001B.

Manipulador dedicado referências 121911900D01 e 121911901B00

O manipulador da Figura 98 é constituído por oito garras, em que quatro estão acopladas numa haste fixa a um cilindro auxiliar guiado. Assim, o efeito de declive, semelhante ao referido no manipulador da Figura 91, é conseguido para que se possa evitar zonas negativas de contra-saídas no molde.

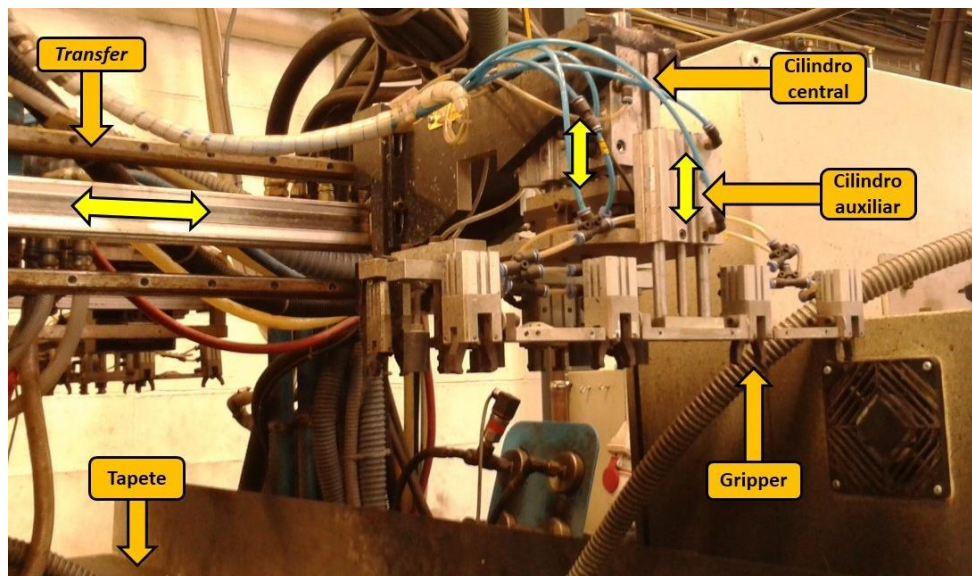


Figura 98 - Sistema de extração dedicado para as referências 121911900D01 e 121911901B00.

Como no caso anterior, este manipulador realiza a extração de duas referências que têm diferenças no diâmetro dos ganchos. Este pormenor faz com que a peça de gancho de menor diâmetro tenha uma prisão mais elevada nas hastes de extração. Para contornar este problema, uma barra de *nylon* verde e quatro calcadores (Figura 99), são montados na haste acoplada ao cilindro auxiliar, para que no movimento de descida vertical liberte os ganchos da zona de contra-saída das hastes de extração, devido ao efeito de cunha que exerce na parte de traz dos ganchos da peça.

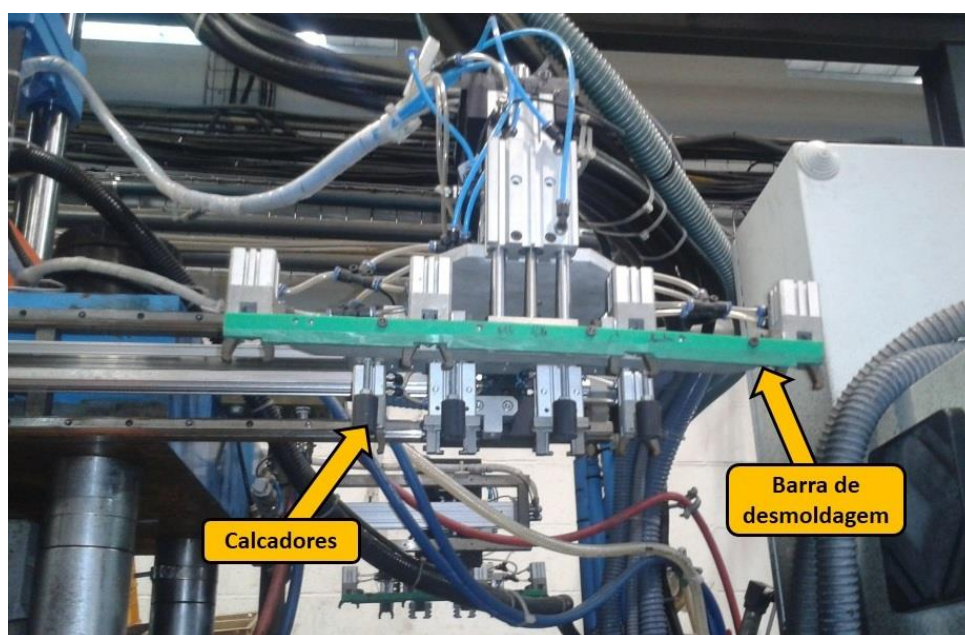


Figura 99 - Barra de desmoldagem adicionada no *setup* para a referência 121911900D01.

As referências removidas pelo manipulador com e sem barra de *nylon* estão representadas na Figura 100 e Figura 101, respectivamente.

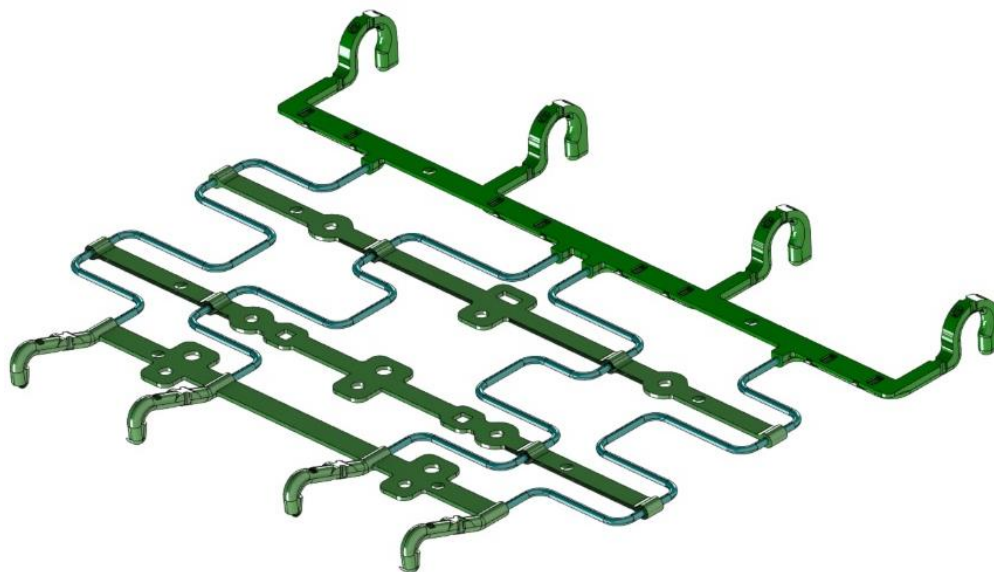


Figura 100 - Coxim 121911900D01.

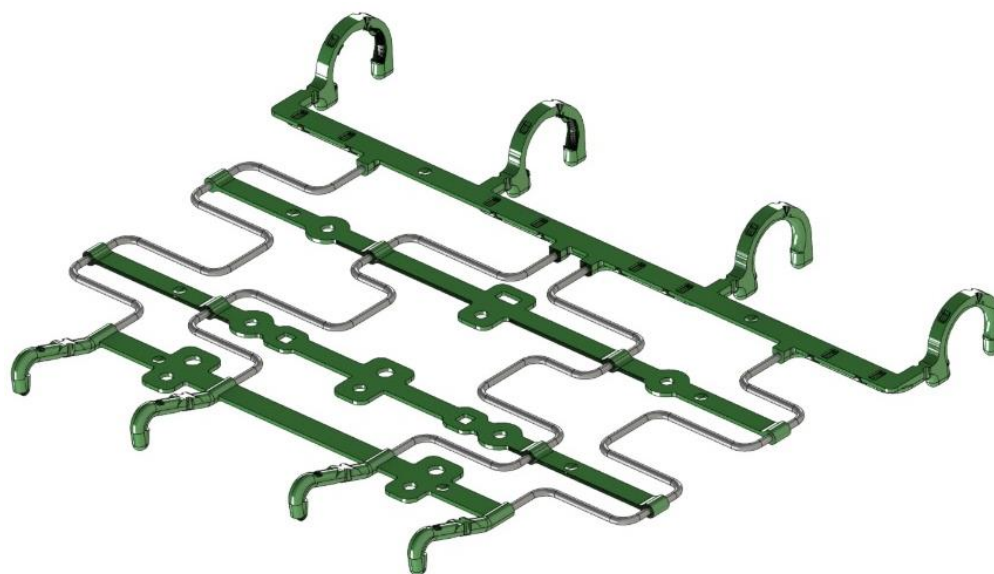


Figura 101 - Coxim 121911901B00.

Manipulador para múltiplas referências

O manipulador de múltiplas referências, tal como o nome indica, tem a capacidade de extrair do molde para o tapete várias peças diferentes (Figura 102). Este manipulador extrai praticamente todo o tipo de peças extraídas pelos manipuladores dedicados, exceto aquelas que possuem contra-saídas, uma vez que a remoção da peça é realizada apenas por um movimento vertical.



Figura 102 - Manipulador de múltiplas referências.

A estrutura ligada ao cilindro que executa o movimento de subida e descida do manipulador, contém dois casquilhos acoplados a dois veios, os quais permitem afinação do manipulador no eixo Z. Por sua vez, estes dois veios constituem a ligação à estrutura retangular que possui oito garras reguláveis em quatro eixos (x,y,z e oz), conforme exposto na Figura 103.

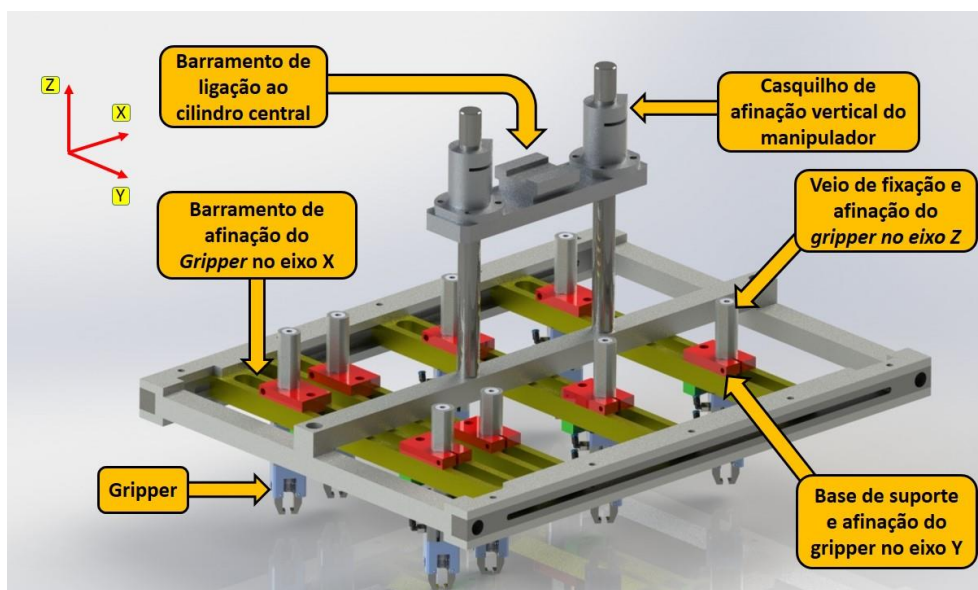


Figura 103 - Particularidades do manipulador de múltiplas referências.

A afinação das garras na estrutura, como representado pelas setas a azul na Figura 104, é realizada através dos barramentos representados a amarelo, reguláveis no eixo X, onde as garras estão albergadas. As garras possuem também afinação no eixo Y, através do deslocamento da peça a vermelho, acoplada no barramento amarelo. O deslocamento em altura (eixo Z) e rotação em torno do eixo Z, são aplicados através da afinação de um veio acoplado na peça a vermelho. Este veio contém uma escala que permite, caso necessário, auxiliar o afinador na propagação do ajuste em altura e rotação para outras garras.

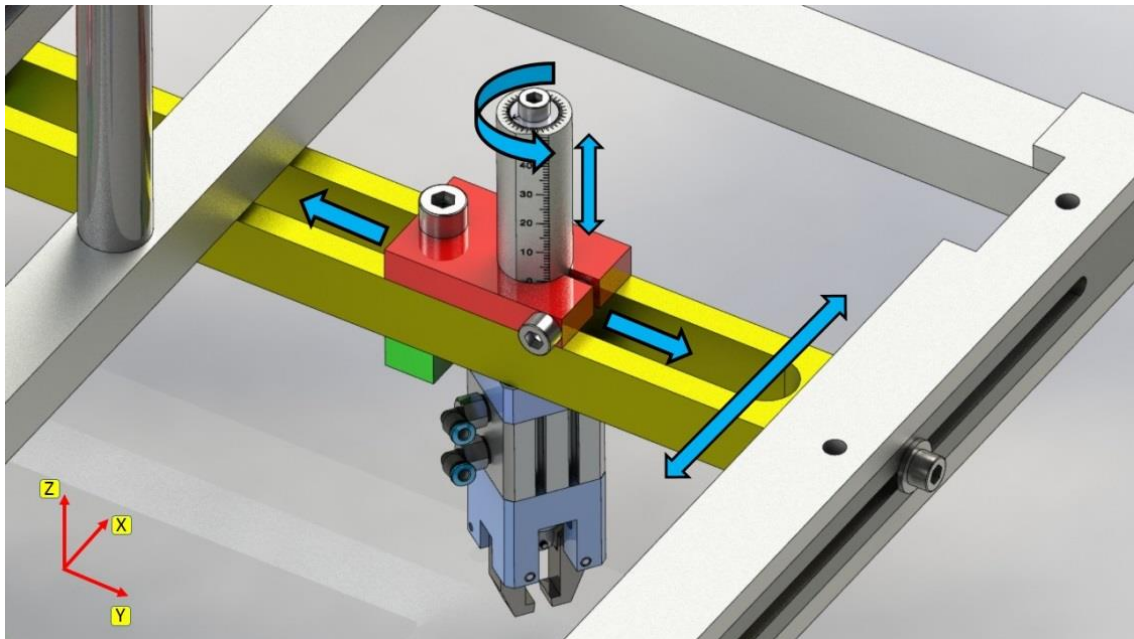


Figura 104 - Afições da garra, representadas pelas setas a azul.

Sistemas de extração com braço rotativo acionado por servomotor.

Os sistemas de extração movimentados por braço rotativo são compostos por um chassi soldado na cabeça da injetora, onde um cilindro pneumático de duplo efeito executa o movimento vertical de uma outra estrutura, apoiada num carro e guia linear. Esta estrutura faz de suporte ao sistema rotativo do servomotor e respetivo perfil. O perfil serve de suporte aos diferentes tipos de acessórios que fazem a interface manipulador-peça (por exemplo, as garras). As estratégias de extração com componentes como garras, calcadores, barras de apoio e outros atuadores que realizam a remoção da peça, são similares às estratégias dos sistemas apresentados anteriormente. A diferença está nas fixações desses componentes, que é realizada no perfil do braço rotativo. Na Figura 105 estão representados os movimentos do manipulador pelas setas a amarelo, assim como os componentes mais relevantes.

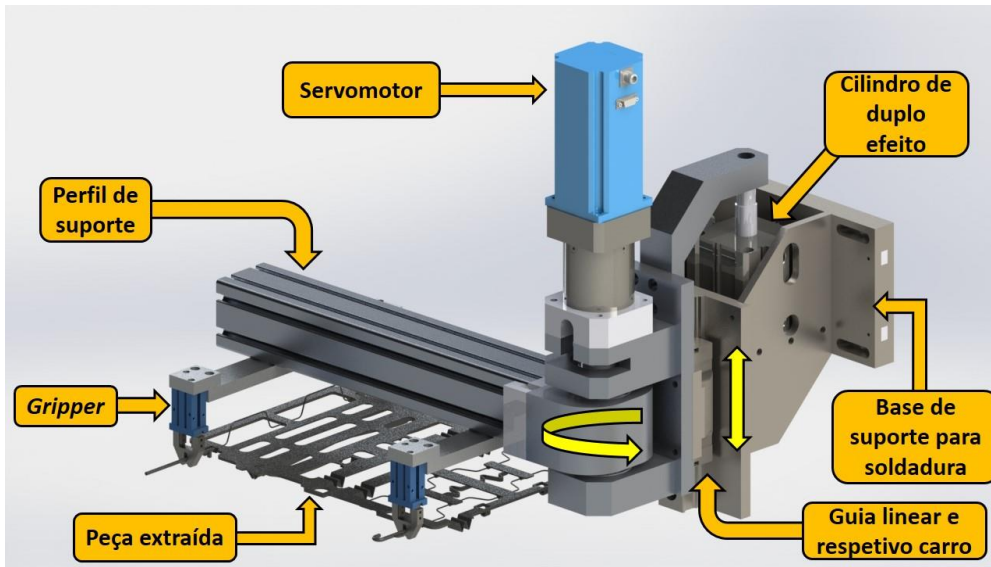


Figura 105 - Sistema de extração com braço rotativo acionado por servomotor.

Na Figura 106 está representada uma estratégia de extração dedicada, em que no perfil de alumínio se encontram fixos suportes para dois cilindros de simples efeito que, quando acionados, a haste atua como escora numa das extremidades da peça. A outra extremidade é captada por duas garras, deixando assim a peça suspensa para ser transportada para o tapete.

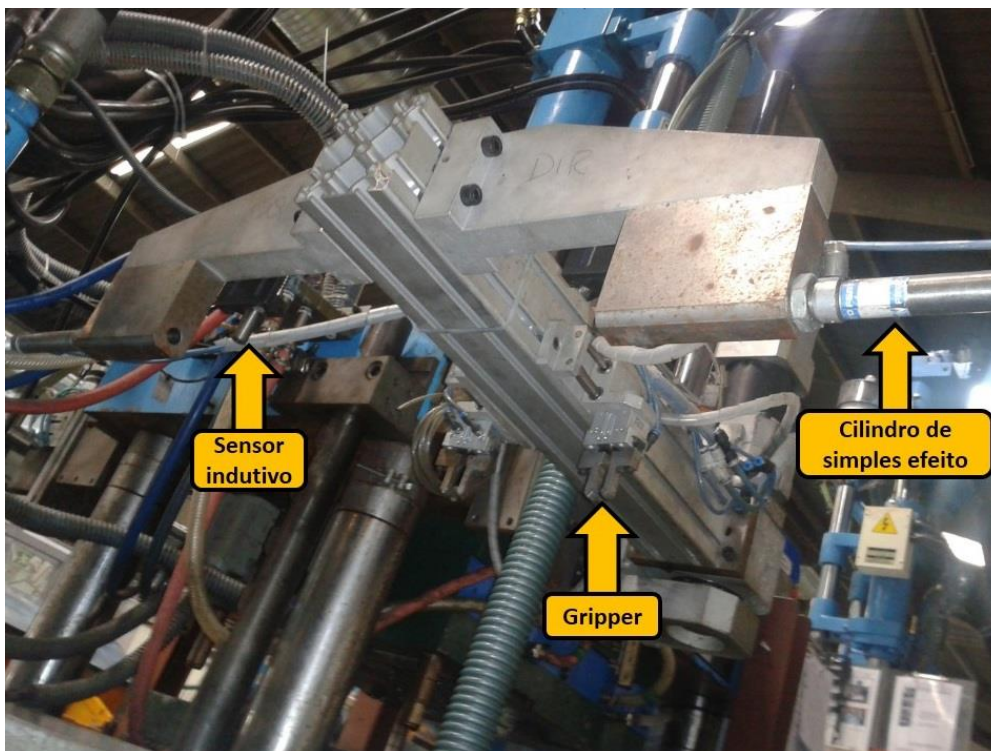


Figura 106 - Estratégia de extração com sensores indutivos para a deteção do arame.

Extração por cilindro pneumático rotativo fixo no molde, referencia 1012145999007H

Anteriormente, apresentaram-se duas formas distintas de transporte das peças para o tapete. No entanto, existe um outro sistema aplicado em apenas uma máquina de injeção, que realiza a extração da peça e transporte para o tapete através de um cilindro pneumático rotativo. O eixo deste cilindro tem acoplado um braço de suporte com um cilindro linear de duplo efeito, paralelo ao eixo de rotação dos ganchos da peça, nas hastes extratoras do molde. Este cilindro, quando acionado, insere a haste por baixo da peça a extrair e de seguida, através do cilindro rotativo, tomba a peça para o tapete (Figura 107).

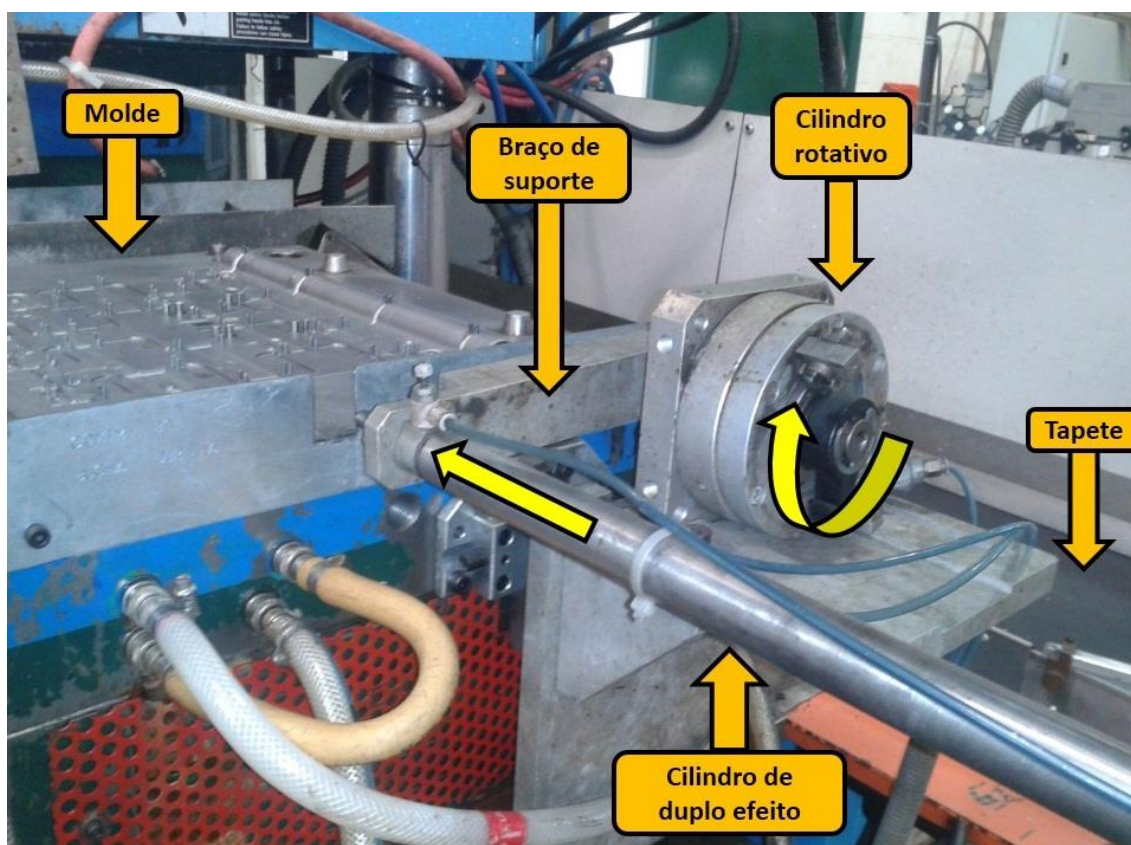


Figura 107 - Componentes e movimentos da extração por cilindro pneumático rotativo.

Na Figura 107 encontram-se representados pelas setas a amarelo, os movimentos realizados pelos atuadores pneumáticos dos sistemas de extração. É importante salientar que esta referência pode ter esta forma de extração, porque é a única em que os ganchos estão dispostos paralelamente ao tapete. O componente removido, por este tipo particular de extração, é a referência ilustrada na Figura 108.

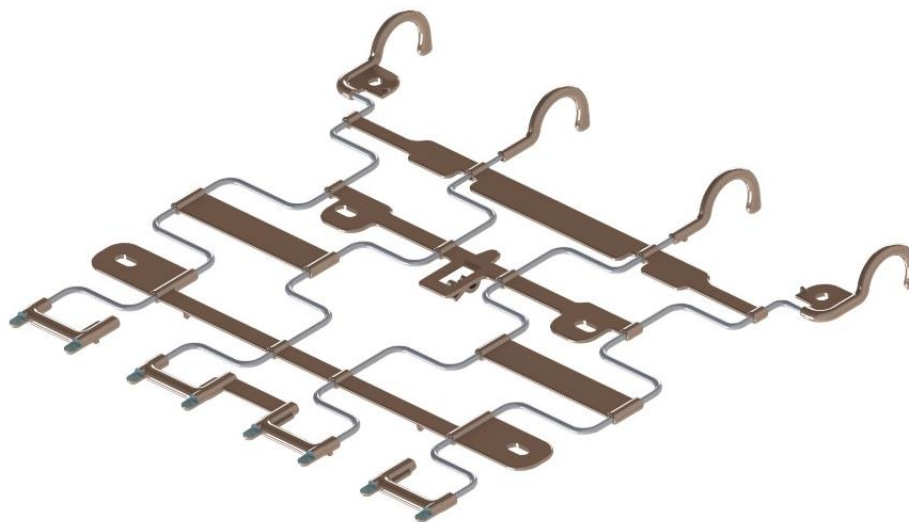


Figura 108 - Coxim 1012145999007H.

3.3.5. Melhorias pretendidas

Manipulador de extração flexível

Da análise do problema, verificou-se que os sistemas de extração das peças sobre injetadas têm muito pouco flexibilidade e alguns produtos não têm solução aparente para poderem ser extraídos automaticamente. Por outro lado, apurou-se que algumas peças eram danificadas durante a extração, onde o principal motivo se devia às zonas com negativos. Para eliminar estes problemas, é necessário criar um sistema de extração flexível e que elimine os danos causados pelas contra-saídas durante a extração. Dado que um dos objetivos indicados pela empresa é aproveitar ao máximo o material existente nos sistemas já implementados, apenas se pretende criar a estrutura com as valências necessárias para cumprir os requisitos, mantendo o sistema de transporte de peças para o tapete já equipado em grande parte das máquinas. Desta forma, teremos uma maior facilidade de implementação e um menor período de amortização do investimento.

Sistema de abastecimento de arames

Relativamente ao abastecimento de arames no molde, pretende-se automatizar uma máquina de injeção para uma referência, mantendo a opção de abastecimento manual. Este sistema deverá ter em conta uma melhoria significativa do abastecimento de arame, já que o sistema de caixas ou de guias terá de ser descartado no processo automático. Desta forma, eliminar-se-á os problemas introduzidos pelo operador, muitas vezes causados pelo facto de esta tarefa ser extremamente repetitiva, garantindo assim uma maior continuidade do processo com menos

interrupções, que repetidamente dão origem a problemas de qualidade no produto final (por exemplo plástico injetado já degradado por excesso de tempo no fuso ou injeção de peças sem algum inserto). O aumento de produtividade é igualmente esperado já que o sistema automático deverá possuir um tempo de ciclo menor.

3.4. Anteprojeto

3.4.1. Anteprojeto do Manipulador Universal

Como ponto de partida para o anteprojeto do manipulador universal, avaliaram-se as estratégias já utilizadas em sistemas de extração existentes, assim como, a identificação das estruturas que se poderiam manter no desenvolvimento do novo manipulador. No passo seguinte, analisou-se as peças injetadas, dando especial importância ao grau de complexidade no que respeita a dobras e número de arames que as peças incluíam, assim como às zonas injetadas que originavam zonas negativas e reduziam os pontos de arame visível disponíveis para manusear a peça pelo manipulador. Posteriormente, analisou-se o movimento de extração manual efetuado pelos operadores, de acordo com as peças que possuíam zonas negativas, com o objetivo de determinar o tipo de movimento necessário para desmoldar as mesmas. Perante este diagnóstico, fez-se um esboço de como poderia ser o manipulador capaz de atender aos problemas já mencionados.

3.4.1.1 Requisitos iniciais para o Manipulador Universal

Algumas restrições importantes foram impostas pela empresa, que condicionaram o desenvolvimento do manipulador de extração das peças sobre-injetadas. As condições exigidas foram as seguintes:

- O sistema de *transfer* utilizado nos sistemas de extração já implementados, deve ser aproveitado para este trabalho, uma vez que faz parte do *layout* da máquina;
- Devem ser utilizados o máximo de componentes normalizados existentes na empresa, assim como outras infra-estruturas (tapetes, *transfers*, suportes, etc.);

- O manipulador deve conter o conceito de *setup* semelhante ao do manipulador já existente para múltiplas referências;
- O manipulador deve ser capaz de extrair todas as peças já extraídas pelos manipuladores existentes, bem como a maioria das peças que não têm solução de extração automática;
- Deve ser robusto (muitas pinças dos manipuladores já existentes partem);
- O *setup* deve ser simples, para que não obrigue a tempos de paragem prolongados sempre que se muda de referência/molde.

3.4.1.2. Alcance do manipulador/área de trabalho

Os moldes de injeção concebidos para o fabrico dos coxins e SP apresentam variações significativas nas suas dimensões, consoante as dimensões da peça, número de arames usados e respetiva geometria das dobras. Na Figura 109, encontra-se representada a área de trabalho da máquina injetora com as respetivas dimensões para aperto dos moldes na mesa deslizante. A partir destas dimensões, pode-se facilmente estimar o alcance necessário para as afinações do manipulador.

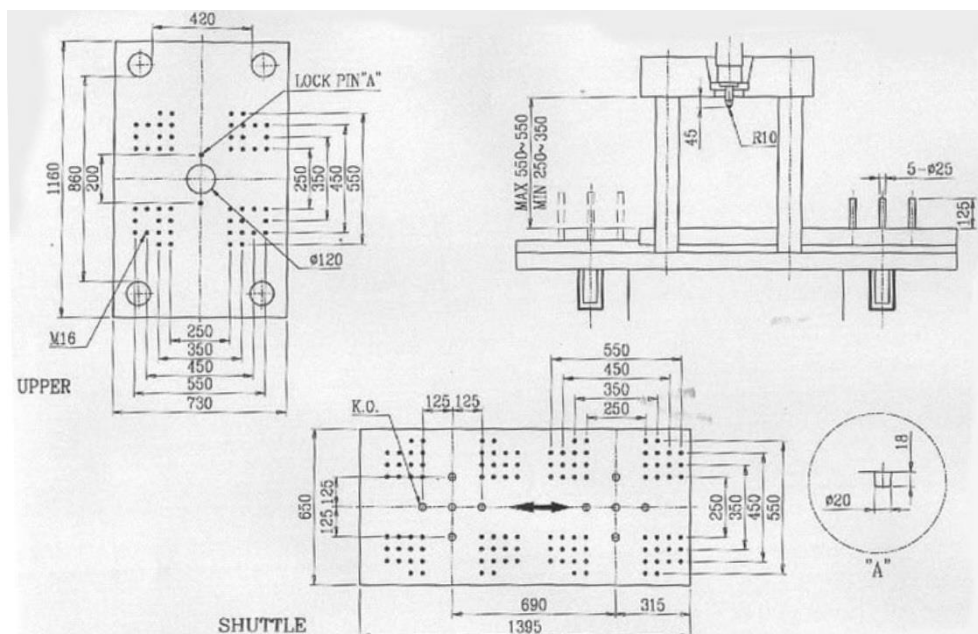


Figura 109 - Dimensões da máquina para montagem dos moldes (SPS - Senur Plastik Sistemleri, s.d.).

No entanto, devido ao manipulador de múltiplas referencias já ter sido projetado tendo em consideração as dimensões máximas e mínimas dos moldes e respetiva máquina injetora, de acordo com o caderno de encargos existente, optou-se por atribuir as mesmas dimensões a nível do alcance de afinação das garras.

3.4.1.3. Estudo da extração das peças do molde

Algumas peças injetadas têm a possibilidade de ser extraídas apenas com um movimento vertical, outras possuem contra-saídas numa extremidade (Figura 110), ou até mesmo nas duas, como representado na Figura 111 e, nestes casos, mesmo com o uso de balancés na extração do próprio molde, não é possível uma extração simples.

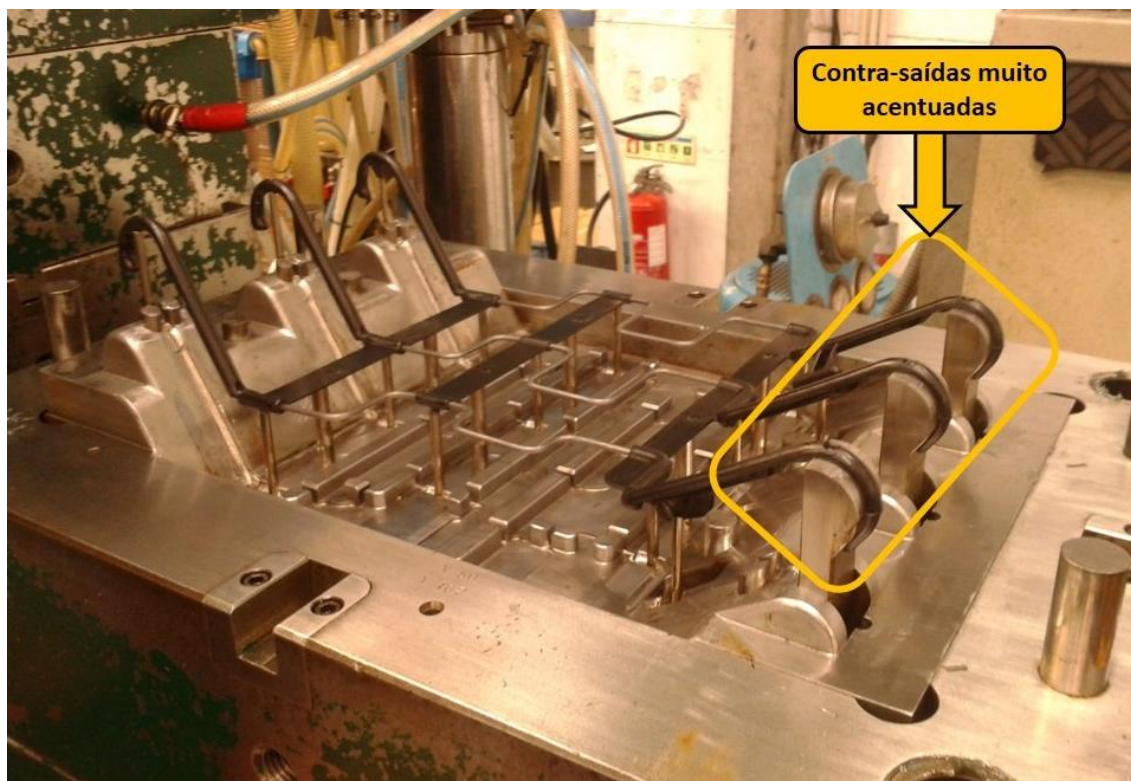


Figura 110 - Peça com contra-saída acentuada nas hastes extratoras.

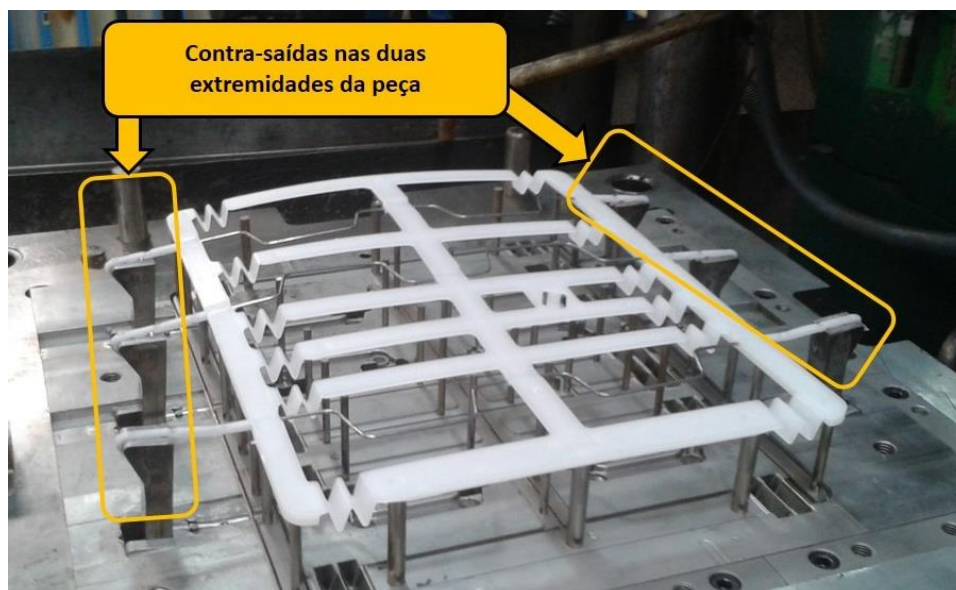


Figura 111 - Peça com contra-saída nos balancês das duas extremidades.

No caso de as peças não possuírem qualquer zona negativa em relação ao molde, a extração é realizada de uma forma tão simples como pegar num objeto qualquer. Na Figura 112 estão identificadas as extremidades da peça completamente livres, que facilitam a sua extração.

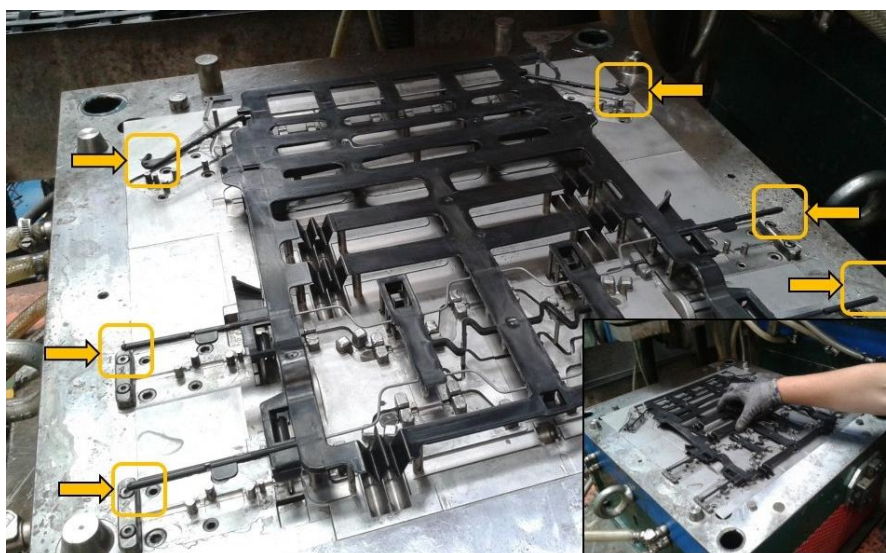


Figura 112 - Peça sem qualquer contra-saída, de fácil extração manual.

A maioria das peças com zonas negativas ou contra-saídas, estão localizadas em apenas uma das extremidades onde se localizam os ganchos. Nesta situação, o movimento realizado pelo operador para remover a peça é o representado pelas setas a amarelo na Figura 113.

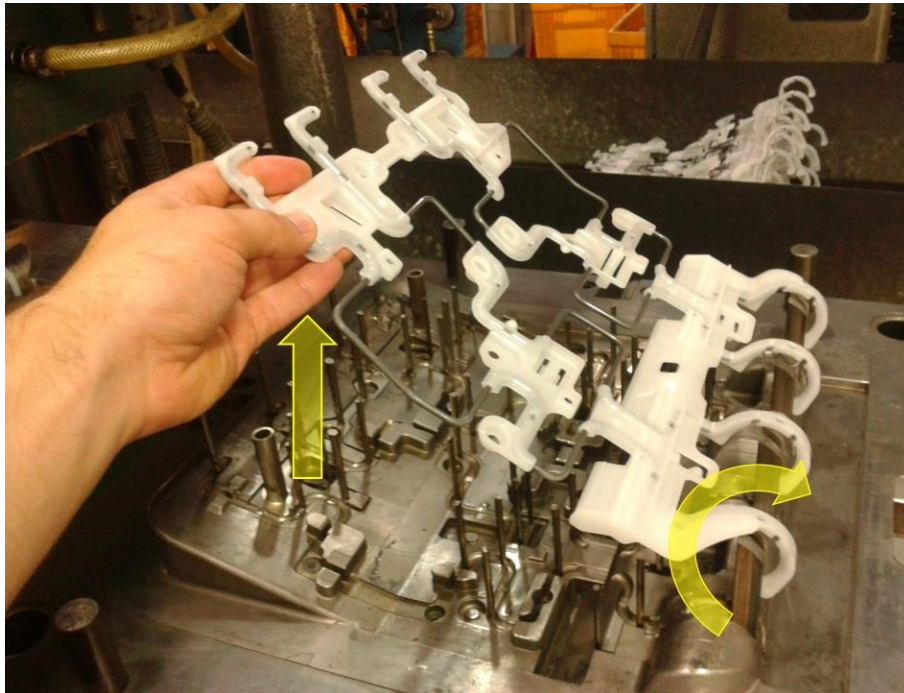


Figura 113 - Movimentos para remover peças com contra-saída numa das extremidades.

Este movimento faz com que os ganchos da peça com contra-saída rodem sobre as hastes extratoras do molde e, com isso, deixem a peça desmoldada. Apesar de este ser o movimento executado nas peças deste tipo, o diâmetro interno dos ganchos necessita de ser controlado regularmente (intervalos de 1h), com um sistema *poka-yoke* (passa/não passa) (Figura 114). O motivo pelo qual este controlo é aplicado é o facto de o movimento levar, por vezes, ao alargamento do gancho.

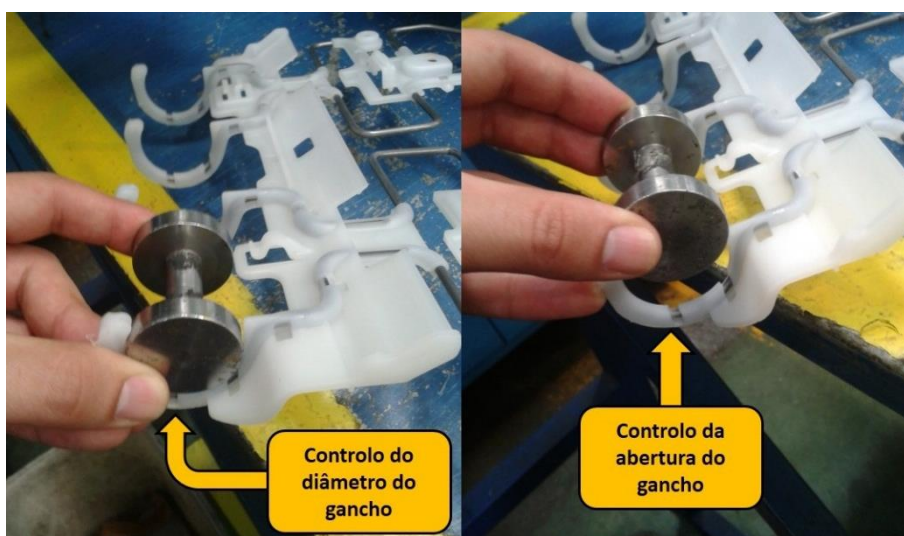


Figura 114 - Exemplo *poka yoke* para controlo dos gachos da peça.

Na Figura 115 encontra-se representada, a título de exemplo, uma mesa com todos os gabaris e calibres dos sistemas *poka-yoke*, que permitem ao operador fazer o controlo do produto.



Figura 115 - Mesa de controlo com gabaris e calibres *poka yoke* para o controlo de qualidade.

O caso mais crítico em que a remoção das peças injetadas seria de maior dificuldade, caracteriza-se pela existência de contra-saídas nas duas extremidades. Contudo, nos moldes para este tipo de peças, a extração deixa uma das extremidades com zona negativa completamente livre em relação à haste extratora do molde, o que permite a sua remoção pelo método anterior. Isto acontece pelo facto de serem usados balancés em uma das duas extremidades com zonas negativas (Figura 116).

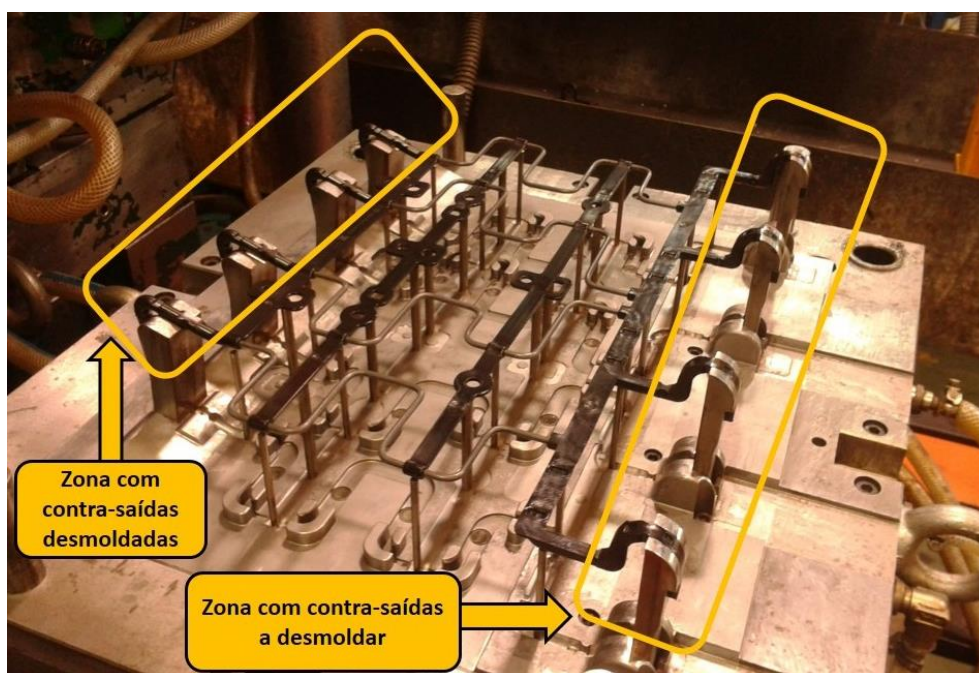


Figura 116 - Peça com contra-saídas nas duas extremidades em que uma delas está desmoldada.

Noutros casos, em que os dois lados estão bloqueados, como as contra-saídas são pouco acentuadas e a peça é muito flexível, devido ao tipo/quantidade de plástico injetado e diâmetro do arame reduzido, a peça pode ser ligeiramente deformada na sua remoção, sem que cause qualquer tipo de dano. Na Figura 117 está representada a forma como o operador remove a peça desse tipo.

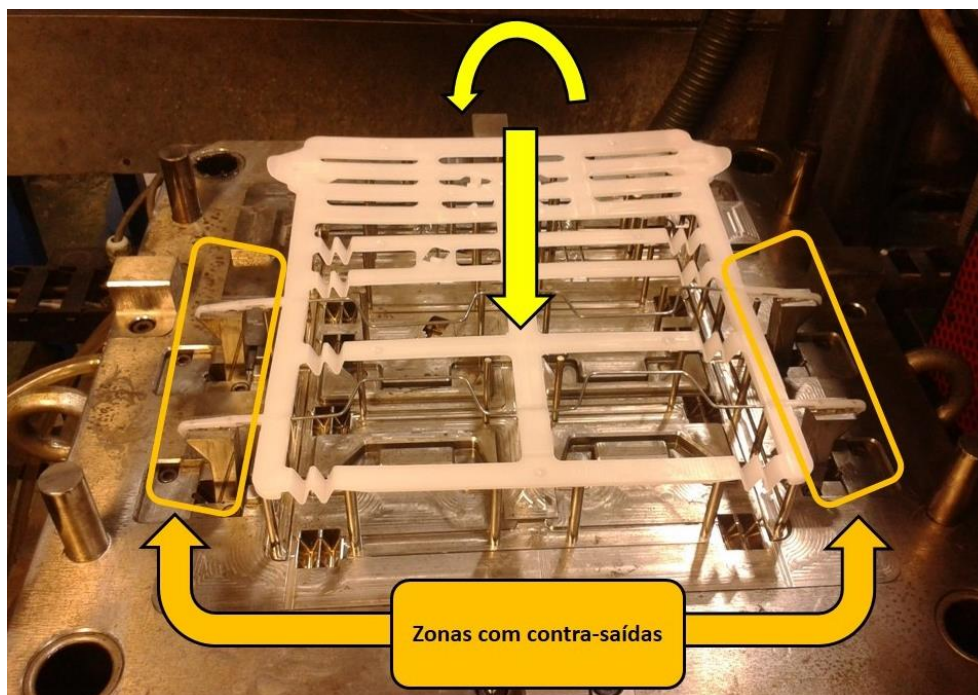


Figura 117 - Peça flexível com contra-saídas nas duas extremidades.

Para remover a peça, o operador pressiona o centro da peça, deformando-a, fazendo com que pelo menos uma das zonas fique desmoldada. Depois, executa o movimento de rotação usado nas peças que só possuem zonas negativas numa das laterais.

3.4.1.4. Apresentação de soluções prévias – esboços para o sistema de extração de peças

Depois da análise do manuseamento de peças pelos operadores com vista à sua remoção do molde, assim como soluções presentes em alguns dos manipuladores existentes e tipos de contra-saídas sem solução de extração, foi necessário pensar numa cinemática capaz de realizar todos os movimentos necessários para eliminar os problemas anteriormente mencionados. Sabe-se que em determinados casos onde as zonas negativas são pouco acentuadas, podem ser eliminadas criando um ligeiro declive na peça durante a sua extração. Em contra partida, se as zonas negativas presentes forem muito acentuadas, é necessário um movimento rotativo exagerado sobre as mesmas para desmoldar as peças. Para juntar estas duas cinemáticas e

cobrir todas as necessidades, pensou-se numa estrutura de dupla báscula, que simula a extrao dos dois casos, consoante a báscula que seja acionada. A estrutura esboçada consiste em duas subestruturas com quatro garras cada, articulados num eixo central. As duas estruturas dão origem a duas básculas, quando acionadas pelos cilindros lineares de duplo efeito correspondentes. Na Figura 118 encontra-se representado o esboço desta estrutura.

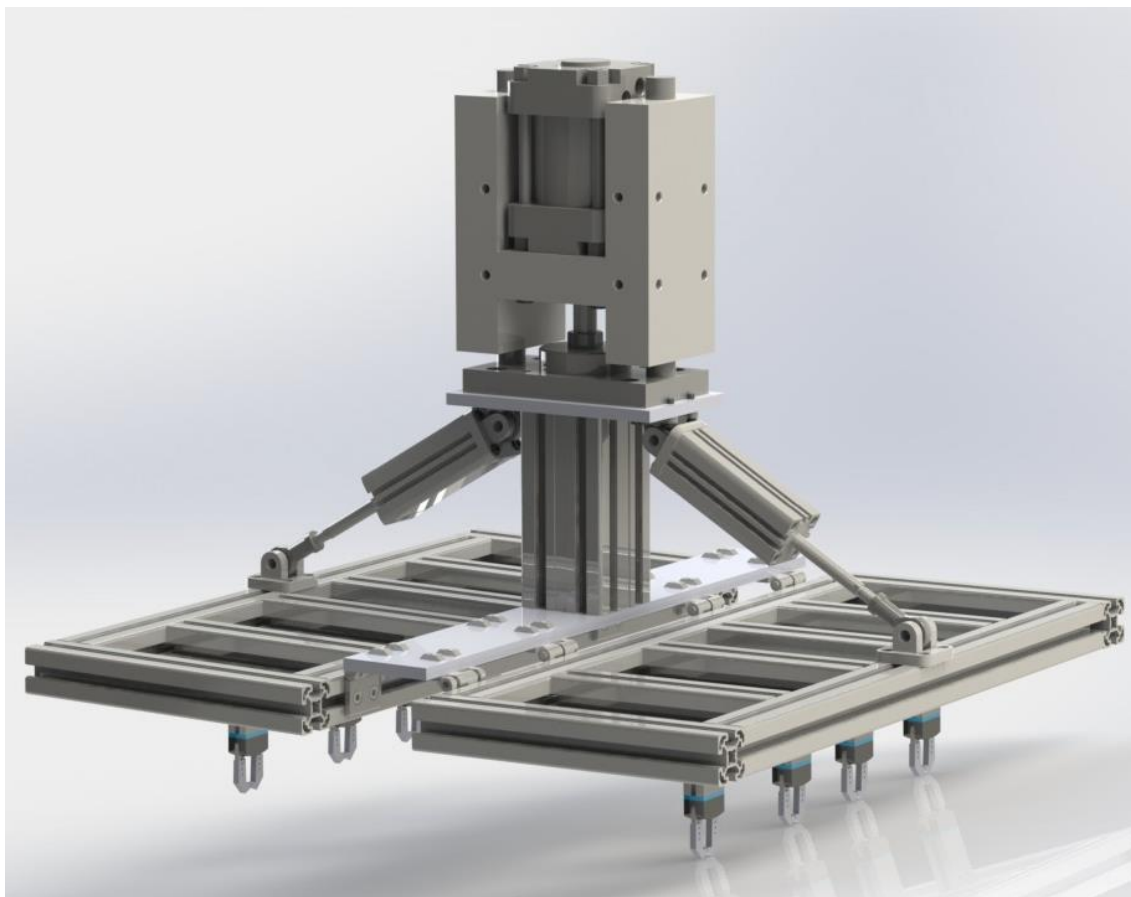


Figura 118 - Esboço inicial de manipulador com dupla báscula.

A ideia deste tipo de cinemática  desmoldar os ganchos com contra-sidas, através da rotação sobre as hastes extratoras do molde, assim que a báscula oposta aos ganchos da peça for acionada. Outra alternativa  pressionar a peça na zona das contra-sidas, através do acionamento da báscula situada nesse local. Neste último caso, elimina-se a possibilidade de surgirem ganchos largos.

Na fase seguinte, dado que era condição da empresa o uso do sistema de transporte por *transfer* e afinações baseadas no manipulador de múltiplas referências, foi conferido ao manipulador basculante a forma apresentada na Figura 119.

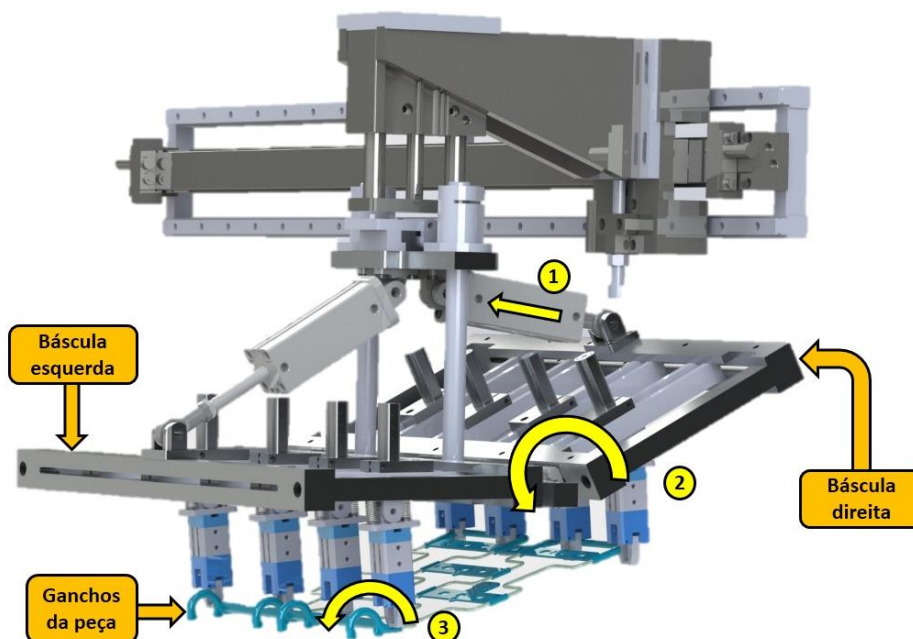


Figura 119 - Cinemática do manipulador com báscula direita.

Como exemplo de extração, encontra-se representado na Figura 119, o modo de extração em que os ganchos da peça sofrem rotação em torno das hastes extratoras. O cilindro (1) recolhe e faz com que a báscula direita realize o movimento de rotação (2) e, como consequência, os ganchos giram sobre as hastes, como está representado no movimento (3). Desta forma, a peça está livre para que seja removida a partir do movimento vertical do manipulador.

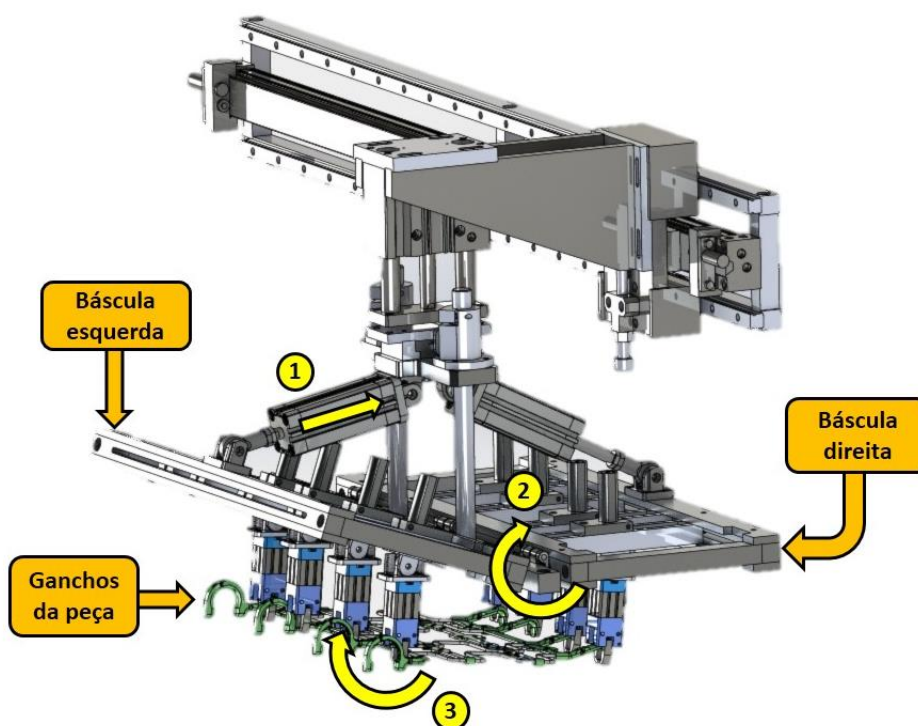


Figura 120 - Cinemática do manipulador com báscula esquerda.

Na Figura 120 encontra-se ilustrada a cinemática do manipulador, quando acionada a báscula esquerda. Neste tipo de extração, o cilindro (1) faz acionar a báscula correspondente (2) no lado em que a peça possui os ganchos, e faz com as garras dessa báscula empurrem os ganchos, fazendo com que se desmoldem (3).

Tendo como base o uso da articulação central para o movimento das duas básculas, rapidamente se percebeu que o sistema de garras necessitava de ser articulado, para que não se danificasse a peça, quando acionadas as básculas. Por esta razão, foi introduzido um *cardan* entre o veio de suporte da garra e a respetiva garra (Figura 121).

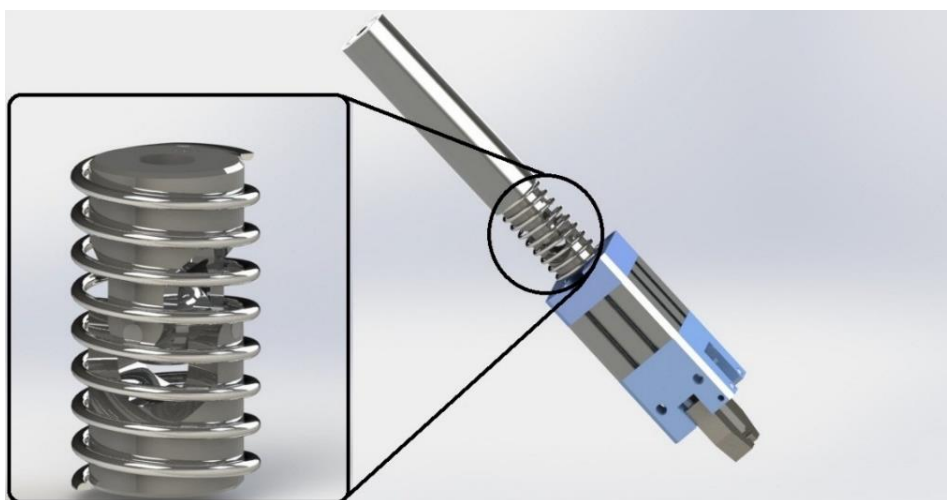


Figura 121 - *Cardan* introduzido para dar mobilidade à garra.

A mola introduzida em torno do *cardan* tem o objetivo de garantir a verticalidade da garra, quando o manipulador ascende para remover a peça. Caso contrário, a garra poderia estar a oscilar, devido ao impacto de paragem no movimento do *transfer* e, por este motivo, falhar o ataque ao arame.

3.4.2.1. Anteprojeto Alimentador/Extração

Para a elaboração do sistema de alimentação de arames, a empresa propôs uma referência com grande cadência de produção. Face ao produto atribuído, verificou-se que este era um dos que não possuía sistema de extração e era produzido, numa máquina em que havia um manipulador dedicado, com braço rotativo acionado por servomotor. Atendendo a estes fatores, começou-se por desenvolver um sistema de extração dedicado para esta referência, usando o sistema

existente na máquina. Depois deste passo, analisou-se a possibilidade de utilizar o manipulador não só na extração, mas também na alimentação dos arames no molde, recorrendo a um alimentador. Validado o conceito pela empresa, realizaram-se alguns esboços de como poderia ser o sistema de extração e respetivo alimentador.

3.4.2.2 Requisitos iniciais Alimentador/Extração

Relativamente ao sistema de alimentação automático de arames no molde, os requisitos principais foram:

- O sistema de alimentação automático deve possibilitar, sempre que necessário, o uso do sistema manual;
- Deve ser usado, sempre que possível, material normalizado existente na empresa;
- O *stock* de arames do sistema deve ter capacidade para pelo menos 1 hora (aproximadamente o tempo de duração das caixas usadas na alimentação manual);
- Deve ser de fácil abastecimento, para não comprometer o abastecimento de outras máquinas;
- Não dificultar o *setup* dos moldes das máquinas de injeção.

3.4.2.3. Apresentação de soluções prévias – esboços para o sistema de extração/alimentação de arames

Manipulador M3M4 SP

A referência M3M4 SP foi o componente proposto pela empresa para realizar o sistema de alimentação automática (Figura 122). Os motivos que estiveram na origem desta escolha por parte da empresa foram:

- Elevado número de vendas (4 017 825 de unidades/ano, atingindo o seu pico em 2015 e 2016);
- Esta referência é sempre injetada na mesma máquina, pelo facto de estar equipada com mecanismos de deteção de falhas de injeção dedicados a este produto;

- A máquina está equipada com o sistema rotativo de servomotor sem qualquer utilização. Como é conveniente aproveitar as infra-estruturas existentes, o manipulador poderá ser desenvolvido em função desse sistema.

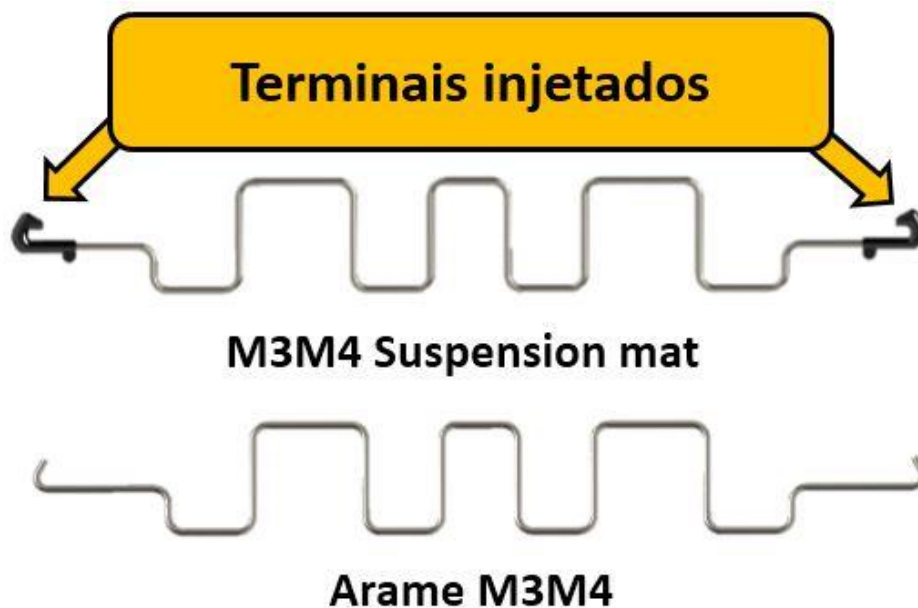


Figura 122 - Referência M3M4 e respetivo inserto metálico (arame) para sobre injeção.

Da análise do molde de injeção deste produto representado na Figura 123, verifica-se que existe a “desvantagem” de serem necessários seis arames que originam seis produtos iguais mas, por outro lado, possui a vantagem de não existir qualquer tipo de contra-saída no componente final depois de injetado.

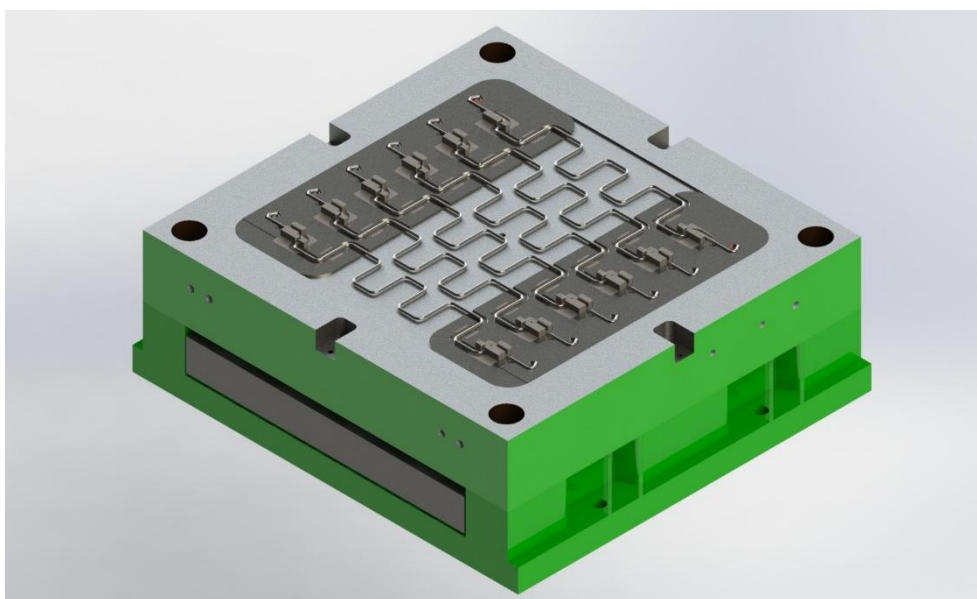


Figura 123 - Molde de seis arames do M3M4 SP.

Tendo em consideração o uso de material existente e devido ao número de componentes injetados ser grande, pensou-se num sistema capaz de evitar um elevado número de pinças para a realização da extração. Desta forma, o investimento do manipulador será ainda mais reduzido.

Dado que não existem negativos entre a peça injetada e o molde, as peças podem facilmente ser removidas com um movimento vertical. Outro detalhe importante é o facto de os seis insertos serem paralelos e equidistantes entre si, e apenas guiados no molde pelas extremidades imediatamente antes da zona injetada, deixando a zona central completamente livre de geometrias com relevos que possam dificultar a captação dos arames.

Como resultado desta análise, pensou-se em extrair os componentes recorrendo a um movimento paralelo de encravamento na zona central dos arames, como representado na Figura 124, pelas setas a amarelo.

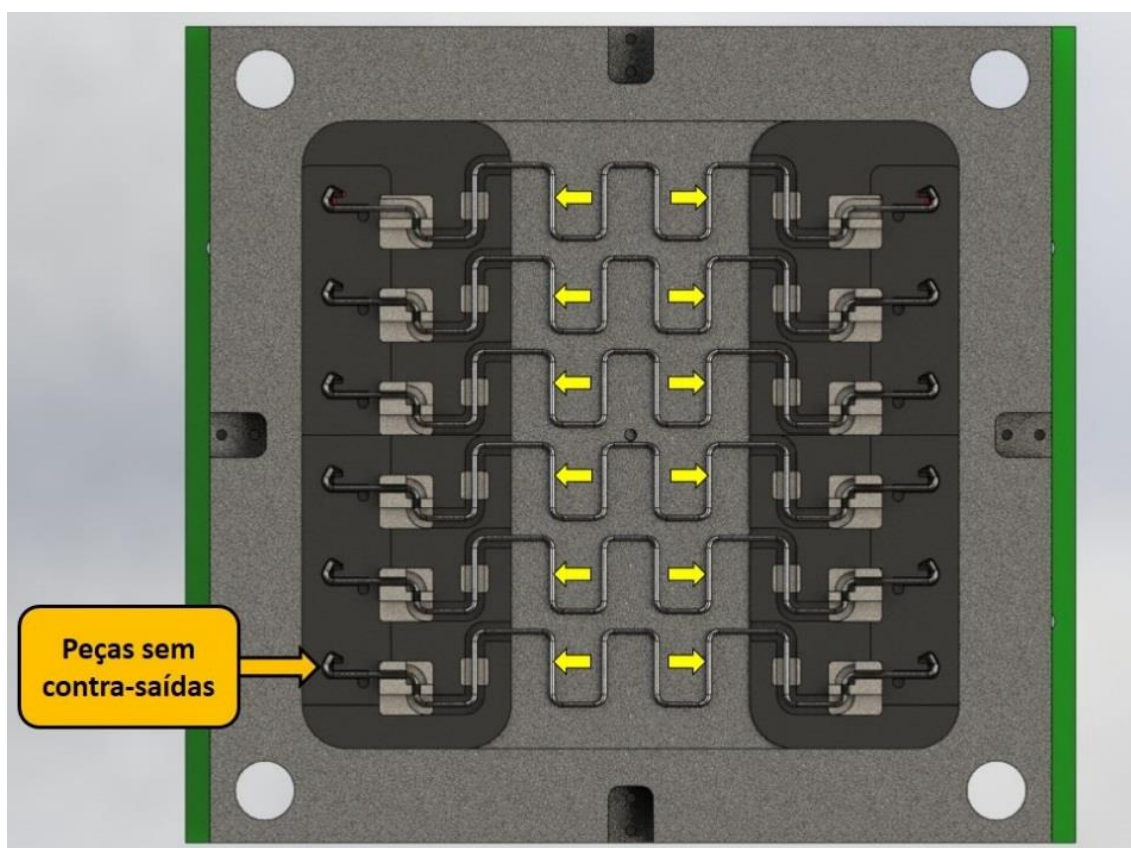


Figura 124 - Estratégia de extração da referência M3M4.

Face a esta estratégia, chegou-se ao conjunto representado na Figura 125, em que uma garra fixa numa base, possui acoplado em cada dedo uma barra com três dentes que realiza a extração de três componentes, a partir da estratégia referida anteriormente.

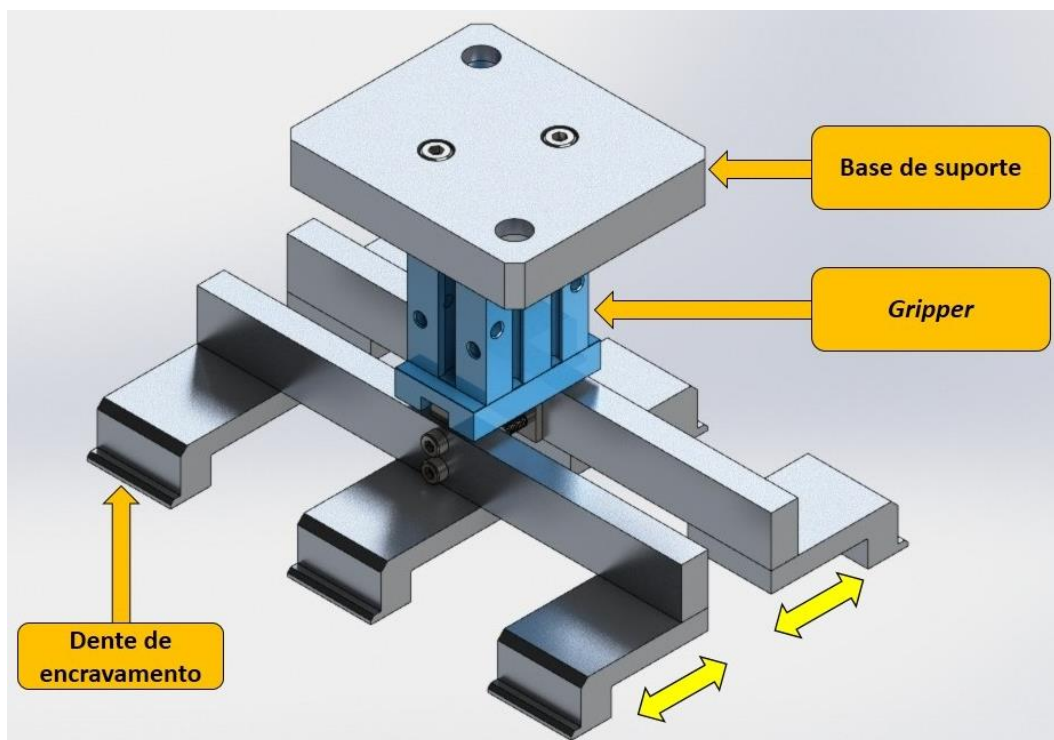


Figura 125 - sistema de garra desenvolvido para a extração M3M4.

