

# Conceção e simulação de um sistema robótico para operações de injeção de volantes

*António Rafael Carneiro Vaz Martins*

**Dissertação de Mestrado**

Orientador na FEUP: Paulo Augusto Ferreira de Abreu

Orientador Empresa: Francisco Alexandre Teixeira Marques Barbosa



**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**  
**Ramo de Automação**

Setembro de 2016



*À minha querida Afonso,*

## Resumo

O objetivo desta dissertação é conceber uma solução robótica que permita a automatização de uma célula de injeção de volantes.

De forma a apresentar uma solução foi necessário efetuar uma análise do processo em vigor, assim como a modelação tridimensional da célula real.

Com a informação recolhida, foi concebido o órgão terminal do robô, que inclui ferramentas adequadas à realização de todos os processos: aplicação de desmoldante e laca, prensão de aros e volantes, limpeza de canais de fuga, extração de setas e limpeza do molde. Após definição das ferramentas, o desenho do órgão terminal foi desenvolvido de forma a conseguir-se o melhor compromisso entre atravancamento e massa.

Por fim, foi desenvolvida uma simulação do processo recorrendo ao software de programação e simulação de robôs industriais RobotStudio da ABB. Foram desenvolvidos e programados os dispositivos constituintes da célula robótica, tirando partido da funcionalidade de criação de *Smart Components*. De forma a aferir a viabilidade da implementação da solução desenvolvida, fez-se uma análise de tempos de produção tendo-se concluído que a célula robótica tem tempos de produção similares ao da solução atualmente existente.



# **Design and simulation of a robotic system for steering wheels injection operations**

## **Abstract**

The aim of this dissertation is to design a robotic solution that allows full automation of steering wheels injection cell.

In order to present a solution, it was necessary to make an analysis of the process in place, as well as three-dimensional modeling of the actual cell.

With the information gathered, the robot end effector was designed. It includes appropriate tools to carry out all processes: application of mold release and lacquer, hold steering wheel rims and steering wheels, perform escape canal cleaning, extraction of arrows and mold cleaning. After selecting the required tools, the end effector was designed and the achieved solution presents a good compromise between mass and size.

Finally, the robot was programmed and the cell was simulated using the ABB software package RobotStudio. To achieve a realistic simulation, the mechanisms of the support of the molds and other tools were created using the Smart Components functionality available within RobotStudio. The feasibility of the proposed solution was evaluated and it was concluded that the proposed robotic cell is able to produce steering wheels at a rate similar to the actual process.



## Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço ao meu orientador, o Professor Paulo Augusto Ferreira de Abreu, por todo o apoio, paciência e ajuda disponibilizados durante todo o processo de elaboração desta dissertação.

Agradeço, da mesma forma, ao Professor Fernando Gomes de Almeida, pela capacidade de adaptação do trabalho proposto, para um formato de dissertação acadêmica exequível num período temporal de seis meses.

Agradeço ao Eng. Francisco Alexandre Teixeira Marques Barbosa, por toda a disponibilidade e apoio dado. Queria também agradecer a todos os meus colegas da Apineq, pela rápida integração dentro da equipa, e que durante estes seis meses, me apoiaram através do seu conhecimento e experiência.

Gostaria também de agradecer à minha família. Obrigado Mãe, por me teres dado todo o teu apoio ao longo de todas as etapas superadas até esta altura, por toda a calma e esperança com que sempre me ensinaste a levar os problemas. Obrigado Pai, por seres um exemplo a seguir e por me levares a esta área na qual tenho tanto gosto em trabalhar. Obrigado Avós, por toda a disponibilidade e ajuda, sei do orgulho que sentem e sem vocês este momento não teria o mesmo significado. A toda a Família por todo o apoio dado.

Por último, mas não menos importante, tenho um agradecimento especial a fazer à minha querida Catarina Afonso, por todo o apoio, carinho e amor incondicional demonstrados ao longo do desenvolvimento desta dissertação. Quero que saibas tenho todo o prazer de te compensar por todas as horas perdidas durante estes meses. Queria agradecer também a todos os meus amigos que me acompanharam ao longo de todos estes anos, pela ajuda e apoio, pois sem vocês também não teria chegado até aqui.

A todos, um sincero obrigado!



# Índice de Conteúdos

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação.....	1
1.2	Enquadramento do projeto nas empresas.....	2
1.3	Objetivos .....	3
1.4	Estrutura da dissertação.....	4
2	Estudo e apresentação do problema .....	5
2.1	Processo de injeção de volantes.....	5
2.2	Automatização do processo de injeção de volantes.....	11
3	Desenvolvimento de garra para robô .....	15
3.1	Especificação do robô .....	15
3.2	Ferramentas para incorporação na garra .....	16
3.3	Seleção de componentes para a garra.....	21
3.4	Conceção e modelação do órgão terminal do robô .....	27
4	Modelação da linha de injeção .....	35
4.1	Desenvolvimento dos modelos CAD dos componentes principais da linha de injeção .....	35
4.2	Modelação da linha em ambiente RobotStudio .....	40
5	Desenvolvimento e apresentação da solução.....	43
5.1	Criação de mecanismos e <i>SmartComponents</i> .....	43
5.2	Parametrização do órgão terminal do robô .....	49
5.3	Procedimento para a injeção de volantes totalmente automatizadas.....	53
5.4	Análise de tempos de operação .....	54
6	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro .....	57
	Referências.....	59
ANEXO A:	Caraterísticas dos fluidos intervenientes no processo .....	61
ANEXO B:	Lógica de funcionamento dos Smart Components.....	63
ANEXO C:	Lógica de funcionamento utilizada na programação da célula robótica.....	67



## Siglas

CAD	Computer-aided Design
CPU	Central Processing Unit
HMI	Human Machine Interface
HVLP	High Volume Low Pressure
LVLP	Low Volume Low Pressure
NC	Normally Closed
NO	Normally Open
PLC	Programmable Logical controller
RS	RobotStudio
SC	Smart Component
SW	Solidworks
TCP	Tool Center Point



## Índice de Figuras

Figura 1-1 – Etapas do processo de produção dos volantes na fábrica de Vila Nova de Cerveira.....	3
Figura 2-1 – Sequência de aplicação de desmoldante.....	6
Figura 2-2 – Sequência de aplicação de laca .....	7
Figura 2-3 – Colocação do aro no molde e pormenor das guias para alinhamento do volante em relação ao molde .....	7
Figura 2-5 – Posicionamento do cabeçal auxiliado pelo operador .....	8
Figura 2-6 – Comando manual para de subida do cabeçal .....	9
Figura 2-7 – Remoção de setas do molde .....	10
Figura 2-8 – Volante pronto a ser removido à esquerda; operário a inspecionar o volante injetado e suporte rebarbado à direita .....	10
Figura 3-1 – Volume de trabalho do modelo 4600-40/2.55.....	15
Figura 3-2 – Características do modelo 4600-40/2.55.....	16
Figura 3-3 – Garras pneumáticas de dois dedos paralelos .....	17
Figura 3-4 – Garras pneumáticas de três dedos .....	17
Figura 3-5 – Esquema do funcionamento das garras angulares, à esquerda, e das garras radiais à direita[7, 8].....	18
Figura 3-6 – Gamas Festo (1º- radial e 2º- angular) e Schunk (1º- angular e 2º- Radial).....	18
Figura 3-7 - Pistolas de pulverização automáticas HVLP ou LVLP de diferentes fabricantes: Graco, Krautzberger, Wagner e Sata, respetivamente .....	19
Figura 3-8 – Três ponteiros e consequente padrão de aplicação de fluido, dos modelos mais comuns existentes no mercado.....	20
Figura 3-9 – Diversidade de modelos de bocais existente no mercado .....	20
Figura 3-10 – Variedade de ventosas existentes no mercado .....	21
Figura 3-11 – Superfície cilíndrica para prensão existente na parte posterior do aro e do volante injetado.....	21
Figura 3-12- Dente (à esquerda) e garra (à direita).....	22
Figura 3-13 – Modelo AA G40 Automatic escolhido para a pulverização da laca e do desmoldante .....	23
Figura 3-14 – Ventosa escolhida para albergar o bico de sopragem .....	24
Figura 3-15 – Modelo de uma agulha de extração de setas .....	25
Figura 3-16 – Ferramenta rotativa desoutter KC340-9.....	25
Figura 3-17 – Escova Desoutter 404.....	26
Figura 3-18 – Ferramenta rotativa com escova.....	26
Figura 3-19 – Solução final utilizada para o sistema de sopragem: ventosa, bocal e cilindro de haste oca.....	27

Figura 3-20 – Duas possibilidades de alimentação existentes para este atuador: bilateral ou centralizada.....	28
Figura 3-21 – Sistema global incluindo a placa de fixação da ferramenta ao atuador.....	28
Figura 3-22 – Sistema de extração de setas: agulha, atuador e fixação.....	28
Figura 3-23 – Corpo concebido para fixação das ferramentas utilizadas no processo de injeção .....	29
Figura 3-24 – Definição geométrica da flange 50-6-M6 usada no acoplamento da ferramenta ao robô.....	30
Figura 3-25 – Solução utilizada para fixação ao robô.....	30
Figura 3-26 – 1ª versão do órgão terminal do robô.....	31
Figura 3-27 – 2ª Versão do órgão terminal do robô.....	32
Figura 3-28 - Versão final do órgão terminal do robô.....	32
Figura 3-29 – Dimensões máximas do órgão terminal do robô.....	34
Figura 4-1 – Ilustração dos dois meios moldes: superior (à esquerda) e inferior (à direita)....	36
Figura 4-2 – Ilustração dos modelos criados para os dois meios moldes: inferior (à esquerda) e superior (à direita) .....	36
Figura 4-3 – Porta-moldes na posição de fechado para injeção .....	37
Figura 4-4 – Porta-moldes na posição de ângulo nulo (à esquerda) e em ângulo de 20° (à direita).....	38
Figura 4-5 – Porta-moldes na posição de abertura .....	38
Figura 4-6 – Cabeçal na posição recuada (à esquerda) e avançada (à direita).....	39
Figura 4-7 – Cabeçal na posição recuada e em descanso (à esquerda) e em posição avançada para injeção (à direita) .....	39
Figura 4-8 -Volante injetado após remoção dos excessos e colocação das teclas e eletrónica (à esquerda); modelo criado (à direita).....	40
Figura 4-9 – Aro de volante antes da colocação no molde.....	40
Figura 4-10 – Célula modelada criada em ambiente RobotStudio.....	41
Figura 5-1 – Ambiente de configuração dos Smart Components de um molde.....	45
Figura 5-2 – Links e Joints configurados para os dois moldes.....	45
Figura 5-3 – Posições de funcionamento: Posição fechada, posição aberta e posição de injeção .....	46
Figura 5-4 – Tempos de transição definidos para a comutação entre as diferentes poses .....	46
Figura 5-5 - Links e Joints configurados para o cabeçal .....	47
Figura 5-6 – Poses definidas para o cabeçal: home position, posto 1 aproximação, posto 1 final, posto 2 aproximação e posto 2 final.....	47
Figura 5-7 – Conveyor Guide 400 utilizado na simulação para alimentação de aros de volantes .....	48
Figura 5-8 – Conveyor criado em Solidworks para recolha de aros .....	49

Figura 5-9 – Links e Joints configurados para a garra.....	50
Figura 5-10 – Parametrização realizada em relação a TCP's para todos os elementos da garra e parametrização definida, em particular, para o referencial Limpeza .....	51
Figura 5-11 – Dependências definidas para o caso da ferramenta de prensão.....	51
Figura 5-12 – Poses definidas para todos os elementos móveis da garra .....	52
Figura 5-13 – Lógica de funcionamento do Smart Component garra para os mecanismos de limpeza, sopro, agulha e regresso á posição home .....	52
Figura 5-14 – Lógica de funcionamento do Smart Component garra para o mecanismo de funcionamento da ferramenta de prensão.....	53



## Índice de Tabelas

Tabela 2-1 – Sequência de operações entre um funcionário e dois meios-moldes.....	11
Tabela 3-1 – Especificações técnicas da pistola .....	23
Tabela 3-2 – Especificações técnicas da ponteira .....	23
Tabela 3-3 – Características do bocal SMC KN-R02-100 .....	24
Tabela 3-4 – Características de funcionamento da ferramenta rotativa desoutter KC340-9 .....	26
Tabela 3-5 – Listagem de elementos incluídos na garra .....	33
Tabela 3-6 – Análise de massas de todos os componentes incluídos no órgão terminal do robô .....	33
Tabela 5-1 – Lógica de funcionamento para o Smart Component Cabeçal.....	48
Tabela 5-2 – Análise de tempo de ciclo para todas as tarefas realizadas na célula de injeção	55

## 1 Introdução

Atualmente a produção de componentes para a indústria automóvel é uma área de trabalho bastante exigente, que concilia grandes volumes de produção, elevada qualidade nos lotes produzidos e prazos de execução reduzidos. Para o conseguir torna-se necessário desenvolver soluções tecnologicamente evoluídas de forma a acompanhar a evolução de tecnologia levando a produção a patamares cada vez mais elevados.

Neste caso em particular, pretende-se apresentar uma possível solução robótica para a automatização de dois postos de injeção instalados nas instalações da empresa TRW.

Em termos gerais, a ideia base para a referida alteração, será o aumento de qualidade do produto final, mantendo os níveis de produção e baixando o custo de produção da cada peça, eliminando os fatores associados ao erro humano. As equipas que atualmente operam nestas máquinas deverão ser recolocadas em linhas de produção, nas quais a sua presença é indispensável.

Assim, ao longo desta dissertação são abordadas todas as fases inerentes a um projeto desta escala: estudo da situação atual, proposta de uma solução, desenvolvimento e conclusão da mesma.

É indispensável chegar-se a uma solução que se apresente robusta, dadas as cadências de produção pretendidas, e que ao mesmo tempo cumpra com os pressupostos referidos.

Ao longo deste capítulo introdutório, será apresentado em detalhe o enquadramento do projeto e motivação para a realização do mesmo, tanto a nível pessoal como também nas empresas onde este foi realizado. Por fim serão abordadas em detalhe todas as etapas realizadas nesta dissertação.

### 1.1 Enquadramento do projeto e motivação

O presente projeto enquadra-se numa proposta de alteração das injetoras instaladas na fábrica de Vila Nova de Cerveira da empresa TRW a ser realizada pela empresa Apineq.

Atualmente a TRW produz cerca de 15000 volantes diariamente sendo que, dada a elevada procura, existe uma enorme pressão para elevar tanto a quantidade de unidades produzidas, como também os padrões de qualidade dos volantes produzidos. A qualidade do produto tem um peso elevado na operação uma vez que, após injeção, o único componente que pode ser reciclado é o aro metálico do volante.

Em termos de automatização a Apineq fez, recentemente, a atualização dos sistemas de controlo e parametrização da gestão da linha, através da colocação de novos autómatos, cartas de controlo, renovação da aparelhagem elétrica e criação de um novo software.

Dada a idade da instalação, não é possível equacionar novas melhorias que permitam aumentar ao mesmo tempo a produção e a qualidade aliadas a uma redução de custos. Assim sendo, a situação mais vantajosa para a TRW seria a automação total da linha de injeção sem que houvesse necessidade de alterar os equipamentos existentes.

Dessa forma, a Apineq propôs a introdução de uma célula robótica que consiga efetuar todas as operações atualmente executadas manualmente. Dessa forma, os operadores deixarão de estar em contacto com os químicos envolvidos na operação de injeção - laca, desmoldante, polioli e isocianeto - e podem ser realocados para outros locais da fábrica. Em termos de tempos de produção, é evidente que com a introdução da célula robótica deixam de existir paragens na linha para mudanças de turno e intervalos, o que dá indicação para um possível aumento da produção.

Esta dissertação pretende fazer um estudo do projeto abordando as seguintes temáticas: estudo detalhado do processo atual, escolha de ferramentas a incorporar no robô, desenvolvimento de uma solução e simulação em ambiente virtual.

Com os resultados desta dissertação pretende-se aferir as vantagens em termos de tempos de operação.

## 1.2 Enquadramento do projeto nas empresas

Tal como foi referido na secção anterior, o projeto decorreu nas instalações de ambas as empresas. Assim sendo, nesta secção serão apresentadas com algum detalhe ambas as empresas.

Principiando pela Apineq, trata-se de uma empresa criada em 1995 e especializada em engenharia de controlo de processo e automação industrial. A Apineq atua no mercado da automação industrial em múltiplas áreas, nomeadamente, desenvolvimento e aplicação de software para autómatos programáveis (PLC), consolas de operação (HMI), software de gestão integrada de linhas de produção, sistemas robóticos, inspeção, visão, monitorização e controlo de processo. Disponibiliza também serviços de desenvolvimento e aplicação de projeto elétrico para quadros e instalações de potência e comando. Recentemente, incluiu no seu leque de serviços a área do projeto mecânico, com intuito de poder apresentar soluções chave na mão, dedicadas e adaptadas aos requisitos do cliente.

Dessa forma, tornou-se bastante aliciante a possibilidade de integração do presente projeto de dissertação na equipa da Apineq, podendo desenvolver conhecimentos técnicos através da interação com elementos com bastante experiência na área.

Em relação à TRW, trata-se de uma multinacional americana que produz uma panóplia de componentes para a indústria automóvel nas áreas relacionadas com a eletrónica, direção e travagem de veículos e ainda sistemas de segurança e assistência de condução. A fábrica de Vila Nova de Cerveira está inserida numa unidade de produção de volantes que inclui ainda as fábricas de Porriño (Espanha), Ponte de Lima e Bem Arous (Tunísia). Nas referidas unidades são produzidos e montados todos os componentes integrantes dos volantes.

Em termos de produção, a unidade de Vila Nova de Cerveira, realiza a injeção de volantes para vários fabricantes, incluindo o corte, a aplicação de couro e montagem de todos os componentes elétricos: botões, *paddles* e componentes de aquecimento, excluindo os airbags que são produzidos e integrados em Ponte de Lima. O resumo de todos os processos pode ser consultado na figura 1.1.

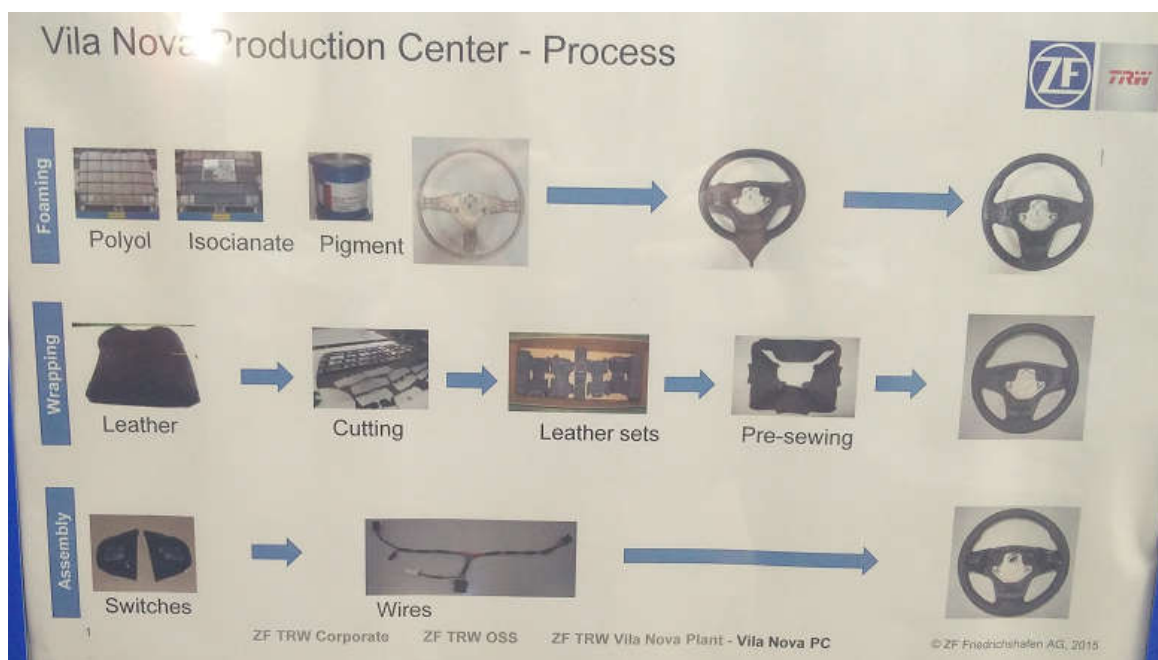


Figura 1-1 – Etapas do processo de produção dos volantes na fábrica de Vila Nova de Cerveira

### 1.3 Objetivos

De acordo com a linha de princípio apresentada anteriormente, este é um projeto que poderá interferir bastante na forma como a injeção de volantes é realizada pela empresa TRW. Pretende-se que o processo seja automatizado de modo a permitir garantir um maior controlo por forma a atingir uma uniformidade nos procedimentos e qualidade dos produtos.

Antes de iniciar a implementação física da célula robótica, tornou-se necessário realizar um estudo que englobe todas as etapas necessárias ao bom funcionamento do processo em modo completamente autónomo. Dessa forma pretende-se entender os benefícios que poderiam aumentar a produtividade do processo de injeção de volantes, mas também, possíveis problemas que poderão ocorrer, tanto durante a implementação, como no processo propriamente dito.

Assim, os objetivos desta dissertação focam-se nos seguintes temas:

- Estudo detalhado do processo de injeção atual;
- Seleção de ferramentas e criação de garra para o robô;
- Modelação da linha de injeção;
- Conceção da célula robótica;
- Programação do robô e simulação do processo de produção.

É necessário o estudo do processo, pois é imprescindível o seu conhecimento para se poder equacionar uma solução que respeite as normas desenvolvidas no processo em vigor, garantindo assim uma produtividade elevada, assim como a manutenção dos padrões de qualidade. O referido estudo foi realizado nas instalações da TRW e contará com o acompanhamento dos técnicos especializados da empresa.

Após conhecimento do processo, foram selecionadas as ferramentas a implementar no robô para permitir a realização de todas as operações de forma totalmente autónoma. Para o

conseguir foi necessário averiguar a oferta de mercado de forma a optar pelas ferramentas mais adequadas.

Paralelamente ao estudo da ferramenta existe a necessidade de modelação virtual da linha, pois apenas existe um esquemático 2D de toda a planta da zona de injeção. Com o referido modelo realizado será possível averiguar se as ferramentas escolhidas são adequadas, tanto em termos de atravancamento como de massa.

Findado o desenvolvimento da ferramenta, será realizada uma proposta de funcionamento da célula robótica, desenvolvida com recurso ao software RobotStudio. Com essa simulação pretende-se aferir se é possível ou não a total automatização do processo, se existem fases do processo em vigor que necessitarão de modificação e ainda que elementos necessitarão de ser acrescentados a linha para se conseguir realizar com sucesso o que foi proposto.

#### **1.4 Estrutura da dissertação**

A presente dissertação encontra-se organizada em seis capítulos.

No presente capítulo, é feita uma introdução ao tema e apresentados os objetivos.

No capítulo dois é apresentada uma análise ao processo de injeção de volantes, atualmente em utilização na empresa TRW.

O capítulo três apresenta o desenvolvimento da garra para o robô, bem como a seleção das diversas ferramentas que são incorporadas na garra.

O capítulo quatro apresenta o modelo 3D da linha de injeção.

O capítulo cinco apresenta a solução da célula robótica proposta, bem como a programação efetuada, quer para o robô, quer para os mecanismos que foram criados para a simulação.

O capítulo seis apresenta as conclusões e perspectivas de trabalhos futuros.

## 2 Estudo e apresentação do problema

No presente capítulo são abordados os temas relativos à automatização do processo de injeção de volantes. Inicialmente é feita uma descrição pormenorizada das etapas do processo manual atualmente em vigor. É importante referir que existem inúmeros modelos de volantes a produzir das mais variadas marcas clientes da TRW, pelo que cada modelo requer um acerto em termos de procedimento de forma a elevar os padrões de qualidade. Assim, no presente capítulo será feita a caracterização do procedimento semiautomático adotado para o modelo X82 Lacado.

Posteriormente é realizada uma análise dos benefícios e obstáculos em termos de adequabilidade da aplicação do robô ao processo. Por fim é feita uma listagem das ferramentas a incluir na garra do robô por forma a poder automatizar as diversas tarefas realizadas atualmente por um processo manual.

### 2.1 Processo de injeção de volantes

De seguida é descrito o processo de injeção de volantes atualmente em uso nas instalações da TRW. Repare-se que este processo é semi-automático, ou seja, inclui etapas que são realizadas manualmente e etapas que são realizadas de forma automática. É importante referir que a produção é feita em contínuo, exceto nas mudanças de turno, existindo um conjunto de operações sequenciais realizadas pelo operador da linha. O processo de injeção está estruturado nas seguintes dezasseis etapas.

#### 1. Aplicação de desmoldante

Operação realizada com o porta-moldes na horizontal e na posição de abertura de um meio-molde em relação a outro. Esta operação é totalmente manual, sendo que operador, auxiliado por uma pistola de pulverização de desmoldante, está encarregue de aplicar uma camada uniforme sobre todas as superfícies dos dois meios-moldes que vão estar em contacto com a espuma de injeção.

De acordo com a figura 2-1, o desmoldante deve ser primeiramente aplicado no meio molde superior começando pelas 3h ou 9h na direção dos ponteiros do relógio e pela parte interior do aro até completar uma volta. Voltando às 3h ou 9h a operação é repetida, mas desta vez pelo exterior do aro até se realizar uma nova volta completa.

Posteriormente deve-se aplicar desmoldante nos braços começando pelas 3h ou 9h, aplicando desde as superfícies mais exteriores até à zona mais central.

Repetir o mesmo processo para o molde inferior.

