

Equipamento Automático de Alimentação de Peças Com Recurso a Robô

RICARDO JOSÉ MOREIRA MARTINS

Julho de 2021

Equipamento Automático de Alimentação de Peças Com Recurso a Robô

Ricardo José Moreira Martins



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de Especialização de Automação e Sistemas

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2021

Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Unidade Curricular de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: Ricardo José Moreira Martins, N° 1151143, 1151143@isep.ipp.pt
Orientação científica: Ramiro de Sousa Barbosa , rsb@isep.ipp.pt
Empresa: WRK, Lda
Supervisão: Cláudio Sousa, Claudio.Sousa@wrk.pt



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de Especialização de Automação e Sistemas

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2021

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à minha família, pais e irmã, por tornarem possível esta vitória, sem o vosso apoio seria impensável. Tudo o que sou hoje é graças a vocês.

Aos meus colegas e amigos de curso, por fazerem parte desta jornada durante todo o caminho. Aos amigos de sempre, obrigado pelo apoio e motivação que me deram, e que me fez chegar aqui hoje.

Um muito obrigado a todos os funcionários da WRK, Lda, em especial ao Cláudio Sousa e ao Hiago Novais, por toda a ajuda e paciência ao longo destes meses. Um obrigado à empresa pela oportunidade de fazer parte deste projeto e poder concluir assim o meu percurso académico.

Por último, um muito obrigado ao meu orientador, Eng. Ramiro Barbosa, pela sua orientação e disponibilidade ao longo do desenvolvimento deste projeto.

Ricardo Martins

Resumo

Com o objetivo de garantir o correto transporte de um lote de peças para uma máquina de injeção, foi solicitado à WRK, Lda uma solução capaz de satisfazer os objetivos apresentados e cumprir o tempo de ciclo pretendido.

A solução desenvolvida consiste num sistema automatizado que tem como objetivo efetuar o carregamento de peças, e garantir o seu correto posicionamento para transporte para uma máquina de injeção.

De forma a garantir a gestão lógica do sistema, foi utilizado um *Programmable Logic Controller* (PLC) da Siemens, que executa todas as operações necessárias que asseguram a alimentação das peças, assim como a sua correta orientação, através de controlo lógico dos equipamentos e dispositivos utilizados. Foi utilizada uma *Human Machine Interface* (HMI), que permite o acompanhamento do processo, assim como o controlo dos elementos atuadores.

Para efetuar o transporte das mesmas entre as duas máquinas envolvidas no sistema foi utilizado um *Collaborative Robot* (COBOT), da Universal Robots, para que transporte as peças para serem injetadas e volta a transportá-las, depois de injetadas, para recolha do operador.

De modo a garantir a segurança do sistema, foram utilizados elementos como barreiras e portas de segurança, controlados por um PLC de segurança da Schneider.

No final, foi obtido um sistema autónomo, capaz de cumprir os requisitos impostos como o tempo de ciclo.

Neste documento serão apresentados os desenvolvimentos efetuados, com foco na programação do COBOT, do PLC e da HMI. Vão ser descritas as decisões tomadas ao longo do processo, assim como os critérios utilizados para as mesmas. É também descrita a parte de segurança do sistema, como a sua programação, que envolvem todos os equipamentos abordados.

Palavras-Chave: Automação, COBOT, HMI, Injeção, PLC, Transporte, Segurança.

Abstract

In order to ensure the correct allocation of a batch of parts to an injection machine, WRK Lda was solicited to provide a solution capable of satisfying the presented objectives and fulfilling the intended cycle time.

The developed solution consists of an automated system whose main function is to load parts and ensure their correct positioning for the transportation to the injection machine.

In the interest of guaranteeing the logical management of the system, a Siemens PLC was used, which performs all the necessary operations that assure the power supply of the parts, as well as their correct orientation, through logical control of the equipment and devices utilized. An HMI was used, which permitted the monitoring of the process, as well as the control of the actuating elements.

To transport the parts between the two machines of the system, a Universal Robots COBOT was used to transport the parts that were to be injected and then transport them again after being injected, for the operator to collect.

To guarantee the safety of the system, elements such as safety barriers and ports were used, controlled by a Schneider safety PLC.

In the end, an autonomous system was achieved, capable of fulfilling the imposed requirements such as the cycle time.

In this document will be presented the developments carried out, focusing on the COBOT, PLC and HMI programming. The decisions that were taken throughout the process will be described, as well as the criteria used for them. The security part of the system will be also described, such as its programming, which involve all the covered equipment.

Keywords: Automation, COBOT, HMI, Injection, PLC, Transport, Safety.

Conteúdo

Conteúdo	ix
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xv
Acrónimos	xvii
1 Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Empresa	3
1.4 Calendarização	4
1.5 Organização da dissertação	4
2 Estado da Arte	7
2.1 Automação Industrial	7
2.2 Robô	8
2.3 Arquitetura de Robôs	9
2.3.1 Robô Cartesiano	9
2.3.2 SCARA	10
2.3.3 Robô Cilíndrico	11
2.3.4 Robô Delta	11
2.3.5 Robô Polar	12
2.3.6 Robô Articulado	12
2.4 Robôs Colaborativos	13
2.4.1 Sobre os Robôs Colaborativos	14
2.4.2 COBOT	14
2.4.3 Marcas	16
2.5 Redes Industriais	19
2.5.1 Fieldbus	19
2.5.2 Ethernet	20
2.5.3 Fieldbus vs Ethernet	21

2.6	PLC	22
2.6.1	Arquitetura do PLC	22
3	Arquitetura do Sistema	25
3.1	Requisitos do Sistema	25
3.2	Arquitetura do Sistema	28
3.3	Descrição da Arquitetura do Sistema	30
3.3.1	Robô Colaborativo	30
3.3.2	PLC	34
3.3.3	HMI	36
3.3.4	Segurança	37
3.4	A Solução Desenvolvida	39
3.4.1	Resultado Final	39
4	Programação	45
4.1	PLC	45
4.2	Robô Colaborativo	59
4.3	HMI	64
4.4	Segurança	72
4.5	Testes e Resultados	74
5	Conclusão e Desenvolvimentos Futuros	77
	Bibliografia	79

Lista de Figuras

1.1	Organograma da constituição da empresa WRK, Lda	3
2.1	Precisão e Repetibilidade [1]	9
2.2	Robô Cartesiano [2]	9
2.3	Robô SCARA [3]	10
2.4	Robô Cilíndrico [4]	11
2.5	Robô Delta [5]	12
2.6	Robô Polar [6]	12
2.7	Robô Articulado [7]	13
2.8	<i>Autonomous Mobile Robot</i> [8]	14
2.9	COBOT ABB [9]	15
2.10	Diferentes Aplicações de garras	16
2.11	Modelos da Universal Robots (UR)	18
2.12	<i>Software</i> Polyscope [10]	18
2.13	Evolução das Redes Industriais 2016 [11]	21
2.14	Evolução das Redes Industriais 2019 [12]	21
2.15	Arquitetura do PLC [13]	22
3.1	Peça Antes e Depois da Injeção	25
3.2	<i>Layout</i> da Célula	26
3.3	Deteção da Orientação da Peça	27
3.4	Molde de Injeção	28
3.5	Diagrama da Estrutura	29
3.6	UR10 [14]	31
3.7	Controlador UR	32
3.8	Consola UR [15]	33
3.9	Ferramenta COBOT	33
3.10	Siemens S7-1200 [16]	34
3.11	HMI ESA 7" [17]	36
3.12	Barreira de Segurança [18]	37
3.13	Relé de Segurança [19]	38
3.14	Siemens S7-1200f [20]	39