Para remover os seis arames do molde, o manipulador é composto por dois conjuntos iguais ao ilustrado na figura anterior, fixos no perfil do sistema de rotação por servomotor, como o apresentado na Figura 126.

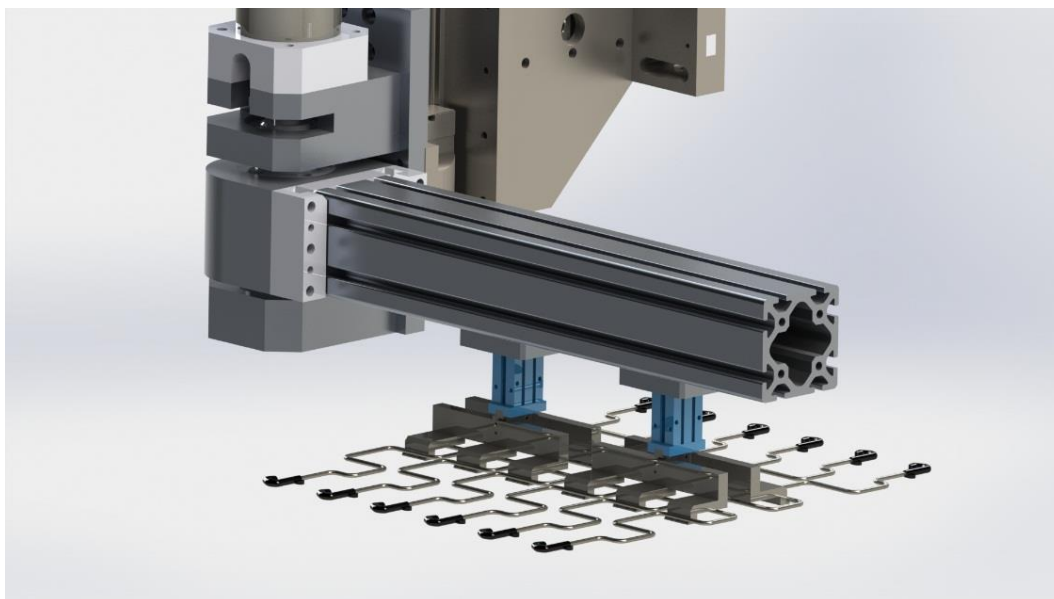


Figura 126 - Manipulador para extração da referência M3M4.

Desta forma, os arames são transportados para o tapete pelos sistemas de extração como é habitual. No entanto, dada a morfologia do componente ser um arame com apenas as extremidades injetadas, a queda dos arames no tapete faz com que estes se emaranhem e dificultem o trabalho do operador que faz o controlo deste produto. Para eliminar este problema, atendendo à localização da bancada de controlo dos produtos, o manipulador que se encontra mais afastado efetuará a descarga para uma estrutura posicionada no tapete, que deixa os arames empilhados ordenadamente (Figura 128). Esta estrutura é composta por guias em tubo metálico soldadas numa base, como as apresentadas na Figura 127.

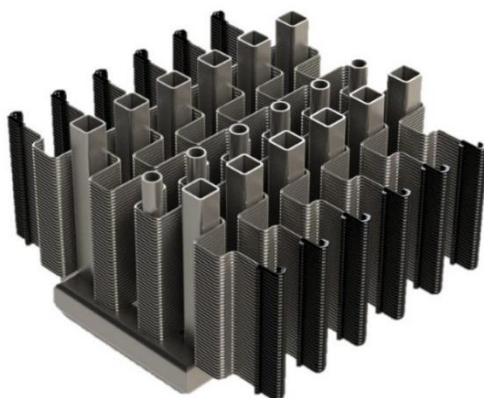


Figura 127 - Estrutura de guias para a descarga do M3M4 SP.

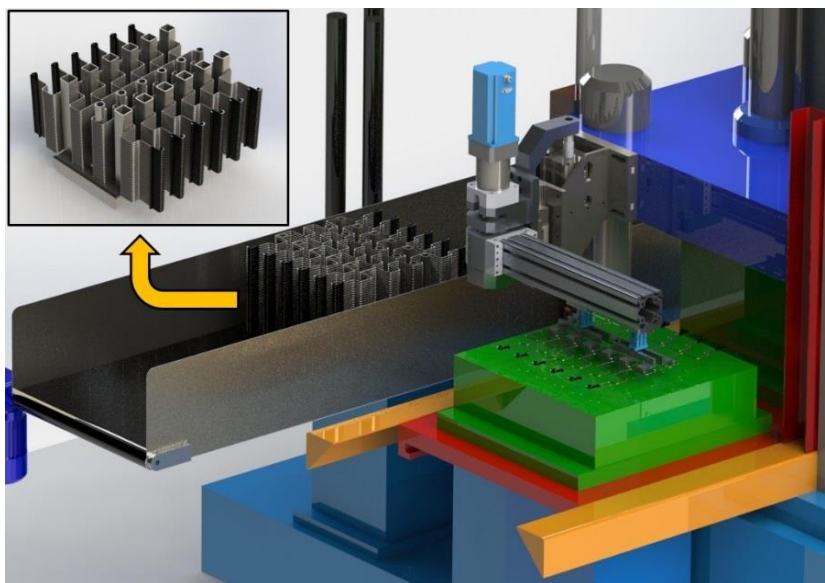


Figura 128 - Estrutura de guias M3M4 posicionada no tapete.

Quando os arames são recolhidos manualmente, o operador deposita-os numa rampa como a indicada na Figura 129. Aproveitando este conceito, para a descarga do produto recolhido pelo manipulador que se encontra próximo da bancada de inspeção, será colocada uma rampa semelhante à já utilizada pelo operador, posicionada estrategicamente na proximidade do

operador que se encontra a fazer o controlo das peças. Na Figura 131 encontra-se representado o *layout* proposto para extração deste produto.



Figura 129 - Rampa usada na deposição do M3M4 *SP* na extração manual.



Figura 130 - Rampa de tubos para a recolha dos arames injetados M3M4 *SP*.

A rampa em tubo é aplicada num suporte já existente para o sistema de *stock* de arames da máquina como a representada na Figura 130. Assim, fica definida a proposta para o sistema de extração do M3M4 *SP*.

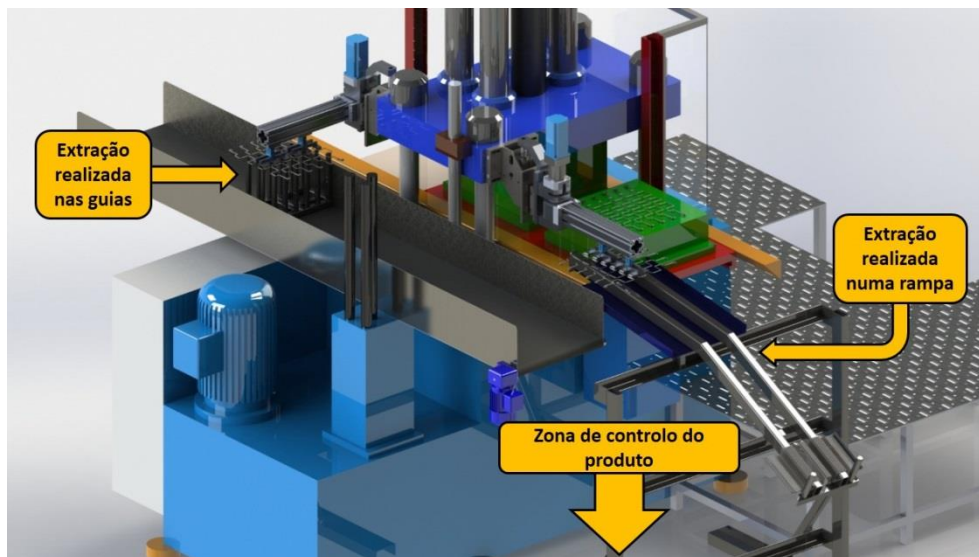


Figura 131 - *Layout* representativo para a extração do M3M4 SP.

Sistema de alimentação M3M4 SP

Uma vez definido o sistema de extração para a referência M3M4 SP, o passo seguinte, foi conceber um alimentador capaz de deixar os arames perfeitamente ordenados de acordo com o molde, para que o sistema de extração realize também a alimentação dos arames. Para este efeito, estudou-se a hipótese de uma estrutura modular de chapa quinada, com a forma do negativo do arame. Como o molde requer seis arames, o alimentador contempla seis módulos de chapa quinada, dando forma à estrutura de armazenamento de arames (Figura 132).

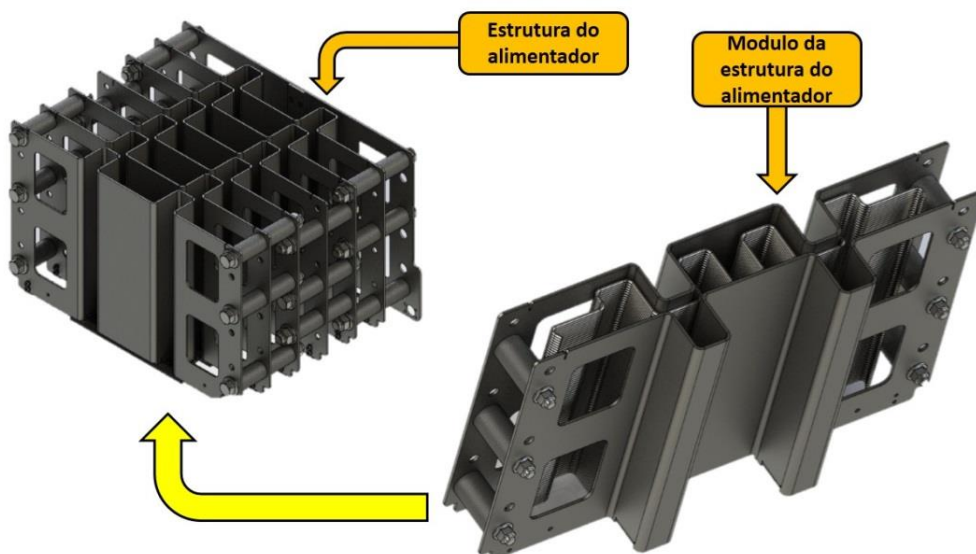


Figura 132 - Estrutura modular do alimentador M3M4 SP.

Com os arames perfeitamente alinhados na estrutura, o passo seguinte resumiu-se a desenvolver um sistema de seleção, capaz de fazer cair apenas um arame por módulo. Para isso, concebeu-se um sistema de cames atuado por um cilindro pneumático de duplo efeito. O sistema de cames encontra-se representado na Figura 133.

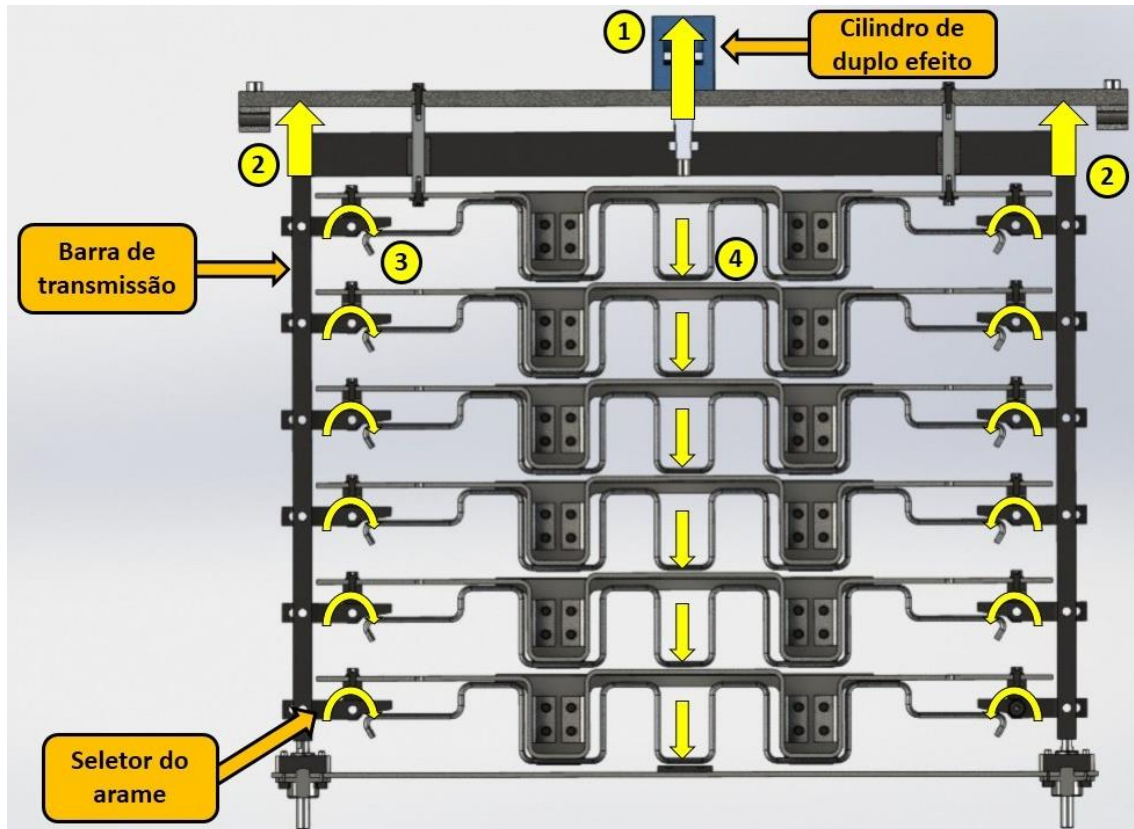


Figura 133 - Funcionamento do sistema de cames do alimentador (Vista superior).

O sistema de cames é acionado por um cilindro pneumático de duplo efeito (1), que faz mover as barras de transmissão (2), tendo como consequência o movimento de rotação dos seletores de arame (3). Esta cinemática faz com que o arame seja empurrado frontalmente e caia (4). O seletor, enquanto acionado, impede que os arames que se encontram armazenados no alimentador sofram a queda.

O manipulador necessita dos arames dispostos geometricamente como no molde, assim como a área sobre eles desocupada, para que o manipulador consiga ter acesso e captar os arames. Para este fim, criou-se uma gaveta na zona inferior do alimentador, onde os arames caem, quando acionado o sistema de cames. A gaveta encontra-se apoiada num par de guias telescópicas, animadas por um cilindro linear de duplo efeito, com o curso suficiente para deixar os arames disponíveis para o manipulador (Figura 134).

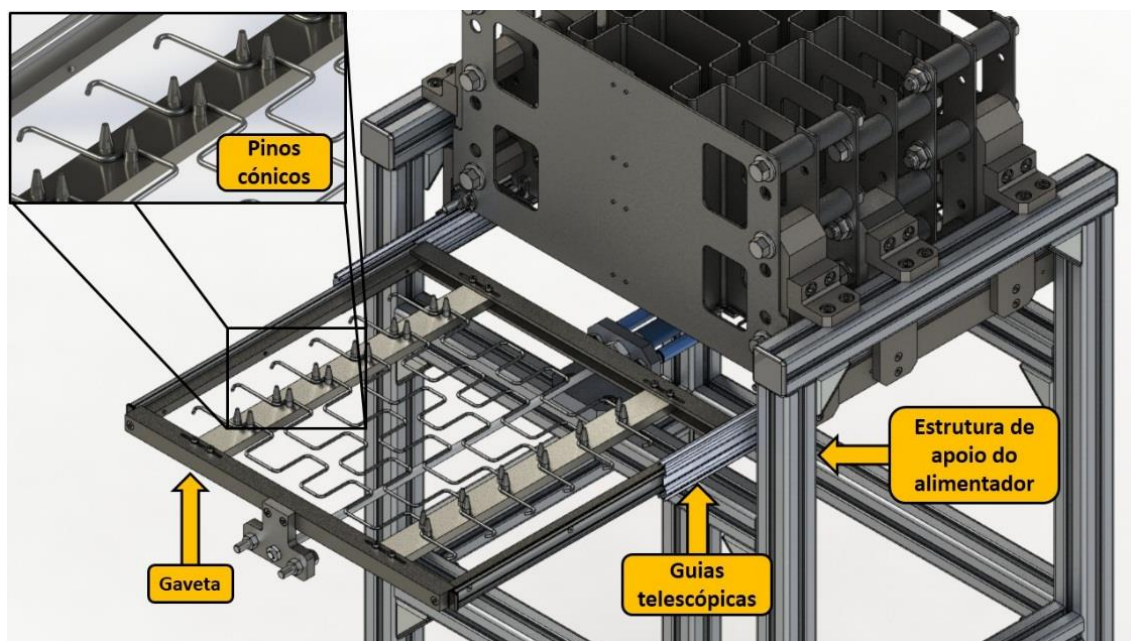


Figura 134 - Gaveta do alimentador e pormenor dos pinos cónicos.

A gaveta representada na Figura 134 possui pinos cónicos com o objetivo de os arames se auto-centrarem e absorverem desalinhamentos durante a queda do alimentador para a gaveta. Desta forma, garante-se que os arames fiquem sempre perfeitamente ordenados.

Definido o sistema de extração e alimentação, pensou-se no *layout* da máquina de maneira a compatibilizar os sistemas de extração e respetivo alimentador para cada meio molde. Devido ao posicionamento da rampa de descarga, um dos alimentadores terá de realizar alimentação sobre a zona do tapete. No lado oposto da máquina, a alimentação é realizada fora do tapete. A sequência de funcionamento deste sistema inicia-se com o manipulador em repouso na zona do molde. Assim que o molde desliza para a zona do manipulador, as peças são removidas e encaminhadas para a rampa ou guias presentes no tapete. De seguida, o manipulador desloca-se ao alimentador, retira os arames e insere-os no respetivo molde, concluindo assim um ciclo. O *layout* proposto para o sistema de alimentação/extração é o apresentado na Figura 135.

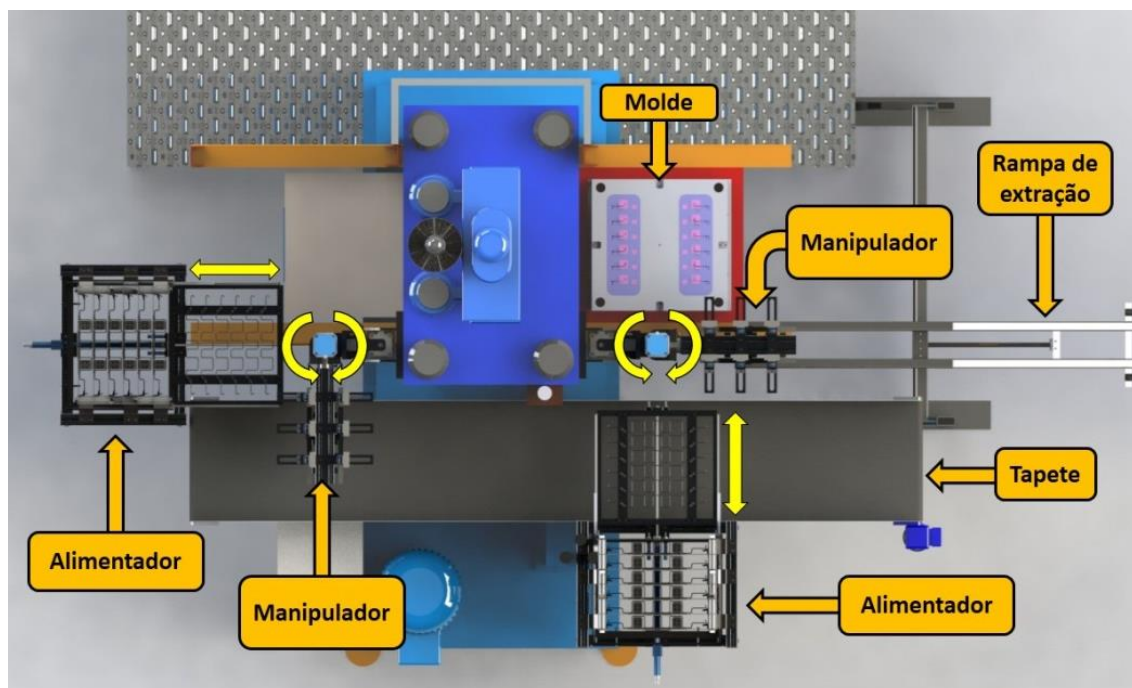


Figura 135 - *Layout* de extração e alimentação do M3M4 SP.

3.4.7. Análise e validação pela FicoCables da solução mais viável

Face aos objetivos elencados pela empresa, desenvolveram-se as soluções apresentadas anteriormente. Estas soluções foram analisadas pela *FicoCables* e as sugestões que mereceram seguimento para a fase projeto, foram:

Sistema de extração automático

- Grande parte dos componentes reutilizáveis (sistema *transfer*, pinças e parte dos componentes do braço de ligação);
- Modos de afinação idênticos aos utilizados no manipulador de múltiplas referências;
- Manipulador versátil e com probabilidade de extrair a maioria das peças devido ao sistema de básculas;
- Diminuição do controlo devido à forma de extração não promover o alargamento dos ganchos.

Sistema de alimentação automático

- Manipulador rotativo acionado por servo-motor presente na máquina serve de base a todo o sistema de alimentação e extração, contribuindo de forma significativa na poupança de custos;
- Solução de sistema dedicado modular para extração e alimentação dos componentes simples;
- Todos os componentes injetados em ambas as cavidades convergem para o local de controlo e embalagem (uso de guias no tapete e rampa de extração);
- O alimentador é compacto e com a autonomia necessária;
- A área de trabalho para execução do processo em modo manual para eventuais moldes que possam ocasionalmente entrar na máquina, não foi afetada com o *layout* do modo automático.

3.5. Projeto

3.5.1. Projeto do sistema de extração das peças injetadas

Uma vez validado o anteprojecto do sistema de extração, partiu-se para a fase de projecto. A primeira preocupação focou-se essencialmente em fazer o acerto das cotas, para que as afinações correspondessem às especificações. Depois desta análise, verificou-se que o uso do eixo central para a rotação das básculas, reduzia a área de afinação das garras. Para minimizar este efeito, foram alteradas as fixações das dobradiças laterais do eixo para a zona inferior da barra de suporte, como ilustrado na Figura 136.

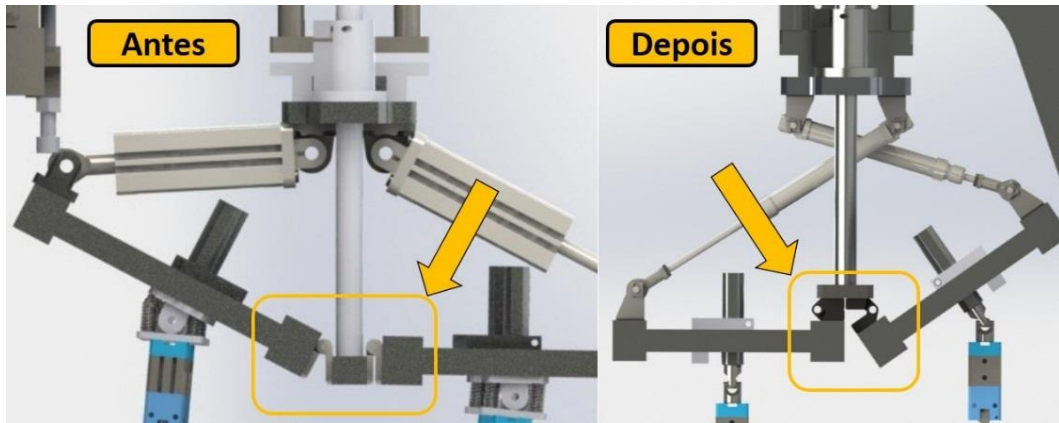


Figura 136 - Alteração da posição das dobradiças.

A cota z da estrutura de interface com a peça foi outro parâmetro que foi drasticamente afetado, devido à introdução do sistema de básculas. Como resultado da necessidade de colocação dos cilindros responsáveis pelo acionamento das básculas, o ponto de ligação com o braço de ligação ficou mais distante, o que faz com que toda a estrutura fique mais baixa em relação ao mínimo aceitável, para não haver interferência com o molde. Para contornar este efeito, alteraram-se as barras de ligação como demonstrado na Figura 137.

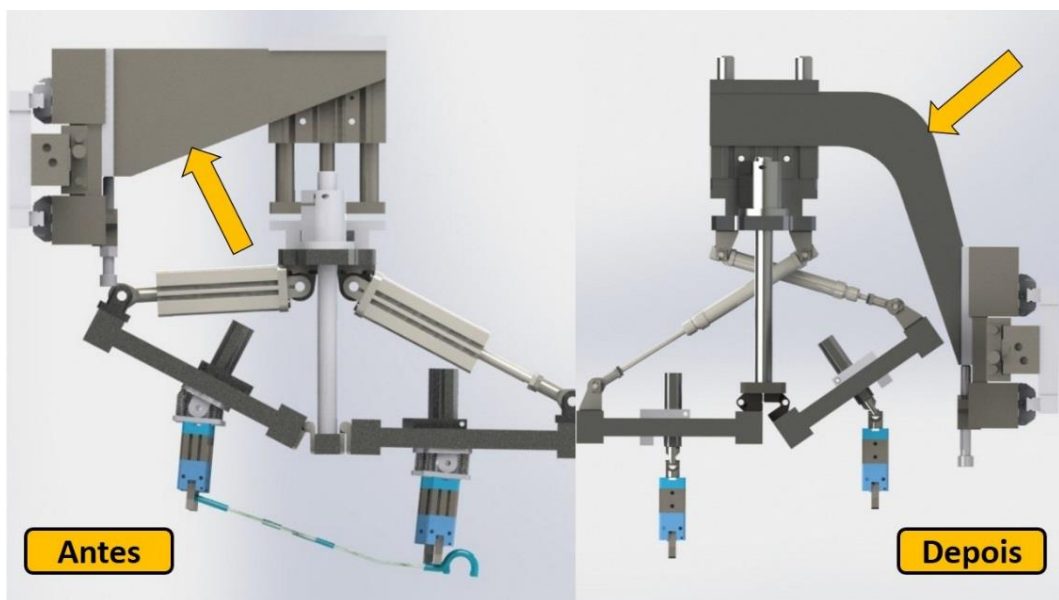


Figura 137 - Alteração geométrica das barras de ligação indicadas pelas setas a laranja.

Ao afinar os manipuladores das múltiplas referências existentes, percebeu-se que algumas melhorias de afinação poderiam ser introduzidas no novo manipulador de básculas. Uma destas

melhorias passou por alterar todos os parafusos de ajuste da posição das garras para M6. Esta simples alteração evita que sempre que se tenha de alterar uma determinada posição das garras não se necessite efetuar uma troca de chave, ganhando assim tempo precioso no *setup* do manipulador. Na Figura 138, encontra-se ilustrada a alteração dos parafusos no sistema de afinação das garras.

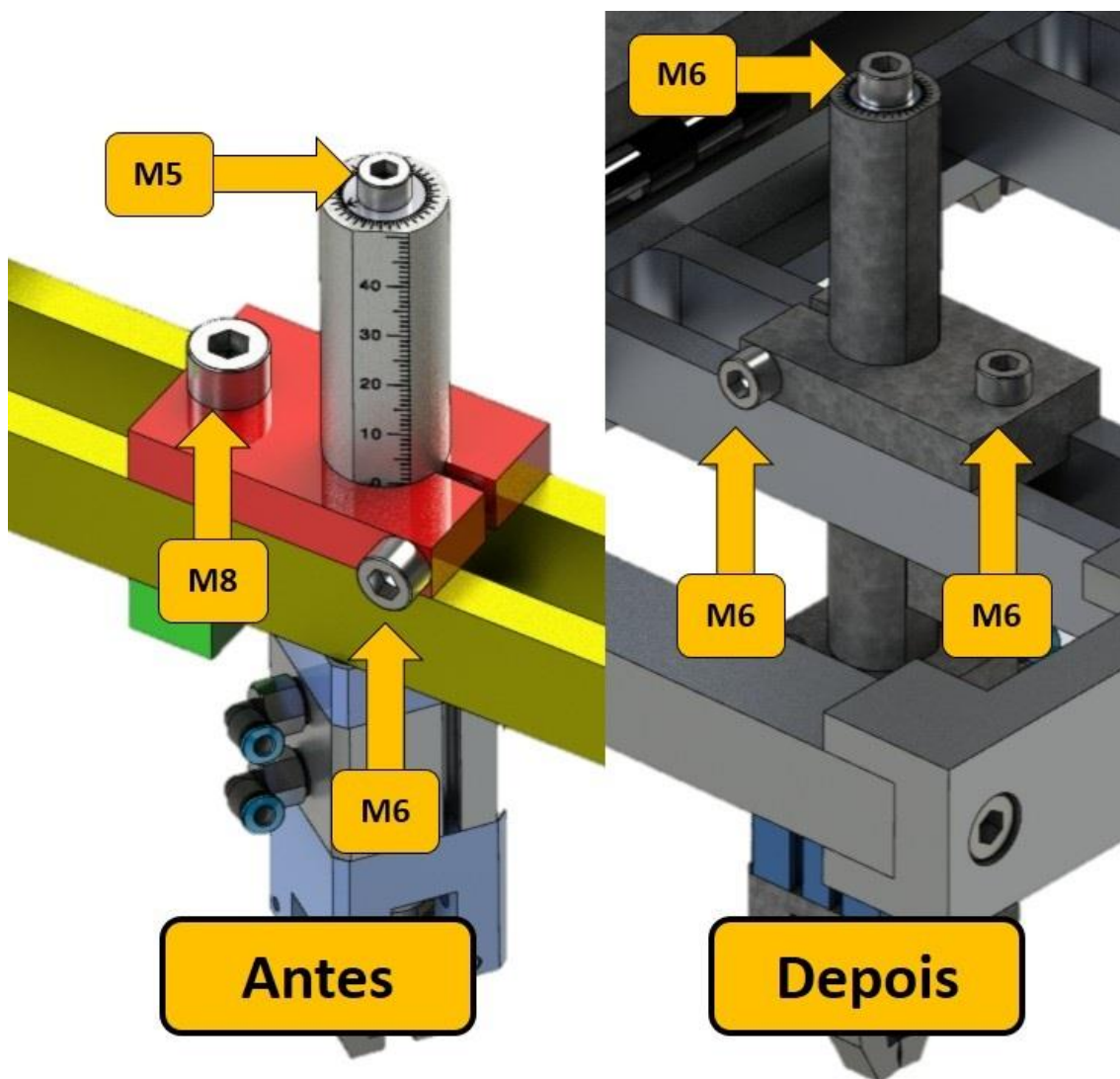


Figura 138 - Substituição de todas as afinações das garras para parafusos M6.

Uma outra melhoria na afinação das garras passou por posicionar a ranhura localizada na lateral da estrutura, que permitia afinar os barramentos, para a parte superior da estrutura de suporte, como representado na Figura 139. Esta alteração permite uma melhoria de ergonomia para o afinador, uma vez que a realização desta afinação do lado do suporte do manipulador é muito difícil, devido à falta de espaço para posicionar a chave. Na Figura 140, podemos verificar essa falta de espaço no manipulador de múltiplas referências.

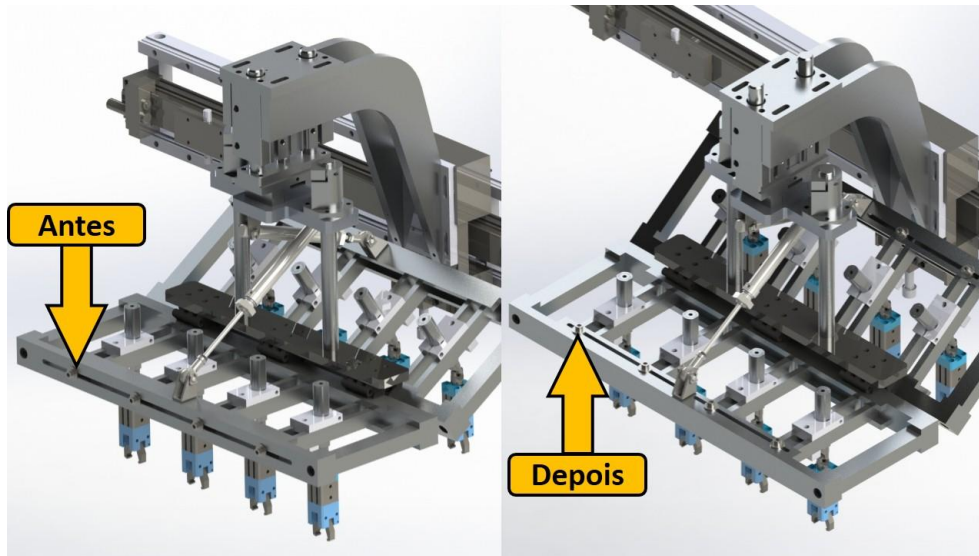


Figura 139 - Modificação da posição da ranhura de afinação dos barramentos.



Figura 140 - Pormenor do difícil acesso aos parafusos de afinação dos barramentos.

Inicialmente, estava previsto cada garra possuir *cardans*, para que quando se acionasse uma báscula, a peça não ficasse danificada. Este processo ficaria condicionado na utilizao de uma estratégia de extrao com básculas, onde quatro garras de uma das estruturas ficariam com os *cardans* bloqueados com uma abraçadeira, em funo do lado do molde em que se localizassem os ganchos da peça a extrair. Com este processo, iríamos aumentar significativamente o tempo do *setup*, sempre que se necessitasse de bloquear as pinças da estrutura oposta. Para contornar este problema, o manipulador passou a estar equipado com *cardans* nas garras de apenas uma

das estruturas de báscula, e na outra estrutura mantiveram-se as garras com a ligação rígida original. Depois, para efetuar a troca sempre que se pretenda alternar o lado em que as garras necessitam estar sem articulação, modificou-se a ligação do braço de extração à estrutura das básculas, para que este possuisse rotação, como representado na Figura 141. Desta maneira, somente se necessita de desbloquear a ligação rotativa, através de dois parafusos M6 e facilmente girar o manipulador, alterando assim o lado em que se deseja ter as garras sem *cardans* (Figura 142).



Figura 141 - Vista explodida da ligação rotativa.

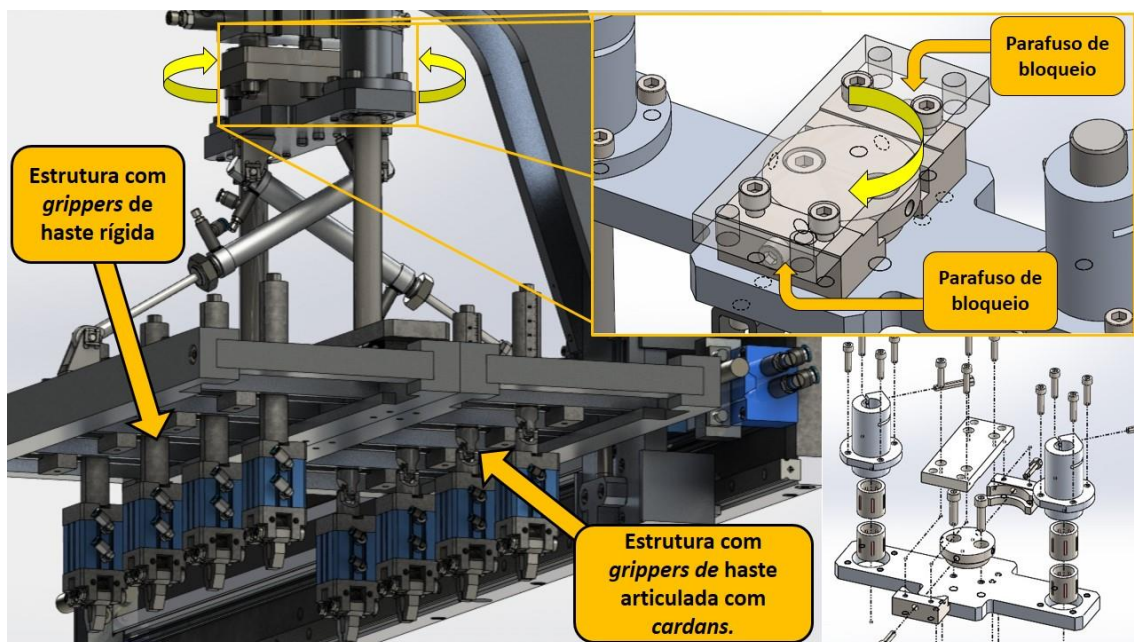


Figura 142 - Movimento de rotação para alternar posição das pinças rígidas/móveis.

As garras utilizadas no novo manipulador são iguais às utilizadas no de referências múltiplas. Este acessório é constituído por um cilindro de duplo efeito, acoplado numa base que faz a ligação a um veio regulável na estrutura do manipulador. Na parte frontal do cilindro, encontra-se uma outra base em aço que, com dois parafusos M5 de corpo retificado, servem de veios de apoio para a rotação dos dois dedos da garra. O acionamento dos dedos pelo cilindro é realizado por um parafuso fixo numa peça em forma de “U”, perpendicular à ranhura presente nos dois dedos. A garra, assim como o seu modo de funcionamento, encontram-se demonstrados na Figura 143 e Figura 144.



Figura 143 - Pinça usada nos manipuladores.

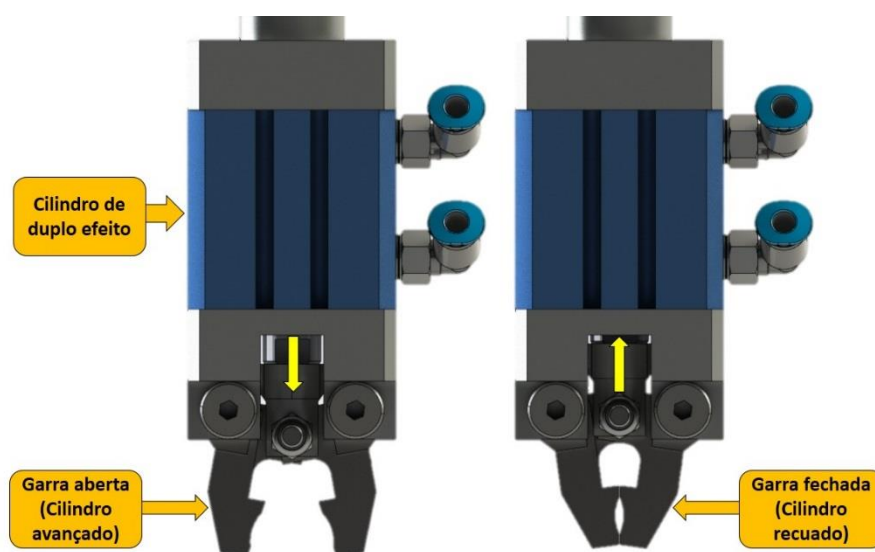


Figura 144 - Funcionamento das pinças.

Com o objetivo de melhorar a captação dos arames dos componentes a extrair pelas garras, foi adicionada uma concavidade nas faces de ataque dos dedos, como representado na Figura 145. Desta forma, aumenta-se a precisão de transmissão de movimentos à peça e evita-se oscilações de componentes individuais, que poderiam resultar na sua queda durante o transporte para o tapete. A extração da referência “IBK suporte lateral” é um bom exemplo das vantagens do uso desta concavidade (Figura 146).

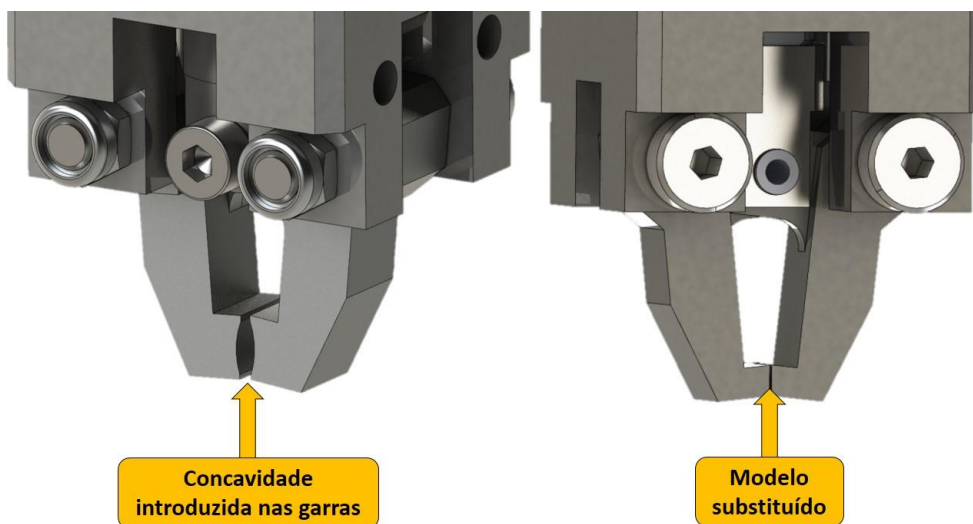


Figura 145 - Concavidade introduzida nas garras comparado com modelo substituído.



Figura 146 - Exemplo de uso da concavidade das garras.

Como referido anteriormente, os *transfers* onde o manipulador se movimenta para transportar a peça do molde para o tapete, encontram-se soldados na cabeça das injetoras como

demonstrado na Figura 147. Esta ligação soldada tem sido um problema permanente, para o departamento de manutenção da empresa. O problema desta ligação soldada é o facto de na maioria dos casos, pela forma como foi realizada a soldadura, as estruturas de apoio das guias onde deslizam os carros de suporte ficarem deformadas. A deformação mencionada leva à prisão de movimentos, tanto do cilindro sem haste acoplado na estrutura, como dos carros de esferas das guias. Este efeito provoca nestes componentes, uma redução significativa na sua vida útil. No caso do cilindro sem haste, muitas vezes resulta na troca precoce dos vedantes e em casos mais extremos, o cilindro acaba por ter de ser substituído por um novo, por ficar deformado. Outro problema causado por estas deformações é o facto de o manipulador apresentar variações de velocidade significativas em diferentes troços do *transfer*. Isto leva a que o caudal de ar seja regulado, para que se supere as prisões em alguns trechos do *transfer*, que em contra partida obrigam o manipulador, em outros troços, a atingir velocidades exageradas, que resultam em colisões violentas nos batentes do *transfer*. Como consequência destes impactos, podem ocorrer desafinações do manipulador, que na maioria das vezes levam a que as peças sejam danificadas na extração. A médio prazo, estes impactos cíclicos têm como consequência a fratura de alguns componentes do manipulador, o que pode ser ainda mais catastrófico, se algum fragmento cair no molde e não for identificado por parte do operador, antes da ordem de injeção.

Para além dos problemas de manutenção indicados, existe claramente a desvantagem de, no futuro, se existir a necessidade de remover o *transfer*, o facto de este estar soldado à máquina não o permitir.

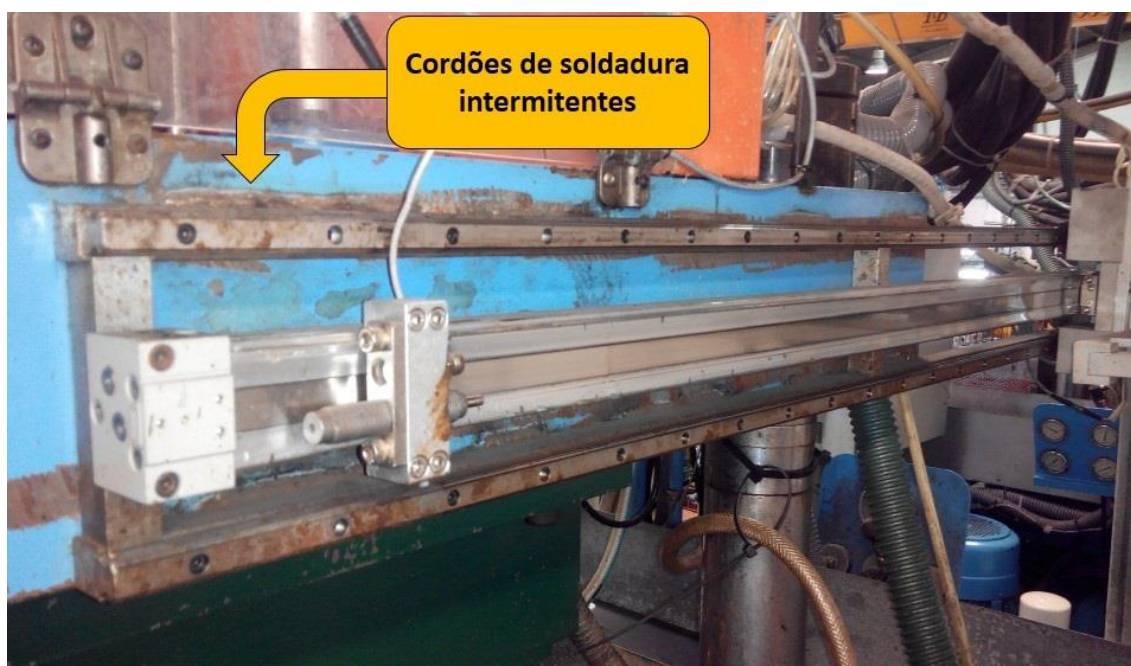


Figura 147 - *Transfer* soldado na cabeça da injetora.

A solução apresentada para resolver estes problemas centrou-se na alteração da fixação do *transfer* por soldadura, para ligação aparafusada. Na Figura 148, encontra-se representado o *transfer* modificado, para que este seja aparafusado na cabeça da injetora.



Figura 148 - Comparação entre o sistema de *transfer* antigo e modificado, respetivamente.

Na Figura 149 e Figura 150, podemos verificar que uma chapa foi introduzida em toda a extensão do *transfer*, para aí realizar as ligações aparafusadas e tornar assim a estrutura mais rígida e livre de desalinhamentos. A ligação foi realizada com recurso a oito parafusos M8 e três pinos M6.

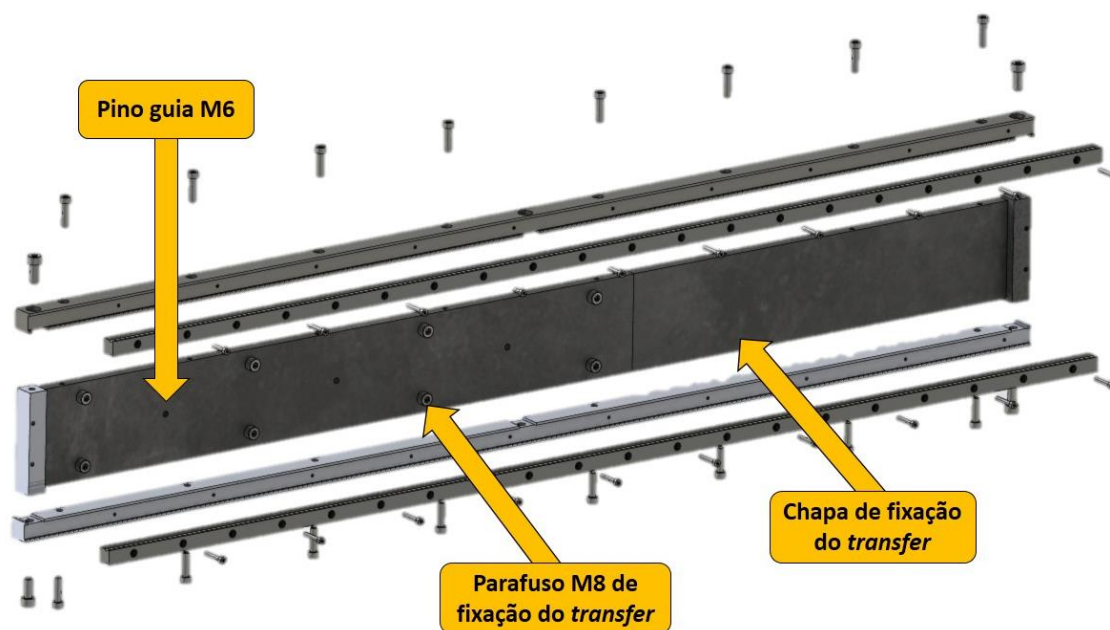


Figura 149 - Fixações do *transfer*.

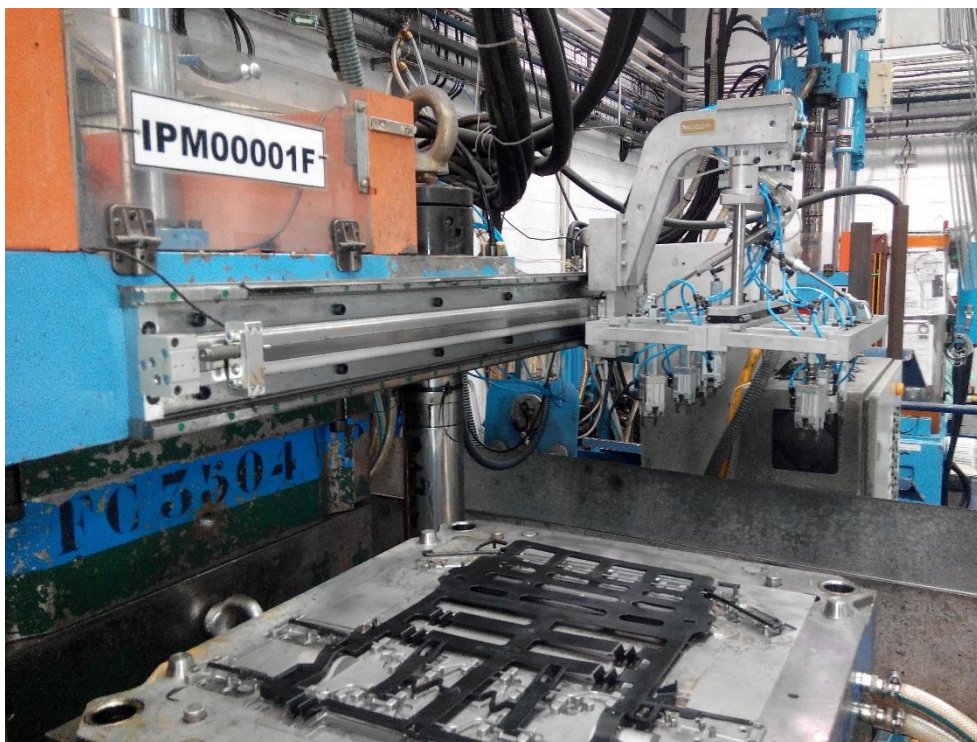


Figura 150 - Sistema de *transfer* fixo na máquina por ligação aparafusada.

Depois de todos os ajustes e alterações efetuados, o manipulador de básculas ganhou a forma representada na Figura 151.



Figura 151 - Forma final do manipulador de básculas desenvolvido

Sistema de extração MQB1 (Cabos)

A certa altura, foi adicionado aos sistemas de conforto alguns moldes de injeção de terminais de espiral para cabos de automóveis. Devido ao fabrico destes produtos, foi necessário adaptar o manipulador para realizar a extração dos cabos, não comprometendo a produção do par máquina, isto é, não deixar a célula de injeção com uma máquina sem extração automática. O modelo a seguir para o desenvolvimento deste manipulador foi o projeto MQB1. Esta referência e o molde correspondente encontram-se representados na Figura 152 e Figura 153.



Figura 152 - Cuidado do molde MQB1 com gavetas,



Figura 153 - Espiral e respetivos terminais sobre-injetados.

Com se pode verificar, os insertos deste tipo de molde são designados de espirais, que basicamente são nada mais que baínha de arame enrolado revestido com PVC (Policloreto de vinilo) para permitir a passagem de cabo de aço no seu interior. Este componente não possui

qualquer contra-saída devido ao molde conter um sistema de gavetas que recolhe os machos depois de realizada a injeção. Assim, os oito componentes podem ser extraídos com um movimento vertical. No entanto, estes inserts são colocados no molde com um tubo de esponja que não pode ser danificado durante a captação do cabo pelas pinças do manipulador (Figura 154).

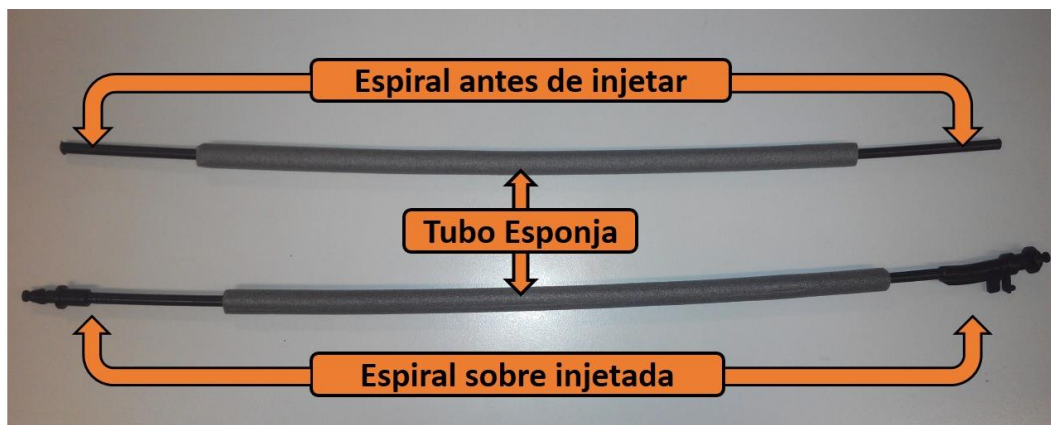


Figura 154 - Tubo esponja da espiral antes e depois de sobre injetada.

Para realizar a extração deste tipo de componentes foram desenvolvidas duas propostas, uma que implicava baixo investimento, mas maior tempo de *setup*, e outra que implicava maior investimento mas muito menor tempo de *setup*. A solução mais económica consistiu em adaptar as garras do manipulador de básculas, para que estas pudessem captar os cabos sobre-injetados no molde. Na Figura 155 está representada a garra desenvolvida para ser acoplada no manipulador.

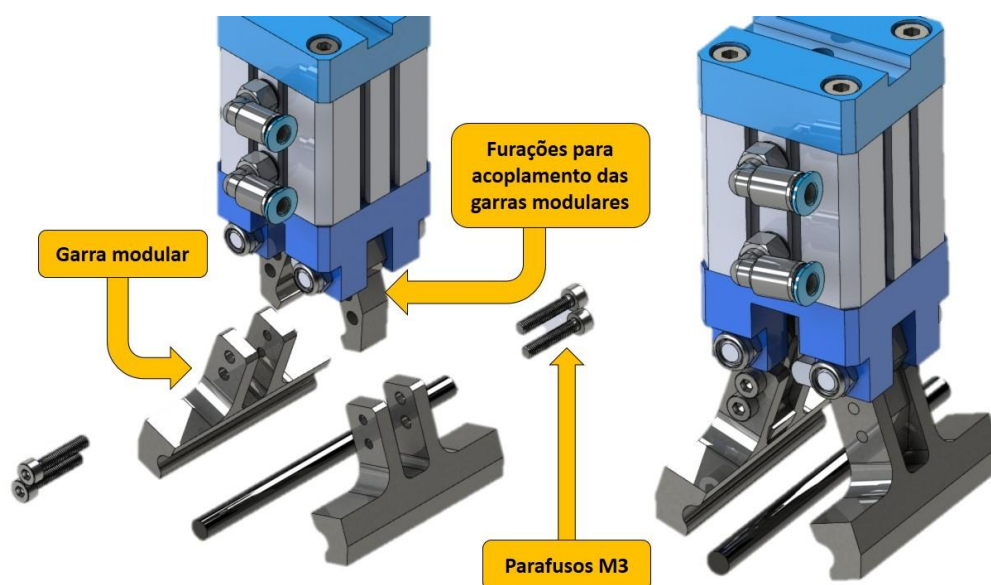


Figura 155 - Garra modular para manipulador de básculas.

As garras desenvolvidas possuem dois furos passantes, que permitem, com recurso a dois parafusos M3, acoplar na garra. Desta forma, possui-se um sistema modular que possibilita adaptar as garras para extrair cabos ou SP/coxins. No entanto, existe a desvantagem de sempre que se alterne entre um molde de injetar cabos, ou SP /coxins, ser necessário retirar ou instalar as garras modulares em oito pinças. Como alternativa para esta solução, desenvolveu-se um mecanismo dedicado só para cabos, substituível pela estrutura do manipulador que se encontra acoplada no braço de ligação. Assim, sempre que se pretenda trocar de função, apenas é necessário substituir as estruturas correspondentes ao produto a extrair, como demonstrado na Figura 156.

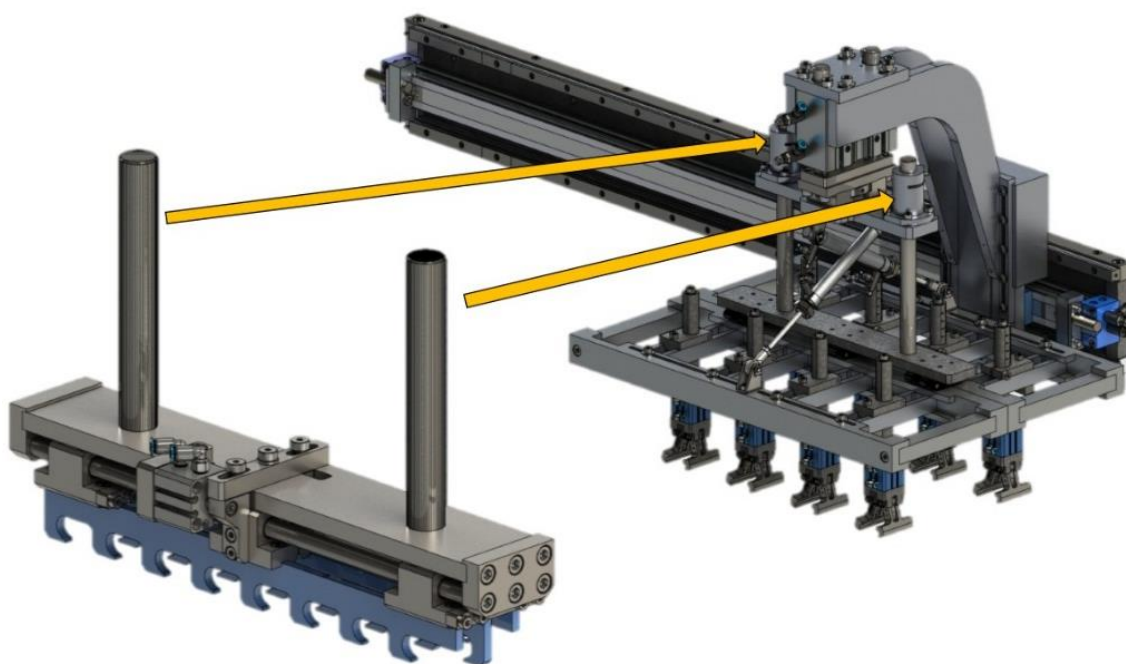


Figura 156 - Troca de estruturas de extração do manipulador.

Para reduzir o custo do sistema dedicado de extração de cabos, pensou-se numa solução simples que não implicasse o uso de muitos atuadores pneumáticos, como no caso do manipulador de básculas. O princípio de funcionamento deste mecanismo consiste no movimento com sentidos opostos de três réguas com rasgos, que a partir de um sistema de alavanca acionada por um cilindro de duplo efeito, realize o encravamento dos cabos e execute a extração dos mesmos. Este sistema encontra-se demonstrado na Figura 157 e Figura 158.

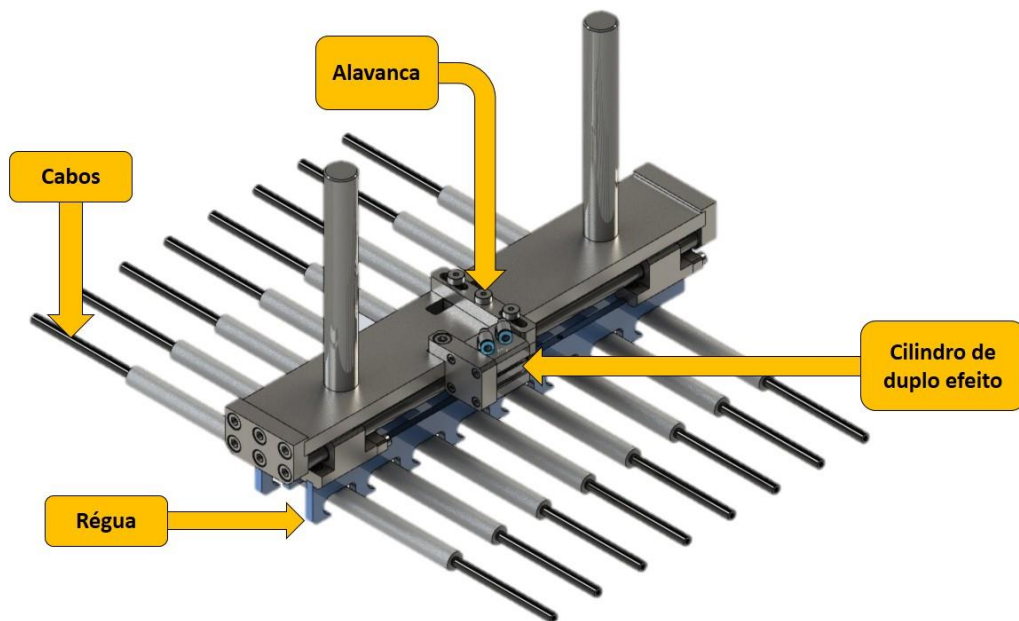


Figura 157 - Estrutura do manipulador MQB1.

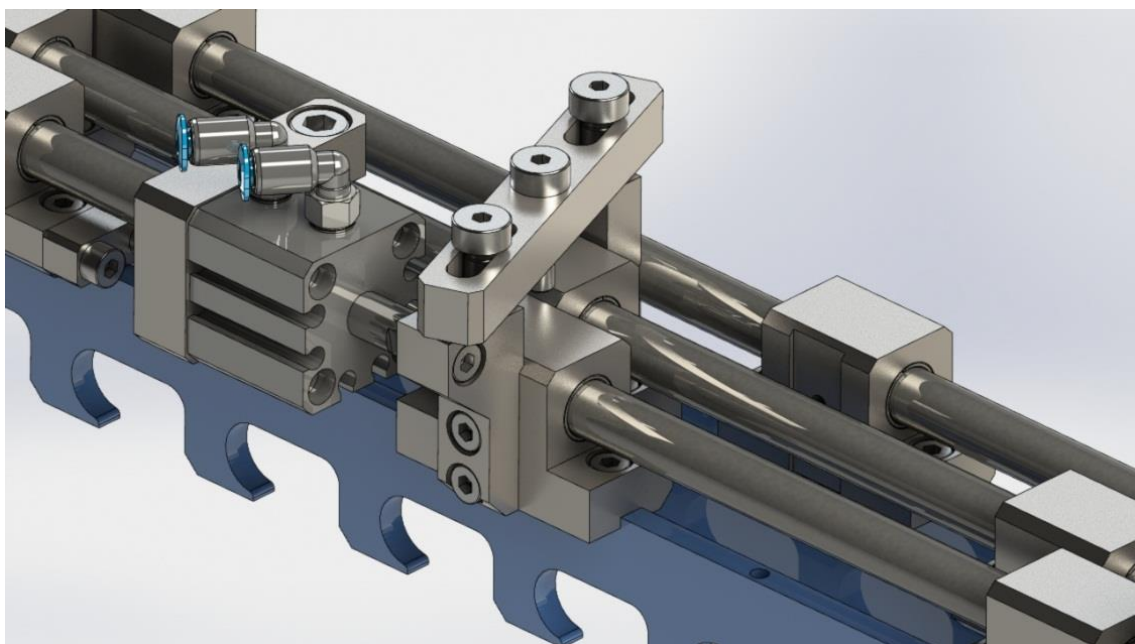


Figura 158 - Pormenor do sistema de alavanca do manipulador MQB1.

Quando o manipulador faz o movimento descendente, as três régua possuem os rasgos perfeitamente alinhados para que os cabos preencham essa zona. De seguida, o sistema de alavanca faz com que a régua central se mova no sentido oposto ao das régua laterais, realizando o encravamento de todos os cabos simultaneamente. Este movimento encontra-se ilustrado na Figura 159.

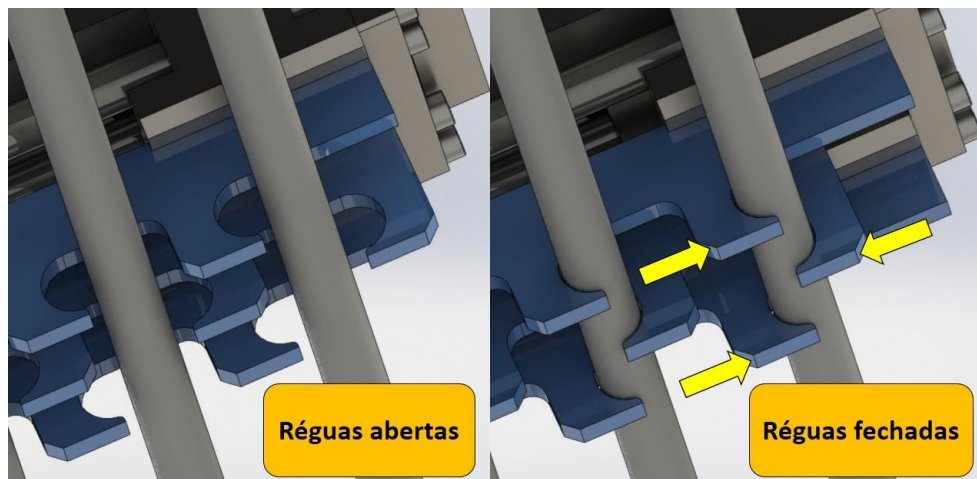


Figura 159 - Sistema de encravamento das réguas do manipulador MQB1.

Para que o manipulador possua alguma versatilidade, as réguas podem ser substituídas de acordo com a quantidade de cabos e diâmetro dos mesmos presentes no molde. A desvantagem deste sistema é obviamente o investimento superior ao das garras modulares para a estrutura de básculas.

Por motivos de facilidade de implementação e orçamento disponível, a solução selecionada foram as garras modulares. Na Figura 160 podemos observar a extração dos oito cabos do molde MQB1 com recurso às garras modulares desenvolvidas.



Figura 160 - Manipulador com garras modulares a extrair a espiral do molde.

Sistema de extração M3M4 SP

De acordo com o anteprojeto apresentado, este sistema realiza a extração de seis componentes com auxílio do mecanismo de servomotor já existente. As garras propostas para executar esta tarefa são compostas por uma base, onde uma garra SMC MHZ16D está fixa. A estrutura de interface com as peças necessita de ser leve, devido a estar acoplada aos dedos da garra. Para não comprometer o desgaste precoce dos apoios do arame e ao mesmo tempo não aumentar o esforço permanente nos dedos da garra, a estrutura será realizada em alumínio com insertos de aço temperado na zona em que o arame está em contacto. Na Figura 161 encontra-se representado o inserto de aço temperado na estrutura acoplada da garra.

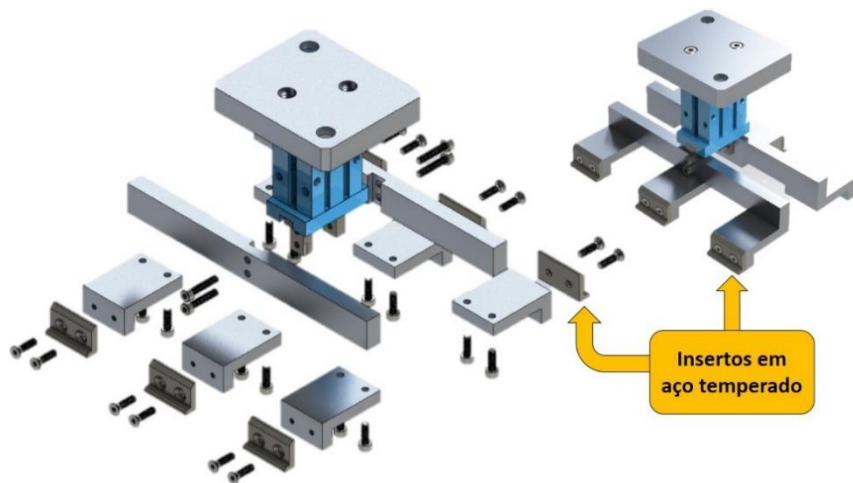


Figura 161 - Insertos em aço temperado usados nos módulos de extração M3M4.

Cada manipulador necessita de dois conjuntos iguais ao representado na Figura 162, para que os seis componentes sejam removidos. A Figura 162 representa o formato geral do manipulador com os dois módulos desenvolvidos acoplados no perfil de suporte.



Figura 162 - Perfil com respectivas estruturas de garras de extração para os seis componentes.

Com a aprovação e necessidade por parte da empresa de implementar rapidamente este sistema na extração destes componentes, procedeu-se ao fabrico e aplicação dos quatro módulos necessários para cada meia moldação. Na Figura 163 e Figura 164 encontra-se demonstrada a garra modular fabricada e a realização da extração dos componentes injetados, respetivamente.

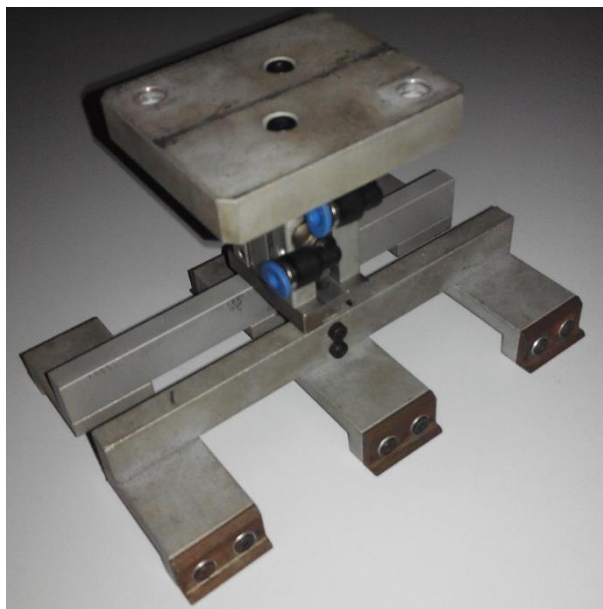


Figura 163 - Aspeto da garra modular fabricada.

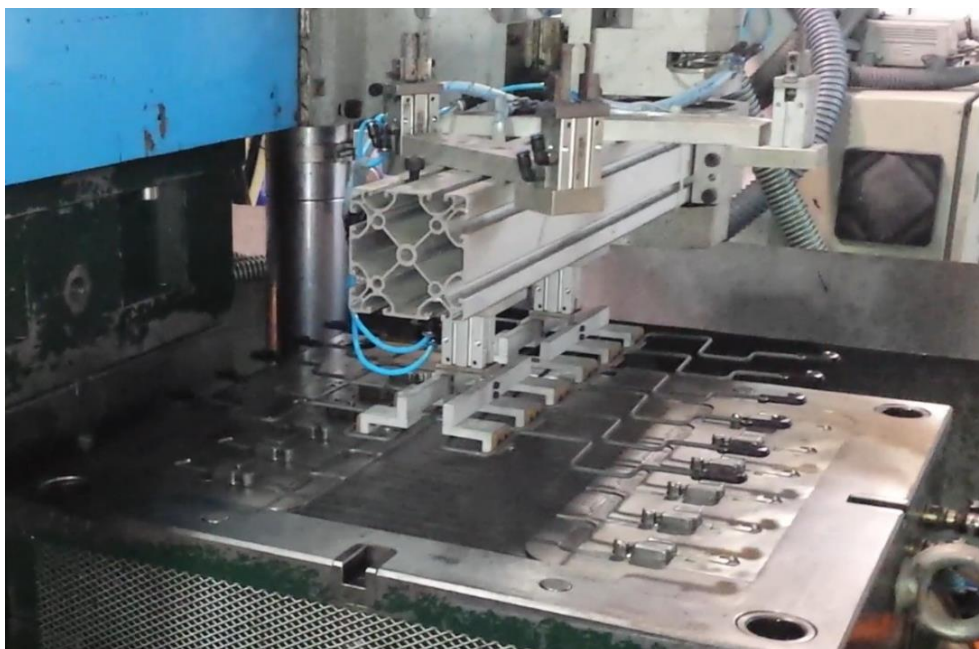


Figura 164 - Extração dos seis componentes injetados com o manipulador rotativo.