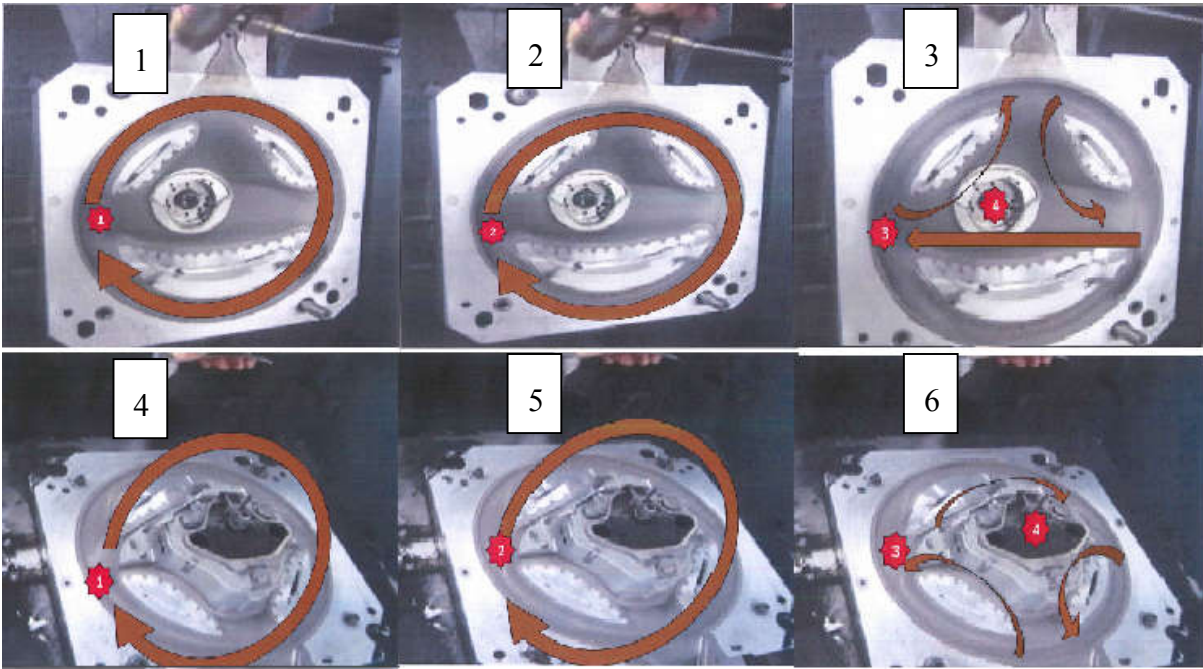


Figura 2-1 – Sequência de aplicação de desmoldante

É de notar que, sendo o processo completamente manual, não se garante de forma alguma a aplicação de uma camada uniforme. Segundo estudos realizados pela TRW internamente, a altura ideal para pulverização de líquidos é de aproximadamente 300mm. Com este valor garante-se uma otimização da área de aplicação do mesmo, isto é, é possível garantir que todas as superfícies são uniformemente atingidas.

## 2. Aplicação de laca

Da mesma forma que é efetuada a aplicação do desmoldante, faz-se também a aplicação da laca. O processo é manual e o operador utiliza outra pistola de pulverização. A altura de pulverização ideal é semelhante à da aplicação do desmoldante, ou seja, 300mm.

A laca é responsável pelo acabamento rugoso de certas partes do volante, sendo aplicada apenas nas áreas que vão estar em contacto com o utilizador. De notar que nos volantes que são revestidos a couro, não se aplica laca nas áreas que estarão em contato com o couro.

Os tempos de aplicação de desmoldante e laca estão definidos para cada modelo, sendo que o operador não os deve ultrapassar de forma a manter a cadência de produção prevista.

A sequência de aplicação de laca é apresentada na figura 2-2.

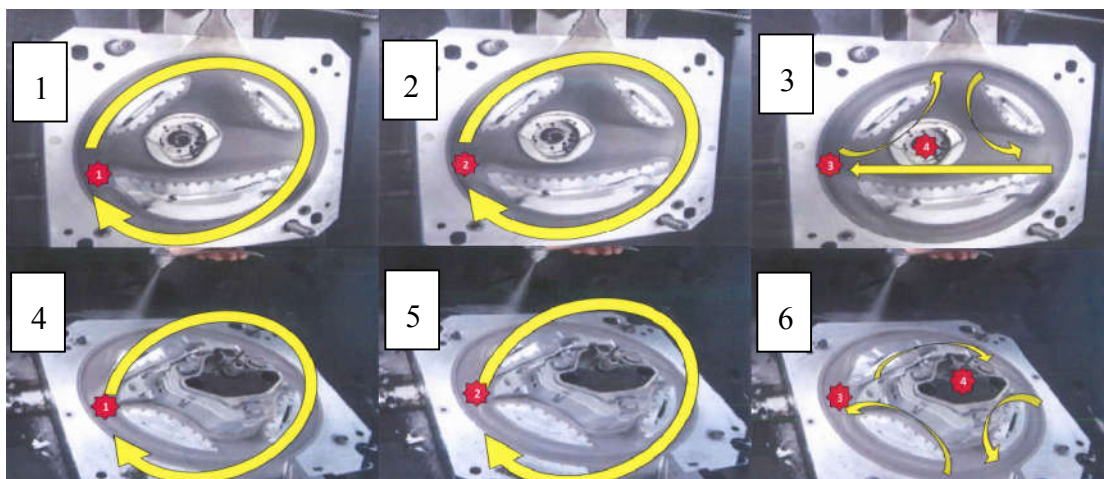


Figura 2-2 – Sequência de aplicação de laca

### 3. Colocação do aro do volante no molde

Com o porta-moldes na mesma posição da etapa anterior, o operador pega num aro e coloca-o sobre o meio molde inferior de acordo com a posição de encaixe (guias) definida mecanicamente em ambas as peças, tal como se pode visualizar na figura 2-3. Os aros vêm de outras instalações da mesma empresa e são colocados na linha em suportes assentes numa palete. Nesses suportes os volantes são colocados verticalmente numas varetas metálicas que encaixam na furação central dos aros dos volantes.

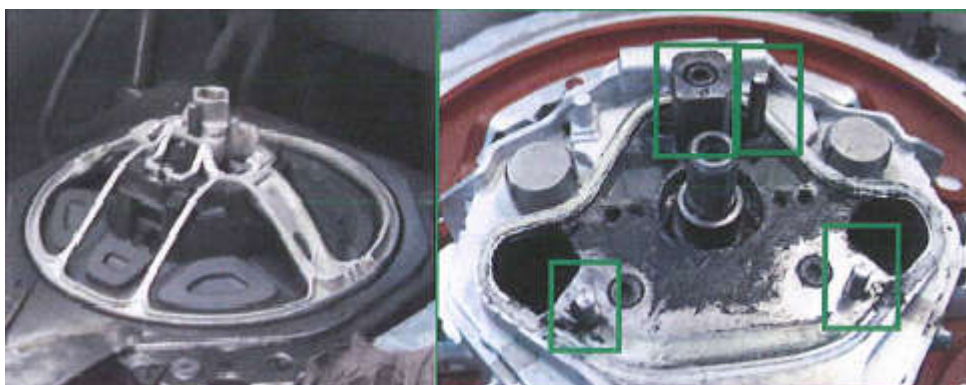


Figura 2-3 – Colocação do aro no molde e pormenor das guias para alinhamento do volante em relação ao molde

O material dos aros é uma liga de alumínio e magnésio (MgAl5Mn). Os aros possuem uma vareta metálica em torno da curvatura do volante de modo a proporcionar uma maior rigidez em caso de embate. A liga é fundida nas instalações de Porriño, sendo depois transportada nos referidos suportes até as instalações da TRW Vila Nova de Cerveira.

### 4. Fecho do molde.

Após colocação do aro do volante no molde o operador dá ordem de início ao processo de injeção provocando o fecho automático do porta-moldes, o que é ilustrado na figura 2-4. O fecho é realizado através de cilindros hidráulicos sendo utilizado um autómato para comando das eletroválvulas. O processo de fecho envolve, para além do deslocamento angular do meio-molde superior, a elevação do meio-molde inferior até que se atinja a força de fecho necessária para se proceder à injeção.

## 5. Reposicionamento do molde

Atualmente o processo de injeção requer o posicionamento do molde em três inclinações distintas de  $0^\circ$ ,  $15^\circ$  e  $25^\circ$ . Na inclinação de  $0^\circ$  é realizada a abertura do porta-moldes, permitindo a colocação dos aros, remoção dos volantes injetados e limpeza do molde. Na inclinação de  $25^\circ$  é feita a injeção de espuma pelo cabeçal. Esta situação acontece devido ao facto da movimentação do cabeçal ser do tipo “tudo ou nada”. Por último, a inclinação de  $15^\circ$  é utilizada para retirada de setas, esta posição existe devido à dificuldade de alguns operadores, de baixa estatura, em chegar às setas mais próximas da parte de trás do molde. Através da robotização da célula será possível dispensar esta posição de trabalho. O posicionamento do molde é efetuado automaticamente por ordem de comando manual.

## 6. Descida do cabeçal

Este processo é realizado automaticamente. Um cabeçal é utilizado em quatro postos, pelo que se desloca ao longo de uma calha colocada por cima dos postos. Quando o molde se fecha, o cabeçal desloca-se automaticamente até a posição programada e faz descer a cabeça de injeção. A descida é assegurada por um atuador pneumático. Usualmente o operador ajusta a posição da cabeça de injeção durante a descida de forma a garantir o posicionamento correto em relação ao molde. Logo que o cabeçal esteja na posição adequada inicia-se a injeção de espuma por ordem do operador. Na figura 2.5 é apresentado o cabeçal na posição de injeção.



Figura 2-4 – Posicionamento do cabeçal auxiliado pelo operador

## 7. Injeção

Durante um tempo pré-definido a espuma é injetada no molde. Os tempos de injeção são variáveis consoante o modelo e estão armazenados numa base de dados existente em cada linha.

A espuma é constituída por uma mistura de isocianeto, polioliol e corante. A mistura de isocianeto e polioliol abraça o aro metálico colocado no molde e permite tornar a superfície do volante mais flexível mantendo a rigidez interna inerente ao aro metálico. O corante permite definir a cor da superfície do volante.

## 8. Subida do cabeçal

A subida do cabeçal é também um processo automatizado e é realizado após ordem de um operador, figura 2-6. Após verificação da qualidade da operação o operário dá ordem de subida através de um botão existente no cabeçal. É possível tornar esta operação totalmente automatizada de forma simples, já que os autómatos instalados nas linhas possuem uma sub-rotina inativa, que permite programar o tempo de subida consoante o modelo.

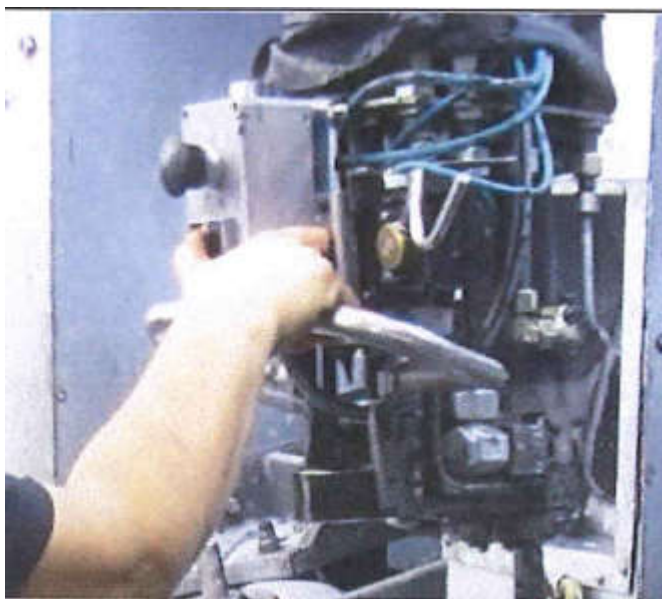


Figura 2-5 – Comando manual para de subida do cabeçal

## 9. Rotação para a posição de inclinação nula e tempo de cura

Após subida do cabeçal o molde retorna à posição de inclinação nula e é necessário esperar um tempo de aproximadamente 50 segundos para se efetivar a cura da espuma. Durante esse tempo, a espuma arrefece e endurece de forma a que no final da operação se obtenha um volante injetado com elevada consistência.

## 10. Remoção de setas

Depois de decorrido o tempo de cura, o molde é deslocado automaticamente para a inclinação de 15°, de forma a permitir que o operador retire os excessos de material injetado, as “setas”, e aplique desmoldante nos orifícios de saída de ar dos moldes. É também necessário retirar o excesso de material que se forma no bebedouro (local de encaixe do cabeçal no molde). O tempo de remoção de setas afeta o tempo total de

operação. Assim, o operador tem apenas 25 segundos para retirar as setas, sendo que posteriormente o molde abre-se automaticamente caso o operador não esteja numa zona de segurança definida por barreiras óticas. Caso a zona não esteja desimpedida, a abertura não se executa, sendo o operário prejudicado na sua análise de performance. Na figura 2-7 é possível visualizar as setas e a sua extração.

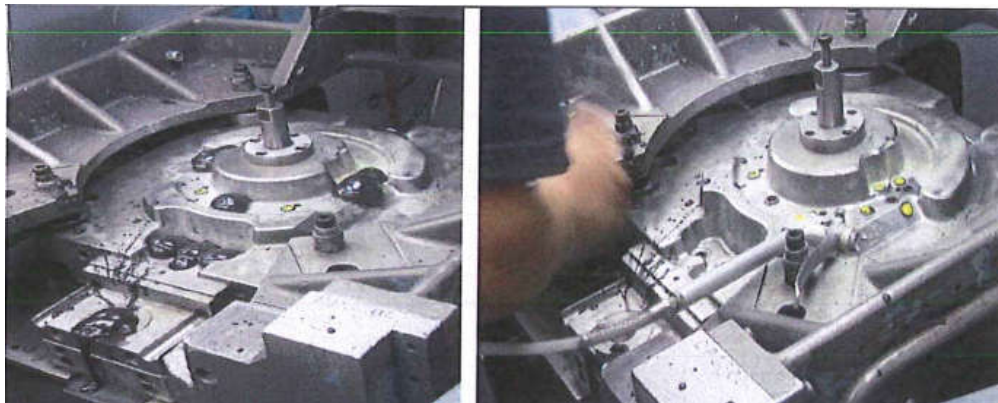


Figura 2-6 – Remoção de setas do molde

#### 11. Abertura do molde

À semelhança da operação de fecho do molde, a operação de abertura é totalmente automática, sendo executada após o regresso à posição horizontal. Quando está concluída esta operação, o operador executa as tarefas seguintes.

#### 12. Remoção do volante injetado e colocação num suporte vertical

Após a finalização da operação automatizada, com o molde na posição totalmente aberta, o operador deve remover o volante injetado, fazer uma inspeção visual e colocá-lo no suporte de rebarbado, conforme se pode visualizar na figura 2-8. A operação de corte de espuma sobranete e inspeção profunda é realizada imediatamente.



Figura 2-7 – Volante pronto a ser removido à esquerda; operário a inspecionar o volante injetado e suporte rebarbado à direita



Posteriormente, de acordo com o estudo feito ao processo manual, são enumeradas as ferramentas que têm necessariamente de ser incorporadas na garra do robô por forma a cumprir todas as etapas do processo de injeção atualmente em vigor

### **2.2.1 Adequabilidade da aplicação de um robô ao processo de injeção**

De seguida é feita uma breve enumeração dos benefícios e obstáculos da aplicação da robotização da linha de injeção envolvendo dois porta-moldes.

Benefícios:

- Flexibilidade na realização das diversas operações: com a aplicação de um sistema robótico com um *gripper* dotado de ferramentas adequadas à execução das diferentes operações, é possível obter-se um processo automatizado que seja flexível na realização de todas as etapas atualmente incluídas no processo;
- Possibilidade de acomodação a novas situações: a aplicação de um sistema robótico ao processo permite que seja possível incluir a produção de novos modelos através da edição/alteração dos programas desenvolvidos;
- Repetibilidade: com a aplicação do robô é possível garantir que todas as operações são executadas de forma igual, evitando assim fatores como erro humano que poderão colocar em causa a qualidade final do volante;
- Ausência de contacto humano com a operação: tal como referido anteriormente, os funcionários que trabalham com as injetoras estão sujeitos a alguns elementos químicos que estão presentes nos materiais intervenientes na injeção como o polioliol, o isocianeto, os corantes, a laca e o desmoldante. A colocação de células robóticas permite que esses trabalhadores sejam recolocados em operações menos nocivas para a sua saúde ficando cada linha de injeção com apenas dois funcionários: o responsável pela linha e o técnico de manutenção;
- Produção completamente constante em termos de tempos de operação: é possível garantir que, numa linha em que esteja a ser produzido um determinado modelo, todos os robôs produzam na mesma cadência. Dessa forma evita-se o que acontece na operação manual em que numa linha de produção de um determinado modelo cada operador realiza a operação ao seu ritmo, dificultando a padronização da produção e como consequência, dificultando a gestão das entregas aos fabricantes de automóveis.

Obstáculos:

- Necessidade de alteração dos porta-moldes e cabeçal: por forma a garantir uma melhor integração do robô na célula é necessário que o porta-moldes e cabeçal sejam posicionados de forma precisa.
- Operação de limpeza dos moldes: uma das fases mais complexas de todo o processo de injeção de volantes é a limpeza do molde. Esta operação condiciona ativamente a qualidade final do produto e como tal a capacidade de produção. Se no caso atual cada operador é capaz de verificar quais os canais de fuga obstruídos e quais as arestas do molde e do ejetor que necessitam de limpeza pormenorizada, no caso do robô isso não é possível. Assim a solução a adotar passa por criar um procedimento de limpeza automatizado.
- Limpeza dos canais de fuga: esta operação constitui um grande entrave à aplicação de um robô pelas razões apresentadas no tópico anterior, relativas à qualidade final do

volante, mas também pela forma como pode ser superada. Dado que os canais de fuga têm diâmetros de aproximadamente 2 mm é complicado para o robô conseguir inserir uma agulha nos referidos canais da mesma forma que um operador consegue. A operação é limitada pela repetibilidade no posicionamento dos porta-moldes. Assim a solução passará pela aplicação de ar comprimido a uma pressão adequada em cada orifício, para provocar a desobstrução do mesmo.

- Necessidade de auxílio de um técnico especializado caso seja necessário fazer alterações nos programas existentes ou adicionar novos: esta é uma das grandes causas da não aplicação de robôs em processos industriais, uma vez que poucas empresas possuem um técnico interno que esteja dedicado a este tipo de operações. No caso da TRW de Vila Nova de Cerveira existem técnicos que possuem instrução para a realização deste tipo de operações, derivado da aplicação de células robóticas noutras operações das linhas existentes na fábrica: teste de botões e patilhas de diversos modelos e controlo dimensional dos embelezadores aplicados aos volantes.

### **2.2.2 Ferramentas para incorporação em célula robotizada**

Por forma a garantir a realização de todas as operações referidas na secção 2.1. é, em seguida, feita uma descrição das ferramentas a incluir na garra. Para a robotização da linha de injeção existia a possibilidade de utilização de um sistema de troca automática de ferramenta ou criação de uma garra que disponha de todas as ferramentas necessárias para o processo. Assim, a TRW optou pela escolha da segunda opção devido aos inconvenientes dos sistemas de troca automática de ferramenta, ou seja, agravamento do tempo de ciclo de operação devido à necessidade de deslocação do elemento terminal do robô até um suporte de fixação das diversas ferramentas. Com a colocação de todas as ferramentas na mesma garra, apesar do aumento da massa total do conjunto, consegue-se reduzir o tempo de ciclo e, consequentemente, aumentar o número de peças produzidas.

De seguida são apresentadas as ferramentas para utilização pelo robô e que serão integradas na garra a desenvolver.

- Dispositivo de prensão: este elemento irá permitir fazer o *pick and place* dos aros antes da injeção e dos volantes após injeção. Constatou-se que o melhor local para agarrar ambos os objetos será na superfície cilíndrica existente na parte posterior do volante. A este elemento será exigida força de aperto suficiente para pegar nos volantes.
- Pistolas de ar comprimido, desmoldante e laca: será necessário incluir um ou mais elementos que façam a pulverização dos diversos líquidos necessários em todo o processo de injeção. É necessário ter em conta que devido às características de cada um dos fluidos, a colocação de apenas uma pistola após um circuito de mistura de fluidos pode ser prejudicial à qualidade final do processo. Desse modo ter-se-á que optar por uma solução com múltiplas ferramentas de pulverização.
- Dispositivo de limpeza de arestas: como já referido, a operação de limpeza é crítica para a qualidade final de cada volante, sendo neste momento, um dos pontos de avaliação de performance dos operários. Assim, definiu-se que seria de interesse para

o processo automatizado a inclusão de uma escova rotativa. Dessa forma, é possível fazer a limpeza de algumas arestas do molde onde ficam frequentemente depositados restos de espuma. Por forma a complementar esta solução de limpeza será prevista uma limpeza manual, periódica, a realizar por um operador.

- Dispositivo de remoção de resíduos dos canais de fuga: como em todos os processos de injeção de plástico, os moldes referidos possuem pequenos canais (na ordem de 2 mm) para permitir a saída de ar aquando da injeção. Durante a injeção, o ar é expelido pelos referidos canais, assim como uma pequena quantidade de espuma, as setas. Assim é importante incluir um sistema que permita de alguma forma limpar os canais de fuga e dessa forma permitir a boa qualidade dos volantes injetados nas operações seguintes. É importante referir que através do controlo existente ao nível da injeção é possível eliminar a criação das setas, mas o mesmo não deve ser feito porque, dessa forma, não se garante que o volante seja corretamente produzido, isto é, não possua cavidades com ar dentro da sua espuma.
- Dispositivo de prensão das setas: tal como referido no tópico anterior, em cada injeção são geradas setas. Assim, é necessário incluir um órgão mecânico que permita fazer a sua extração e posterior deposição em recipiente externo ao processo. É fulcral que esta ferramenta seja compatível com os diferentes formatos de moldes.

### 3 Desenvolvimento de garra para robô

Para implementação da solução é necessário desenvolver uma garra para o robô. Assim este capítulo apresenta a sequência de etapas que permitiram chegar a uma solução final. Em primeiro lugar é feita referência ao robô que será utilizado. De seguida são listadas as ferramentas disponíveis no mercado passíveis de serem incorporadas na garra. Posteriormente, é feito o desenvolvimento da garra através da escolha das ferramentas e projeto do elemento de apoio das ferramentas.

#### 3.1. Especificação do robô

No que toca ao robô, a sua seleção foi feita previamente pela Apineq em acordo com a TRW, tendo sido escolhido o modelo ABB 4600-40/2.55. Este modelo têm um volume de trabalho conforme representado na figura 3-1.

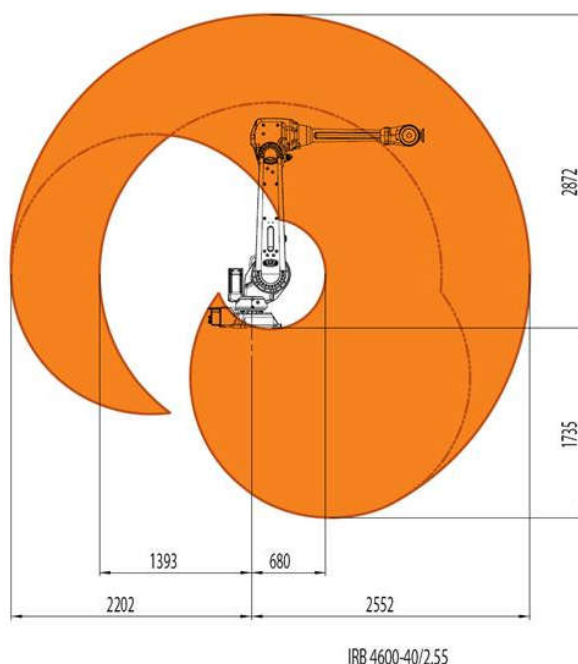


Figura 3-1 – Volume de trabalho do modelo 4600-40/2.55

Na figura 3-2 estão especificadas algumas características do manipulador referido. De destacar a capacidade de carga 40 Kg na flange do robô e uns adicionais 20 Kg ao longo da estrutura do manipulador. No que toca a repetibilidade, este manipulador possui uma repetibilidade de posicionamento de cerca de 0.06mm e repetibilidade de trajetória de cerca de 0.46mm.

Specification			
Variants:	Reach	Payload	Armload
IRB 4600-40/2.55	2.55 m	40 kg	20 kg
Number of axes	6+3 external (up to 36 with MultiMove)		
Protection	Standard IP67, as option Foundry Plus 2		
Mounting	Floor, shelf, inverted or tilted		
IRC5 Controller variants	Single cabinet, Dual cabinet		
Physical			
Dimensions robot base	512 x 676 mm		
Robot height: IRB 4600-60/2.05 and IRB 4600-45/2.05	1727 mm		
Robot height: IRB 4600-40/2.55 and IRB 4600-20/2.50	1922 mm		
Robot weight	412 to 435 kg		
Performance			
Position repeatability (RP)	0.05 - 0.06 mm		
Path repeatability (RT)	0.13 - 0.46 mm		
	(measured at speed 250 mm/s)		

Figura 3-2 – Características do modelo 4600-40/2.55

A escolha deste robô baseou-se na previsão da massa a transportar em concordância com as dimensões da célula de trabalho. Ao longo deste capítulo será feita uma análise em termos de massa de forma a confirmar a escolha da capacidade de carga correta[1].

### 3.2 Ferramentas para incorporação na garra

Nesta secção optou-se por fazer um estudo de mercado em relação às ferramentas a incorporar na garra, de acordo com as especificações referidas no capítulo 2.