3.15 Fluxograma da Solução Desenvolvida	40
3.16 <i>Layout</i> Final	41
3.17 Atuação <i>Switch</i>	42
3.18 <i>Buffer</i>	43
3.19 COBOT a Pegar Peças	44
4.1 Atribuição IP PLC	45
4.2 Ligação PLC e COBOT	46
4.3 Configuração do COBOT no TIA Portal	46
4.4 Sinais do COBOT	47
4.5 Ordem de Ligar COBOT	48
4.6 Fluxograma Geral	49
4.7 Fluxograma de Rearme	50
4.8 Rearme COBOT	51
4.9 Controlo Manual dos Atuadores	51
4.10 Calhas Cheias	52
4.11 Fluxograma de Rotação	53
4.12 Pista Cheia	54
4.13 Legenda <i>Pick and Place</i>	54
4.14 Fluxograma de Condições do <i>Pick and Place</i>	55
4.15 Fluxograma <i>Pick and Place</i>	56
4.16 Detecção de Peça na Pista Final	57
4.17 Fluxograma <i>Buffer</i>	58
4.18 Ativação Profinet	59
4.19 Definição da Carga Útil	60
4.20 COBOT em Arranque	61
4.21 Rotina Before Start	62
4.22 Código Rotina Recolha_Maq1	63
4.23 Código Rotina Escolha_Molde_Largar	64
4.24 COBOT em Arranque	65
4.25 Ecrã de Emergência	66
4.26 Ecrã de Rearme	66
4.27 Menu Principal	67
4.28 Ecrã Manual Mão Presa	68
4.29 Ecrã Manual Motores	68
4.30 Escolha Modo Automático	69
4.31 Automático	69
4.32 Erro Colisão COBOT	70
4.33 Erro Detecção de Peça	71
4.34 Estado de Todos os Sinais - 1	71
4.35 Estado de Todos os Sinais - 2	72
4.36 Programação PLC de Segurança	73

4.37 Alteração Tapete	74
4.38 <i>Switch Pick and Place</i>	75

Lista de Tabelas

1.1	Calendarização do Projecto	5
2.1	Especificações dos Modelos OMRON [21]	16
2.2	Especificações dos Modelos FANUC [22]	17
3.1	Especificações COBOT UR [23]	30
3.2	Especificações UR10 [24]	31
3.3	Comparação HMI	36

Acrónimos

AGV *Autonomous Guided Vehicle*

AMR *Autonomous Mobile Robots*

CNC *Computer Numerical Control*

COBOT *Colaborative Robot*

CPU *Central Process Unit*

HMI *Human Machine Interface*

IP *Internet Protocol*

ISEP Instituto Superior de Engenharia do Porto

PLC *Programmable Logic Controller*

TCP *Transmission Control Protocol*

TEDI Tese/Dissertação

UR Universal Robots

Capítulo 1

Introdução

Ao longo dos anos o ramo da indústria tem procurado estudar e encontrar alternativas de otimizar os processos associados, de modo a melhorar a eficiência da produção. De modo a melhorar todo este processo, existem diversos métodos utilizados, tais como, o trabalho de toda uma equipa de processo que trabalham entre si de modo a obter melhores resultados de forma menos dispendiosa e com menos taxa de erro, isto é, com menos produtos defeituosos.

Ao longo do presente documento vão ser apresentados os desenvolvimentos feitos ao longo do projeto, mais concretamente, a alimentação e distribuição de peças plásticas, antes e depois de tratadas por injeção. Este processo é feito com recurso a um robô colaborativo.

O projeto é realizado no âmbito da unidade curricular de Tese/Dissertação (TEDI), do Mestrado em Automação e Sistemas, no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

O projeto desenvolvido nesta unidade curricular tem como objetivo consolidar os conceitos leccionados e desenvolvidos ao longo do percurso académico, licenciatura e mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores.

1.1 Contextualização

Com o aumento da produção industrial surge a necessidade de automatizar os processos. A inserção da automação na indústria tem como principal objetivo aumentar a quantidade de produção com custos reduzidos e num menor intervalo de tempo.

Esta inovação implica um investimento por parte do fabricante, algo a que algumas empresas ainda não se encontram dispostas a implementar a 100%. Contudo, de forma a conseguir competir com as indústrias concorrentes, a sua implementação tem sido um fator essencial, o que 'obriga' à mesma. Por vezes há

fabricantes que continuam adversos à mudança com receio de que o investimento não tenha retorno.

Foi com esse pensamento que uma empresa produtora de peças de plástico com recurso a método de injeção recorreu à WRK, com o intuito de automatizar o seu processo de fabrico através de tecnologias como PLC e robô colaborativo, o que deu origem à dissertação apresentada.

1.2 Objetivos

O objetivo deste projeto é a otimização de um processo de seleção de peças de forma a adaptar a um equipamento de injeção de borracha. A máquina desenvolvida realiza a seleção e distribuição de peças plásticas, de modo a garantir a posição correta das mesmas, que serão colocadas dentro do molde de injeção no início de ciclo para serem preenchidas com borracha. No final do ciclo de injeção é feita a retirada destas do molde já prontas e é feito o transporte para uma caixa final destinada ao operador.

Em reunião com o cliente foram fornecidos os pontos necessários ao planeamento e realização do equipamento, de modo a entender a melhor abordagem ao projeto.

Por consequente, são seguidos alguns passos de modo a corresponder ao resultado final, tais como:

- Estudo do mercado atual, entendo assim as soluções já existentes;
- Construção física, de forma a perceber se o resultado se encontra conforme as necessidades e ideias do cliente;
- Elaboração de esquemas e diagramas necessários;
- Desenvolvimento do *software* necessário aos equipamentos utilizados;
- Alterações ao *software* conforme o objetivo;
- Realização de testes de modo a garantir o seu funcionamento final requerido;
- Desenvolvimento de um manual de instruções e prestação de formação relativo ao manuseamento do equipamento;
- Ajuste ao *software*, no cliente, em conformidade com a máquina inserida;
- Ao longo do seu tempo de operação, fornecer assistência e manutenção.

1.3 Empresa

O projeto foi desenvolvido na empresa WRK, Lda. Criada em 2011 e localizada no Pólo Industrial de Zebreiros, Foz do Sousa (Gondomar), a WRK, Lda dedica-se à conceção e construção de máquinas e equipamentos especiais para montagem e teste de qualidade de componentes em subsectores da construção automóvel.