Depois da instalação deste sistema na máquina, testou-se o seu funcionamento, considerando a descarga dos arames para o tapete. O sistema cumpriu com o objetivo para o qual foi projetado

e depois disso, dirigiram-se as atenções para a melhoria do acondicionamento dos componentes quando removidos do molde. Este ponto já tinha sido previsto no anteprojecto, uma vez que a descarga desanparada dos componentes para o tapete, poderia dificultar muito a tarefa ao operador que realiza a embalagem. Com o objetivo de eliminar este problema, os componentes extraídos serão ejetados de duas formas distintas:

- Extração para guias previamente posicionadas no tapete;
- Extração para rampa em tubos, baseada no modelo manual de descarga.

Extração para guias

As guias desenvolvidas para rececionar os componentes vindos de um dos manipuladores terão capacidade para meia hora de produção, o que coincide com o intervalo de tempo em que se faz o controlo do produto. Desta forma, evita-se deslocamentos excessivos à máquina para remover os componentes das guias e, ao mesmo tempo, longos períodos que iriam acarretar trabalho ao operador que realiza o controlo dos componentes.

Outro requisito a ter em consideração com influência direta na conceção das guias, é o facto de as mesmas não poderem exceder o peso de 12 kg, quando completamente carregadas. Esta é a carga máxima admitida pelas normas de higiene e segurança para cargas movidas diretamente por mão humana.

Recorrendo ao *software Solidworks®* depois de atribuídas as respetivas densidades de cada material, conclui-se que as guias carregadas com o produto pesam aproximadamente 16 kg, como apresentado na Figura 165.

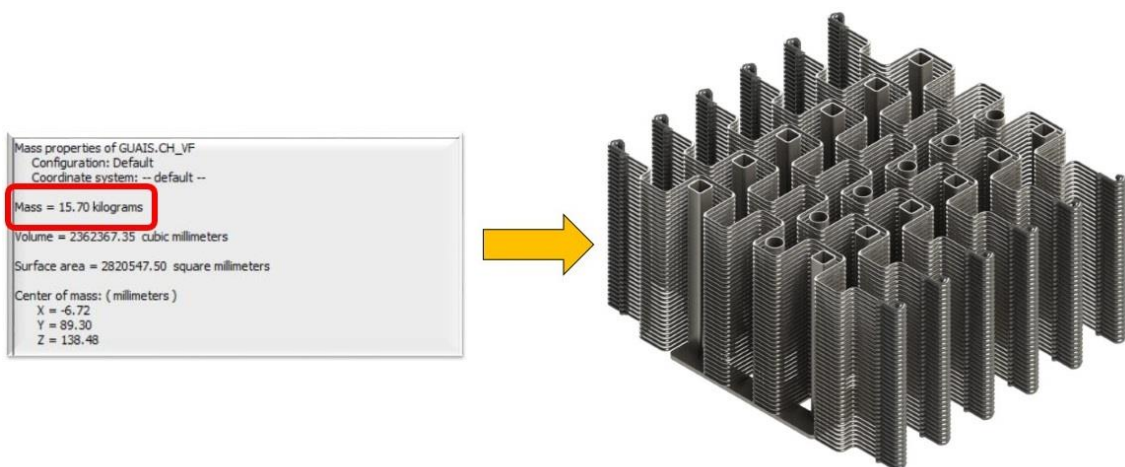


Figura 165 - Peso das guias totalmente abastecidas, calculado via *Solidworks®*.

A carga é superior à carga permitida pelas normas de segurança e, como as guias necessitam de ser robustas, é quase imperativo que estas sejam realizadas em tubo de aço. Para contornar esta restrição, as guias foram divididas em duas metades, assim como o seu peso. Como consequência, o peso das estruturas passou para 8 kg, podendo agora ser manuseado pelo operador. Com o objetivo de facilitar o posicionamento das duas estruturas, foram introduzidos dois pinos-guia que permitissem facilmente unir as duas estruturas a colocar no tapete. Na Figura 166 encontra-se representadas as guias divididas em duas estruturas iguais, com os respectivos posicionadores, em pormenor.

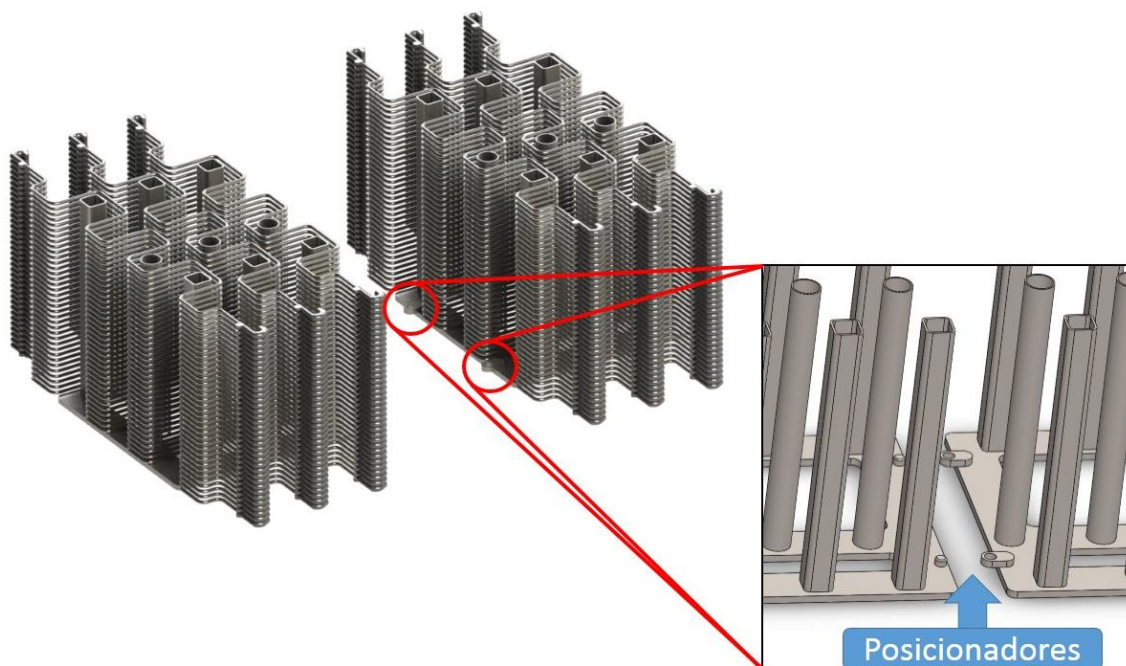


Figura 166 - Guias divididas, com pormenor dos respectivos posicionadores.

O posicionamento das guias no tapete necessita de ser fácil e de rápida execução. Para isso, no tapete foram criados batentes, para que facilmente o operador posicione as guias no local correto. Na Figura 167 podemos ver o batente em chapa colocado ao longo do tapete, para garantir o correto posicionamento das guias.

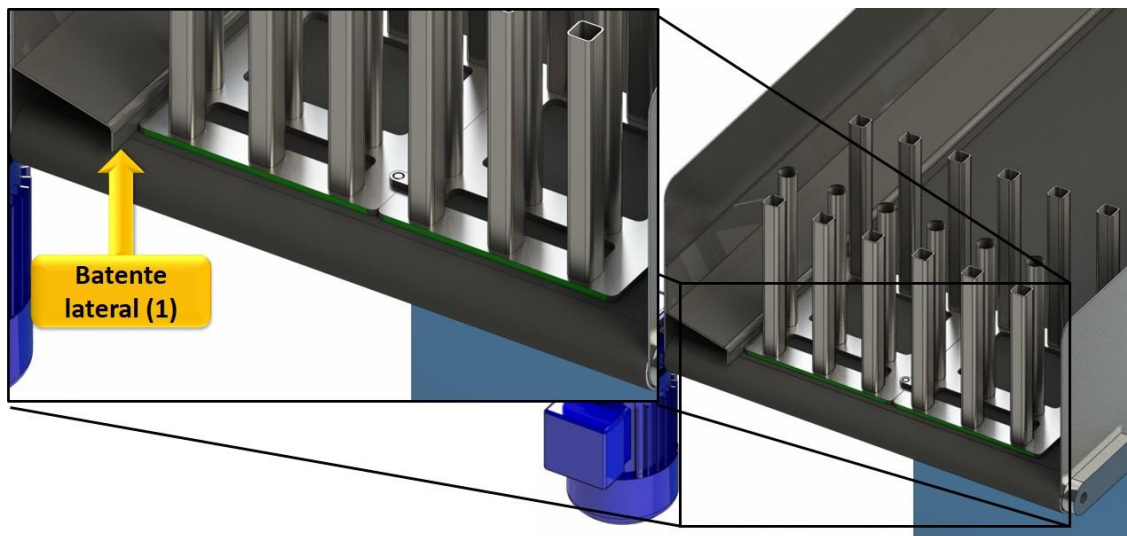


Figura 167 - Batente lateral para correto posicionamento das guias.

Após as guias estarem corretamente posicionadas à entrada do tapete, foi necessário criar um segundo batente de fim de curso para definir o correto posicionamento das guias na zona do tapete onde o manipulador irá depositar os componentes. Na Figura 168, encontra-se demonstrado este batente de fim de curso com o respetivo sensor ótico que desliga o tapete, depois das guias chegarem ao seu destino.

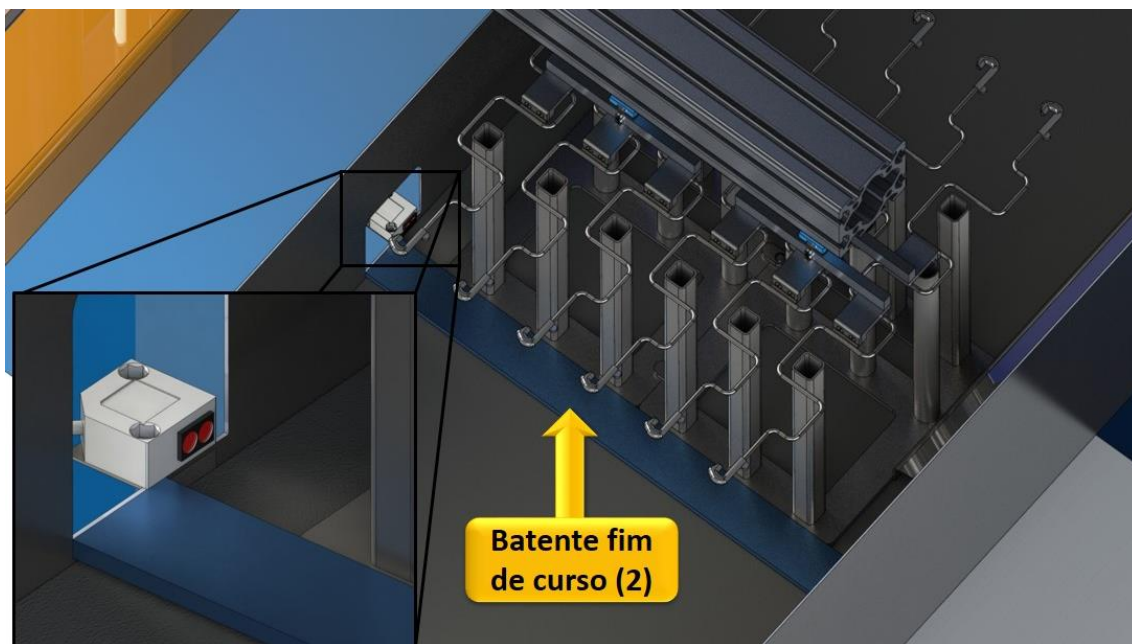


Figura 168 - Batente de fim curso para posicionamento das guias na zona de descarga.

Sequência operatória para posicionamento das guias no tapete

Depois de descarregar as guias, o operador coloca as guias montadas no tapete, com uma das extremidades em contacto com o batente (1) e com as faces a verde visíveis. Posteriormente, ativa o tapete para que este avance e transporte as guias até que estas esbarrem com o batente (2). Na zona do batente (2), existe um sensor ótico que deteta a chegada das guias e desativa o tapete naquele sentido. Por fim, as guias, depois de completamente abastecidas, estão prontas para que o operador faça a sua recolha acionando o tapete no sentido contrário, completando assim um ciclo. Para que as guias fiquem completamente abastecidas, a máquina necessita de realizar 150 injeções. Então, cada vez que a máquina atinge este patamar, desativa os manipuladores para que não seja danificado qualquer componente devido ao excesso de produto acumulado. Esta situação pode ocorrer se o operador de controlo estiver ausente da máquina por mais de uma hora. Para voltar a colocar os manipuladores em serviço, o operador terá que os ativar novamente no respetivo botão.

Rampa de extração

A rampa de extração, pelo mesmo motivo apresentado no sistema de guias, possui capacidade para a produção de componentes durante uma hora. No que respeita a condicionantes para a aplicação da rampa na zona de trabalho, esta necessita de ser retrátil, para que não haja interferência quando a referencia produzida na máquina não seja a pretendida. Outra restrição é o facto de a rampa poder colidir com moldes de maiores dimensões que possam vir a ser montados na máquina. Na Figura 169, pode-se observar uma montagem provisória de uma rampa, para testar a extração dos componentes.



Figura 169 - Rampa provisória de receção dos componentes injetados.

A extração para a rampa provisória foi ensaiada recorrendo à rampa existente para a descarga manual. O ensaio da rampa serviu para entender qual a cota ideal para ejetar os arames do manipulador, assim como o melhor ângulo para que os arames conseguissem deslizar em toda a sua extensão. Desta maneira, determinou-se experimentalmente o ângulo ideal para que os arames deslizassem. Em contra-partida, o componente mais distante da extremidade da rampa sofrerá uma queda tanto maior quanto maior for o declive da rampa, podendo como consequência, se o ângulo for exagerado, fazer com que alguns dos arames não fiquem corretamente acondicionados, como demonstrado na Figura 170.



Figura 170 - Arames mal acondicionados durante a descarga para a rampa.

Constatado este facto, desenvolveu-se a rampa com duas regiões de declive diferente. A zona em que o manipulador efetua a descarga é a zona crítica, por ter de cumprir os dois requisitos elencados anteriormente, isto é, o declive não pode ser excessivo e ao mesmo tempo não pode ser demasiado baixo para que os componentes sofram deslizamento. Depois dos arames estarem na rampa, a zona posterior poderá ter um declive superior para que estes deslizem com mais facilidade no resto da sua extensão. Na Figura 171 está representado o aspeto da rampa desenvolvida, com as respetivas zonas de diferentes declives identificadas.

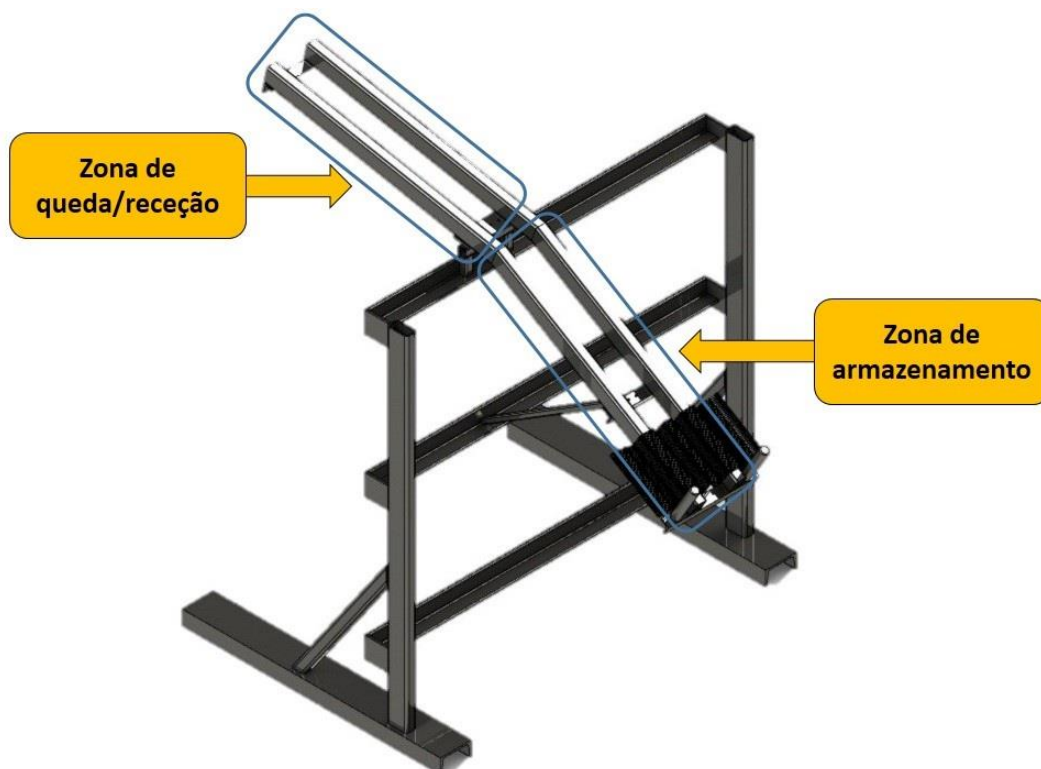


Figura 171 - Identificação dos declives presentes na rampa de recepção de componentes.

O controlo da quantidade de produto depositado na rampa é realizado da mesma forma que no sistema de guias. No entanto, na rampa existe um sensor que fornece a informação ao autómato de quando deve ou não manter o respetivo manipulador ativo, consoante o *stock* presente na rampa. Na Figura 172 encontram-se representados os dois sistemas de recepção de componentes injetados para a referência M3M4 SP.



Figura 172 - Sistemas de recepção de componentes extraídos pelos manipuladores M3M4.

Assim como a referência M3M4 SP, também a referência IBK suporte lateral é injetada na mesma máquina. A razão pela qual esta referência se injeta só nesta máquina deve-se ao facto de esta possuir uma estufa para desumidificar o plástico injetado nesta referência.

Extração IBK Suporte Lateral

Uma vez que esta máquina é largamente usada para injetar os projetos M3M4 e IBK Suporte lateral, sugeriu-se desenvolver um sistema de extração dedicado no mesmo braço. Para isso, são necessários dois sistemas dedicados num só manipulador com *setup* rápido e simples.

Para desenvolver a extração deste componente, primeiro realizou-se uma análise do molde, de onde se extraíram as seguintes conclusões (Figura 173):

- São injetados seis componentes;
- Os componentes não possuem quaisquer tipos de contra-saídas;
- Os extratores do molde deixam a peça bastante acessível para ser captada por garras.



Figura 173 - Cuidade de injeção dos componentes IBK Suporte lateral.

A fase seguinte passou por verificar se uma das garras usadas no manipulador de múltiplas referências é suficiente para captar o componente com estabilidade suficiente. Na Figura 174 encontra-se demonstrado o teste realizado com uma garra já existente e apresentada neste trabalho.

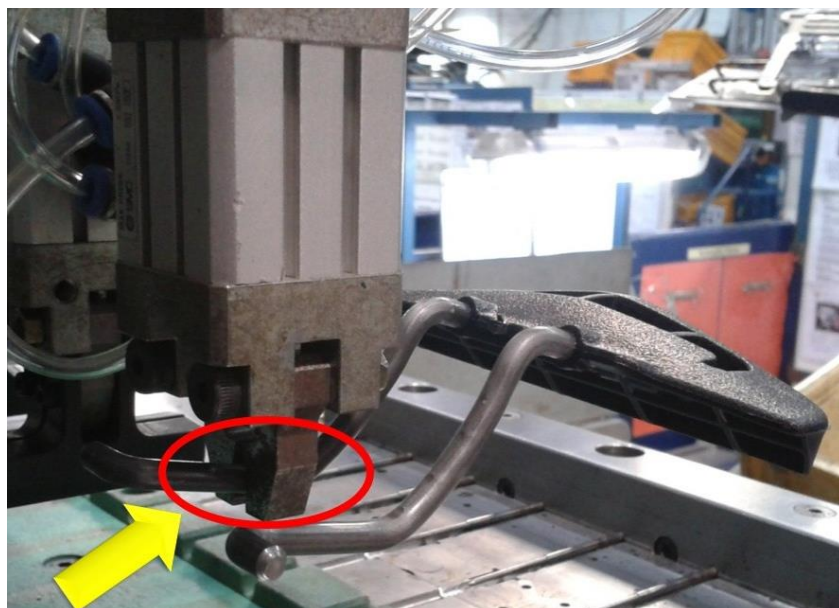


Figura 174 - Verificação da estabilidade de extração com garras existentes.

Da Figura 174, pode-se concluir que uma garra com os dedos côncavos é suficiente para captar este componente, sem que este corra o risco de se mover e cair no molde.

Depois desta análise, passou-se ao desenvolvimento da estrutura de suporte para as garras. A estrutura desenvolvida para a extração desta nova referência é composta por três barramentos com duas garras cada, idênticas aos utilizados no manipulador de múltiplas referências. Na Figura 175 está representado o barramento com duas garras acopladas, para a extração do produto IBK Suporte lateral.

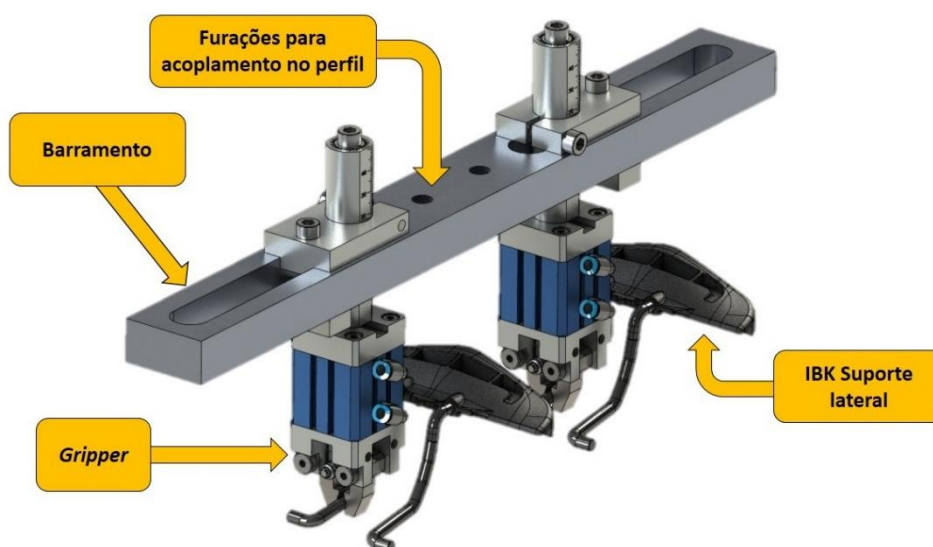


Figura 175 - Barramento e respetivos *garras* para extração do IBK Suporte lateral.

Cada barramento possui furações ao centro para que possam ser acoplados no perfil do braço de extração acionado por servomotor. Este sistema, apesar de ser desenvolvido para uma referência em específico, pode ser regulado para as referências extraídas pelo manipulador de referências múltiplas, uma vez que os barramentos têm o comprimento necessário para ter a mesma cobertura de afinação. No entanto, se as referências necessitarem de mais de seis garras, ou de afinação mais próxima da zona central do barramento, não poderão ser extraídas devido a estarmos limitados pelas dimensões do perfil de alumínio *standard* com secção 80 x 80 mm² do braço de extração (Figura 176).

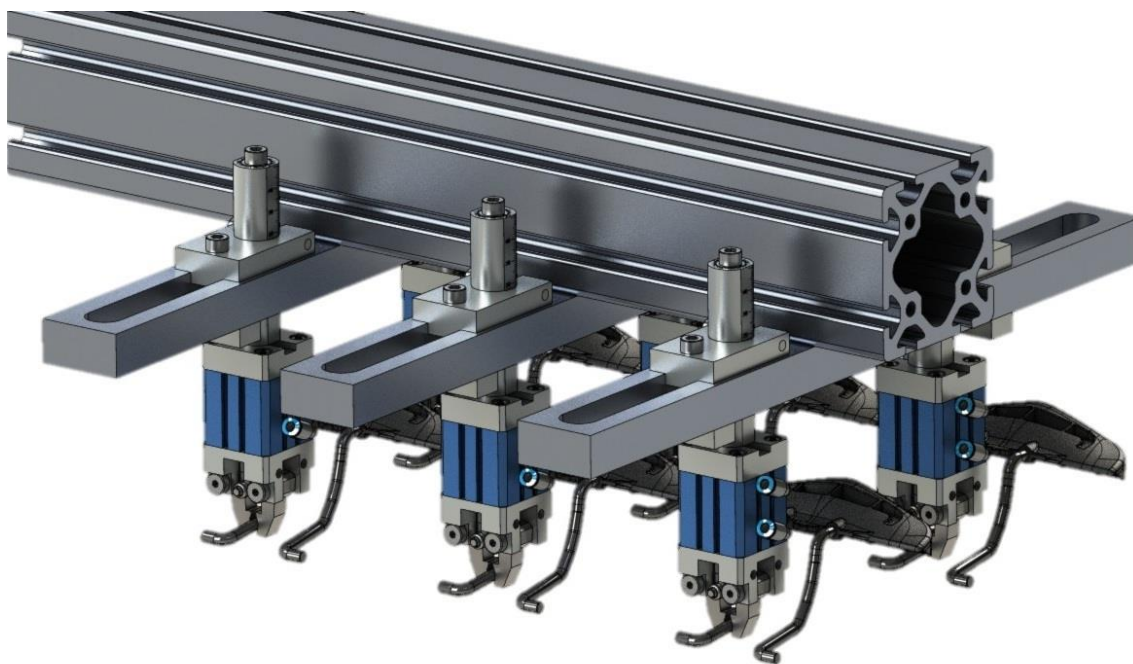


Figura 176 - Conjuntos acoplados no perfil para extração do IBK Suporte lateral.

Uma vez definidas as estruturas para extrair as referências pretendidas, passou-se ao desenvolvimento de um mecanismo capaz de realizar o *setup* entre as duas referências de forma precisa e rápida. Para este fim, definiu-se que cada sistema de extração seria acoplado em faces opostas do perfil do braço de extração. Para efetuar a troca rápida entre referências, o perfil teria de ser capaz de sofrer uma rotação, para que se alternasse entre os dois sistemas. O esquema pretendido encontra-se representado na Figura 177.

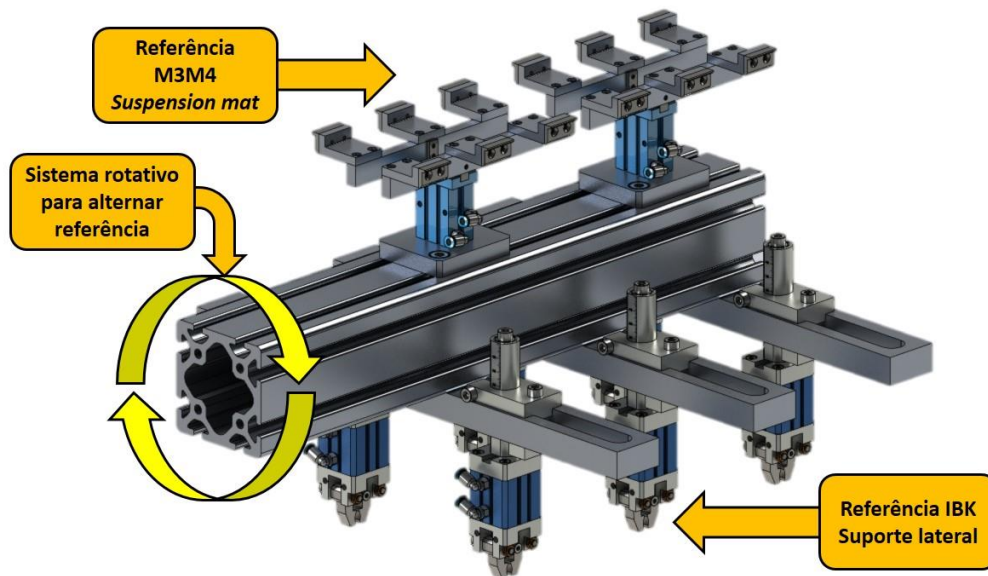


Figura 177 - Representação esquemática do movimento para alternar entre as duas referências.

Com o objetivo de permitir ao perfil realizar movimento de rotação, alterou-se o apoio ao sistema do servomotor. Este apoio passou a ser realizado por um veio fixo na extremidade do perfil, que por sua vez fica acoplado entre duas flanges fixas no apoio já existente, como demonstrado na Figura 178. O perfil apenas necessita de realizar um movimento de rotação de 180°. Para isso, criaram-se dois batentes fixos nas flanges, que fazem com que um parafuso fixo no veio do suporte do perfil limite o ângulo de rotação.

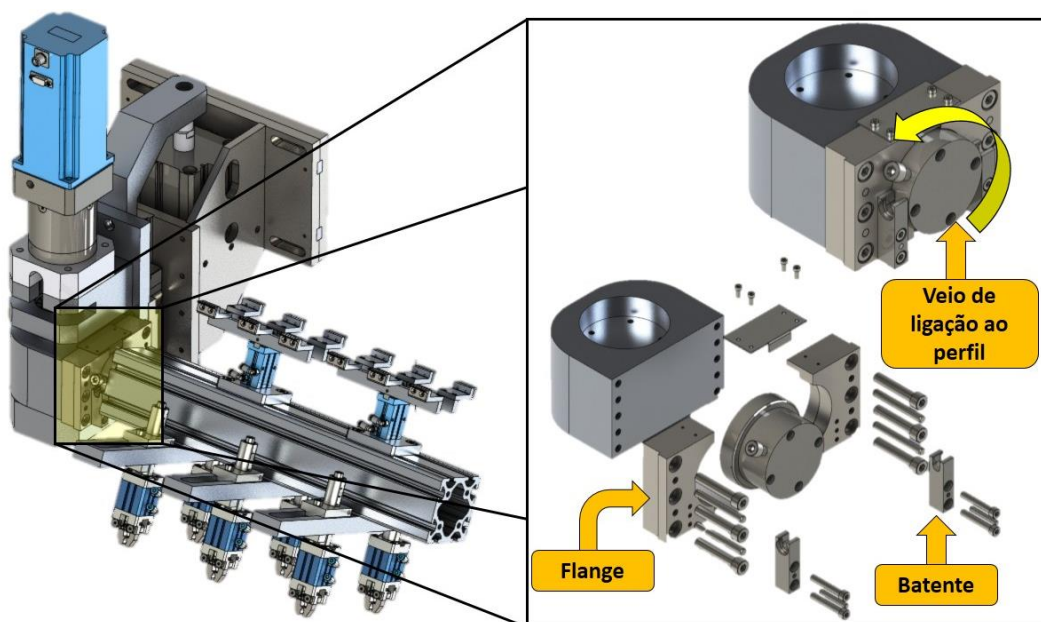


Figura 178 - Sistema rotativo de *setup* rápido.

3.5.2. Projeto do sistema de alimentação dos arames ao molde

Sistema de alimentação dedicado (Alimentador modular)

O alimentador proposto para o sistema de alimentação M3M4 será composto por módulos. Para testar a viabilidade do sistema, optou-se por realizar apenas um módulo da estrutura. Na Figura 179 está representado o módulo da estrutura protótipo a ser fabricado.

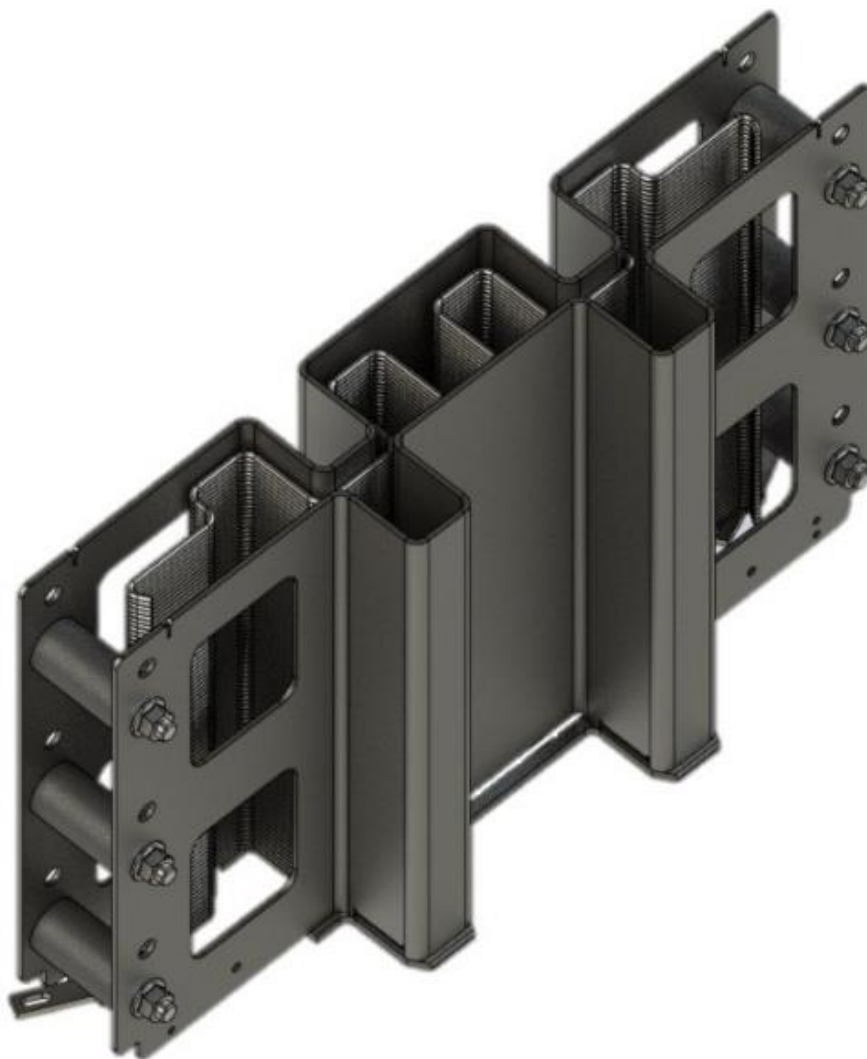


Figura 179 - Protótipo do módulo do alimentador para fabrico.

A estrutura do módulo para protótipo é apenas constituído por duas chapas quinadas com duas bases de apoio para os arames, ligadas entre si com espaçadores em POM (Poliacetal). Para testar o sistema passa/não-passa do arame, também um conjunto de dois seletores e respetivos apoios foram incluídos, com vista a simular a alimentação. Na Figura 180 está exposta uma vista explodida com os componentes a fabricar.

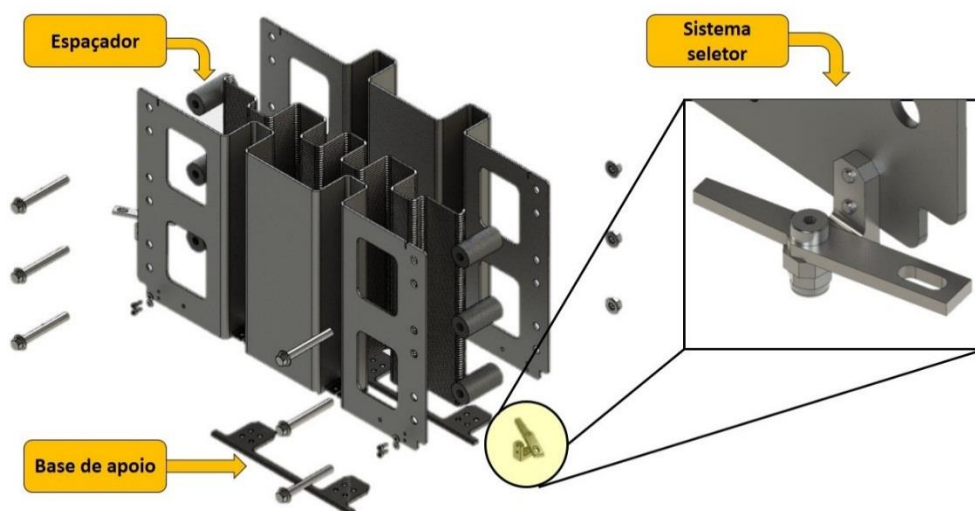


Figura 180 - Vista explodida do módulo alimentador M3M4.

Depois de adquirido o módulo do sistema de alimentação, realizaram-se testes carregando a ranhura disponível para os arames e acionando os seletores manualmente. Realizadas várias tentativas, concluiu-se que o sistema passa/não-passa era ineficaz. Este problema ocorre devido ao arame, muitas das vezes, possuir uma certa concavidade relativamente ao plano de dobragem, fazendo com que o seletor do sistema passa/não-passa, quando acionado, não selecione o último arame corretamente, como representado na Figura 182. Outro ponto importante foi a verificação da dificuldade que houve por parte do fabricante em cumprir o rigor dimensional das chapas quinadas para a estrutura, que afetou gravemente o correto funcionamento do sistema, por apresentar desvios significativos em algumas dobras. O protótipo fabricado encontra-se representado na Figura 181.

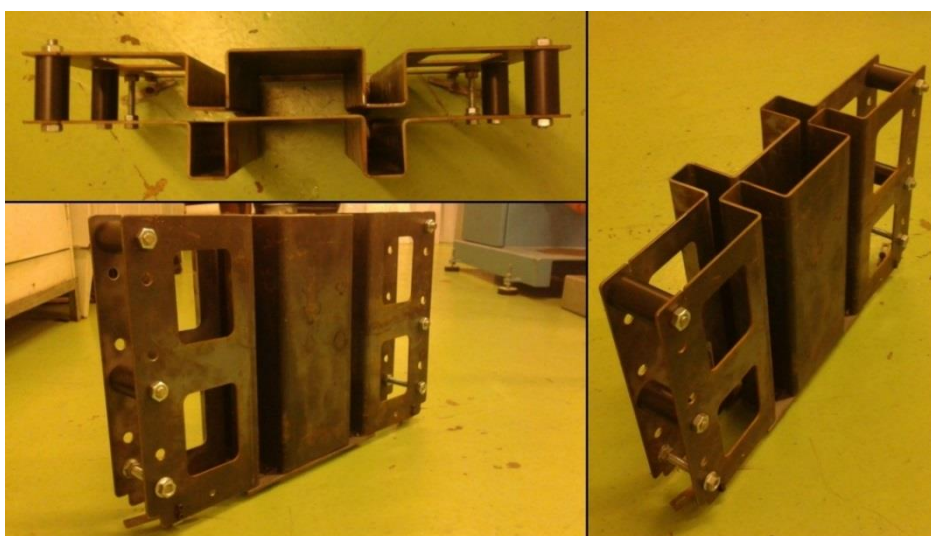


Figura 181 - Módulo do alimentador protótipo fabricado.

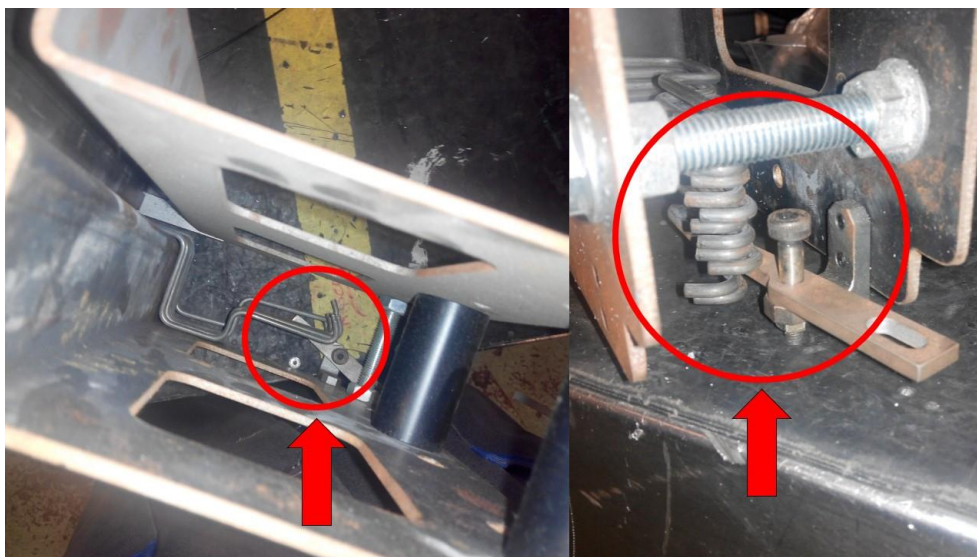


Figura 182 - Problemas no seletor associados à dobragem do arame.

Analisados os problemas acima referidos, foi necessário partir para outras soluções com fiabilidade suficiente e capazes de absorver os desvios verificados no protótipo construído.

Sistema de alimentação dedicado - Alimentador de máscaras

Como ponto de partida, aproveitando conceitos do alimentador anterior, estabeleceu-se que o sistema de gaveta e respetivo chassis em perfil de alumínio seriam mantidos. Os pontos críticos a modificar são, basicamente, o sistema de cames que alimenta a gaveta com um arame de cada coluna, assim como a substituição do sistema de guiamento com chapas, por não fornecer o rigor e robustez necessários.

No alimentador anterior, o arame de cada coluna era alimentado para a gaveta a partir de um sistema de cames comum, que atuava pelas laterais do chassis. O motivo pelo qual se faziam os movimentos dessa forma, era devido à falta de espaço entre os arames (cerca de 10 mm). Para contornar este obstáculo, pensou-se em reduzir o número de colunas de arame, isto é, em vez de serem seis colunas de arames a abastecerem diretamente a gaveta, passariam a ser apenas três colunas, intercaladas com o espaço necessário a outra coluna igual. Desta forma, ganharia-se espaço para que se realizasse um sistema de acionamento no arame, evitando assim o ataque ao arame pelas laterais, que levavam aos problemas encontrados no protótipo construído (Figura 184). Para igualar o *stock* de arames do alimentador com seis colunas, as três colunas do novo alimentador terão de possuir o dobro do comprimento. Por esta razão, a gaveta terá de realizar três posições, como as indicadas na Figura 183. As posições realizadas são:

cilindro da gaveta totalmente recuado, em que são alimentados três arames intercalados, depois uma posição relativa à anterior, com o comprimento igual ao do espaço ocupado por um arame mais a folga entre eles, onde são alimentados os outros três arames que faltavam, ficando assim os seis arames na gaveta, com as posições geometricamente iguais às do molde. Por último, existe uma terceira posição, em que o cilindro que atua a gaveta fica totalmente estendido, para permitir que os arames fiquem acessíveis superiormente para o manipulador.

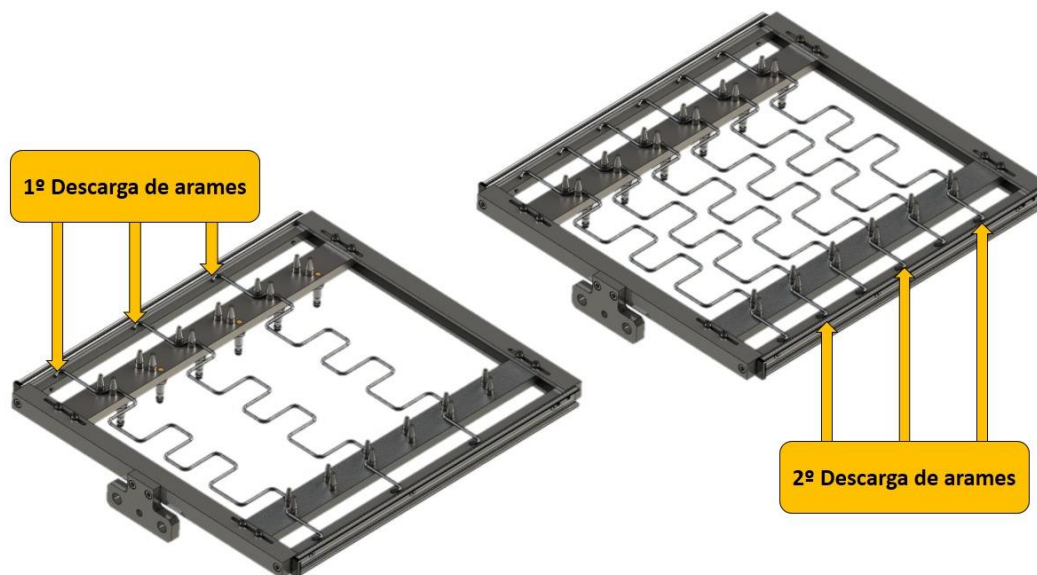


Figura 183 - Sequência de descarga dos arames de forma intermitente.

Para servir de base ao sistema, pensou-se numa chapa em aço maquinada, com o desenho parcial da forma do arame, ou seja, apenas o necessário para guiar o arame corretamente. Na Figura 184 encontra-se representada a forma da chapa, com as ranhuras para a passagem e guiamento do arame.

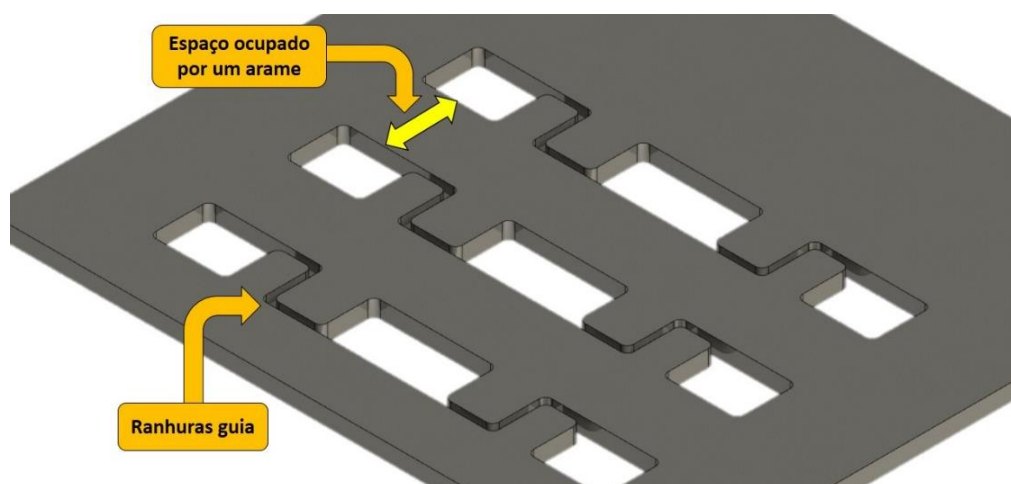


Figura 184 - Chapa da base com parte da forma do arame maquinada.

Também o topo do alimentador por onde se realizará o abastecimento do mesmo é composto por uma chapa semelhante à base, porém, menos complexa. As duas bases estão fixas por uma estrutura cúbica em perfil de alumínio *standard* com secção 40x40 mm² (Figura 185). Com as bases em chapa de aço tira-se partido de um sistema mais robusto e rigoroso no seu fabrico, induzindo um aumento significativo à fiabilidade da máquina.

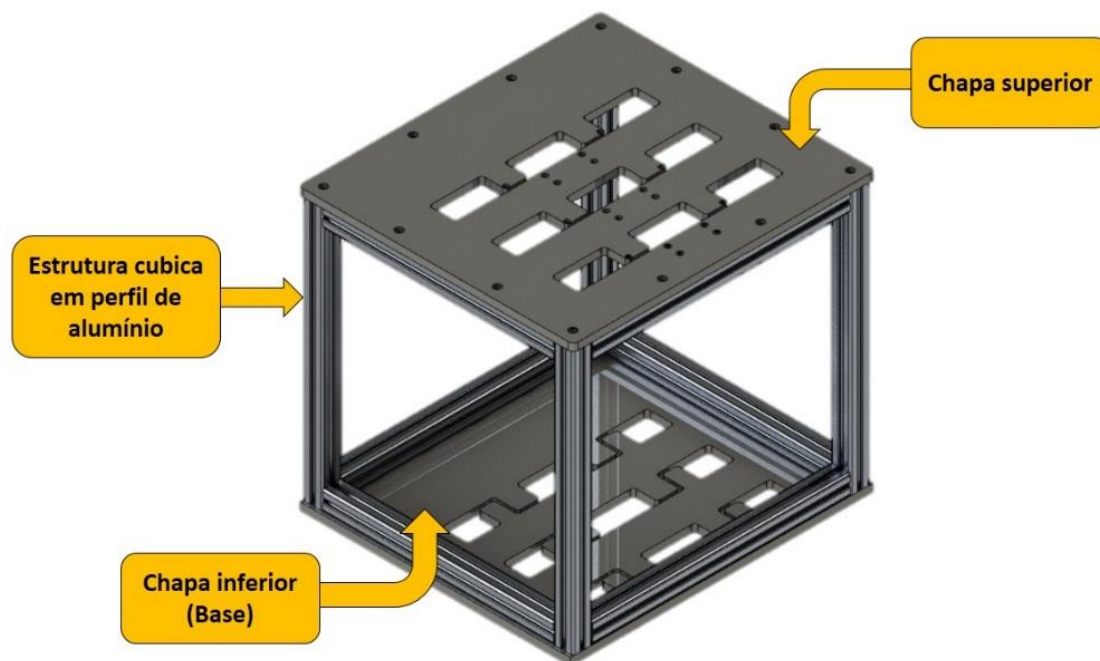


Figura 185 - Estrutura do alimentador.

O sistema responsável por alimentar os arames das colunas para a gaveta, é igualmente atuado por apenas um cilindro como no sistema anterior. Este cilindro está acoplado a um sistema de cames composto por dois veios, situados um em cada extremidade da base do alimentador, guiados por dois apoios com rolamentos lineares. Para conduzir o movimento às três colunas de arame, os veios possuem ligadas três barras com três batentes cada, posicionadas estrategicamente para empurrar o arame uniformemente em toda a sua extensão. Para regular o curso do sistema, existem quatro afinadores posicionados no topo de cada veio de transmissão. O sistema de cames referido encontra-se ilustrado na Figura 186 e Figura 187.

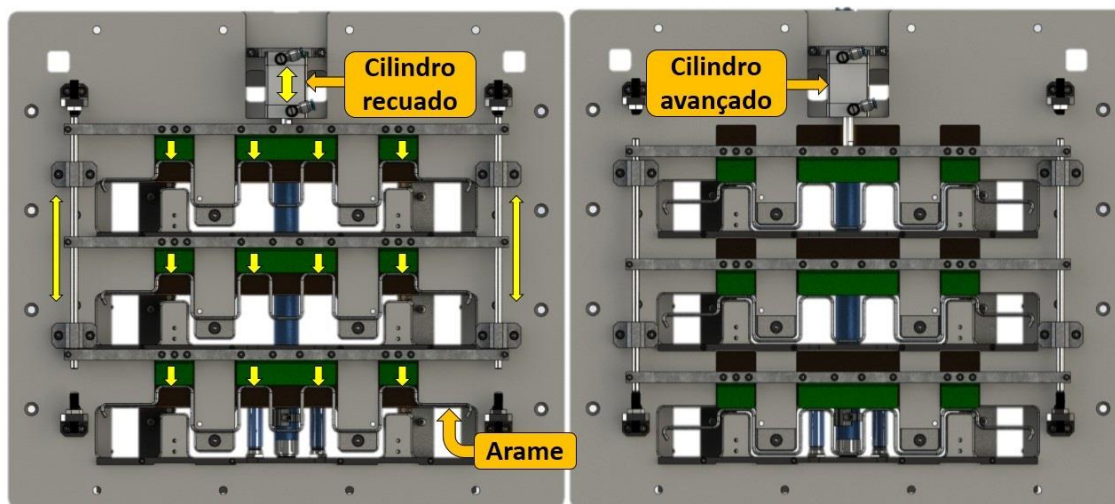


Figura 186 - Cinemática do sistema de cames.

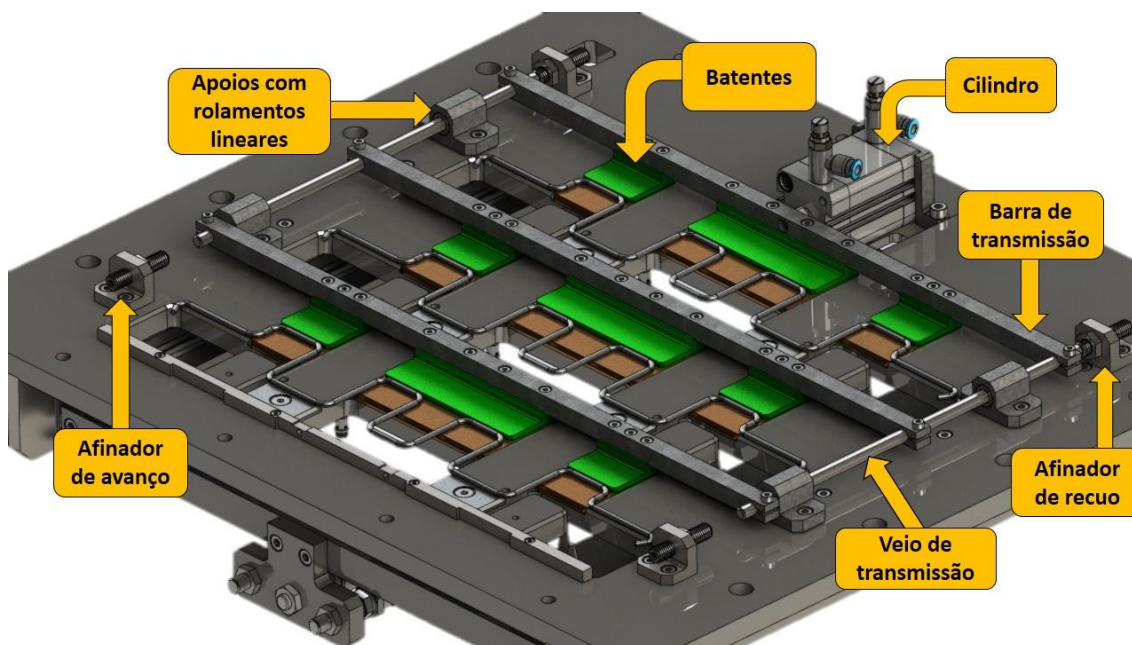


Figura 187 - Componentes do sistema de cames

Com a finalidade de melhorar o contacto entre a base e os batentes do sistema de cames, foram introduzidos insertos de bronze. Desta forma, diminui-se o atrito deste contacto e introduz-se um componente de desgaste que pode facilmente ser substituído, facilitando o trabalho de manutenção. Foram também utilizados insertos de aço temperado nas zonas da chapa inferior, que se encontram submetidas a maior desgaste. Na Figura 188 estão indicadas as zonas onde foram colocados os insertos acima referidos.

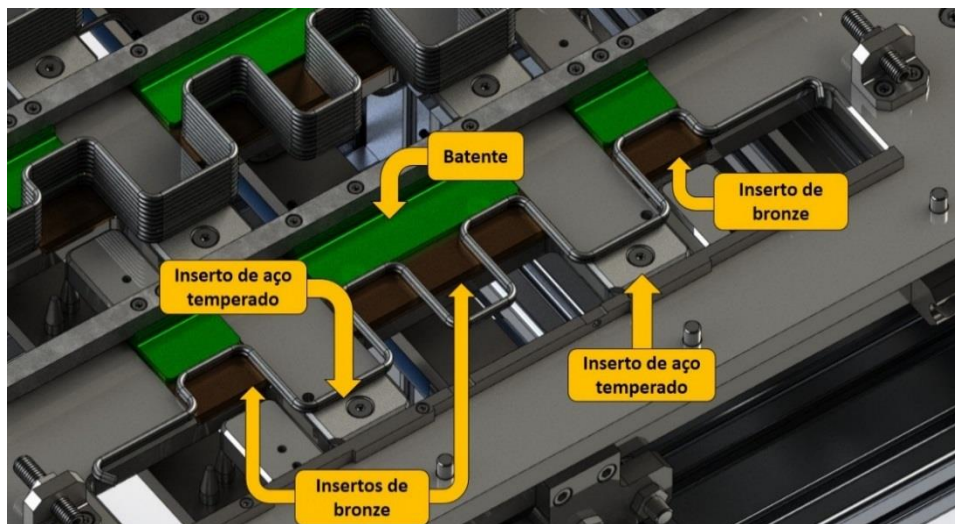


Figura 188 - Insertsos de aço e bronze, utilizados como componentes de desgaste.

Os arames de *stock* do alimentador de cada coluna, são guiados por 2 veios ligados do topo do alimentador até à sua base. Os veios necessitam de estar posicionados no lado oposto ao de deslizamento do arame para a ranhura da base, que fornece acesso à gaveta. Para guiar o arame na parte frontal e ao mesmo tempo permitir que os batentes do sistema de cames só empurrem um arame, duas barras com forma aproximadamente triangular foram acopladas na base superior do alimentador, com um comprimento suficiente para deixar uma folga pouco superior ao diâmetro de um arame, entre a extremidade da barra e base inferior do alimentador. Assim, fica garantido que apenas um arame de cada coluna é alimentado para a gaveta. A Figura 189 e Figura 190 ilustram o sistema de guiamento dos arames com o pormenor da folga que permite apenas a passagem de um arame.

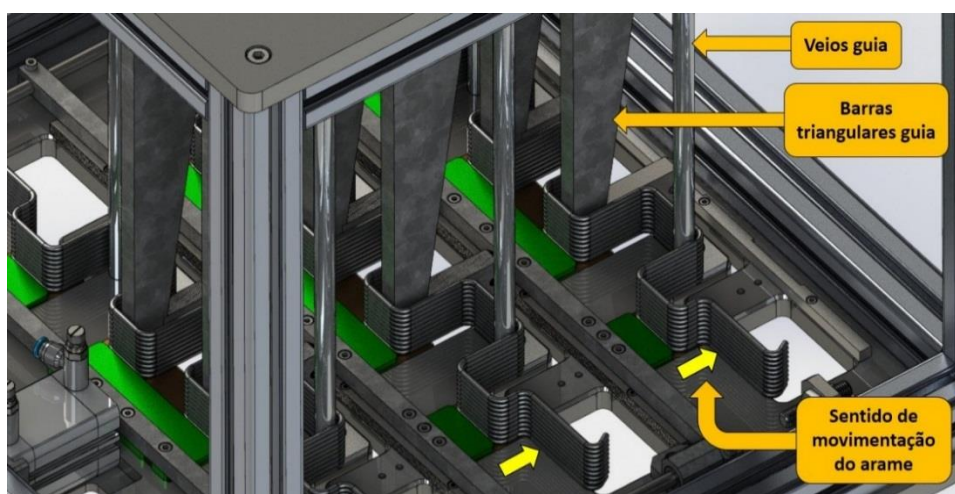


Figura 189 - Sistema de guiamento dos arames.

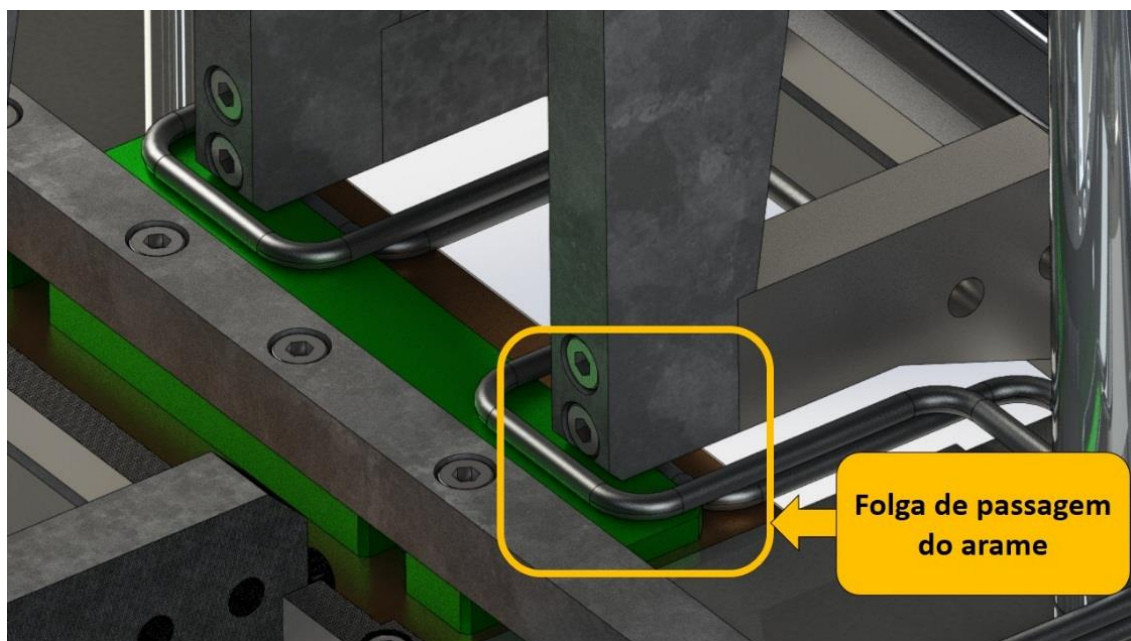


Figura 190 - Folga de passagem do arame, quando empurrado pelos batentes.

A presença de arames em cada coluna é garantida por um sensor indutivo posicionado na lateral das mesmas, para que o ciclo nunca seja iniciado sem que o alimentador possua arames. Este sensor possui também o objetivo de indicar a partir de um sinal luminoso, que necessita ser reabastecido. Na Figura 191 encontra-se ilustrado o local onde se encontram os sensores.

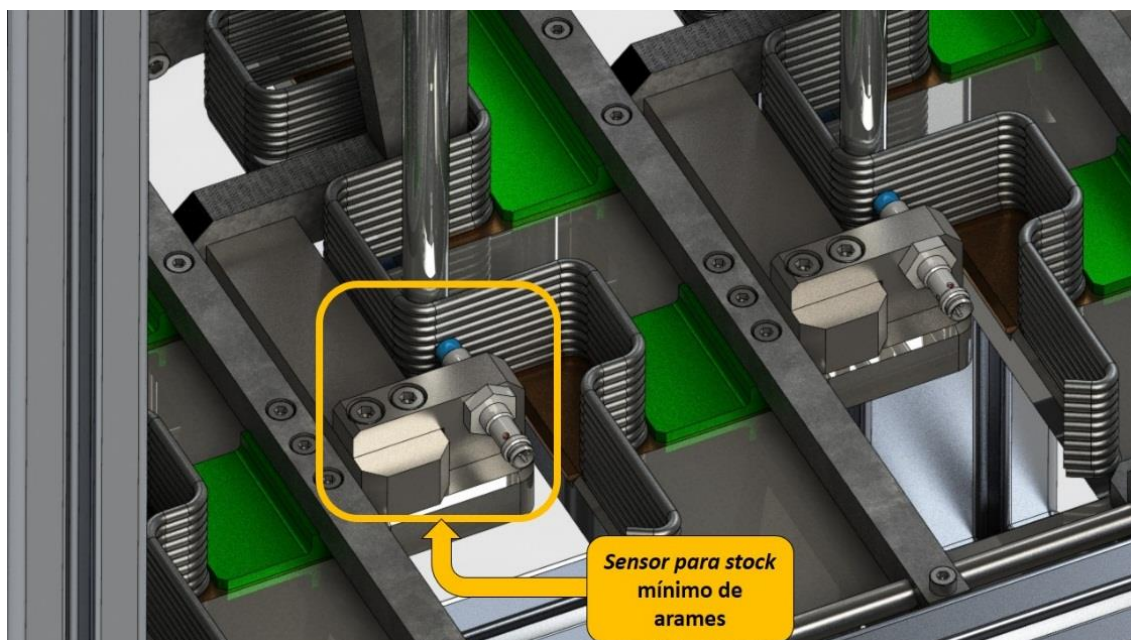


Figura 191 - Sensores para deteção do *stock* mínimo de arames nas colunas.

O sistema de gaveta é composto por uma estrutura em aço com forma aproximadamente quadrangular, onde duas guias lineares telescópicas estão montadas nas laterais que, com a ajuda de um cilindro DSNU da Festo com curso de 500 mm, animam o sistema. Na Figura 192 encontra-se representado o sistema da gaveta com os respectivos componentes.

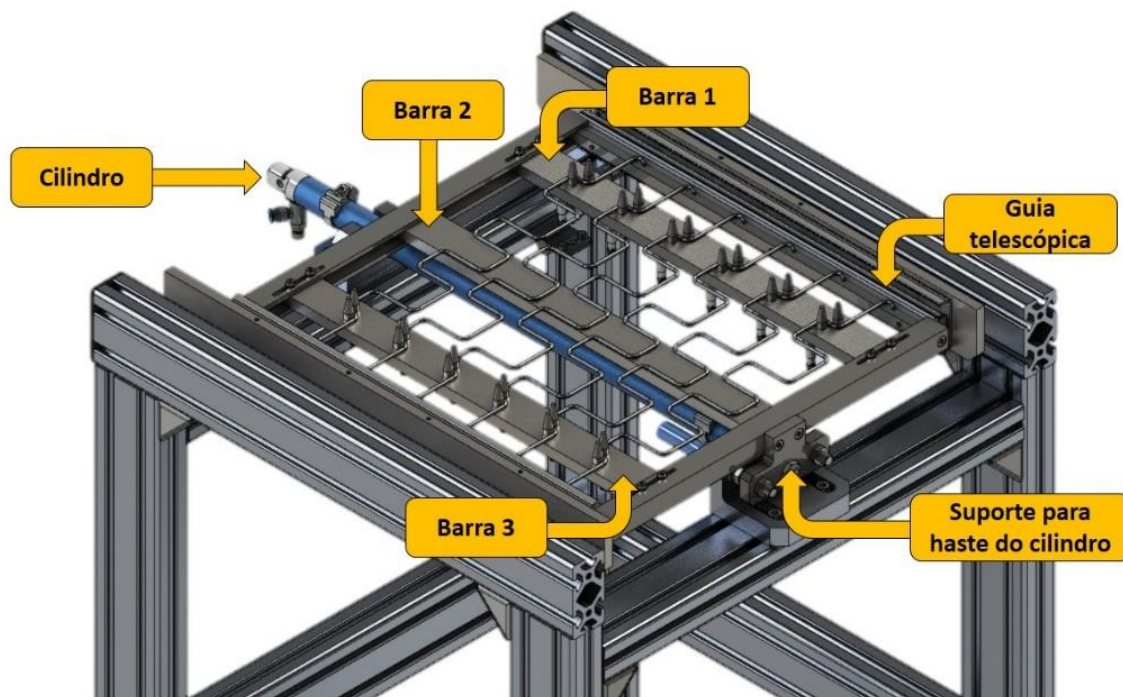


Figura 192 - Gaveta com respectiva identificação das barra-guia

As barras da parte central da estrutura da gaveta têm a função de acomodar os arames provenientes do alimentador. As barras laterais (1) e (3), como já referido, possuem pinos cónicos para que os desvios do arame e folgas do sistema de alimentação sejam autocompensados. A barra central (2) pretende manter o arame alcançável ao manipulador, no caso de estes possuírem forma convexa. Ainda nas barras (1) e (3), foram também introduzidos sensores indutivos para indicar a presença do arame. Com o recurso a estes sensores, é possível interromper o ciclo no caso de um arame não ser colocado na gaveta e indicar a partir de um sinal luminoso que a máquina possui um erro e necessita de intervenção. Junto dos sensores foram introduzidos ímanes, para que o arame seja atraído para o sensor e seja detetado. Assim, evitam-se problemas de deteção da sua presença devido à convexidade do arame, mesmo com estes presentes. Na Figura 193, encontram-se representados os sensores indutivos, assim como o íman junto de cada sensor.

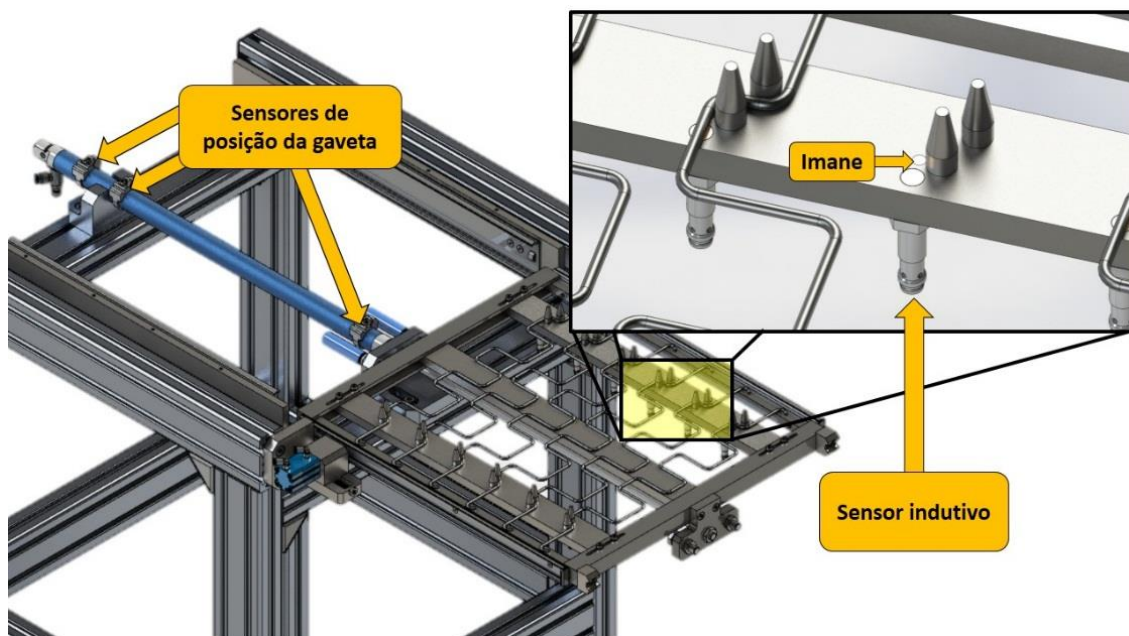


Figura 193 - Sensores e ímãs presentes na gaveta.

As posições da gaveta aberta e fechada são definidas pelo curso do cilindro. No entanto, a posição intermédia para realizar a segunda dose de alimentação, necessita de um sistema que limite o curso do cilindro para a posição desejada. Atendendo a essa necessidade, pensou-se em utilizar sensores magnéticos no cilindro e, através de um comando de válvulas e programação do PLC, realizar a paragem na posição pretendida. Contudo, como ar é um fluido compressível e por vezes podem acontecer variações no caudal da instalação de ar comprimido, a precisão e repetibilidade do curso pretendido poderia por vezes falhar. Para colmatar este problema, desenvolveram-se dois batentes mecânicos acionados por cilindros pneumáticos de duplo efeito, que garantam fisicamente que a gaveta realiza a paragem sempre na mesma posição. Estes batentes encontram-se nas faces do perfil, à saída da parte frontal da gaveta, como demonstrado na Figura 194.

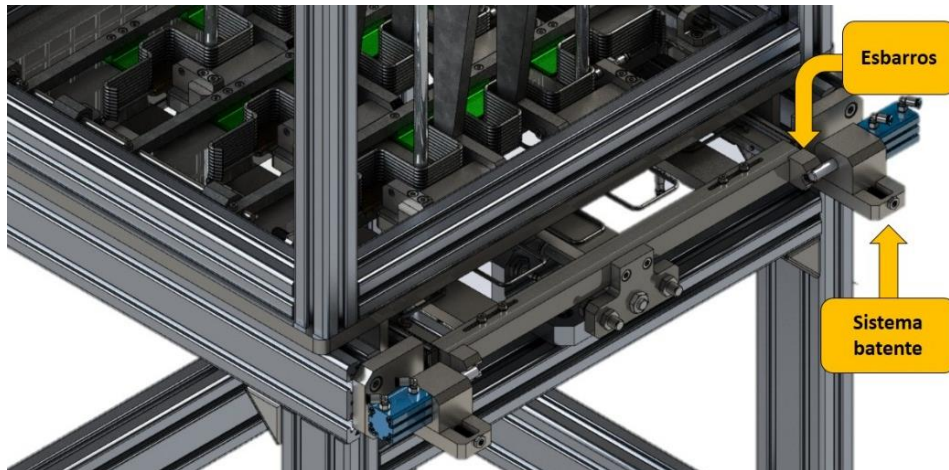


Figura 194 - Sistema de batentes da gaveta.

Na zona frontal da gaveta, foram incluídos dois esbarros para colidirem com os veios dos batentes, que definem a posição intermédia da gaveta para a segunda descarga de arames. Os batentes possuem afinação no sentido de abertura/fecho da gaveta para que se possa afinar o curso pretendido. Na Figura 195 encontra-se ilustrada a vista explodida do batente.

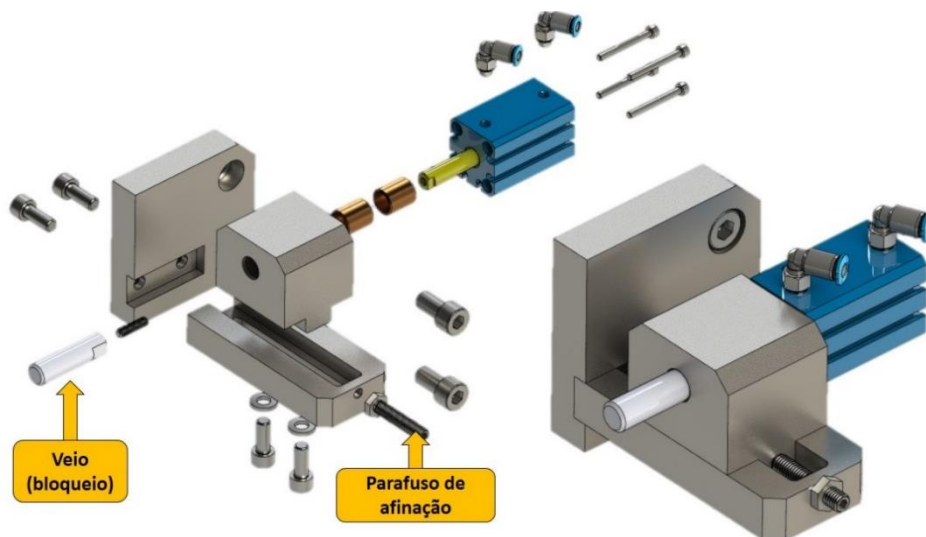


Figura 195 - Batente de bloqueio para a gaveta.