Não obstante as referidas vantagens da automatização do processo, é importante referir que estando este processo incluído na indústria automóvel toda a logística a nível de prazos de entrega e qualidade das peças fabricadas requer um nível de disponibilidade elevado. Também é importante referir que possuindo o volante um elemento de segurança passiva como o *airbag*, toda a estrutura em redor do mesmo tem de funcionar em sintonia para que, em caso de acidente, se minimizem eventuais lesões do condutor, não se admitindo portanto falhas nesse capítulo [2]. Assim pretende-se alertar para o facto de que o processo automatização ter de providenciar garantia de qualidade do produto final, assim como, dados os elevados valores produção, permitir a garantia de longevidade da instalação e baixas taxas de paragens de produção por avarias de equipamentos.

#### 3.2.1 Ferramentas de prensão

Existem duas operações passíveis de serem executadas com ferramentas de prensão: a movimentação de aros e volantes e a extração das setas. Este tipo de ferramenta é vulgarmente designado como garra. Nesta secção será feita referência à oferta existente entre dois fabricantes de garras pneumáticas, Festo e Schunk.

- **Garras paralelas**

As garras paralelas são normalmente usadas quando se pretende fazer a prensão de objetos de formas regulares. Neste tipo de garras a movimentação dos dedos pode ser feita longitudinalmente, ficando os mesmos sempre paralelos. Em conjunto, os fabricantes

disponibilizam garras com capacidades de força de retenção de objetos que variam entre 16 e 21800N e cursos que variam entre 2 e 160mm. Existe a possibilidade de opção de escolhas de garras totalmente herméticas para ambientes agressivos e corrosivos. Todos os modelos estão disponíveis em versões normalmente abertas ou fechadas e possuem toda a sensorização necessária ao seu controlo integrada de forma a permitir o total controlo no mecanismo em qualquer espaço temporal. Na figura 3.3 são apresentados alguns modelos disponibilizados pelos fabricantes [3-5].



Figura 3-3 – Garras pneumáticas de dois dedos paralelos

- **Garras de 3 dedos**

As garras de 3 dedos são normalmente aplicadas quando se pretende fazer a preensão de objetos cilíndricos, uma vez que foram projetados para que os dedos convirjam radialmente para um ponto central. Dessa forma conseguem produzir um efeito de auto-centragem que para certos objetos pode ser bastante interessante.

Por outro lado, tem a desvantagem da necessidade de troca dos dedos quando se pretendem aplicações mais distintas [6].

Em termos de capacidade de força estão disponíveis modelos cuja força de retenção varia entre 20 e 59500N e os seus cursos variam entre 1 e 40mm. Mais uma vez estão disponíveis modelos totalmente herméticos para ambientes agressivos.

É importante fazer também referência ao modelo Schunk PZN-Plus que permite a preensão de cargas até 190Kg o que permite a utilização deste tipo de garras em aplicações de manipulação de cargas muito elevadas nomeadamente indústria automóvel, fundições e construção de equipamentos pesados[3-5]. Na figura 3-4 são ilustrados alguns dos modelos de garras disponibilizados por diversos fabricantes.



Figura 3-4 – Garras pneumáticas de três dedos

- **Garras angulares e garras radiais**

Ambos os modelos permitem a prensão de objetos quer sejam rígidos quer sejam flexíveis, uma vez que estes equipamentos têm alguma flexibilidade de adaptação à peça que vão transportar. A principal diferença entre as garras angulares e as garras radiais baseia-se na amplitude de abertura dos dedos. Nas garras angulares a abertura é provocada pela movimentação de um pistão que está acoplado aos dentes da garra, o curso do pistão é reduzido tendo por isso ângulos de abertura reduzidos (abertura máxima de 80°). Nas garras radiais o pistão está acoplado a um órgão mecânico que converte o movimento linear num movimento angular permitindo maiores cursos angulares: até 180°. Na figura 3-5 é apresentado o esquema de funcionamento das garras angulares e das garras radiais.

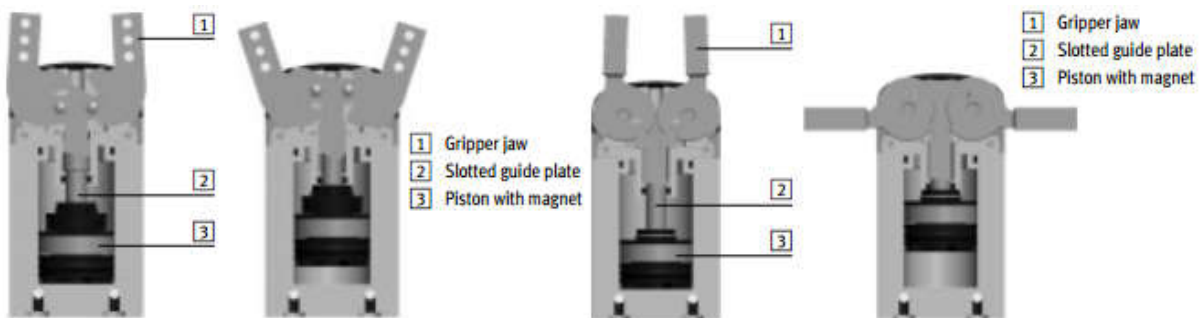


Figura 3-5 – Esquema do funcionamento das garras angulares, à esquerda, e das garras radiais à direita[7, 8]

Normalmente as garras angulares são aplicadas quando se pretende fazer a prensão de objetos na superfície exterior dos dentes, enquanto que as garras radiais são mais usadas em operações em que se pretende fazer a prensão de objetos na superfície interior dos dentes.

Os fabricantes apresentam gamas que possuem um binário de fixação variável entre 11Ncm e 143Nm[3-5, 7, 8].

Na figura 3-6 são ilustrados exemplos de garras disponibilizados pelos fabricantes Festo e Schunk.



Figura 3-6 – Gamas Festo (1º- radial e 2º- angular) e Schunk (1º- angular e 2º- Radial)

### 3.2.2 Pistolas industriais de aplicação de fluidos

Neste capítulo são referidos algumas das pistolas existentes no mercado adequadas à pulverização dos materiais referentes ao processo de injeção. Inicialmente é feita referência às variedades de funcionamento destes dispositivos. Apenas são abordados modelos para

pulverização automatizada. Depois são referidas as variedades de ponteiros possíveis de serem incorporadas nos pulverizadores.

Existem inúmeros fabricantes de pistolas de pulverização com as diferentes tecnologias referidas, nomeadamente Graco, Wagner, Krautzberger e Sata.

- **Pistolas HVLP (High Volume Low Pressure)**

Semelhante a uma pistola de pulverização convencional manual, uma pistola HVLP requer a utilização de um compressor de ar, mas apenas necessita de fornecimento de ar a uma pressão baixa (LP). No entanto, será necessário fornecer um maior volume (HV) de ar, por forma a pulverizar o fluido sob pressão do ar mais baixa. O resultado é uma maior proporção de fluido a alcançar a superfície pretendida com o benefício de redução do excesso de pulverização sobre algumas zonas, redução de consumo de materiais e poluição de ar.

Normalmente uma pistola HVLP usa uma proporção de mistura de dois terços de fluido e um terço de ar. Em termos de compressores, costumam-se utilizar até gamas de potência na ordem dos 3.5kW e capacidade de caudal até 100 m<sup>3</sup>/h de ar livre e pressões até 3 bar (as pistolas convencionais utilizam pressões em torno dos 8 bar).

- **LVLP (Low Volume Low Pressure)**

Tal como as pistolas HVLP, este tipo de pistolas também operam a baixa pressão (LP), mas usam um volume de ar mais reduzido (LV). O objetivo passa pelo aumento da taxa de transferência de fluido para o objeto, evitando o alto consumo de ar comprimido. Este tipo de pistolas admite ar a pressões em torno dos 2 bar e caudais até 70 m<sup>3</sup>/h [9].



Figura 3-7 - Pistolas de pulverização automáticas HVLP ou LVLP de diferentes fabricantes: Graco, Krautzberger, Wagner e Sata, respetivamente

- **Airless spray guns**

Estes sistemas operam ligados a uma bomba de alta pressão (2000 a 50000 KPa) de forma a atomizar o fluido. Algumas vantagens deste procedimento são: maior penetração em orifícios de pequena dimensão e produção de revestimento de espessura uniforme reduzindo o número de camadas. A maioria dos fluidos pode ser pulverizado com a adição de muito pouco diluente, o que reduz o tempo de secagem e a libertação de químicos para o ambiente. Deve ter-se em conta que este processo pode ser muito prejudicial para o operador, podendo causar lesões graves devido à alta pressão do fluido. É por essa razão, usado maioritariamente em processos automatizados [10].

- **Ponteiras para aplicação em pistolas**

As ponteiras para aplicação em pistolas desempenham um papel importante na aplicação do fluido pois, de acordo com a forma e tamanho da ponteira, é possível variar o padrão de

aplicação do fluido. As três formas de ponteira mais comuns são: cone completo (*full cone*), cone oco (*hollow cone*) e fluxo plano (*flat stream*). Na figura 3-7 são ilustradas as três formas de ponteira, assim como os consequentes padrões de aplicação de fluido.

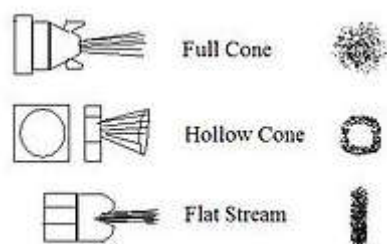


Figura 3-8 – Três ponteiros e consequente padrão de aplicação de fluido, dos modelos mais comuns existentes no mercado

### 3.2.3 Ponteiros de sopragem

Tal como foi referido, após cada injeção é necessário remover os sobrantes que ficam depositados nos canais de fuga. Constatase que não é possível garantir precisão suficiente para realizar a operação de forma similar à realizada por um operador. Existem erros inerentes aos diferentes sistemas mecânicos incluídos no processo: porta-moldes e robô. Assim optouse por incluir um sistema que permita aplicar um sopro de ar nos orifícios do molde. Este sistema utiliza um bocal e uma ventosa em forma de fole por forma a disponibilizar sopro de limpeza. O funcionamento do sistema será explicado no capítulo 4, sendo que aqui será feita uma breve descrição dos componentes adaptáveis à situação, de acordo com a oferta existente no mercado.

Em termos de bocais existem inúmeras configurações possíveis inerentes à diversidade de aplicações. É possível enumerar as várias configurações [11, 12]:

- Bocais fixos com rosca;
- Bocais com a ponta móvel de forma a permitir redirecionar o fluxo de ar;
- Bocais em forma de agulha com grande comprimento que permitem atingir locais de difícil acesso;
- Bocais de engate rápido;
- Bocais de alta eficiência na projeção de ar;
- Bocais com baixo ruído de operação;

Na figura 3-5 são apresentados distintos modelos de bocais.



Figura 3-9 – Diversidade de modelos de bocais existente no mercado

Em relação à ventosa, existem também inúmeras possibilidades de escolha mediante as diferentes operações [13].

Na figura 3-10 são apresentados alguns exemplos de ventosas disponíveis no mercado.



Figura 3-10 – Variedade de ventosas existentes no mercado

### 3.3 Seleção de componentes para a garra

De seguida são referidas as ferramentas escolhidas, assim como as soluções criadas por forma a ultrapassar os problemas referidos no capítulo 2.

#### 3.3.1 Ferramenta de prensão

Na escolha da ferramenta de prensão foram tidas em consideração as operações a realizar:

- Prensão e transporte de um aro de volante, desde o sistema de alimentação até ao molde;
- Prensão e transporte do volante injetado desde o molde até ao sistema de recolha.

Optou-se pela escolha de uma garra de três dedos, capaz de executar as referidas operações. Dada a geometria dos aros e a forma como estes são entregues, o local ideal para fazer a sua prensão é uma parte cilíndrica existente na parte posterior. Após injeção, esta parte permanece sem espuma o que permite posteriormente fazer a sua extração do molde. É possível comprovar esta situação na figura 3-11.

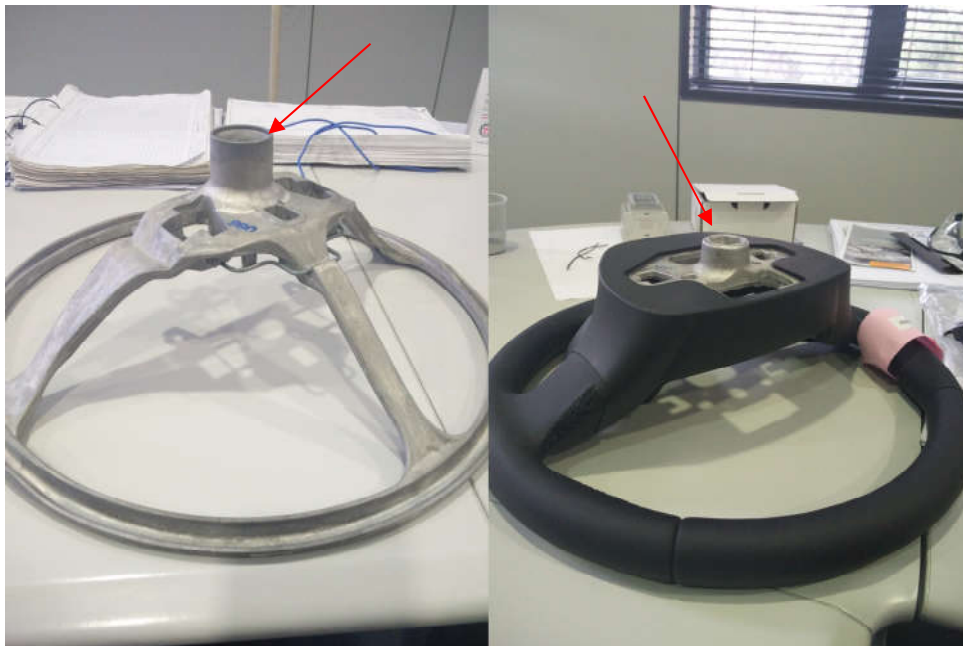


Figura 3-11 – Superfície cilíndrica para prensão existente na parte posterior do aro e do volante injetado

Foi selecionada uma garra de três dedos da Festo, tendo sido utilizado o *software* de cálculo disponibilizado pelo fabricante [14].

O modelo de garra selecionado é o DH05-50-A, tendo sido desenhados os dedos adequados à prensão do volante. Na figura 3-12 é apresentado o modelo da garra e do dedo.



Figura 3-12- Dente (à esquerda) e garra (à direita)

O comando da garra é realizado por uma electroválvula 5/2 incluída no terminal de válvulas escolhido [15]. Por forma a salvaguardar questões de segurança, caso haja falha de energia os dentes da garra permanecem na posição fechada.

### 3.3.2 Pistolas de pulverização de fluidos

Tal como já havia sido referido no capítulo 1, a TRW desaconselha a utilização de um único sistema para a pulverização de laca e desmoldante. Assim optou-se pela escolha de duas pistolas independentes da marca Graco com sistema de pulverização HVLP, de acordo com as vantagens referidas no capítulo 2. Devido às características dos fluidos os bocais escolhidos têm de ser diferentes. No caso da laca, o fornecedor recomenda o uso de um bocal com um diâmetro máximo de 0.8mm. No caso do desmoldante devido à sua densidade será necessário o uso de um bocal com um diâmetro mais reduzido de forma a limitar a área do fluxo, em torno dos 0.3mm.

Em relação à forma do bocal optou-se por escolher um bocal com uma geometria estilo cone completo com projeção oval conforme recomendação da TRW.

Na tabela 3.1 e na tabela 3.2 são apresentados alguns dados relevantes em termos de especificações técnicas da pistola e da ponteira.

Tabela 3-1 – Especificações técnicas da pistola

Maximum Fluid Pressure .....	276 bar (27.6 MPa, 4000 psi)
Maximum Working Air Pressure .....	7 bar (0.7 MPa, 100 psi)
Max. Cylinder Air Pressure .....	7 bar (0.7 MPa, 100 psi)
Minimum Actuating Pressure .....	3.5 bar (0.3 MPa, 50 psi)
Triggering Speed .....	60 msec (fully open or closed)
Maximum Working Fluid Temperature .....	49°C (120°F)
Wetted Parts .....	stainless steel, carbide, UHMWPE, acetal, polyethylene, chemically resistant fluoroelastomer, PTFE, polyimide
Gun Weight .....	545 g (1.2 lb)
Gun and Manifold Weight .....	770 g (1.7 lb)
Air Inlet	
Atomizing Air .....	3/8 in OD tube
Fan Air .....	3/8 in OD tube
Cylinder Air .....	1/4 in OD tube
Fluid Inlet .....	1/4 in npsm
Dimensions (excluding fittings) .....	135 mm L x 76 mm H x 51 mm W (5.3 in L x 3.0 in H x 2.0 in W)
Instruction Manual .....	311052

Tabela 3-2 – Especificações técnicas da ponteira

Orifice Size in (mm)	*Fluid Output, fl oz/min (lpm) at 140 bar (14.0 MPa, 2000 psi)	Maximum Pattern Width at 12 in. (300 mm)									
		2 to 4 (100)	4 to 6 (150)	6 to 8 (200)	8 to 10 (250)	10 to 12 (300)	12 to 14 (350)	14 to 16 (400)	16 to 18 (450)	18 to 20 (500)	
0.012 (0.305)	19.9 (0.59)		212	312	412	512	612				
0.033 (0.838)	149.4 (4.42)										

Na figura 3-13 é ilustrada o modelo escolhido, AA G40 Automatic.



Figura 3-13 – Modelo AA G40 Automatic escolhido para a pulverização da laca e do desmoldante

Em termos de comando são utilizadas as válvulas de atuação das tubagens relativas à laca e desmoldante, assim como uma válvula 3/2 NC, para comando do ar comprimido em cada pistola [16, 17].


### 3.3.3 Ponteira de sopragem

Conforme foi referido na secção 3.1.3, o sistema de sopragem inclui uma electroválvula 3/2, um bocal e uma ventosa com a forma de fole. O objetivo é que o controlo da passagem de ar seja feito pela válvula, sendo o fluxo de ar encaminhado por um tubo convencional de ar comprimido na direção de um bocal.

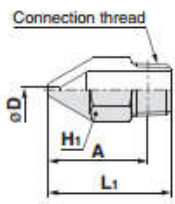
Em relação ao bocal optou-se pela escolha do modelo SMC KN-R02-100 com as características apresentadas na tabela 3.3.

Tabela 3-3 – Características do bocal SMC KN-R02-100

**Male thread nozzle: KN** [mm]



Part no.	Nozzle size D	Connection thread	Width across flats H <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	A*
KN-R02-100	e1	R1/4	14	31.4	25.4
KN-R02-150	e1.5			31	25
KN-R02-200	e2			30.5	24.5
KN-R02-250	e2.5			30.1	24.1
VMG1-R02-300	e3			30	24
VMG1-R02-350	e3.5			29.5	23.5
VMG1-R02-400	e4			29.5	23.5



\* Reference dimensions after R thread installation

Optou-se por este bocal devido às suas pequenas dimensões, de forma a permitir adaptar um sistema de baixo atravancamento e conseguir atingir a superfície dos orifícios de saída com relativa facilidade [12, 18, 19].

Em relação à ventosa escolhida, esta possui uma área de contacto com a peça que garanta que o furo seja atingido. Devido às numerosas superfícies curvas do molde, nas quais estão colocados os furos, optou-se por escolher uma ventosa que possui um fole. Optou-se pela escolha do modelo ZP2 da SMC representado na figura 3-14.



Figura 3-14 – Ventosa escolhida para albergar o bico de sopragem

De seguida foi necessário adaptar a ventosa ao bocal escolhido, de forma a criar um encaixe que seja estanque e ao mesmo tempo fácil de montar/desmontar numa situação de manutenção.[13, 20]

### 3.3.4 Sistema de extração de setas

Um das operações que é crucial no bom funcionamento do processo de injeção é a retirada das setas, pelo que também foi incluída uma ferramenta de extração de setas. Inicialmente pensou-se em adaptar a ferramenta de prensão de aros e volantes para esta operação, mas rapidamente se concluiu que seria impossível garantir a retirada das setas uma vez que a sua forma pode variar muito. Dessa forma corria-se o risco de, por vezes, efetuar a operação de extração, sem conseguir fazer a prensão de nenhuma das setas. Outra das razões que condicionava a aplicação do referido sistema era o grande aumento da altura da garra.

Assim optou-se por incluir uma agulha para extração das setas, em todo semelhante ao processo já usado pelos operadores. De seguida é apresentada o modelo da referida peça que possui ainda um furo roscado para fixação a um cilindro pneumático.



Figura 3-15 – Modelo de uma agulha de extração de setas

Em termos de funcionamento, o robô espeta a agulha na seta e depois através de um movimento rotativo retira a seta do molde

### **3.3.5 Sistema de limpeza de moldes**

Para finalizar a escolha de componentes para incorporar na garra é necessário definir um dispositivo que permita a limpeza das arestas do molde. Dado que todos os mecanismos incorporados na garra são movimentados através de ar comprimido optou-se por considerar um equipamento com alimentação pneumática.

Assim, optou-se pela escolha de uma ferramenta rotativa adequada para processos de lixagem/polimento. O fabricante Desoutter possui uma vasta linha de ferramentas deste tipo, tendo sido escolhido o modelo KC340-9 devido ao seu reduzido atravancamento. Na figura 3-16 é possível visualizar o referido equipamento [21].



Figura 3-16 – Ferramenta rotativa desoutter KC340-9

As características do equipamento são apresentadas na tabela 3-4.

Tabela 3-4 – Características de funcionamento da ferramenta rotativa desoutter KC340-9

Free Speed	40000 rpm
Air Inlet Thread Size	0.25 BSP
Noise Level	77 db(A)
Vibration (Iso-8662-4)	<2.5 m/s <sup>2</sup>
Power	375 W
Collet Max. Capacity	6.35 mm
Net Weight	0.38 kg
Length	168 mm
Min. Hose Size	8 mm
Actual Air Consumption	7.5 l/s
Air Flow At Max. Capacity	10 l/s

Importa referir, que a ferramenta escolhida é vendida com uma alavanca de atuação de forma a poder ser ligada ou desligada pelo utilizador. De forma a conseguir a adaptação para o processo totalmente automatizado, é controlado o fornecimento de ar à ferramenta.

Para permitir a limpeza foi escolhida uma escova em nylon da mesma marca. Este material foi escolhido de forma a evitar danificar o molde, mas sendo suficientemente abrasiva para ser capaz de extrair os resíduos.



Figura 3-17 – Escova Desoutter 404

Na figura 3-18 é ilustrada a referida ferramenta com a respetiva escova acoplada.



Figura 3-18 – Ferramenta rotativa com escova

### 3.4 Conceção e modelação do órgão terminal do robô

#### 3.4.1 Equipamentos de movimentação incluídos no órgão terminal do robô

Para além da inclusão dos elementos que realizam determinada fase do processo de injeção, incluiu-se também equipamentos que permitem a movimentação desses elementos. Assim foi possível diminuir bastante o volume da garra. De seguida é feita a descrição dos elementos escolhidos:

- **Cilindro simétrico de haste oca: Festo DZH-16-80-PPV-A-S20**

Este cilindro permite a movimentação do sistema de sopragem: bocal e ventosa. Possui um curso de 80mm e a grande vantagem é o facto de possuir haste oca. Assim é possível acoplar o bocal numa ponta da haste e na outra ponta acoplar a alimentação de ar comprimido, encaminhando o ar por dentro da haste, conseguindo-se assim dispor de uma solução compacta (figura 3-19) [22].



Figura 3-19 – Solução final utilizada para o sistema de sopragem: ventosa, bocal e cilindro de haste oca

- **Cilindro sem haste de acoplamento magnético: SMC CY1SG6-120Z**

Este atuador é utilizado na movimentação do sistema de limpeza e possui 120mm de curso.

Optou-se por este atuador devido à sua forma de movimentação, que melhor se adequou aquilo que se pretendia para este sistema, mas também devido à sua baixa massa, assim como ao seu reduzido atravancamento comparativamente ao seu curso. Assim este atuador apenas possui mais 24mm do que o seu curso o que permite poupar espaço muito útil na garra.

Este atuador é alimentado pneumáticamente e permite fixar os tubos de alimentação de dois modos conforme ilustrado na figura 3-20.

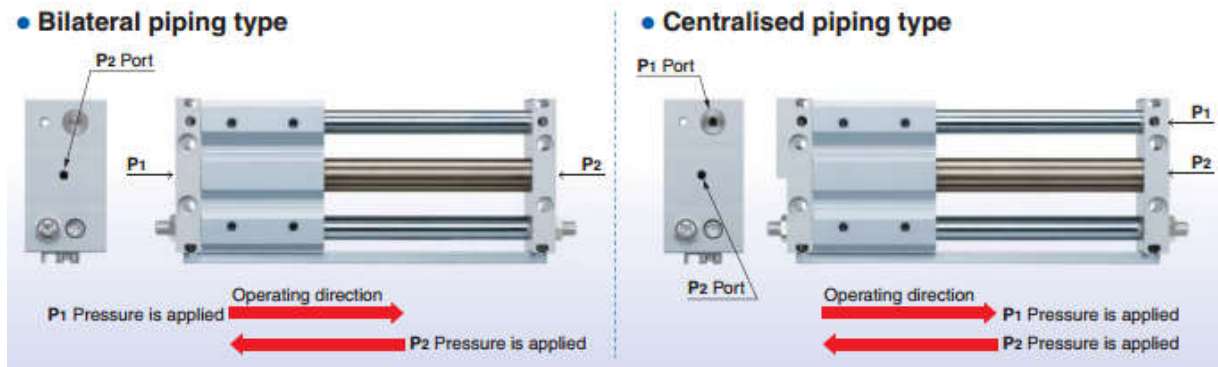


Figura 3-20 – Duas possibilidades de alimentação existentes para este atuador: bilateral ou centralizada

Neste caso optou-se pela escolha da versão “centralised piping type” que evita a necessidade de passar um tubo para a zona frontal do atuador [23].