A empresa, ao longo da sua estrutura, garante soluções inovadoras e adequadas à otimização necessária, consoante a necessidade dos seus clientes. É dividida entre quatro departamentos principais: Projeto, Maquinação, Montagem e Automação, como é possível observar no diagrama da Figura 1.1.

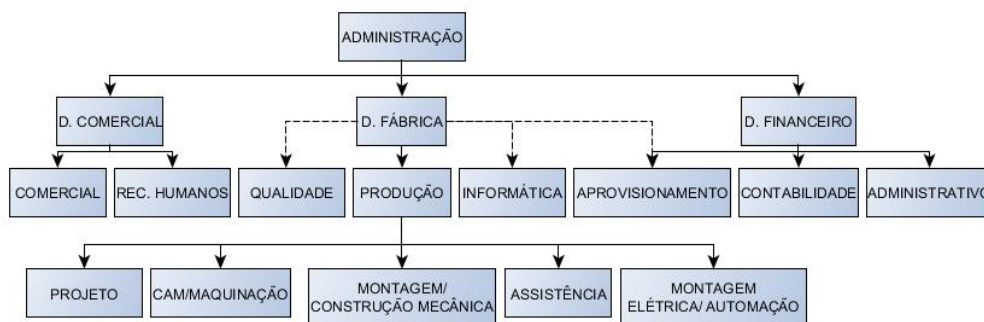


Figura 1.1: Organograma da constituição da empresa WRK, Lda

- Departamento de Projeto – é onde é feita a primeira abordagem do problema, desenho da estrutura e análise dos equipamentos necessários à sua montagem.
- Maquinação – Construção e maquinação das peças necessárias à montagem. Estas são maquinadas com recurso ao *Computer Numerical Control* (CNC), tais como Fresadoras e Tornos.
- Montagem – Após a maquinação das peças, o departamento de montagem executa a montagem das mesmas conforme as instruções delineadas pelo projeto.
- Automação – É responsável pela instalação elétrica, assim como a sua programação. Esta última parte é executada por profissionais que garantem a instalação de todos os componentes elétricos e programação dos vários equipamentos, tais como PLC, consolas HMI, Robôs ou qualquer outro dispositivo que seja utilizado.

É também fornecida a devida assistência durante o tempo de vida útil do equipamento e, se necessário, a deslocação de profissionais à empresa em questão, de modo a resolver os problemas encontrados.

De forma a garantir o bom funcionamento da empresa e estabelecer o contacto com clientes ou fornecedores, existe também os diretores comerciais, de fábrica e financeiro.

1.4 Calendarização

Todos os procedimentos têm a sua duração, mas por vezes torna-se complicado cumprir as mesmas devido a imprevistos. Na Tabela 1.1 é apresentada a calendarização do projeto descrito nesta dissertação.

1.5 Organização da dissertação

O documento está dividido em 5 capítulos, em que inicialmente é feita uma abordagem teórica, seguindo-se a descrição do projeto e o seu desenvolvimento, e terminando com uma conclusão.

No primeiro capítulo é feita uma introdução ao tema, apresentando a empresa WRK, onde foi realizado o projeto em questão e mostrada a calendarização do mesmo.

O segundo capítulo é o estado da arte, onde é feita uma descrição dos principais equipamentos utilizados no projeto, assim como uma comparação às marcas e modelos existentes no mercado.

No terceiro capítulo é descrita a arquitetura do sistema, são apresentados os equipamentos utilizados e de que forma comunicam entre si.

O quarto capítulo apresenta a programação de todos os equipamentos programáveis utilizados no projeto, e descreve as escolhas tomadas ao longo do processo.

Por último, são apresentadas as conclusões retiradas no decorrer do trabalho desenvolvido nesta dissertação.

Capítulo 2

Estado da Arte

Neste capítulo será feita uma abordagem teórica relativamente aos equipamentos utilizados, assim como uma comparação com equipamentos e aplicações equivalentes.

2.1 Automação Industrial

Automação, proveniente do latim *Automatus*, que significa “mover-se por si só”, com o objetivo de limitar o trabalho manual do operador através da operação de máquina, e assim, reduzir tempos de produção e erros justificados pelo erro humano. O conceito automação ganhou sentido por volta de 1949/50 com o desenvolvimento da máquina de comando numérico. Com a sua aplicação na área industrial surgiram novos desenvolvimentos e aplicações, levando assim até ao patamar atual, fundamental na indústria de processos.

A automação industrial consiste na junção de diversos sistemas como pneumática, elétrica e hidráulica, de modo a conseguir executar o trabalho do produto desejado. Desta forma é possível obter uma precisão e fiabilidade inalcançável ao operador humano.

Dentro de muitas áreas constituídas por este processo, a indústria automóvel é um dos sectores mais produtivos a nível mundial, e dos mais avançados a nível de automação e robotização, devido à necessidade de produção de componentes muito detalhados. Esta área começou a explorar a sua produção em massa em 1913 com a inserção de linhas de montagem, idealizadas por Henry Ford [2].

Como já referido, através dos desenvolvimentos da máquina de comando numérico, **CNC**, utilizadas essencialmente na maquinação de peças essenciais ao processo, foi possível retirar o trabalho humano dessa parte, aumentando assim o número de produção e diminuindo os erros associados.

O próximo passo era encontrar uma forma de realizar as operações lógicas, tais como, tomar decisões e executar cálculos conforme ordens recebidas, de forma

sequencial e cíclica. Foi então que surgiu o PLC, que dentro de uma máquina industrial é considerado o "cérebro" de todas as operações, que através de entradas recebidas e ordens programáveis controla o estado das saídas associadas. Com esta nova tecnologia foi então substituído o raciocínio humano por um equipamento capaz de executar as operações lógicas, idealmente, sem margem de erro.

Facilitado o esforço mental do trabalhador, surgiram então os robôs. Intitulados de braços robóticos pelo facto de ser similar a um braço humano, é capaz de efetuar o transporte de produtos, sejam estes mais pesados. Estes apresentam diversas categorias e estilos. Com a sua primeira aplicação na linha de produção da General Motors em 1961, este foi um conceito estudado e evoluído, tendo assim, inúmeras aplicações consoante a necessidade de carga e velocidades. Com esta aplicação tornou-se possível a dispensa do esforço físico humano, sendo este, em muitos casos, apenas auxiliar à operação.

2.2 Robô

De forma a melhorar o manuseamento de materiais são utilizados robôs, eliminando assim a necessidade de intervenção humana. Segundo a definição da ISO, um robô consiste num mecanismo programável, de dois ou mais eixos, que efectue movimentos programados sem necessidade de intervenção humana [25].

No contexto da atualidade é possível encontrar a aplicação de robôs em inúmeras situações do quotidiano, como é o caso de uso pessoal, em cadeiras de rodas motorizadas, uso profissional ou aplicações industriais [26].

Entre estes exemplos indicados, a sua maior aplicação encontra-se na área industrial. Os robôs industriais revelaram ser uma peça fundamental na indústria, fornecendo melhores condições de trabalho aos operadores em tarefas repetitivas, aliviar o esforço físico humano e em ambientes perigosos.