Embora a posição de recuo da gaveta esteja limitada pelo recuo do cilindro, achou-se por bem introduzir afinação nesta cota, com o objetivo de salvaguardar a durabilidade do cilindro devido a possíveis impactos com cargas significativas. Outro motivo é o facto de o cilindro estar fixo à estrutura de apoio do alimentador, e não diretamente na estrutura do alimentador, isto é,

durante a montagem, a posição do alimentador relativamente ao cilindro pode variar e afetar o curso da gaveta. Para realizar esta afinação, no apoio da gaveta que faz a ligação á haste do cilindro, introduziram-se dois parafusos que fazem esbarro com dois amortecedores posicionados no apoio do cilindro. Na Figura 196, encontra-se ilustrada a forma como os dois batentes interagem para regular a posição de origem da gaveta.

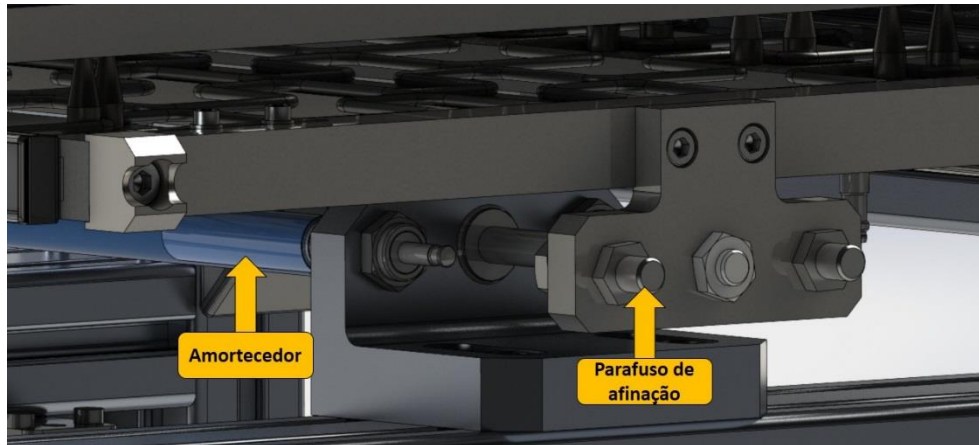


Figura 196 - Sistema de afinação do recuo da gaveta.

Ciclo de funcionamento do alimentador M3M4

O ciclo de funcionamento do alimentador é constituído pelas fases descritas abaixo:

- Alimentação dos arames acima do *stock* mínimo nas três colunas do alimentador (Figura 197);

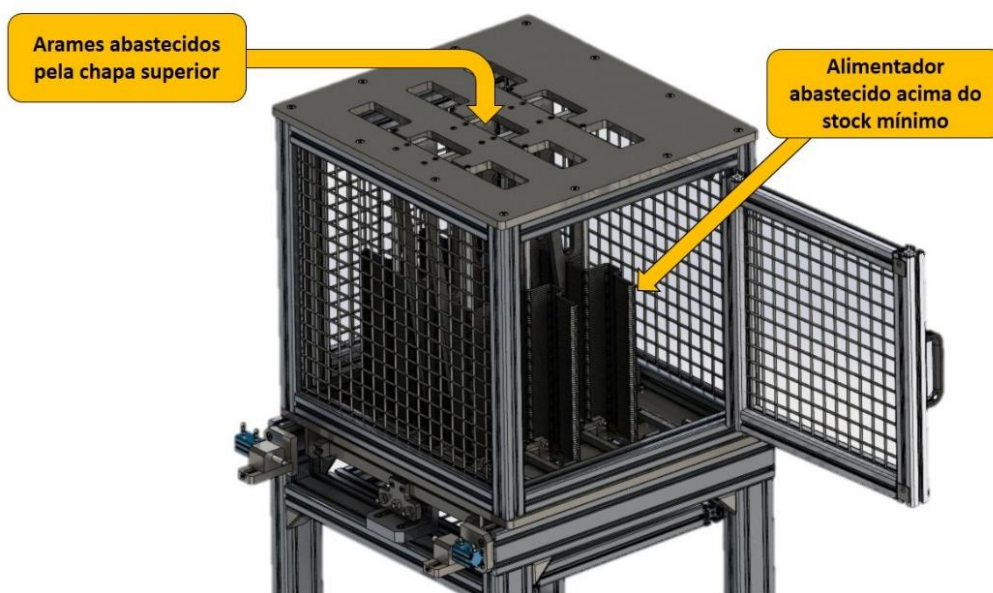


Figura 197 - Abastecimento do alimentador com arames.

- O sistema de cames inicialmente encontra-se avançado, para que os arames em *stock* não corram o risco de passarem para a gaveta (Figura 198);

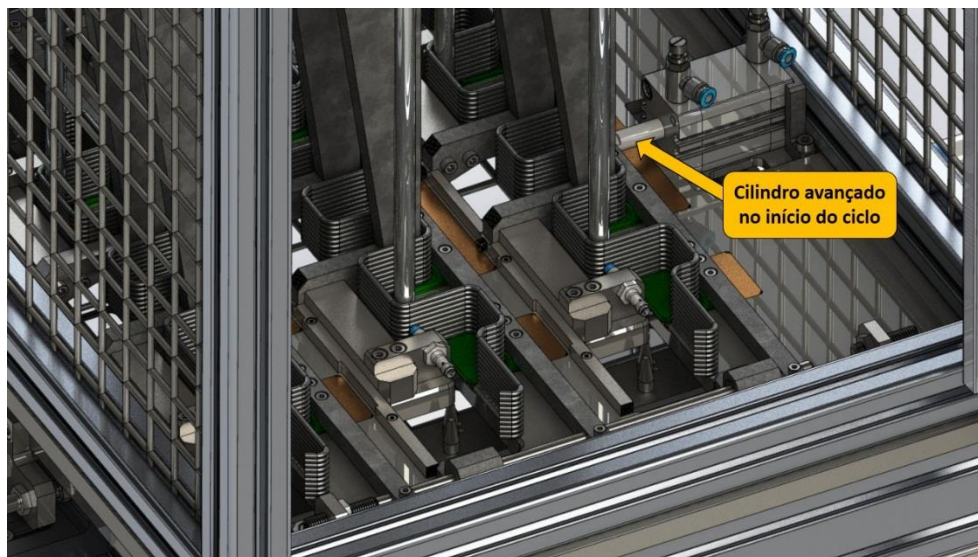


Figura 198 - Sistema de cames com cilindro avançado no início do ciclo.

- Com a gaveta recolhida, o sistema de cames é acionado e faz com que três arames caiam na gaveta (Figura 199);

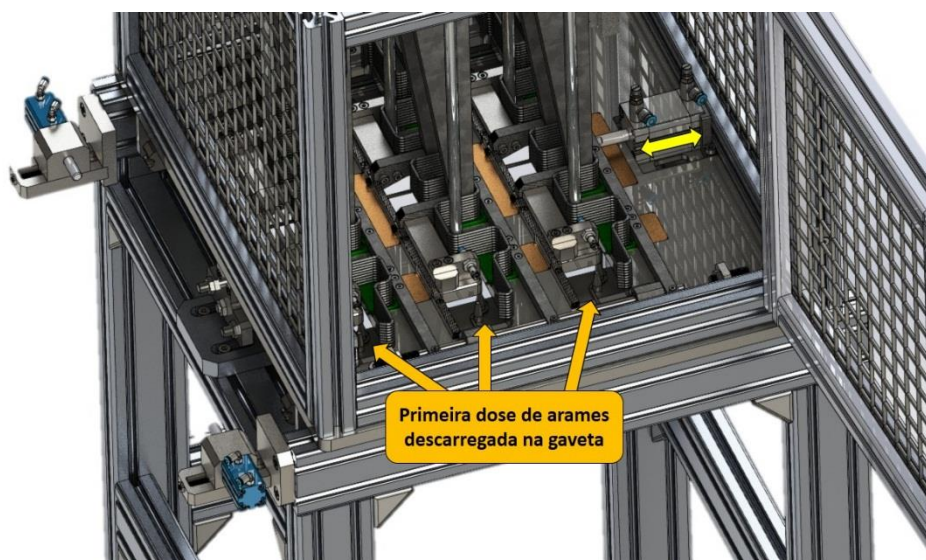


Figura 199 - Descarga dos primeiros três arames para a gaveta.

- A gaveta realiza o avanço do passo de um arame e, de seguida, a segunda dose de arames chega à gaveta, fazendo com que esta contenha os seis arames necessários para abastecer o molde (Figura 200);

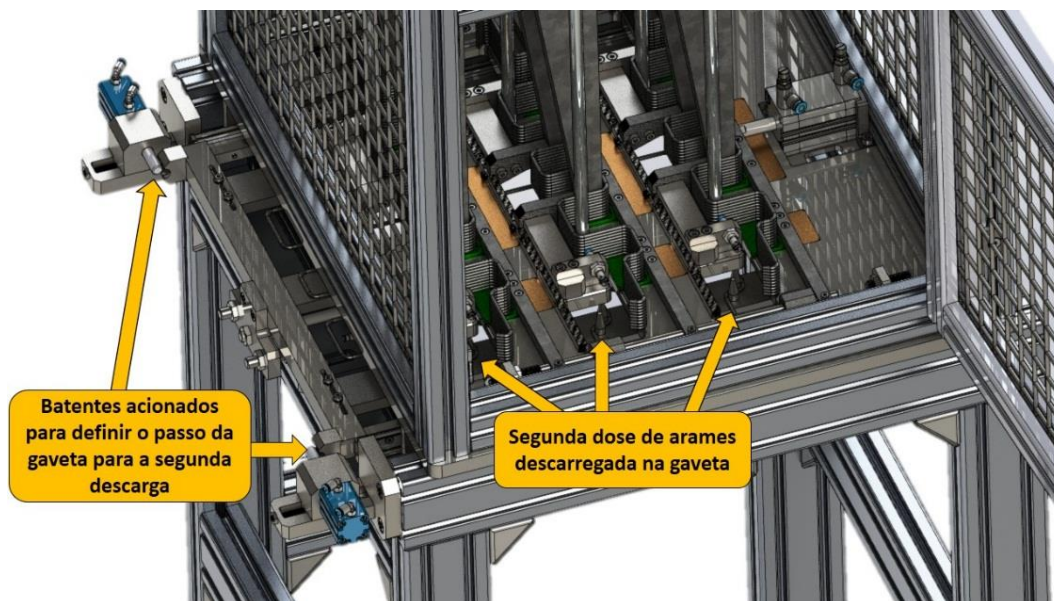


Figura 200 - Segunda descarga de arames para a gaveta.

- Por fim a gaveta abre totalmente e aguarda que os arames sejam removidos pelo manipulador. Depois de removidos, a gaveta retorna a posição inicial (Figura 201).

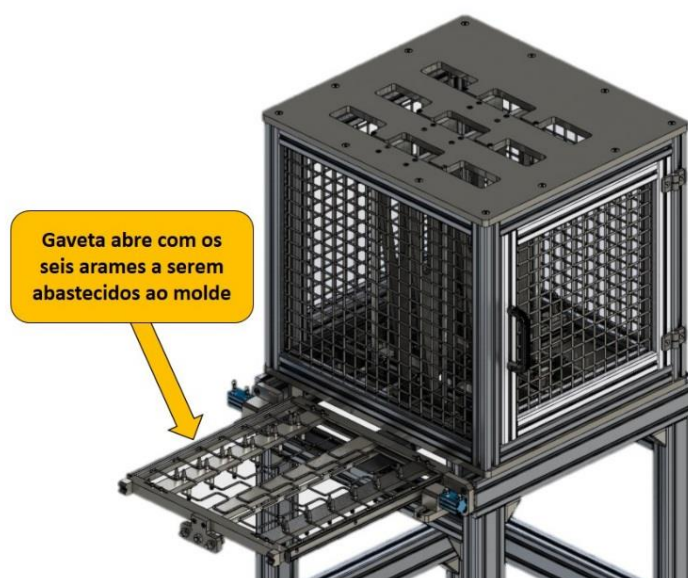


Figura 201 - Gaveta aberta com 6 arames marcando o fim do ciclo.

O alimentador assenta numa estrutura de alumínio, com altura suficiente para que a gaveta e a superfície do molde M3M4 montado na injetora fiquem complanares (Figura 202). Para ajudar a cumprir este requisito, a estrutura contém apoios reguláveis em altura.

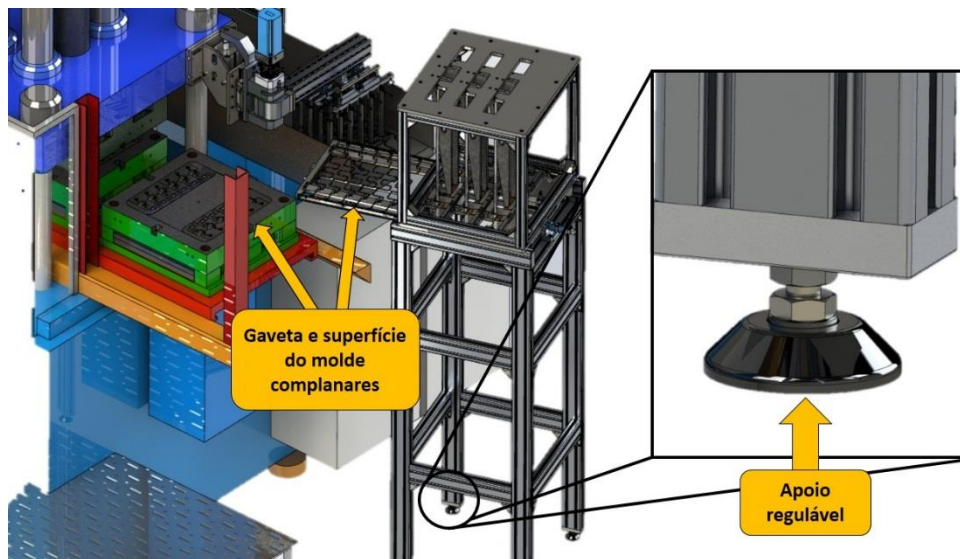


Figura 202 - Pormenor da gaveta do alimentador com planar com o molde.

Obtido o manipulador do sistema M3M4, realizaram-se alguns testes em que se removiam os arames do molde e introduziam-se novamente, para verificar se o manipulador conseguia fazer a alimentação dos arames. Alguns problemas surgiram devido ao movimento do arame durante o transporte pelo manipulador, isto é, o arame não encaixou nas “bocas de lobo”, quando introduzido no molde. Na Figura 203 está representado este mesmo problema de alimentação do arame.



Figura 203 - Arame mal acondicionado durante a alimentação ao molde.

Para resolver o problema, realizaram-se algumas alterações nas “bocas de lobo” do molde e no manipulador. Nas “bocas de lobo” abriram-se chanfros para que o arame escorregasse para a posição desejada, como indicado na Figura 204.



Figura 204 - Chanfros realizados nas “bocas de lobo” do molde M3M4.

No manipulador, adicionou-se um sistema de calcadores para forçar o arame a entrar nas “bocas de lobo” do molde e, ao mesmo tempo, com o movimento de subida do manipulador, este não deslocar o arame da posição correta. Na Figura 205 encontra-se representado em pormenor o sistema de calcadores desenvolvido para o manipulador M3M4.

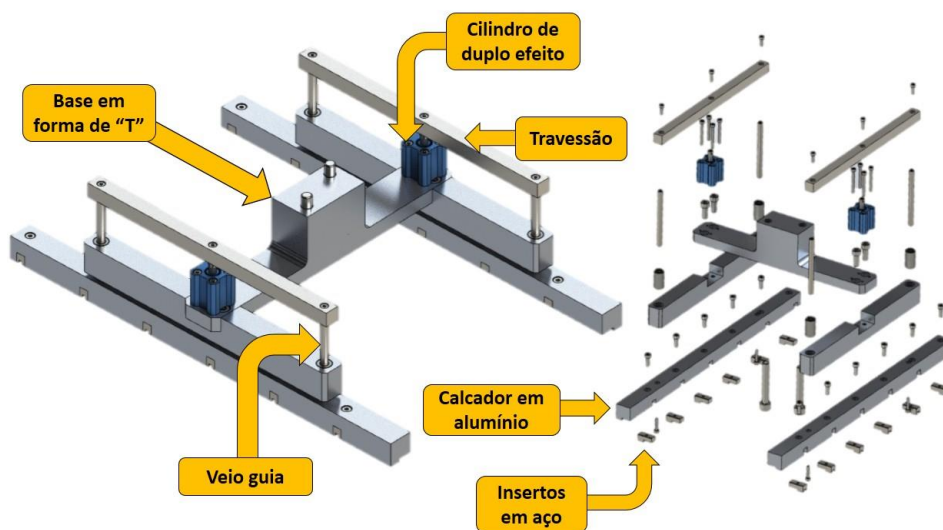


Figura 205 - Sistema de calcadores do manipulador M3M4.

Este conjunto é constituído por uma base em forma de “T”, com um cilindro pneumático de duplo efeito acoplado em cada extremidade, responsável por realizar o movimento de subida e descida das barras que calçam o arame. O movimento é transferido dos cilindros para os calcadores, a partir de um travessão com dois veios-guia que deslizam em rolamentos lineares. As barras do calçador são de alumínio e possuem insertos em aço nas zonas em que contactam

com o arame. Estes insertos têm a finalidade de evitar desgastar as barras precocemente, e assim reduzir a sua manutenção. Na Figura 206 está ilustrada a forma final do manipulador, incluindo os calçadores anteriormente desenvolvidos para ajudar na alimentação dos arames no molde.

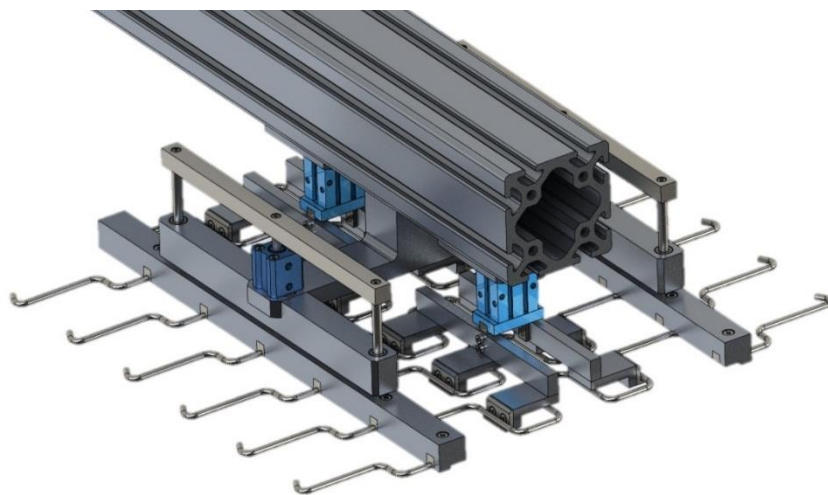


Figura 206 - Representação do manipulador M3M4 final com arames a alimentar.

Inicialmente este conjunto funcionou apenas como extração dos componentes injetados, uma vez que o projeto foi desenvolvido e executado primeiro que o do alimentador de arames.

Ao longo de várias semanas de uso, verificou-se que o garra paralela usada no módulo do sistema de extração fraturava, devido à ligação frágil do dedo com a barra de três dentes que capta os três componentes de uma só vez (Figura 207).

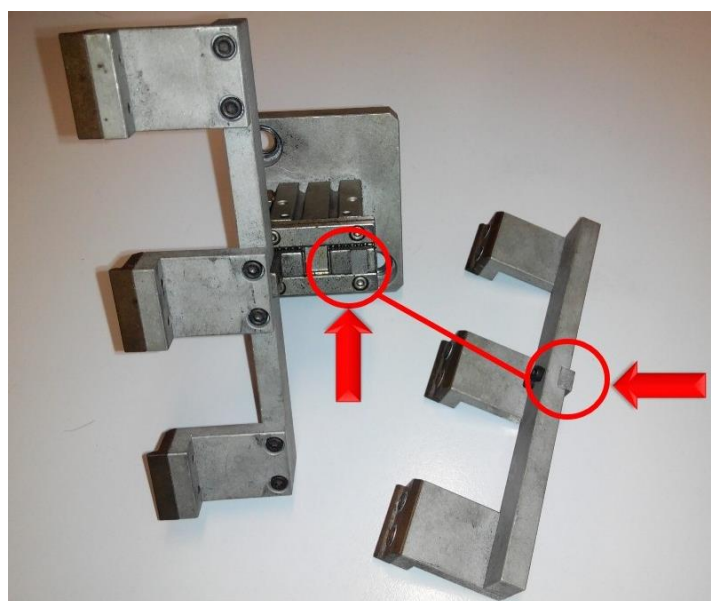


Figura 207 – Aspetto da garra fraturada.

Tendo em consideração que esta garra da SMC tem um custo de aproximadamente 200€ e ainda, que este manipulador terá também de ser usado para abastecer arames, resultando numa maior frequência de fratura das garras, assumiu-se que seria vantajoso conceber um mecanismo com o mesmo princípio de funcionamento mas, mais robusto.

O mecanismo desenvolvido consiste num sistema de cunha que, quando acionado por um cilindro pneumático de duplo efeito, faz com que as garras se movam paralelamente à semelhança do sistema anterior (Figura 208).

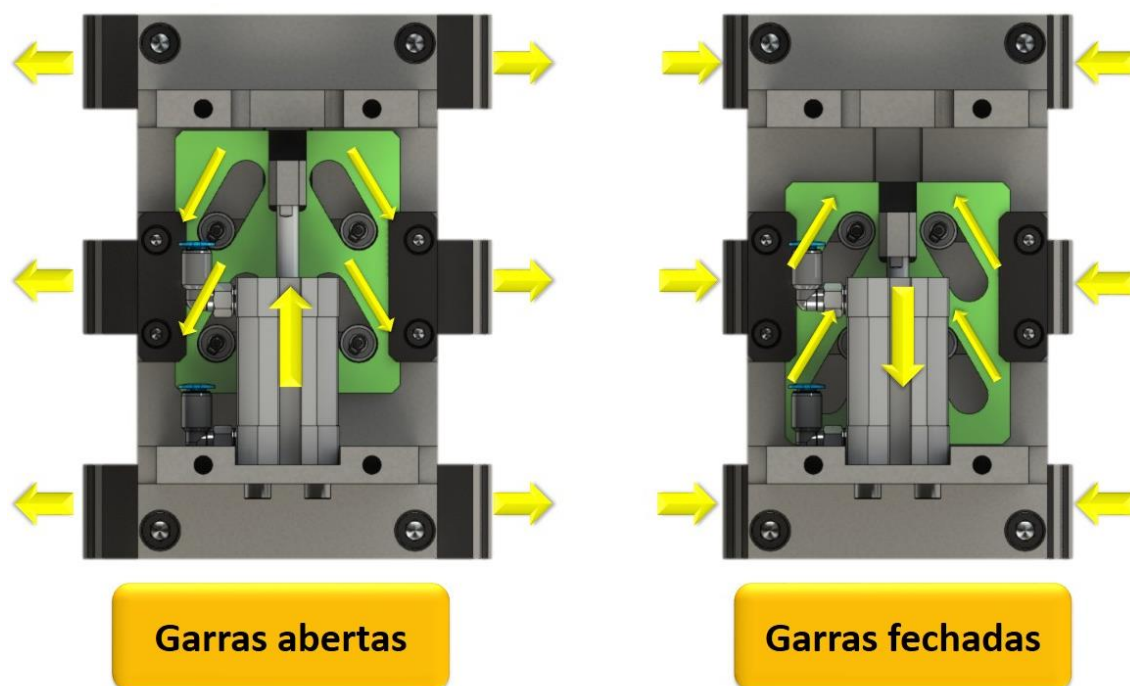


Figura 208 - Funcionamento do sistema em cunha.

Na Figura 208 encontram-se indicados os movimentos principais do mecanismo, quando o cilindro é acionado. Com o avanço do cilindro, a peça verde (cunha) avança solidaria, e faz com que quatro pinos com rolamentos dentro dos rasgos inclinados, sejam forçados a rolar e mover lateralmente as garras que se encontram na zona adjacente deste mecanismo. Com o objetivo de eliminar possíveis desalinhamentos, o sistema de cunha possui guias laterais e um rasgo central, com o demonstrado na Figura 209.

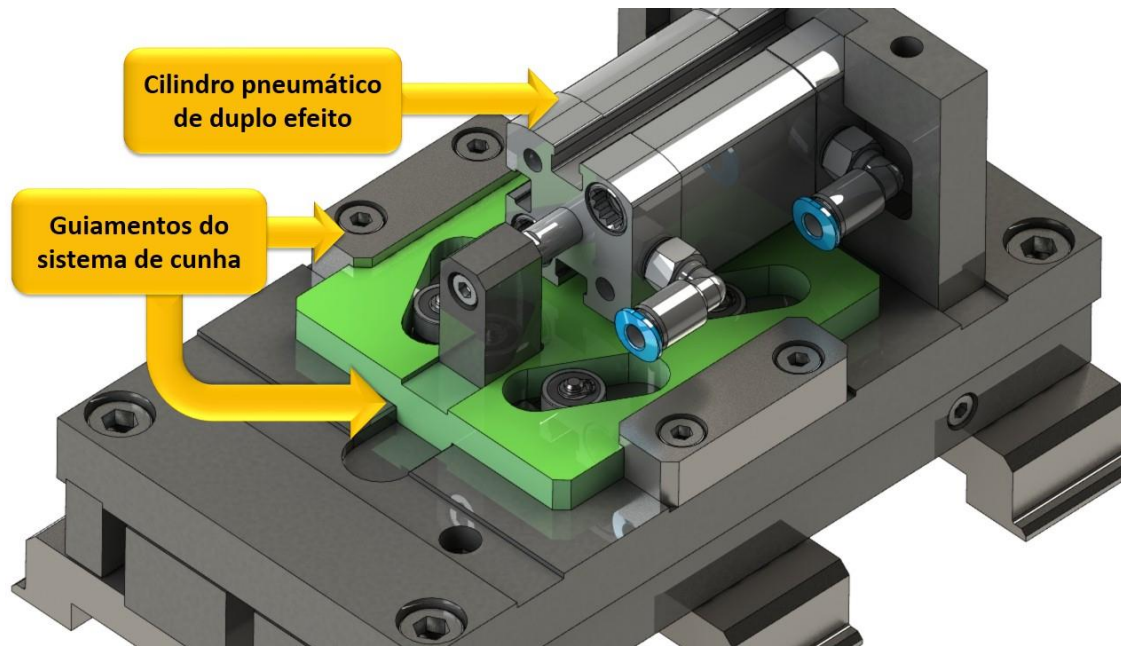


Figura 209 - Guiamentos do sistema de cunha.

As garras possuem dois rolamentos lineares cada, que deslizam em dois veios quando o sistema de cunha na zona subjacente se move. Na Figura 210 encontra-se ilustrada a transmissão do movimento do cilindro para as garras, assim como todos os rolamentos necessários para que o sistema se mova eficazmente.

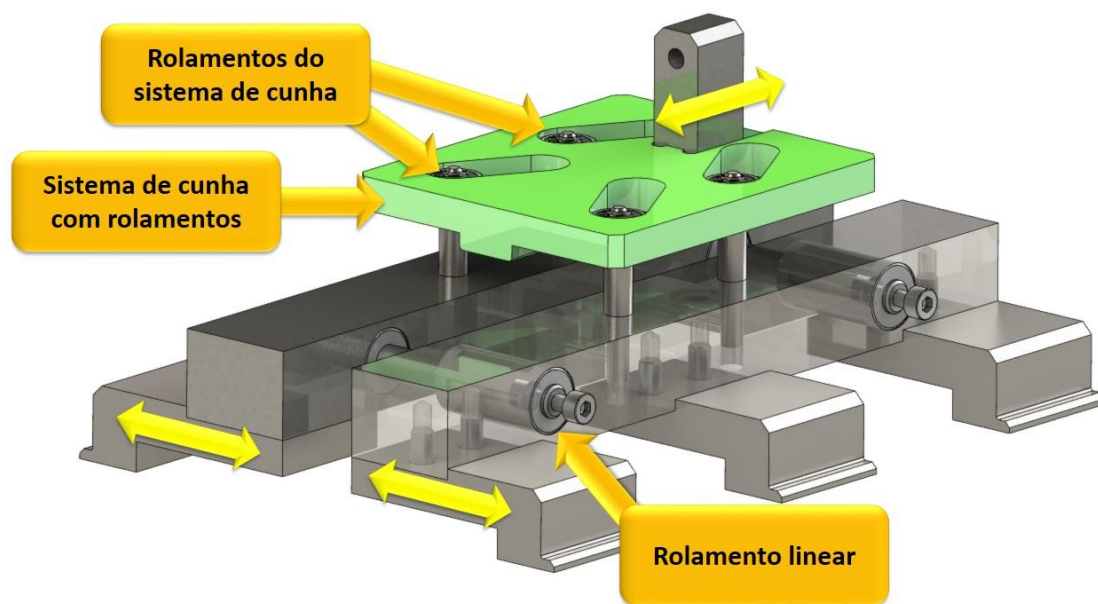


Figura 210 - Transmissão do movimento paralelo para as garras.

Para realizar o acoplamento deste sistema ao perfil do manipulador rotativo, à semelhança do mecanismo anteriormente desenvolvido, acrescentou-se uma base com as furações correspondentes aos rasgos existentes no perfil do manipulador. Na Figura 211 e Figura 212 encontra-se ilustrada a forma final do novo módulo de extração para a referência M3M4 SP.

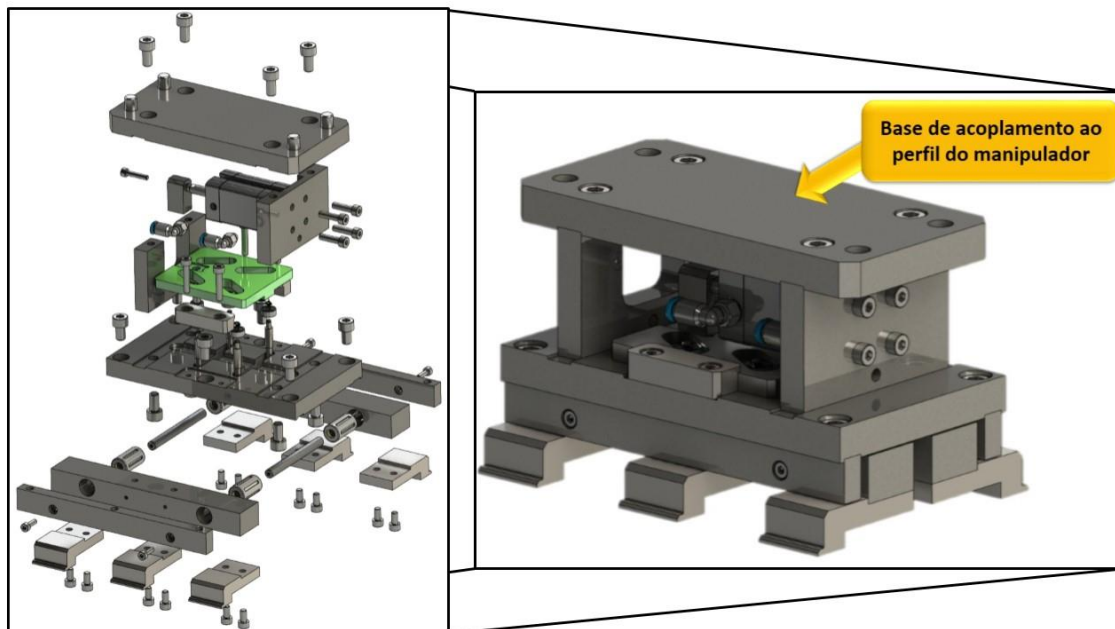


Figura 211 - Novo módulo de extração M3M4 completo.

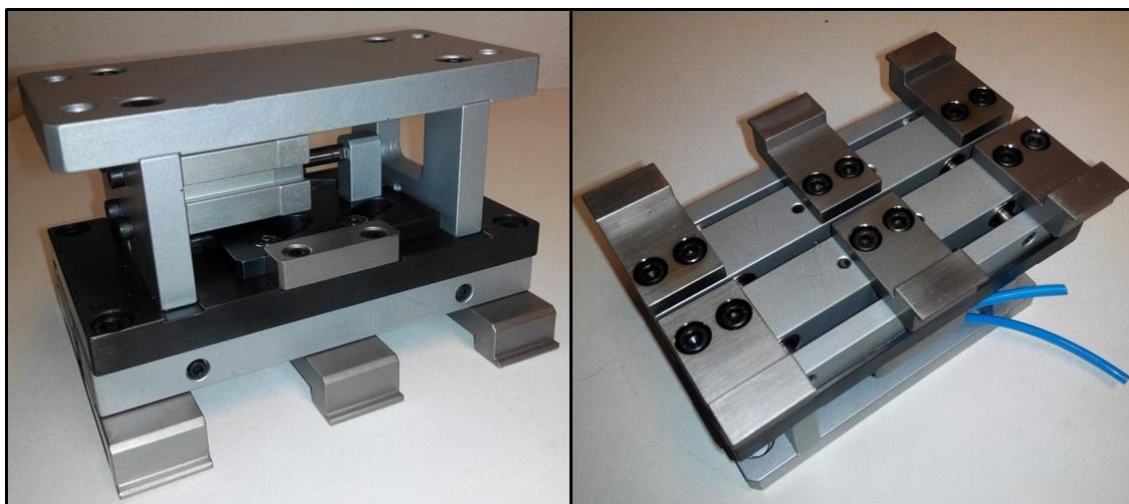


Figura 212 - Nova versão fabricada do módulo de extração M3M4

Para realizar a extração dos componentes, são igualmente necessários dois conjuntos como o da Figura 211. Embora este sistema seja um pouco mais caro do que o anterior (cerca de 150 €), com este mecanismo torna-se o sistema de extração mais robusto e com custos de manutenção

inferiores, que pagam este investimento num curto prazo (cada garra pneumática custava 200 €. Na Figura 213 pode-se visualizar o posicionamento dos dois módulos necessários para extrair os componentes injetados.

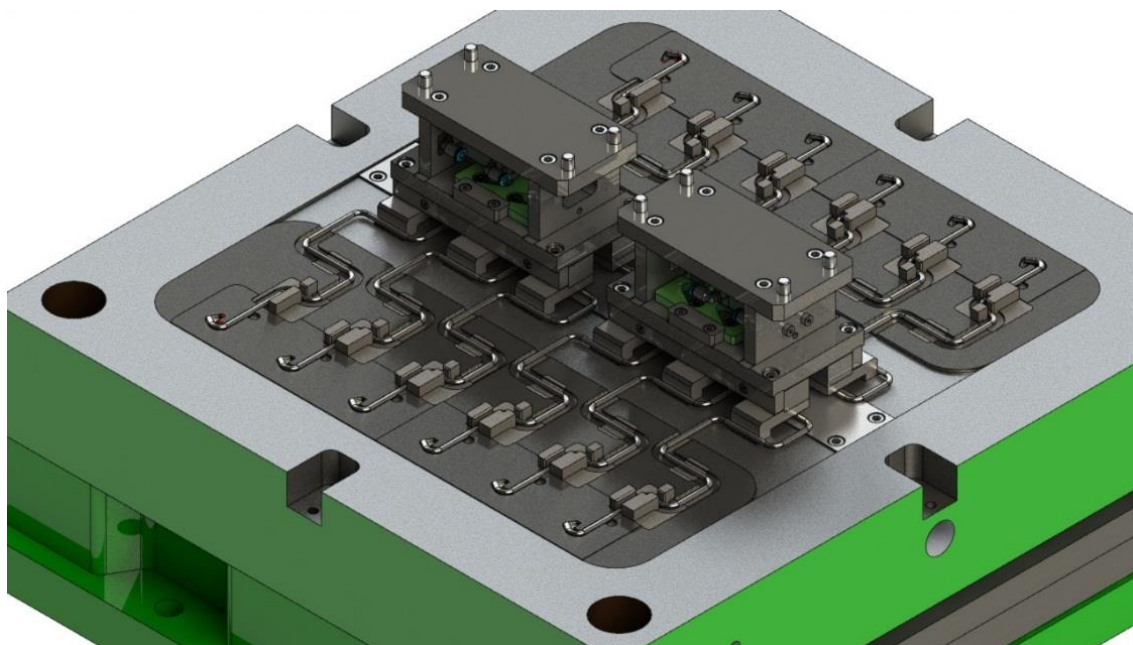


Figura 213 – Posicionamento dos novos módulos de extração relativamente ao molde.

É importante realçar que o espaço útil ocupado com este novo sistema, é praticamente o mesmo que o ocupado pelo modelo anterior, fazendo com que não haja nenhuma interferência com o uso do mesmo sistema de calcadores utilizado para a alimentação dos arames.

Estabelecidos todos os sistemas/mecanismos necessários para a automatização do processo de sobre-injeção de plástico do projeto M3M4 SP, definiu-se o ciclo de funcionamento da máquina, isto é, a sequência de funcionamento dos manipuladores, juntamente com os alimentadores de arame. O ciclo de funcionamento é explicado e ilustrado pelas figuras que se seguem.

O ciclo de funcionamento começa com a recolha dos componentes injetados, como representado pela Figura 214. O manipulador desloca-se para a zona da mesa que contém o molde, aguardando que termine a injeção e que a mesa se desloque, com a bucha correspondente, para que os arames sejam removidos.

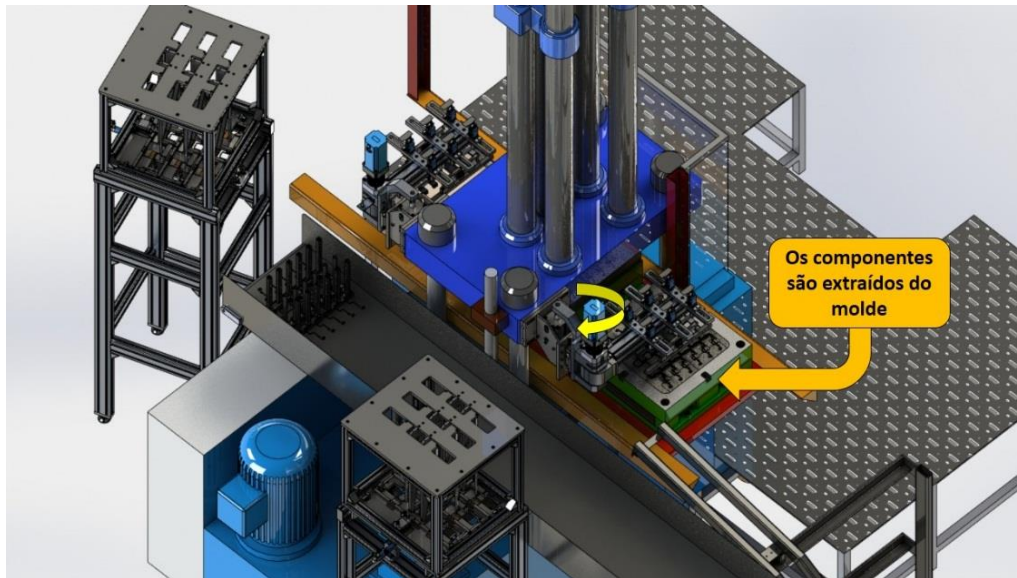


Figura 214 - Manipulador a recolher os arames do molde.

Depois de recolhidos, os componentes são ejetados para a rampa de recolha dos arames. Ao mesmo tempo, o alimentador realiza o ciclo de alimentação para a gaveta, deixando os arames disponíveis para que o manipulador os recolha. Estas operações estão ilustradas na Figura 215.

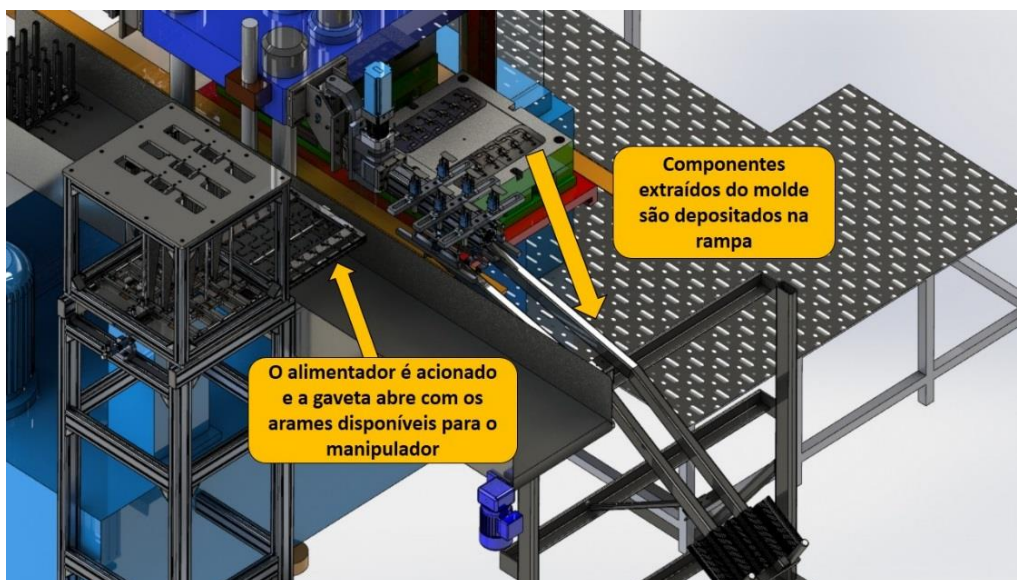


Figura 215 - Componentes extraídos descarregados para a rampa e arranque do ciclo do alimentador.

De seguida, o manipulador desloca-se para a zona da gaveta e efetua a recolha dos arames. Depois de recolhidos, a gaveta do alimentador volta à posição inicial (Figura 216, Figura 217).

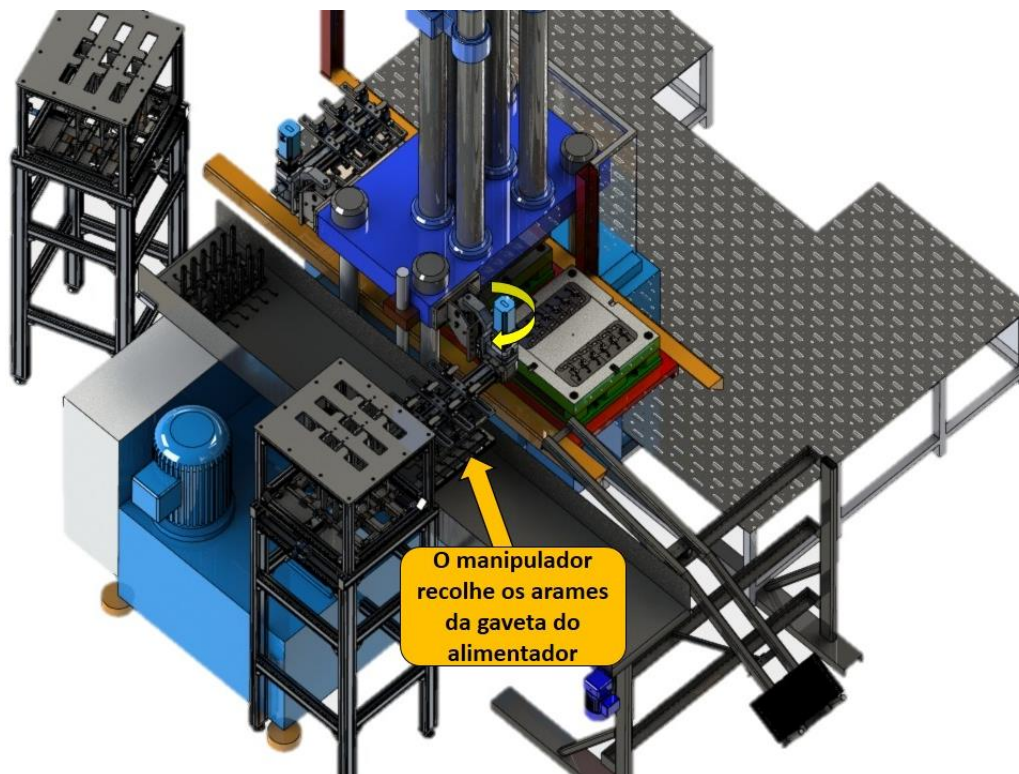


Figura 216 - Arames a serem recolhidos da gaveta pelo manipulador.

Recolhidos os arames, o manipulador insere os arames no molde com a ajuda dos calcadores, permanecendo nessa posição até que o molde regresse com os arames sobre-injetados e repita todos os passos descritos anteriormente.

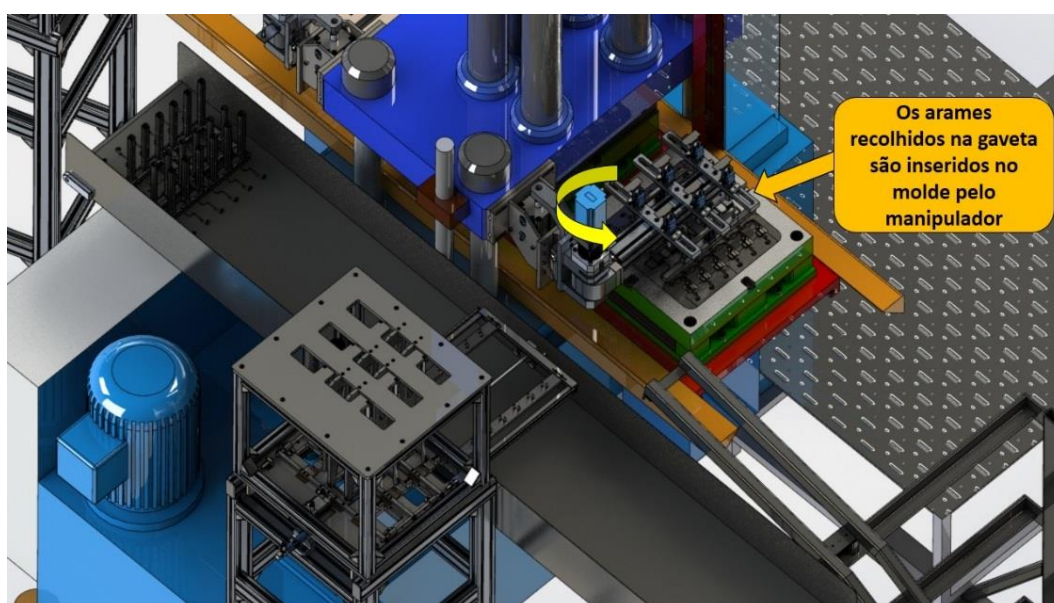


Figura 217 - Arames a ser inseridos pelo manipulador no molde correspondente.

Na cavidade oposta, o manipulador que esperava pela sua meia moldação correspondente, realiza a extração dos componentes sobre injetados (Figura 218).

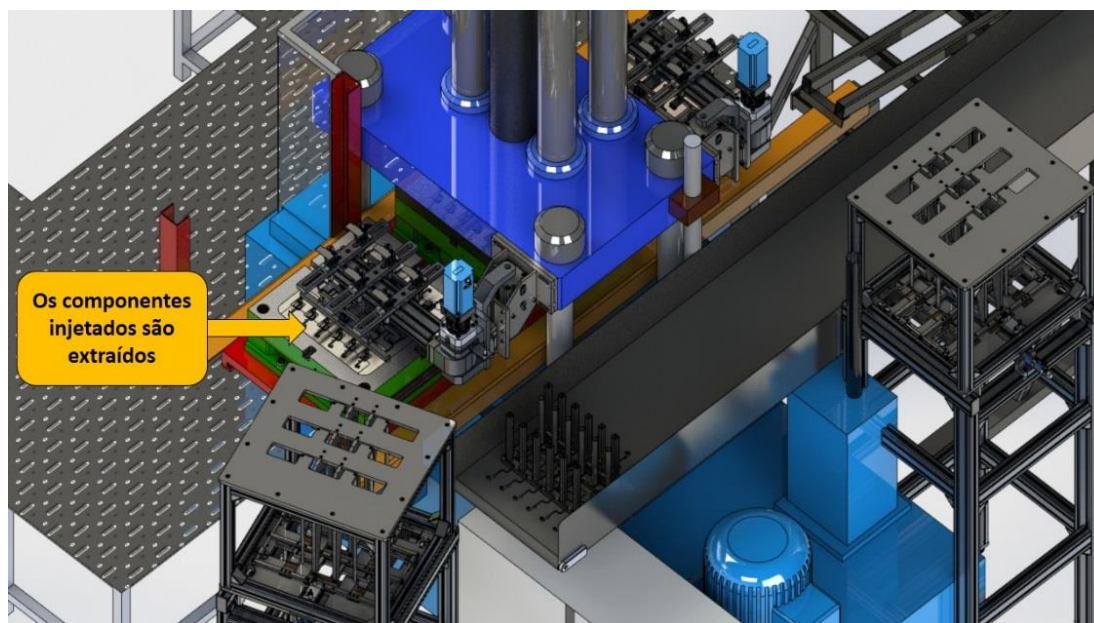


Figura 218 - O manipulador do lado oposto extrai os componentes injetados.

De seguida, o manipulador movimenta-se e ejeta os arames para as guias presentes no tapete, como demonstrado na Figura 219. Assim que os arames são ejetados, o alimentador inicia o seu ciclo e aguarda com os seis arames na gaveta, na posição limitada pelos batentes. Esta operação é necessária porque se os componentes forem depositados nas guias com a gaveta aberta, um dos arames colide com a gaveta durante a queda.

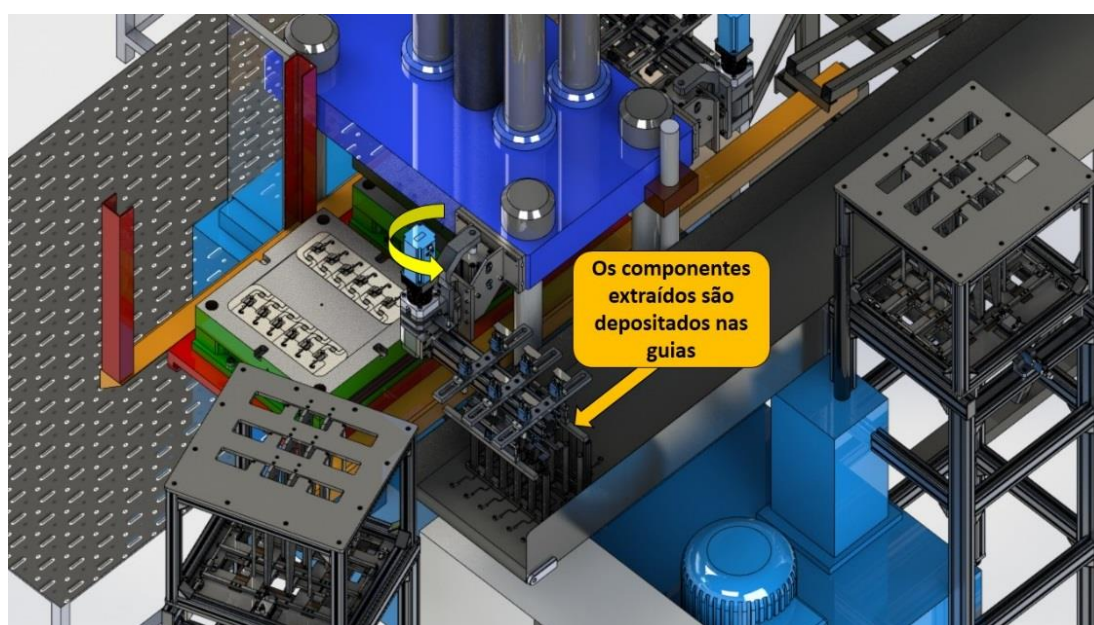


Figura 219 - Componentes descarregados para as guias presentes no tapete.

Depois de descarregados os componentes, a gaveta abre e o manipulador recolhe os arames, como demonstrado na Figura 220.

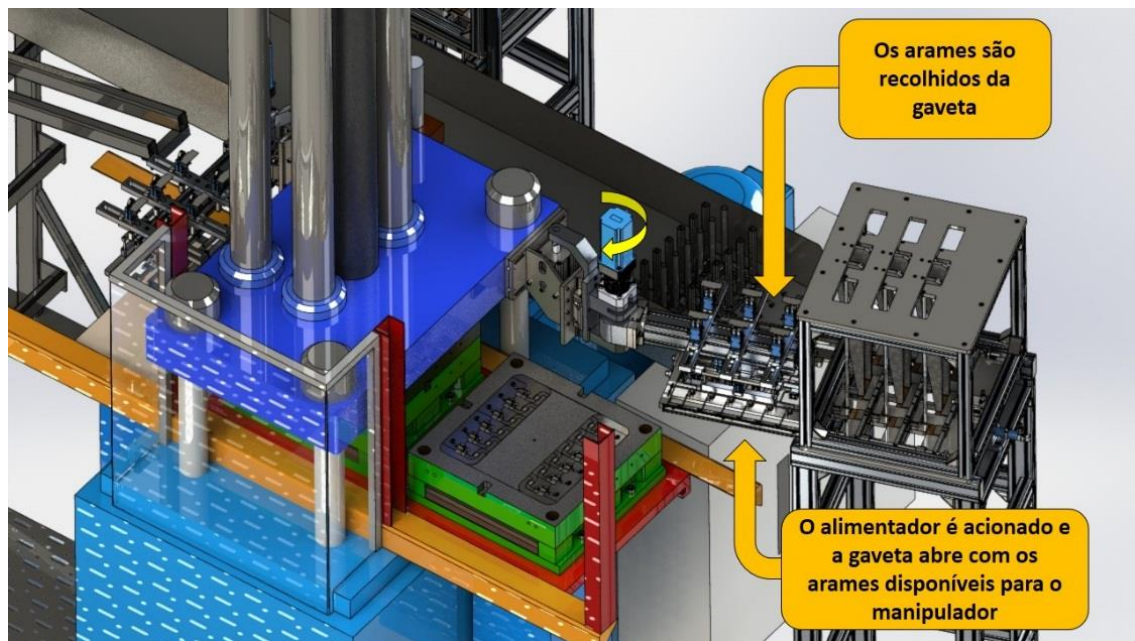


Figura 220 - Recolha dos arames da gaveta pelo manipulador.

O ciclo termina assim que os arames são inseridos no molde e este avança para a injeção (Figura 221). O manipulador permanece nesta última posição até que o molde regresse com os componentes injetados.

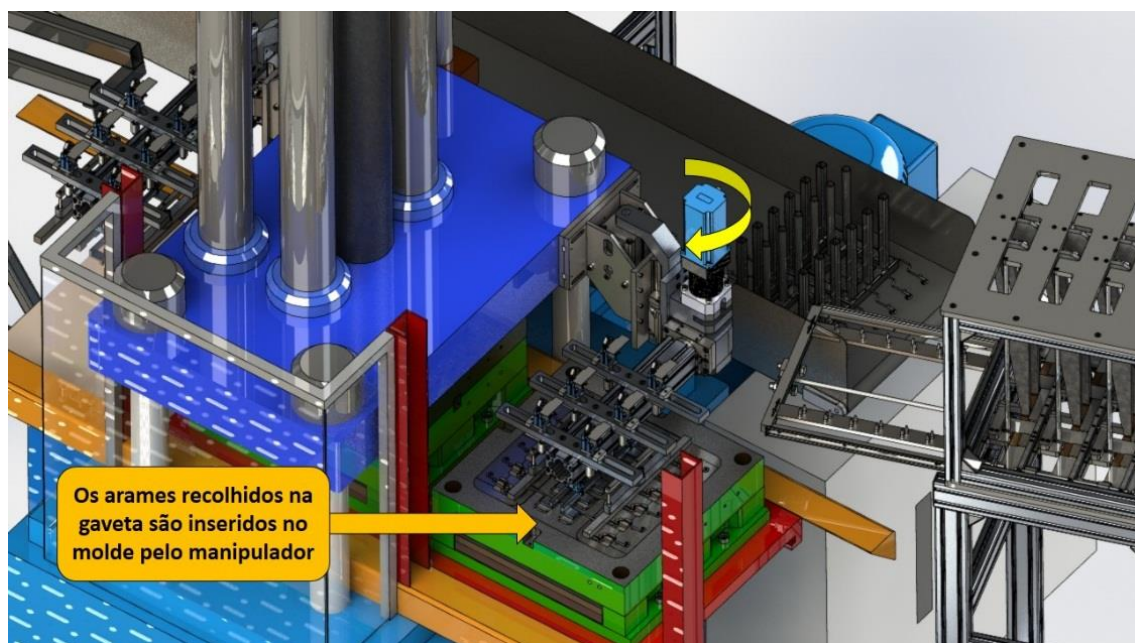


Figura 221 - Arames inseridos no molde pelo manipulador.

3.5.3. Estrutura do equipamento

Para a análise e verificação do comportamento das estruturas projetadas, recorreu-se a um programa de elementos finitos. A evolução natural na área das análises estruturais, através do recurso a várias formulações, como por exemplo o método de elementos finitos, levou ao desenvolvimento e à adaptação em alguns casos, de vários *softwares* que dessem resposta a uma procura crescente. Independentemente do *software* selecionado, para uma análise deste tipo, todos têm por base uma estrutura para a modelação da análise, que passa por definir (Figura 222):

- Tipo de estudo;
- Tipo de material;
- Condições fronteira;
- Esforços aplicados;
- Tipo de ligações;
- Criação da malha;
- Processamento da análise;
- Análise de resultados.



Figura 222 - Fluxo de uma análise de um componente com recurso a um *software* baseado em elementos finitos [65].

Salienta-se que será apenas realizada a descrição do estudo por um programa dedicado a análises deste tipo. A explicação do método e a descrição das funcionalidades do *software* selecionado não serão aqui abordadas.

3.5.3.1. Identificação das solicitações críticas e validações estruturais do manipulador de básculas

Com o propósito de identificar os componentes mais solicitados e averiguar com mais detalhe a concentração de tensões e deslocamentos dos componentes que compõem cada subconjunto do manipulador de básculas, realizou-se uma simulação de cada conjunto, com recurso ao *software Solidworks Simulation*[®]. A seleção dos componentes normalizados de cada subconjunto, tais como cilindros e sistemas de fixação e guiamento, foi efetuada igualmente com recurso ao *Solidworks*[®], através do cálculo automático de massas disponível no programa.

O manipulador basculante é constituído por três conjuntos principais:

- Sistema de *transfer*;
- Braço de ligação;
- Estruturas de básculas.

Os materiais e respetivas propriedades mais relevantes utilizados nos subconjuntos na realização das simulações, são os apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Materiais e respetivas propriedades usados nos componentes estudados [66],[67],[68],[69].

Materiais dos componentes estudados				
Tipo de material	W. Nr.	Tensão de cedência (σ_{Ced})	Tensão de rotura (R_m)	Módulo de Elasticidade
Aço de construção não ligado	1.1191 (DIN Ck 45)	455 MPa	630 MPa	206 GPa
Aço ligado para ferramentas de trabalho a frio	1.2080 (RL200) (DIN X155 CrVMo 12-1)	827 MPa	965 MPa	210 GPa
Alumínio (duralumínio)	Liga AW 2024-T3	345 MPa	485 MPa	73.1 GPa

Estudo das solicitações críticas no sistema de *transfer*.

O objetivo desta análise consistiu na verificação da resistência mecânica e rigidez da estrutura do *transfer* em condições estáticas. Para realizar este estudo simulou-se a situação mais crítica, que corresponde ao manipulador posicionado no troço da estrutura que não se encontra acoplada na cabeça da injetora. Na Figura 223 e Figura 224 encontra-se representado o caso analisado e a respetiva estrutura.

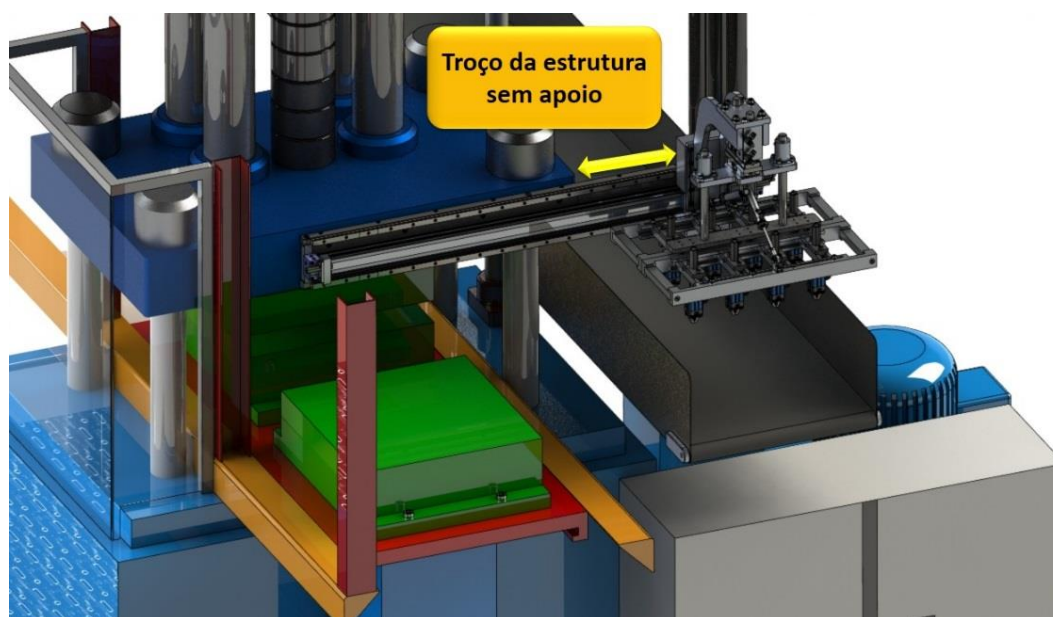


Figura 223 - Posição estática do manipulador considerada para o estudo.

Da análise da Figura 223, verifica-se que o manipulador se encontra posicionado no troço sem qualquer apoio na parte traseira. Este caso é sem dúvida a situação mais crítica em que a estrutura se encontra, durante o funcionamento do manipulador. Na Figura 224 encontra-se demonstrada a estrutura em análise.



Figura 224 - Estrutura do *transfer* para análise.

Para efetuar a simulação, foram definidos todos os contactos e tipos de ligações entre os componentes que compõem a estrutura. A Figura 225 ilustra os contactos e ligações aparafusadas estabelecidas entre os componentes.

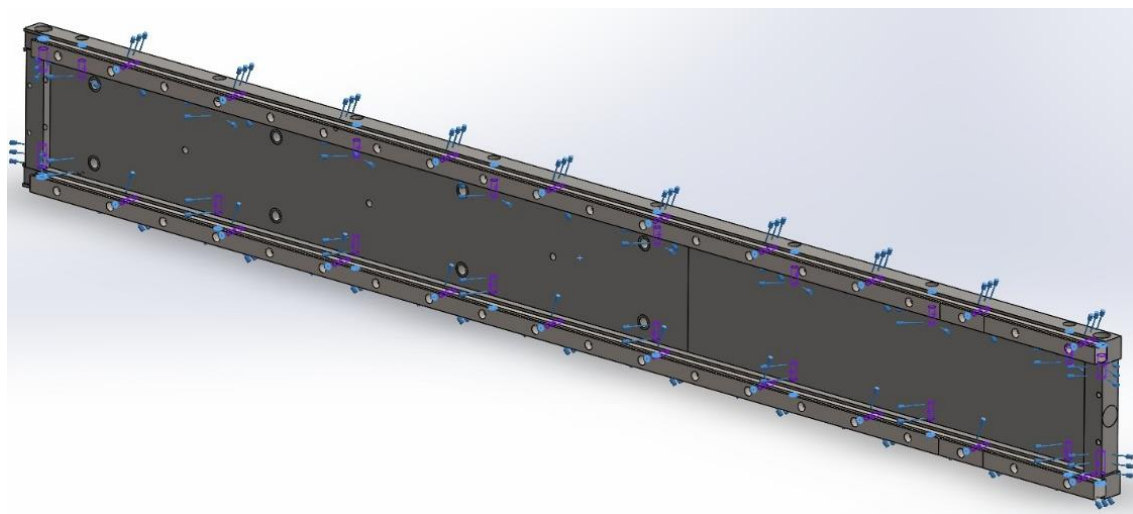


Figura 225 - Contactos definidos entre componentes do *transfer*.

Em relação ao tipo de contatos entre componentes, definiu-se que entre estes não há penetração e todas as ligações aparafusadas foram definidas com um binário de 10 N.m.

A fixação da estrutura à cabeça da injetora realizou-se com recurso a um tipo ligação específico, em que um plano é criado para simular o apoio entre a estrutura e a cabeça da injetora numa área definida. Na Figura 226 encontram-se representadas as fixações impostas na estrutura.

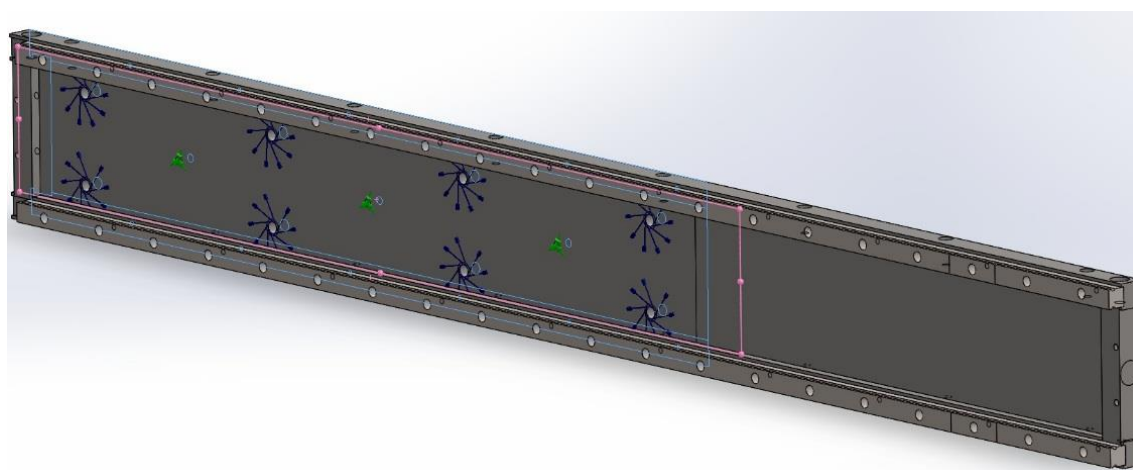


Figura 226 - Fixações definidas no *transfer*.

Para simular a carga a que a estrutura se encontra sujeita, determinou-se o peso da estrutura acoplada ao *transfer*. Foram definidos todos os materiais de cada componente e, recorrendo ao *software*, a massa obtida foi de 291,95 N (29,76 kg), com o demonstrado na Figura 227.

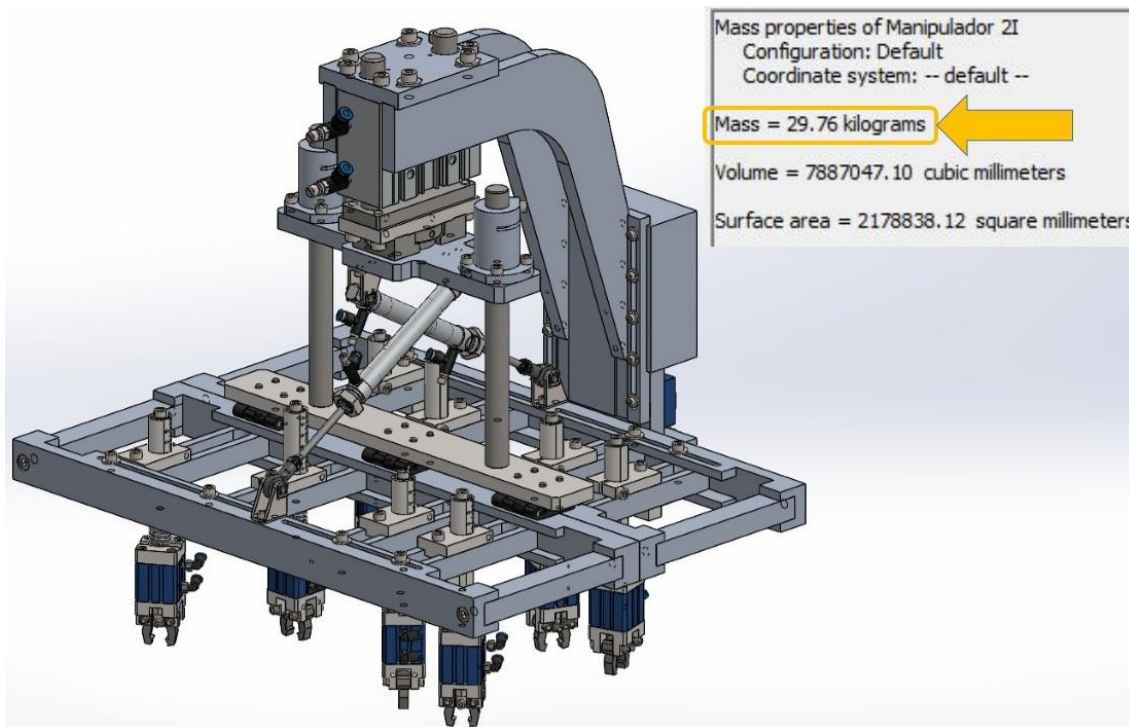


Figura 227 - Massa do manipulador acoplada ao *transfer*.

Como fator de segurança (*FS*) considerou-se o dobro da carga suportada tal como demonstrado pela Equação 1:

$$P = m \times g \times FS \Leftrightarrow P = 29,76 \times 9,81 \times 2 \Leftrightarrow P \cong 590 \text{ N} \quad (1)$$

Onde as variáveis têm os seguintes significados:

P – Peso suportado pela estrutura analisada (N);

m – Massa da estrutura a suportar pela conjunto analisado (kg);

g – Aceleração gravitacional (m/s²).

Para aplicar esta carga na estrutura do *transfer*, realizou-se a decomposição da carga obtida nos diferentes esforços combinados a que a estrutura fica sujeita. Na Figura 228 encontra-se ilustrado o diagrama para cálculo do momento resultante do peso obtido anteriormente.

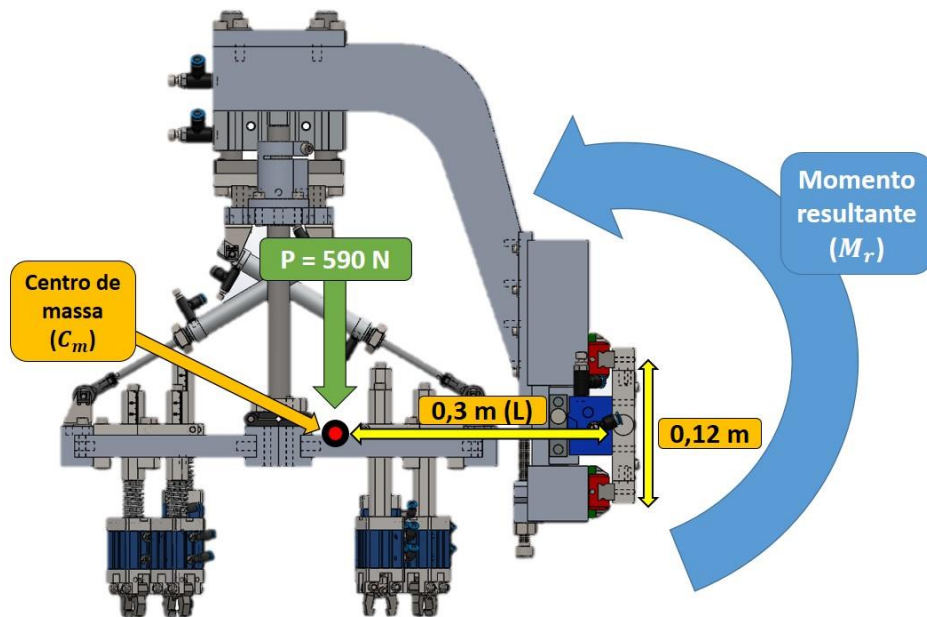


Figura 228 - Diagrama para cálculo do momento resultante (M_r) na estrutura do *transfer*.

O momento resultante (M_r) foi calculado recorrendo à posição do centro de massa em relação à estrutura, obtido igualmente com recurso ao *software*. A Equação 2 representa o cálculo efetuado:

$$M_r = P \times L \Leftrightarrow M_r = 590 \times 0,3 \Leftrightarrow M_r = 177 \text{ N.m} \quad (2)$$

Onde:

M_r – Momento resultante (N.m);

L – Posição do centro de massa relativamente à estrutura analisada (m).