Foi desenhada uma placa de interface para permitir acoplar a ferramenta pneumática rotativa a este cilindro sem haste (figura 3-21).



Figura 3-21 – Sistema global incluindo a placa de fixação da ferramenta ao atuador.

- **Cilindro assimétrico convencional: SMC CD85E8-100S-A (ISO 6432)**

A utilização deste atuador permite a movimentação da agulha de extração de setas. Optou-se pela solução mais leve dado que as forças envolvidas são reduzidas. Da mesma forma que no caso anterior, este cilindro possui uma boa relação entre dimensão e curso. O cilindro, com um curso de 100mm, está montado num suporte que é fixo à garra. Na figura 3-22 é apresentada esta ferramenta [24].



Figura 3-22 – Sistema de extração de setas: agulha, atuador e fixação

### **3.4.2 Conceção do corpo do órgão terminal do robô**

Com a totalidade das ferramentas escolhidas foi possível definir-se a geometria do órgão terminal do robô. Este foi um processo iterativo, já que foi necessário chegar a uma solução que melhor se adequasse ao fim pretendido. Nesta secção será ilustrada a forma final do corpo da garra.

Na sua versão final o corpo é constituído por várias chapas soldadas de forma a permitir a colocação mais adequada das ferramentas. Todo o corpo é fabricado em alumínio da série 5000 anodizado, conseguindo-se assim alguma proteção superficial contra os diversos fumos e vapores tóxicos, que ocorrem durante o processo de injeção. Na figura 3-23 é ilustrado o corpo da base para suporte das múltiplas ferramentas.

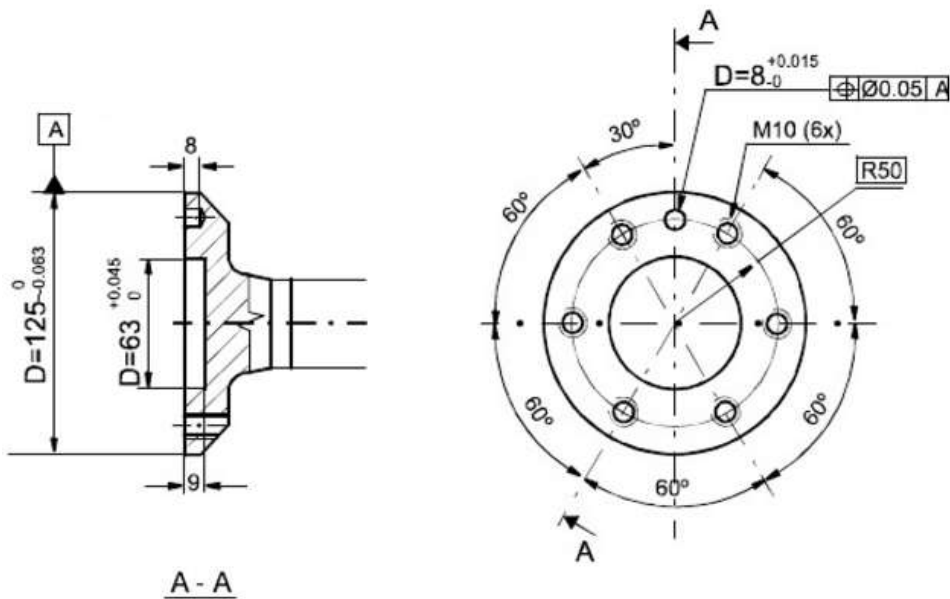


Figura 3-23 – Corpo concebido para fixação das ferramentas utilizadas no processo de injeção

### **3.4.2 Conceção da flange de acoplamento ao robô**

Recorrendo à definição do modelo do robô 4600-40/2.55 é possível identificar a flange do robô como sendo 50-6-M6. Esta flange possui um diâmetro de furação de 50mm e 6 parafusos M6 para acoplamento da ferramenta. Possui ainda um pino para centragem da mesma. Na figura 3-24 é apresentada a flange referida [25].

IRB 4600-60/2.05, IRB4600-45/2.05 and IRB 4600-40/2.55



xx0800000450

For fastening of Gripper tool flange to Robot tool flange every other one of the screw holes for 6 screws, quality class 12.9 shall be used. Min. 15 mm free threads length.

Figura 3-24 – Definição geométrica da flange 50-6-M6 usada no acoplamento da ferramenta ao robô

Para permitir a fixação à referida flange foi necessário criar uma outra flange com um diâmetro superior. Dessa forma foi possível colocar duas furações distintas em círculos com diferentes diâmetros. Assim conseguiu-se colocar uma furação para fixação entre as duas flanges, e uma outra para fixação entre a flange central e o corpo da garra.

A figura 3-25 ilustra a solução de fixação da garra ao robô utilizada.

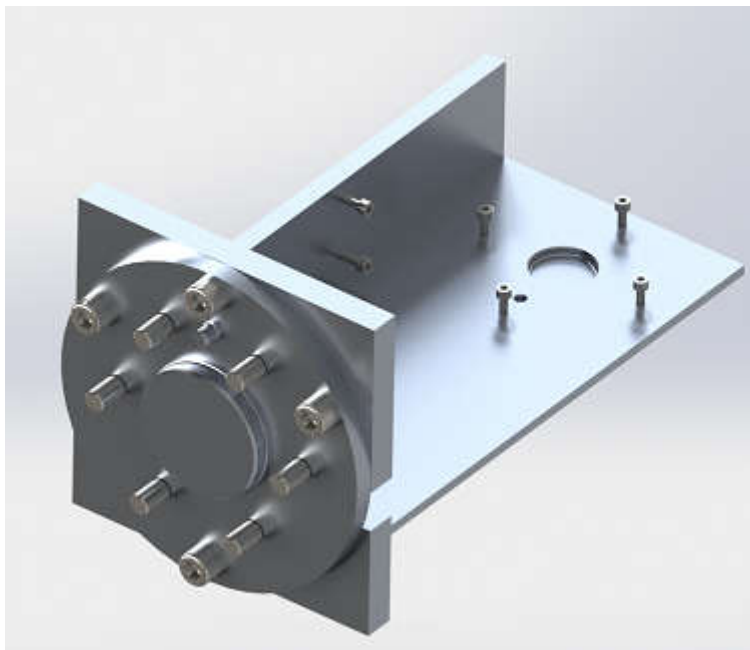


Figura 3-25 – Solução utilizada para fixação ao robô

### 3.4.3 Solução final com todos os mecanismos

Conforme referido na secção 3.4, na presente secção é feita uma descrição sumária das várias versões desenvolvidas para o órgão terminal do robô.

- **Versão 1**

Na 1ª versão optou-se inicialmente por utilizar atuadores lineares para a aplicação de fluidos (desmoldante e laca), órgão de limpeza e sistema de sopragem. O sistema de prensão utilizava 3 dentes, com uma forma desenvolvida com o intuito de permitir a prensão de aros, volantes e ainda extração de setas. Na figura 3-26 é ilustrada a referida versão.

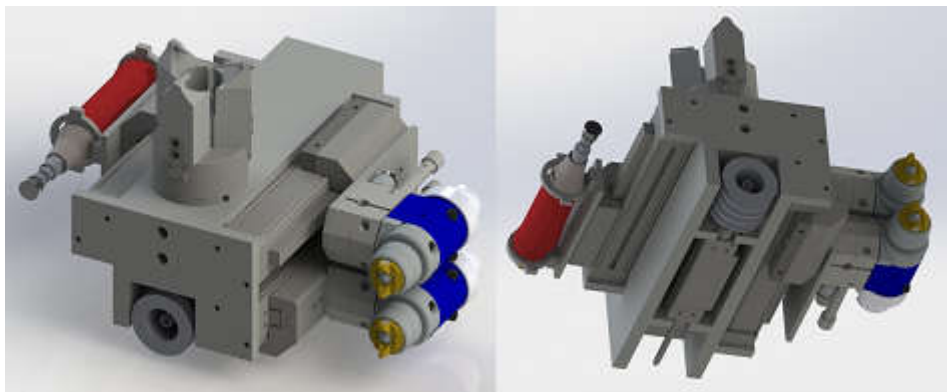


Figura 3-26 – 1ª versão do órgão terminal do robô

Conclui-se, após introdução no ambiente virtual desenvolvido para a simulação no RobotStudio, que esta ferramenta possuía um atravancamento demasiado elevado (sem sequer a colocação da flange de ligação ao robô e da ilha de válvulas). Assim optou-se por fazer as seguintes alterações:

- Não utilização dos atuadores lineares para movimentar as pistolas de aplicação de desmoldante e laca. Dado que os fluidos têm de ser aplicados a uma certa distância, pode-se dispensar a utilização dos referidos atuadores.
- Alteração da ventosa do sistema de sopragem. O modelo escolhido revelou ter um diâmetro excessivo para o diâmetro da armadura do volante. Dessa forma não seria possível alcançar os furos de escape de ar que poderão ficar impedidos com sobrantes.
- Alteração dos dedos utilizados na ferramenta de prensão. A geometria idealizada era de fabricação muito complicada e dispendiosa. Para além disso, não dava garantias de funcionamento correto no caso da retirada de setas. Optou-se por alterar os dedos de forma a apenas permitir a prensão de aros e volantes e adicionar uma nova ferramenta para extração de setas.
- Alteração da forma do corpo da garra. Verificou-se que a sua massa poderia ser reduzida (nesta versão igual a 1.6 Kg).
- Em termos de dimensões gerais, esta versão possuía as seguintes dimensões: 268 mm de profundidade, 335 mm de largura e 210 mm de altura.

- **Versão 2**

Nesta versão foram solucionados os pontos referidos no tópico anterior. Para além disso, foram adicionados novos componentes: um atuador com uma agulha para extração de setas, a

ilha de válvulas e a flange de acoplamento ao robô. Chegou-se então à solução apresentada na figura 3-27.

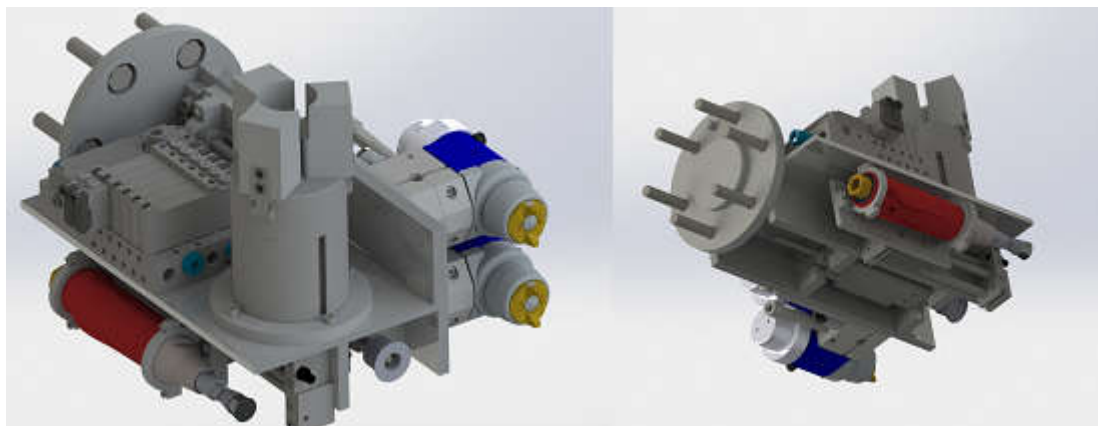


Figura 3-27 – 2ª Versão do órgão terminal do robô

Resumidamente, chegou-se a uma solução com as seguintes características:

- Duas pistolas pulverizadoras Graco AA G40 fixas ao corpo da garra.
- Um sistema de sopragem retrátil constituído por uma ventosa de diâmetro reduzido, um soprador e um cilindro de haste oca com um curso de 25mm.
- Uma garra de 3 dedos para prensão de aros e volantes.
- Uma agulha para extração de setas, montada num cilindro pneumático de curso 50mm.
- Uma ilha de válvulas Festo VTUG 10 VRPT.
- Flange de fixação ao robô por ligação aparafusada de 4 parafusos.
- Corpo da garra com uma massa de 1.2 Kg e dimensões de 260mm de profundidade, 250mm de largura e 201mm de altura.

- **Versão final**

A versão final trata-se de uma evolução da 2ª versão, mantendo-se as ferramentas e alternando apenas o sistema de fixação e o curso dos elementos de movimentação linear de ferramentas, com o objetivo de permitir um melhor alcance às superfícies dos elementos da linha. Assim foi possível otimizar os cursos tendo em conta o espaço existente na ferramenta.

Na figura 3-28 e apresentado um modelo de conjunto da garra desenvolvida e tabela 3.5 são listados os elementos principais da garra.

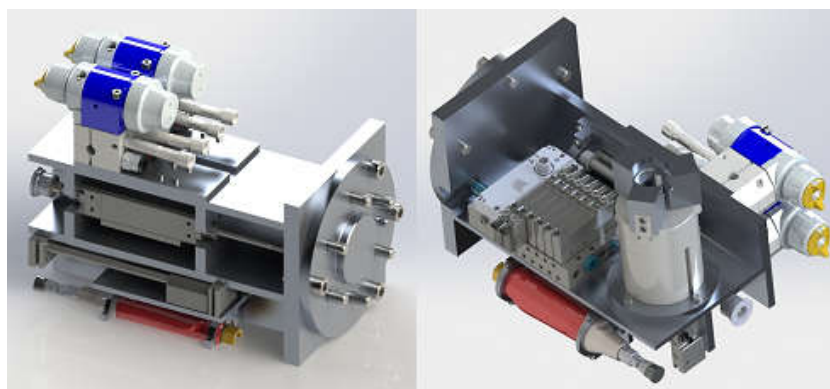


Figura 3-28 - Versão final do órgão terminal do robô

Tabela 3-5 – Listagem de elementos incluídos na garra

Função	Elementos	Referência	Curso [mm]
Preensão	Garra de 3 dedos	Festo DHDS-50-A	6
Aplicação de fluidos	Pistola de pulverização	Graco AA G40 Automatic	-
Sopragem	Ponteira de Sopragem	SMC KN-R02-100	-
	Ventosa	SMC ZP2-B20 MB N	-
	Cilindro simétrico de haste oca	Festo DZH-16-80-PPV-A-S20	80
Limpeza	Ferramenta Pneumática Rotativa	Desoutter KC340-9	-
	Escova em nylon	Desoutter 404	-
	Cilindro s/ haste de acoplamento magnético	SMC CY1SG6-120Z	120
Setas	Cilindro assimétrico convencional	SMC CD85E8-100S-A	100
Comando	Terminal de eletroválvulas pneumáticas	VTUG-10-VRPT-B1T-Q6L-DT-M5SKXH1KXH1AXH1AXH1AXH1AXH1	-

A solução desenvolvida para a garra tem uma massa de aproximadamente 6.5 Kg, o que não condiciona a escolha do robô, que tem uma capacidade de carga de 40 Kg.

Na tabela 3-6 é apresentado em detalhe, a massa dos distintos componentes da garra.

Em termos de atravancamento da garra desenvolvida, foi possível obter as seguintes dimensões aproximadas, 195 x 250 x 275 mm, conforme apresentado na figura 3-29.

Tabela 3-6 – Análise de massas de todos os componentes incluídos no órgão terminal do robô

Preensão		Pistola de aplicação de fluidos		Sopragem		Massa Total
Elementos	Massa	Elementos	Massa	Elementos	Massa	
Garra	0,920	Pistola	0,545	Ventosa	0,015	
Conjunto de Dentes	0,156	Manifold	0,225	Ponteira de Sopragem	0,035	
Placa de Fixação	0,163	Placa de fixação	0,078	Cilindro	0,140	
Total Parcial	1,239	Total Parcial (x2)	1,696	Total Parcial	0,190	
Limpeza		Extração de Setas		Corpo Garra		Massa Total
Elementos	Massa	Elementos	Massa	Elementos	Massa	
Ferramenta	0,400	Agulha	0,010	Corpo Garra	1,276	
Acoplamento	0,104	Atuador	0,102	Flange Garra	0,403	
Atuador Linear	0,340	Placa de fixação	0,146	Ilha de Válvulas	0,496	
Total Parcial	0,844	Total Parcial	0,258	Total Parcial	2,175	6,402

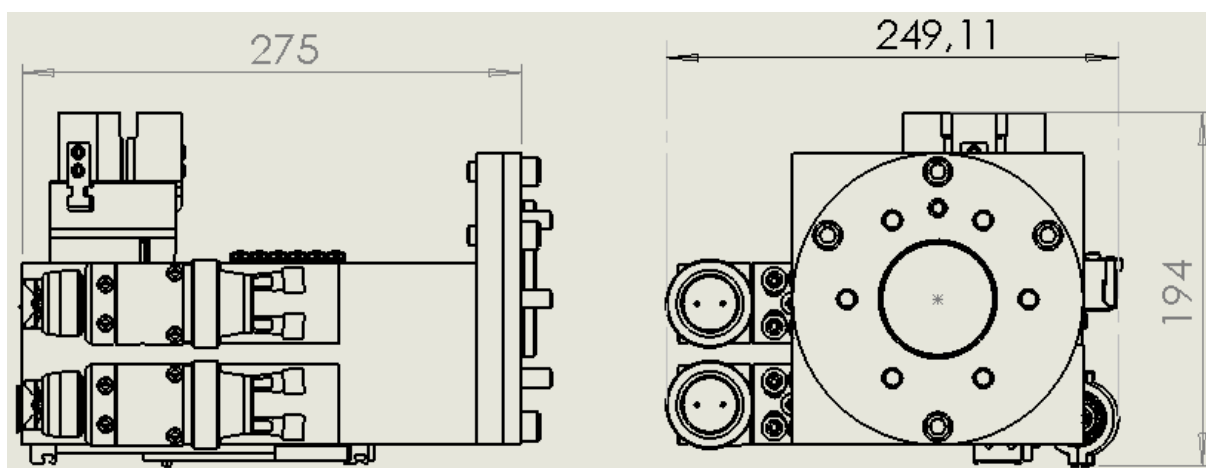


Figura 3-29 – Dimensões máximas do órgão terminal do robô

## 4 Modelação da linha de injeção

De forma a garantir elevada fiabilidade na simulação da programação do robô foi necessário incorporar na simulação os elementos mecânicos já existentes como os porta-moldes, os moldes e o cabeçal. Também foi necessário incluir os objetos necessários para a execução do processo: os aros de volantes, os volantes injetados e as setas.

Dada a idade dos elementos mecânicos intervenientes na operação não existe nenhum tipo de modelo tridimensional computadorizado. Assim foi necessário desenvolver os modelos CAD dos diferentes objetos de forma a poder fazer a sua inclusão no software de programação e simulação do manipulador robótico. Em relação aos objetos intervenientes, dado que estes são propriedade das marcas de automóveis clientes da TRW, não foi possível o fornecimento de nenhum modelo CAD dos referidos elementos. Assim foram também desenvolvidos os modelos dos aros e dos volantes.

Os modelos foram criados no software de modelação tridimensional Solidworks e posteriormente importados para o RobotStudio. A modelação da linha de injeção e da programação do robô é feita no software RobotStudio.

### 4.1 Desenvolvimento dos modelos CAD dos componentes principais da linha de injeção

No presente capítulo são apresentados os diversos elementos criados e as suas características pertinentes para a simulação. Houve o cuidado de representar os componentes como mecanismos, dotados de cinemática adequada, de modo a efetuar a sua simulação.

#### 4.1.1 Molde

Em termos de molde foram criadas as duas partes constituintes: o meio molde inferior e o meio molde superior. Internamente ambas as partes possuem o negativo volante desenhado. Em termos de detalhes foram replicados os seguintes elementos:

- Locais de saída das setas: foram desenhados, o mais aproximadamente possível, os orifícios de saída das setas assim como o respetivo local onde estas ficam depositadas, e onde o robô deverá ser posicionado para efetuar a sua remoção.
- Ejetor: foi criada uma peça com diversos pormenores construtivos de forma a reproduzir uma réplica de um ejeter, local onde, devido à sua complexidade geométrica em termos de superfícies e *offset's*, ficam depositados a maior quantidade de sobrantes de espuma.
- Bebedouro: este possui um pequeno cone que permite facilitar o encaminhamento do cabeçal na direção de fixação para injeção. Em termos de simulação deu-se

importância ao encaixe entre os diferentes elementos. Não foi incluído na simulação um pequeno cilindro pneumático que está colocado diretamente em baixo do bebedouro e que permite impedir a saída de mais espuma após término da injeção, pois não tem influência no processo de interação entre o robô e célula que se pretende simular.

As figuras 4-1 e 4-2 permitem fazer a comparação entre o molde existente e o modelo criado.

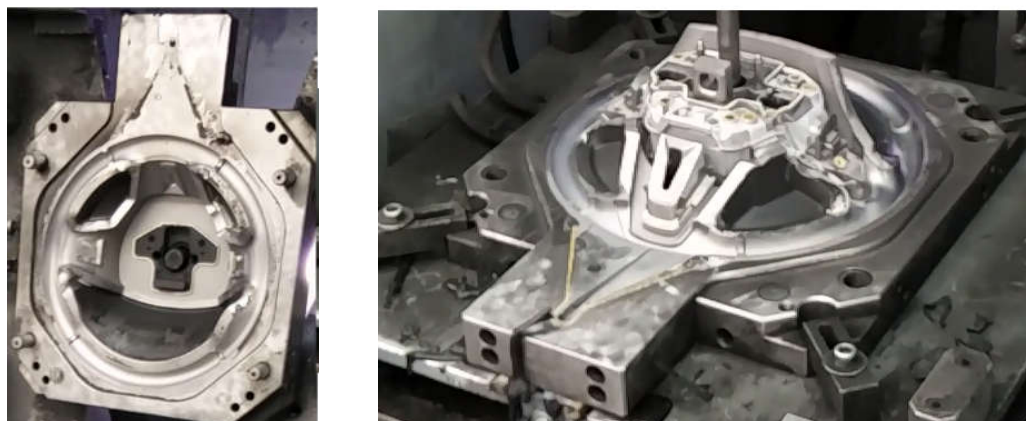


Figura 4-1 – Ilustração dos dois meios moldes: superior (à esquerda) e inferior (à direita)

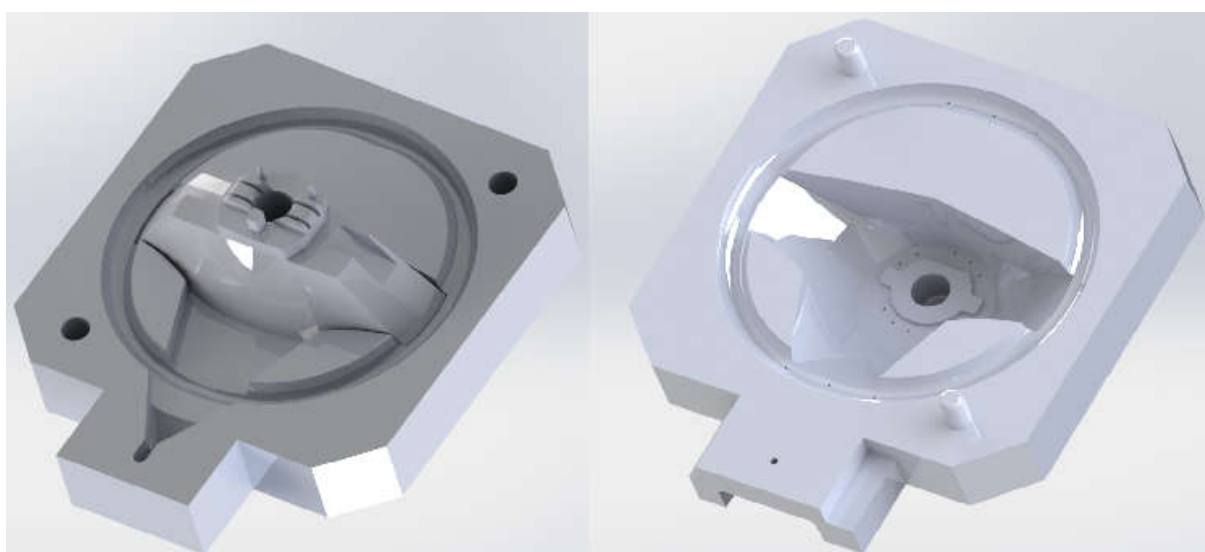


Figura 4-2 – Ilustração dos modelos criados para os dois meios moldes: inferior (à esquerda) e superior (à direita)

#### 4.1.2 *Porta moldes*

No porta-moldes, devido à sua importância para o processo em termos de posicionamento dos meios moldes em relação ao robô, foram replicados todos os mecanismos de movimentação existentes. Assim o porta-moldes permite as seguintes movimentações:

- Fecho: esta posição está definida para a posição na qual os dois moldes se encontram num plano paralelo ao chão e será definida como o ângulo de zero.
- Abertura: permite fazer as operações nas quais o molde necessita de estar aberto como: a aplicação de desmoldante, laca, colocação de aros e remoção de volantes

injetados e limpeza dos moldes após injeção. Tal como pode ser verificado, será nesta posição que existirá maior intervenção do robô no processo. A abertura do molde foi definida para uma posição de abertura com um ângulo  $110^\circ$ .

- Inclinação: a inclinação é feita até um valor próximo de  $20^\circ$ , sendo que mecanicamente os porta-moldes existentes permitem uma inclinação entre  $-40^\circ$  e  $40^\circ$  fruto da existência de batentes mecânicos.
- Subida para posição de injeção do meio molde inferior: os porta-moldes possuem um sistema mecânico de fecho que associa os movimentos de fecho do porta-moldes e subida do meio molde inferior. Esta subida do meio molde permite manter o fecho e estanquicidade durante o processo de injeção no qual os elementos da espuma são injetados a valores de pressão em torno dos 200 bar. No modelo não foram desenvolvidos esteticamente as peças mecânicas que acoplam o movimento, mas os dois movimentos foram associados permitindo a movimentação idêntica à do sistema real.