Estes podem assumir diversas categorias adequadas à aplicação pretendida. Conforme a necessidade da empresa é feita uma escolha do equipamento. Dois elementos fundamentais que os caracterizam são a precisão e a repetibilidade. A precisão é a capacidade que o robô tem de se movimentar para um ponto com o mínimo de desvio possível. A repetibilidade é a capacidade de o robô repetir esse movimento o máximo possível. Ambas são independentes uma à outra, o que significa que o robô pode obter uma boa precisão e uma má repetibilidade, assim como o contrário. Na Figura 2.1, é possível ver um exemplo das vários casos possíveis relativo a estas duas características. Quando os pontos se encontram mais centrados significa uma maior precisão, enquanto que quando os pontos se encontram mais próximos uns dos outros significa uma maior repetibilidade [27].

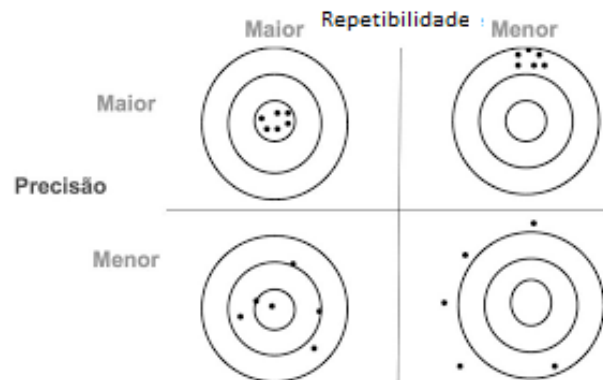


Figura 2.1: Precisão e Repetibilidade [1]

Embora estas duas características sejam importantes na definição de um robô, na atualidade, muitas empresas do ramo estão apenas a considerar um dos valores, neste caso a repetibilidade.

2.3 Arquitetura de Robôs

Relativamente à sua arquitetura existem 6 principais tipos de robôs industriais. Estes distinguem-se entre si conforme as suas características, indicadas para diferentes aplicações com as próprias vantagens e desvantagens [28].

2.3.1 Robô Cartesiano

É composto por três juntas prismáticas e por uma configuração rectangular, o que fornece um movimento linear sob os três eixos perpendiculares (Figura 2.2).



Figura 2.2: Robô Cartesiano [2]

É considerado o robô com a arquitetura mais simples relativamente às restantes arquiteturas, mas em contrapartida oferece precisão nos seus movimentos, o que o torna adequado para necessidades de aplicações específicas. Tem também a vantagem de fácil programação, flexibilidade de configuração, grande poder de carga, assim como o baixo custo.

Este tipo de robô denomina-se como um dos tipos mais aplicados a nível industrial, tendo como principais aplicações operações de manobra de materiais, montagem e submontagem. Embora o baixo custo seja um fator essencial na decisão de uma empresa, tem como principal desvantagem a necessidade de uma grande área de trabalho.

2.3.2 SCARA

É composto por duas juntas paralelas, que faz o mesmo mover sobre o plano horizontal. Possui também um eixo vertical, assim como o eixo relativo à ferramenta, que por sua vez é também rotativo, permitindo mover ferramentas em diversas direções. Como é possível ver na Figura 2.3, este tipo de robô é comparado a um braço humano devido à sua estrutura.



Figura 2.3: Robô SCARA [3]

Dada a sua estrutura é definido pela capacidade de se movimentar por espaços reduzidos, seja horizontal ou verticalmente, assim como um grande espaço de trabalho, rapidez e precisão na sua execução. Uma das suas principais características é a sua flexibilidade e a capacidade de recuperação, ou seja, no caso de colisão

este consegue recuperar a sua posição, vantajoso em aplicações de paletização. Tem também a vantagem de ser de fácil programação.

É uma opção viável quando se trata de aplicações como paletização, montagem de circuitos eletrônicos ou testes de componentes. Como principal desvantagem é o reduzido poder de carga, o que limita em alguns campos a sua aplicação.

2.3.3 Robô Cilíndrico

Como o próprio nome indica, este tipo de estrutura move-se de forma cilíndrica. É composto por uma combinação de eixos lineares e rotativos. Contém um eixo rotativo na base, pelo menos uma articulação prismática que conecta os elos, fornecendo assim a combinação de eixos, apresentado na Figura 2.4.



Figura 2.4: Robô Cilíndrico [4]

Esta estrutura é a mais semelhante ao robô cartesiano, sendo que este ocupa menos espaço. Tem como pontos negativos a sua limitação de movimentos, não sendo possível movimentos bruscos. Por estas razões este tipo de robô tem sido descontinuado face às evoluções existentes.

2.3.4 Robô Delta

O robô delta, ou paralelo, pode ser constituído por três juntas prismáticas ou três juntas rotacionais, e apresenta uma área de trabalho esférica (Figura 2.5).

Dada a sua estrutura este permite um controlo maior sobre a sua ferramenta, atingindo velocidades muito elevadas com alta precisão de posicionamento. É maioritariamente utilizado em operações de *Pick and Place* e em operações com tempo de ciclo inferior a 2 segundos. Além de não aguentar cargas elevadas, este requer um controlador próprio.



Figura 2.5: Robô Delta [5]

2.3.5 Robô Polar

Composto por uma junta prismática e duas rotacionais, este tem como configuração um sistema de coordenadas polares. Este representa uma área de trabalho esférica (Figura 2.6).

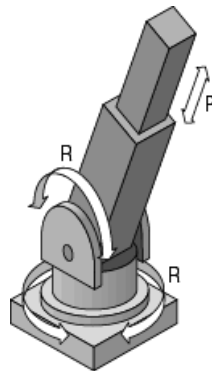


Figura 2.6: Robô Polar [6]

Este robô permite o alcance a uma grande área de trabalho, podendo alcançar tudo ao seu redor, excepto posições acima de si mesmo. É considerado uma opção em descontinuação devido à sua baixa precisão, e ao facto de não ser flexível a novos *designs* e à complexa configuração.

2.3.6 Robô Articulado

De todos os tipos, este é o robô mais utilizado no meio industrial. É constituído apenas por juntas rotacionais, no mínimo três, sendo que os mais utilizados contêm seis (Figura 2.7).



Figura 2.7: Robô Articulado [7]

Tem uma configuração mecânica semelhante a um braço humano dada a sua flexibilidade e alcance, o que permite um número grande de movimentos e posições dentro da sua área de trabalho, assim como uma velocidade elevada nos seus movimentos. Esta arquitetura é disponibilizada em diversos tamanhos, assim como diferentes poderes de carga, consoante a necessidade. Tem como principais aplicações operações como soldadura, transporte de materiais e paletização. Dada a sua complexidade necessita de um controlador próprio e tem uma programação mais complexa.