O momento " M_r " calculado é um momento torsor a que a estrutura se encontra sujeita. No entanto a estrutura também se encontra sujeita a um momento fletor provocado pela transferência da força normal para o plano da estrutura. Isto resulta num esforço combinado de um momento fletor e um momento torsor. Para simplificação do uso do *software*, o momento torsor calculado foi convertido num binário de forças (F_1 e F_2), que representam as forças realizadas pelos carros nas guias. Na Figura 229 encontra-se ilustrado o diagrama para conversão do momento M_r nas forças realizadas pelos carros nas guias.

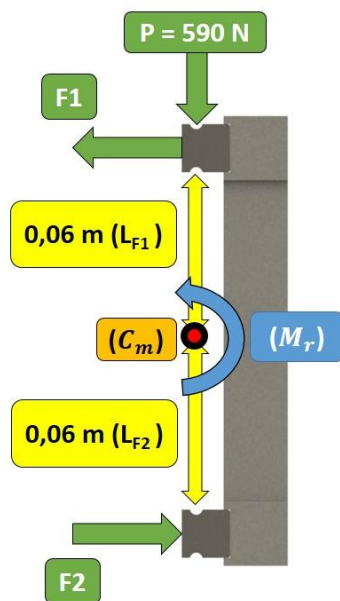


Figura 229 - Decomposição do momento resultante nas forças $F1$ e $F2$ para simplificação da simulação.

O cálculo de momentos utilizado para obter as forças $F1$ e $F2$ encontra-se na Equação 3:

$$M_r = F1 \times L_{F1} + F2 \times L_{F2} \Leftrightarrow 177 = F1 \times 0,06 + F2 \times 0,06 \quad (3)$$

Em que,

$F1$ – Força resultante realizada pelo carro 1 (N);

$F2$ – Força resultante realizada pelo carro 2 (N);

L_{F1} – Distancia do centro de massa (C_m) a $F1$ (m);

L_{F2} – Distancia do centro de massa (C_m) a $F2$ (m).

Como se trata de um binário $F1 = F2$ logo, a partir da Equação 4 conclui-se que

$$F1 = F2 = 1475 \text{ N} \quad (4)$$

Assim, estão encontradas todas as forças necessárias para realizar a simulação de elementos finitos. Na Figura 230 encontra-se indicadas as forças obtidas a partir do peso da estrutura do manipulador aplicadas no *transfer*. As setas a roxo representam as forças que dão origem ao momento fletor e tursor, e a seta a vermelho representa a ação da gravidade na estrutura.

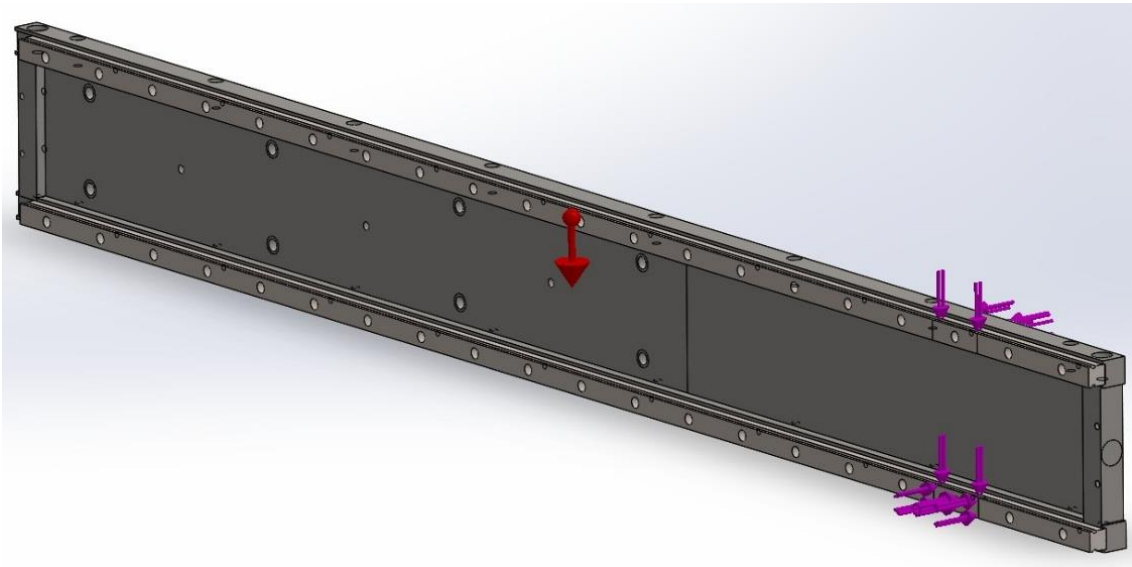


Figura 230 - Esforços definidos para a simulação de elementos finitos do *transfer*.

Na Figura 231 encontram-se todas as restrições/parâmetros aplicadas à estrutura para realização da simulação. As setas a azul representam todas as ligações aparafusadas definidas entre componentes, e as verdes representam as cavilhas M6 usadas.

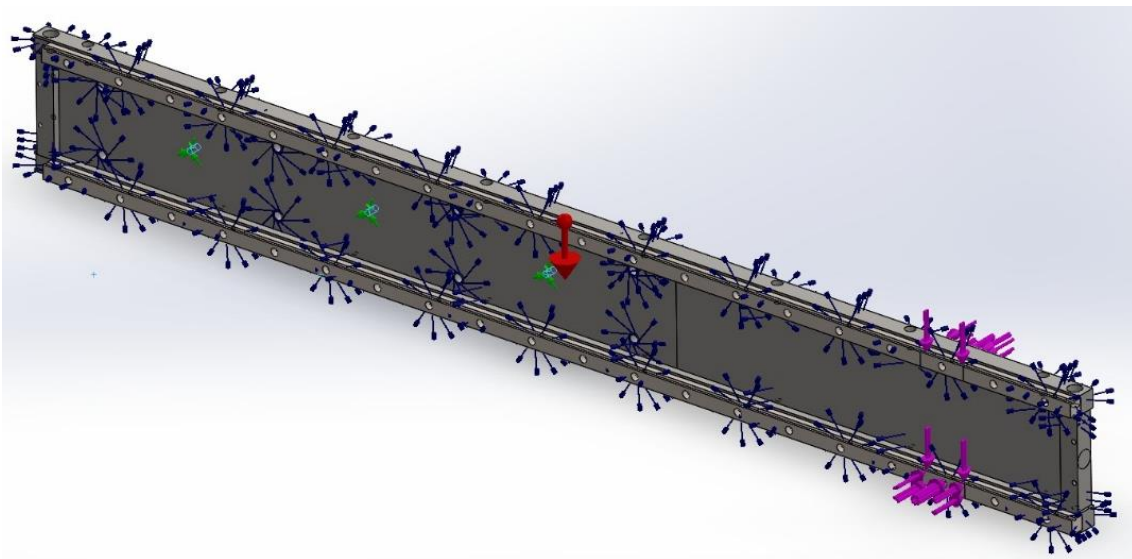
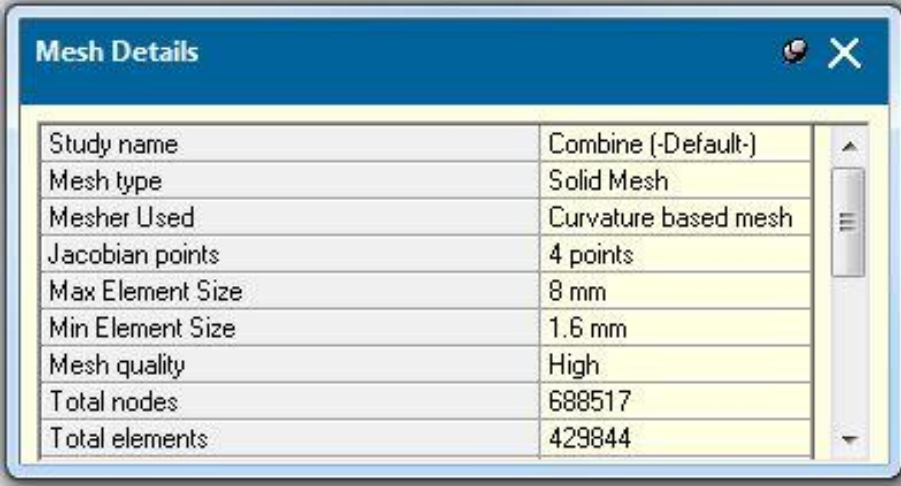


Figura 231 – Estrutura do *transfer* totalmente parametrizada para realização da simulação.

Depois de definidas todas as restrições, criou-se a malha de cálculo do conjunto. Para a obtenção da malha do conjunto, foram inseridos os parâmetros indicados na Figura 232.



Mesh Details	
Study name	Combine (-Default-)
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Curvature based mesh
Jacobian points	4 points
Max Element Size	8 mm
Min Element Size	1.6 mm
Mesh quality	High
Total nodes	688517
Total elements	429844

Figura 232 - Parâmetros da última malha de cálculo utilizada na simulação.

A malha obtida para a simulação é a representada pela Figura 233. Várias malhas foram criadas e simuladas, sendo esta a situação que mostrou uma melhor aproximação possível da situação real.



Figura 233 - Aspeto da malha de cálculo utilizada na estrutura do *transfer*.

A Figura 234 demonstra as tensões de vonMises instaladas na estrutura. Tendo em consideração que a tensão de cedência do material da estrutura (DIN Ck45) é 455 MPa, verificamos que a tensão de cedência admissível não foi ultrapassada, uma vez que a tensão máxima obtida na simulação foi 335 MPa. Este resultado garante que não existirá problemas de resistência mecânica desta estrutura.

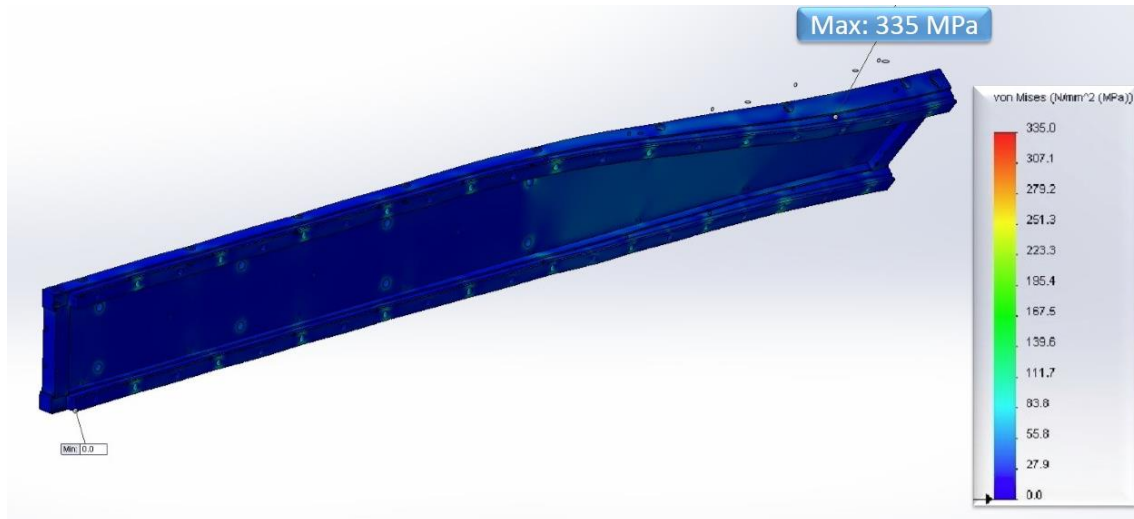


Figura 234 - Tensões impostas ao *transfer* (escala de deformação 100x).

O coeficiente de segurança (CS) mínimo do *transfer* para a situação estudada é dado pela Equação 5:

$$\sigma_{inst} = \frac{\sigma_{Ced}}{CS} \Leftrightarrow CS = \frac{\sigma_{Ced}}{\sigma_{inst}} \Leftrightarrow CS = \frac{455}{355} \Leftrightarrow CS = 1.3 \quad (5)$$

Onde as suas variáveis possuem o seguinte significado:

σ_{inst} – Tensão máxima instalada (MPa);

σ_{Ced} – Tensão de cedência do material do componente em estudo (MPa);

CS – Coeficiente de segurança (adimensional).

O coeficiente de segurança da estrutura do *transfer* é de 1.3 o que garante que não existe perigo de falha da estrutura para o caso estudado. De notar que este coeficiente está minimizado pelo facto de a carga usada na simulação ter sido o dobro da real. Isto significa que na prática este coeficiente de segurança seria ainda maior.

Para se ter uma ideia da evolução das tensões ao longo da estrutura, realizou-se um filtro que permite visualizar as zonas com tensões superiores a 20 MPa (valor definido manualmente no *software* para obter a melhor imagem intermedia de propagação das tensões). Na Figura 235 podemos verificar as zonas com tensões acima de 20 MPa.

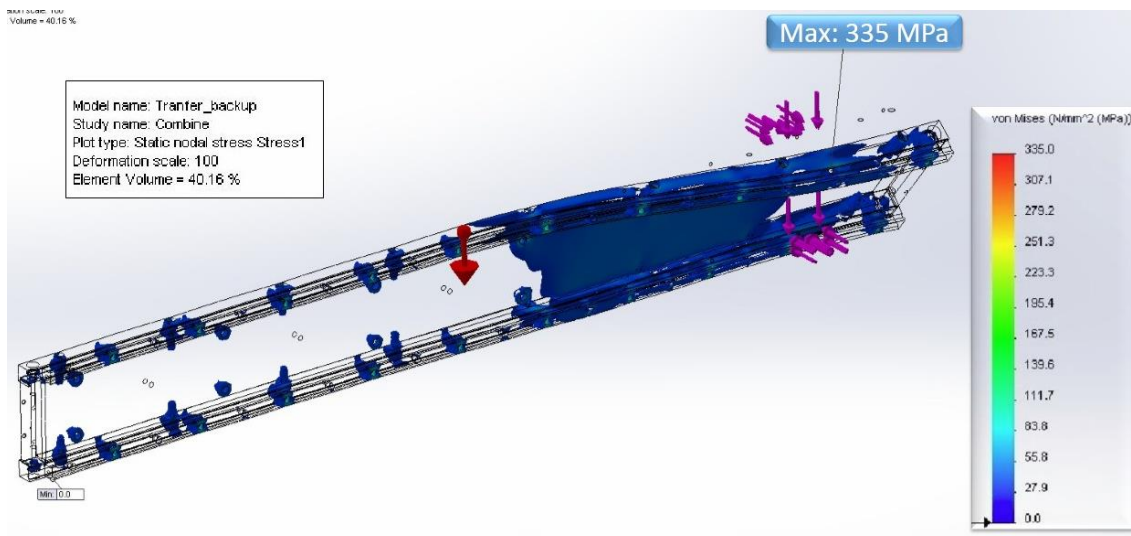


Figura 235 - Volume de material com tensões superiores a 20 MPa.

Como referido anteriormente, a rigidez da estrutura é uma propriedade importante para verificar a robustez do sistema. Os resultados obtidos na simulação acerca dos deslocamentos sofridos pela estrutura encontram-se representados na Figura 236.

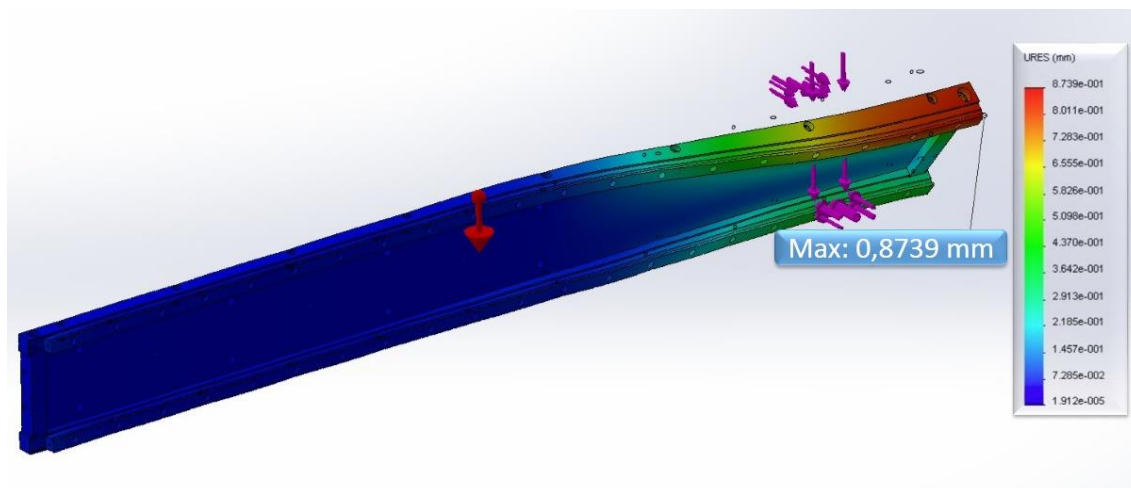


Figura 236 - Deslocamento máximo da estrutura (escala de deformação 100 vezes superior).

O deslocamento a que estrutura está submetida no cenário mais crítico foi de 0,8739 mm. Esta deformação não é significativa para causar qualquer tipo de problema ao funcionamento do manipulador. O caso ensaiado corresponde à posição do manipulador quando larga a peça no tapete, cuja ação não necessita de tanta precisão como quando capta a peça no molde. Como no caso desta última, o *transfer* está fixo na cabeça da injetora e a deformação é praticamente

insignificante, não merece qualquer tipo de análise de elementos finitos quando o manipulador se encontra nessa posição.

Estudo das solicitações críticas no braço de ligação

Os componentes do braço de ligação necessitam de ser robustos, visto que fazem a ligação do *transfer* à estrutura que remove as peças sobre-injetadas dos moldes. É importante que esta estrutura não possua deslocamentos significativos durante o seu funcionamento, para não prejudicar as posições no ataque das pinças ao componente a remover.

Para realizar a análise deste conjunto, à semelhança dos parâmetros introduzidos para a estrutura do *transfer*, todos os contactos entre componentes não possuem penetração e todas as ligações aparafusadas foram definidas como na simulação anterior (Figura 237).

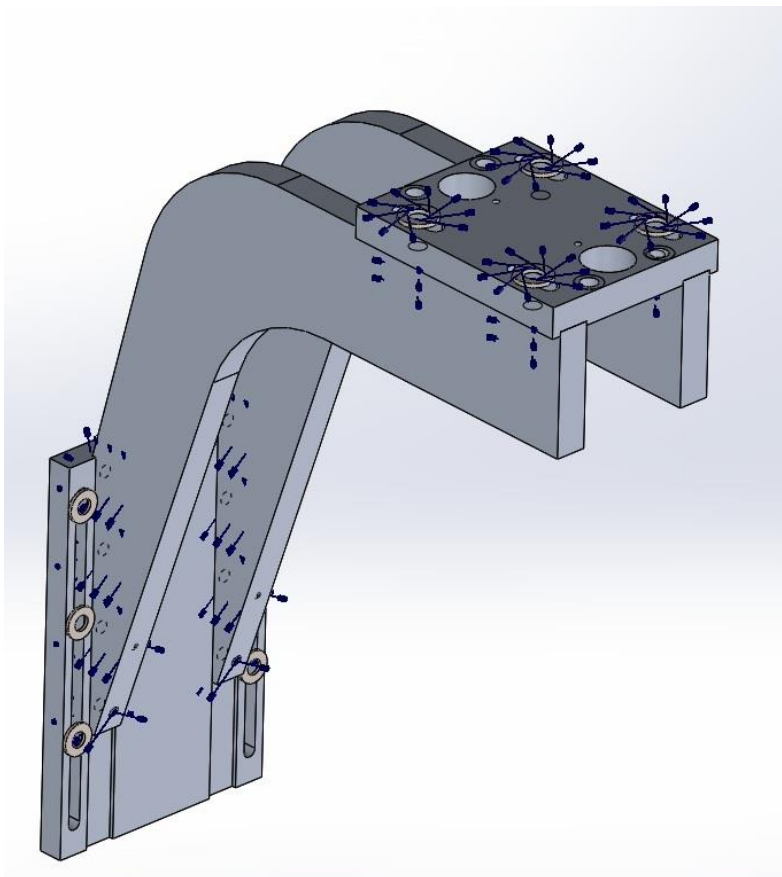


Figura 237 - Contactos definidos entre os componentes do braço.

As fixações utilizadas no sistema encontram-se ilustradas na Figura 238. À semelhança do conjunto anterior, criou-se um plano que faz de parede virtual para simular o encosto da base do braço, com parafusos fixos nesse plano. Como os parafusos passam em rasgos realizados na base, colocaram-se anilhas para obter uma melhor aproximação à situação real.

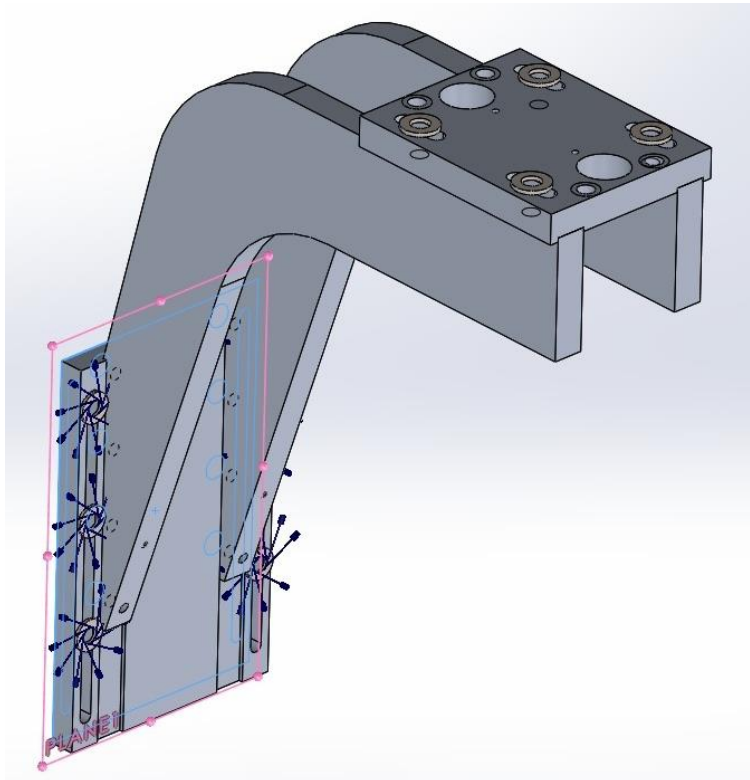


Figura 238 – Fixações definidas no braço ligação para a simulação de elementos finitos.

A carga a que o braço se encontra sujeito é dada pelo peso referente à estrutura das básculas e ao cilindro acoplado na base superior do braço de ligação. Os pesos dos componentes é de cerca de 215 N (22 kg) como o apresentado na Figura 239.

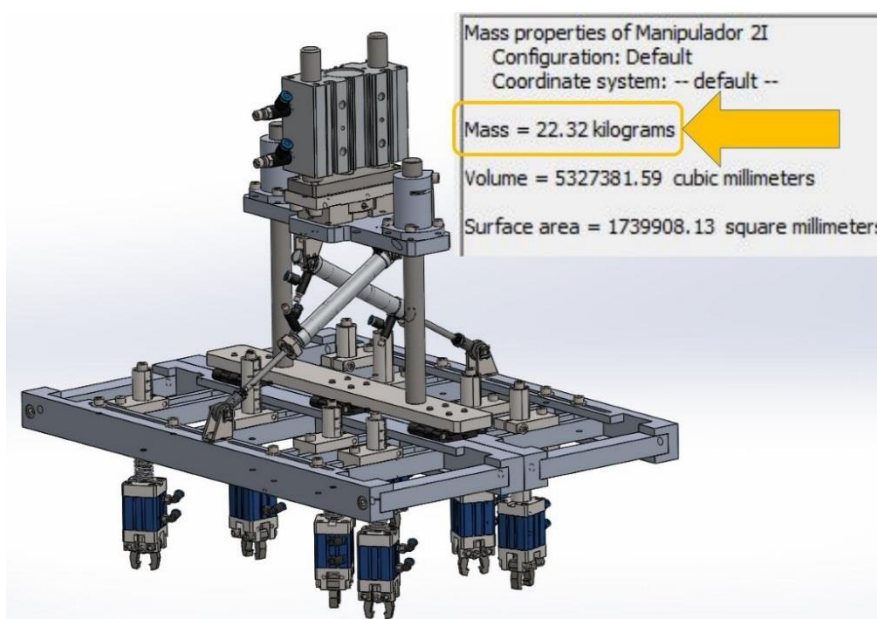


Figura 239 - Massa do conjunto suportado pelo braço.

Como fator de segurança, considerou-se o dobro da massa da estrutura a suportar. Assim a carga considerada para a simulação é a apresentada pela Equação 6i:

$$P = m \times FS \Leftrightarrow P = 215 \times 2 \Leftrightarrow P \cong 430 N \quad (6)$$

A carga aplicada foi definida nas furações da base que suportam o peso dos conjuntos acima referidos. Para obter uma melhor fiabilidade dos resultados, criou-se uma circunferência concêntrica com as furações, com uma área de contacto correspondente aos parafusos M8 que fixam o cilindro na base, atribuindo-se o total da solitação nessas áreas. Na Figura 240 encontra-se representado o conjunto do braço de ligação com todas as restrições representadas.

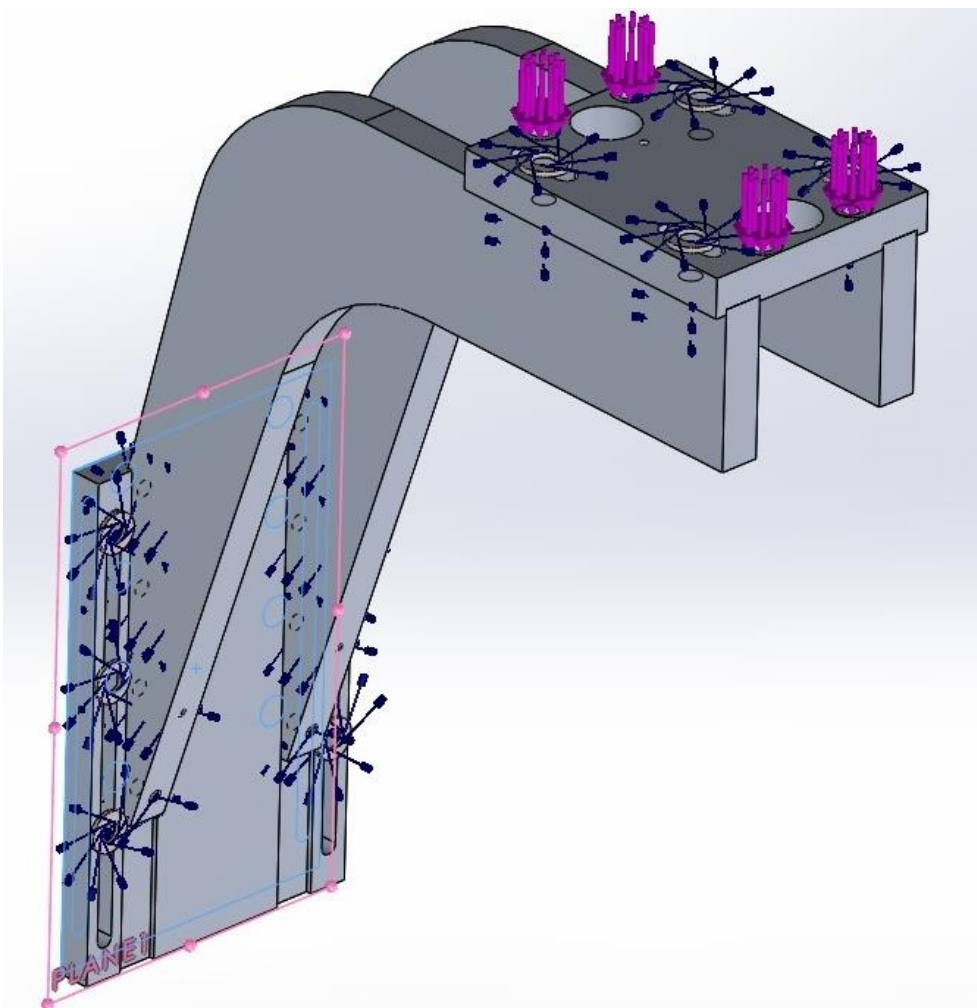


Figura 240 - Definição de todos os contatos, fixações e cargas aplicadas no braço.

De seguida definiu-se a malha de cálculo para o conjunto. Os parâmetros usados, bem como a malha obtida já otimizada, encontram-se representados na Figura 241 e Figura 242, respetivamente.

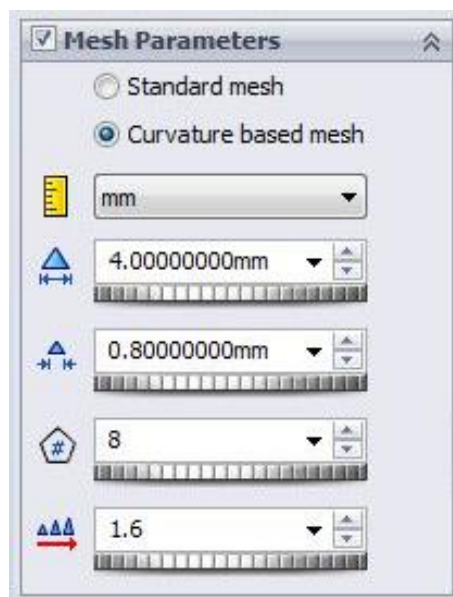


Figura 241 - Parâmetros da malha utilizada para a análise de elementos finitos.

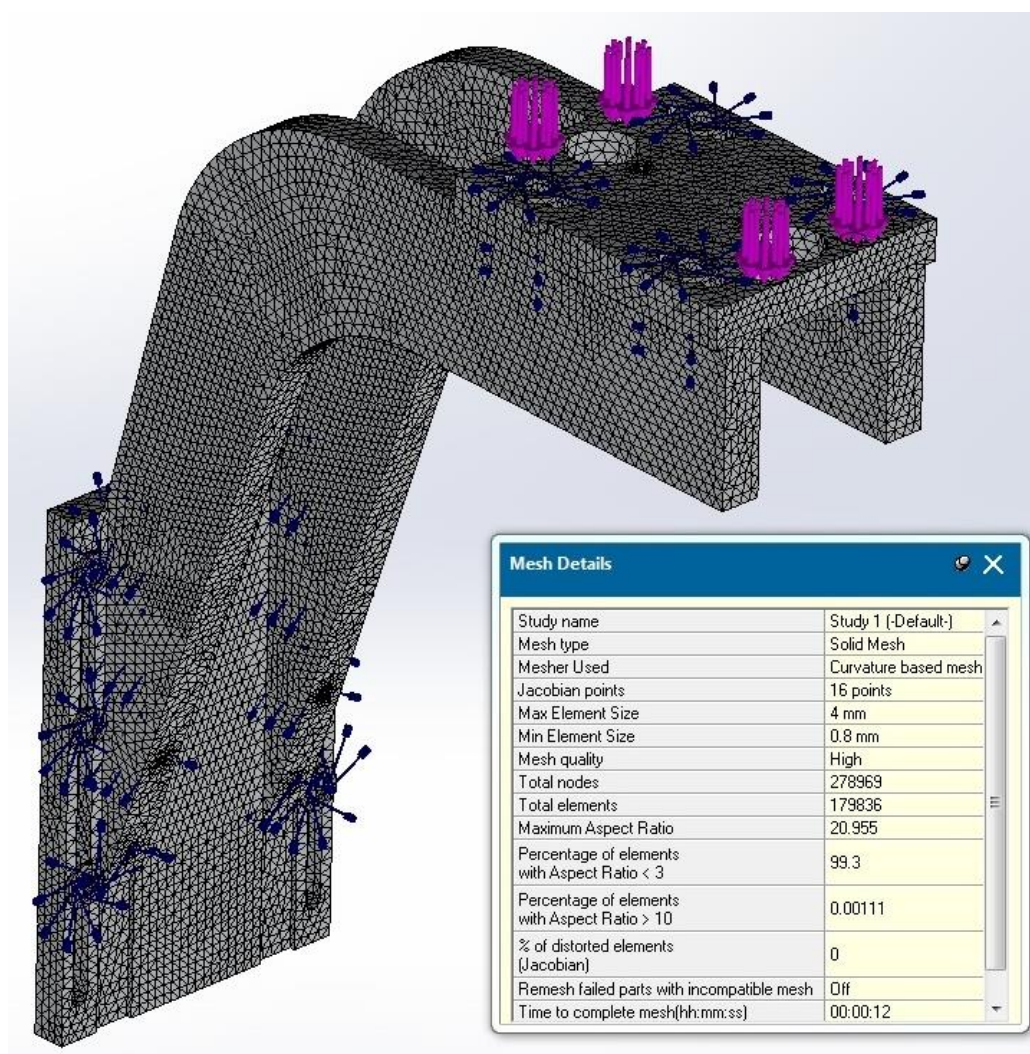


Figura 242 - Aspeto da malha utilizada na análise de elementos finitos do braço de ligação.

As tensões instaladas no conjunto são as apresentadas na Figura 243. Da análise, verificamos que a tensão máxima instalada está localizada na rosca do parafuso de um componente em alumínio (Liga AW 2024-T3). A tensão de cedência deste material é de 345 MPa e a tensão máxima obtida foi de 236 MPa como se demonstra na Figura 243.

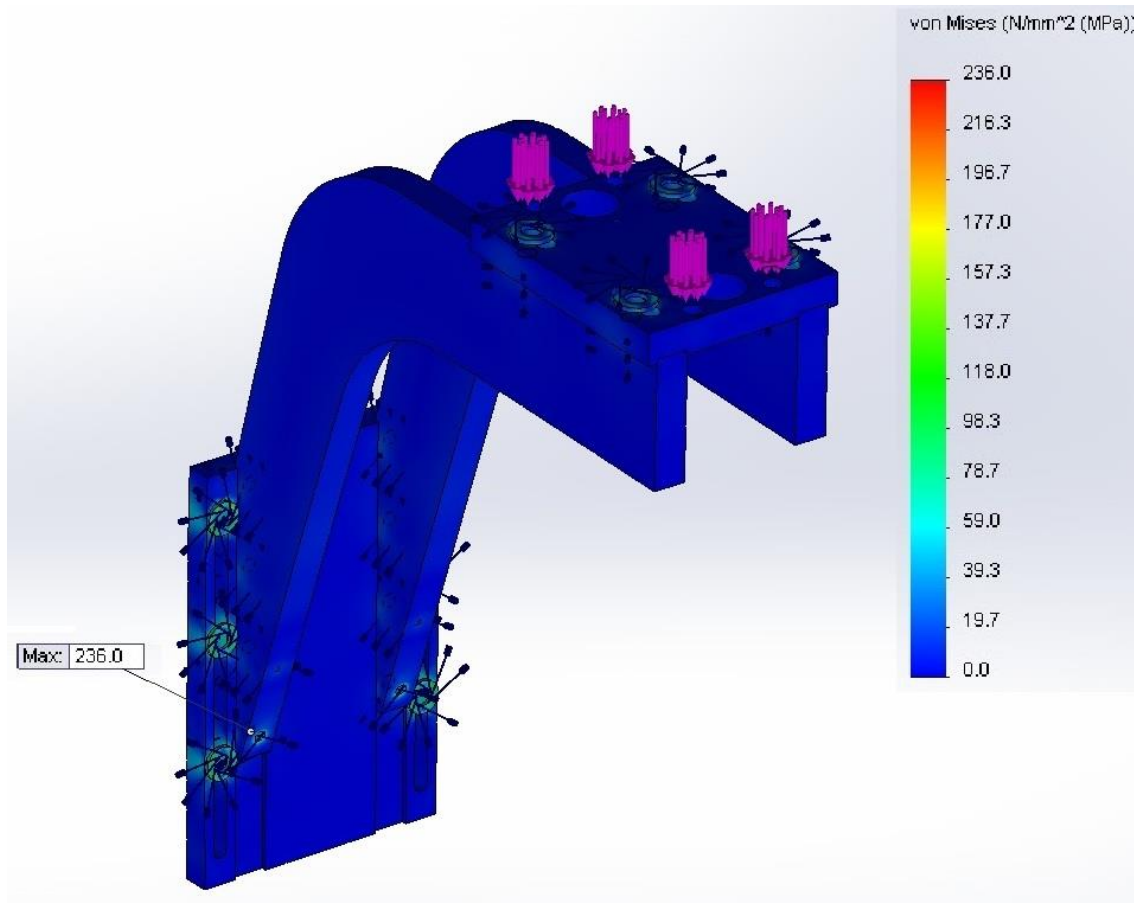


Figura 243 - Tensões de von Mises a que o braço se encontra sujeito.

Da análise das tensões de vonMises verifica-se que a tensão de cedência não foi ultrapassada, logo não existem problemas de resistência mecânica com o conjunto. O coeficiente de segurança mínimo do braço de ligação é o demonstrado pela Equação 7:

$$CS = \frac{\sigma_{Ced}}{\sigma_{inst}} \Leftrightarrow CS = \frac{345}{236} \Leftrightarrow CS = 1.5 \quad (7)$$

O coeficiente de segurança do conjunto (braço de ligação) é de 1.5 o que garante que não existe perigo de falha da estrutura para o caso estudado. A semelhança do caso anterior (transfer), este coeficiente está minimizado pelo facto de a carga usada na simulação ter sido o dobro da real, ou seja, na prática este coeficiente de segurança seria ainda maior.

Realizando uma análise mais pormenorizada verifica-se a partir da Figura 244, o volume de material sujeito a um esforço entre os 60 MPa e 236 MPa máximos determinados. Os 60 MPa resultaram na definição manual no *software*, que melhor proporcionou a representação do volume de material e respetiva localização das tensões instaladas.

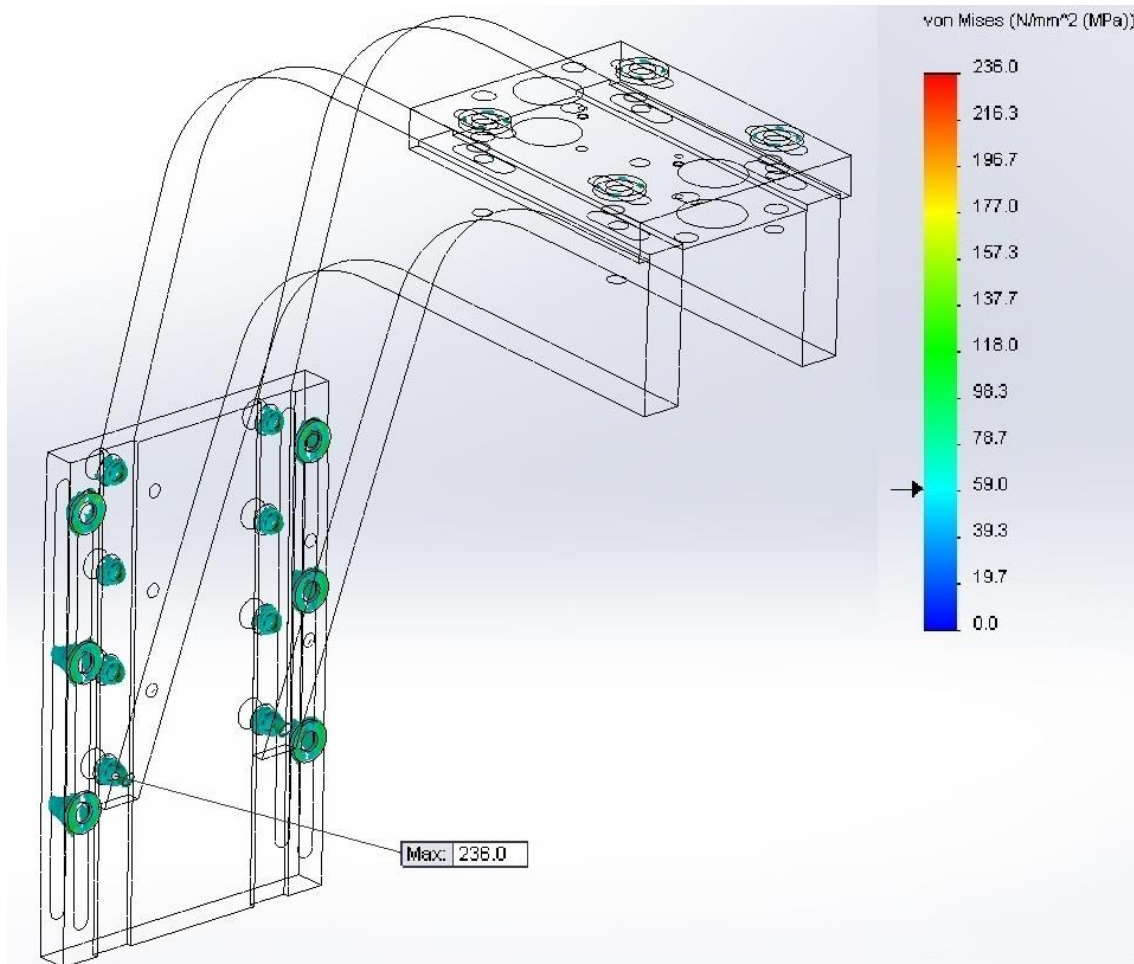


Figura 244 - Volume de material com tensões acima de 60 MPa.

Da análise da Figura 244 retira-se que a concentração de tensões é essencialmente na entrada das roscas dos parafusos, como seria de esperar, visto que os filetes das roscas são zonas típicas de concentração de tensões.

Relativamente ao deslocamento máximo a que a estrutura do braço está sujeita, encontra-se demonstrado na Figura 245. Atendendo à figura, verifica-se que o deslocamento máximo da estrutura é de $2,124 \times 10^{-1}$ mm na zona da carga aplicada. O deslocamento da estrutura é inferior a três décimas de milímetro, o que leva a concluir que é suficientemente rígida para cumprir com os requisitos impostos.

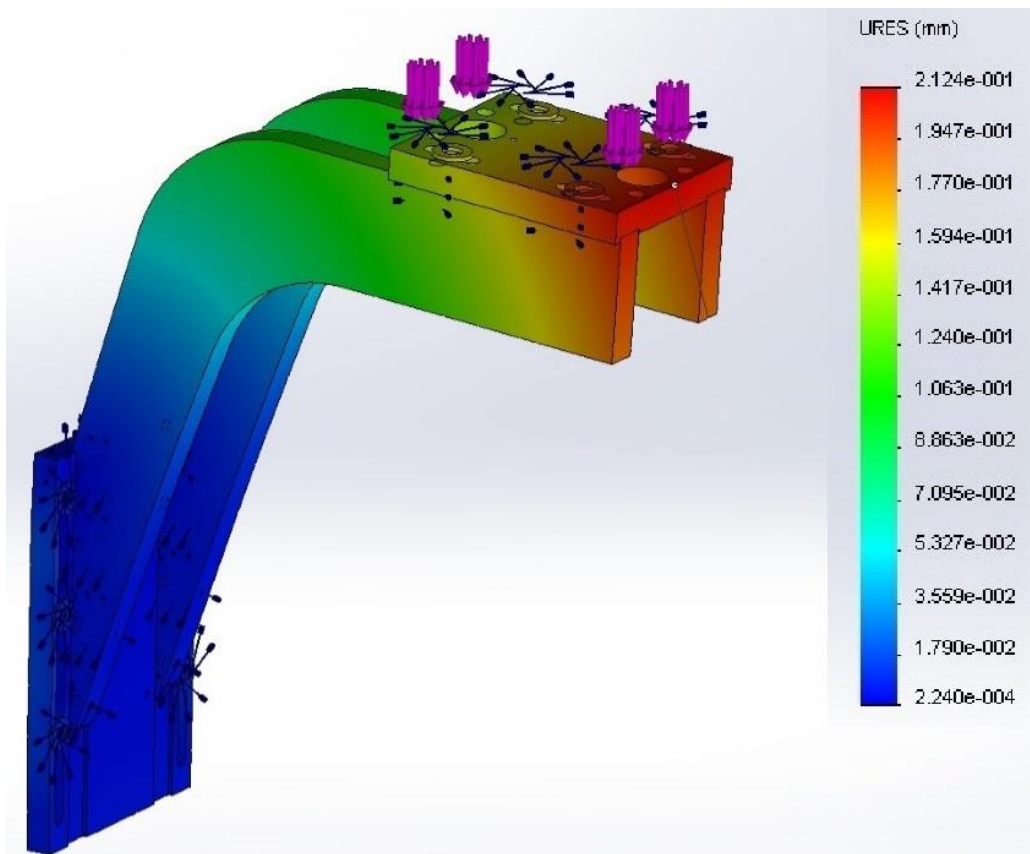


Figura 245 - Deslocamento do braço de ligação para a carga instalada.

A ligação rotativa entre o cilindro do braço de ligação e a estrutura das básculas foi igualmente considerada uma zona crítica, pelo que também mereceu uma análise mais profunda das suas solicitações. Esta ligação é constituída pelos componentes representados na Figura 246.

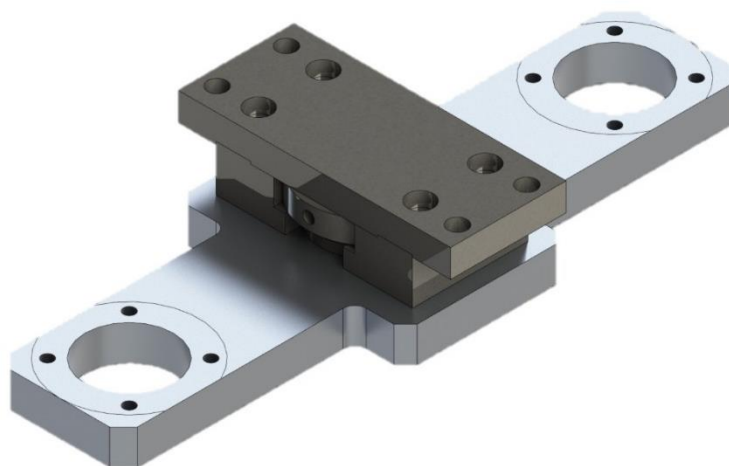


Figura 246 - Ligação rotativa para a simulação.

Para realizar a simulação dos esforços no conjunto, os contactos e ligações foram definidos como nos conjuntos analisados anteriormente. A Figura 247 demonstra todas as ligações definidas no conjunto.

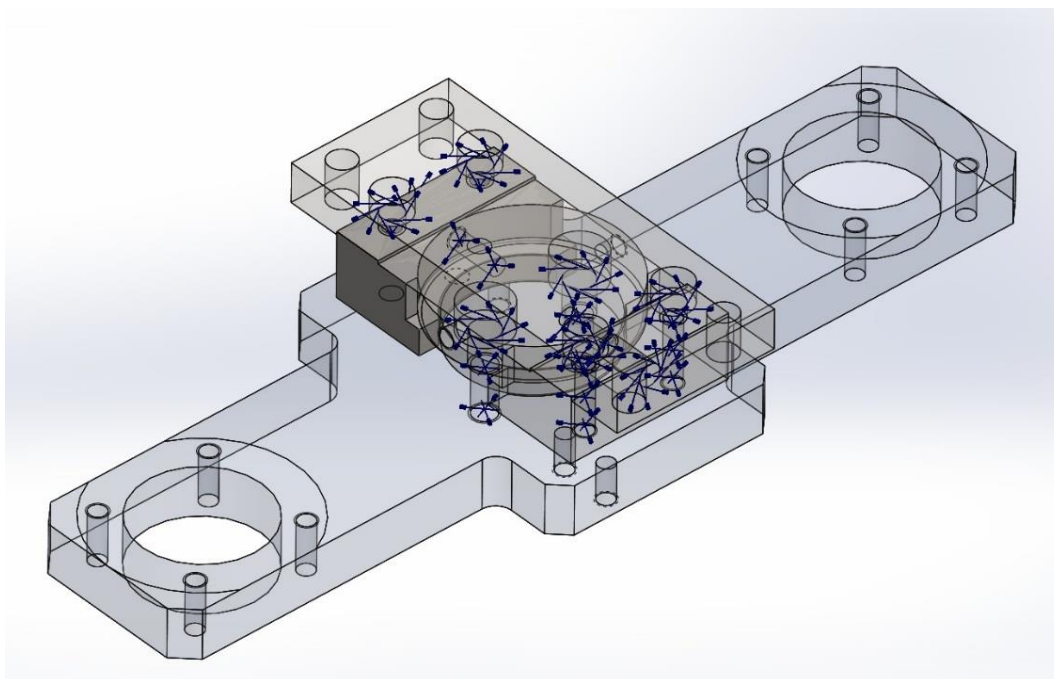


Figura 247 - Conexões definidas entre os componentes da ligação rotativa.

As fixações do conjunto foram atribuídas nas furações que fazem o acoplamento da estrutura, como demonstrado na Figura 248.

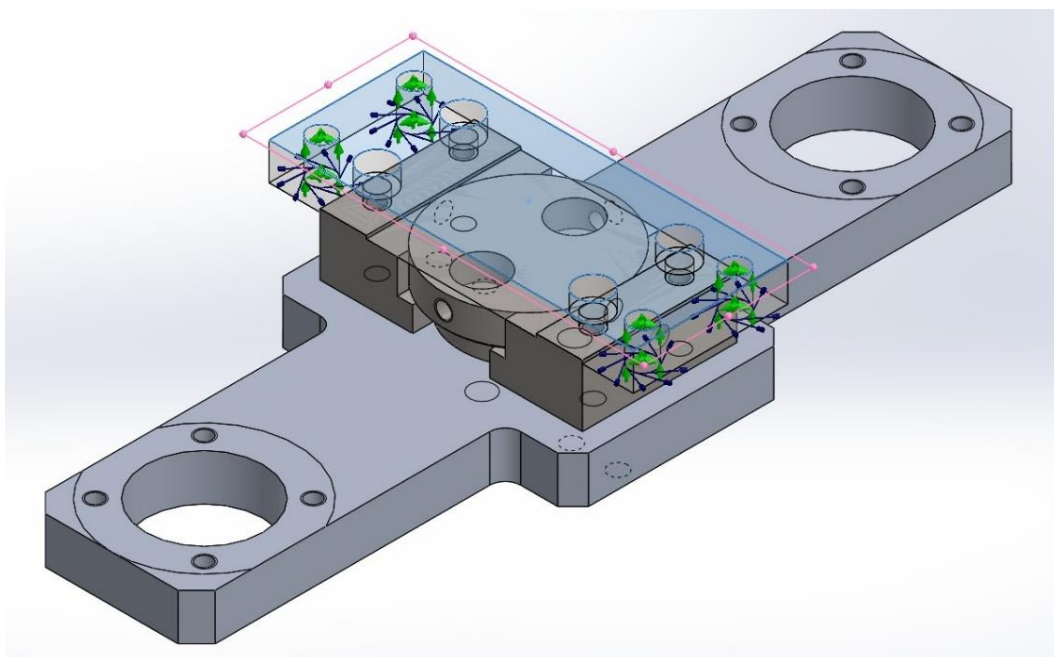


Figura 248 - Fixações atribuídas para a simulação do conjunto.

As solicitações impostas na estrutura são transmitidas por dois casquilhos apoiados nas extremidades das bases do conjunto. Para definir as cargas aplicadas, determinou-se o peso da estrutura a suportar e criou-se uma área correspondente ao apoio dos casquilhos, onde se aplicou a carga obtida. Na Figura 249 e Figura 250, encontra-se ilustrada a estrutura a suportar, com o respetivo peso calculado automaticamente e as solicitações aplicadas nas áreas definidas pelo apoio dos casquilhos, respetivamente.

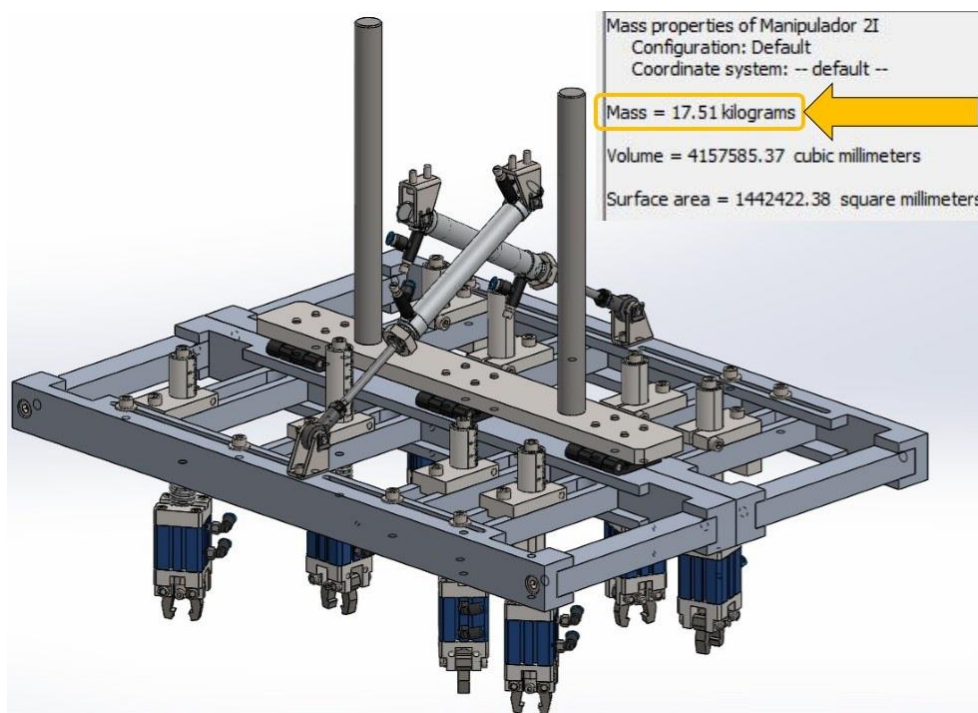


Figura 249 - Massa do conjunto suportado pela ligação rotativa.

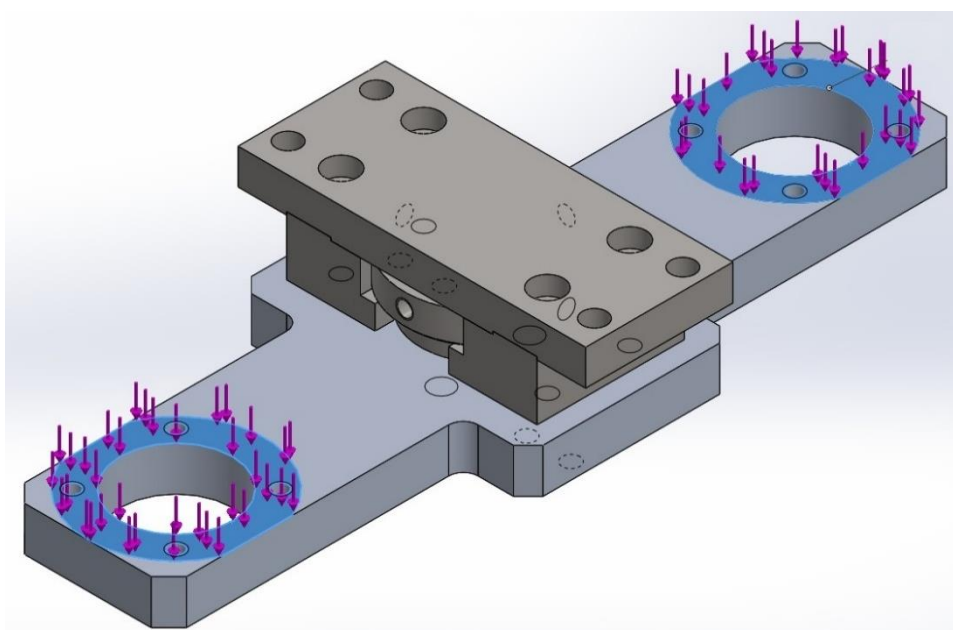


Figura 250 - Zonas do conjunto onde o esforço é aplicado.

De seguida definiu-se a malha de cálculo para a obtenção dos resultados. Os parâmetros usados para a definição da malha já otimizada são os apresentados na Figura 251. A malha obtida para o conjunto está representada na Figura 252.

Mesh Details	
Study name	Study 1 (-Default-)
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Curvature based mesh
Jacobian points	4 points
Max Element Size	4 mm
Min Element Size	0.8 mm
Mesh quality	High
Total nodes	138625
Total elements	89563
Maximum Aspect Ratio	28.205
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	98
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0.0614
% of distorted elements (Jacobian)	0
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:06

Figura 251 - Parâmetros da malha de cálculo definida.

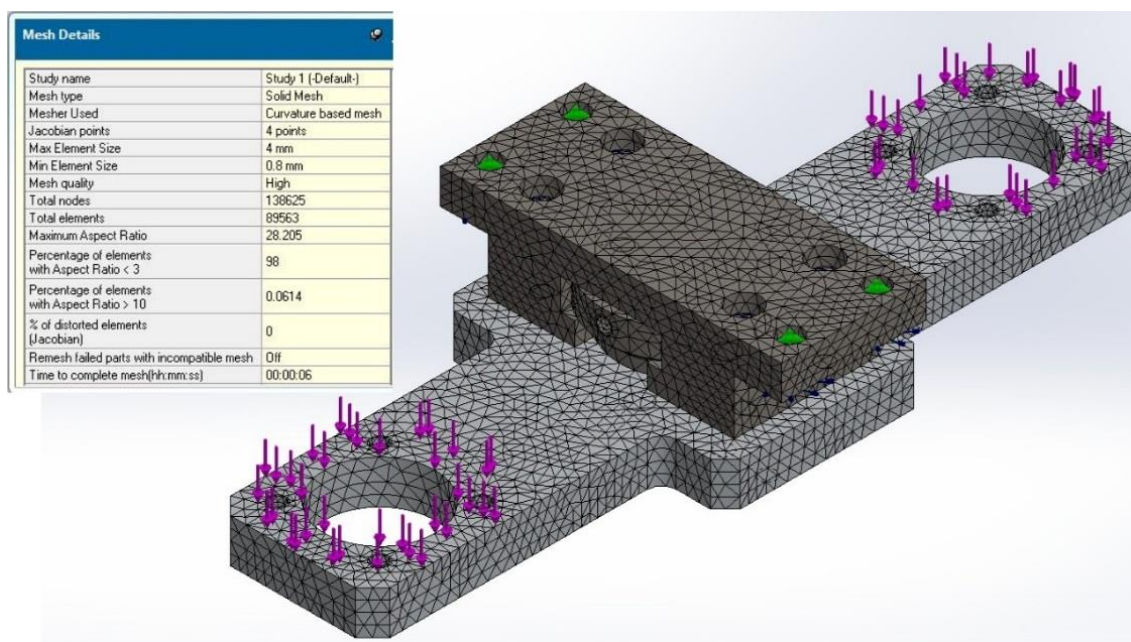


Figura 252 - Malha de cálculo utilizada na simulação.

As tensões instaladas no conjunto, resultantes da simulação, encontram-se indicadas na Figura 253.

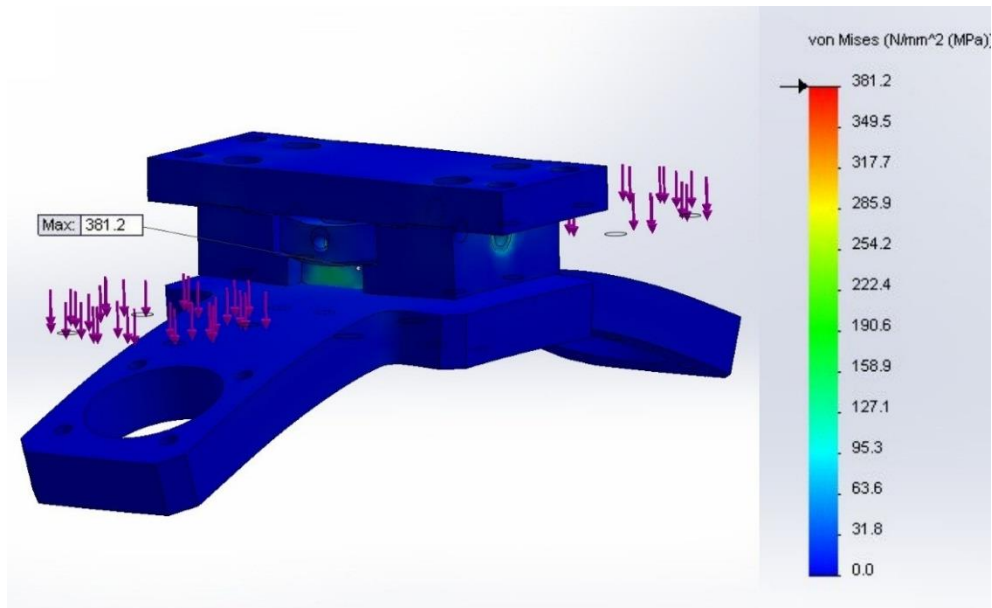


Figura 253 - Tensões resultantes da simulação.

Da análise da Figura 253, verifica-se que a tensão máxima encontrada no conjunto está localizada na base, onde a carga é aplicada, precisamente na rosca dos parafusos que fazem o acoplamento entre a base e o veio. Para se perceber com mais detalhe as zonas da peça que se encontram acima da tensão de cedência do material (liga AW 2024 T3 - 345 MPa), aplicou-se um filtro que apenas demonstra o material que está sujeito acima da restrição imposta. Na Figura 254, encontram-se ilustradas as regiões da peça acima da tensão cedência do material.

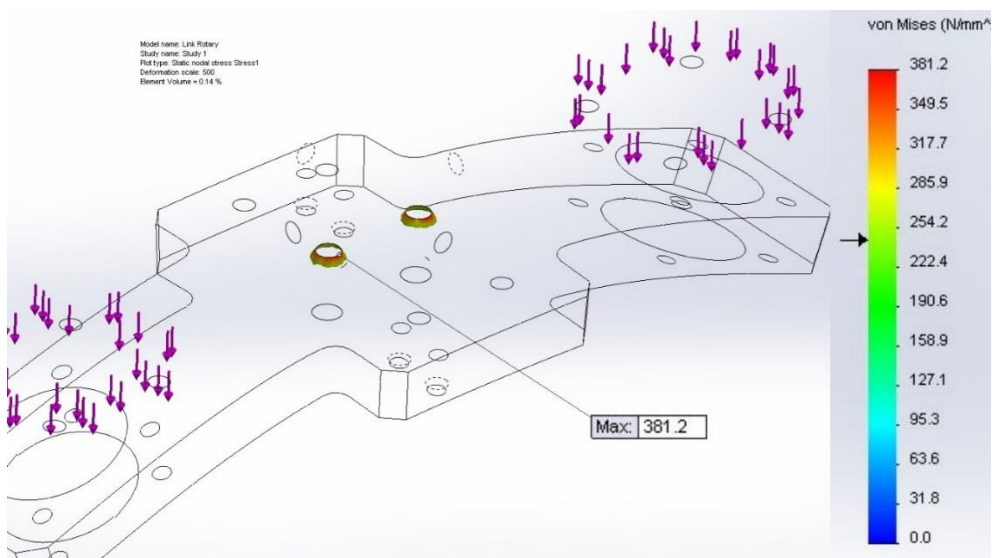


Figura 254 - Volume de material com tensões acima de 345 MPa.

A porção de material sujeito a tensões superiores à tensão de cedência é bastante localizada e reduzida (0,14%). Daí conclui-se que o material nesta condição estática irá plastificar na zona crítica, aumentando assim o seu patamar de cedência, pelo que não representará qualquer perigo para a estrutura.

Relativamente à rigidez, o deslocamento máximo obtido no conjunto localizou-se nas extremidades da base solicitada e foi de $6,237 \times 10^{-2}$ mm. O deslocamento do conjunto encontra-se indicado na Figura 255.

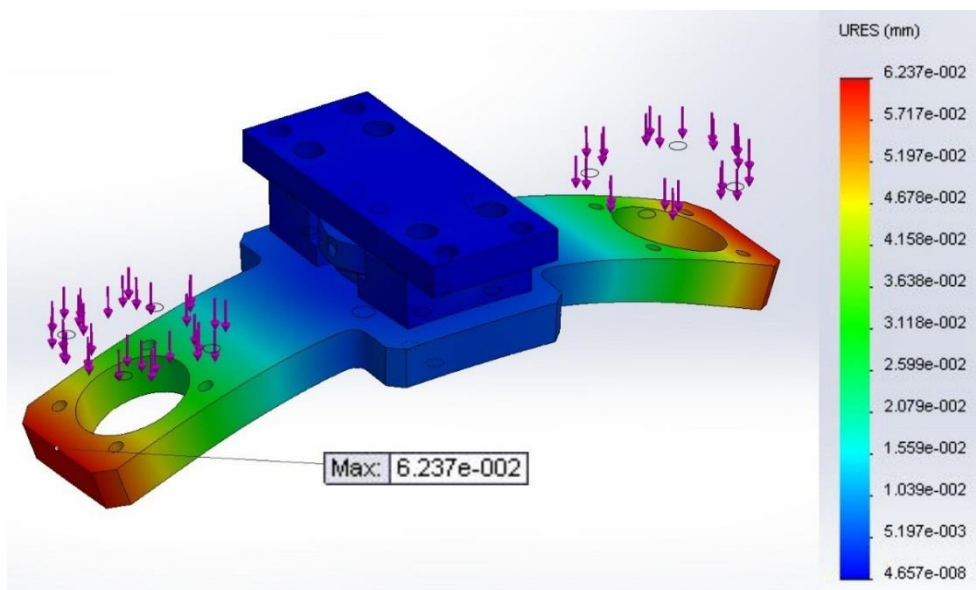


Figura 255 - Deslocamento resultante dos esforços aplicados.

Da análise dos deslocamentos do conjunto, verifica-se que os componentes intervenientes têm rigidez suficiente para não comprometer qualquer aplicação do manipulador.

3.5.3.2. Seleção e dimensionamento de componentes normalizados no manipulador de básculas

Os componentes normalizados de cada subconjunto foram selecionados de acordo com as solicitações a que se encontram submetidos. Alguns componentes como o cilindro sem haste, as guias do *transfer* com respetivos carros e o cilindro guiado do braço de ligação, são componentes para preferencialmente manter no sistema. Contudo, devido à estrutura do manipulador de básculas ser relativamente diferente, foi necessário analisar alguns destes

componentes que se pretendiam manter, de forma a verificar se eram suficientes para a nova estrutura.

As guias lineares e respetivos carros de esferas, de acordo com as especificações (Anexo IV) possuem as seguintes características (Figura 256):

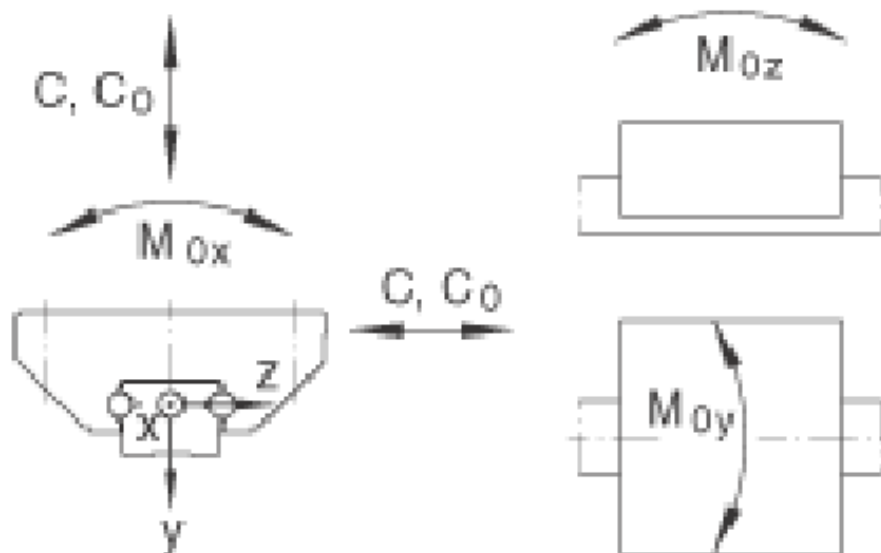


Figura 256 - Diagrama esquemático do tipo de solicitações a que as guias lineares poderão estar sujeitas. (catalogo INA, Anexo IV)

Atendendo ao diagrama de Figura 256, os valores máximos fornecidos pelo fabricante para cada componente são os seguintes:

C – 6500 N capacidade de carga dinâmica;

C₀ – 9200 N capacidade de carga estática;

M_{0x} – 73 N.m, momento estático em torno do eixo X;

M_{0y} – 56 N.m, momento estático em torno do eixo y;

M_{0z} – 56 N.m, momento estático em torno do eixo y.

O peso dos componentes a suportar pelas guias e respetivos carros é de cerca de 295 N (30 kg), como apresentado na Figura 257.

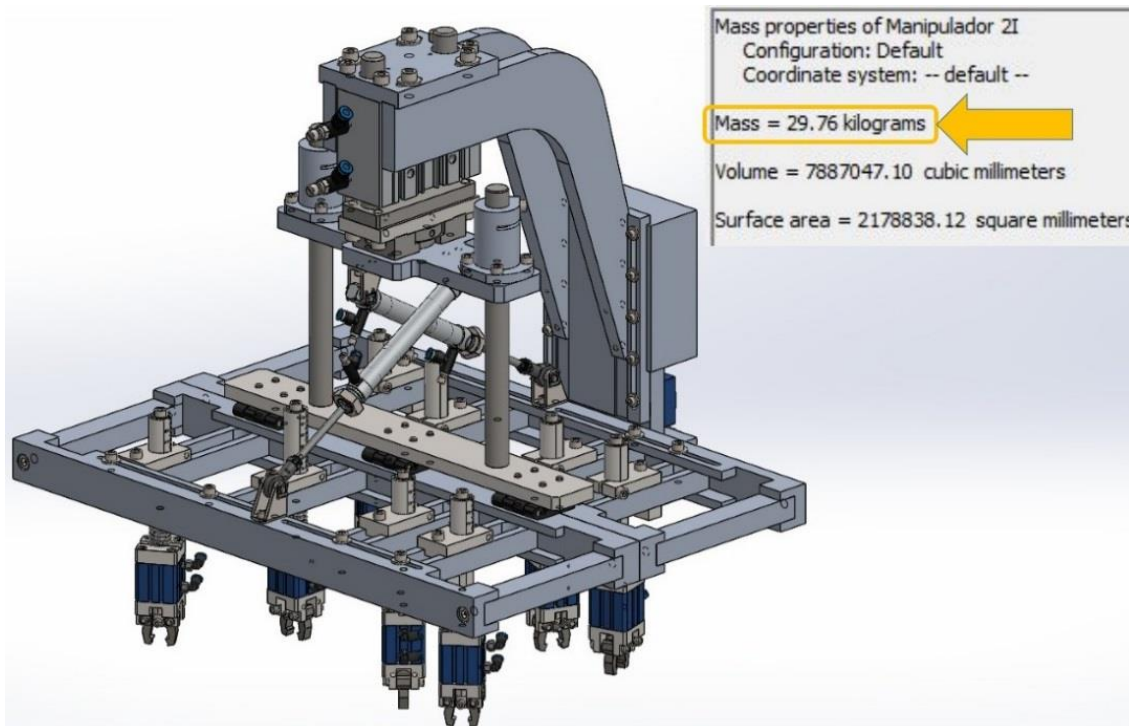


Figura 257 - Massa dos componentes a suportar pelas guias lineares.

Para obter o momento em x (M_{0x}) das guias lineares, é necessário saber a posição do centro de massa do manipulador em relação aos apoios. Na Figura 258 encontra-se representada uma vista lateral do manipulador, com o centro de massa e respetiva posição em relação às guias do *transfer*.

O momento a que se encontra submetido *transfer* é dado pelo produto da distância do centro de massa do manipulador ao *transfer* (L) e o peso do manipulador (P). O momento é calculado pela Equação 8:

$$M_{0x} = L \times P \Leftrightarrow M_{0x} = 0.3 \times 292 \Leftrightarrow M_{0x} = 88,5 \text{ N.m} \quad (8)$$

O momento obtido necessita de ser suportado por duas guias lineares. Como cada guia suporta um M_{0x} máximo de 73 N.m, estas são suficientemente resistentes para suportar o esforço necessário.