Nas figuras 4-3, 4-4 e 4-5 são ilustrados os modelos existentes na fábrica assim como os modelos criados.

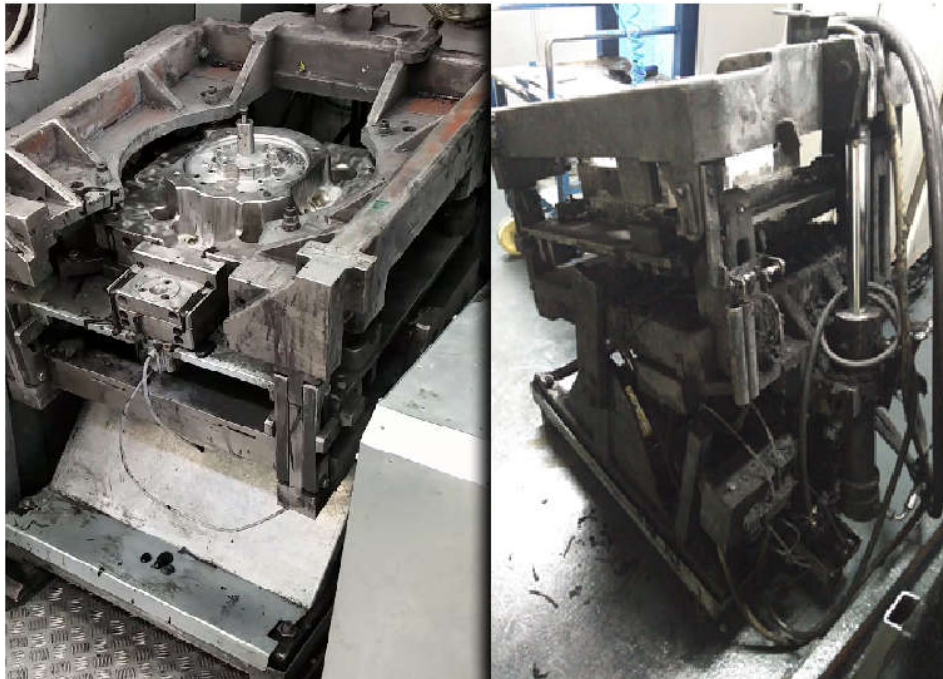


Figura 4-3 – Porta-moldes na posição de fechado para injeção

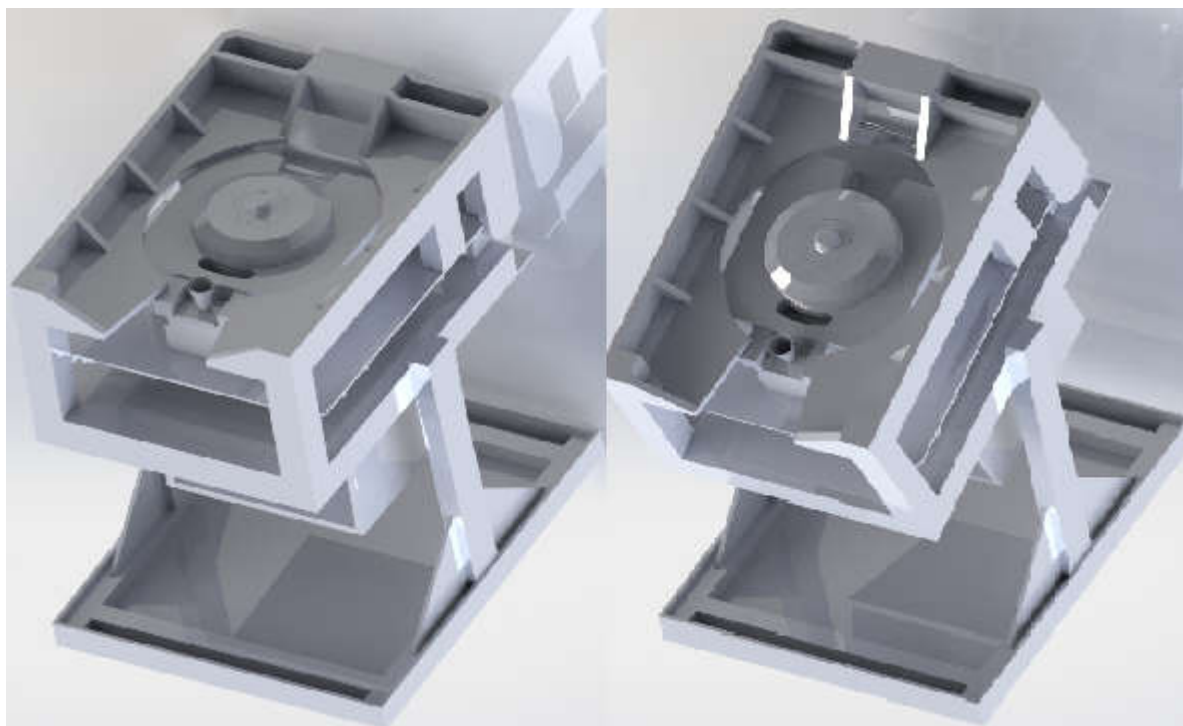


Figura 4-4 – Porta-moldes na posição de ângulo nulo (à esquerda) e em ângulo de 20° (à direita)

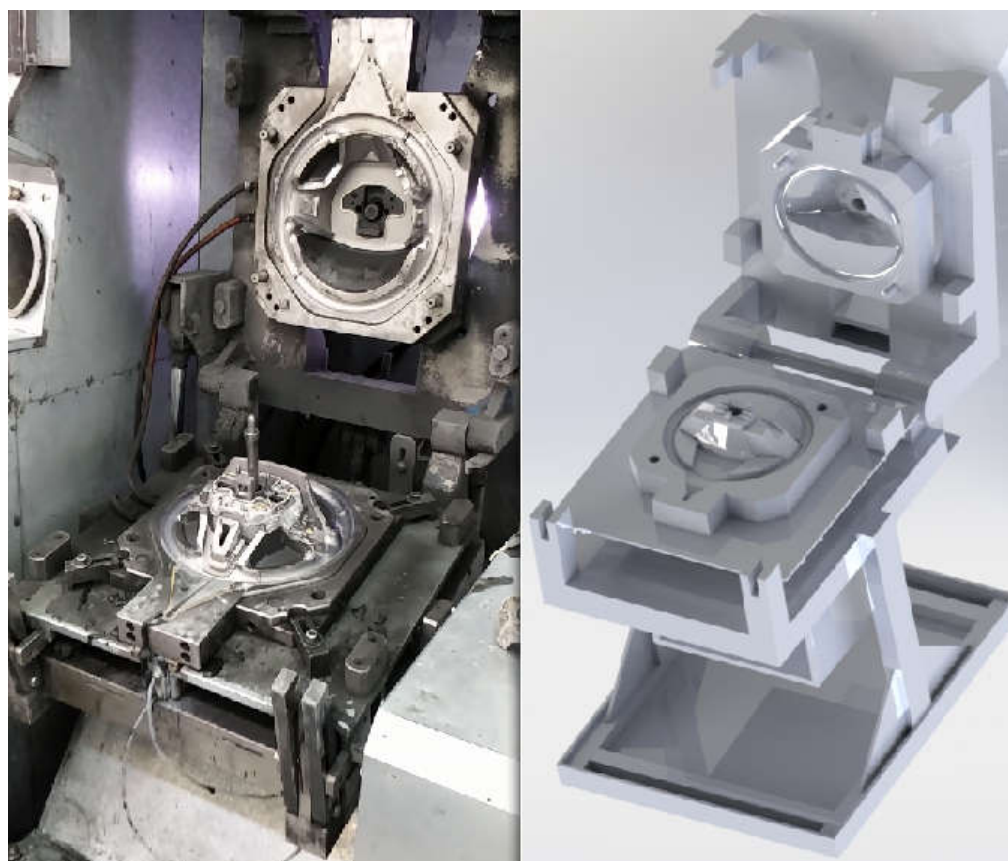


Figura 4-5 – Porta-moldes na posição de abertura

### 4.1.3 Cabeçal

Em relação ao cabeçal foi replicado o sistema de movimentação horizontal, assim como o sistema de movimentação vertical. A TRW prevê fazer a modificação do cabeçal atualmente existente. Assim será possível substituir o sistema de subida e descida do tipo on/off por um sistema com capacidade de regulação de posição. Dessa forma será possível executar todo o processo de injeção com uma inclinação nula do molde, o que traz enormes vantagens à qualidade dos volantes injetados. Nas figuras 4-6 e 4-7 é ilustrado o cabeçal existente, assim como o modelo criado.



Figura 4-6 – Cabeçal na posição recuada (à esquerda) e avançada (à direita)

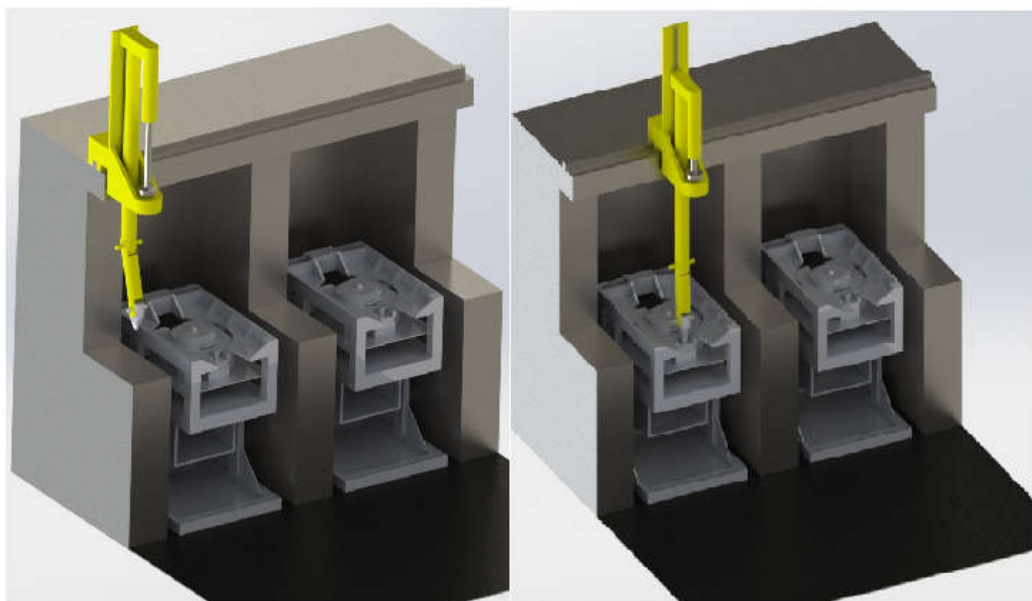


Figura 4-7 – Cabeçal na posição recuada e em descanso (à esquerda) e em posição avançada para injeção (à direita)

#### 4.1.4 Aro de volante e volante injetado

No que toca ao aro do volante e ao volante injetado procurou-se replicar os pormenores geométricos de forma a simular mais corretamente as operações de manipulação. Os modelos desenhados são baseados no modelo X82 produzido pela TRW. Nas figuras 4-8 e 4-9 são ilustrados os componentes reais e os respetivos modelos criados.



Figura 4-8 -Volante injetado após remoção dos excessos e colocação das teclas e eletrónica (à esquerda); modelo criado (à direita)



Figura 4-9 – Aro de volante antes da colocação no molde

## 4.2 Modelação da linha em ambiente RobotStudio

No seguimento dos modelos realizados em Solidworks foi, posteriormente necessária a sua incorporação no software da ABB RobotStudio. Para o conseguir, todos os elementos foram convertidos para o formato 3D neutro Acis. A partir daí foi necessário a criação de Smart Components que permitem a animação dos mecanismos, nomeadamente dos moldes, do cabeçal. Em relação à garra houve necessidade de um cuidado particular devido aos referenciais das ferramentas. Estes pontos são abordados com maior detalhe no capítulo seguinte.

De seguida, é apresentado o layout desenvolvido para a célula de injeção, que inclui o robô e ainda dois transportadores, um motorizado para entrega de aros de volante e um de movimentação de peças, por gravidade.

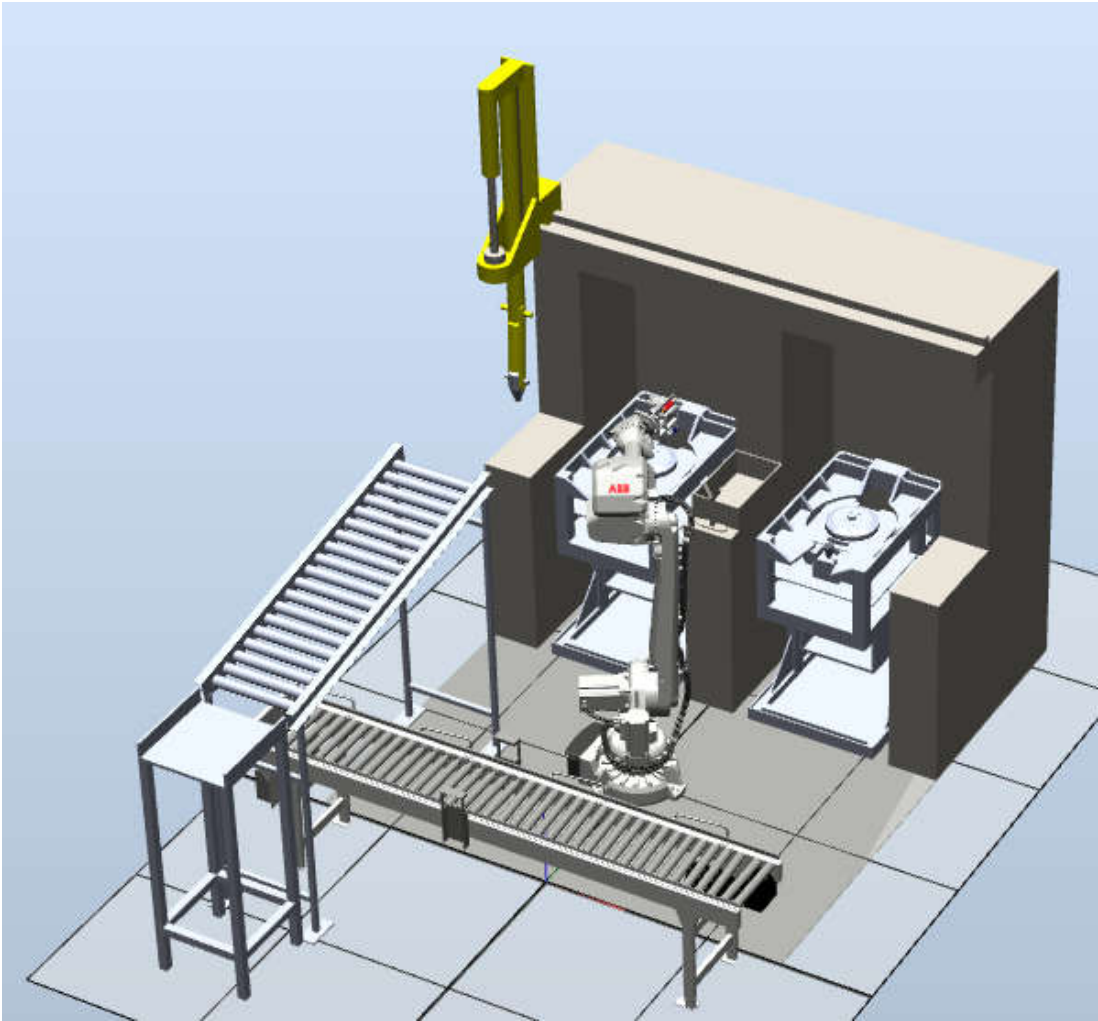


Figura 4-10 – Célula modelada criada em ambiente RobotStudio

Conceção e simulação de um sistema robótico para operações de injeção de volantes

## 5 Desenvolvimento e apresentação da solução

No presente capítulo é abordada, a solução proposta em termos de funcionamento para uma linha totalmente automatizada.

Antes de entrar em detalhe na solução, importa referir que a TRW produz uma grande diversidade de modelos de volantes com características muito distintas, tanto em termos de forma, como em proporções de materiais e tempos de operações. Assim num contexto real, para o investimento ser viável, é necessário que a célula robótica seja flexível ao ponto de ser capaz de produzir um grande número de modelos. De acordo com este facto, seria importante a criação de uma base de dados com as rotinas necessárias para cada modelo. Essa base de dados incluiria as trajetórias, os tempos de operação e aplicação de elementos, entre outros dados. Dessa forma, seria possível ao chefe de linha escolher o modelo a produzir no início do turno.

Atualmente as linhas de injeção já possuem um sistema de controlo e parametrização da gestão da linha realizado em Siemens WinCC Flexible. Neste sistema é possível definir um número elevado de parâmetros inerentes ao processo: como os tempos de operação, variações nos ângulos do porta-moldes, proporções de materiais, entre outros. É também possível recolher todos os dados do processo: número de volantes injetados por operador, percentagem de rejeição devido a defeitos, tempo médio de produção, entre outros. O objetivo passaria pela integração total entre a célula robótica, a base de dados da célula e o WinCC Flexible.

Assim, ao longo deste capítulo é descrito o procedimento utilizado para integração de todos os elementos necessários ao funcionamento da célula, como, os porta-moldes, o cabeçal, os transportadores de entrega de aros e recolha de volantes e ainda a garra.

Posteriormente é descrito o procedimento desenvolvido na simulação da célula, assim como uma análise de tempos de operação. Dessa forma é possível, por fim, fazer uma apreciação geral da simulação focando nos pontos que se considera estar adequados, nos que poderão ser melhorados e nos processos que deverão ser alvo de reformulação.

### 5.1 Criação de mecanismos e *SmartComponents*

Conforme foi referido anteriormente, a modelação da linha foi o ponto de partida para a criação da simulação. Desse modo, foi necessário a criação dos referidos Smart Components (SC), que permitem simular movimentos e procedimentos de acordo com o algoritmo criado. A ideia é representar na célula, todos os elementos que são programados através dos autómatos instalados na linha.

Assim, de seguida, é feita uma descrição sumária da lógica de funcionamento dos referidos componentes.

### 5.1.1 Porta-moldes

No ambiente virtual criado, é proposta uma solução com dois porta-moldes denominados Molde1 e Molde2, sendo a sua parametrização idêntica, dado que o seu funcionamento também o é.

Após a inserção do modelo 3D do molde no software de simulação foi necessário efetuar a criação dos mecanismos, que permitem simular a movimentação dos referidos elementos. O RobotStudio disponibiliza a criação de dispositivos, dotados de cinemática própria, e que são utilizados na definição de *Smart Components*. Para isso é utilizada a funcionalidade de “Create Mechanism”

Em termos de tipo de mecanismo é possível configurar qualquer elemento como robô, ferramenta, eixo externo ou dispositivo, sendo que os parâmetros configuráveis são variáveis, consoante a seleção feita.

O molde foi configurado como um dispositivo (figura 5-1) sendo definidos os “links” que representam as partes distintas do modelo (figura 5-2) e criadas as “joints” que representam os eixos de movimento do molde. Foram configurados dois eixos de movimento angular para inclinação e abertura do molde e dois eixos para movimentação linear do meio molde inferior e do extrator (ver figura 5-3).

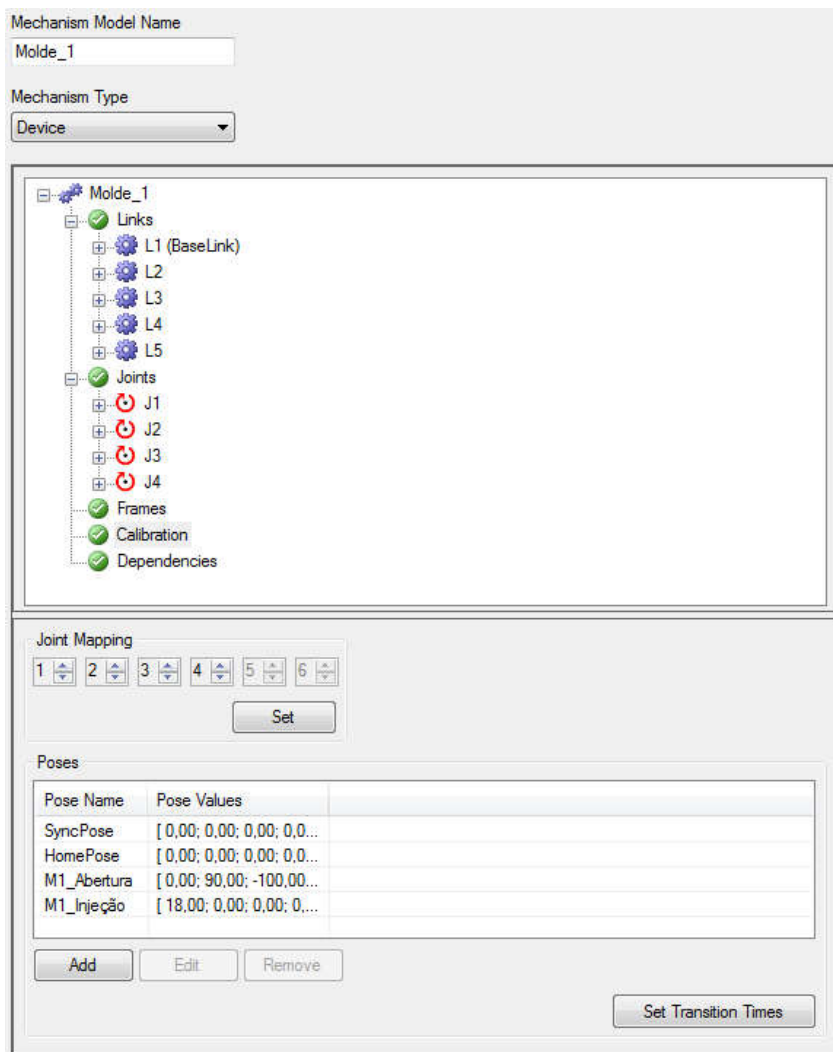


Figura 5-1 – Ambiente de configuração dos *Smart Components* de um molde

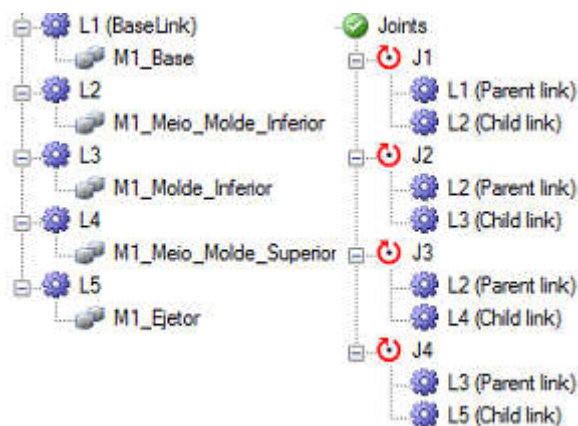


Figura 5-2 – *Links* e *Joints* configurados para os dois moldes

Para finalizar a criação do mecanismo é necessário definir as “Poses”, que representam as posições de funcionamento. Neste caso foram definidas a ”posição fechada”, a “posição aberta” e a “posição de injeção” que estão representadas na figura 5-3.

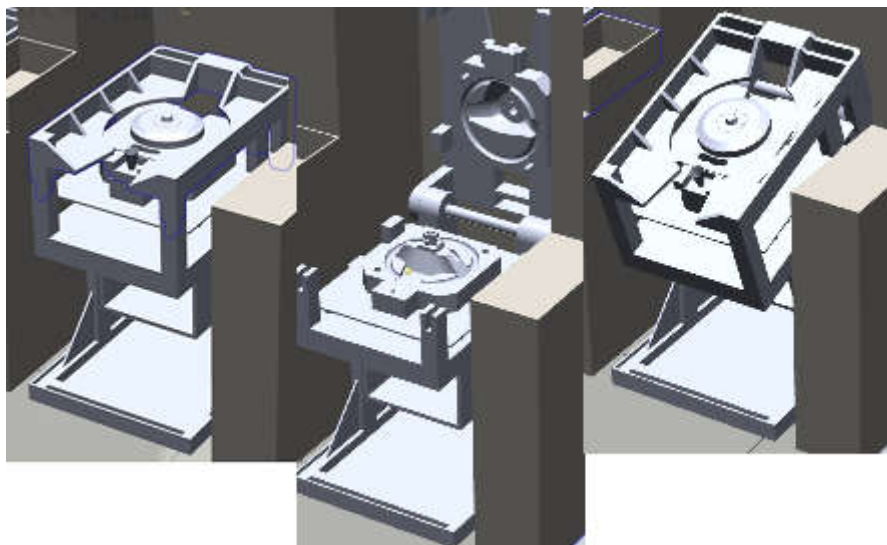


Figura 5-3 – Posições de funcionamento: Posição fechada, posição aberta e posição de injeção

É também possível definir os tempos de transição entre “Poses” de forma a melhorar a dinâmica da simulação. Na figura 5-5 são apresentados os tempos de transição definidos.

Transition Times (s)					
To Pose:	From Pose:				
	SyncPose	HomePose	M1_Abertura	M1_Injeção	
► SyncPose		0,000	0,000	0,000	
HomePose	0,000		1,000	1,500	
M1_Abertura	0,000	1,000		0,000	
M1_Injeção	0,000	1,500	0,000		

Figura 5-4 – Tempos de transição definidos para a comutação entre as diferentes poses

No anexo B é apresentada a lógica de funcionamento dos *Smart Components* criados para os dois moldes.

### 5.1.2 Cabeçal

De forma semelhante aos moldes, o cabeçal também foi criado através da ferramenta “Create Mechanism” e configurado como sendo um “device”.