2.4 Robôs Colaborativos

Com a constante evolução na área industrial e o aparecimento da designada 4^a revolução industrial, ou indústria 4.0, o uso da robótica, em conjunto com máquinas, tornou-se algo fundamental à otimização de processos. Embora a inúmera utilização de robôs, estes não permitem, por segurança, a presença de um operador na sua área de trabalho, podendo levar a colisões que resultam em ferimentos do mesmo. Existem certos processos que requerem a intervenção do operador, o que impossibilita a utilização de um robô. De forma a combater este problema, no final dos anos noventa, surgiram então os robôs colaborativos, que segundo a norma ISO/TS 15066, define que os humanos e os robôs colaborativos podem partilhar o espaço de trabalho [29]. Dispõe também de padrões de segurança e operação, assim como procedimentos de avaliação de risco e estabelece limites

técnicos e biomecânicos, de forma a tornar possível a sua colaboração sem risco de danos físicos [30].

2.4.1 Sobre os Robôs Colaborativos

Como dito anteriormente, os robôs colaborativos, como o nome indica, são capazes de realizar o trabalho de um robô enquanto colabora com o utilizador, sem necessárias barreiras de segurança. Isto deve-se aos acessórios equipados no mesmo. Este contém sensores nas juntas, que detetam algum contacto com um humano, o que causa a sua paragem [31].

É possível dividir o conceito de robôs colaborativos em dois tipos, sendo estes *Autonomous Mobile Robots* (AMR) e COBOTS. Os AMR, designados robôs colaborativos móveis são considerados uma evolução do *Autonomous Guided Vehicle* (AGV), e têm como principal função o transporte de materiais na logística no processo de manufatura. Dispõem de *scanners* que evitam a colisão com humanos, assim como navegação autónoma. Ao contrário dos AGV, que necessitam de um princípio de orientação, como uma faixa magnética, para a sua movimentação (Figura 2.8) [32].



Figura 2.8: *Autonomous Mobile Robot* [8]

Este tipo de robô tem como vantagem o elevado poder de carga, dado que aguentam com um peso superior a 1000 kg.

2.4.2 COBOT

São a evolução dos robôs convencionais, mas ao contrário dos convencionais, conseguem dividir o espaço de trabalho com operadores.

Relativamente à estrutura, assim como o robô articulado, é constituído por juntas rotacionais, no mínimo três e tem uma configuração semelhante a um braço humano, como é possível observar na Figura 2.9.



Figura 2.9: COBOT ABB [9]

Este tipo de robô prima pela sua flexibilidade e alcance permitindo assim, qualquer movimento dentro da sua área de trabalho. São também, de fácil instalação e programação. Contudo, devido à habilidade colaborativa, este não permite o transporte de grandes cargas, nem atingir grandes velocidades. Para cada modelo existe um limite de velocidade indicado pelo fabricante, com o intuito de proteger a integridade das juntas do robô.

A operação colaborativa pode ser realizada de duas maneiras, comunicando com outros equipamentos e periféricos, dos quais podem ser outro cobot ou uma máquina associada como CNC, PLC ou um motor, ou em colaboração com o operador, podendo assumir diversas abordagens. Em análise à colaboração com o operador, esta pode ser realizada de diferentes formas, tais como sistemas de aviso ou sinalizadores de operação, interação com o operador na troca de ferramenta ou no seu alinhamento, partilha do espaço de trabalho, por exemplo, linha de montagem e entrega de material na mão do operador [33].

Tendo em conta as suas vantagens, algumas das operações realizadas por um COBOT são:

- *Pick and Place* – Realiza o transporte de materiais entre pontos, de forma repetitiva. Dado que o seu grau de repetibilidade é de $\pm 0,03$ mm, não comparável a um ser humano, torna a tarefa mais eficaz.
- Paletização – Dada a sua flexibilidade, consegue inserir objetos de qualquer forma necessária. Certos modelos possuem no seu *software* um ponto adequado à paletização, tornando mais fácil a adaptação.

- Inspeção visual – Podem ser equipados com uma câmara, de forma a testar a qualidade do material no momento da recolha, por exemplo. Pode ser utilizado como sistema de orientação.
- Manipulação de peça para soldadura – Devido à sua precisão, permite o transporte e manipulação de uma peça de forma repetitiva e constante, sem obter erros significativos ao produto.

Este tipo de aplicações devem-se às diversas possibilidades de garras na mão presa. Devido à sua fácil instalação, pode adotar diversos feitios, como mostra a Figura 2.10.

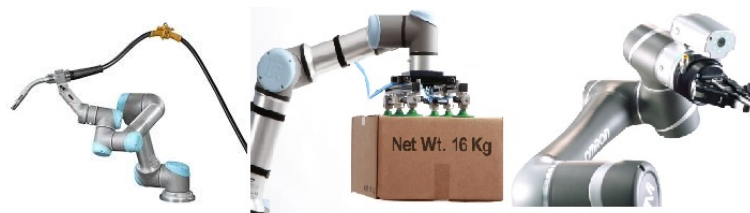


Figura 2.10: Diferentes Aplicações de garras

2.4.3 Marcas

Visto ser um conceito ainda recente no meio industrial, existe muitas marcas a tentar competir com os restantes fabricantes. Existem porém algumas marcas que se sobressaíram com variedade de modelos como é o caso da OMRON, FANUC e Universal Robots.

Dentro da marca OMRON é possível encontrar quatro modelos diferentes, sendo que a variação de especificações baseia-se no alcance, capacidade de carga e velocidade máxima, apresentado na Tabela 2.1. Designados pelo modelo TM X, estes incluem um sistema de visão incorporado e têm uma capacidade de carga máxima de 14 kg.

Tabela 2.1: Especificações dos Modelos OMRON [21]

Robô Colaborativo OMRON	Alcance (mm)	Capacidade de carga máxima (kg)	Velocidade máxima (m/s)
TM 5 - 700	700	6	1,1
TM 5 - 900	900	4	1,4
TM 12	1300	12	1,3
TM 14	1100	14	1,1

De forma similar à OMRON tem a FANUC que já conta com uma gama mais vasta de modelos (Tabela 2.2). Designados pelo modelo CR-xiA, sendo que o x representa a capacidade de carga. O modelo mais recente desta marca é o CR-35iA, atingindo assim 35 kg de capacidade de carga.

Tabela 2.2: Especificações dos Modelos FANUC [22]

Robô Colaborativo FANUC	Alcance (mm)	Capacidade de carga máxima (kg)	Repetibilidade (mm)
CR-4iA	550	4	$\pm 0,01$
CR-7iA/L	911	7	$\pm 0,01$
CR-10iA	1249	10	$\pm 0,04$
CR-10iA/L	1418	10	$\pm 0,04$
CR-14iA/L	911	14	$\pm 0,01$
CR-15iA	1441	15	$\pm 0,02$
CR-35iA	1813	35	$\pm 0,03$

Concorrente a estas duas marcas e pioneira no conceito do robô colaborativo, encontra-se a Universal Robots. Designados pelo modelo URx que, conforme a FANUC, o x representa a sua capacidade de carga. Criou o seu primeiro modelo em 2008, o designado UR5, adquirido pelo fabricante dinamarquês Linatex, e hoje em dia têm os seus COBOT a operar em dezenas de milhares de ambientes de produção em todo o mundo.