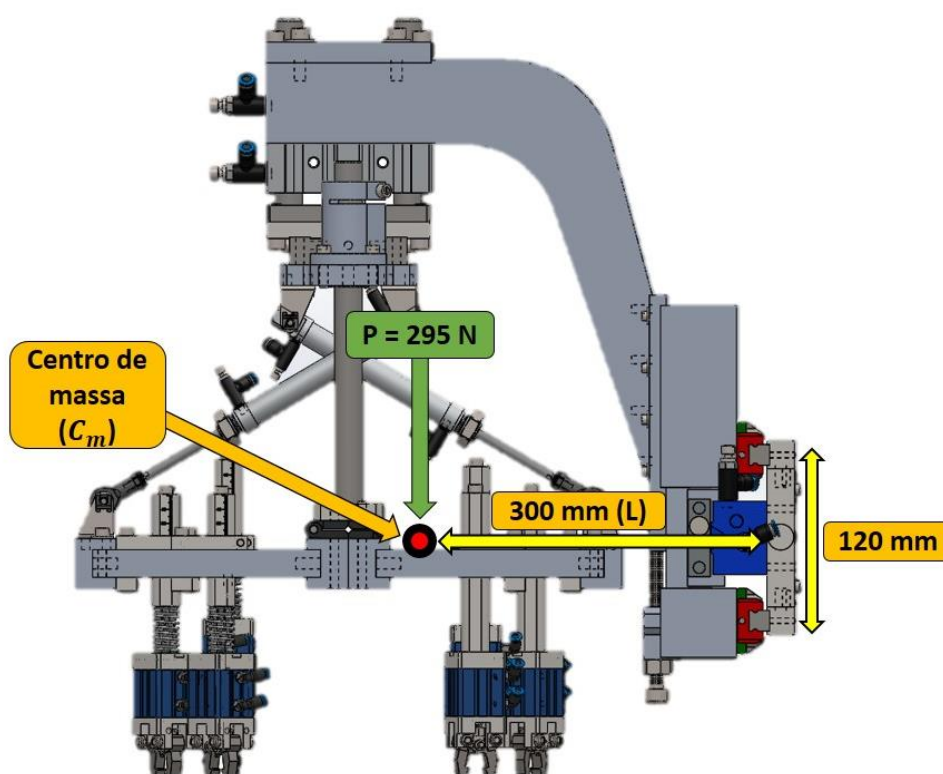


Figura 258 - Posição do centro de massa do manipulador em relação ao *transfer*.

O cilindro guiado do braço de ligação é um cilindro da SMC, com a designação MGPM40-50 (Figura 259), e produz no avanço uma força de 629 N, e no recuo 528 N, considerando uma pressão na rede de 5 bar (Anexo IV). Para verificar se este cilindro suporta a estrutura acoplada na sua haste, determinou-se a massa da estrutura, como representado na Figura 260.



Figura 259 - Cilindro guiado usado no manipulador [70].

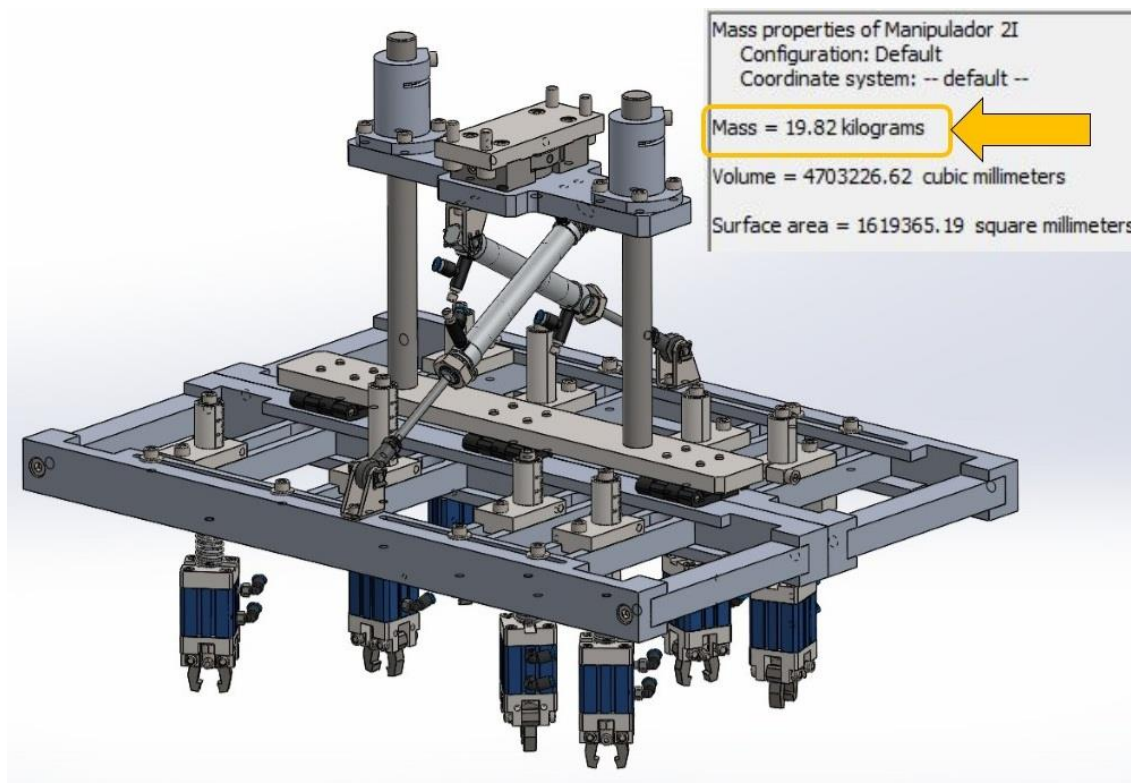


Figura 260 - Estrutura e respetiva massa a mover pelo cilindro guiado.

A força do cilindro a ter em consideração é a força durante o recuo, uma vez que é no sentido oposto a esse movimento que atua a força da gravidade. Como a estrutura pesa aproximadamente 195 N (19,82 kg) e a força de recuo é de 528 N, o cilindro usado pode ser mantido.

As básculas do manipulador possuem rotação numa das suas laterais e são animadas por um cilindro pneumático com conexões de rótula em cada extremidade. Para dimensionar o cilindro, determinou-se a força necessária para movimentar as básculas. Com vista à realização do cálculo da força necessária no cilindro, determinou-se o peso das básculas com as respetivas garras montadas na situação mais crítica, isto é, as garras montadas o mais afastadas possível do ponto de rotação. Na Figura 261, está representada a montagem efetuada com respetivo o peso da estrutura.

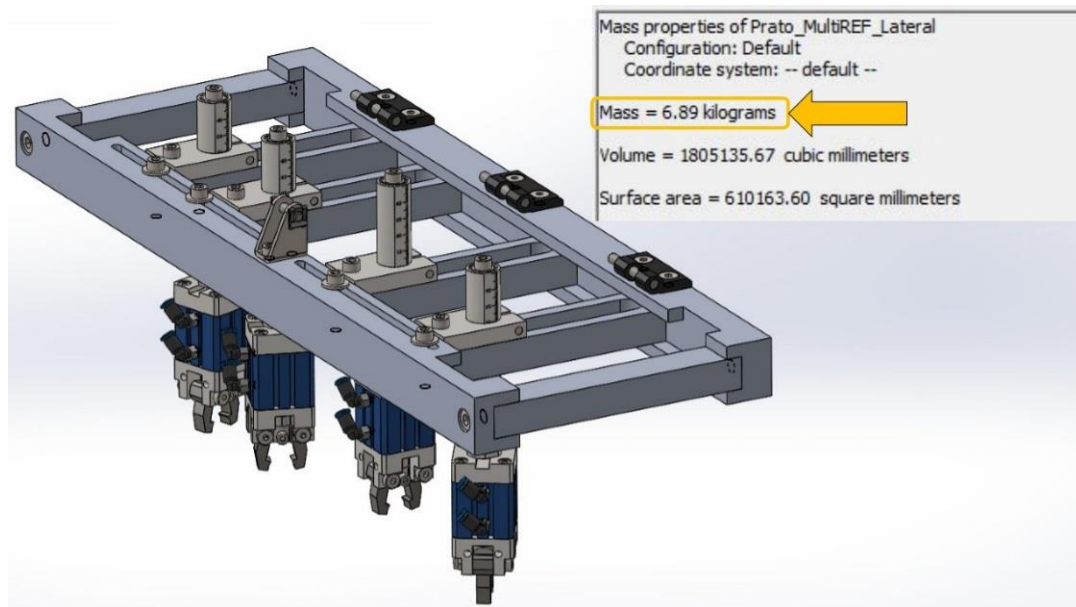


Figura 261 - Massa da báscula do manipulador.

O cálculo da força realizou-se baseado no diagrama de corpo livre apresentado na Figura 262.

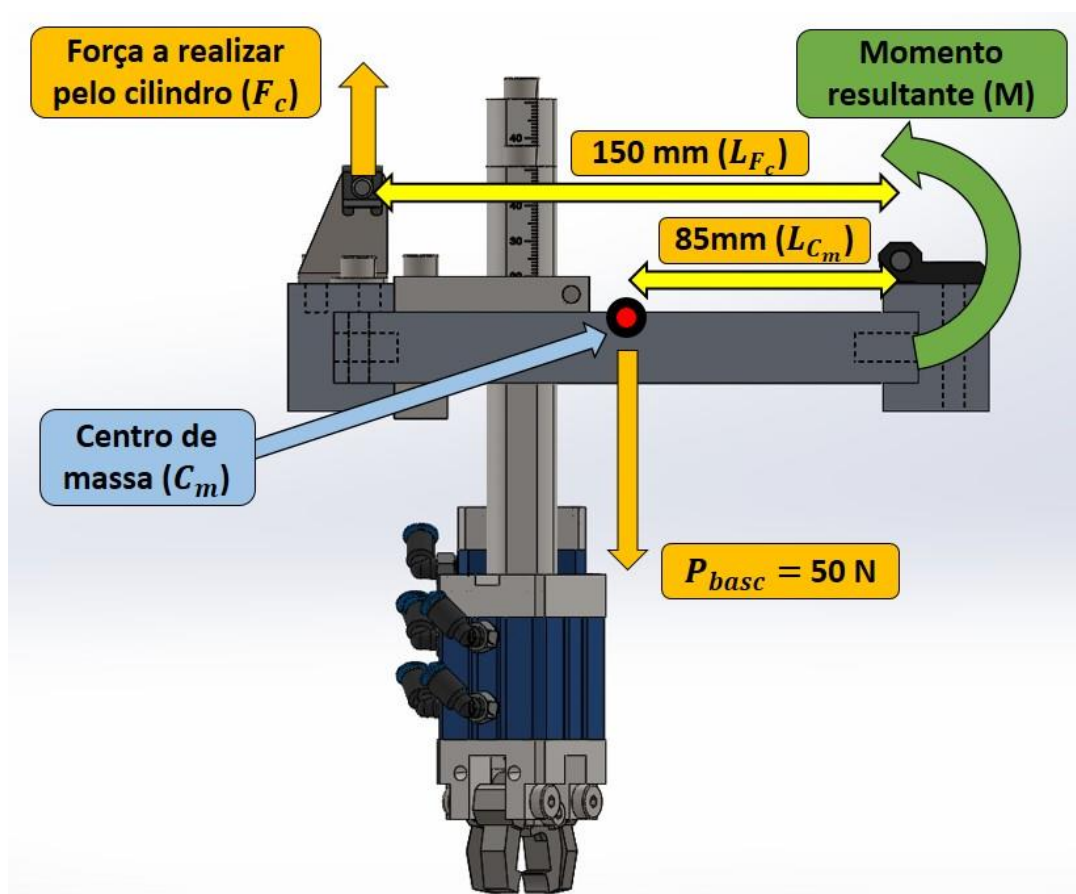


Figura 262 - Diagrama de corpo livre da báscula.

A partir da Equação 9 de equilíbrio de momentos, temos:

$$\begin{aligned}\sum M = 0 &\Leftrightarrow -F_c \times L_{Fc} + P_{basc} \times L_{Cm} = 0 \Leftrightarrow & (9) \\ \Leftrightarrow -F_c \times 0,150 + 50 \times 0,085 = 0 &\Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow F_c = 29 \text{ N} &\end{aligned}$$

Onde as variáveis possuem o seguinte significado:

F_c – Força do cilindro (N);

P_{basc} – Peso da báscula (N);

L_{Fc} – Distância do ponto de rotação da báscula ao ponto de atuação do cilindro (m);

L_{Cm} – Distância do centro de massa da báscula ao seu ponto de rotação (m).

A força necessária para mover a báscula é de 29 N, logo o cilindro para este efeito terá de fazer uma força igual ou superior à calculada. Com intuito de ter força suficiente na báscula para desmoldar as peças em situações que pode existir mais ou menos prisões ao molde, considerou-se um fator de segurança de 3, isto é, selecionou-se um cilindro com pelo menos 87 N. O cilindro pneumático selecionado foi um cilindro *standard* da FESTO com a designação, DSNU-16-90-P, que realiza uma força de 100 N a 5 bar de pressão na rede (Figura 263) (Anexo IV).



Figura 263 - Cilindro FESTO DSNU-16-90-P selecionado para animar as básculas [32].

3.5.3.3. Identificação das solicitações críticas e validações estruturais do alimentador automático

De todos os componentes constituintes do sistema de alimentação, o único componente projetado considerado crítico para o correto funcionamento, foi a barra de transmissão do movimento do seletor de arames. Esta barra é longa e de secção reduzida, o que pode levar a flechas elevadas, que podem provocar anomalias no funcionamento da máquina durante a alimentação dos arames.

A propriedade crítica a analisar é definitivamente a rigidez da barra, sem desprezar a resistência mecânica. Elevados deslocamentos deste componente podem levar a que este não empurre uniformemente o arame e cause prisões do sistema. Na Figura 264 encontra-se representado o conjunto em análise.



Figura 264 - Conjunto do seletor passa/não passa do alimentador de arames em análise.

O material desta barra é um aço de construção não ligado (DIN Ck45), com as propriedades elencadas na Tabela 5 já referida anteriormente.

O método e parametrização deste conjunto seguiu a abordagem já realizada nos conjuntos do manipulador de básculas por elementos finitos, isto é, contactos sem penetração entre componentes e definição de ligações aparafusadas com o momento torsor de 10 N.m. Na Figura 265 encontram-se ilustradas as ligações definidas entre componentes.

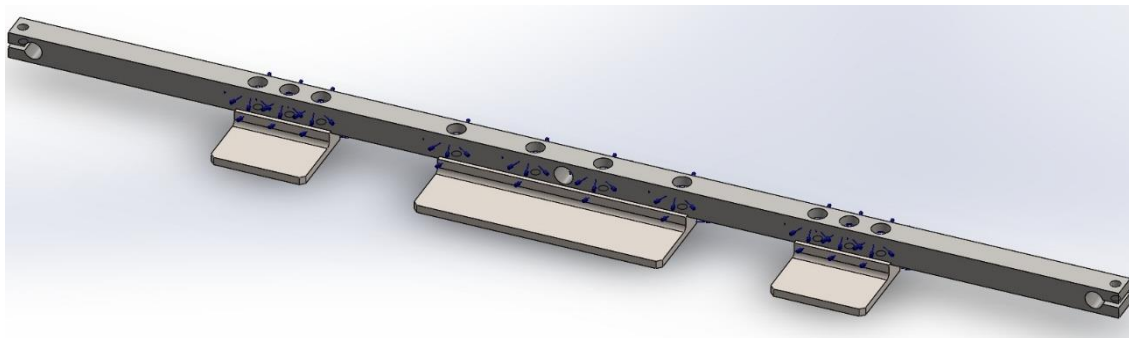


Figura 265 - Definição de contactos e ligações entre componentes do seletor.

Este componente transmite movimento a dois veios que estão ligados nas suas extremidades, assim, fica claro que as zonas da peça em que se definiram as fixações foi na parte de acoplamento com os veios. A carga aplicada no conjunto corresponde à força máxima do cilindro que atua sobre o centro da barra em estudo. O cilindro utilizado é um FESTO ADN-32-30-I-P-A que realiza uma força no avanço/recuo de 483/415 N, considerando que a rede pneumática funciona a uma pressão de 5 bar (Anexo IV). Esta força provoca um esforço de flexão na barra em estudo. Na Figura 266 encontra-se ilustrada, pelas setas a roxo, a força que atua sobre o componente, e pelas setas a verde as zonas onde foram definidas fixações.

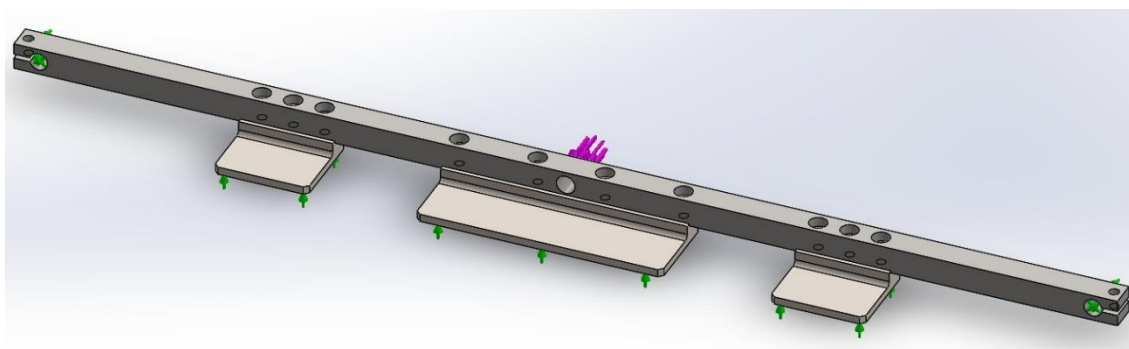


Figura 266 - Fixações e carga aplicada no seletor.

Depois de realizadas várias simulações e refinada a malha até ao limite permitido pelo *hardware* do computador disponível, os parâmetros e aspeto da malha utilizados para a obtenção dos resultados que se iram seguir, são os apresentados na Figura 267 e Figura 268, respetivamente.

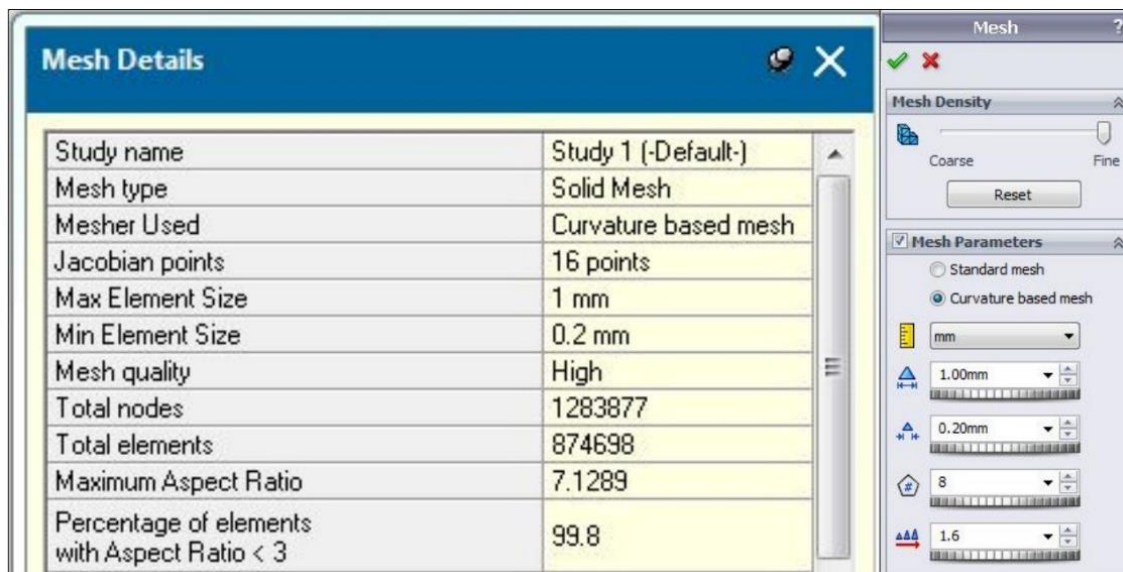


Figura 267 - Parâmetros da malha otimizada usada na simulação do conjunto.

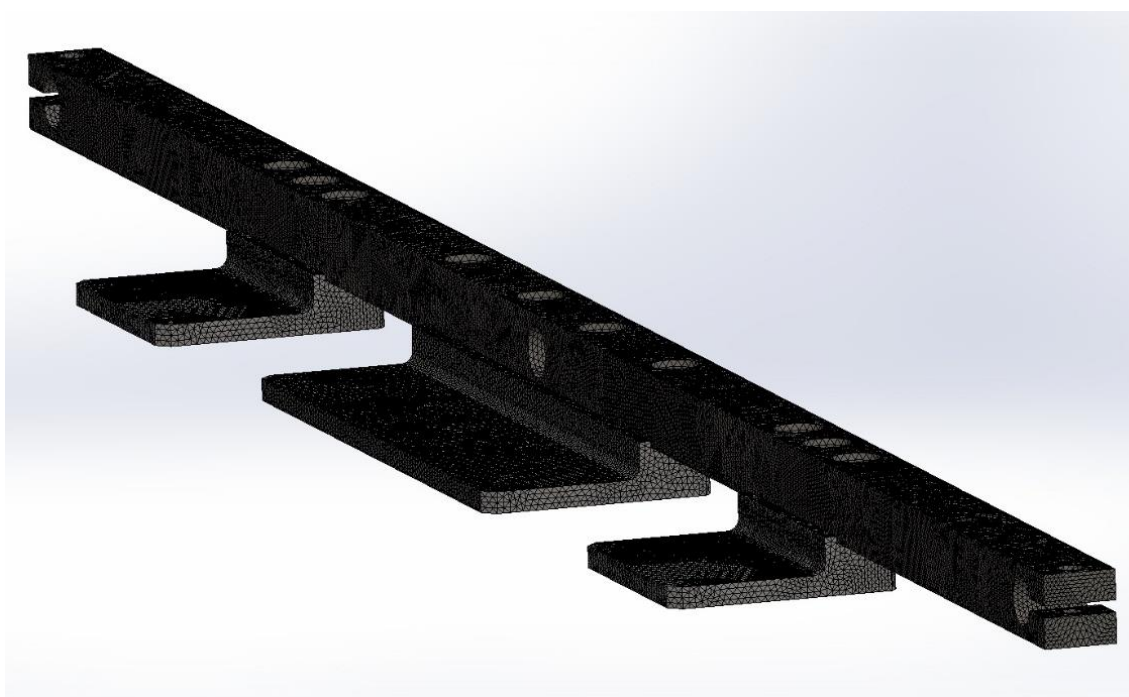


Figura 268 - Aspeto da malha obtida para a realização da simulação.

Considerando que a tensão de cedência do material da barra em estudo é de 455 MPa, os resultados obtidos na simulação referentes às tensões instaladas, são os apresentados na Figura 269.

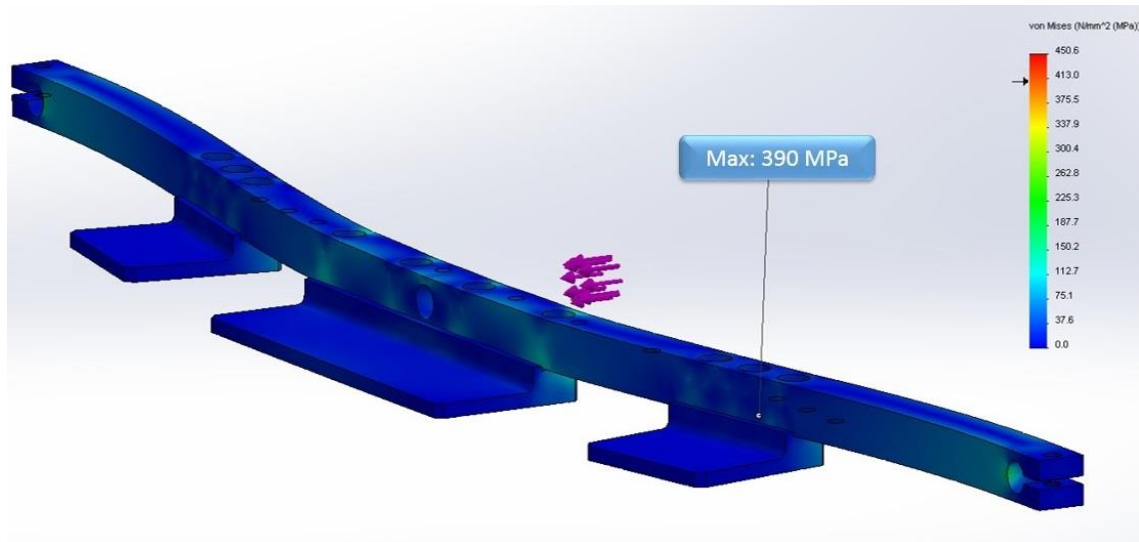


Figura 269 - Tensões de vonMises obtidas na simulação de elementos finitos do seletor (escala de deformação 50 vezes superior).

A tensão máxima obtida foi de 390 MPa que se encontra abaixo da tensão de cedência do material da barra em que esta tensão se encontra instalada (455 MPa). O coeficiente de segurança mínimo do conjunto é dado pela Equação 10:

$$CS = \frac{\sigma_{Ced}}{\sigma_{inst}} \Leftrightarrow CS = \frac{455}{390} \Leftrightarrow CS \cong 1,2 \quad (10)$$

O coeficiente de segurança do conjunto (seletor de arames) é aproximadamente 1,2 o que garante que não existe perigo de falha da estrutura para o caso estudado.

Para termos uma ideia de como evolui a propagação das solicitações nos componentes, à semelhança das outras simulações, foi aplicado um filtro para mostrar as tensões acima de 110 MPa (este foi o valor definido manualmente no *software* que melhor representou esta evolução). Na Figura 270 encontra-se demonstrado o volume de material com tensões superiores a 110 MPa.

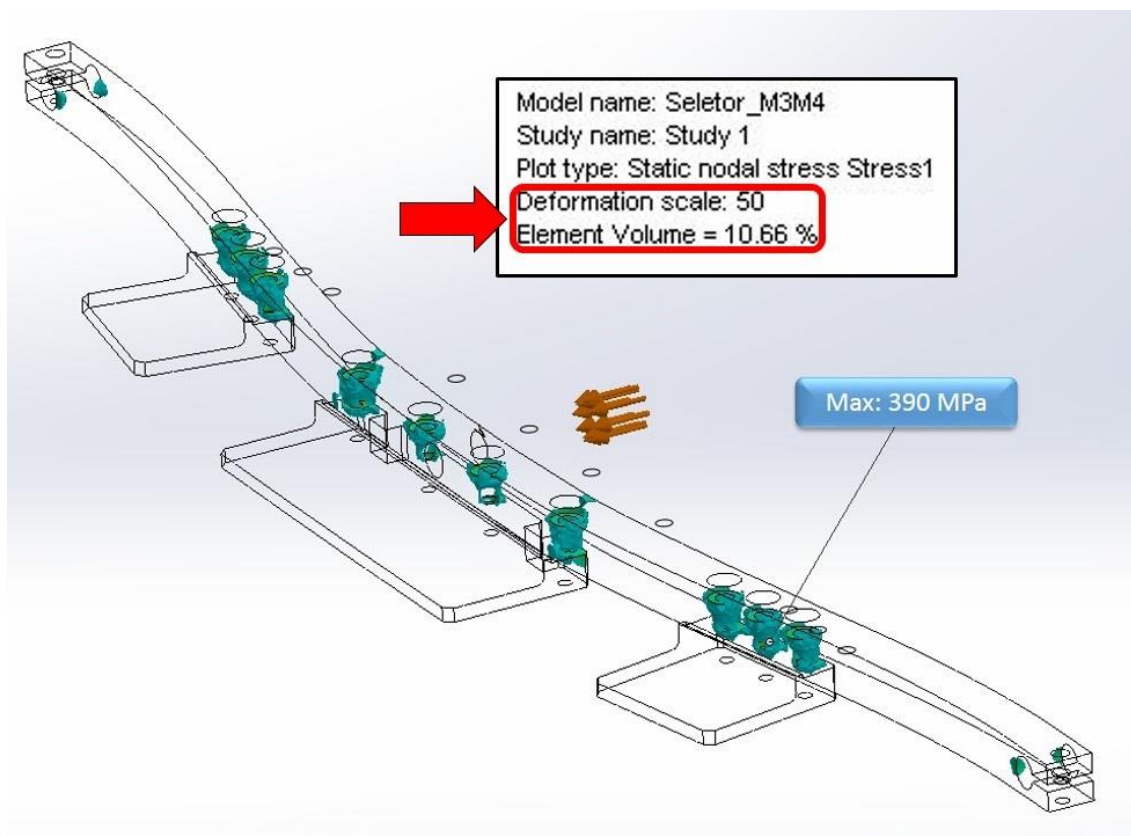


Figura 270 - Volume de material com tensões acima de 110 MPa.

Atendendo à Figura 270 percebemos, como já era esperado, que mais uma vez as tensões instaladas mais elevadas se encontram nas roscas das ligações aparafusadas entre componentes.

Considerando estes resultados, podemos concluir que no caso de existir alguma prisão do sistema, a barra é suficiente para suportar o esforço realizado pelo cilindro.

Relativamente à rigidez do subconjunto, os resultados obtidos encontram-se ilustrados na Figura 271.

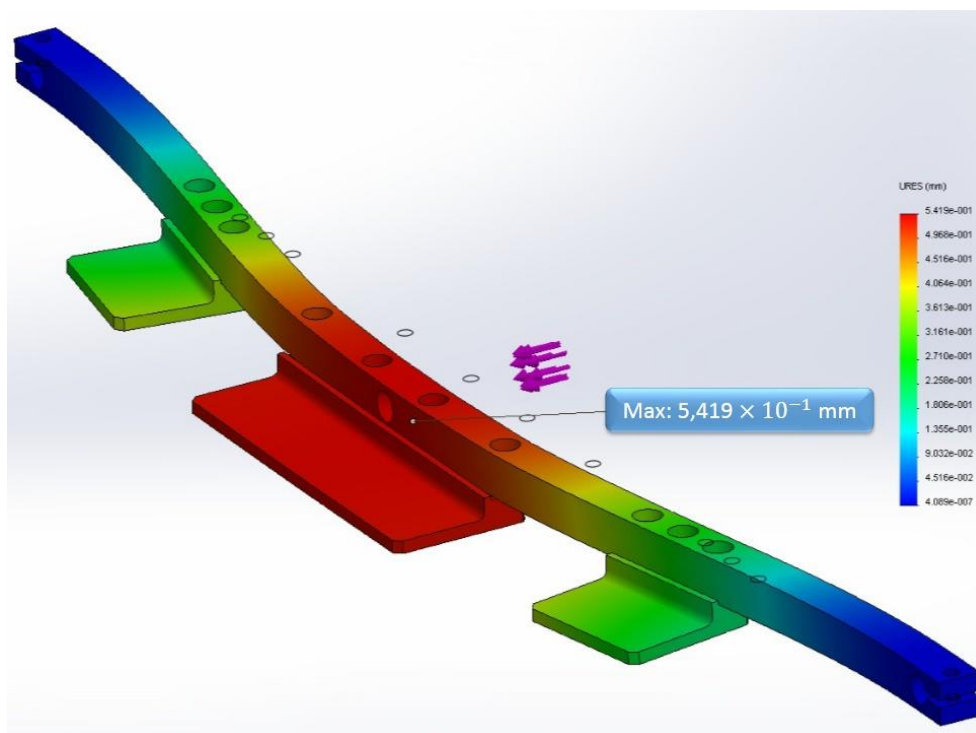


Figura 271 - Deslocamento do conjunto quando submetido à carga máxima (escala de deformação 50 vezes superior).

Dos resultados obtidos, verificou-se que o deslocamento máximo do conjunto foi de $5,419 \times 10^{-1} \text{ mm}$. Podemos então concluir que, apesar da secção reduzida da barra, o conjunto é suficientemente robusto para não causar problemas durante o seu funcionamento.

3.5.3.4. Seleção e dimensionamento de componentes normalizados no sistema de alimentação automático

Os componentes normalizados do alimentador merecedor de uma análise mais detalhada foram as guias telescópicas usadas para realizar a abertura da gaveta, que recebe os arames do alimentador. Estas guias necessitam de ter uma rigidez aceitável, para que não surjam desníveis quando a gaveta se encontra totalmente estendida. Tal poderia ser muito problemático, pois quando o manipulador captasse os arames, poderia não recolher um ou mais, devido à falta de planeza da gaveta. O parâmetro mais importante da gaveta para seleccionar as guias foi a sua massa. Na Figura 272 encontra-se representada a gaveta com o respetivo peso, obtido a partir da atribuição dos respetivos materiais de cada componente no *Solidworks*®.

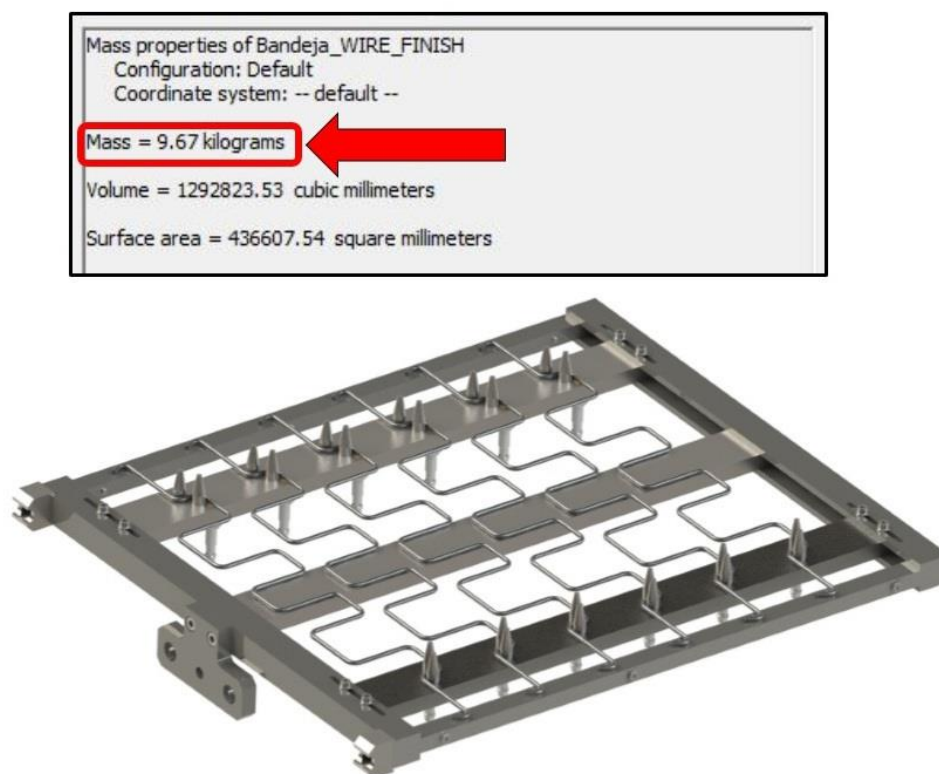


Figura 272 - Massa da gaveta do alimentador.

Atendendo a este requisito, seleccionou-se umas guias *Rollon* modelo telescópico LFS. No Anexo IV, encontram-se detalhadas as características deste modelo. Atendendo ao diagrama de esforços da Figura 273, verifica-se que a componente mais importante a considerar é a solicitação C_{0rad} , que corresponde à componente que “anula” o peso da gaveta.

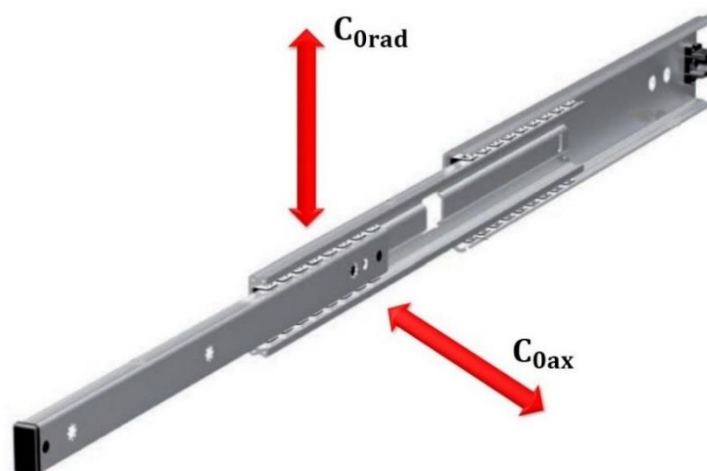


Figura 273 - Diagrama de esforços da guia *Rollon* LFS.

Uma vez que este componente será usado em duplicado, isto é, uma guia de cada lado da gaveta, e que terá um elevado número de ciclos de funcionamento, selecionou-se o modelo LFS 57 de 450 mm de comprimento, quando contraída (requisito de projeto). Cada guia deste modelo possui os seguintes limites de capacidade de carga, para as componentes apresentadas na Figura 273:

$$C_{0rad} = 350 \text{ N}$$

$$C_{0ax} = 80 \text{ N}$$


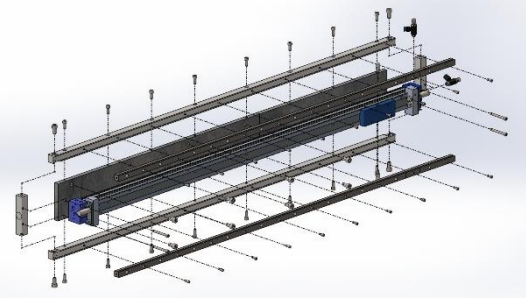
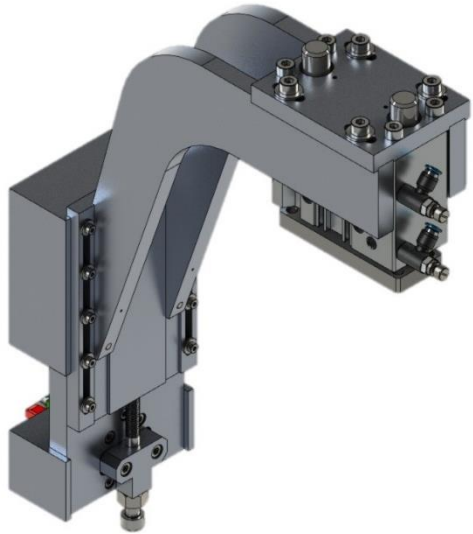
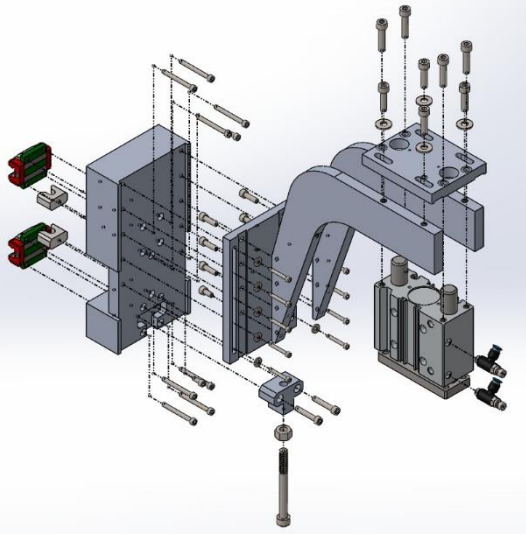
A gaveta pesa aproximadamente 95 N (9,67 kg), e a capacidade suportada por duas guias é de 700 N (350 N x 2), logo não existirá qualquer problema com a resistência deste componente, bem como com a sua rigidez. O fabricante informa que as guias, quando devidamente aplicadas, aguentam 100 000 ciclos de funcionamento. Espera-se, como consequência do seu sobredimensionamento, que a resistência à fadiga seja consideravelmente superior. Outras razões que estiveram na origem da escolha deste componente foram o facto de a guia, quando estendida, possuir 550 mm, isto é, possui uma extensão superior a 100% do comprimento inicial, que facilita o alcance do manipulador à gaveta do alimentador, assim como o seu baixo custo (cerca de 30 € a unidade) e dimensões ideais para o projeto elaborado.

3.5.4. Equipamento desenvolvido

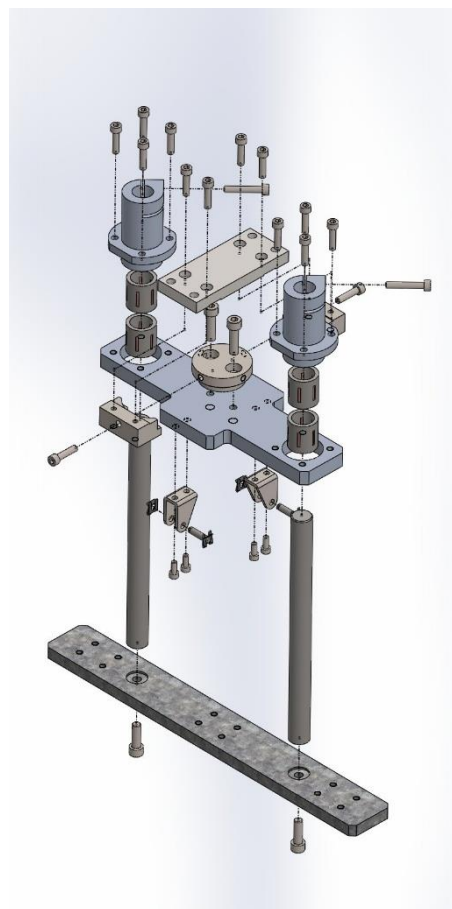
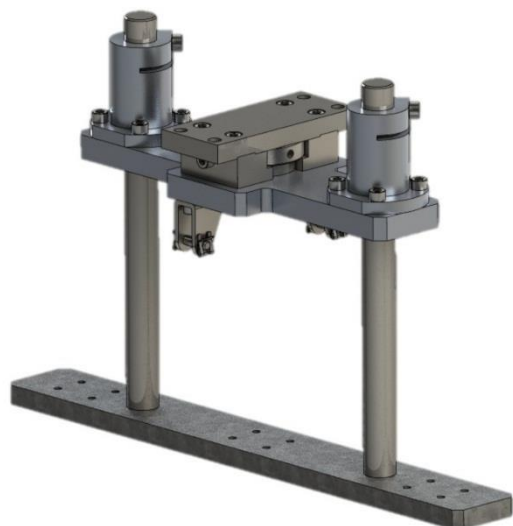
3.5.4.1. Equipamento desenvolvido para a extração das peças injetadas

Em resumo, o manipulador desenvolvido pode ser subdividido em vários subconjuntos. Na Tabela 6 estão identificados cada subconjunto, bem como uma breve explicação da sua montagem e função.

Tabela 6 - Subconjuntos do manipulador de básculas.

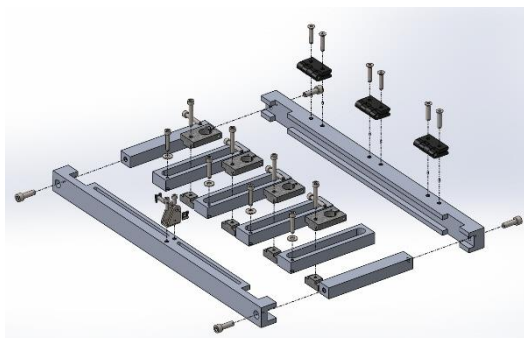
Sistema de <i>transfer</i>	
	
<p>O <i>transfer</i> do manipulador é constituído por uma estrutura em aço fixa por parafusos na cabeça da injetora. Esta estrutura possui ainda duas guias lineares num cilindro sem haste, para conectar e movimentar o braço de ligação.</p>	
Braço de ligação	
	
<p>O braço de ligação possui dois carros de esferas que rolam nas guias do <i>transfer</i>, assim como um cilindro guiado que realiza o movimento de subida e descida do manipulador.</p>	

Eixo central/Ligação rotativa

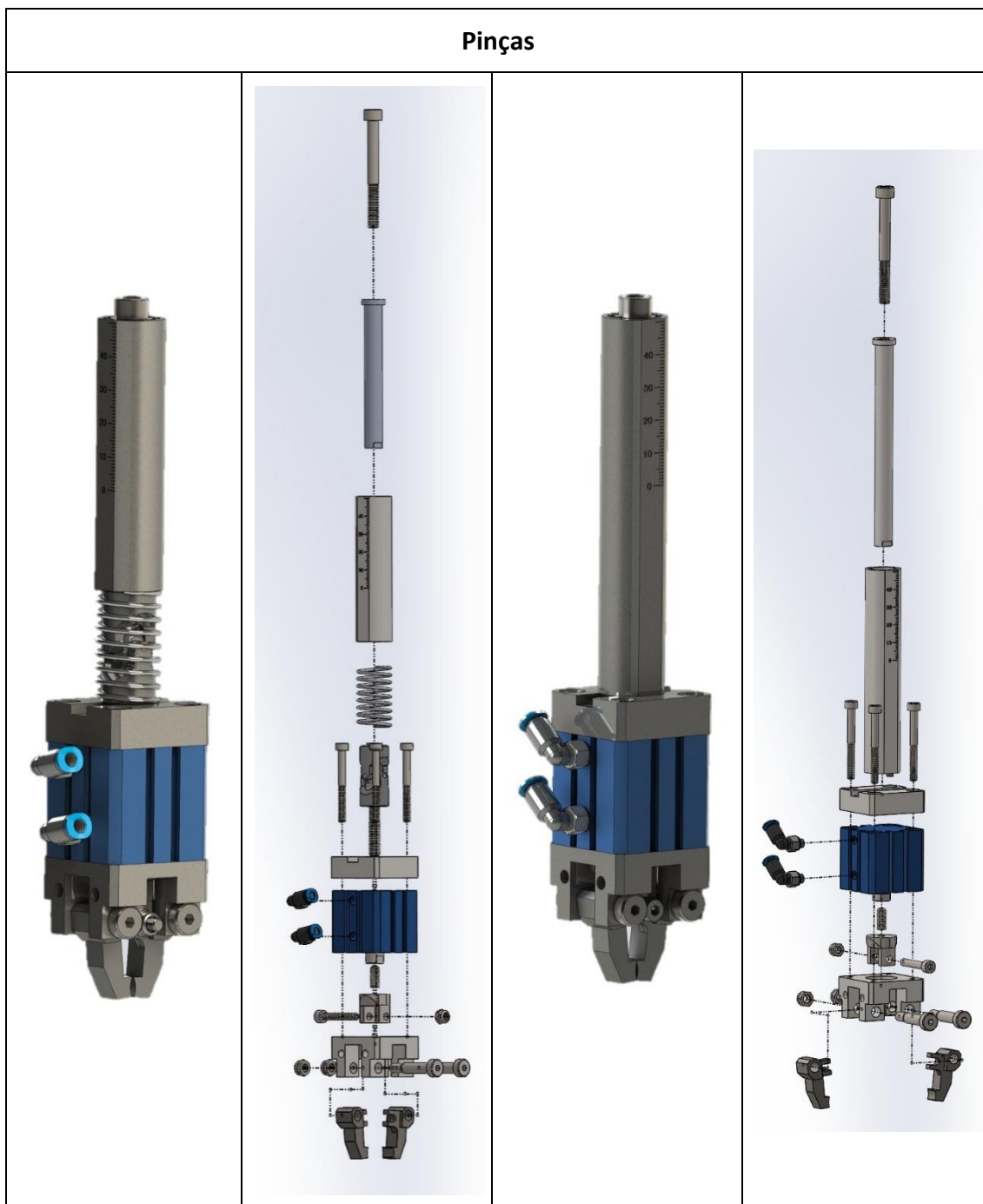


A estrutura denominada como eixo central faz a conexão entre o braço de ligação e as básculas. Esta estrutura serve ainda de base de apoio para os cilindros que acionam as básculas e tem a possibilidade de girar em torno do seu eixo.

Estrutura de básculas



O manipulador possui duas básculas, ambas acopladas ao eixo central por dobradiças. Estas estruturas possuem quatro barramentos que fazem de suporte e afinação das pinças.



As pinças são o elemento responsável por captar a peça a extrair pelo manipulador. Existem dois tipos de pinças, isto é, com *cardan* e sem *cardan*. Estas possuem um veio rotativo para realizar o acoplamento nos barramentos do sistema de báscula. Cada pinça detém um cilindro de duplo efeito para realizar a abertura e fecho das garras.

Manipulador de básculas



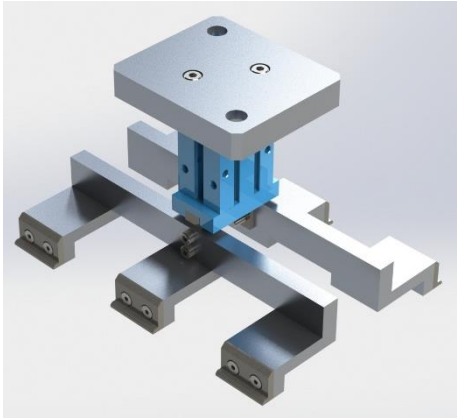
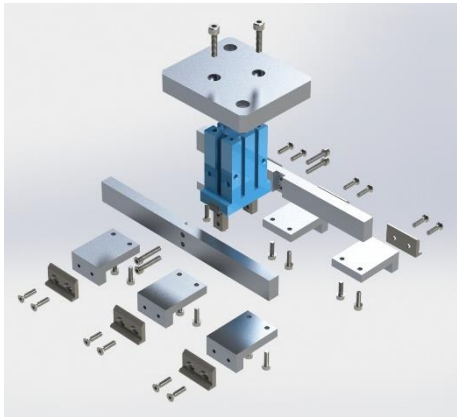
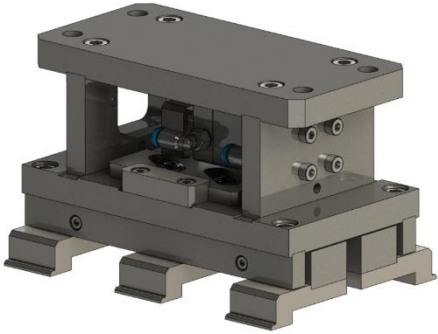
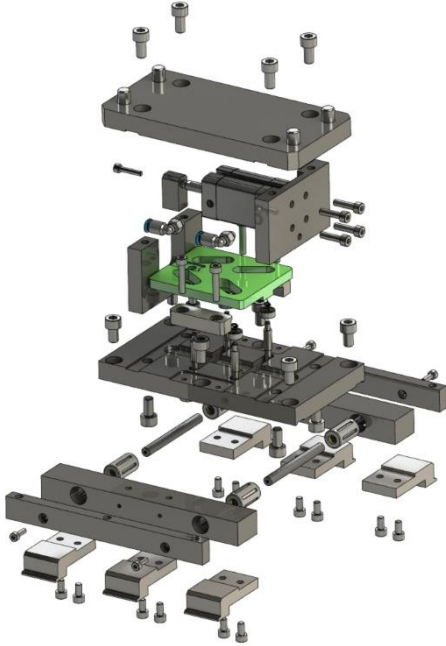
O manipulador de básculas é constituído pela montagem dos subconjuntos acima referidos.

Cada manipulador contém:

- Um *transfer*;
- Um braço de ligação;
- Um eixo central;
- Duas básculas;
- Dois cilindros articulados para acionarem as básculas;
- Quatro pinças com *cardans*;
- Quatro pinças sem *cardans*.

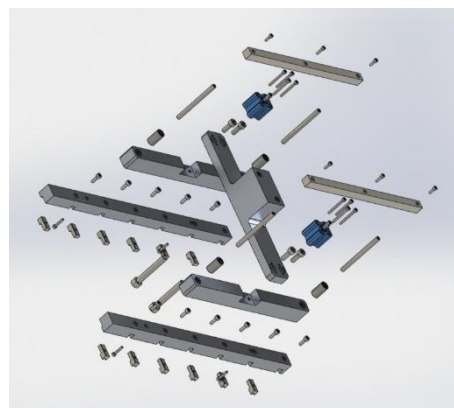
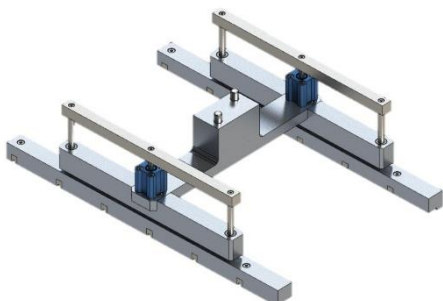
Relativamente ao manipulador M3M4, todos os subconjuntos desenvolvidos neste trabalho estão referenciados na Tabela 7. O conjunto braço rotativo com servomotor não foi incluído por ser um conjunto já existente na máquina.

Tabela 7 - Subconjuntos do manipulador M3M4.

Manipulador M3M4 modulo V1	
	
<p>O módulo de extração M3M4 V1 é um sistema simples e ligeiro que realiza a extração de três arames em simultâneo, através do acionamento de um <i>gripper</i> paralelo nele existente. Cada manipulador possui dois destes conjuntos para extrair os seis componentes do molde.</p>	
Manipulador M3M4 modulo V2	
	
<p>O módulo de extração M3M4 V2 realiza a extração de três componentes em simultâneo como no modelo V1, e foi a solução definitiva encontrada para resolver os problemas de robustez</p>	

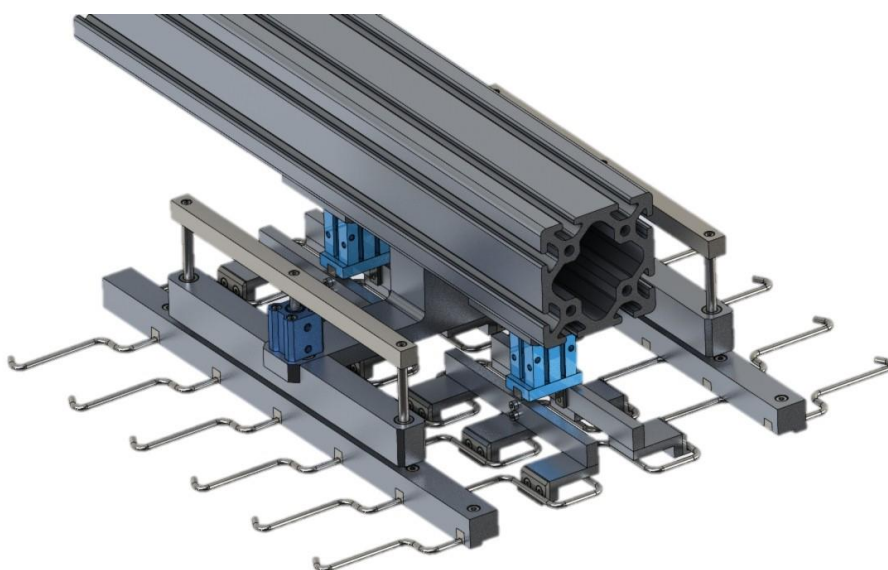
do modelo anterior. O acionamento das garras é realizado por um sistema de cunha acionado por cilindro *standard*, consideravelmente mais económico que a garra do modelo anterior.

Calçadores M3M4



O sistema de calçadores do manipulador M3M4 contempla dois calçadores que garantem o correto posicionamento dos arames, aquando da sua inserção no molde.

Manipulador M3M4




O manipulador M3M4 é constituído pela montagem dos subconjuntos acima referidos. Cada manipulador compreende:

- Dois módulos de extração M3M4 V1/V2;
- Um sistema de calçadores;
- Sistema de braço rotativo.

3.5.4.2. Equipamento desenvolvido para a alimentação de arames

Na Tabela 8 encontra-se patente uma breve explicação de particularidades da montagem e função de cada subconjunto que constitui o alimentador M3M4.

Tabela 8 - Subconjuntos do alimentador M3M4 SP.

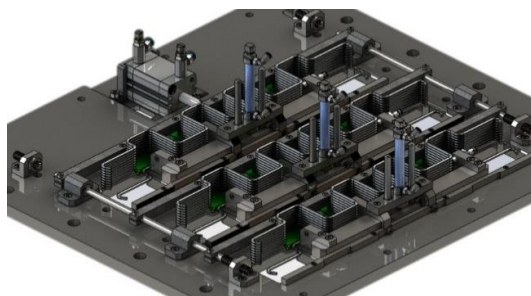
Estrutura de suporte

<p>A estrutura em perfil de alumínio <i>standard</i> com secção 40 x 80 mm² faz de suporte ao alimentador para que este fique com a gaveta complanar com a superfície do molde. As ligações entre perfis que compõem a estrutura são realizadas com componentes do próprio fornecedor. Com o objetivo de dar mais esbelteza à estrutura, foram ainda introduzidos esquadros nos cantos inferiores de cada junta de perfil. Esta estrutura, depois de devidamente posicionada e regulada em altura, é fixa ao solo com esquadros de fixação.</p>

Sistema de gaveta



A gaveta do alimentador é o subconjunto responsável por receber os arames e fornecê-los ao manipulador. Este conjunto dispõe de duas guias telescópicas em cada lateral que são acionadas por um cilindro pneumático de duplo efeito, posicionado centralmente debaixo da gaveta. As guias telescópicas estão acopladas a duas barras em aço que fazem a ligação ao alimentador. Este sistema possui ainda dois batentes posicionados na zona frontal da gaveta, com o objetivo de fazer a gaveta avançar a distância necessária entre a primeira e a segunda descarga de arames.

Sistema de cames



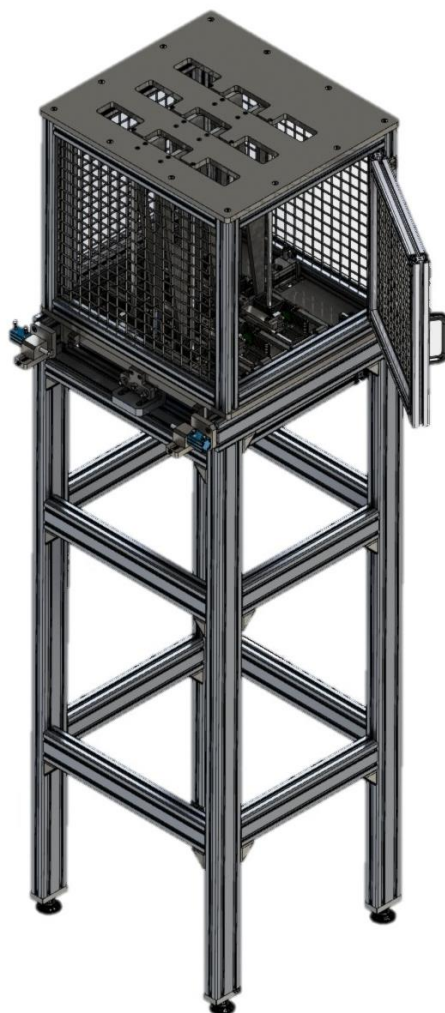
O sistema de cames é basicamente o subconjunto que faz o abastecimento de arames à gaveta. Este sistema é constituído por três conjuntos de batentes posicionados paralelamente à mesma distância, e encontram-se ligados a dois veios guiados situados nas laterias da base. Todo o conjunto é acionado por um cilindro pneumático de duplo efeito. Ainda deste subconjunto, fazem parte três calcadores constituídos por uma base guiada, e igualmente acionados por cilindros de duplo efeito, que são responsáveis por garantir que os arames cheguem à gaveta sem encravar em nenhuma das suas dobras.

Estrutura superior e guias



A estrutura superior do alimentador é o subconjunto que guia e mantém os arames corretamente alinhados para serem abastecidos pelo sistema de cames. Esta estrutura é em perfil de alumínio *standard* com secção 40 x 40 mm² e assenta sobre a base inferior que contempla o sistema de cames. As faces, frontal e traseira, estão vedadas com rede em aço e as faces laterais estão dotadas de duas portas de acesso para permitir a intervenção, no caso de haver necessidade de manutenção ou avaria. Cada porta possui sensores de segurança. As guias do arame estão fixas na base superior, onde os arames são abastecidos pelas ranhuras por um abastecedor.

Alimentador M3M4



O alimentador M3M4 é composto pela sobreposição dos subconjuntos acima referidos, pela ordem apresentada. São necessários dois alimentadores para automatizar o abastecimento de arames, isto é, um alimentador para cada bucha montada na mesa deslizante da injetora.

3.5.4.3. Segurança dos equipamentos desenvolvidos

A avaliação relativa aos requisitos de segurança foi levada a cabo tendo em conta o cumprimento dos requisitos legais da Diretiva Máquinas 2006/42/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de Maio de 2006 transporta para regime jurídico interno no Decreto-Lei nº 103/2008 de 24 de Junho.

A avaliação de riscos processou-se pelas seguintes fases: a) Montagem; b) Instalação e Colocação em Serviço; c) Transporte; d) Desmantelamento; e) Aprendizagem e Formação; f) Manutenção, Limpeza e Pesquisa de falhas, contudo apenas serão apresentados os resultados da avaliação de riscos da fase de instalação e colocação de serviço que implicam mais riscos para os intervenientes e são demonstrados quais os componentes de segurança considerados no projeto dos vários equipamentos aqui em estudo.

Através da avaliação de riscos foram determinadas as situações onde seriam necessárias medidas para a eliminação, redução, controlo e sinalização dos riscos. De salientar que foi dada maior relevância aos equipamentos de proteção coletiva (sensores de segurança, proteções), relativamente aos equipamentos de proteção individual.

Ainda durante a fase de construção, os trabalhos foram acompanhados de forma a serem identificadas novas situações passíveis de provocarem dano à saúde dos intervenientes. Todas as ações identificadas na Avaliação de Riscos (Anexo II) foram fechadas na fase de construção das quase-máquinas. Na fase de funcionamento, todos os movimentos perigosos detetados encontravam-se devidamente protegidos.

Antes da colocação em funcionamento do equipamento, foram realizados os testes de verificação das condições de segurança. Estes testes passaram por: a) carregar no comando de emergência e verificar se o equipamento fica sem energia; b) carregar no comando de emergência e acionar o início de ciclo de forma a verificar se ocorre o arranque da máquina; c) verificar se a máquina apenas funciona com arranque voluntário do utilizador (acionamento de comando de início); d) verificar se ocorre arranque intempestivo após cortes de energia elétrica e pneumática; e) medir continuidade do quadro elétrico (verificação da ligação à terra); f) validar se os dispositivos de segurança, como é o caso dos sensores e comando de emergência, se encontram ligados ao circuito de segurança (CLP); g) verificação da conformidade dos sensores de segurança (após abertura das portas, se os movimentos são interrompidos); h) validar os requisitos de segurança do quadro elétrico (por exemplo o uso de disjuntores de 30 mA,,). O

registo da verificação é também guardado na documentação técnica, como validação dos componentes de segurança dos equipamentos.

Foi também garantida a formação dos utilizadores (manutenção e produção) sobre o correto funcionamento do equipamento e modos de intervenção.

Dispositivos de Segurança dos Manipuladores

Não foram considerados dispositivos de segurança nos **manipuladores**, dado que estes se encontram ligados ao equipamento de injeção de plástico. Esta máquina possui os sistemas de segurança de origem, que protegem possíveis acessos à máquina (Figura 274):

- Barreiras fotoelétricas de resolução de mão (30 mm) na zona de alimentação manual;
- Proteção em rede na envoltória da mesa do molde e tapete de arrasto com a dimensão 20 x 20 mm² (zona de movimentação do manipulador).

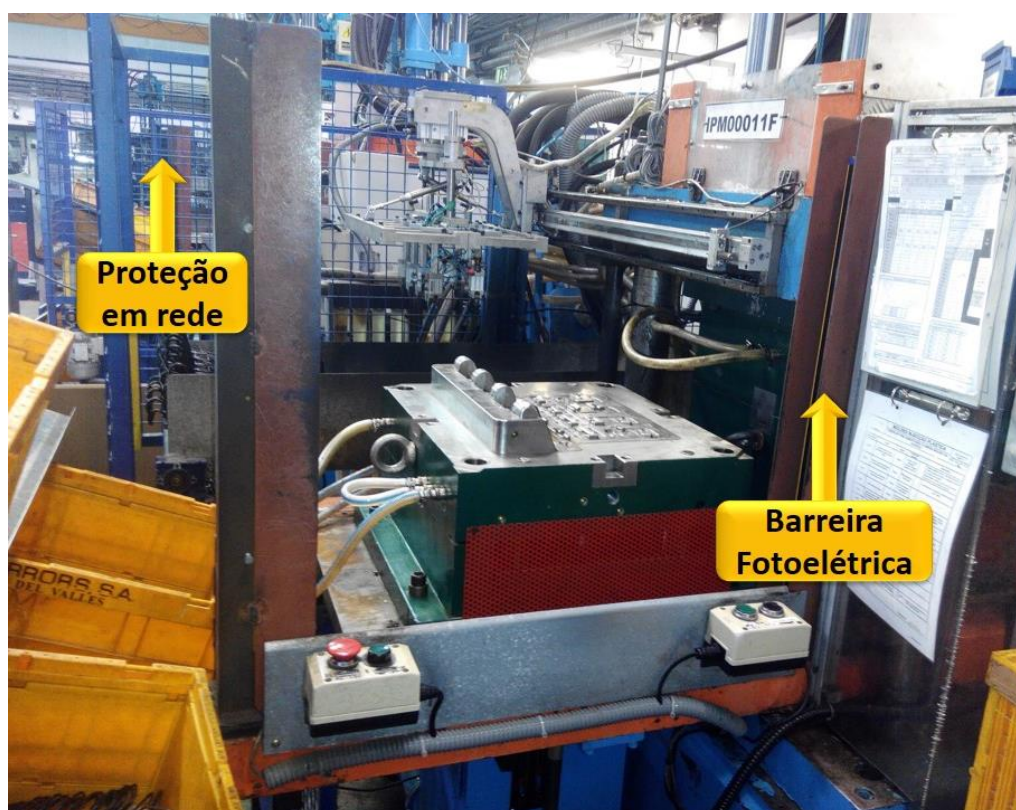


Figura 274 - Dispositivos de segurança já contemplados nas máquinas injetoras.

Apesar de não possuir dispositivos associados, foram considerados os riscos ocupacionais para os técnicos de manutenção, aquando da ligação e desconexão da máquina, e ainda sobre o método correto para a manutenção, limpeza e lubrificação (Anexo II).

Dispositivos de Segurança do Alimentador M3M4

Aquando da avaliação do alimentador, foram identificados riscos de queda em altura, realização de sobre-esforços e de movimentação manual de cargas, que neste sistema não podem ser eliminados devido à concepção da máquina. Contudo, foram identificadas melhorias que irão ser apresentadas nos trabalhos futuros (*subcapítulo 3.6*). Assim, em relação à segurança foram consideradas as seguintes proteções coletivas (ANEXO II):

- Sistema de comandos (rearme e emergência);
- Proteção em rede 20 x 20 mm² na envoltória do sistema automático e portas com sensor de segurança para acesso;
- Proteção em rede na base do dispositivo (proteção dos acessos inferiores) com sensor de segurança;
- Escada para acesso à zona de alimentação.

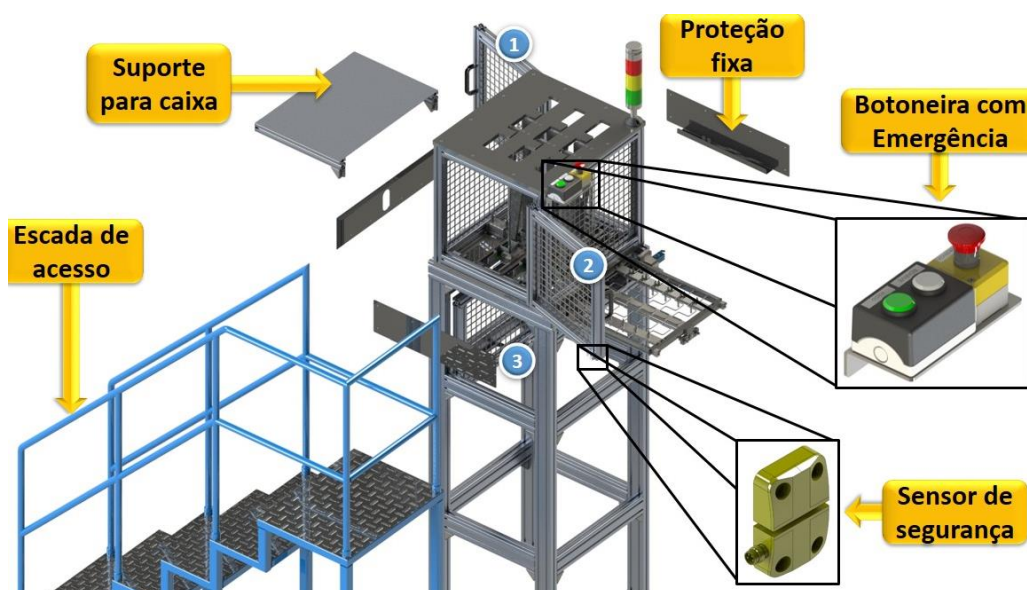


Figura 275 - Dispositivos de segurança do alimentador M3M4.

Na Figura 275 encontram-se representados os dispositivos de segurança do alimentador M3M4. O alimentador possui três portas (1, 2 e 3) de acesso, em que todas possuem um sensor de segurança. Existem três proteções fixas que impedem o acesso a partes móveis, um suporte para a caixa de arames e uma escada de acesso ao topo do alimentador para realizar o seu abastecimento. No topo do alimentador, existe também uma botoneira com emergência, rearme e início do ciclo.

3.5.4.4. Lista de peças, componentes, dispositivos e normalizados do manipulador basculante

Na Tabela 9 encontra-se indicada uma lista de todos os componentes de cada subconjunto que constituem o manipulador basculante. Os desenhos 2D utilizados para fabrico encontram-se no ANEXO V.

Tabela 9 - Lista de peças do manipulador de básculas.

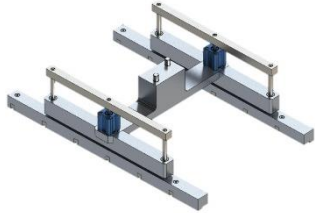

Trasnsfer	Componentes	Qt.	Componentes normalizados	Qt.
	PMPBAS1573_A_V3_Esq	1	Cilindro sem haste SMC (MY1B25G-1000H)	1
	PMPBAS1573_A_V3_Dir	1	Guia INAFAG KUE 15_1200 (HGR-15-R x 1200)	2
	PMPBAS1596_A_V2	3	Regulador de caudal (GRLA-1/8-QS-6-RL)	2
	PMPVEI0551_A	2	Sensores magnéticos	2
	TRFRGCENT	1	-	
Braço de ligação	Componentes	Qt.	Componentes normalizados	Qt.
	BS1RBTV122713	2	Cilindro Guiado SMC (MGPM40TF-50)	1
	PMPBAS1577_A	1	Carro INAFAG KUE 15 (HGW-15-CC ZO-C)	2
	PMPBAS1628_A_V2	1	Rolamento linear (KH2030)	4
	PMPBAS2300	1	Regulador de caudal (QSL 1/8-6)	2
	PMPBAS2301	1	Sensores magnéticos	2
	PMPSUP6146_A	1	-	-
	PMPSUP6179_A	2	-	-
Estrutura de básculas	Componentes	Qt.	Componentes normalizados	Qt.
	AJRBT281013	1	Cilindro Festo (DSNU-16-80-P-A)	2
	BG5RBTV122713	8	Suporte "u" Festo (LBN-12_16)	4
	CP6RBTV122713	4	Rotula Festo (SGS-M6)	2
	EC2RBTV122713	1	Dobradiça (GN 237-Zd-50-50-A)	6

	GL4RBTV122713	2	Regulador de caudal (GRLA-M5-QS-4-RS)	4
	GLC3RBTV122713	2	-	-
	LS7RBTV2301013	1	-	-
	PMPBAS2278	8	-	-
	PMPBAS2279	8	-	-
	PMPGUI0958V2	2	-	-
	PMPVEI0664_A	2	-	-
	PMPVEI0665_A	2	-	-
Pinça	Componentes	Qt.	Componentes normalizados	Qt.
	PMPAPO0567_A	8	Cilindro SMC (CDQSB20-5D)	8
	PMPBAS1861_A_V2	4	Paraf. Corpo rect. M5x20 (B6020)	16
	PMPBAS1861_A	4	Cardan (LAS 6x16-G300)	4
	PMPBAS2271	8	Molas (20.5-6-38-2 inox)	4
	PMPPIN0102_A_V2	16	Conector pneumático (QSML M5-4)	16
	PMPVEI0866_V2	4	Conector pneumático (QS(Y/T) 4)	14
	PMPVEI0866	4	-	-
	PMPVEI0906_A	8	-	-

Na Tabela 10 encontra-se indicada uma lista de todos os componentes de cada subconjunto que constituem o manipulador Suporte Lateral/M3M4. Os desenhos 2D utilizados para fabrico encontram-se no ANEXO VI.

Tabela 10 - Lista de peças dos manipuladores Suporte Lateral/M3M4.