É importante referir que nas linhas de injeção da TRW existem 4 cabeçais por linha, sendo que por norma estes trabalham com dois moldes à vez. Essa lógica de funcionamento teve de ser utilizada na simulação do funcionamento do processo de injeção.

O cabeçal foi configurado como um mecanismo possuindo quatro juntas, duas de translação e duas de rotação (figura 5-5).

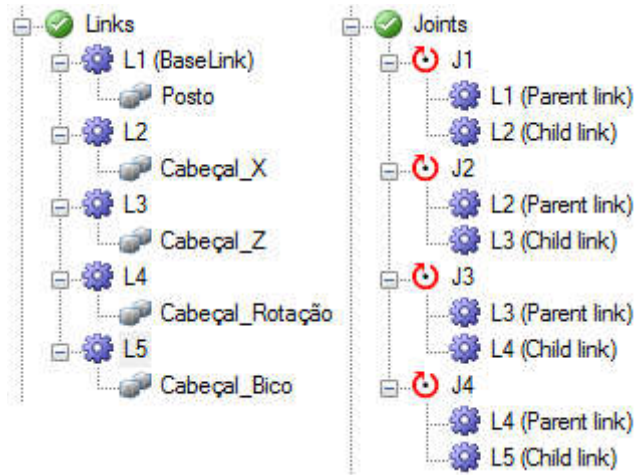


Figura 5-5 - Links e Joints configurados para o cabeçal

No que toca a “Poses”, foram definidas cinco posições distintas “Home”, posto 1 aproximação, posto 1 final, posto 2 aproximação e posto 2 final conforme representado na figura 5-6.

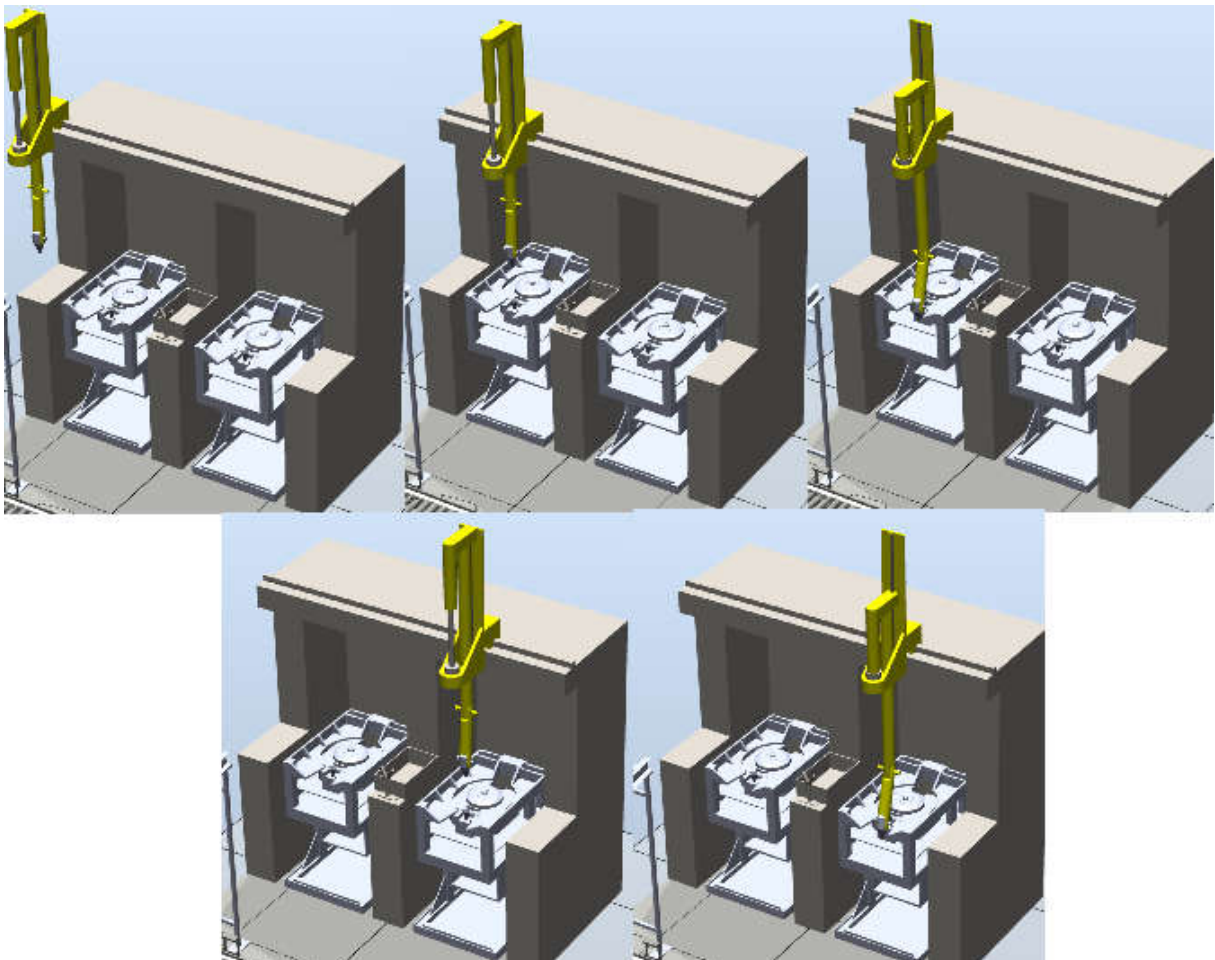


Figura 5-6 – Poses definidas para o cabeçal: home position, posto 1 aproximação, posto 1 final, posto 2 aproximação e posto 2 final

Para a definição de cada uma destas cinco posições, são utilizados três sinais digitais, seguindo a lógica apresentada na tabela 5-1. A sua modelação como Smart Component é apresentada no anexo B.

Tabela 5-1 – Lógica de funcionamento para o Smart Component Cabeçal

	P2	P1	Final
<b>Home</b>	0	0	0
<b>Posto 1 Aprox.</b>	0	1	0
<b>Posto 1 Final</b>	0	1	1
<b>Posto 2 Aprox.</b>	1	0	0
<b>Posto 2 Final</b>	1	0	1

### 5.1.3 Conveyor de fornecimento de aros de volantes

Para o conveyor de entrada utilizou-se o modelo Conveyor Guide 400 disponível na biblioteca de equipamentos do RobotStudio. Este modelo é fisicamente semelhante a um conveyor motorizado habitualmente utilizado em aplicações industriais. Na figura 5-7 é apresentada uma ilustração do modelo utilizado e da sua posição relativa na célula robótica.

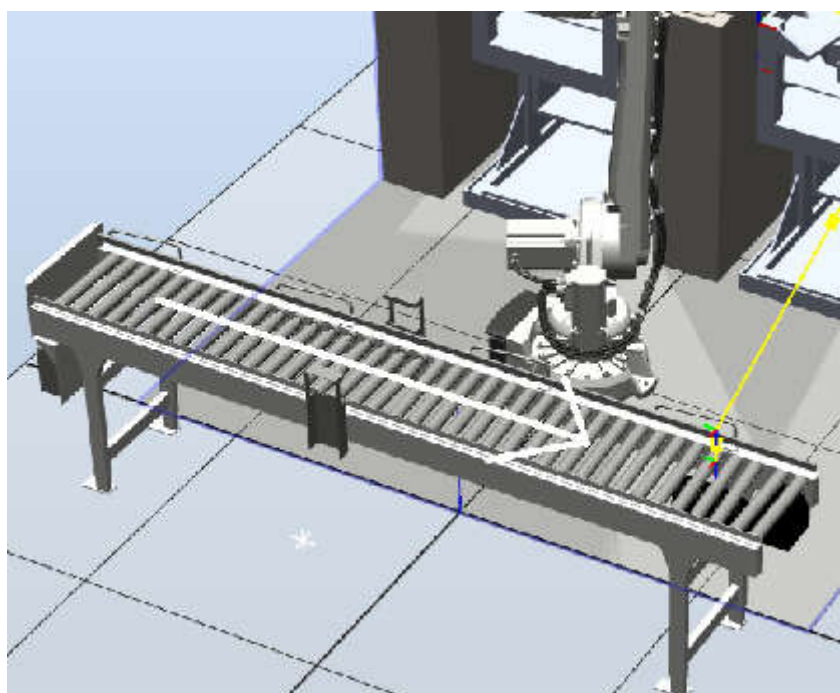


Figura 5-7 – Conveyor Guide 400 utilizado na simulação para alimentação de aros de volantes

Em termos de funcionamento um operador está encarregue do fornecimento dos aros dos volantes, sendo que em condições reais é possível que sejam colocados alguns aros de forma a servir de buffer para que o robô nunca pare por falta de material.

Para conseguir o funcionamento pretendido foi necessário a criação do respetivo *Smart Component* com a lógica de funcionamento. Para além disso, foi necessário configurar o programa principal para permitir correr duas rotinas em paralelo, a do robô e a do *Smart Component*. A lógica usada na criação deste Smart Component é apresentada no anexo B.

#### 5.1.4 Conveyor de recolha de volantes

Para o conveyor de saída foi necessário modelar um sistema, uma vez que a biblioteca de equipamento da ABB não inclui conveyors de acionamento por gravidade. Assim recorreu-se ao Solidworks para modelar um objeto que permita simbolizar o funcionamento pretendido.

O modelo criado é apresentado na figura 5-8.

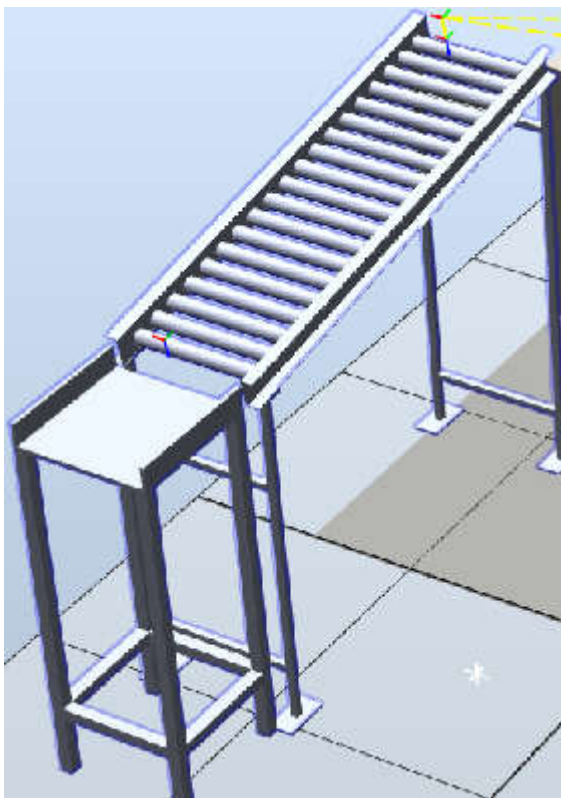


Figura 5-8 – Conveyor criado em Solidworks para recolha de aros

Na prática pretende-se que o robô transporte o volante do molde até ao conveyor, ficando este responsável pelo encaminhamento até ao operador. Aquando da sua implantação física, será necessário revestir os rolos e os topos do conveyor de um material flexível, de forma a evitar danificar o volante durante o seu transporte. É necessário ter este aspeto em consideração uma vez que, após injeção, as propriedades térmicas do poliuretano ainda não tiveram tempo suficiente para estabilizarem, pelo que a sua superfície pode ser facilmente danificada. Em termos lógicos, o funcionamento deste Smart Component é apresentado no anexo B.

## 5.2 Parametrização do órgão terminal do robô

Esta secção apresenta o procedimento efetuado para a incorporação do órgão terminal do robô como um mecanismo no ambiente de simulação do RobotStudio. Em primeiro lugar, aquando da definição da garra em ambiente Solidworks foi necessário especificar um referencial base “Tool0” na sua flange. Deste modo é facilitado o processo de incorporação da garra em ambiente RobotStudio

O procedimento utilizado para a parametrização da garra é semelhante ao usado para criar os mecanismos anteriormente referidos, isto é, utilizar a ferramenta “Create Mechanism” para definir “Links”, “Joints”, “Frames”, “Calibrations” e “Dependencies”. Neste caso em

particular foi utilizada a opção de criação de uma “Tool”. Posteriormente, foi necessário definir a lógica de funcionamento através da criação de um *Smart Component*.

De seguida é explicado o procedimento utilizado para parametrização de garra através da função “Create Mechanism”.

Em primeiro lugar foram definidos todos os “Links”: a base da garra, e todos os elementos que possuem movimentação em função da mesma: limpeza, sopro, agulha e dentes.

Posteriormente, a partir dos “Links” definidos, fez-se a definição das “Joints”. Neste caso, todas tratam movimentos lineares, de acordo com os atuadores escolhidos no capítulo 3.4.1., excetuado o caso da movimentação dos dentes pertencentes ao órgão de prensão, que possuem movimento radial. A parametrização realizada pode ser confirmada na figura seguinte.

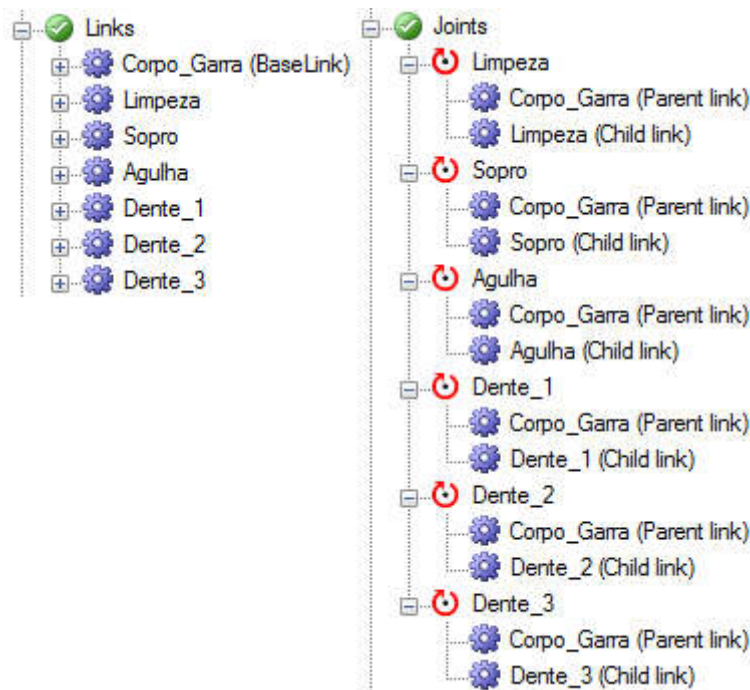


Figura 5-9 – *Links* e *Joints* configurados para a garra

Para este caso em particular houve também a necessidade de definir os “Frames” relativos a cada ferramenta. É a partir destes que são definidos cada TCP para cada ferramenta. A título de exemplo, para exemplificar a criação da “Tooldata”, será feita referência à ferramenta Limpeza. Em primeiro lugar é necessário indicar a que “Link” pertence, assim como a sua posição e orientação relativamente ao referencial de base “Tool0”. Posteriormente é necessário indicar dados relativos a parâmetros que influenciam a movimentação do robô: massa, centro de gravidade e momentos de inércia.

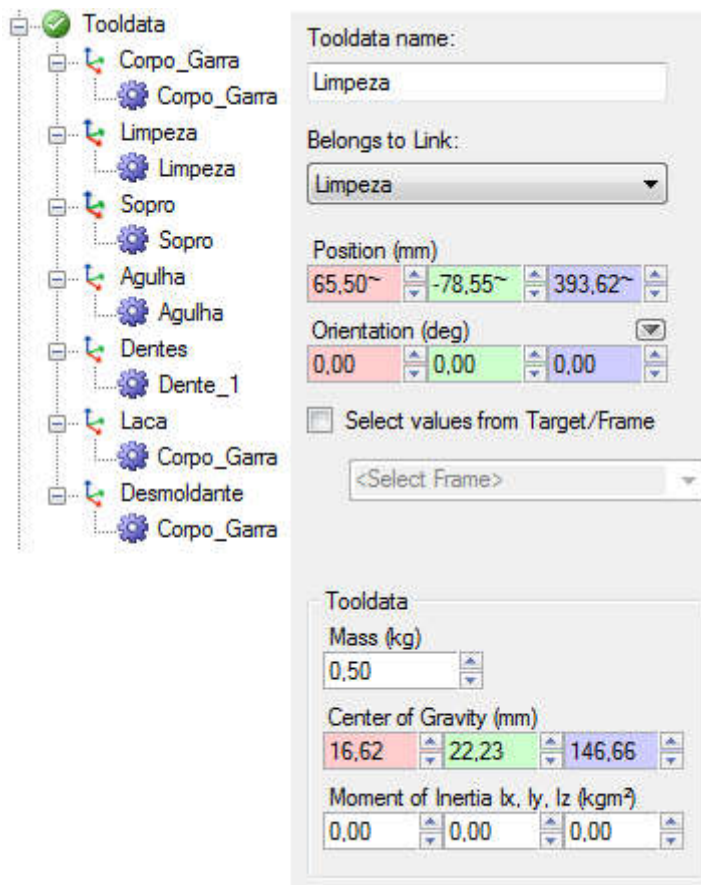


Figura 5-10 – Parametrização realizada em relação a TCP’s para todos os elementos da garra e parametrização definida, em particular, para o referencial Limpeza

Por fim, foi definida a dependência entre os 3 dentes, ou seja, tal como no mecanismo real cuja entrada de ar é a mesma para todos, também na simulação será apenas necessária uma entrada digital para comutar válvula de controlo e todos os dentes se movimentarão.

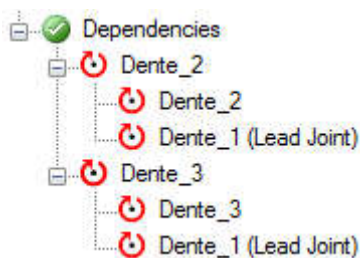


Figura 5-11 – Dependências definidas para o caso da ferramenta de prensão

Em termos de “Poses”, foi criada uma para cada posição final de cada ferramanenta da garra sendo que a “Pose” “Home Position” fica responsável por representar, para qualquer mecanismo, a sua posição de origem. No que toca a tempos de transição entre “Poses” definiu-se 1 segundo para todos os movimentos lineares e 0.5 segundos para o movimento radial dos dentes da garra. Este tempo foi definido com base nos tempos médios de comutação para atuadores de ar comprimido, tendo em conta os cursos definidos.

Pose Name	Pose Values
SyncPose	[ 0,00; 0,00; 0,00; 0,00 ]
HomePose	[ 0,00; 0,00; 0,00; 0,00 ]
Limpeza	[ 120,00; 0,00; 0,00; 0,00 ]
Sopro	[ 0,00; 65,00; 0,00; 0,00 ]
Agulha	[ 0,00; 0,00; 95,00; 0,00 ]
Dentes_Open	[ 0,00; 0,00; 0,00; -10,00 ]

Figura 5-12 – Poses definidas para todos os elementos móveis da garra

Finalizando a parametrização da ferramenta é agora necessário fazer referência ao comando da mesma através do respetivo *Smart Component*.

Neste caso, pretende-se através do *Smart Component* fazer a comutação entre “Poses” definidas aquando da criação da garra e ainda permitir que a ferramenta de prensão possa manipular aros de volantes ou volantes injetados. Dessa forma é possível dividir a lógica de comando em duas partes de forma a facilitar a compreensão do funcionamento do mecanismo.

Para a comutação entre “Poses” foram usadas 4 entradas digitais e 4 saídas digitais. Através das entradas é dada ordem para a comutação entre “Poses”. As saídas devolvem informação caso a comutação tenha realmente acontecido, na prática funcionam como fins de curso. Em todo o caso, a comutação para a posição “Home” tem prioridade sobre todas as outras comutações, de forma, a simbolizar o regresso às posições base por falha de algum sistema elétrico, tal como pretendido. De seguida é apresentada a lógica usada para todos as ferramentas: limpeza, sopro, agulha e “Home”, excetuando o funcionamento da ferramenta de prensão que é tratada em detalhe posteriormente.

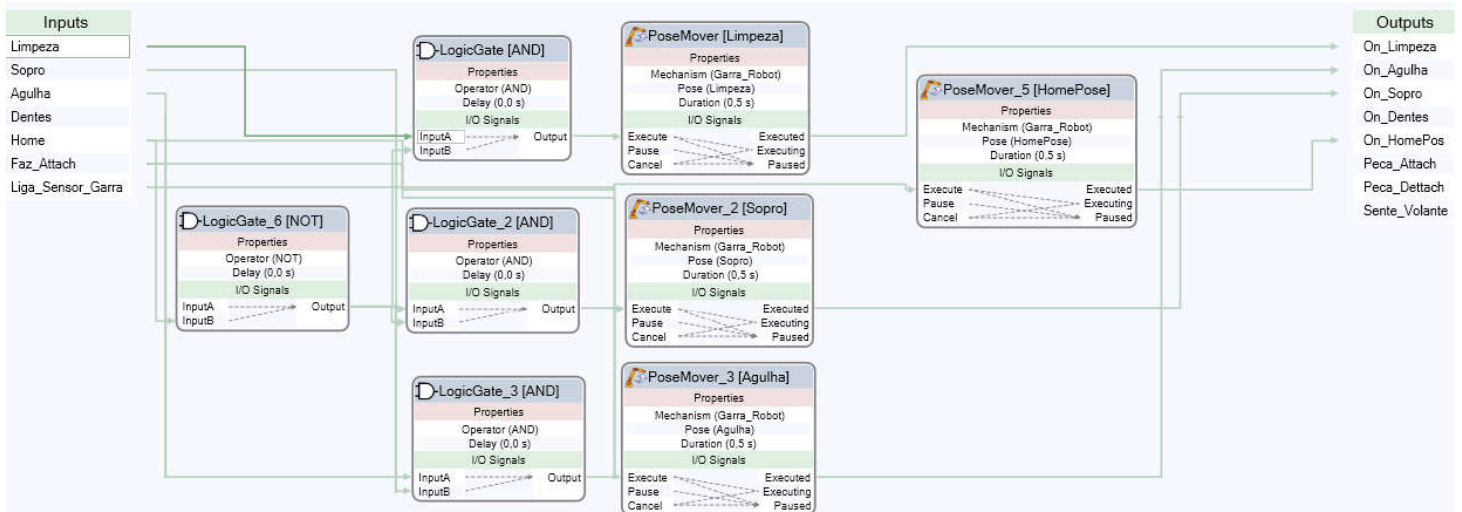


Figura 5-13 – Lógica de funcionamento do *Smart Component* garra para os mecanismos de limpeza, sopro, agulha e regresso à posição home

No que diz respeito ao funcionamento da ferramenta de prensão, tal como foi referenciado, existem algumas diferenças de funcionamento, uma vez que é necessário ativar a

funcionalidade que permite manipular virtualmente os aros de volantes e os volantes injetados, isto é, a garra deve poder “agarrar” e “largar” os aros e volantes.

Assim, neste caso existe a mesma lógica utilizada anteriormente para comutação entre a posição aberta e fechada da garra. Para isso são utilizadas duas entradas digitais para a comutação entre as duas posições e duas saídas digitais que representam os fins de curso da garra. Tal como no caso dos outros mecanismos, a entrada “Home” tem prioridade sobre a abertura dos dedos, pois em caso de falha pretende-se que a garra mantenha o objeto que transporta em apreensão.

Para além disso, neste mecanismo é preciso ativar ou desativar a manipulação dos objetos a transportar. Para isso, foi necessário colocar um sensor na garra para deteção e reconhecimento dos objetos a manipular e ainda utilizar os comandos “attach” e “dettach” para efetuar virtualmente a apreensão dos objetos.

Na figura 5-14 é apresentada a lógica de funcionamento do mecanismo de apreensão.

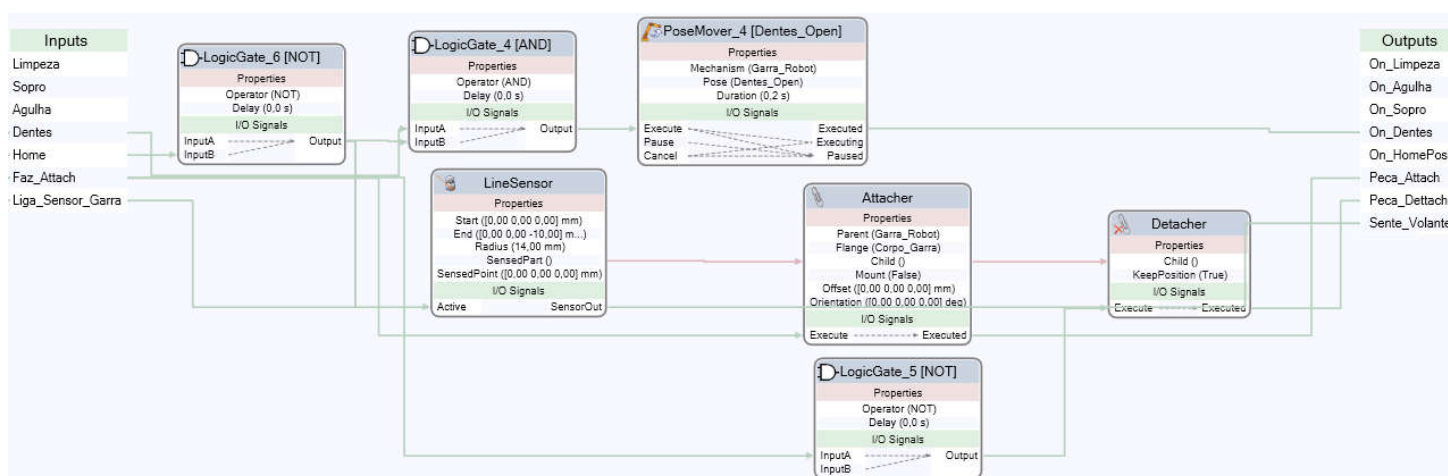


Figura 5-14 – Lógica de funcionamento do *Smart Component* garra para o mecanismo de funcionamento da ferramenta de apreensão

### 5.3 Procedimento para a injeção de volantes totalmente automatizadas

Findada a criação de todos os mecanismos de interação com o robô que permitem a realização do processo de injeção é em seguida apresentada a lógica de funcionamento da célula robótica de acordo com o realizado na simulação.