A marca dispõe de quatro modelos diferentes, especificado na Figura 2.11, sendo o mais recente desenvolvido o UR16e, com maior capacidade de carga e maior alcance.

Os modelos desenvolvidos pelo fabricante incluem uma caixa de controlo, com ligações disponíveis para entradas/saídas digitais e analógicas, assim como uma consola de programação tátil com o *software* do fabricante. A respetiva caixa de controlo permite, se necessário, efetuar ligações com outros equipamentos de modo a estabelecer comunicação. Os COBOT podem comunicar com outros equipamentos através dos protocolos de comunicação Profinet, Ethernet/IP, TCP/IP, XMLRPC e Modbus.

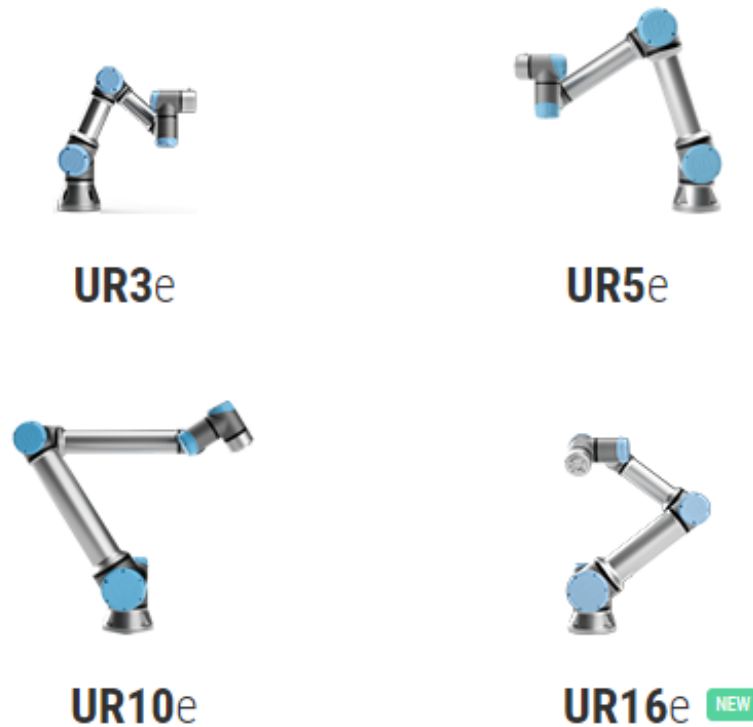
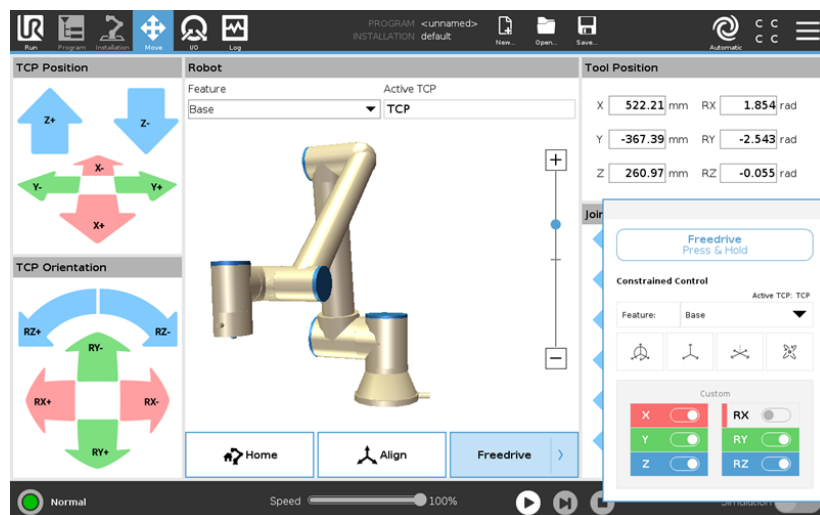


Figura 2.11: Modelos da UR

Relativamente à sua programação, esta é feita através do *software* do fabricante, Polyscope. É feito pela consola tátil incluída com o COBOT, apresentado na Figura 2.12.

Figura 2.12: *Software* Polyscope [10]

O *software* é intuitivo, o que a facilita a programação do mesmo. O fabricante disponibiliza ainda, no próprio *website*, uma formação gratuita ao utilizador.

Analizadas estas marcas, é possível concluir que a nível de capacidade de carga, a FANUC tem o modelo mais evoluído. A nível de reputação, a marca UR é a mais prestigiada, o que influencia na escolha dos fabricantes.

2.5 Redes Industriais

Com todos os desenvolvimentos efetuados nos processos industriais e implementação de máquinas capazes de substituir e facilitar o trabalho humano, surgiu a necessidade de comunicação entre eles. Daí foram criadas as redes de comunicação industriais [34].

Podemos interpretar Redes Industriais como um conjunto de protocolos de comunicação usados para supervisionar e gerir processos. Representa toda a comunicação entre computadores, máquinas, atuadores e quaisquer outros equipamentos utilizados no processo. Inicialmente os equipamentos eram do mesmo fabricante, o que tornava possível a comunicação entre si. Com novos fabricantes no mercado e diversas variedades deixou de haver essa possibilidade. Para a solução deste problema, foram criados certos protocolos com o intuito de resolver incompatibilidades entre dispositivos e permitir a comunicação entre eles.

Dentro das redes industriais existem dois grandes tipos: Fieldbus e Ethernet.

2.5.1 Fieldbus

Fieldbus é uma rede de nível de hierarquia mais baixa utilizado em máquinas de controlo numérico, robôs, sistemas de visão e PLC. É caracterizada por tempos de resposta de alguns milissegundos e com grande tolerância a falhas. Esta rede implementa 3 níveis do modelo OSI: físico, ligação e aplicação de dados [35]. É utilizado uma comunicação *master/slave*, sendo que o *master* controla todas as comunicações envolventes, de modo a evitar e eliminar as colisões na rede [36]. Dentro da rede Fieldbus encontram-se os seguintes protocolos:

- Profibus— É uma das maiores Redes Industriais disponíveis no mercado. Criado em 1987 para implementação em instalações de manufactura, passou a ser utilizado em instalações de processos contínuos em 1995. Este atende às exigências das normas IEC61158 e EN50170.
- Modbus – Este especifica que o modelo de comunicação é do tipo *master/slave*. Desta forma, um *slave* não executa nenhum tipo de comunicação no meio físico sem ser requisitado pelo servidor. A estação *master*, como um PLC, inicia a comunicação e solicita os dados pretendidos aos *slaves*, que são retornados após a receção do pedido.

- CANOpen – Criada na década de 1980 e baseada na rede CAN, é uma rede que utiliza comunicação multi-mestre. A comunicação é feita por eventos, ou seja, só é transferida informação quando existe um novo evento na rede, desta forma, é reduzido o tráfego na rede o que possibilita uma maior velocidade no fluxo de dados.