Manipulador Suporte lateral	Componentes	Qt.	Componentes normalizados	Qt.
	BGSB21213	3	-	-
	Todos os componentes que contemplam seis pinças sem <i>cardan</i> idênticas às usadas no manipulador de básculas referenciados na Tabela 9.			
Manipulador M3M4	Componentes	Qt.	Componentes normalizados	Qt.
	RBT041BASG171013	1	Garra paralela SMC (MHZ2-16D)	1
	RBT041GAR171013	6	Conector pneumático (QSML M5-4)	4
	RBT041ISG181013	6	Conector pneumático (QS(Y/T) 4)	2
	RBT041REGD171013	2	-	-
Manipulador M3M4 (V2)	Componentes	Qt.	Componentes normalizados	Qt.
	PMPBAS1	1	Rolamento linear (INAFAG_KH06)	4
	PMPBAS2	2	Conector pneumático (QSML_M5_4)	2
	PMPSUP2	1	Cilindro Festo (ADN_12_15_I_P_A)	1
	PMPSUP4	1	Rolamento radial (INAFAG_623-2Z)	4
	PMPSUP5	1	-	-
	PMPSUP5_B	1	-	-
	PMPVEIO1	2	-	-
	PMPBAR1	2	-	-
	PMPGAR1	6	-	-
	PMPCAME1	1	-	-
	GUILAT	2	-	-
	PMPPINx1	4	-	-

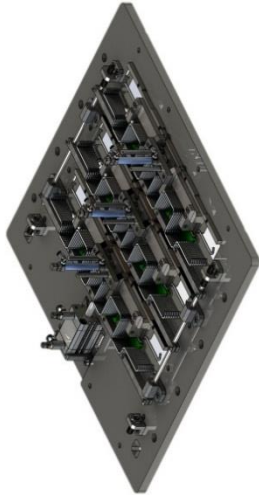
Calcador M3M4	Componentes	Qt.	Componentes normalizados	Qt.
	SC041	1	Conector pneumático (QS(Y/T) 4)	4
	CHGC041	2	Cilindro SMC (CQ2B12-10D)	2
	TRV041	2	Rolamento linear (KH 0622 PP)	4
	VG041	4	Conector pneumático (QSML M5-4)	4
	CALCADOR_D	1	Conector pneumático (QS(Y/T) 4)	2
	CALCADOR_E	1	-	-
	INSERT_CALC	12	-	-
Sistema rotativo de setup	Componentes	Qt.	Componentes normalizados	Qt.
	RTBTN28114	2	-	-
	RTFLG19114	2	-	-
	RTSPS19114	2	-	-
	RTTP19114	2	-	-
	RTVEIO19114	1	-	-


3.5.4.5. Lista de peças, componentes, dispositivos e normalizados do sistema de alimentação automático

A Tabela 11 apresenta uma lista de todos os componentes de cada subconjunto que constituem o alimentador automático da referência M3M4. Os desenhos 2D utilizados para fabrico encontram-se no ANEXO VII.

Tabela 11 - Lista de peças do alimentador M3M4.

Estrutura de suporte	Componentes	Qt.	Componentes normalizados	Qt.
	Perfil Maytec 80x40 mm ² por 1540 mm	4	Pés de apoio (Knuckle foot D60 M10x75 black)	4
	Perfil Maytec 80x40 mm ² por 600 mm	2	Esquadros de ligação (Angle bracket set 8 40x40)	24
	Perfil Maytec 80x40 mm ² por 525mm	6	Tampa (Cap 8 80x40 black)	2
	Perfil Maytec 80x40 mm ² por 440 mm	4	Base de apoio (Base PlateTransport Plate X 8 80x40) M10	4
Gaveta	Componentes	Qt.	Componentes normalizados	Qt.
	BDEXT	2	Cilindro Festo (DSNU_25_500_P_A)	1
	BDEXTLT	2	Regulador de caudal (GRLA_1/8_QS_4_RS_D)	2
	BRMTWire Dir	1	Suporte para sensor Festo (SMBR_10_25)	3
	BRMTWire Esq	1	Sensores magnéticos	3
	PINGUIWire	24	Amortecedor Festo (DYSR_12_12_Y5_Tp)	2
	AP_WIRE_GVT	1	Sensor indutivo M8	6
	APHASTE	1	Íman Ø4x3	6
	APCILGVTAL041	1	Guias telescópicas Rollon (LFS57_450)	2
	APCILGVTBKAL041	1	Cilindro SMC (CBQ SB16-25D)	2
	APRAIL	2	Conector pneumático (QSL M5-4)	4
	BTGVT	2	Casquilhos (PAP Ø15x10)	4
	CHBTGVT_Dir	1	-	-
	CHBTGVT_Esq	1	-	-
	BTCILGVT	2	-	-
	APCILGVT	2	-	-
	BATGVT	2	-	-

Sistema de cames	Componentes	Qt.	Componentes normalizados	Qt.
	BASE_1	1	Cilindro Festo (ADN-32-30-I-P-A)	1
	APCIL_CMS	1	Regulador de caudal (GRLA_1/8_QS_4_RS_D)	2
	RAILAT_CMS_CIL	1	Sensores magnéticos	2
	RAILAT_CMS	2	Rolamentos Lineares (KH08-B)	4
	SELECTLAT	3	Sensores indutivos M8	3
	SELECTCTR	6	Cilindro Festo (DSNU-10-40-P)	3
	BASUNLOCK	3	Conector pneumático (QSL M5-4)	6
	BATUNLOCK	3	Casquilhos (PAP Ø8x8)	6
	VEIO_GUIUNLOCK	6	-	-
	AFNCMS	4	-	-
	APCASQ_CMS	4	-	-
	BTNWIRE	3	-	-
	WIREUPGUI	6	-	-
	BTNWR2	6	-	-
	PASTINSERT	6	-	-
	PASTINSERTBG	3	-	-
	PASTINSERTUP	6	-	-
VEIO_CMS	2	-	-	

Estrutura das guias	Componentes	Qt.	Componentes normalizados	Qt.
	BASE_2	1	Item Handle PA 120 Black	2
	GUISELECT	6	ELESA Hinge CFA.65-SL-HV	4
	VGUIM3M4	6	Item Magnetic Door Stop	2
	APWIREB	6	Sensores indutivos M8	2
	SPTSENSOR	2	Rede em aço 20x20 mm ²	-
	Perfil Item 40x40 mm ² por 540 mm	4	-	-
	Perfil Item 40x40 mm ² por 470 mm	4	-	-
	Perfil Item 40x40 mm ² por 525 mm	4	-	-
	Perfil Item 40x40 mm ² por 460 mm	4	-	-
	Perfil Item 40x40 mm ² por 383 mm	4	-	-

3.5.4.6. Montagem e afinação do manipulador de básculas

Os subconjuntos do manipulador de básculas possuem várias afinações que podem em inúmeros casos facilitar a vida aos afinadores. Cada subconjunto será abaixo apresentado com as suas possibilidades de afinações.

Transfer

O *transfer* possui dois batentes que delimitam o curso disponível para o deslocamento do manipulador. Cada batente detém um amortecedor já incluído na compra do cilindro sem haste da SMC. Estes batentes são ajustáveis em toda a sua extensão recorrendo a quatro parafusos M4, como se encontra demonstrado na Figura 276.

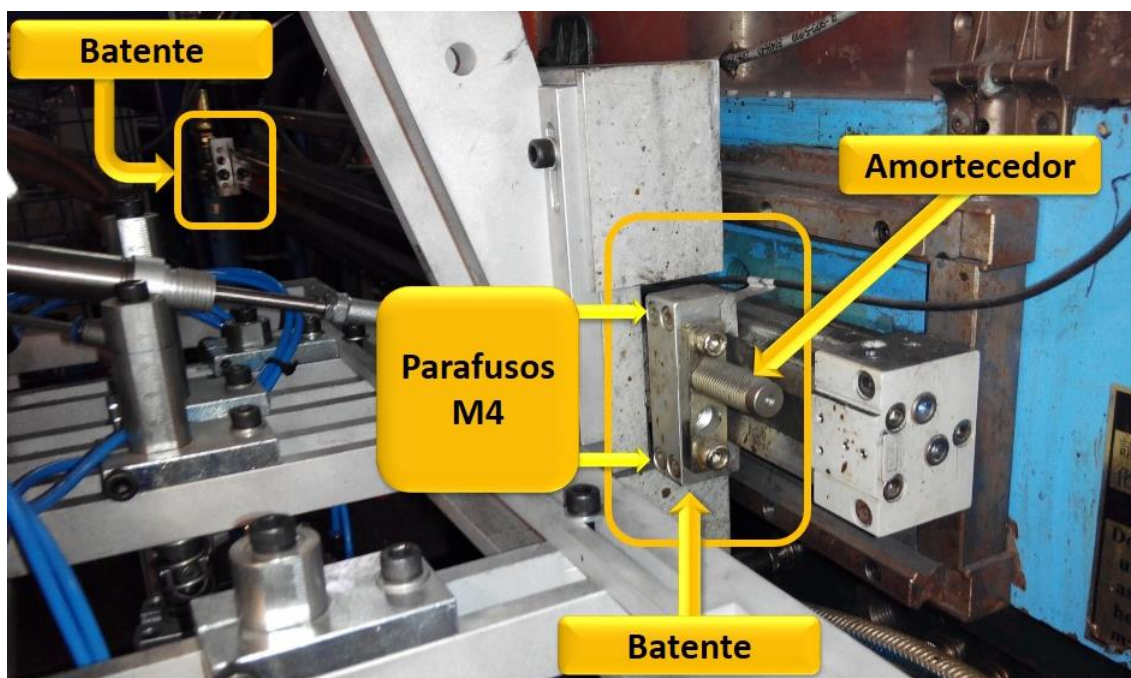


Figura 276 - Batentes de limitação de curso do *transfer*.

Braço de ligação

O braço de ligação responsável pela realização da conexão entre a estrutura das básculas e do *transfer*, possui diversos ajustes que auxiliam o *setup* para o sistema de remoção das peças. Seguem-se abaixo os ajustes possíveis neste conjunto:

- Ajuste em altura das barras de ligação com a base. Para facilitar esta afinação, existe um parafuso na zona inferior à base de apoio das barras de ligação, que permite ajustar em

altura o braço de ligação. Antes de realizar qualquer afinação, é necessário aliviar os seis parafusos M6 que fazem o acoplamento das duas bases, como demonstrado na Figura 277;

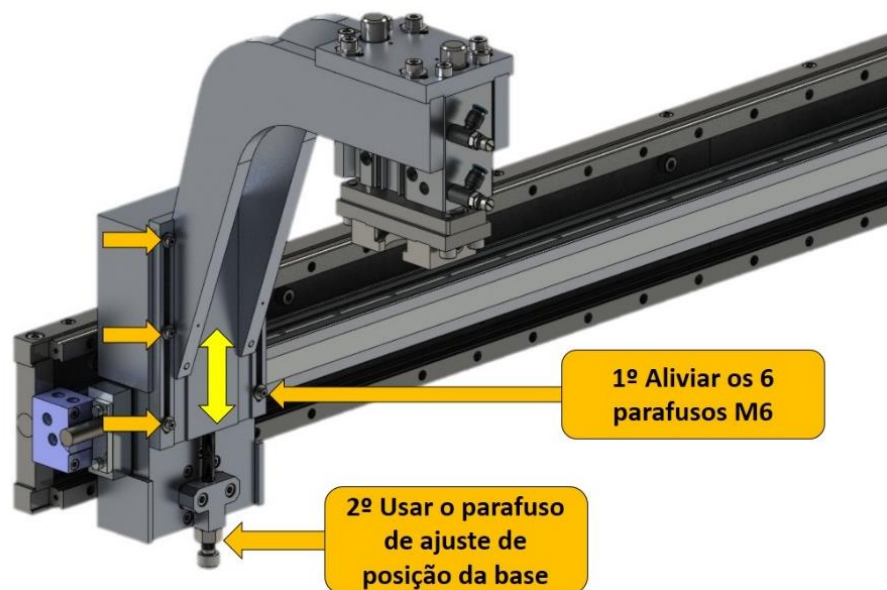


Figura 277 - Afinação do braço de ligação em altura.

- Ajuste do manipulador relativamente ao alcance do braço. O cilindro guiado acoplado no braço de ligação permite posicionar o manipulador mais próximo, ou menos próximo da estrutura do *transfer*, recorrendo a quatro parafusos M8, como ilustrado na Figura 278;

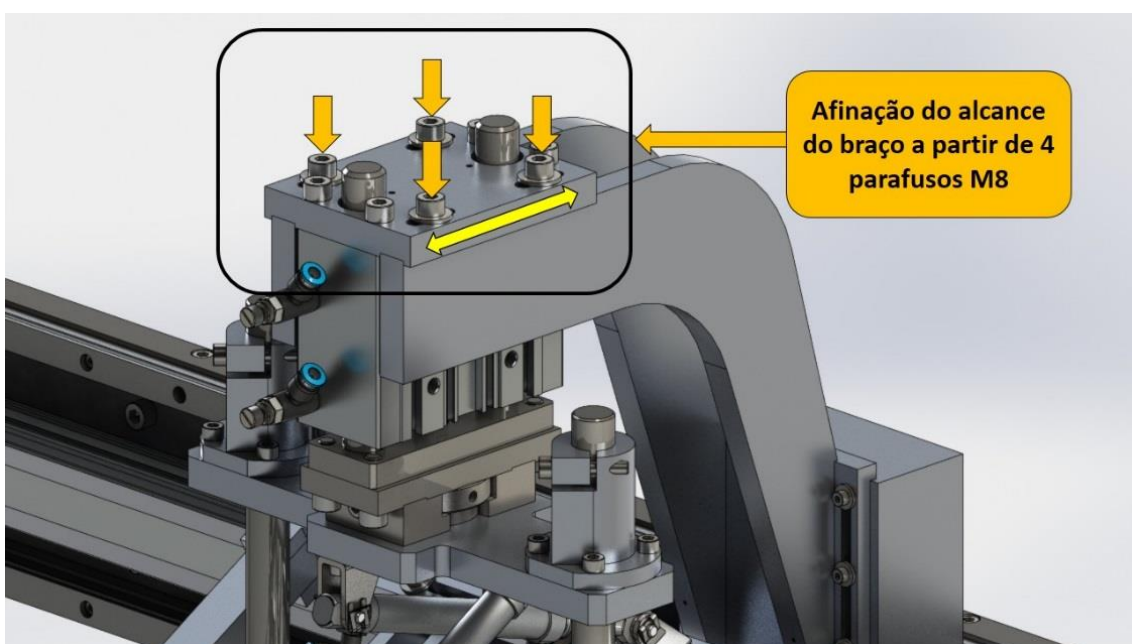


Figura 278 - Afinação do alcance do braço de ligação.

- A ligação rotativa que une a estrutura de básculas ao cilindro guiado do braço de ligação permite rodar o manipulador para alternar a posição das básculas com pinças com ou sem *cardans*. Para realizar este movimento, é necessário desapertar dois parafusos M6, como representado na Figura 279.

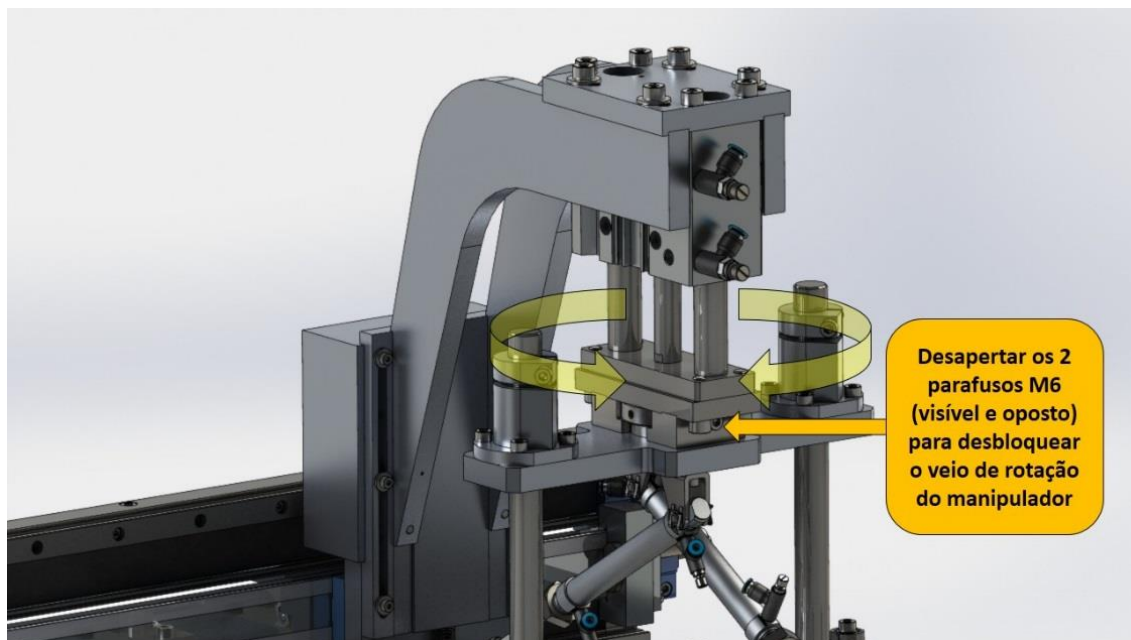


Figura 279 - Ajuste do sistema rotativo do manipulador.

Estrutura de básculas

Também a própria estrutura de básculas possui ajuste em altura a partir do deslizamento dos veios, que fazem a conexão da estrutura ao sistema rotativo. Este ajuste é mais rápido que o ajuste do braço de ligação, porque apenas é necessário recorrer a dois parafusos M6, como representado na Figura 280. Porém, existe a desvantagem do operador necessitar de mais esforço no caso de necessitar elevar a cota mínima alcançável pelo manipulador. É necessário também algum cuidado com a realização deste ajuste, uma vez que ao aliviar os parafusos, a estrutura pode ceder repentinamente e bater no molde, podendo danificar as pinças ou em casos mais extremos o próprio molde.

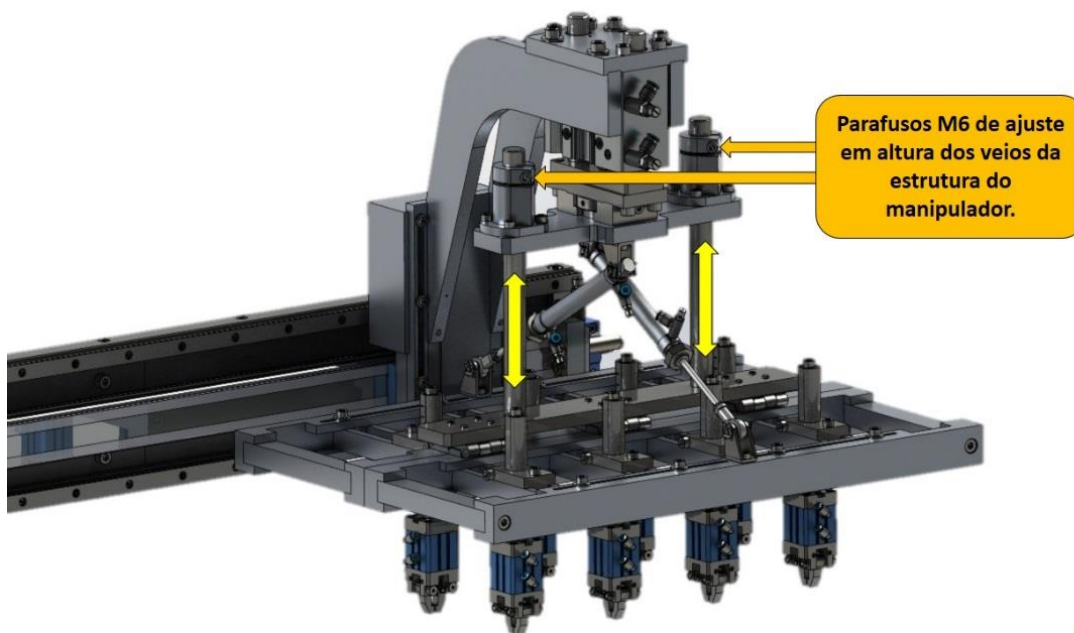


Figura 280 - Ajuste em altura da estrutura do manipulador.

As básculas do manipulador permitem realizar a afinação das pinças em quatro eixos, de forma idêntica às afinações realizadas no manipulador de referências múltiplas. Contudo, existe uma diferença, isto é, uma vez que cada pinça possui um barramento próprio, faz com que cada pinça possua os ajustes totalmente independentes. Na Figura 281 e Figura 282 estão ilustradas todas as afinações possíveis de realizar, recorrendo sempre a parafusos M6.

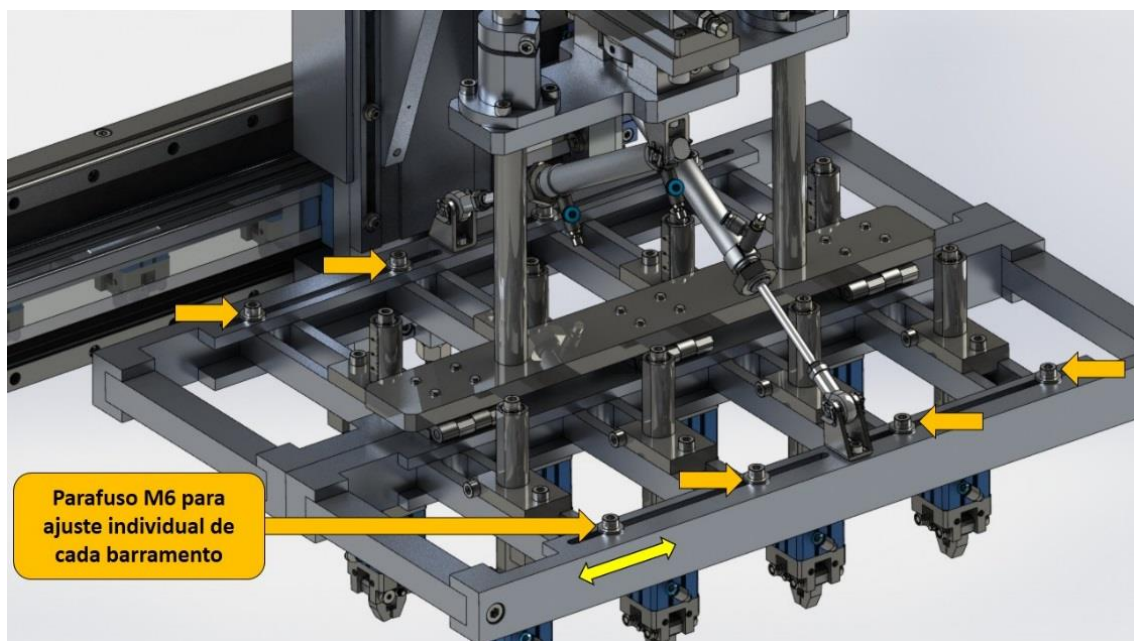


Figura 281 - Afinação dos barramentos de suporte das pinças.

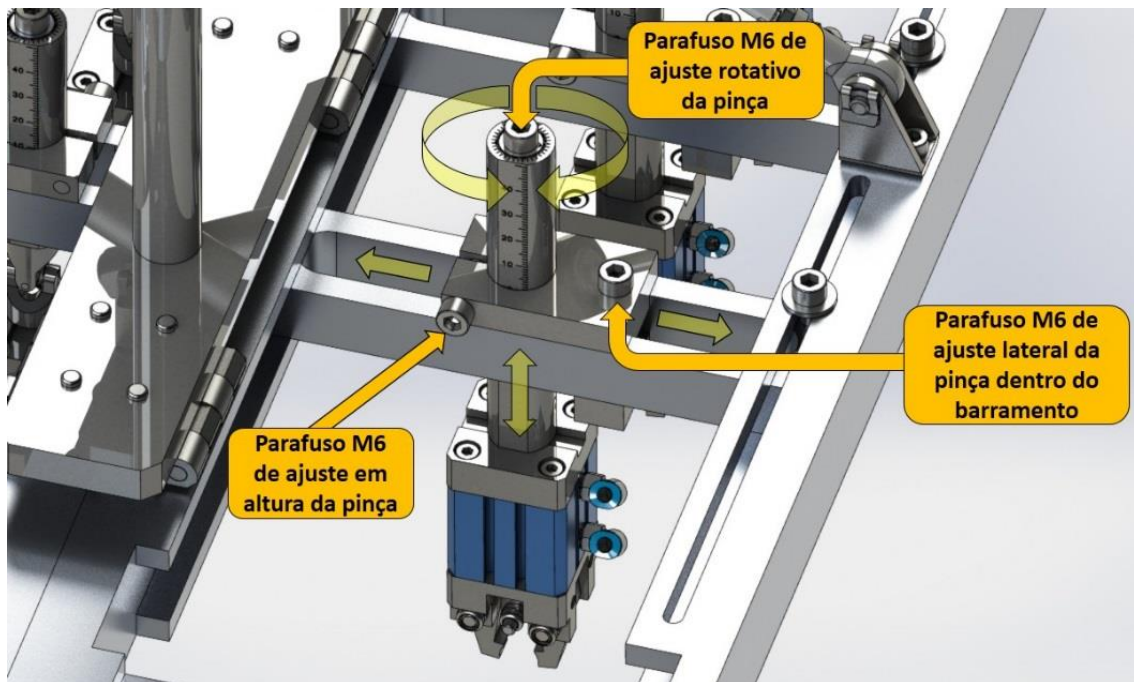


Figura 282 - Afições nas pinças do manipulador.

3.5.4.7. Montagem e afinação do sistema de alimentação automático

O sistema de alimentação automático, apesar de ser dedicado a uma única referência, necessitou de afinações importantes para assegurar o seu correto funcionamento após a montagem.

A gaveta do alimentador é um dos subconjuntos que conta com alguns ajustes para que se consiga obter uma disposição dos arames o mais próxima possível do molde onde estes irão ser sobre injetados. A estrutura da gaveta possui duas barras com pinos cónicos que permitem a afinação perpendicular à abertura da gaveta, recorrendo a dois parafusos M4 nas extremidades de cada barra, como demonstrado na Figura 283. Esta afinação permite ajustar a receção dos arames provenientes do sistema de alimentação.

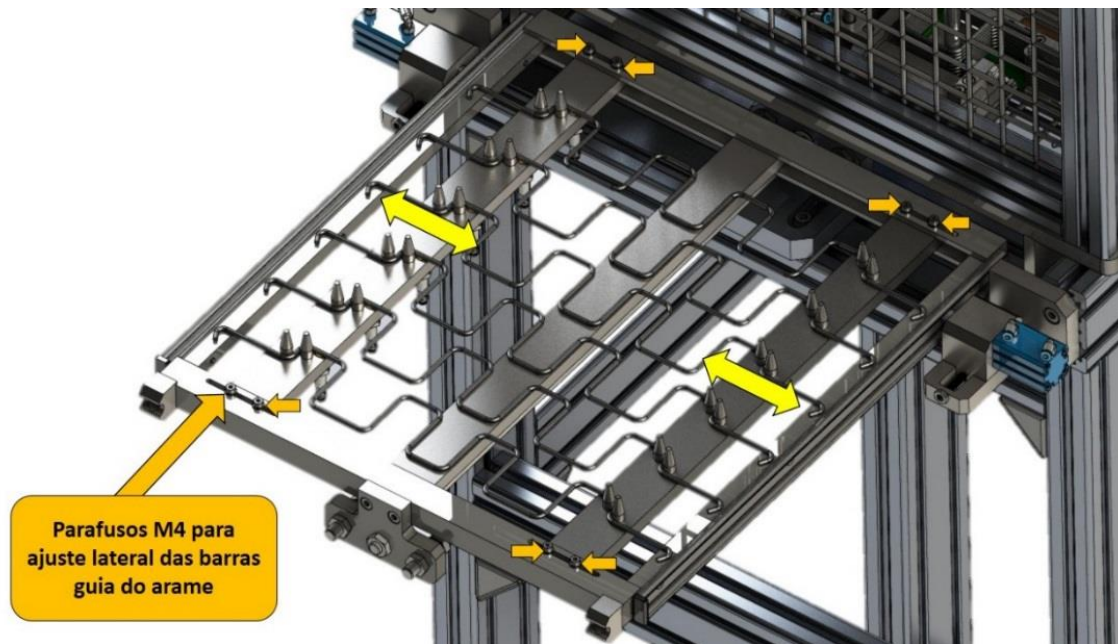


Figura 283 - Afinação das barras-guia dos arames.

O ponto zero da gaveta é também ajustável, para que se consiga um correto posicionamento dos pinos das barras em relação às ranhuras da base que fornecem o arame. Na realização desta afinação, recorre-se a dois parafusos na parte frontal da gaveta que fazem de batente da gaveta nos amortecedores, quando o cilindro que anima o sistema faz o recuo. Esta afinação encontra-se representada na Figura 284.



Figura 284 - Afinação do ponto zero da gaveta.

O avanço da gaveta para realização da segunda descarga de arames, possui ajuste através da afinação dos batentes que limitam o seu avanço depois da primeira descarga de arames. Para

realizar esta afinação, é necessário aliviar dois parafusos M6 por debaixo do batente e, de seguida, com ajuda de um perno roscado, realizar o ajuste fino. A afinação dos batentes encontra-se ilustrada na Figura 285.

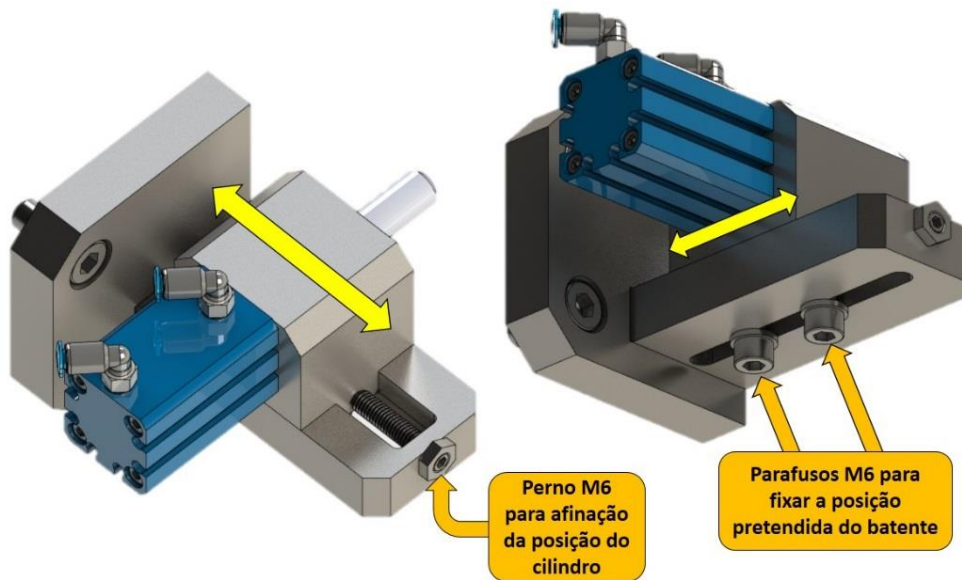


Figura 285 - Ajuste dos batentes da gaveta.

O sistema de cames responsável por fazer chegar arames à gaveta possui quatro afinadores posicionados nas extremidades dos dois veios, que realizam a transmissão do movimento do cilindro para os batentes que empurram os arames. Estes afinadores contemplam pernos roscados que limitam o avanço e o recuo de todo o sistema. A Figura 286 demonstra os afinadores do sistema de cames.

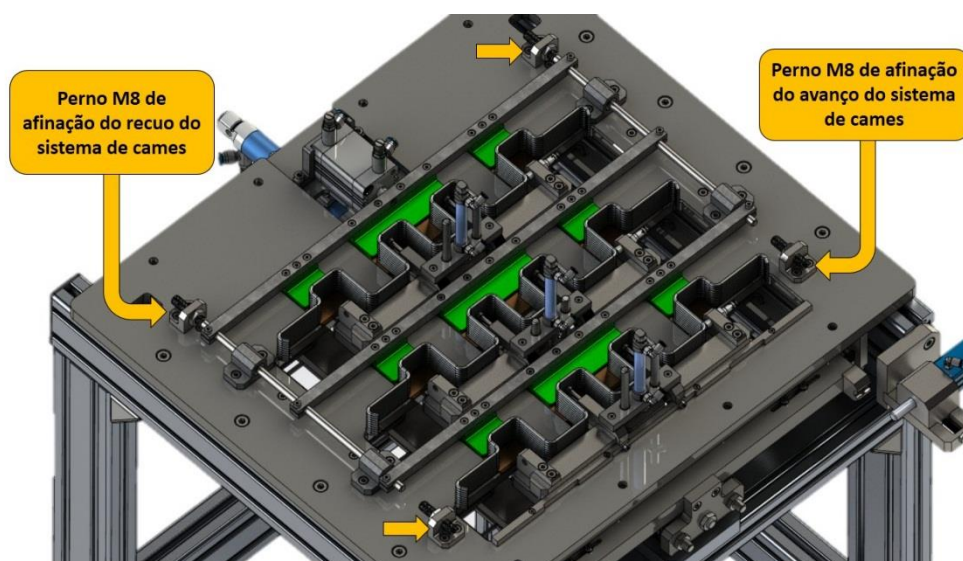


Figura 286 - Batentes de afinação do sistema de cames.

O cilindro de duplo efeito que fornece energia mecânica ao sistema, conta com duas válvulas reguladoras de fluxo de ar para que se possa diminuir ou aumentar a velocidade do movimento das cames (Figura 287).

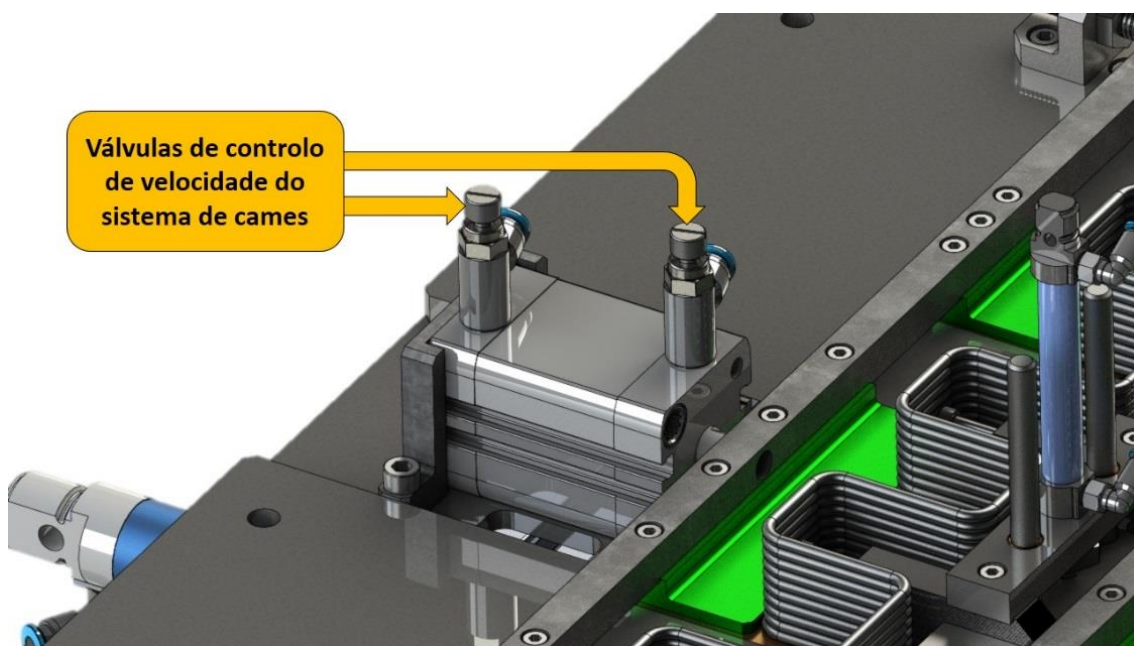


Figura 287 - Ajustagem da velocidade de acionamento das cames.

3.5.4.8. Instruções de utilização e manutenção do manipulador de básculas

Ligar manipulador

O manipulador de básculas, como mencionado anteriormente, pode funcionar em três estratégias de extração diferentes. Para ativar o manipulador, existe um seletor de dez posições, numeradas de 0 a 9, que está localizado no quadro elétrico do manipulador, como representado na Figura 288. Junto do botão existe uma etiqueta com os programas e número correspondente. Apenas quatro posições estão programadas, que correspondem precisamente às ordens elencadas na Tabela 12.



Figura 288 - Seletor do programa do manipulador.

Tabela 12 - Programas do manipulador de básculas.

Nº Programa	Descrição
0	Manipulador desativado
1	Extração sem básculas
2	Extração com báscula direita
3	Extração com báscula esquerda

O programa deve ser selecionado de acordo com a estratégia de extração que pretendemos usar no componente injetado. Depois de realizada a seleção do programa, o passo seguinte foca-se na afinação das garras para captar a peça do molde. No entanto, antes disso, alguns procedimentos têm de ser realizados.

Funcionamento do comando manual

Para que se afine corretamente as garras, é necessário posicionar o manipulador sobre a peça a extrair. Para realizar esta tarefa, existe um comando manual para controlar os movimentos do manipulador, em função do programa escolhido. Na Figura 289 está demonstrado o comando utilizado para realizar esta operação.



Figura 289 - Funções do comando manual do manipulador.

O comando manual apresenta as funções de mover o manipulador no *transfer*, subir e descer o braço de ligação e abrir e fechar as pinças. As básculas funcionam em simultâneo com o movimento de subida do manipulador, no caso da opção correspondente à báscula pretendida estar selecionada no programa.

O botão a amarelo presente no comando necessita de estar pressionado, para que os outros botões consigam dar ordens ao manipulador. Desta forma, evita-se acidentes por carregar em botões indevidamente.

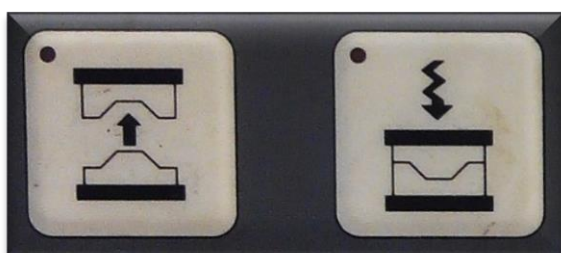
O facto de o manipulador estar fixo na cabeça da injetora, faz com que seja necessário trabalhar com os movimentos da injetora para afinarmos cada um dos manipuladores correspondentes ao molde onde vão extrair a peça. Na Figura 290 encontra-se demonstrado o aspeto do comando manual da máquina injetora, usado para operar a máquina.



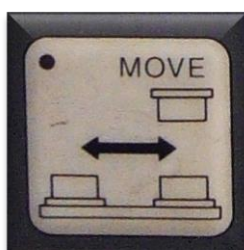
Figura 290 - Comando manual da máquina injetora.

Das opções do comando manual da injetora, as mais importantes para a utilização do manipulador são as seguintes:

- Abrir e fechar molde;



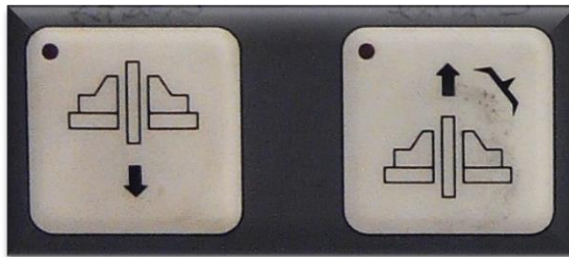
- Deslizar a mesa;



- Bloquear a mesa;



- Baixar e subir extração do molde;



- Ligar/desligar motor;



- Botão de emergência da máquina.



Instruções de afinação do manipulador basculante

Com vista à afinação de cada um dos manipuladores, existem alguns passos-padrão que necessitam de ser sempre realizados. Apesar destes passos se encontrarem listados adiante, no Anexo III encontra-se a instrução de *setup* geral do manipulador que foi criada e se encontra em vigor na empresa. Os passos a seguir, sempre que se necessita de afinar um manipulador são:

- Injetar uma peça no molde onde se vai afinar o manipulador;
- Possuindo a peça injetada, recorrendo ao comando manual da injetora puxa-se a mesa com o molde e a peça para a zona de extração e depois bloqueia-se a mesa;
- Após o bloqueio da mesa, sobe-se a extração do mole para que a peça injetada fique alcançável pelo manipulador;
- Executa-se o fecho do outro molde, para que se utilize apenas o comando manual do manipulador (o *transfer* está fixo na cabeça da injetora). Antes de fechar o molde, é necessário verificar se não existe nenhuma peça dentro do molde, para não o danificar;
- O passo seguinte foca-se em identificar a estratégia de extração: se necessitamos ou não de girar o manipulador, em função do lado em que necessitamos ter garras sem, ou com articulação (com *cardans*);
- De seguida, realizam-se todas as afinações necessárias nas garras, para que estas extraiam a peça;
- Depois de todas as afinações testa-se a extração com o comando manual, em pelo menos três peças antes de colocar o sistema em automático. O sistema só deve ser colocado em automático depois das três peças extraídas de cada meio-molde serem verificadas e validadas pelo operador que inspeciona as peças;
- Para o sistema funcionar em modo automático, é necessário desconectar o comando manual da máquina;
- Contudo, depois de validadas as peças extraídas com o comando manual, devem ser inspecionadas pelo menos mais três peças, em ciclo de extração automático;
- Caso esteja tudo OK, os manipuladores são deixados em funcionamento. Se houver algum problema e a peça estiver a ser danificada pelo manipulador, é necessário avaliar onde a peça se encontra danificada e reajustar para eliminar o defeito.

Recomendações no posicionamento das garras

A afinação das garras é o processo mais moroso do *setup* do manipulador. O tempo de *setup* desta etapa depende completamente do tipo de peça que vamos extrair, uma vez que podem ser necessários mais ou menos garras para a extrair. Algumas regras básicas devem ser seguidas para que seja otimizado o tempo de *setup* desta etapa:

- Em primeiro lugar deve-se desapertar todos os parafusos responsáveis pela afinação das garras (apenas o suficiente para que as partes se tornem móveis);
- De seguida, posicionar as garras nos locais onde se pretende captar a peça;
- Afinar o ângulo das garras consoante a posição do arame;
- Acertar as alturas, e com a ajuda da escala presente nos veios das garras, afinar as alturas das garras que forem idênticas;
- Por fim, verificar se todos os parafusos possuem o aperto necessário para evitar desafinações durante o funcionamento.

Alguns cuidados devem ser considerados, durante a realização da afinação da extração, para que o manipulador não danifique as peças:

- As garras devem ser posicionados captando apenas a peça nas zonas em que o arame está visível, para que não se danifique o plástico injetado (Figura 291);

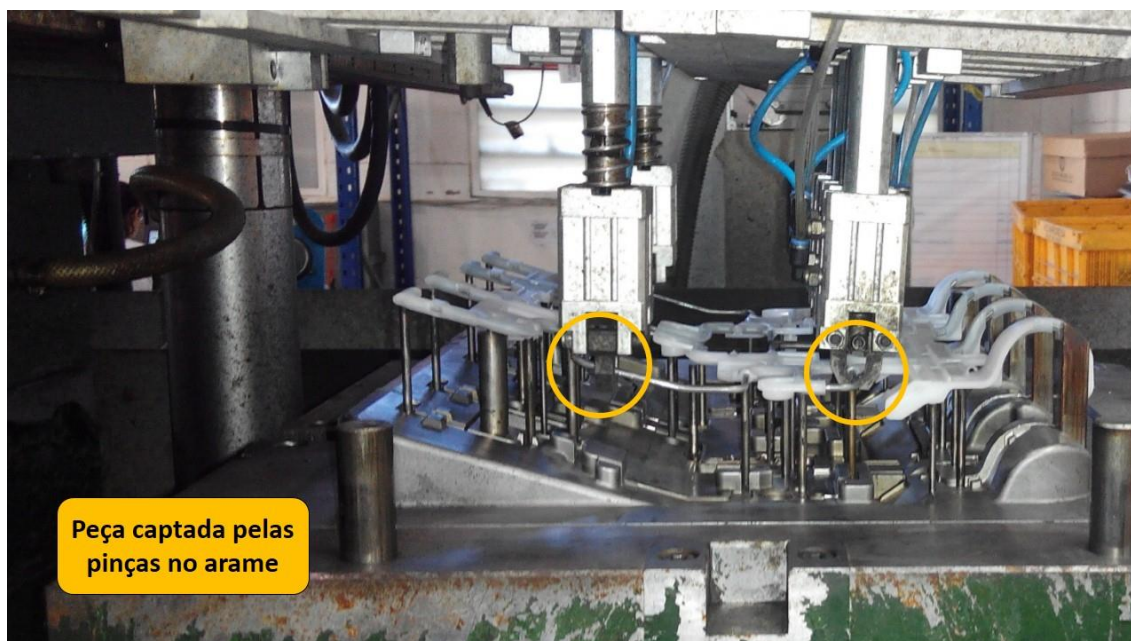


Figura 291 - Peça captada pelas pinças no arame.

- De forma a ajudar a contornar esta limitação em peças onde existem poucas zonas com arame à vista, usa-se manga retrátil nos dedos das garras, para criar um revestimento. Assim sendo, torna-se a garra muito menos suscetível a danificar a peça se necessitarmos de a captar por zonas em que o arame se encontra revestido com plástico. Na Figura 292 encontra-se representada uma garra com os dedos revestidos;

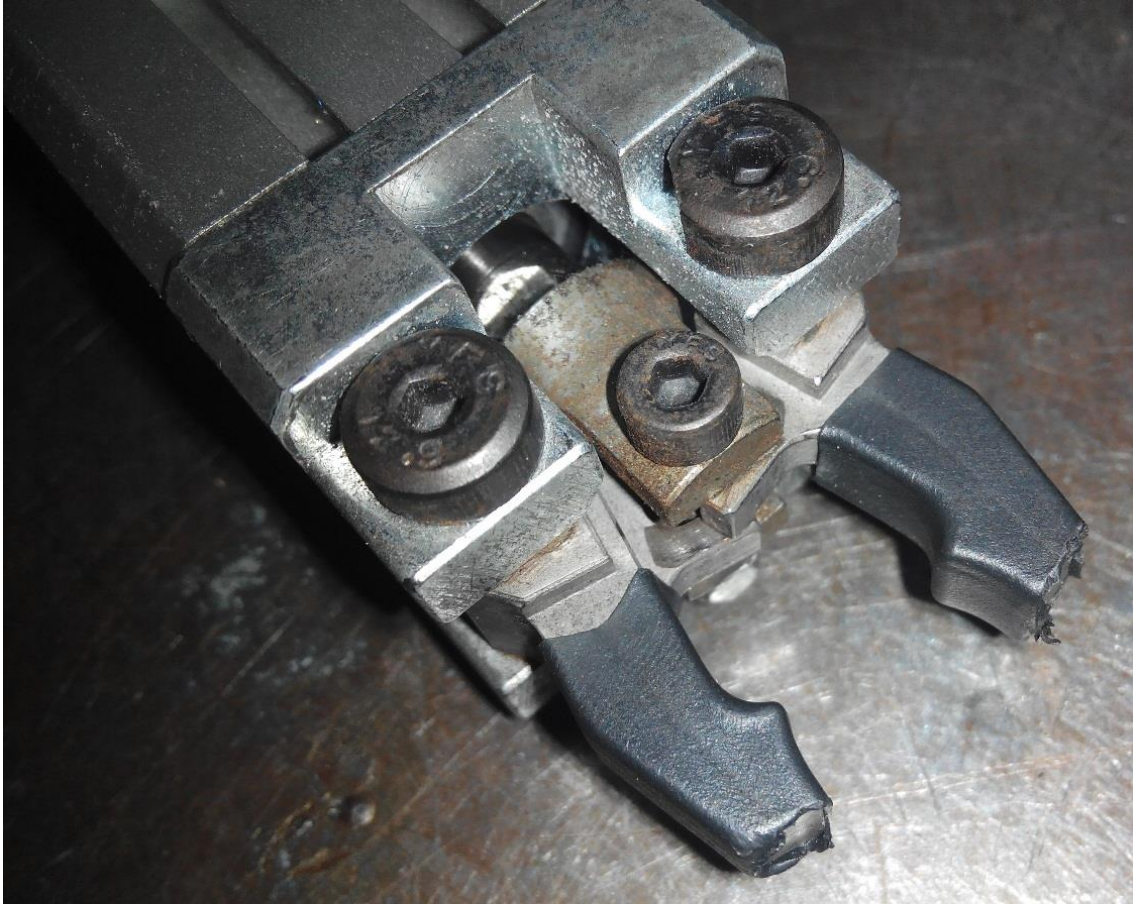


Figura 292 - Garra com dedos revestidos com manga retrátil.

- Procurando facilitar o desmoldar das zonas negativas com o fecho das garras, deve-se posicionar o mais próximo possível do arame a zona convexa do dedo da garra, como apresentado na Figura 293. Com este posicionamento, quando as garras fecharem, empurram a peça lateralmente, eliminando parte ou em alguns casos a totalidade das contra-saídas entre a peça injetada e a haste do molde;

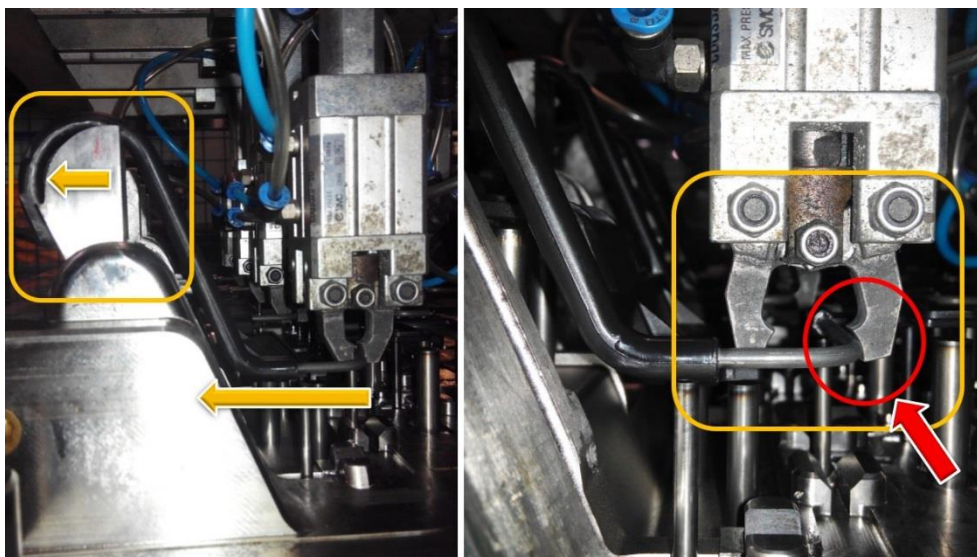


Figura 293 - Posicionamento da pinça para ajudar a desmoldar as contra-saídas dos ganchos.

- Sempre que são utilizadas básculas na estratégia de extração, deve-se ter em consideração a possível colisão de partes de plástico injetadas com os extratores do molde. Isto pode acontecer, porque o sistema de báscula empurra a peça para desmoldar os ganchos e, ao mesmo tempo, o cilindro central eleva o manipulador. Se o acionamento da báscula for muito mais rápido que a elevação do manipulador, a peça pode ficar danificada. Para contornar este efeito, deve ser verificado este tipo de colisões durante a extração com comando manual, e no caso de se verificar esta situação, ter-se-á de reduzir o caudal aos cilindros que acionam as básculas, para que estes façam o movimento mais lento, criando um ligeiro desfasamento entre o movimento de subida do manipulador e o acionamento da báscula (Figura 294);

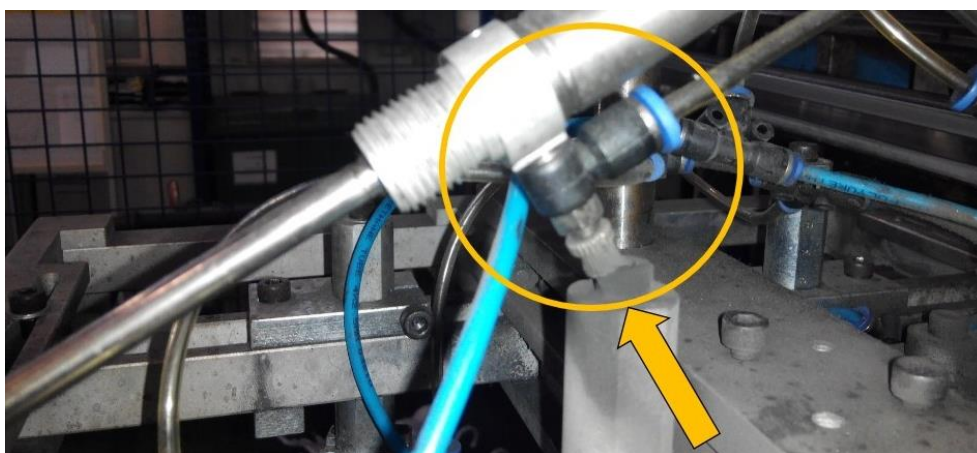


Figura 294 - Regulador de caudal para ajuste de velocidade das básculas do manipulador.

- Com o objetivo de ajudar os afinadores a definir a estratégia de extração, não perdendo tempo nas decisões de posicionamento das garras, ou mesmo na seleção do programa para a peça em causa, desenvolveu-se uma folha de parâmetros do mapa da peça, com as respetivas posições das pinças e programa a selecionar (Anexo III). Esta folha tem ainda informações de altura das pinças em função da altura dos extractores do molde e chamadas de atenção para problemas que possam vir a acontecer na peça durante a extração. Na Figura 295 está demonstrada uma das folhas de auxílio de *setup* dos manipuladores.

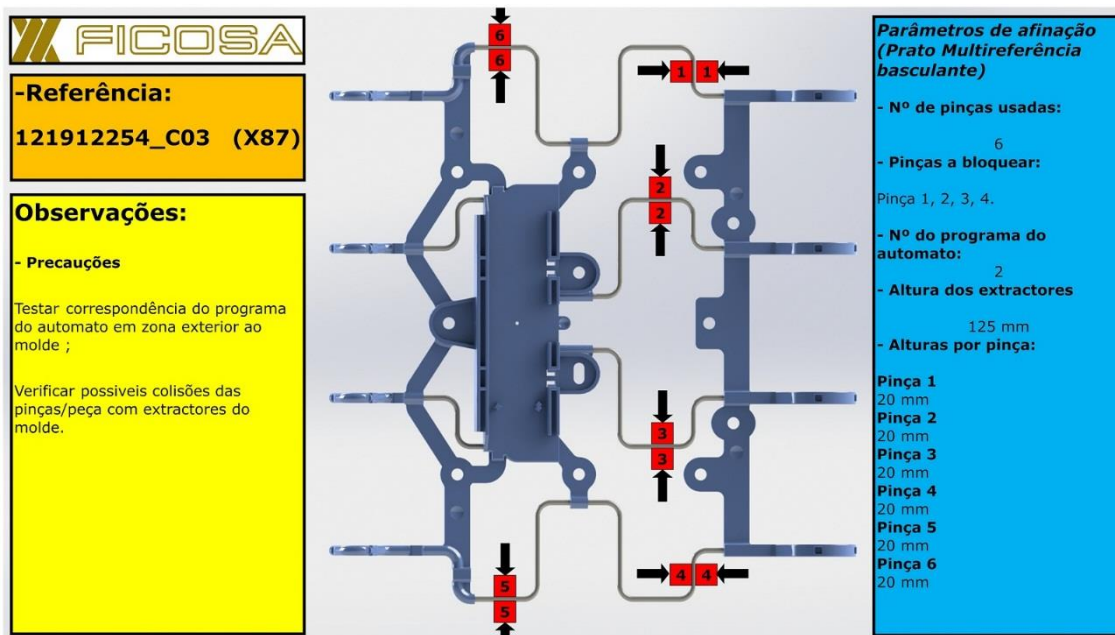


Figura 295 - Exemplo de folha de auxílio para afinação do manipulador de múltiplas referências.

Manutenção do manipulador

Algumas ações preventivas devem ser consideradas em mecanismos que operem sob regimes exaustivos como é o caso do manipulador de básculas. Por vezes, existem referências sobre-injetadas que permanecem em máquina mais de três ou quatro meses a trabalhar a três turnos. Neste equipamento, foram programadas ações preventivas para garantir a máxima longevidade dos componentes de desgaste:

- As guias do sistema de *transfer* devem ser lubrificadas, assim como os carros que deslizam nas mesmas (Figura 296);



Figura 296 - Guias do *transfer* e respetivos carros a lubrificar.

- As ligações móveis das pinças devem também ser lubrificadas regularmente, para que se evite um desgaste precoce dos contactos nela efetuados. No caso de a pinça possuir *cardans*, estes devem também ser lubrificados (Figura 297).



Figura 297 - Zonas das pinças que devem ser lubrificadas.

3.5.4.9. Instruções de utilização e manutenção do sistema automático M3M4 / extração IBK Suporte Lateral

O manipulador rotativo utilizado no abastecimento automático de arames e extração de componentes da referência M3M4, como já mencionado, possui tripla funcionalidade:

- Possibilidade de realizar a extração do componente IBK Suporte lateral, com a versatilidade de se poder ajustar as pinças para extrair outro tipo de peças que não possuam contra-saídas;
- Alimentação de arames da referência M3M4 SP com recurso a um alimentador automático dedicado e ainda a realização da extração dos componentes injetados;
- Realização apenas da extração da referência M3M4 SP, que pode ser útil no caso de existir algum problema com o alimentador automático, minimizando assim o impacto da avaria na produção deste componente.

A colocação de cada um destes modos de funcionamento é executada com recurso a um seletor múltiplo com os 3 programas. Na Figura 298 encontra-se representado o seletor e respetiva etiqueta com correspondência dos programas.



Figura 298 - Seletor de programa do manipulador rotativo.

Se o seletor estiver na posição (0) significa que qualquer sistema automático está desligado, ou seja, o processo é manual. O programa (1) ativa a extração automática para o componente IBK suporte natural. O Programa (2) inicia a extração automática da referência M3M4 SP. E por fim o programa (3), quando selecionado, ativa o modo automático tanto de extração de componentes como o programa (2), mas também o modo de colocação de arames em automático, com recurso ao alimentador.

A alternância entre a referência IBK suporte lateral e M3M4 SP é realizada com recurso ao *setup* do manipulador com ajuda de apenas um parafuso M8, que permite rodar o braço do manipulador em torno do seu eixo 180°. Na Figura 299 encontra-se demonstrado o *setup* que permite alternar entre os dois sistemas de extração.

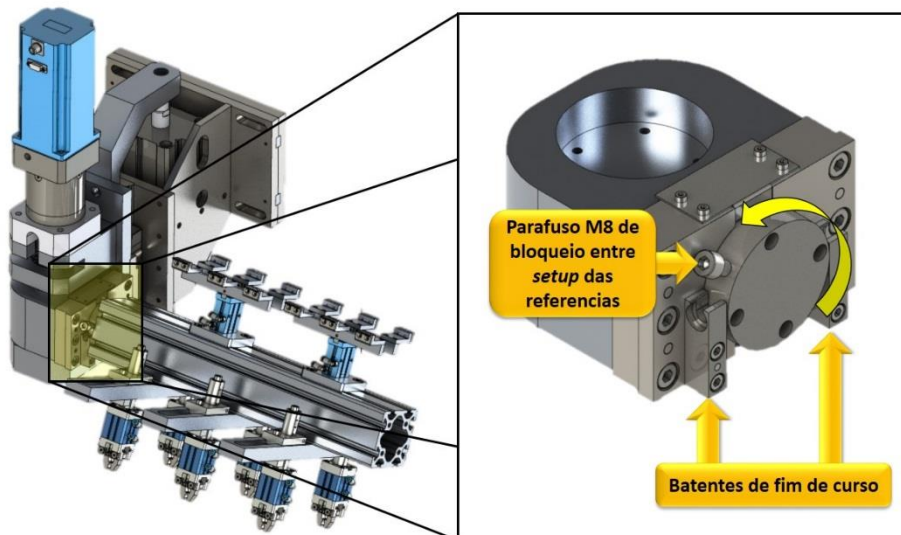


Figura 299 - *Setup* entre as referências M3M4 e Suporte Lateral.

Início do ciclo de extração automática do IBK suporte lateral/M3M4

Para ativar o manipulador de maneira a extrair a referência IBK suporte lateral, é necessário colocar o seletor na posição 1 e fazer o *setup* no manipulador para a referência em questão, ou seja, rodar o braço para a posição de utilização das pinças com os barramentos.

Se for necessário apenas realizar a extração na referência M3M4, coloca-se o seletor no programa 2 e efetuamos o *setup* do manipulador para a posição correspondente da peça a extrair, isto é, as garras paralelas que captam os arames injetados.

Os componentes em ambas as situações são extraídos para o tapete. No entanto, como já representado na fase de projeto, existe a hipótese de na referência M3M4 realizar a extração das peças de uma das cavidades para uma rampa, e da outra para umas guias previamente posicionadas no tapete.

Início do ciclo automático M3M4 SP

O arranque do ciclo do sistema automático da célula de injeção para a referência M3M4 SP, necessita inicialmente de ser executado em modo manual. Isto acontece devido aos ensaios de injeção realizados na máquina por um afinador, até obter o OK da primeira peça. Uma vez obtido

o OK à primeira peça, a partir do seletor é ativado o sistema no modo pretendido (programa 3), e após três injeções consecutivas sem falhas, realizadas manualmente, o sistema entra em ciclo automático. Neste caso, necessitamos igualmente de realizar o *setup* do manipulador para a posição das garras paralelas.

Abastecimento do alimentador

Os alimentadores de arames necessitam de ser reabastecidos a cada hora de produção. Um abastecedor do módulo de injeção é responsável por realizar esta tarefa, assegurando que o sistema não pare por falta de matéria-prima. Para ajudar o operador a saber quando deve abastecer o alimentador ou reportar algum problema, os alimentadores possuem um sistema de alertas luminosos Andon³ de três cores, que possuem o seguinte significado:

- **Vermelho:** indica paragem do equipamento, podendo ser uma avaria ou paragem por falta de matéria-prima;
- **Amarelo:** indica que o abastecedor deve proceder à reposição de arames no alimentador;
- **Verde:** indica que o funcionamento do equipamento está a decorrer normalmente.

Uma caixa de arames da referência M3M4 para cada bucha é a medida-padrão com excesso utilizada para uma hora de produção com o processo manual. Desta forma, uma caixa é igualmente suficiente para assegurar a hora de produção ainda que com algum aumento de produtividade no uso do processo automático. Devido ao alimentador estar posicionado a uma altura significativa do chão, foi necessário utilizar uma escada e um suporte para a caixa, de maneira a fornecer as condições admissíveis de segurança, assim como minimizar o esforço na realização desta tarefa por parte do abastecedor. Embora se tenha a noção que é de evitar manobrar cargas significativas com a agravante de ser necessário subir escadas, o processo em si e o orçamento não permitiram, pelo menos numa fase inicial, contornar este problema. Na Figura 300 encontra-se ilustrado o alimentador com a respetiva escada de acesso, caixa de arames posicionada no suporte e sistema de alerta luminoso Andon.

³ O Andon é uma forma de gestão à vista de ocorrências na linha de produção, que podem ser apresentadas em forma de alerta sonoro ou representações visuais (quadros, sinalizadores). Na prática, o Andon é um sistema utilizado pelos operadores da linha de produção, ou mesmo pelo próprio equipamento, para sinalizar a produtividade ou alguma falha no processo, solicitando assim a ajuda de técnicos de manutenção, engenheiros e outros responsáveis pela resolução do problema (Citisystems, 2012).

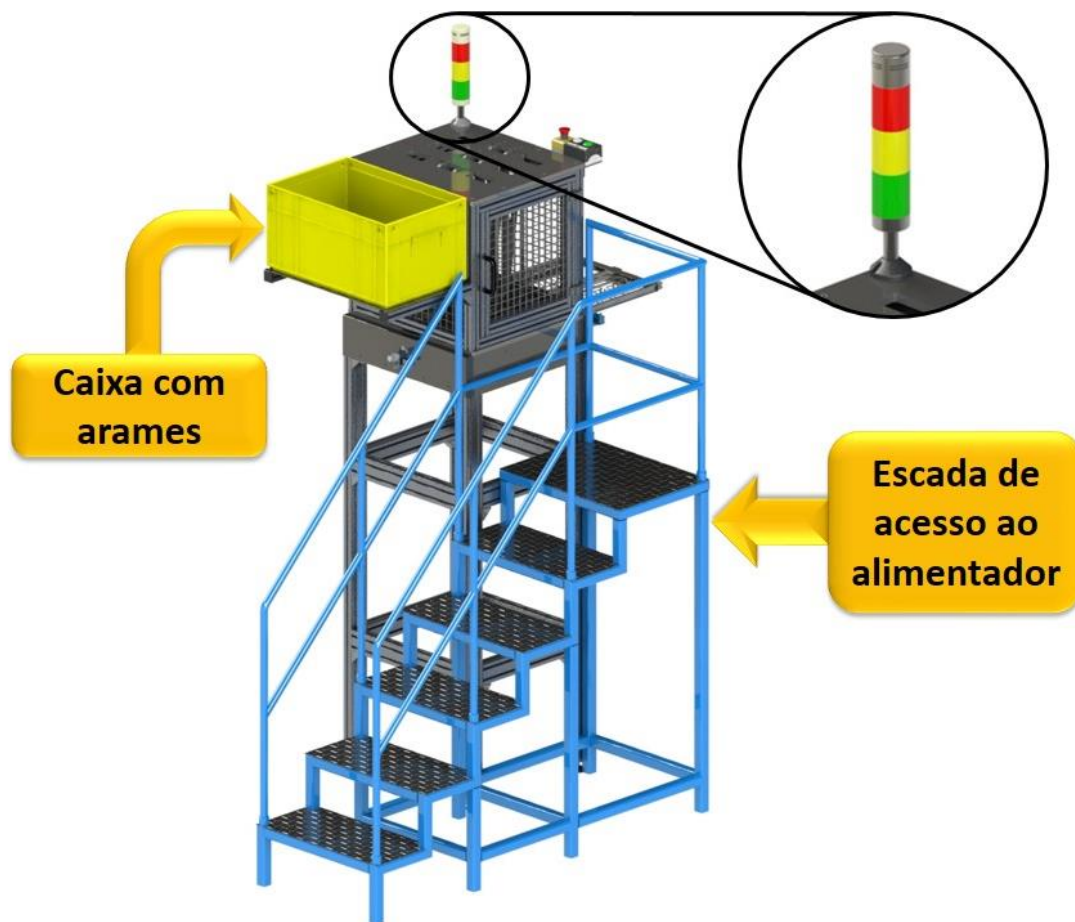


Figura 300 - Escada de acesso ao alimentador com respectivo suporte para caixa de arames.

De uma forma sequencial, o abastecimento dos alimentadores deve ser realizado da seguinte forma:

- Visualização do sinal luminoso do alimentador que indica que está a precisar de ser reabastecido;
- O abastecedor transporta as caixas de arame do módulo de dobragem de arames para junto dos alimentadores, com o auxílio de um porte paletes;
- De seguida, pega numa caixa e coloca-a no suporte ao lado do alimentador;
- Introduce os arames da caixa dentro do alimentador de forma sequencial em cada uma das três ranhuras presentes no topo. Assim, garantimos que não irá haver uma paragem do sistema por falta de arame numa das três colunas;
- Executa os mesmos passos para o segundo alimentador;

- Estando os dois alimentadores carregados e havendo alguma folga de tempo de abastecimento em outras máquinas, o abastecedor, depois de remover as caixas vazias, pode colocar uma caixa cheia em cada alimentador para abastecer na hora seguinte.

Manutenção do manipulador rotativo e alimentador automático

Relativamente à manutenção do manipulador rotativo e alimentador automático, cuidados essenciais como lubrificação de todos os elementos móveis e limpeza de certos contatos devem ser assegurados para que se consiga maximizar a longevidade do sistema e evitar a substituição precoce das peças de desgaste. Na Figura 301 encontram-se identificados os dispositivos e respetivos locais com elementos móveis do manipulador que devem ser lubrificados regularmente:

1. Guia e carro linear do manipulador rotativo;
2. Junta rotativa do braço do manipulador;
3. Veios e guiamentos das garras paralelas;
4. Veios-guia dos calcadores.

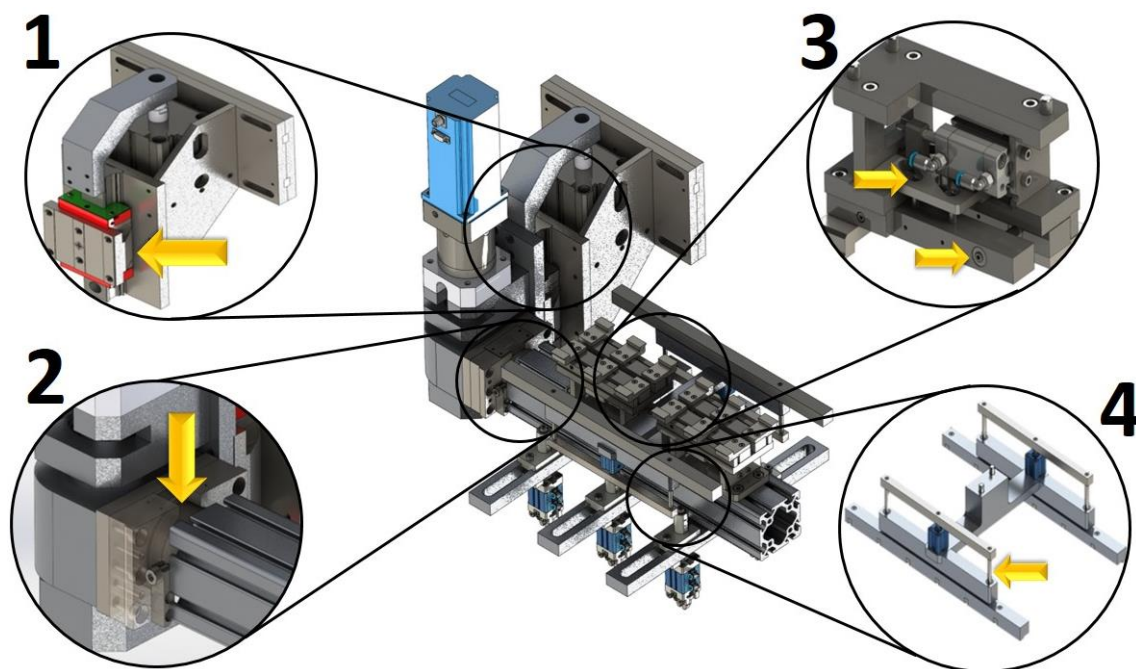


Figura 301 - Identificação das zonas de lubrificação dos dispositivos do manipulador rotativo.

Os elementos móveis do alimentador que devem ser lubrificados regularmente, encontram-se representados na Figura 302:

1. Veios dos calcadores do sistema de seleção de arames;
2. Batentes da gaveta;
3. Veios de transmissão do sistema de seleção de arames;
4. Guias telescópicas da gaveta.

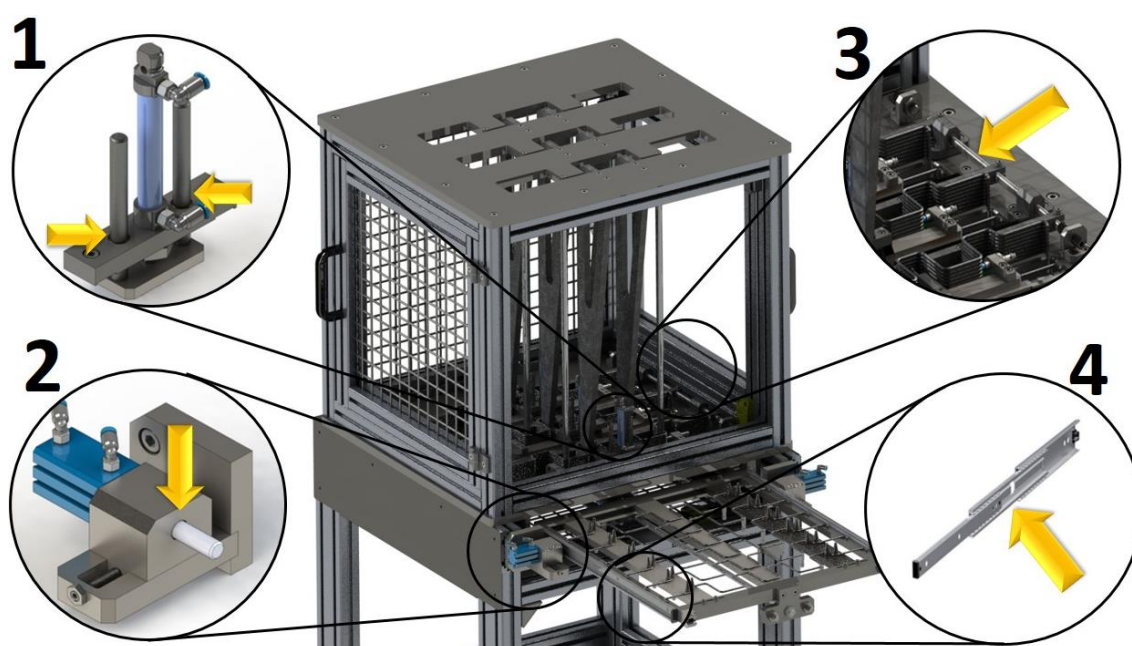


Figura 302 - Identificação das zonas de lubrificação dos dispositivos do alimentador.

3.5.5. Orçamentação

3.5.5.1. Orçamentação do manipulador de básculas

O custo dos componentes surge discriminado por subconjunto nas tabelas seguintes. A Tabela 13 representa o orçamento para o sistema de *transfer*.

Tabela 13 - Orçamento para o sistema de *transfer*.

Componentes	Qt.	Custo	Componentes Normalizados	Qt.	Custo/ unidade
PMPBAS1573_A_V3_Esq	1	390 €	Cilindro sem haste SMC (MY1B25G-1000H)	1	273,21 €
PMPBAS1573_A_V3_Dir	1		Guia INAFAG KUE 15_1200 (HGR-15-R x 1200)	2	68,37 €
PMPBAS1596_A_V2	3		Regulador de caudal (GRLA-1/8-QS-6-RL)	2	1,95 €
PMPVEI0551_A	2		Sensores magnéticos	2	7,00 €
TRFRGCENT	1		-	-	-
Subtotal:		390 €	Subtotal:		427,85 €
				Total:	817,85

Na Tabela 14 consta o custo de cada componente normalizado e o custo dos componentes maquinados que constituem o braço de ligação.