Para o funcionamento correto entre os dois moldes, foi necessário utilizar uma rotina de entrada que permite a sincronização do processo após paragem. No seguimento dessa rotina, é feita a entrada numa rotina cíclica de trabalho com os dois porta-moldes.

A rotina de funcionamento geral foi denominada “Main”. Na simulação esta rotina é corrida no controlador do robô e sincroniza o funcionamento do robô com os *Smart Components*. Na situação real, o controlador do robô executaria as rotinas de movimentação do mesmo e comunicaria, via Profinet, com o autómato mestre que faz a gestão todos os autómatos escravos da linha. No caso realizado, o controlador do robô faz a gestão de sinais entre o robô e os *Smart Components*. A estrutura de funcionamento da rotina “main” é apresentada no anexo C, sendo representadas a azul as rotinas de movimentação do robô e a vermelho as rotinas de funcionamento dos *Smart Components*.

#### **5.4 Análise de tempos de operação**

Após a programação da célula robótica para realizar a sequência de operações pretendida, é agora importante fazer referência ao tempo de ciclo de todas as operações descritas, avaliado através das simulações efetuadas.

Para isso foi construída a tabela 5-2 que representa os tempos de ciclo de todas as operações retirados da simulação realizada, que são equivalentes aos tempos médios do processo atualmente em utilização.

Tabela 5-2 – Análise de tempo de ciclo para todas as tarefas realizadas na célula de injeção

Número da operação	Operação a realizar	Tempo de realização [s]
1	Inicialização	8
2	Aplicação de desmoldante na parte inferior de M1	4
3	Aplicação de desmoldante na parte superior de M1	8,5
4	Aplicação de laca na parte inferior de M1	4
5	Aplicação de laca na parte inferior de M1	8,5
6	Colocação de aro em M1	12,5
7	Injeção em M1	25,5
8	Aplicação de desmoldante na parte inferior de M2	4
9	Aplicação de desmoldante na parte superior de M2	8,5
10	Aplicação de laca na parte inferior de M2	4
11	Aplicação de laca na parte inferior de M2	8,5
12	Colocação de aro em M2	8,5
13	Injeção em M2	34
14	Retirar setas em M1	8
15	Retirar volante injetado em M1	15
16	Limpeza de canais em M1	13
17	Limpeza da parte inferior do M1	24
18	Limpeza da parte superior do M1	30
19	Aplicação de desmoldante na parte inferior de M1	4
20	Aplicação de desmoldante na parte superior de M1	8,5
21	Aplicação de laca na parte inferior de M1	4
22	Aplicação de laca na parte inferior de M1	8,5
23	Colocação de aro em M1	12,5
24	Injeção em M1	25,5
25	Retirar setas em M2	8
26	Retirar volante injetado em M2	11
27	Limpeza de canais em M2	13
28	Limpeza da parte inferior do M2	24
29	Limpeza da parte superior do M2	30
	Retorno à operação 8	

Tendo em conta que a injeção de um volante demora em média 150 segundos, é possível retirar algumas conclusões acerca da viabilidade do processo automático:

- A injeção de 2 volantes após inicialização da célula demora cerca de 310 segundos;
- A injeção de 2 volantes em modo cíclico demora cerca de 306 segundos;
- As operações mais demoradas são as limpezas dos moldes, totalizando cerca de 54 segundos. Através da correta aplicação de todos os fluidos de preparação do molde

(desmoldante e laca), poderá eventualmente ser possível reduzir as necessidades de limpeza, mas tal carece de verificação experimental;

- O posicionamento dos sistemas de alimentação de aros e recolha de volantes condiciona o tempo de ciclo (demora cerca de 27.5 segundos para o molde 1 e cerca de 19.5 segundos para o molde 2). Assim torna-se importante, aquando da sua aplicação física, definir bem a sua posição, de forma a reduzir ao mínimo o tempo de transporte destes objetos.
- O posicionamento do cabeçal durante a injeção também condiciona o tempo de ciclo. Na simulação realizada, o cabeçal desloca-se sempre desde uma posição base num dos extremos da célula. Nesse caso, a injeção no molde 1 demora cerca de 25.5 segundos, no caso do molde 2 demora cerca de 34 segundos. É evidente que durante a aplicação real é necessário averiguar a melhor posição base de forma a otimizar estes tempos.
- Por fim, torna-se evidente que sendo este um processo sequencial, obtém-se um tempo total de ciclo total constante. Essa característica é muito relevante para o processo, uma vez que retirando o fator humano, é possível fazer previsões mais acertadas acerca das quantidades em fabricação, e assim, otimizar ao máximo a produção.

## 6 Conclusões e perspetivas de trabalho futuro

Ao longo desta dissertação foram abordados os temas propostos a fim de entender e permitir a realização do projeto definido.

Para o melhor entendimento do processo foi necessário realizar um estudo prévio do processo de injeção de volantes implantado na fábrica de TRW em Vila Nova de Cerveira. Com os resultados desse estudo concluiu-se que, para ser possível a implementação de uma célula robótica, esta teria de ser capaz de executar todas as fases do processo atualmente realizadas pelos operadores: manipular aros de volantes e volantes injetados, pulverizar ar comprimido, desmoldante e laca, fazer a limpeza das arestas do molde, limpar os canais de fugas de ar e ainda remover sobrantes originados pela saída de espuma por esses canais.

A partir da análise do processo foi possível desenvolver uma solução para o órgão terminal do robô. Para isso, foi feito um estudo da oferta existente no mercado que possibilitou a escolha das ferramentas mais adequadas e posterior desenvolvimento da garra.

Em paralelo com o desenvolvimento da garra foi realizada a modelação da célula atual, uma vez que não existia nenhum modelo da célula. Na modelação foram incluídos todos os mecanismos indispensáveis para o funcionamento da célula: moldes, porta moldes, cabeçal e injetoras. Os modelos desenvolvidos em Solidworks foram, posteriormente, exportados para o RobotStudio, e criados mecanismos (*Smart Components*) fundamentais para a simulação do funcionamento da célula robótica.

Através do modelo criado, foi possível testar a garra criada de forma a otimizar o seu volume e massa para a aplicação em questão. Chegou-se a uma solução que permite acomodar as ferramentas necessárias ao processo, com um atravancamento reduzido, facilitando a sua movimentação junto dos moldes, e possuindo um peso de aproximadamente 6.5 kg, o que é perfeitamente compatível com a capacidade de carga do robô selecionado.

As ferramentas de conceção e simulação utilizadas permitiram obter uma simulação realista do processo de robotizado de injeção de volantes. Os programas desenvolvidos foram feitos para um tipo particular de volante, mas a estrutura utilizada, facilmente permite a sua adaptação para outro qualquer tipo de volante. Os modelos dos *Smart Components* utilizam uma estrutura lógica que replica os componentes reais, o que facilitará a programação da célula real.

Em termos de simulação do processo, conseguiu-se o proposto e pretendido, ou seja, um processo que se assemelha ao atualmente em vigor, em termos de funcionamento e tempo de ciclo.

Em termos de trabalho futuro segue-se a implementação física da célula robótica desenvolvida. Para isso, existem algumas conclusões que se podem retirar de forma a

conseguir-se o objetivo pretendido. De seguida são apresentados os tópicos relativos a melhorias aconselháveis:

- Em termos de posicionamento do robô, verificou-se que a opção da sua colocação no solo, apesar de viável, dificulta a troca dos moldes e atravanca em demasia o espaço de trabalho. Assim considera-se que será de explorar a colocação do robô em pórtico e em posição invertida.
- Em termos de funcionamento deverá ser necessária a criação de dois modos de trabalho: funcionamento com os dois moldes ou com apenas um, estando o outro para manutenção. Nessa perspetiva é possível aumentar a produtividade da célula. Neste caso, a colocação do robô ao solo também se torna inconveniente, uma vez que para trabalhar com apenas um molde necessita de invadir o espaço do outro molde, colocando em perigo os operários que se encontrem nesse espaço.
- Em termos de tempo de operação, com a simulação criada, é possível concluir que a posição dos sistemas de alimentação e recolha têm um papel preponderante no tempo de ciclo. Assim a sua posição deverá ser otimizada de forma a reduzir os tempos de transporte dos objetos.
- Em termos de processo, as operações de limpeza ocupam também um tempo de ciclo elevado. Na implantação real é necessário averiguar se uma melhor aplicação do desmoldante e da laca não permitirá a simplificação e eventual diminuição do tempo de limpeza.

## Referências

1. ABB. *Dados técnicos do robô IRB4600-40*. 2016; Available from: <http://www07.abb.com/images/default-source/robotics/irb-4600-wr-1.jpg?sfvrsn=0>.
2. Conductor, B. *Segurança ativa e passiva*. 2016 Março de 2016]; Available from: <http://www.bomconductor.pt/biblioteca/resumo-seguranca-ativa-passiva>.
3. FESTO. *Garras Pneumáticas*. Março de 2016]; Available from: [https://www.festo.com/cat/pt\\_pt/products\\_69071](https://www.festo.com/cat/pt_pt/products_69071).
4. SCHUNK. *Gripping Systems: Solutions from one source*. Março de 2016]; Available from: [http://www.schunk.com/schunk/schunk\\_websites/products/products\\_level\\_1\\_overview\\_typ4.html?product\\_level\\_3=0&product\\_level\\_2=0&product\\_level\\_1=244&country=INT&lngCode=EN&lngCode2=EN](http://www.schunk.com/schunk/schunk_websites/products/products_level_1_overview_typ4.html?product_level_3=0&product_level_2=0&product_level_1=244&country=INT&lngCode=EN&lngCode2=EN).
5. SCHUNK. *Gripping Systems: Product Overview*. 2015 Março de 2016]; Available from: [http://www.schunk.com/schunk\\_files/attachments/SCHUNK\\_Automation\\_ProductOverview\\_Greifsysteme\\_2015-06\\_EN.pdf](http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/SCHUNK_Automation_ProductOverview_Greifsysteme_2015-06_EN.pdf).
6. Robotiq, *Why use a robot gripper with 3 fingers?* Mathieu Bélanger-Barrete.
7. FESTO. *Radial gripper DHRS*. 2015; Available from: [https://www.festo.com/cat/pt\\_pt/data/doc\\_engb/PDF/EN/DHRS\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/pt_pt/data/doc_engb/PDF/EN/DHRS_EN.PDF).
8. FESTO. *Angle Grippers DHWS*. 2015 Março de 2016]; Available from: [https://www.festo.com/cat/pt\\_pt/data/doc\\_engb/PDF/EN/DHWS\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/pt_pt/data/doc_engb/PDF/EN/DHWS_EN.PDF).
9. rays, S.o. *What is HVLP and LVLP*. Available from: <http://www.spraysofrays.com/lvlphvlp.htm>.
10. Graco. *The basics of airless spraying*. Available from: <http://www.graco.com/content/dam/graco/ced/literature/misc/321132/321132EN-F.pdf>.
11. Festo. *Air guns*. Available from: [https://www.festo.com/cat/pt\\_pt/data/doc\\_engb/PDF/EN/AIR-GUNS\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/pt_pt/data/doc_engb/PDF/EN/AIR-GUNS_EN.PDF).
12. SMC. *Pulverizing guns*. Available from: [https://www.smc.eu/portal\\_ssl/WebContent/digital\\_catalog\\_2/jsp/view\\_features\\_list.jsp?dc\\_product\\_id=50359](https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/digital_catalog_2/jsp/view_features_list.jsp?dc_product_id=50359).
13. SMC. *Vacuum products*. Available from: [https://www.smc.eu/portal\\_ssl/WebContent/digital\\_catalog\\_2/jsp/view\\_descriptions.jsp?dc\\_product\\_id=28921](https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/digital_catalog_2/jsp/view_descriptions.jsp?dc_product_id=28921).

14. Festo. *Ferramentas de engenharia para seleção de garras de 3 dedos*. Available from: [https://www.festo.com/cat/pt\\_pt/products\\_69071#](https://www.festo.com/cat/pt_pt/products_69071#).
15. Festo. *Three Point Grippers DHDS*. Available from: [https://www.festo.com/cat/pt\\_pt/data/doc\\_engb/PDF/EN/DHDS\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/pt_pt/data/doc_engb/PDF/EN/DHDS_EN.PDF).
16. Graco. *AAF fine finish tips*. Available from: <http://www.graco.com/content/dam/graco/ipd/literature/flyers/344831/344831ENEU-B.pdf>.
17. Graco. *AA G40 automatic*. Available from: <http://www.graco.com/content/dam/graco/ipd/literature/flyers/344969/320530ENEU-CA.pdf>.
18. SMC. *Blow gun*. Available from: [https://content2.smcetech.com/pdf/VMG-F\\_EU.pdf](https://content2.smcetech.com/pdf/VMG-F_EU.pdf).
19. SMC. *KN, With Male Thread/Swinging Nozzle*. Available from: <http://www.smcusa.com/top-navigation/cad-models.aspx?xmlnum=16071>.
20. SMC. *Vacuum Pads*. Available from: [https://content2.smcetech.com/pdf/ZP2\\_A\\_EU.pdf](https://content2.smcetech.com/pdf/ZP2_A_EU.pdf).
21. Desoutter. *Pneumatic grinders and sanders - KC340-9*. Available from: <http://www.desouttertools.com/tools/9/pneumatic-grinders-sanders/91/collet-grinders/p/6151701430/kc340-9>.
22. Festo. *Flat cylinders EZH/DZF/DZH*. Available from: [https://www.festo.com/cat/en\\_gb\\_gb/data/doc\\_ENGB/PDF/EN/EZH-DZF-DZH\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/en_gb_gb/data/doc_ENGB/PDF/EN/EZH-DZF-DZH_EN.PDF).
23. SMC. *Magnetically Coupled Rodless Cylinder*. Available from: [https://content2.smcetech.com/pdf/CY1-Z-A\\_EU.pdf](https://content2.smcetech.com/pdf/CY1-Z-A_EU.pdf).
24. SMC. *ISO Cylinder Series C85*. Available from: [https://content2.smcetech.com/pdf/VDMA-C85\\_EU.pdf](https://content2.smcetech.com/pdf/VDMA-C85_EU.pdf).
25. Scribd. *Product specification IRB 4600*. Available from: <https://pt.scribd.com/doc/211235785/ABB-Product-Specification-IRB4600>.
26. Festo. *VTUG configurator*. Available from: [https://www.festo.com/cat/en\\_gb\\_gb/products\\_VI26](https://www.festo.com/cat/en_gb_gb/products_VI26).

## ANEXO A: Características dos fluidos intervenientes no processo

### 1. Desmoldante

- Aplicação: agente de libertação para espuma integral de poliuretano.
- Propriedades: excelente capacidade de desmoldação. Aplicação através de pulverização aerográfica de forma a se obter a melhor distribuição de ingredientes. Devido à sua elevada concentração em termos de ingredientes ativos é possível obter uma importante redução de volume de desmoldante aplicado.
- Aparência: acabamento *matte* com um toque seco após arrefecimento.
- Temperatura de utilização: 30 a 60°C.
- Composição: Ceras e resinas dispersos em solventes alifáticos.
- Densidade:  $0.80 \pm 0.02$  Kg/L.

### 2. Laca

- Aplicação: para coloração e aumento de rigidez de peças durante moldação. As peças deverão ser feitas em poliuretano. Em termos de aplicação, deverá optar-se por um bocal com um diâmetro em torno dos 0.8mm com uma pressão de aplicação em entre 2 e 5 bar.
- Informação de processo: Antes de processamento, a laca deverá ser agitada de forma a evitar separação das moléculas.
- Composição: resinas de poliuretano, inorgânicos e orgânicos, pigmentos dissolvidos em solventes orgânicos.
- Densidade:  $0.900$  g/cm<sup>3</sup>.

### 3. Espuma: Elastofoam I 4510/147

- Aplicação: espuma constituída por dois ingredientes para produção de peças de espuma elástica integral em aplicações de indústria automóvel.
- Características químicas:  
Polyol: Polieterpolyol com catalisadores, agentes de estabilização e aditivos;  
Isocianeto: Diphenylmethane-4,4'-diisocyanate (MDI)
- Armazenamento: os componentes de poliuretano são sensíveis à humidade. Assim devem ser armazenados em reservatórios selados.
- Dados dos componentes:

Tabela A-1 – Dados dos componentes relativos à espuma utilizada nos volantes

<b>Component Data</b>				
	<b>Unit</b>	<b>Polyol-Comp</b>	<b>Iso-Comp.</b>	<b>Method</b>
<b>Viscosity (25°C):</b>	mPa.s	930	70	G 133-07
<b>Density (25°C):</b>	g/cm <sup>3</sup>	1.02	1.21	G 133-08
<b>Storage Stability</b>	months	5	6	-
<b>Recommended storage temperature</b>	°C	20 – 30	20 – 30	-

- Dados de processamento:

Tabela A-2 – Dados de processamento relativos à espuma utilizado nos volantes

	<b>Unit</b>	<b>Value</b>	<b>Method</b>
<b>Mix Ratio(*)</b>	weight	100 / 68	-
<b>Components temperature</b>	°C	30° -40°	-
<b>Mould temperature</b>	°C	50° - 65°	-
<b>Demolding Time</b>	s	90 aprox	

(\*) It is necessary to consider if a third compound (e.g. colour paste...) must be injected.

For instance, with 5% of colour paste (C-compound) above the whole amount of polyol, the mixing ratio should be A/C/B = 100 / 5 / 64.6

#### 4. Corante:

O corante é responsável pela coloração da espuma de injeção. Atualmente, os fabricantes de automóveis requerem volantes de múltiplas cores pelo que a escolha é dependente da aplicação.

- Referência: ISOPUR schwarz;
- Composição: Polieterpolyol;
- Viscosidade: 2800-3800 mPa.s;
- Densidade: 1.18 g/cm<sup>3</sup>;

## ANEXO B: Lógica de funcionamento dos Smart Components

### 1. Porta-moldes

Na figura B-1 é apresentada a lógica de funcionamento para o Smart Component Molde 1, em todo igual ao usado para o Molde 2.

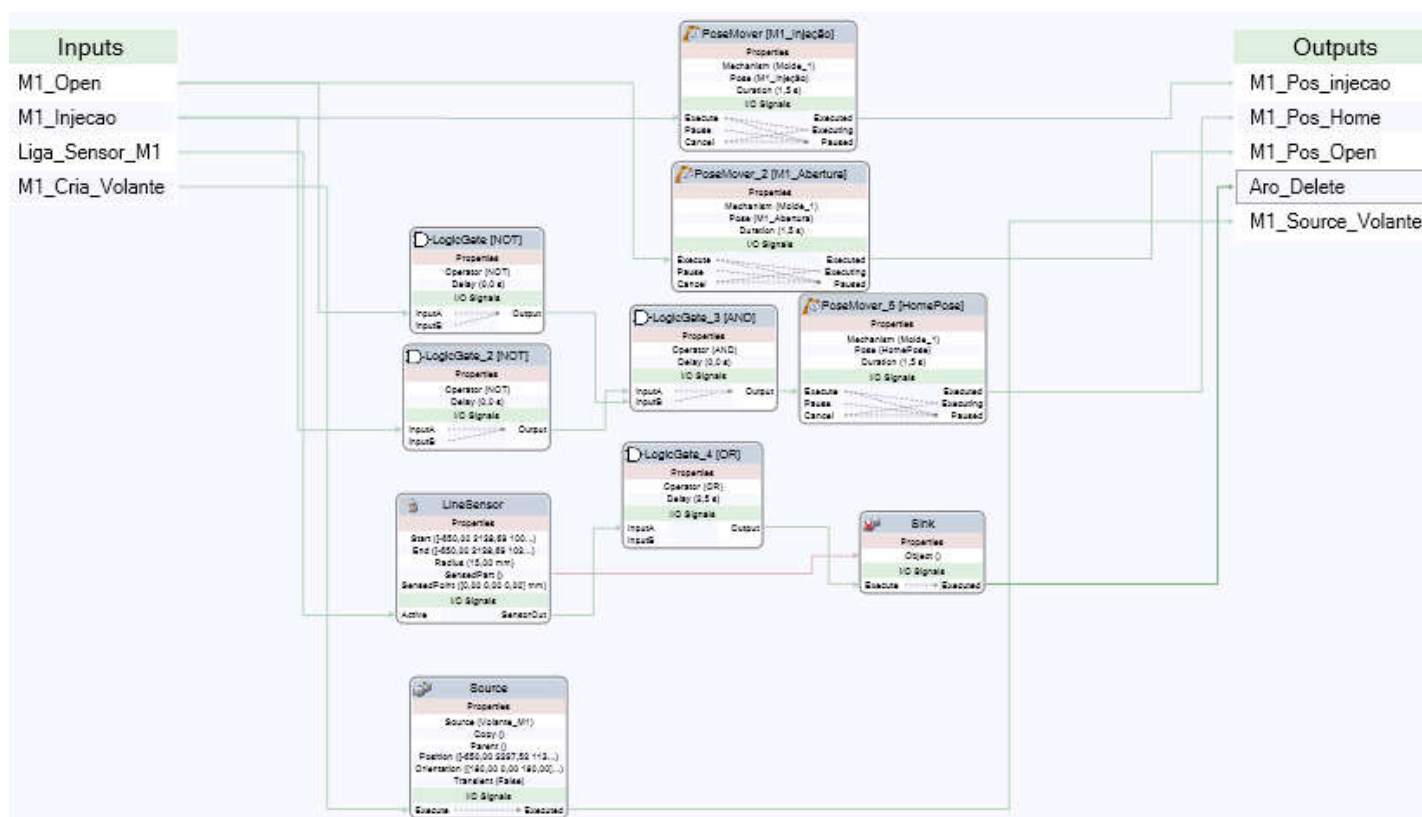


Figura B-1 – Lógica de funcionamento do Smart Component Molde 1

Em termos de funcionamento este Smart Component é capaz de executar 3 tipos de operação: comutação entre “Poses”, remoção gráfica do aro a injetar e criação gráfica do volante injetado.

No primeiro caso, existem duas entradas, o sinal de abertura e o sinal de fecho do molde. Quando estes sinais são ativados o molde comuta entre aberto e fechado, respetivamente. Quando nenhum dos sinais está ativo o molde deverá ir para a sua “Home Position”. Em termos de saídas, este componente comunica com o controlador em que posição está o molde.

No segundo, o objetivo é simular a colocação do aro no molde e a sua remoção após injeção. Para a remoção foi colocado um sensor no molde para o reconhecimento da peça na posição

adequada. A saída desse sensor dará sinal para a remoção que é feita através do comando “Sink”. Em termos de entradas é necessário ligar o sensor do molde, sendo que em termos de saídas é necessário saber quando o aro foi graficamente removido.

Em relação ao terceiro caso, foi criada uma entrada que inicia a criação do volante através do comando “Source”. A criação do aro provocará a comutação de um sinal que indica que o volante foi criado.

## 2. Cabeçal

Na figura B-2 é apresentada a lógica de funcionamento para o Smart Component Cabeçal.

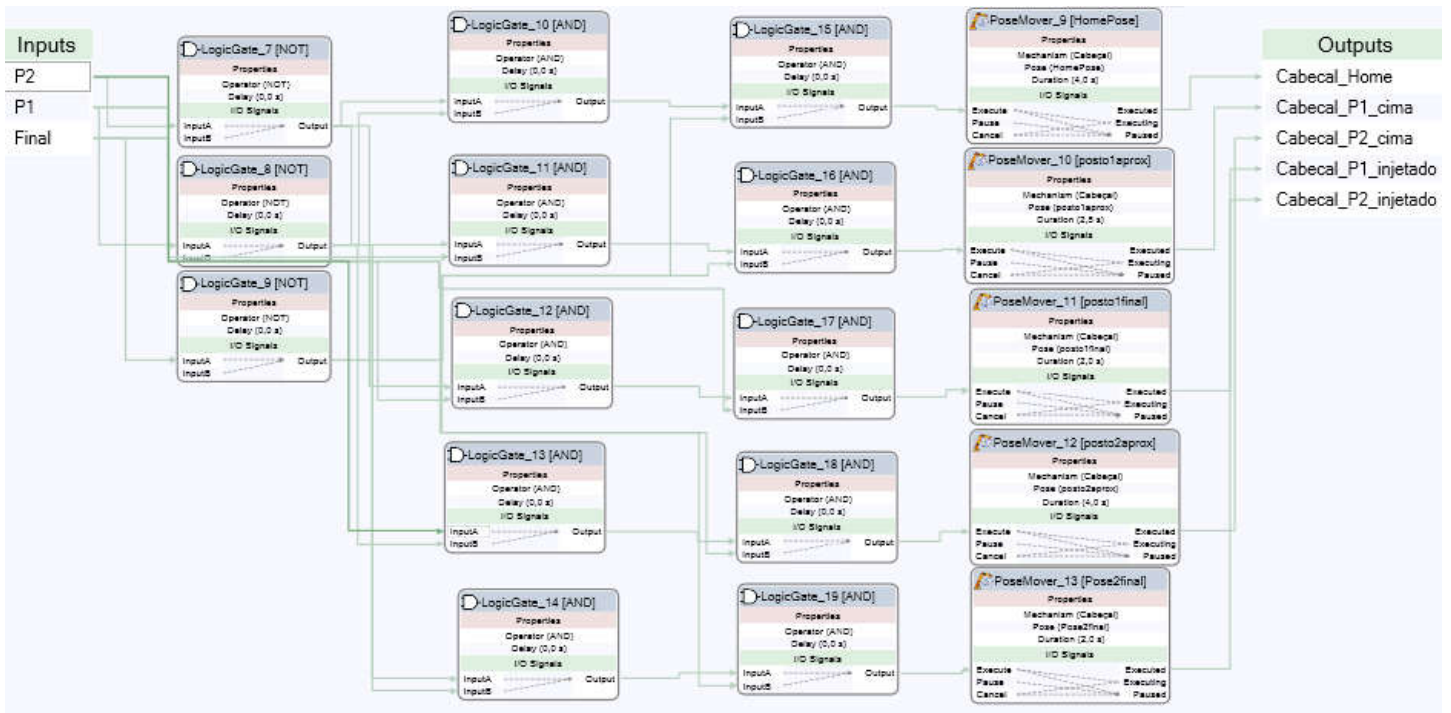


Figura B-2 – Lógica de funcionamento do Smart Component Cabeçal

Tal como referido no capítulo 5.1.2, este Smart Component funciona de acordo com a lógica apresentada na tabela B-1.