2.5.2 Ethernet

O protocolo Ethernet representa uma conexão entre múltiplos dispositivos a nível local através de ligação LAN. Esta rede é aplicada a um ambiente industrial, que por si requer uma comunicação estável através de conectores mais robustos e controlo em tempo real. Este é caracterizado pela sua eficiência e rapidez na sua comunicação entre os dispositivos associados. Dentro desta rede existem alguns protocolos associados [37]:

- Profinet – É um protocolo baseado numa rede Ethernet, que usa como padrão as normas IEC 61158-5 e IEC 61158-6. É utilizada principalmente em aplicações de automação industrial entre HMI, PLC e sistemas SCADA. Uma das suas vantagens é a hipótese de ser integrado em redes Fieldbus sem ser necessária qualquer alteração.
- Ethernet/IP – É um protocolo que permite a comunicação entre os dispositivos de automação e de controlo. Este protocolo usa dois tipos de comunicação, explícitas e implícitas. Este protocolo apresenta um baixo custo e uma boa comunicação em tempo real, o que é vantajoso para a empresa produtora.
- Modbus *Transmission Control Protocol* (TCP)/*Internet Protocol* (IP) – É uma adaptação ao protocolo Modbus, baseado em TCP/IP. A principal função do TCP é assegurar que todos os pacotes de dados são bem recebidos, já o IP garante que esses dados estão com o endereço certo e a rota bem definida. O TCP/IP usa a Internet para transportar os dados dos dispositivos, e as instruções do protocolo Modbus vêm através do TCP/IP.
- EtherCAT – É o sistema Ethernet em tempo real para a automação industrial. Em comparação à rede Ethernet que interpreta pacote a pacote, a tecnologia EtherCAT interpreta os *frames* Ethernet sem parar, sendo cada *frame* processado em nanosegundos. Se perde um *frame*, outro será enviado logo em seguida com a informação. Não existe necessidade de configuração manual, todos os agentes podem ser configurados pelas ferramentas de configuração *online*.

2.5.3 Fieldbus vs Ethernet

Segundo um estudo efetuado em 2016, Figura 2.13, a rede Fieldbus continha uma percentagem de 66% de utilização com um crescimento anual de 7%, enquanto que a rede Ethernet tinha uma percentagem de 34% com um crescimento anual de 17%. Um novo estudo realizado em 2019 pela HMS Networks, Figura 2.14 mostra uma evolução da rede Ethernet com uma utilização de 59% e crescimento anual de 20 % contra 35% de Fieldbus e um decréscimo anual de 5%, como é possível analisar nas Figuras 2.13 e 2.14 [38].

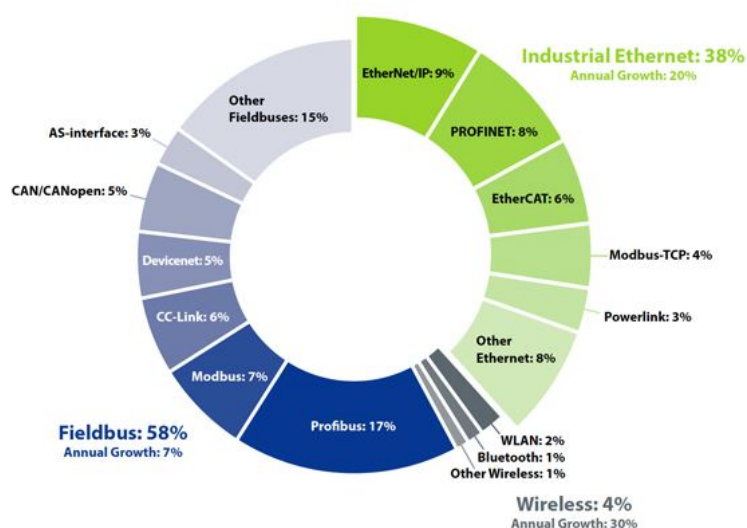


Figura 2.13: Evolução das Redes Industriais 2016 [11]

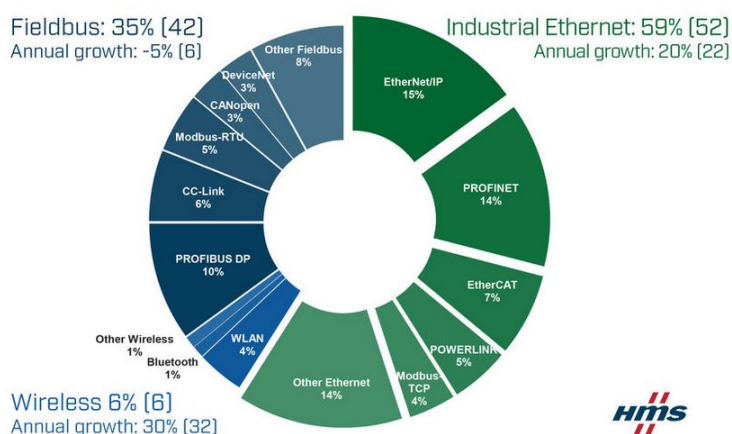


Figura 2.14: Evolução das Redes Industriais 2019 [12]

É possível concluir que, a nível de gestão industrial, onde o fluxo de dados é elevado e há uma necessidade de utilização de vários protocolos, a Ethernet é a melhor opção devido ao baixo custo e simples manutenção em redes de computadores.

2.6 PLC

PLC, criado em 1960, é um dos componentes mais utilizados, atualmente, na automação industrial. Consiste num dispositivo de controlo capaz de realizar as operações lógicas de um processo industrial. Este recebe informações de sensores ou dispositivos de entrada, processa-os e aciona as saídas, com base nos parâmetros já previamente definidos.

Além das capacidades lógicas que este dispositivo oferece é também constituído por um *hardware* robusto, capaz de operar em ambientes adversos, expostos a poeiras, ruído entre outros fatores presentes, normalmente, na indústria. É um dispositivo flexível, fiável e compacto, o que significa uma fácil inserção na área de trabalho.

Relativamente à sua estrutura física, este pode ser um monobloco ou modular. O PLC monobloco representa um dispositivo, como o nome indica, com um único bloco em que já contém as entradas e saídas disponíveis. O PLC modular remete a um dispositivo com possibilidade de adicionar módulos de entradas/saídas ao módulo principal. Tem como vantagem a flexibilidade de adição de entradas/saídas, se necessário ou conveniente [39].