Tabela 14 - Orçamento para o braço de ligação.

Componentes	Qt.	Custo	Componentes Normalizados	Qt.	Custo/ unidade
BS1RBTV122713	2	580 €	Cilindro guiado SMC (MGPM40TF-50)	1	210,80 €
PMPBAS1577_A	1		Carro INAFAG KUE 15 (HGW-15-CC ZO-C)	2	28,85 €
PMPBAS1628_A_V2	1		Rolamento linear (KH2030)	4	9,20 €
PMPBAS2300	1		Regulador de caudal (QSL 1/8-6)	2	1,95 €
PMPBAS2301	1		Sensores magnéticos	2	7,00 €
PMPSUP6146_A	1		-	-	-
PMPSUP6179_A	2		-	-	-
Subtotal:		580 €	Subtotal:		323,20 €
				Total:	903,20 €

Na Tabela 15 apresenta-se o orçamento para todos os componentes que dão origem à estrutura de básculas do manipulador.

Tabela 15 - Orçamento para estruturas de básculas.

Componentes	Qt.	Custo	Componentes Normalizados	Qt.	Custo/ unidade
AJRBT281013	1	560 €	Cilindro Festo (DSNU-16-80-P-A)	2	19,34 €
BG5RBTV122713	8		Flange em "U" Festo (LBN-12_16)	4	4,02 €
CP6RBTV122713	4		Rotula Festo (SGS-M6)	2	6,23 €
EC2RBTV122713	1		Dobradiça (GN 237-Zd-50-50-A)	6	7,52 €
GL4RBTV122713	2		Regulador de caudal (GRLA-M5-QS-4-RS)	4	1,95 €
GLC3RBTV122713	2		-	-	-
LS7RBTV2301013	1		-	-	-
PMPBAS2278	8		-	-	-
PMPBAS2279	8		-	-	-
PMPGUI0958V2	2		-	-	-
PMPVEI0664_A	2		-	-	-
PMPVEI0665_A	2		-	-	-
Subtotal:			560 €	Subtotal:	
				Total:	680,14€

Na Tabela 16 é descrito o orçamento para um conjunto de oito pinças (quatro com *cardan* e mola e quatro sem estes componentes), usadas no manipulador de básculas.

Tabela 16 - Orçamento para pinças.

Componentes	Qt.	Custo	Componentes Normalizados	Qt.	Custo/ unidade
PMPAPO0567_A	8	880 €	Cilindro SMC (CDQSB20-5D)	8	18,56 €
PMPBAS1861_A_V2	4		Paraf. Corpo rect. M5x20 (B6020)	16	0,73 €
PMPBAS1861_A	4		<i>Cardan</i> (LAS 6x16-G300)	4	27,70 €
PMPBAS2271	8		Molas (20.5-6-38-2 inox)	4	3,10 €
PMPPIN0102_A_V2	16		Conector pneumático (QSML M5-4)	16	0,60 €
PMPVEI0866_V2	4		Conector pneumático (QS(Y/T) 4)	14	0,34 €

Componentes	Qt.	Custo	Componentes Normalizados	Qt.	Custo/ unidade
PMPVEI0866	4		-	-	-
PMPVEI0906_A	8		-	-	-
Subtotal:		880 €	Subtotal:		297,72 €
				Total:	1 177,72 €

A Tabela 17 resume quantos subconjuntos dos previamente apresentados são necessários para equipar uma máquina, bem como o orçamento necessário para aplicar os manipuladores numa injetora.

Tabela 17 - Orçamento para equipar uma injetora com o manipulador.

Orçamento do manipulador de básculas por injetora		
Subconjunto	Qt.	Custo (€)
<i>Transfer</i>	2	1 635,70 €
Braço de ligação	2	1 806,40 €
Estrutura de básculas	2	1 360,28€
Conjuntos de 8 Pinças	2	2 355,44 €
Total:		7 157,82 €

3.5.5.2. Orçamentação do sistema de alimentação M3M4 automático

As Tabela 18, Tabela 19 e Tabela 20 apresentam o orçamento necessário para cada subconjunto que compõe o manipulador M3M4. O orçamento necessário para a realização do manipulador do sistema de extração e alimentação do M3M4 SP, é o apresentado na Tabela 21.

Tabela 18 - Orçamento para o sistema modular (versão 1, funcionamento com *gripper* paralelo SMC) para manipulador M3M4.

Componentes	Qt.	Custo	Normalizados	Qt.	Custo / unidade
RBT041BASG171013	1	260 €	Garra paralela SMC (MHZ2-16D)	1	199,00 €
RBT041GAR171013	6		Conector pneumático (QSML M5-4)	2	0,60 €

Componentes	Qt.	Custo	Normalizados	Qt.	Custo / unidade
RBT041ISG181013	6		-	-	-
RBT041REGD171013	2		-	-	-
Subtotal		260€	Subtotal		200,20 €
Total:					460,20 €

Tabela 19 - Orçamento de sistema modular (versão 2, funcionamento de cunha) para manipulador M3M4.

Componentes	Qt.	Custo	Normalizados	Qt.	Custo / unidade
PMPBAS1	1	520 €	Rolamento linear (INAFAG_KH06)	4	6,70 €
PMPBAS2	2		Conector pneumático (QSMML_M5_4)	2	0,60 €
PMPSP2	1		Cilindro Festo (ADN_12_15_I_P_A)	1	22,00 €
PMPSP4	1		Rolamento radial (INAFAG_623-2Z)	4	4,30 €
PMPSP5	1		-	-	-
PMPSP5_B	1		-	-	-
PMPVEIO1	2		-	-	-
PMPBAR1	2		-	-	-
PMPGAR1	6		-	-	-
PMPCAM1	1		-	-	-
GUILAT	2		-	-	-
PMPPINx1	4		-	-	-
Subtotal		520 €	Subtotal		67,2€
Total:					587,20 €

Tabela 20 - Orçamento dos calcadores para manipulador M3M4.

Componentes maquinados	Qt.	Custo	Normalizados	Qt.	Custo / unidade
SC041	1	380 €	Conector pneumático (QS(Y/T) 4)	4	0,34 €
CHGC041	2		Cilindro SMC (CQ2B12-10D)	2	18,56 €
TRV041	2		Rolamento linear (KH 0622 PP)	4	7,91 €
VG041	4		Conector pneumático (QSML M5-4)	4	0,60 €
CALCADOR_D	1		Conector pneumático (QS(Y/T) 4)	2	0,34 €
CALCADOR_E	1		-	-	-
INSERT_CALC	12		-	-	-
Subtotal:		380 €	Subtotal:		73,20 €
Total:					453,20 €

Tabela 21 - Orçamentação para um manipulador M3M4.

Orçamento para manipulador M3M4		
Subconjunto	Qt.	Custo (€)
Sistema modular (versão 2 funcionamento de cunha)	2	587,20 €
Calcadores	1	452,20 €
Total:		1 626,60 €

Na Tabela 22 estão enumerados todos os componentes utilizados num alimentador de arames com respetivas quantidades e orçamento.

Tabela 22 - Orçamento para todos os componentes normalizados incluídos no alimentador automático.

Normalizados automação	Qt.	Custo / unidade	Normalizados estrutura	Qt.	Custo / unidade
Cilindro Festo (ADN-32-30-I-P-A)	1	32,00 €	Estrutura perfil superior (ITEM)	1	450,00 €
Cilindro Festo (DSNU 25-500-PA)	1	30,00 €	Estrutura perfil inferior (Maytec)	1	642,69 €

Normalizados automação	Qt.	Custo / unidade	Normalizados estrutura	Qt.	Custo / unidade
Cilindro SMC (CBQ SB16-25D)	2	26,44 €	Batentes magnéticos Item	2	16,40 €
Regulador de caudal (GRLA 1/8 QS 4 RS)	4	1,95 €	Dobradiças ELESAs	4	8,40 €
Conector pneumático (QSL M5-4)	4	0,60 €	Puxador portas	2	4,90 €
Conector pneumático (QSY 6)	2	0,34 €	Guias telescópicas Rollon (LFS-57)	2	26,15 €
Sensores magnéticos	5	7,00 €	Rolamentos lineares (KH08-B)	4	7,91 €
Sensores indutivos M8 NC	6	8,00 €	-	-	-
Sensores indutivos M8 NO	3	8,00 €	-	-	-
Abraçadeiras Festo (SMBR 10-25)	3	2,23 €	-	-	-
Electroválvula (MH531-501 G)	1	50,00 €	-	-	-
Autómato Festo (FC440)	1	500,00 €	-	-	-
Fonte Alimentação SIEMENS 220v	1	45,00 €	-	-	-
Bloco de válvulas (EPV SC-MP-V1)	1	350,00 €	-	-	-
Cabos elétricos/ Tubos pneumáticos	-	60,00 €	-	-	-
Cilindro Festo (ADN-32-30-I-P-A)	1	32,00 €	-	-	-
Cilindro Festo (DSNU 25-500-PA)	1	30,00 €	-	-	-
Cilindro SMC (CBQ SB16-25D)	2	26,44 €	-	-	-
Regulador de caudal (GRLA 1/8 QS 4 RS)	4	1,95 €	-	-	-
Subtotal:		1 244,45 €		Subtotal:	1 252,83 €
				Total:	2 497,28 €

Os componentes mecânicos maquinados necessários para o alimentador encontram-se orçamentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Orçamento de todos os componentes maquinados do alimentador M3M4.

Componentes maquinados	Qt.	Custo
Base inferior	1	300,00 €
Base superior	1	260,00 €
Restantes componentes maquinados	-	2 455,00 €
Subtotal:		3 015,00 €

A Tabela 24 resume o custo total para a obtenção do alimentador a integrar o sistema de alimentação automático.

Tabela 24 - Orçamentação para um alimentador M3M4.

Orçamento do alimentador M3M4		
Subconjunto	Qt.	Custo
Componentes normalizados do alimentador	1	2 497,28 €
Componentes maquinados do alimentador	1	3 015,00 €
Total:		5 512,28 €

O orçamento total para tornar uma injetora automática na referência M3M4 SP é o apresentado na Tabela 25.

Tabela 25 - Orçamento para o sistema de alimentação/ extração M3M4.

Orçamento para alimentação/extração automáticos		
Subconjunto	Qt.	Custo
Alimentador M3M4	2	5 512,28 €
Manipulador M3M4	2	1 626,60 €
Rampa de extração	1	220,00 €
Guias de descarga (tapete) mais acessórios	4	200,00 €
Total:		14 697,76 €

3.5.5.3. Orçamentação de outros sistemas de extração

O orçamento dos sistemas de extração alternativos como IBK suporte lateral, MQB1/garras modulares e extração MQB1 modelo dedicado, realizados neste trabalho são apresentados nas Tabela 26, Tabela 27 e Tabela 28, respetivamente.

Tabela 26 - Orçamento para extração automática da referência IBK suporte lateral.

Extração IBK suporte Lateral		
Conjuntos	Qt.	Custo/ unidade
Barramentos (BGSB21213)	6	50,00 €
Conjunto sistema rotativo de <i>setup</i>	2	360,00 €
Pinças	6	110,00 €
Total:		1 680,00 €

Tabela 27 - Orçamento da solução de garras modulares de extração (Cabos MQB1) usadas no manipulador basculante.

Manipulador MQB1 (hipótese das garras modulares)		
Conjuntos	Qt.	Custo/ unidade
Garras modulares para 16 pinças	32	17,50 €
Furação das garras existentes	-	50,00 €
Total:		610,00 €

Tabela 28 - Orçamento para extração automática dedicada do manipulador MQB1.

Manipulador MQB1 (hipótese de sistema dedicado)		
Conjuntos	Qt.	Custo/ unidade
<i>Transfer</i>	2	817,85 €
Braço de ligação	2	903,20 €
Sistema de extração	2	419,80 €
Total:		4 281,70 €

3.5.6. Estudo do tempo de ciclo

3.5.6.1. Estudo do tempo de ciclo do Manipulador de básculas

Embora já seja conhecido que a implementação dos manipuladores reduzem o tempo de ciclo das células de injeção, realizou-se um estudo de tempos de ciclo numa célula com dois moldes iguais e com o nível de complexidade máximo, isto é, quatro arames 3D todos diferentes. Assim teremos uma visão do aumento de produtividade para o pior cenário. O componente produzido neste estudo é o apresentado na Figura 303.

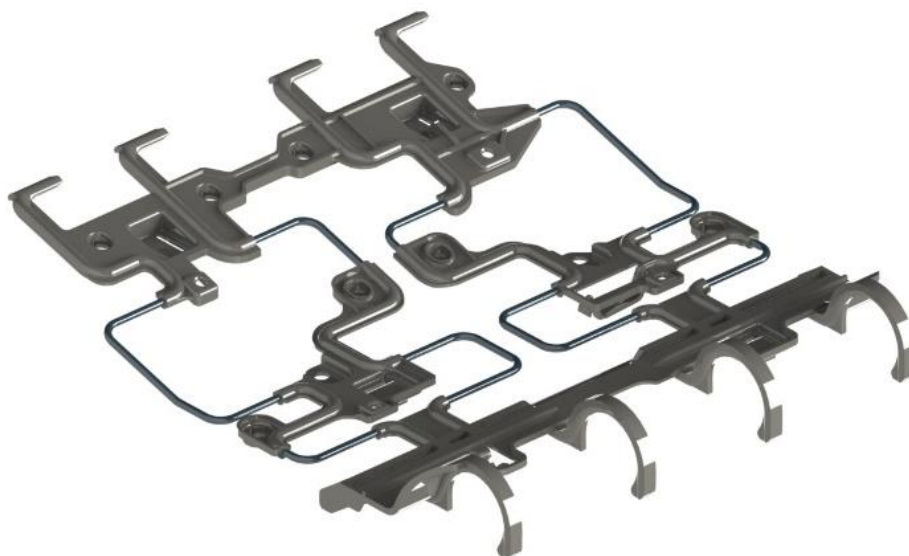


Figura 303 - Referência utilizada para o estudo do tempo de ciclo.

Foram efetuadas trinta medições com manipulador e sem manipulador nas seguintes condições:

- Um operador a trabalhar em simultâneo nas duas injetoras (cada uma com molde e meio);
- Arames sem variações;
- Fator de fadiga de 7% (Valor definido pela FicoCables para este tipo de processo);
- Extração realizada manualmente ou automaticamente;
- Medição realizada quando pressionada a botoneira de inicio de ciclo numa das máquinas.

O esquema de funcionamento da célula em análise encontra-se ilustrado na Figura 304.

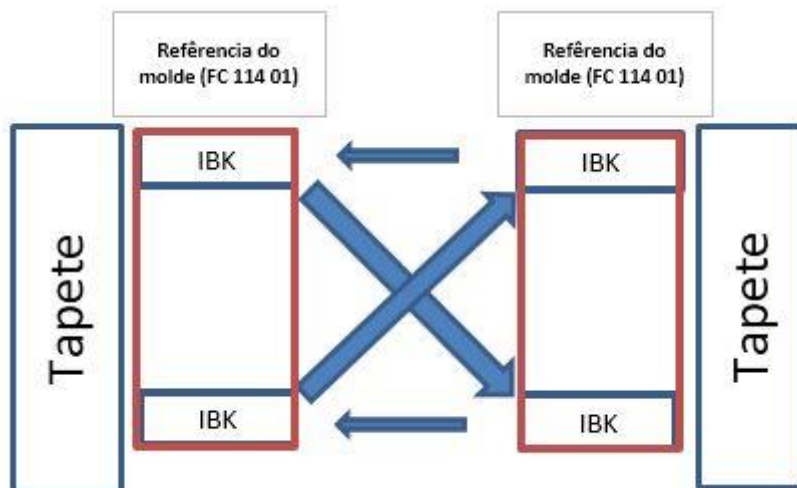


Figura 304 - Esquema de funcionamento da célula de injeção em estudo.

Na Tabela 29 e Tabela 30 encontram-se representadas as medições dos tempos efetuadas sem o uso de manipuladores e com o uso de manipuladores, respetivamente.

Tabela 29 - Medições efetuadas sem uso de manipulador.

Modo de medição	TEMPOS (segundos)													
	Medições efetuadas sem manipuladores (30)										Max.	Min	Média	Desv.P
Tempo medido no instante em que o operador pressiona a botoneira de início de ciclo	54,51	54,75	51,50	50,19	51,84	51,51	53,42	51,76	50,50	50,68	58,56	50,19	53,21	2,00
	53,89	53,75	52,84	52,31	52,16	55,70	52,15	52,68	53,97	53,36				
	52,55	51,08	58,56	56,84	57,23	52,65	55,38	52,82	52,76	52,93				
	Peças/hora										123	135	143	

Tabela 30 - Medições efetuadas com uso de manipulador.

Modo de medição	TEMPOS (segundos)													
	Medições efetuadas com manipuladores (30)										Max.	Min.	Média	Desv.P
Tempo medido no instante em que o manipulador da frente deixa cair uma peça no tapete	46,02	47,50	44,86	43,88	42,44	43,22	42,99	48,45	45,20	46,65	48,45	42,44	45,42	1,64
	45,63	42,67	46,36	45,06	44,57	45,43	45,97	45,69	42,79	48,20				
	45,44	44,84	44,69	47,84	44,65	45,18	47,70	46,43	45,54	46,78				
	Peças/hora										149	170	159	

A partir das medições efetuadas em cada condição chegaram-se aos resultados apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 - Tempos de ciclo e produtividade sem manipulador e com manipulador.

	Sem manipulador	Com manipulador
Tempo de ciclo 2 peças (segundos) -Resulta da análise numa célula com duas injetoras	53,21	45,42
Tempo de ciclo/peça (segundos)	26,60	22,71
Tempo de ciclo/peça (segundos) -Considerando 7 % de fator de fadiga	28,47	24,30
Cadência de produção (unidades)	126	148

Da análise da Tabela 31 verificamos que houve um **aumento de aproximadamente 17,5% de produtividade**, resultante do uso de manipuladores na extração das peças injetadas nas duas máquinas injetoras.

3.5.6.2. Estudo do tempo de ciclo no modo automático M3M4

O tempo de ciclo do sistema extração/alimentação do SP M3M4 está essencialmente dependente do ciclo de injeção. Isto acontece porque o braço de extração se encontra acoplado à cabeça da máquina, obrigando o manipulador a realizar as operações de extração e alimentação no tempo em que o molde está fechado. A partir de uma leitura direta na máquina, sabe-se o tempo de ciclo do processo de injeção que é independente do operador, quer a máquina esteja a funcionar manual ou automaticamente. Da análise realizada, o tempo mínimo necessário para as operações é, sensivelmente, 21 segundos. A Figura 305 representa a consola da máquina injetora assinalada com o tempo de ciclo de injeção. Este tempo de ciclo é considerado como o objetivo para produtividade máxima adquirida com o sistema automático.



Figura 305 - Painel de controlo da máquina injetora.

Mesmo não conseguindo obter um ganho direto de produtividade a partir de uma redução no tempo de ciclo no modo automático, os 7% de fator de fadiga que corrigem a produtividade em modo manual são efetivamente um ganho direto de produtividade quando se passa para o sistema automático, uma vez que aqui não existe fadiga. O outro fator que pode ser considerado futuramente, quando a fase do sistema automático estiver numa fase mais avançada do seu ciclo de vida, é o facto de podermos tentar otimizar os parâmetros de injeção da máquina reduzindo o seu tempo de ciclo e assim obter uma maior produtividade nesta referência. Esta ação tem grandes probabilidades de ter sucesso, uma vez que em automático o ciclo é muito mais estável e apresenta muito menos paragens.

3.5.7. Implementação dos projetos desenvolvidos

Implementação do sistema de extração universal

Depois de orçamentado, implementado e testado o protótipo de manipulador de básculas, a empresa entendeu que o projeto deveria ser estendido a mais máquinas, para introduzir mais flexibilidade e aumento de produtividade no módulo de injeção dos sistemas de conforto. De

facto, começou a ser complicado a nível de gestão da produção definir em que máquinas montar certos moldes, devido a existirem mais máquinas com manipuladores específicos do que com manipuladores flexíveis.

A seleção das máquinas a equipar com o novo manipulador foi realizada de forma a substituir parte dos manipuladores dedicados já existentes e cujos projetos estão em fase final de vida útil. Na Figura 306 encontra-se representado o *layout* das máquinas na área de injeção dos sistemas de conforto, onde se aplicaram os novos manipuladores de básculas desenvolvidos.

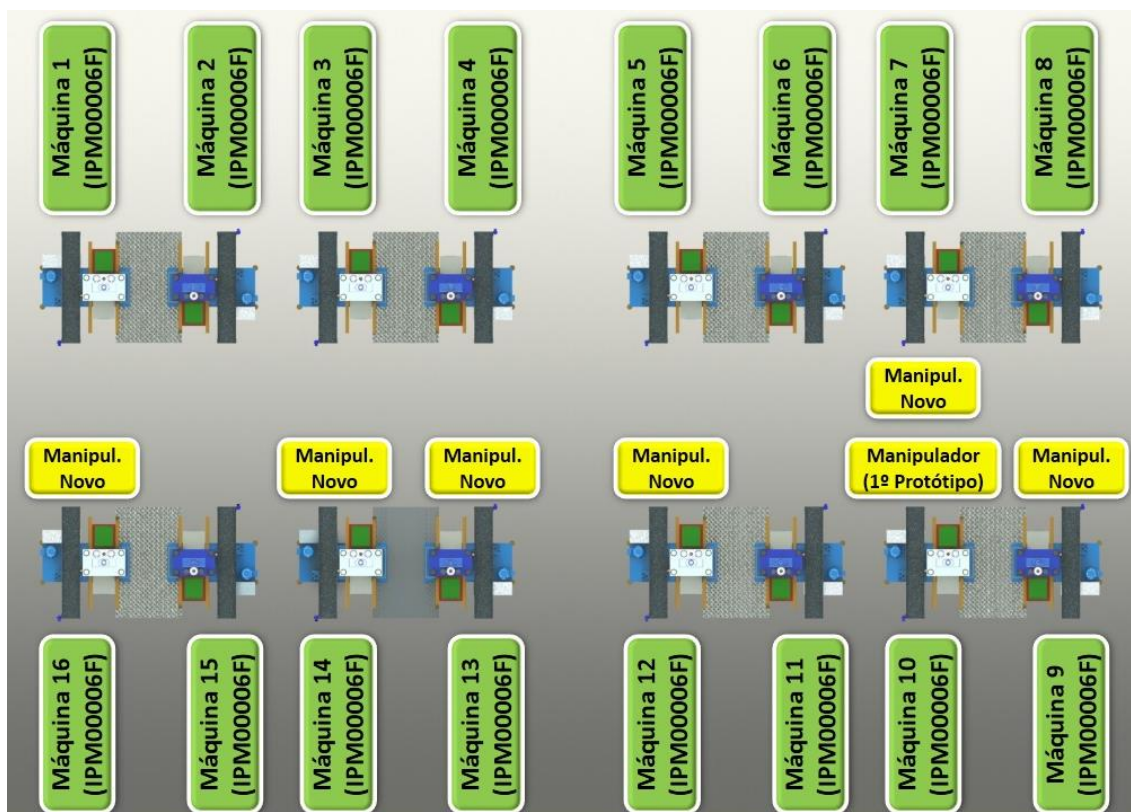


Figura 306 - Máquinas em que foram implementados os novos manipuladores desenvolvidos.

Antes de ser realizada qualquer encomenda referente aos novos manipuladores, realizou-se um levantamento do material dos manipuladores antigos que poderia ser reutilizado. Depois de realizado este levantamento, elaborou-se um orçamento por máquina, chegando a um orçamento final. Na Tabela 32 encontra-se listado o levantamento dos componentes normalizados de cada subconjunto existente nos manipuladores dedicados das máquinas, que podem ser reutilizados.

Tabela 32 - Levantamento de material normalizado a reutilizar nos novos manipuladores.

Material Normalizado Reutilizado				
Subconjunto manipulador	Normalizados	Custo/unidade	Máquina 7/9/12 (Nº Componentes)	Máquina 13/14/16 (Nº Componentes)
(Guia) Transfer	Cilindro SMC (MY1B25G-1000H)	273,21 €	Reutilizado	2
	Guia INAFAG (KUE 15_1200)	68,37 €	Reutilizado	4
	Carro INAFAG (KUE 15)	28,85 €	Reutilizado	4
Braço de ligação	Cilindro SMC (MGPM40TF-50)	210,80 €	Reutilizado	2
	Rolamento linear (KH2030)	9,20 €	8	8
Estrutura das básculas	Cilindro Festo (DSNU-16-80-P-A)	19,34 €	4	4
	Flange em "U" Festo (LBN-12_16)	4,02 €	8	8
	Rotula Festo (SGS-M6)	6,23 €	4	4
	Dobradiça (GN 237-Zd-50-50-A)	9,83 €	12	12
Pinças	Cilindro SMC (CDQSB20-5D)	18,56 €	16	16
	Paraf. Corpo rect. M5x20 (B6020)	1,75 €	32	32
	<i>Cardan</i> (LAS 6x16-G300)	27,70 €	8	8
		Poupança/Máquina:	1 430,50 €	-

À semelhança da tabela anterior, na Tabela 33 encontram-se listados os subconjuntos pertencentes aos manipuladores dedicados que a nível de componentes maquinados/projetados na empresa podem ser reutilizados por serem iguais/compatíveis com o novo manipulador.

Tabela 33 - Levantamento de subconjuntos a reutilizar e adquirir.

Subconjuntos Reutilizados (Peças maquinadas)		
Subconjunto do manipulador (Peças maquinadas)	Máquina 7/9/12 (Nº Componentes)	Máquina 13/14/16 (Nº Componentes)
(Guia) <i>Transfer</i>	Reutilizado	2
Braço de ligação	Reutilizado	2
Estrutura das básculas	2	2
Pinças	16	16
Poupança/Máquina	1 940 €	-

Da Tabela 32 e Tabela 33 percebe-se facilmente que as máquinas 13, 14 e 16 não possuem qualquer tipo de redução de investimento, sendo então necessário encomendar na totalidade os conjuntos que compõem o novo manipulador. Isto deveu-se ao facto de estas máquinas não possuírem sistema de *transfer*, mas sim sistema de braço rotativo com servomotor. Contudo, a implementação dos manipuladores nas máquinas 7, 9 e 12 foi bastante menos dispendiosa, uma vez que em cada máquina foi possível aproveitar quase na totalidade dois subconjuntos que compõem o novo manipulador. Na Tabela 34 podem ser observados os valores totais da redução de custo de investimento por máquina devido aos subconjuntos reutilizados.

Tabela 34 - Valor total reduzido ao investimento da implementação dos novos manipuladores.

Ganho total obtido em reutilizáveis				
	Máquina 7	Máquina 9	Máquina 12	Máquina 13/14/16
Poupança nos reutilizáveis	3 370,50 €	3 370,50 €	3 370,50 €	0 €
Total:	10 111,50 €			

Uma vez realizado o levantamento de todo o material reutilizado, é possível obter uma visão global do custo total do investimento necessário à implementação dos manipuladores nas seis máquinas. Na Tabela 35 apresenta-se também o custo total por máquina necessário a esta implementação.

Tabela 35 - Total de investimento na implementação dos novos manipuladores.

Investimento real nas 6 máquinas						
	Máquina 7	Máquina 9	Máquina 12	Máquina 13	Máquina 14	Máquina 16
Poupança nos reutilizáveis	3 370,50 €	3 370,50 €	3 370,50 €	-	-	-
Investimento /Máquina	3 787,32 €	3 787,32 €	3 787,32 €	7 157,82 €	7 157,82 €	7 157,82 €
Total:	32 835,42 €					

Do material reutilizado obtivemos uma redução ao custo total do investimento de **10 111,5 €**. Aplicando esta redução diretamente no investimento dos manipuladores de balança desenvolvidos neste trabalho, para as seis máquinas de injeção selecionadas, o custo total foi de **32 835,42 €**.

Implementação do sistema de alimentação de arames

O sistema automático de alimentação de arames passou por um conceito totalmente novo que necessitou de ser testado, antes de se replicar para a outra bucha da referência M3M4. A validação deste sistema necessitou apenas de um alimentador, uma vez que o manipulador já se encontrava em funcionamento na realização da extração de componentes. Na Figura 307 encontra-se o sistema de alimentação automático instalado para uma das meias moldações da referência M3M4 SP.



Figura 307 - Conjunto automático implementado para uma das duas meias moldações.

Com a realização deste protótipo foi possível verificar que a ideia era funcional e capaz de cumprir com o objetivo. Apesar do sistema funcionar, após algumas horas de funcionamento verificou-se que a alimentação dos arames à gaveta por vezes bloqueava. Este problema tinha origem nas distorções do arame, aquando da sua conformação. Este problema já tinha sido o fator principal para inviabilizar o funcionamento do primeiro protótipo do alimentador. Contudo, neste caso estávamos perante uma situação diferente, pois aqui o sistema funcionava, apenas não era fiável o suficiente para um funcionamento prolongado sem interrupções.

Com os graus de liberdade deixados em afinações de alguns dispositivos, foi possível eliminar grande parte das paragens ocorridas. Foram também acrescentados alguns dispositivos auxiliares que ajudaram a fiabilizar ao máximo o sistema. É de salientar que estes dispositivos já se encontram contabilizados na lista de peças e orçamentos realizados anteriormente. Os dispositivos usados foram um conjunto de três calcadores que ajudam o arame a cair na gaveta, quando este é selecionado. Na Figura 308 encontra-se demonstrada esta melhoria realizada, depois de analisado o funcionamento do protótipo.

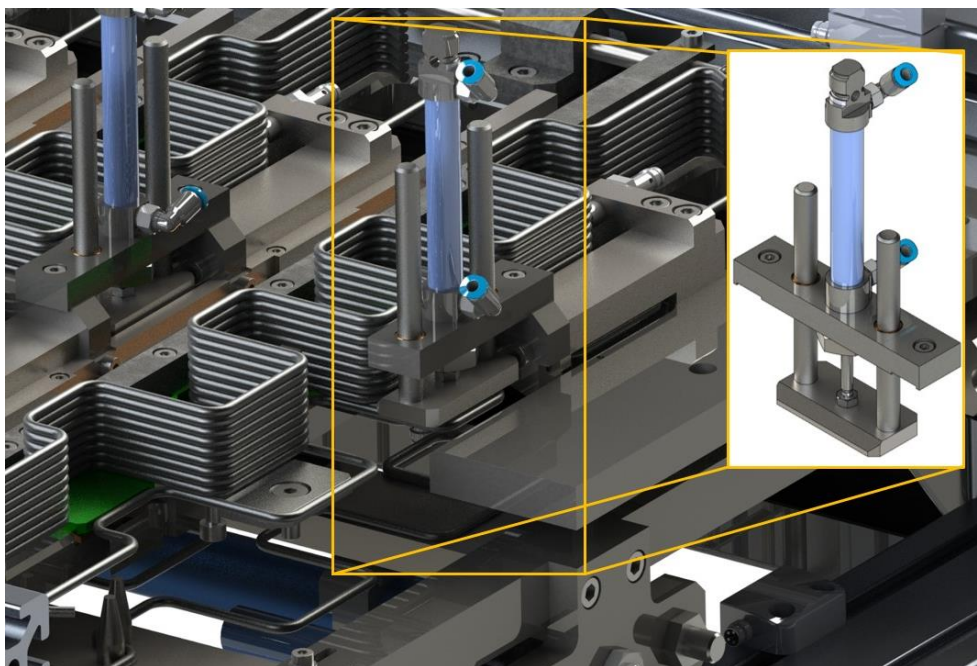


Figura 308 - Calçadores auxiliares na queda do arame para a gaveta.

Com isto, reuniram-se as condições necessárias para fabricar o segundo alimentador. Contudo, face aos problemas de segurança identificados anteriormente na parte do abastecimento de arames ao alimentador, a empresa decidiu que se deveria encontrar primeiro uma solução para eliminar o abastecimento dos arames no topo do alimentador. No subcapítulo (3.6.) será apresentada uma abordagem a este problema, onde foi desenvolvida uma solução para eliminar este problema.

3.5.8. Estudo económico do processo (análise financeira)

Manipulador de Bâsculas

Considerando o orçamento do manipulador de básculas, realizou-se um estudo do tempo necessário para amortizar o investimento da implementação em mais seis máquinas injetoras dos sistemas de conforto, contabilizando já os componentes reutilizados.

A realização deste estudo baseou-se na estimativa de produção do ano de 2014 no módulo dos sistemas de conforto e, conseqüente, ganho de produtividade com a implementação dos

manipuladores. Na Tabela 36 encontram-se representadas as informações essenciais de condições de trabalho e investimento efetuado para a realização do estudo.

Tabela 36 - Dados referentes às condições de trabalho e investimento efetuado nos manipuladores de balança.

Dados relevantes relacionados com o manipulador de básculas	
Estimativa de produção para 2014	8 670 795 Unidades
Dias de trabalho / Ano	235 Dias
Número de turnos / Dia	3 Turnos
Horas de trabalho / Turno	7,5 Horas
Salário operador / Ano	12 000 €
Investimento em 6 Máquinas	32 835,40 €
Investimento / Máquina	5 472,57 €

A Tabela 37 representa a comparação entre a produtividade por máquina, sem manipuladores e com manipuladores.

Tabela 37 - Produtividade sem manipuladores vs Produtividade com manipuladores.

	Sem manipuladores	Com manipuladores
Produção/hora (Sem manipulador)	126 Unidades	148 Unidades
Nº Turnos	39 Turnos	33,2 Turnos
Horas de trabalho / turno	68 815,83 Horas	58 586,45 Horas

A amortização do investimento irá resultar do ganho em euros consequente do aumento de produtividade dos manipuladores. O ganho de produtividade em horas por turno é dado pela Equação 11:

$$(h. \text{trabalho turno s/ Manipuladore}) - (h. \text{trabalho turno c/ Manipuladores}) \quad (11)$$

Substituindo pelos valores da Tabela 37 na Equação 11, o ganho de produtividade em horas com o uso de manipuladores representa:

$$68\,815,83 - 58\,586,45 = 10\,229,38 \text{ Horas}$$

O valor das horas ganhas em euros é função da taxa horária do operador. O cálculo da taxa horária depende do custo do operador para a empresa e do número de horas de trabalho por turno, então a partir da Equação 12:

$$Taxa\ horária = (\text{Salário operador/Ano})/(\text{Dias trabalho /Ano})/(\text{Horas trabalho/Turno}) \quad (12)$$

Substituindo os valores temos obtém-se:

$$Taxa\ horária = 12\ 000\text{€}/235/7,5 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow Taxa\ horária = 6,81\ \text{€/hora}$$

Assim, o ganho em euros obtido é dado pelo produto da taxa horária e número de horas ganhas, como demonstrado na Equação 13:

$$Ganho\ euros/Ano = Taxa\ horária \times Horas\ ganhas \quad (13)$$

Substituindo as variáveis na Equação 13:

$$Ganho\ euros/ano = 6,81 \times 10\ 229,38 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow Ganho\ euros/ano = 69\ 646,85\ \text{€}$$

Considerando que o módulo dos sistemas de conforto possui dezasseis máquinas injetoras, o ganho obtido por máquina é de **4 352,93 €**.

O retorno do investimento pode agora ser calculado a partir da razão entre o valor investido e o ganho obtido por máquina (Equação 14):

$$Período\ de\ amortização\ (meses) = \frac{Investimento/Máquina}{Ganho/Máquina} \times 12 \quad (14)$$

Substituindo os valores na Equação 14:

$$Período\ de\ amortização\ (meses) = \frac{5\ 472,57\ \text{€}}{4\ 352,93\ \text{€}} \times 12 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow Período\ de\ amortização\ (meses) = 15,1\ meses = 1\ ano\ e\ 3,1\ meses$$

O período de amortização do investimento para as seis máquinas injetoras é de cerca de **1 ano e 3 meses**.

Sistema de alimentação/extração M3M4

A análise de investimento realizada para o sistema de alimentação e extração automática M3M4 incidiu principalmente no ganho obtido pela redução da mão-de-obra na tarefa de introdução

de arames no molde e extração de componentes injetados. Na Tabela 38 encontram-se representados os dados relevantes fornecidos pela FicoCables para determinar o período de amortização do investimento necessário neste projeto.

Tabela 38 - Dados referentes às condições de trabalho e investimento efetuado no sistema de extração/alimentação M3M4.

Dados relevantes relacionados com sistema automático M3M4	
Número de turnos / Dia	2 Turnos
Salário operador / Ano	12 000 €
Investimento	14 698€

Sabe-se, por dados fornecidos pela empresa, que este projeto trabalha a pelo menos dois turnos e o custo de um operador não qualificado na empresa, em termos médios, é de 12000 € / ano. A partir destes dados, o retorno do investimento orçamentado para este projeto é dado pela redução do custo de dois operadores (um por turno). Atendendo a esta análise, o cálculo do período de amortização é dado pela Equação 15:

$$\text{Período de amortização (meses)} = \frac{\text{Investimento/Máquina}}{\text{Ganho/Máquina nos 2 turnos}} \times 12 \Leftrightarrow \quad (15)$$

$$\Leftrightarrow \text{Período de amortização (meses)} = \frac{14\,698\,€}{2 \times 12\,000\,€} \times 12 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \text{Período de amortização (meses)} = 7,3 \text{ meses}$$

O período de amortização do investimento deste sistema automático é cerca de **7 meses**.

3.6. Melhorias futuras no sistema automático de alimentação de arames

Anteriormente, no subcapítulo (3.5.4.3.), referiu-se que não era considerada boa prática fazer com que o abastecedor de arames necessite de subir escadas com uma caixa de arames, para depois abastecer o alimentador. Embora numa fase inicial não fosse uma restrição para este projeto fazer com que os arames fossem alimentados pelo operador a partir do chão de fábrica, tal não se pôde concretizar, pois iria aumentar significativamente o custo do equipamento. Contudo, decidiu-se apresentar a solução deste problema como uma melhoria futura a implementar neste projeto.

Objetivo

O objetivo principal desta melhoria consiste em eliminar a escada de acesso ao topo do alimentador e permitir ao abastecedor carregar o alimentador com arames a partir do chão. As características importantes definidas para este sistema são as seguintes:

- Carregamento de arames pelo abastecedor a partir do chão de fábrica;
- Mecanismo facilmente adaptável ao alimentador existente;
- Capacidade de carga automática de uma só vez, para evitar tempos de espera por parte do abastecedor.

Conceito estudado

A tarefa de abastecer o topo do alimentador necessitaria de algo como um elevador que permitisse ser carregado a partir de uma posição mais baixa, e posteriormente subir e carregar o alimentador pelo seu topo automaticamente. Este movimento poderia ser realizado por um cilindro mas, como o topo, do alimentador tem cerca de 2,2 m de altura, esta hipótese foi logo excluída, pois o cilindro teria de possuir um curso demasiado longo. Para contornar este problema, pensou-se então numa transmissão por correia dentada, acionada por um motoredutor, em que o elevador estaria acoplado em algum ponto da correia que o faria subir ou descer. Um outro ponto bastante importante deste mecanismo seria a transição e guiamento dos arames do elevador para dentro do alimentador. Esta operação pode ser realizada por guias inclinadas posicionadas no topo do alimentador, e um sistema de bloqueio de arames no elevador, que liberta os arames quando estes chegam à posição de realizar a alimentação. Depois de idealizado o sistema, a solução encontrada para a realização desta tarefa encontra-se demonstrada na Figura 309.

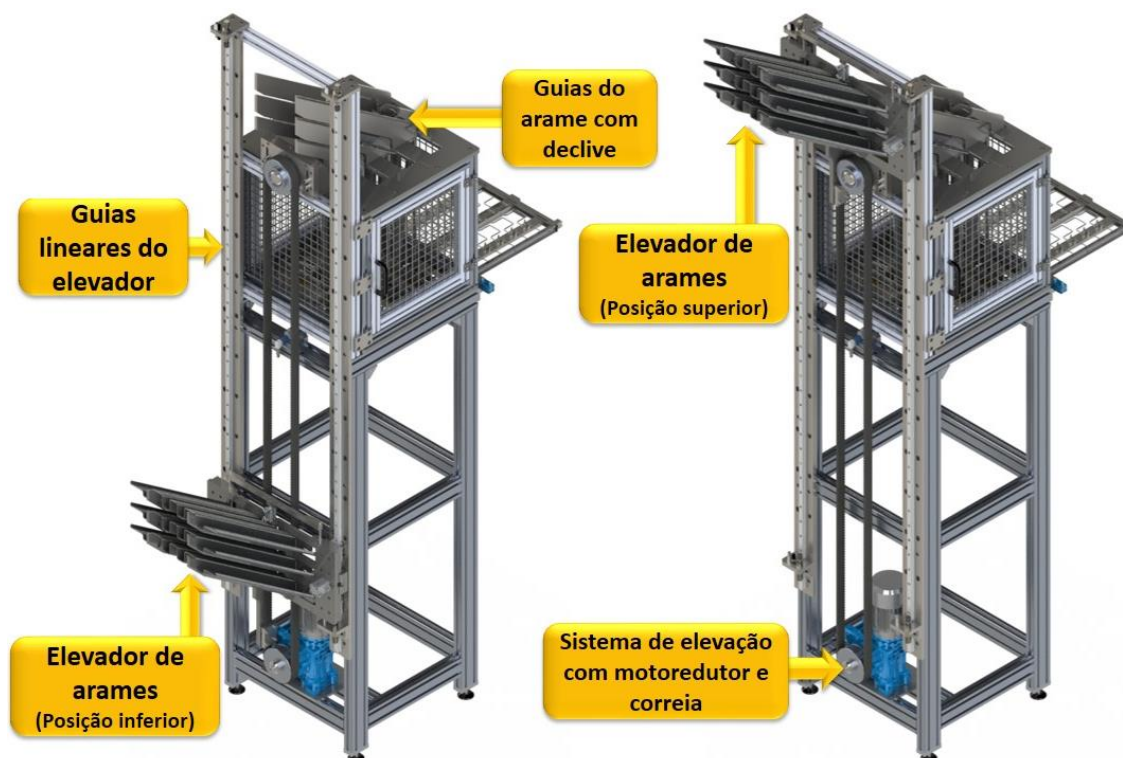


Figura 309 - Sistema de elevação de arames desenvolvido.

Atendendo à Figura 310, o elevador encontra-se montado nas traseiras da estrutura do alimentador, guiado por dois carros assentes em duas guias INA (pormenor 2), permitindo apenas que um braço localizado na parte inferior do elevador faça a fixação à correia dentada e assim, transmitir o movimento de subida e descida ao sistema (pormenor 4). Existem quatro batentes fim de curso, ou seja, um em cada extremidade das duas guias do elevador. Cada batente possui um amortecedor e um perno roscado para realizar o ajuste do elevador na posição mais baixa e mais elevada (pormenor 1). A partir do pormenor 3 da Figura 310, é possível observar as guias com inclinação que possuem a função de guiar os arames desde o elevador até ao topo do alimentador.

Relativamente ao elevador, as guias onde são colocados os arames possuem um comprimento equivalente à capacidade do alimentador e constituem igualmente três colunas de arames. Na base do elevador acrescentou-se um sistema de bloqueio de passagem de arames, para que estes só sejam libertados quando o elevador estiver na posição correta de abastecimento. Também foram acrescentados dois sistemas de bloqueio laterais, acionados por cilindros pneumáticos, que fazem com que o elevador fique travado na posição mais elevada ou, em caso de rotura da correia, existam várias furações ao longo das guias laterais que permitem travar o elevador, para que este não sofra uma queda abrupta. Na Figura 311 encontra-se ilustrado o elevador, com os respetivos sistemas de bloqueio de arames e segurança.

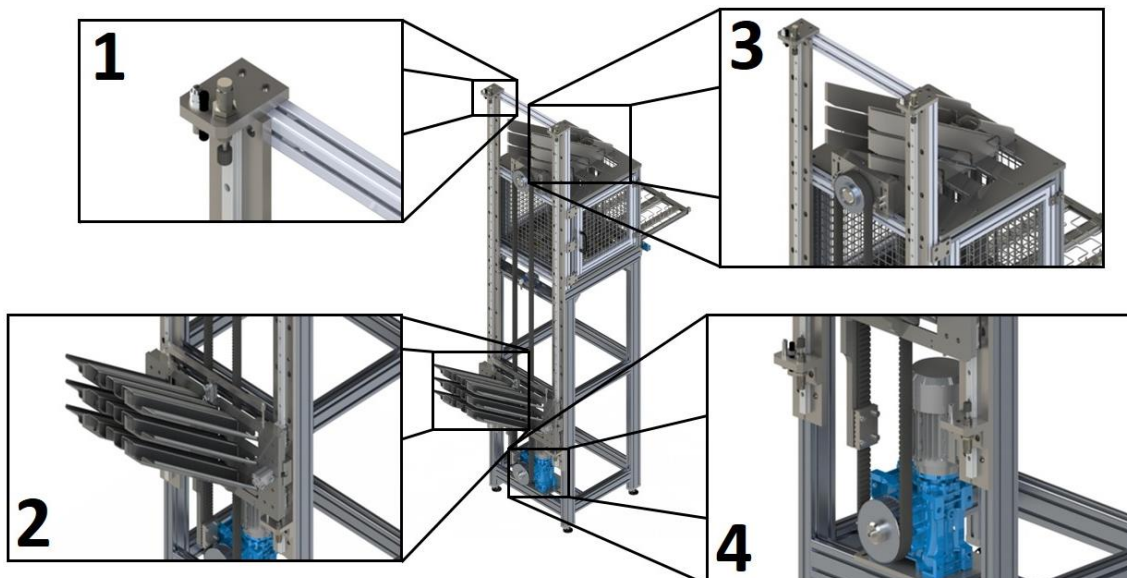


Figura 310 - Alguns detalhes do funcionamento do elevador.

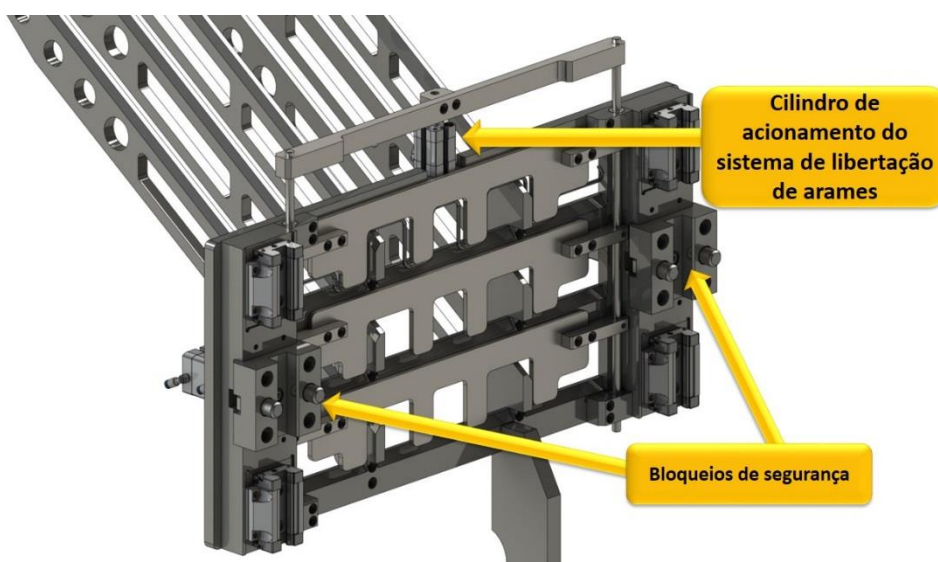


Figura 311 - Elevador e respetivos sistemas de bloqueio.

O funcionamento do sistema de bloqueio dos arames do elevador encontra-se representado na Figura 312. O sistema é acionado por um cilindro pneumático posicionado no topo do elevador que transmite movimento a três réguas responsáveis por bloquear ou desbloquear a passagem dos arames. O movimento é transmitido às três réguas em simultâneo, a partir de um sistema semelhante ao do alimentador de arames, ou seja, dois veios laterais conectam as três réguas ao cilindro que anima o sistema.

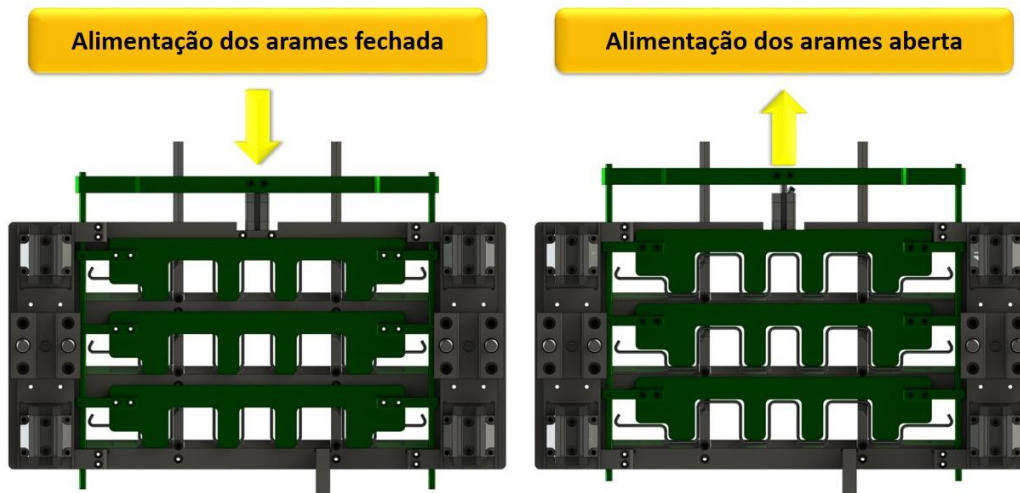


Figura 312 - Sistema de bloqueio e desbloqueio dos arames do elevador.

Quando o elevador carregado sobe e atinge a posição mais elevada para efetuar o abastecimento do alimentador, os arames são libertados e escorregam diretamente por guias inclinadas que conduzem o arame para o interior do alimentador. No detalhe da Figura 313 encontra-se representado o guiamento dos arames existente no topo do alimentador.

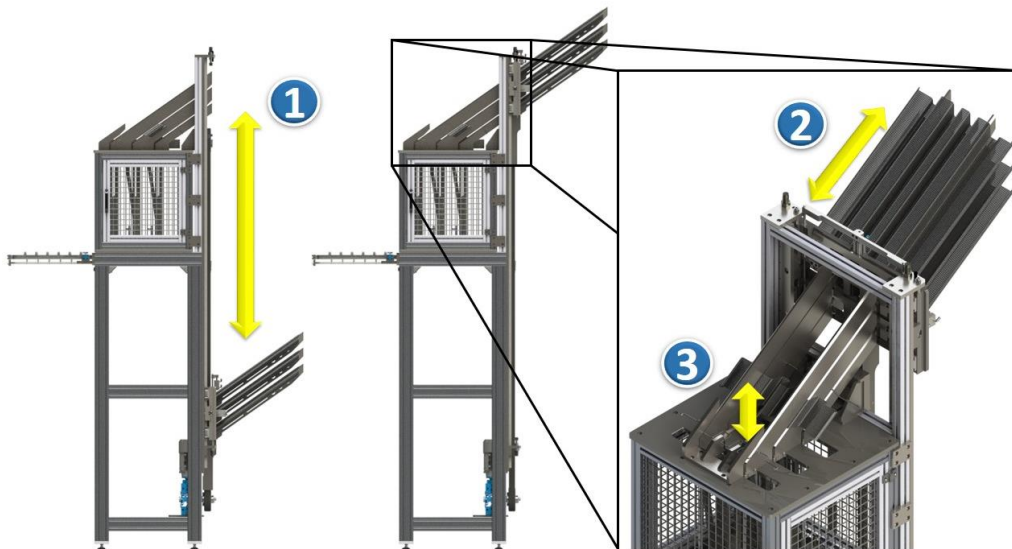


Figura 313 - Sequência de funcionamento do sistema de abastecimento do elevador.

Atendendo à Figura 313, a sequência realizada para o abastecimento de arames inicia-se com o elevador na posição inferior (1). De seguida, o abastecedor preenche as guias do elevador com arames e na respetiva ordem de abastecimento. O elevador sobe e atinge a posição superior (2), onde os arames são libertados e conduzidos para dentro do alimentador (3).

Na Figura 314 encontra-se representado o *layout* atualizado do sistema de abastecimento/extração M3M4, onde os alimentadores já possuem sistema de elevação de abastecimento de arames a partir do chão de fábrica.



Figura 314 - *Layout* do sistema M3M4 automático, com elevador de arames.

Relativamente ao impacto desta melhoria, existem algumas vantagens e desvantagens quando comparadas com o sistema manual, que se encontram elencadas na Tabela 39.

Tabela 39 - Sistema de elevador vs escada com suporte para caixa.

Elevador de arames vs Sistema manual com escada	
Maior investimento inicial	Menor investimento inicial
Melhor ergonomia para o abastecedor	Ergonomia condicionada
Sem risco de queda em altura	Risco de queda em altura (existência de escada para acesso ao topo do alimentador)
Inexistência de movimentação manual de cargas para abastecimento	Colocação de caixa de arames no suporte (necessita de subir escadas)
Maior complexidade do sistema	Sistema mais simples
O abastecimento pode ser programável para quando a máquina precisar dos arames	O abastecedor necessita de vigiar constantemente o sinal luminoso para realizar o abastecimento
A máquina necessita de vedação na periferia (máquina de injeção de plástico) como garantia de segurança devido ao movimento realizado pelo elevador	Apenas necessárias proteções do próprio alimentador
Maior risco de encravamentos durante o abastecimento	Menor risco de encravamentos no abastecimento

Página intencionalmente deixada em branco

4. Conclusões

A automatização de processos de fabrico tem como principal objetivo o aumento de produtividade e qualidade dos produtos, com uma redução dos custos associados de produção. Tarefas como o processo de sobre-injeção de plástico abordado neste trabalho, são o caso típico de tarefas automatizáveis, não só por se conseguir uma redução do tempo de ciclo, mas também por se tratar de um processo repetitivo que está muitas vezes relacionado com o desenvolvimento de doenças profissionais.

Os objetivos deste trabalho incidiam no desenvolvimento de dispositivos para melhorar o processo de injeção de plástico com recurso à automatização parcial ou total das suas operações.

Na primeira fase deste trabalho, o objetivo principal foi o projeto de um manipulador universal, capaz de extrair a maioria das referências produzidas no módulo de injeção. A solução passou por contornar o problema das contra-saídas existentes na maioria das peças sobre-injetadas. Com a solução da adaptação do manipulador universal para um manipulador com dupla báscula, conseguiu-se eliminar este problema e realizar a extração em automático de praticamente todos os componentes injetados. Com a validação da solução por parte da empresa, construiu-se um protótipo de teste que correspondeu ao expectável. Mais tarde, o projeto foi estendido a mais máquinas injetoras.

A reutilização de material existente na empresa foi também, um objetivo imposto para a realização deste projeto. A implementação dos manipuladores em mais seis máquinas teve um custo de apenas **32 835,42 €**, devido a uma redução de **10 111,50 €**, conseguida com a reutilização de material de manipuladores dedicados obsoletos. O uso dos manipuladores permitiu um ganho de produtividade em cada par máquina de **17,5%**, que resultaram num retorno do investimento realizado de aproximadamente **1 ano e 3 meses**.



A segunda fase do trabalho passou por desenvolver um sistema que automatizasse o processo de sobre-injeção de uma referência de elevados volumes de produção. A solução adotada baseou-se em reaproveitar um manipulador rotativo com servomotor existente numa das máquinas, para realizar a incorporação de arames no molde e também a respetiva extração do

produto acabado. O sistema de extração dedicado para a referência pretendida (M3M4 SP) foi desenvolvido, testado e colocado em funcionamento.

O alimentador de arames foi o último dispositivo a ser desenvolvido, tendo sido também a solução em que apareceram as maiores dificuldades, devido a variações presentes no arame. Numa primeira abordagem, construiu-se um protótipo dum módulo da primeira versão do alimentador, e daí percebeu-se que o sistema possuía bastantes lacunas que teriam de ser solucionadas. Partindo das lições aprendidas com este protótipo, desenvolveu-se o alimentador de máscaras que colmatou os problemas encontrados na versão anterior. O novo sistema foi orçamentado em cerca de **14 697,76 €**, o que levou a empresa a partir para a realização de um protótipo, com o objetivo de testar todo o sistema automático em uma das meias moldações do projeto M3M4. O sistema automático cumpriu com sucesso o objetivo, tendo-se conseguido pela primeira vez na empresa ter automatizada a operação de alimentação de arames ao molde. Relativamente ao retorno do investimento para a implementação deste sistema na totalidade da máquina, verificou-se que ao eliminar o uso de mão humana nestas operações, e sem considerar qualquer ganho de produtividade, o período de amortização seria de aproximadamente **7 meses**. É importante referir que eliminar postos de produção com intervenção humana não significa despedir o operador. De facto, constitui uma oportunidade para o próprio operador assumir funções com maior valor acrescentado para a empresa.

Apesar do sistema estar completamente funcional, detetou-se algumas melhorias a nível de ergonomia e segurança, que poderiam ser contempladas no segundo alimentador a construir para outra meia moldação. Estas melhorias estão principalmente relacionadas com o tornar mais fácil o abastecimento de arames no alimentador. As sugestões apresentadas no último capítulo deste trabalho foram aceites pela empresa e o segundo alimentador já terá contemplado o novo sistema de abastecimento de arames com elevador, que posteriormente será adaptado no alimentador já em funcionamento. Na Tabela 40 encontram-se sintetizados os principais detalhes e características dos projetos desenvolvidos neste trabalho.

Tabela 40 - Quadro resumo dos principais dispositivos desenvolvidos (Manipulador de básculas e sistema automático M3M4).

Dispositivos	Caracterização	Investimento	Vantagens	Payback
<p>Manipulador de Básculas</p> 	<p>Sistema de extração automático de peças sobre-injetadas do tipo cartesiano, que possui um sistema basculante para ajudar a desmoldar as contra-saídas das peças quando extraídas.</p>	<p>Investimento teórico: 42 946,92 €</p> <p>Investimento real: 32 835,42 €</p> <p>Amortização com o uso dos reutilizáveis: 10 111,50 €</p>	<p>17,5% de ganho de produtividade</p> <p>Maior facilidade da realização do setup quando comparado com o manipulador universal.</p>	<p>Período de amortização do investimento de 1 ano e 3 meses.</p>
<p>Sistema automático M3M4</p> 	<p>Sistema automático que permite automatizar o processo de sobre-injeção de plástico da referência M3M4 SP, a partir de um manipulador rotativo e um alimentador de arames.</p>	<p>Investimento necessário para automatizar uma máquina: 14 697,76 €</p>	<p>7% de ganho de produtividade e redução do erro introduzido pela mão humana. Processo com potencial aumento de produtividade, recorrendo a parâmetros de injeção devido ao aumento de estabilidade proporcionado pelo modo automático.</p>	<p>Período de amortização do investimento de 7 meses.</p>

No geral, este projeto excedeu largamente o planeado, obtendo-se sempre um *feedback* bastante positivo quando as soluções foram apresentadas à empresa. Foi extremamente gratificante ter-se conseguido passar as ideias à prática e, no fim, ter a capacidade de replicar o conceito em mais máquinas.

Com este trabalho foi possível obter uma evolução do conhecimento pessoal bastante significativo no que respeita a projeto de equipamentos. Este crescimento não esteve apenas associado à realização dos vários projetos, mas também ao acompanhamento da fase de montagem e arranque, que permitiu visualizar detalhes a serem melhorados, que muitas vezes passam despercebidos na fase de projeto. Com isto, construiu-se uma base passível de permitir uma maior eficiência na realização de trabalhos futuros.

Página intencionalmente deixada em branco

5. Bibliografia e Outras Fontes de Informação

- [1] INTELI, "Diagnóstico da Industria Automóvel em Portugal. Ministério da Economia e Inovação." 2005.
- [2] N. E. F. F. de Oliveira, "A evolução organizacional das empresas nacionais nas cadeias de fornecimento da indústria de componentes para automóvel," Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2009.
- [3] F. Veloso, H. Chris, and R. Roth, "Can Small Firms Leverage Global Competition? The Portuguese Automotive Supplier Industries," 2000.
- [4] C. Henry, R. Roth, and F. Veloso, "Evidence From The Portuguese And Brazilian Automotive Supplier Industries," in *Can Small Firms Leverage Global Competition?*, 2000.
- [5] J. R. Felizardo, "A Industria Automovel em Portugal - Elementos de Reflexão para o futuro." Lisboa, 2004.
- [6] L. C. P. B. Reis, "Factores Estratégicos de Desenvolvimento da Industria de Componentes para Automóvel em Portugal - Os Determinantes da Qualidade das Empresas," Lisboa, 2001.
- [7] M. C. Ramos and J. F. Ribeiro, "Ministério do Ambiente, Do Ordenamento Do Território E Do Desenvolvimento Regional," 1999.
- [8] W. F. da S. Araújo, "Optimização de processo semiautomático de fabrico de componentes para automoveis," Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2014.
- [9] M. Abreu, *As actividades de I&DT na indústria portuguesa*. O economista. Nº8. Anuário da economia portuguesa p.3, 1995.
- [10] IBM, "Requirements engineering for the automotive industry." 2009.
- [11] AEP, "No Title." [Online]. Available: <http://www.aeportugal.pt/Inicio.asp?Pagina=/Areas/Qualidade/FerramentasQualidadeNorma16949&Menu=MenuQualidade>. [Accessed: 02-Jul-2014].
- [12] J. Z. Bloom, I. J. Lambrechts, and N. J. le Roux, "Distinguishing between capital intensive and labour intensive enterprises listed in the industrial sector of the JSE," 1998.
- [13] M. Ford, *The Lights in the Tunnel: Automation, Accelerating Technology and the Economy of the Future*. Acullant, 2009.
- [14] A. C. B. Studies, "Labour and capital intensive production." [Online]. Available: <http://business-blog.ashbournecollege.co.uk/unit-3-strategies-for-success/operational-strategies/labour-and->

- capital-intensive-production/. [Accessed: 04-Nov-2014].
- [15] M. P. Groover, *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*, 2^o ed. Prentice Hall, 2000.
- [16] G. Michalos, S. Makris, N. Papakostas, D. Mourtzis, and G. Chryssolouris, "Automotive assembly technologies review: challenges and outlook for a flexible and adaptive approach," *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 81–91, 2010.
- [17] Y. Koren, *THE GLOBAL MANUFACTURING Product-Process-Business Integration*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2010.
- [18] Y. Koren and M. Shpitalni, "Design of reconfigurable manufacturing systems," *J. Manuf. Syst.*, vol. 29, no. 4, pp. 130–141, 2010.
- [19] A. B. Moniz, "Competitividade no sector automóvel e formas inovadoras de gestão do emprego em Portugal," Lisboa, 2006.
- [20] P. M. S. Nunes and F. J. G. Silva, *Increasing Flexibility and Productivity in Small Assembly Operations: A Case Study*. Springer, 2013.
- [21] C. Releco, "Automação Industrial – Definição e História." [Online]. Available: <https://www.comatreleco.com.br/automacao-industrial-historia/>. [Accessed: 17-Oct-2014].
- [22] S. Y. Nof, "Springer Handbook of Automation," Springer, 2009, pp. 26–28.
- [23] L. Silva, "TecFolha Tecnologia," 2014. [Online]. Available: <http://tecfolha.blogspot.pt/2014/06/grandes-invencoes-tecnologicas-conheca.html>. [Accessed: 21-Oct-2014].
- [24] G. Santos, "O que é Automação Industrial – Parte II." [Online]. Available: <http://www.automacaoindustrial.info/o-que-e-automacao-industrial-parte-ii/>. [Accessed: 12-Sep-2014].
- [25] Lenze, "Automotive: a diverse range of solutions for vehicle manufacturing." [Online]. Available: <http://www.lenze.com/en/industry-sector-expertise/automotive/press-shop/>. [Accessed: 22-Oct-2014].
- [26] AFT-Group, "Electric Suspension Conveyor EMS." [Online]. Available: <http://www.aft-group.de/en/products/electric-suspension-conveyor/specification.html>. [Accessed: 08-Oct-2014].
- [27] M. Engineering, "Flexible Automation for Automotive," 2012. [Online]. Available: <http://www.sme.org/MEMagazine/Article.aspx?id=67747>. [Accessed: 28-Oct-2014].
- [28] S. Eurodrive, "Innovative drive and automation solutions for the automotive industry," 2014. [Online]. Available: <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/16878019.pdf>. [Accessed: 16-Oct-2014].

- [29] Cynergyergonomics, "Custom Ergonomic Lifting Devices and Lift Assists." [Online]. Available: <http://www.cynergyergonomics.com/custom-ergonomic-lifting-devices>. [Accessed: 08-Oct-2014].
- [30] F. Borges, "O que é um PLC - Centro de Formação, Schneider Electric Portugal," 2008.
- [31] T. Industriais, "Autómatos Programáveis PLCs - Programação, inputs/outputs," 2012. [Online]. Available: <https://tecnologiasindustriais.wordpress.com/category/automatos-programaveis/>. [Accessed: 21-Sep-2014].
- [32] Festo, "Festo - Learning Systems." [Online]. Available: <http://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/equipment-sets/automation-technology-plc/festo-cecc-codesys-v3-compact-controller.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4xOC4xMjMxLjc3ODA>. [Accessed: 18-Feb-2015].
- [33] T. D. S. Alves, "Automação Industrial II." Escola Superior de Tecnologia de Abrantes, Abrantes, 2005.
- [34] S. T. Handbook, *Sensor Technology Handbook*. Elsevier, 2005.
- [35] Festo, "Sensores Festo." [Online]. Available: http://www.festo.com/cat/pt_pt/products_050501. [Accessed: 01-Oct-2014].
- [36] L. Citizen Micro Co., "Rotary Encoder," 2009. [Online]. Available: <http://www.citizen-micro.com/tec/encoder.html>. [Accessed: 04-Sep-2015].
- [37] F. Silva, A. Santos, and R. Campilho, "Automação I - Atuadores Pneumáticos," Porto, 2011.
- [38] A. M. de A. Santos and A. J. de S. F. da Silva, *Automação Pneumática*, 2º ed. PUBLINDÚSTRIA, 2010.
- [39] M. J. Inácio, "Engenharia de Controlo e Automação," 2009.
- [40] R. Firoozian, *Servo Motors and Industrial Control Theory*. Springer.
- [41] Y. Tansel İç, M. Yurdakul, and B. Dengiz, "Development of a decision support system for robot selection," *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 29, no. 4, pp. 142–157, 2013.
- [42] Y. Yamauchi, *Application and evaluation of robots in Nissan*. Automotive Manufacturing International, 1993.
- [43] B.-B. A. & R. Association, "BARA - Why Use Robots?" [Online]. Available: <http://www.bara.org.uk/robots/why-use-robots.html>. [Accessed: 12-Jan-2015].
- [44] V. Systems, "Smart Cameras Think Outside the Box," 2012. [Online]. Available: <http://www.vision-systems.com/articles/print/volume-17/issue-1/features/smart-cameras-think-outside-the-box.html>. [Accessed: 01-Oct-2014].

- [45] R. Kumar and R. K. Garg, "Optimal selection of robots by using distance based approach method," *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 26, no. 5, pp. 500–506, 2010.
- [46] P. E. Thomas R. Kurfess Ph.D., *Robotics and Automation Handbook*. CRC PRESS, 2005.
- [47] E. Wise, *Robotics Demystified*. McGraw-Hill, 2005.
- [48] C.-C. de investigação para tecnologias Interactivas, "História da Robótica." [Online]. Available: http://www.citi.pt/educacao_final/trab_final_inteligencia_artificial/historia_da_robotica.html. [Accessed: 22-Feb-2015].
- [49] InfoSolda, "Soldadura Robotizada." [Online]. Available: <http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/fundamentos/223-soldagem-obotizada.html>. [Accessed: 22-Feb-2015].
- [50] A.-A. S. & Albeny, "Os 10 países mais robotizados do mundo," 2014. [Online]. Available: http://www.asaadogados.adv.br/asanews_detalhes.php?Cod=6853. [Accessed: 13-Dec-2014].
- [51] M. Bélanger-Barrette, "Robotics Industry News, Applications and Trends," 2014. [Online]. Available: <http://blog.robotiq.com/bid/69722/Top-5-Robotic-Applications-in-the-Automotive-Industry>. [Accessed: 04-Dec-2014].
- [52] D. Tan, "Volkswagen to build RM883m factory in Indonesia, possible production of tax-discounted eco-cars," 2013. [Online]. Available: <http://paultan.org/2013/08/26/volkswagen-to-bulid-plant-in-indonesia/>. [Accessed: 03-Dec-2014].
- [53] D. M.-M. Automação, "DAL MASCHIO." [Online]. Available: <http://www.mago.ind.br/empresa.html>. [Accessed: 12-Feb-2015].
- [54] K. Maffei, "Krauss Maffei." [Online]. Available: http://www.kraussmaffei.com/en/concept_2.html. [Accessed: 12-Feb-2015].
- [55] R. I. Association, "What's New with robotics in injection molding?," 2010. [Online]. Available: http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/What-s-New-with-Robotics-in-Injection-Molding/content_id/2198. [Accessed: 24-Feb-2015].
- [56] WPMfg, "Plastic Injection Molding." [Online]. Available: <http://www.wpmfg.com/site/over-molding>. [Accessed: 26-Feb-2015].
- [57] L. Morello, L. Rosti Rossini, G. Pia, and A. Tonoli, *The Automotive Body - Volume I: Components Design*. Springer, 2011.
- [58] ACT, "Autoridade Para as Condições do Trabalho." [Online]. Available: <http://www.act.gov.pt/%28pt-PT%29/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/AcidentesdeTrabalhoGraves.aspx>. [Accessed: 15-Sep-2015].
- [59] R. Hasan, A. Bernard, J. Ciccotelli, and P. Martin, "Integrating safety into the design process:

- elements and concepts relative to the working situation, *Safety Science*,” *Saf. Sci.*, vol. 41, pp. 155–179, 2003.
- [60] P. C. Baraldi, E. C., & Kaminski, “Ergonomic Planned Supply in an Automotive Assembly Line,” *Hum. Factors Ergon. Manuf. Serv. Ind.*, pp. 104–119., 2011.
- [61] NIOSH, “The changing organization of work and the safety and health of working people: a commentary,” *J. Occup. Environ. Med.*, vol. 45, pp. 61–72, 2003.
- [62] A. S. S. R. Miguel, *Manual de Higiene e Segurança do Trabalho*, 10° ed. Porto Editora, 2007.
- [63] F. I. S.A., “Ficosa Global Web Site.” [Online]. Available: http://www.ficosa.com/wps/wcm/connect/ficosawcm/WebPublica_ES/ElGrupo/PresenciaGlobal/Paises. [Accessed: 08-Mar-2015].
- [64] MULTIPLAS, “MULTIPLAS.” [Online]. Available: http://www.multiplas.com.tw/en/products_i_model_v-sd.html. [Accessed: 19-Apr-2014].
- [65] S. Corporation, “SolidWorks Simulation.” [Online]. Available: <http://blogs.solidworks.com/teacher/2012/11/new-certification-exam-certified-solidworks-simulation-associate-fea-1.html>. [Accessed: 10-Aug-2014].
- [66] Ramada, “Ramada Aços.” [Online]. Available: <http://www.ramada.pt/index.php?cat=45&eb=13>. [Accessed: 08-Aug-2013].
- [67] S. S. Corporation, “SAAJ Steel Corporation.” [Online]. Available: http://saajsteel.com/?page_id=1276. [Accessed: 13-Aug-2013].
- [68] ASM/MATWEB, “No Title.” [Online]. Available: <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA2024T3>. [Accessed: 18-Aug-2013].
- [69] European Steel and Alloy Grades / Numbers, “SteelNumber.com,” 2011. [Online]. Available: http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=186. [Accessed: 13-Apr-2015].
- [70] SMC, “SMC Pneumatics.” [Online]. Available: <http://www.smc-pneumatics.com/MGPM40-50-P5DWL.html>. [Accessed: 03-Feb-2015].

6. Anexos

Todos os anexos que se seguem encontram-se disponibilizados em suporte digital, num DVD que acompanha este trabalho. Os anexos estão subdivididos nas seguintes secções:

- **Anexo I** » Características das máquinas de injeção;
- **Anexo II** » Avaliação de riscos dos equipamentos desenvolvidos;
- **Anexo III** » Folha de *Setup* do manipulador e mapas de pinças;
- **Anexo IV** » *Datasheet* Normalizados;
- **Anexo V** » Desenhos técnicos Manipulador de Básculas;
- **Anexo VI** » Desenhos técnicos Manipulador Rotativo M3M4/IBK Sup. Lateral;
- **Anexo VII** » Desenhos técnicos Alimentador M3M4.