Tabela B-1 – Tabela da lógica utilizada no Smart Component Cabeçal

	P2	P1	Final
<b>Home</b>	0	0	0
<b>Posto 1 Aprox.</b>	0	1	0
<b>Posto 1 Final</b>	0	1	1
<b>Posto 2 Aprox.</b>	1	0	0
<b>Posto 2 Final</b>	1	0	1

Através da atuação de cada entrada, o cabeçal comuta entre posições utilizando o comando “PoseMover”. Neste caso, procurou-se que nunca fosse possível existir mudanças ambíguas de estado, uma vez que entre cada “Pose” apenas muda uma variável. As saídas representam a execução da mudança de “Pose”.

## 3. Conveyor de fornecimento de aros de volantes

Neste caso, procurou-se utilizar uma lógica de programação semelhante à utilizada numa aplicação real de transportadores. Ao comutar a variável Motor\_On é criado graficamente um

aro de volante utilizando o comando “Source”. Posteriormente, através do comando “Queue” é feita uma “fila” de objetos em que todos realizam a mesma operação do seu antecessor. Essa operação é a movimentação linear ao longo do sentido de funcionamento do conveyor. O conveyor deverá ser parado quando a peça transpõe um fim de curso. Nessa situação é ativada a saída “AroPosição” que permite ao controlador saber que já existe um aro pronto a ser injetado.

Em termos práticos pretende-se, para otimização da célula, que o robô nunca esteja a espera de nenhum componente, mas sim o oposto.

Por último, importa referir que é necessário efetuar o comando “Dequeue” para permitir que um objeto saia da “fila” criada e seja transportado pelo robô.

Na figura B-3 é apresentada a lógica de funcionamento do Smart Component “Tapete\_Aro”.

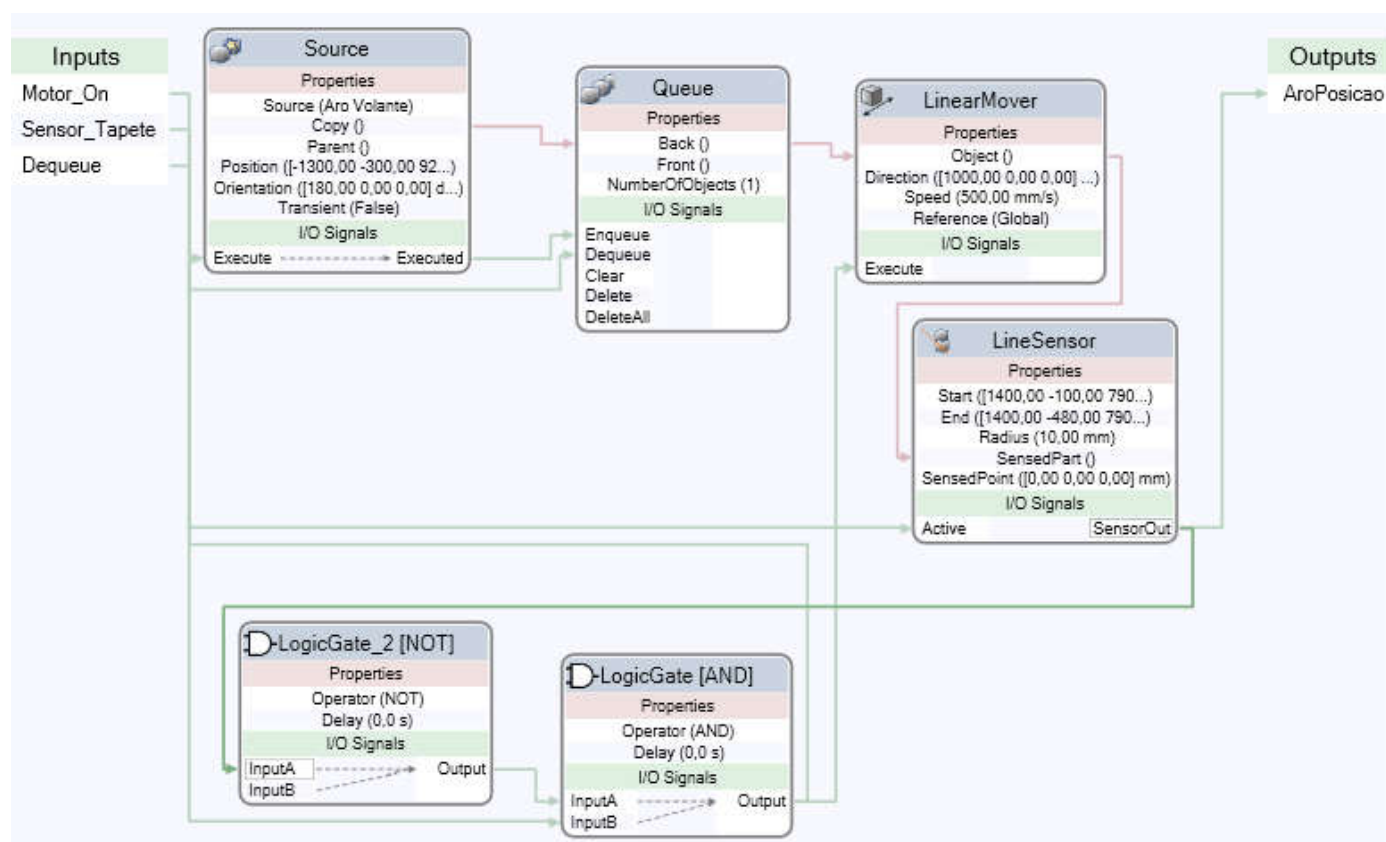


Figura B-3 – Lógica de funcionamento para o Smart Component “Tapete\_Aro”

#### 4. Conveyor de recolha de volantes

No caso do conveyor de recolha de volantes o objetivo é que o robô coloque o volante injetado na superfície inclinada do mesmo, e este, por gravidade, se desloque até o local onde possa ser retirado por um operador.

Para o conseguir foram utilizadas 4 entradas e 4 saídas digitais. Uma entrada permite ligar os sensores. As outras fazem a gestão do movimento, ou seja, quando um dos sensores é atuado, este despoleta a movimentação do volante, devolvendo o feedback ao controlador do robô.

No fim do conveyor está colocado um sensor que provoca o desaparecimento gráfico do volante injetado.

Na figura B-4 é apresentada a lógica de funcionamento do Smart Component “Tapete\_Saida”.

Conceção e simulação de um sistema robótico para operações de injeção de volantes

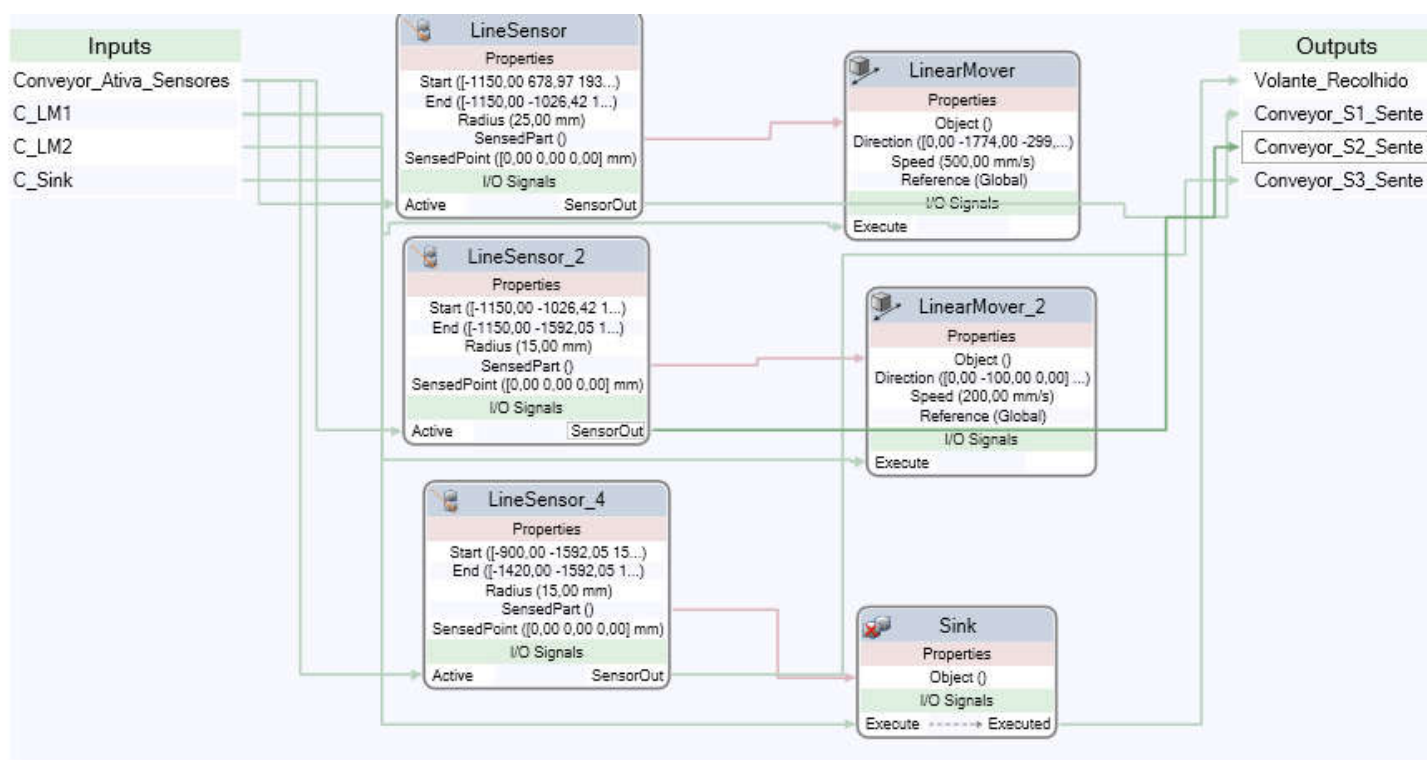


Figura B-4 – Lógica de funcionamento do Smart Component “Tapete\_Saida”

## **ANEXO C: Lógica de funcionamento utilizada na programação da célula robótica**

Na figura C-1 é apresentada a lógica de funcionamento da rotina de entrada em funcionamento da célula de injeção. Para facilitar a sua compreensão as rotinas de movimentação do robô são representadas a azul e as rotinas de funcionamento de Smart Components são representadas a vermelho.

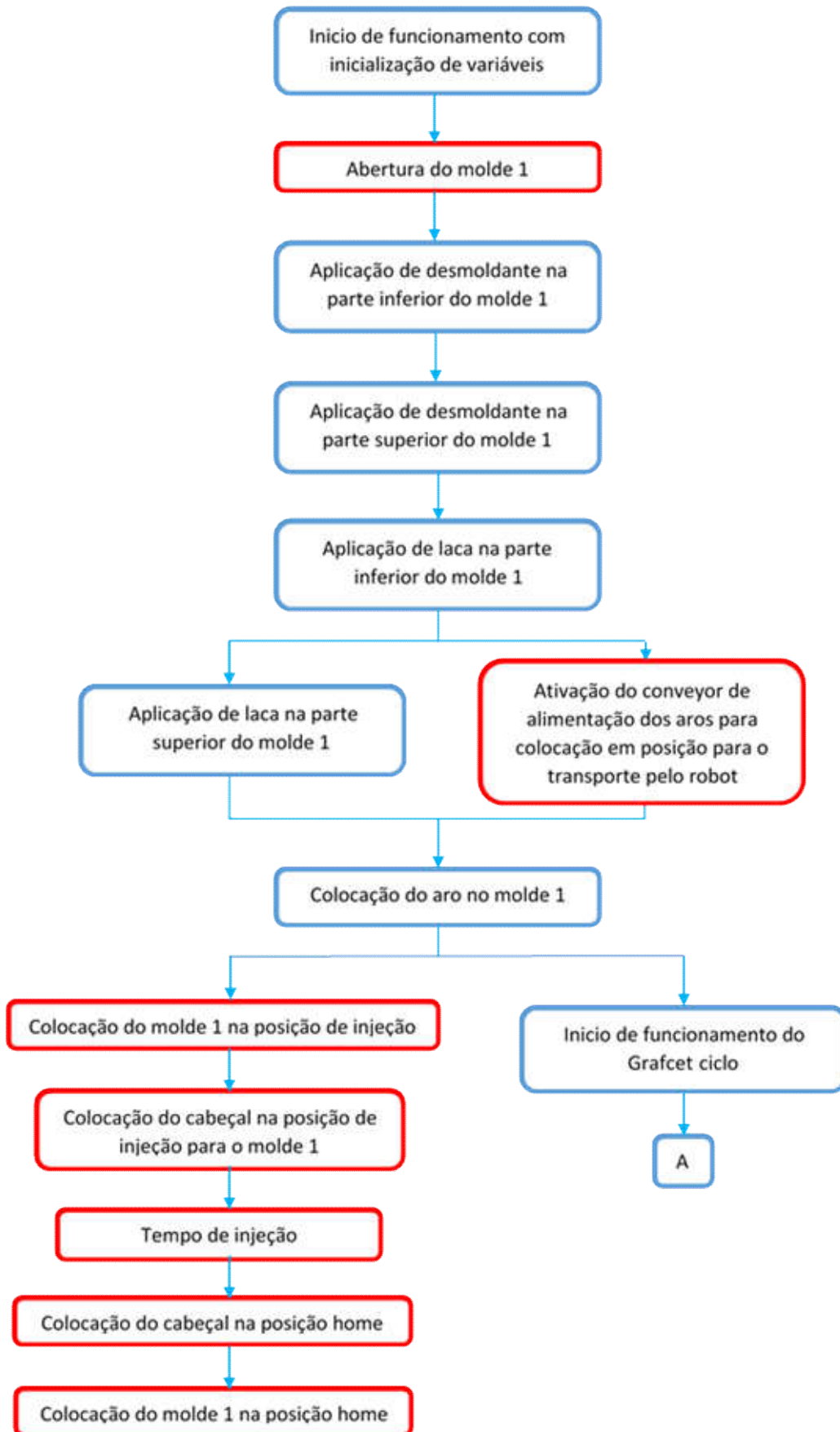
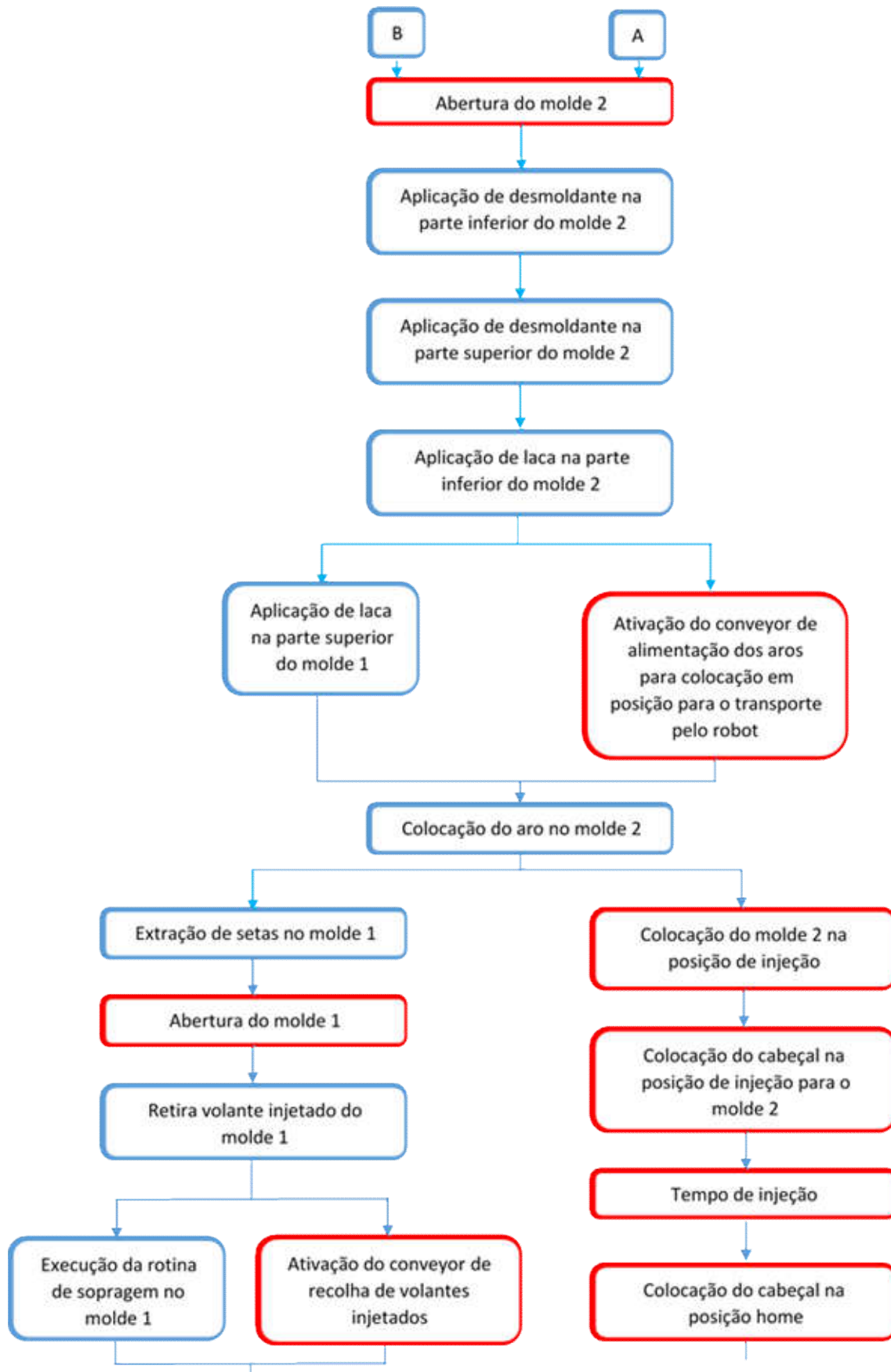
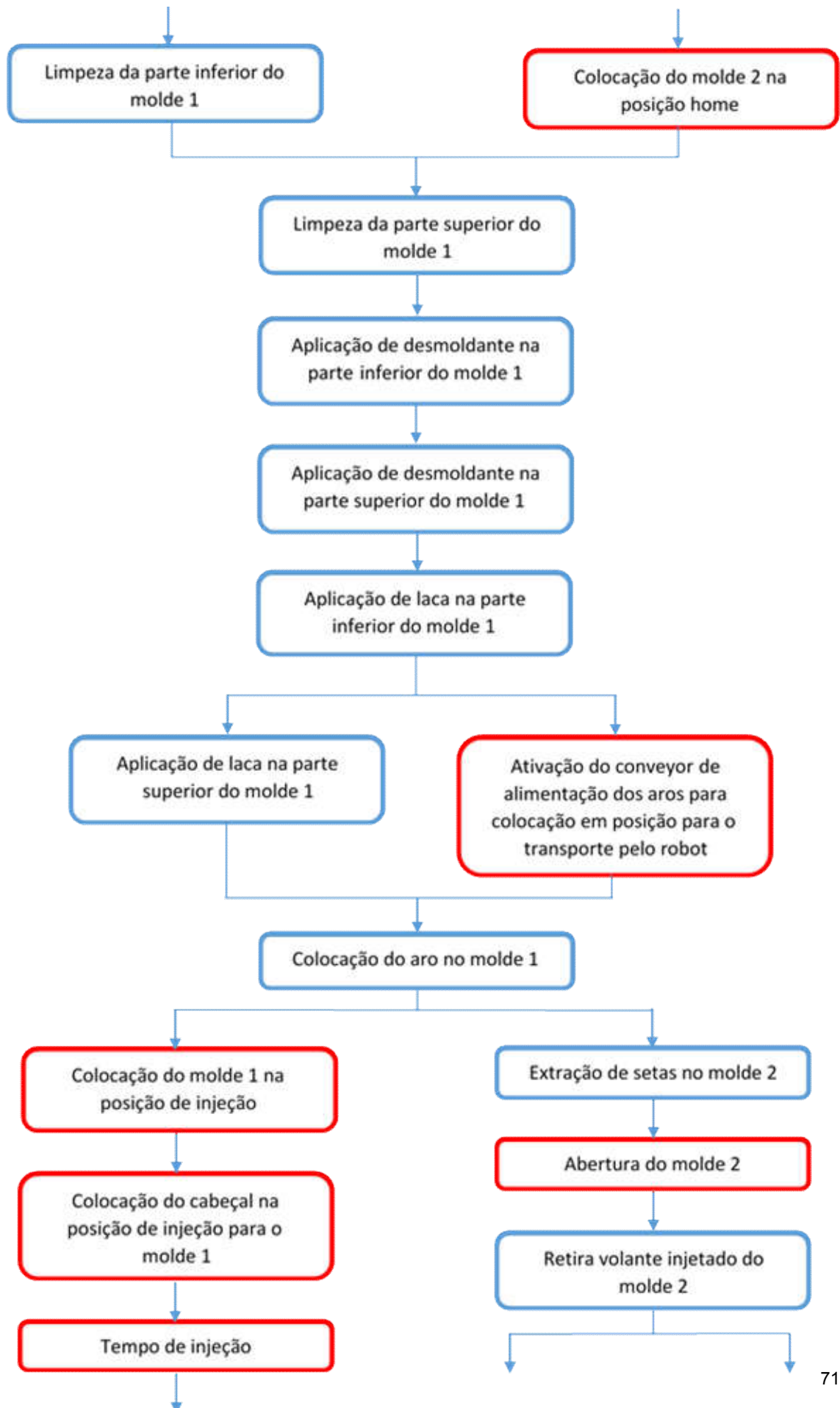


Figura C-1 – Sequência de funcionamento para a rotina de entrada em funcionamento

De seguida é apresentada a lógica de funcionamento da rotina de funcionamento cíclico.







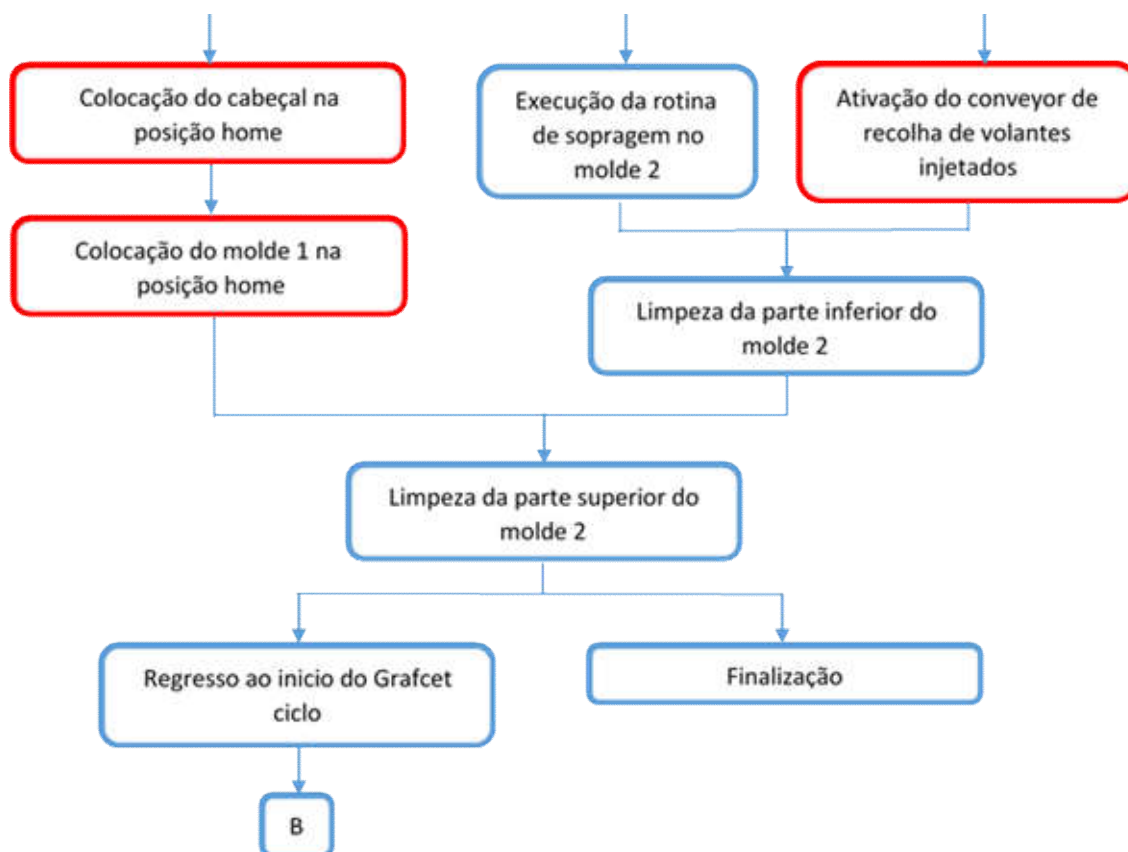


Figura C-2 – Sequência de funcionamento para a rotina cíclica