2.6.1 Arquitetura do PLC

A arquitetura do PLC é dividida em 5 partes distintas presentes na Figura 2.15:

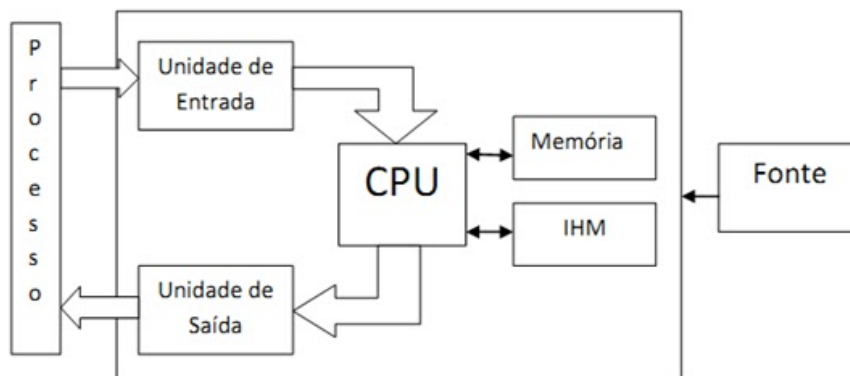


Figura 2.15: Arquitectura do PLC [13]

- Fonte de alimentação – Alimenta eletricamente o dispositivo.
- Unidade de Entrada – Representa os dispositivos de entrada ligados ao CPU, tais como sensores ou um dispositivo de proteção. O CPU funciona com um recetor, sendo que apenas recebe os sinais, analógicos e digitais.
- Unidade de Saída – Representa os dispositivos de saída ligados ao CPU, neste caso atuadores. O CPU envia uma ordem à saída, de modo a alterar o estado lógico do atuador.
- CPU – Responsável pelo processamento de dados, tanto recebidos pela unidade entrada como pela comunicação estabelecida. Executa as operações lógicas necessárias e atualiza as unidades de entrada/saída.
- HMI – Constituído por uma interface gráfica, conforme necessidade do utilizador.

Conforme a aplicação e condições da mesma, existem diversas categorias e gamas de PLC para escolha. Para tal é necessário ter em conta alguns parâmetros, que são [40]:

- Desempenho do processador
- Memória
- Portas de comunicação
- Protocolos de comunicação

O processador integrado no dispositivo é um fator essencial na escolha dado que quanto melhor for o processador integrado maior é a velocidade de processamento do mesmo assim como a sua precisão. Dada a evolução dos sistemas utilizados, atualmente, também é considerada a integração de métodos de controlo de motores, assim como comunicação com bases de dados. Conforme a comunicação pretendida, é importante verificar se o dispositivo contém as portas de comunicação necessárias e se permite o protocolo de comunicação em questão.

Capítulo 3

Arquitetura do Sistema

Neste capítulo é feita uma abordagem e descrição detalhada da arquitetura idealizada pelo cliente. São descritos os equipamentos utilizados, com foco nos envolvidos nesta dissertação e os principais critérios de escolha utilizados.

3.1 Requisitos do Sistema

O cliente em questão tem inserido no seu processo industrial um projeto de injeção de borracha numa peça de plástico, Figura 3.1, para uma entidade da indústria automóvel.



Figura 3.1: Peça Antes e Depois da Injeção

O objetivo do cliente era otimizar o processo, substituindo o trabalho repetitivo do operador, e garantindo a capacidade de transporte das peças para a máquina com a correta posição. Após a injeção, é feita a retirada das peças e encaminhadas para uma caixa, para ser retirada pelo operador.

O projeto idealizado seria a implementar numa célula fabril com ciclo de trabalho e funções já definidas. Na Figura 3.2 é possível observar a área de

trabalho ocupada pela máquina de injeção, assim como a área de trabalho definida para a solução.

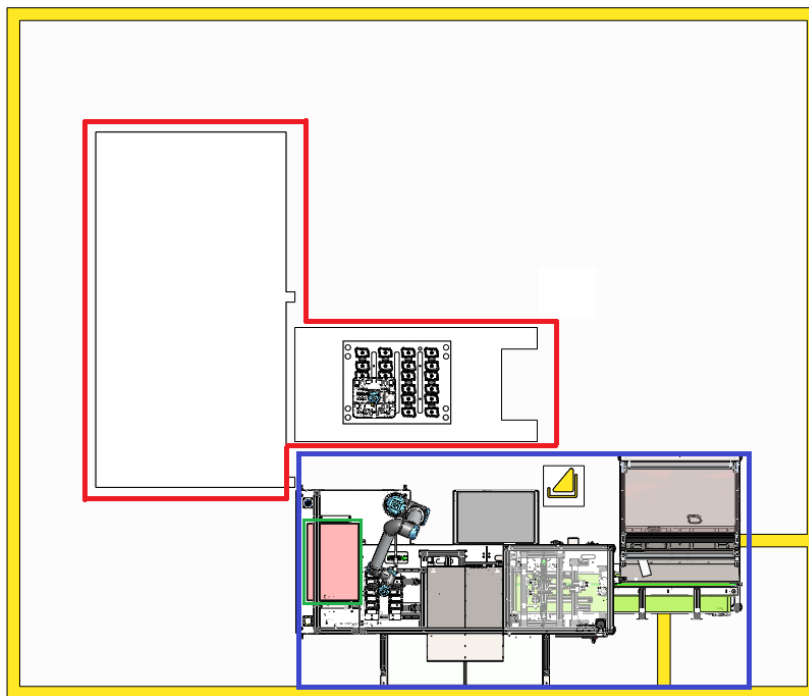


Figura 3.2: *Layout* da Célula

Assinalado na figura a vermelho, encontra-se a máquina de injeção. A máquina é composta por dois moldes de injeção, sendo que não podem operar simultaneamente. A plataforma situada na lateral da máquina será para onde os moldes se movem no fim do ciclo. Enquanto a máquina executa a injeção no primeiro molde, o segundo molde era descarregado, soprado e novamente carregado pelo operador. O sopro é importante no processo, de forma a não restar resíduos de borracha, podendo originar uma peça defeituosa no carregamento seguinte.

De forma a atender às exigências do cliente, no *layout* acima mostrado, a azul, está demonstrado o espaço reservado para a solução desenvolvida pela WRK, Lda. Todos os processos descritos a seguir foram desenvolvidos pela WRK.

Os requisitos apresentados à WRK no caderno de encargos, eram uma máquina, com um alimentador, que carregasse as peças para um tapete, e que depois fizesse a organização das mesmas através do processo, garantindo a sua correta orientação, seja vertical ou horizontal. No final do tapete deveria ter um *buffer* de seis peças, que seria descarregado por um robô colaborativo para a máquina de injeção. Dado que grande parte da máquina é fechada, foi exigida uma eficiência muito elevada e, se possível, sem erros de posicionamento de peça no *buffer*. Foi

também requerido que a unidade do COBOT seja móvel, de forma a poder ser utilizada noutras aplicações do cliente.

O carregador situado na parte inicial da máquina, executa o carregamento para o tapete de forma vertical, tendo uma rampa final onde as peças deslizam até ao tapete. As peças vão cair no tapete de forma aleatória, pelo que é fundamental garantir o correto tratamento das mesmas.

De maneira a garantir essa eficiência, logo após a queda das peças, estas passam por uma estrutura que garante a correta orientação da base (Figura 3.1). É composto por dois cilindros pneumáticos, que conforme a orientação da aresta saliente, é ativado, que faz a peça cair para o lado correto.

As peças podem seguir para duas pistas, onde são mantidas até recolha para as pistas finais. Nestas pistas é feita a verificação da orientação, visto que esta depende da pista a encher. A orientação é verificada através de um sensor, que deteta a presença do chanfro, visível na Figura 3.3.

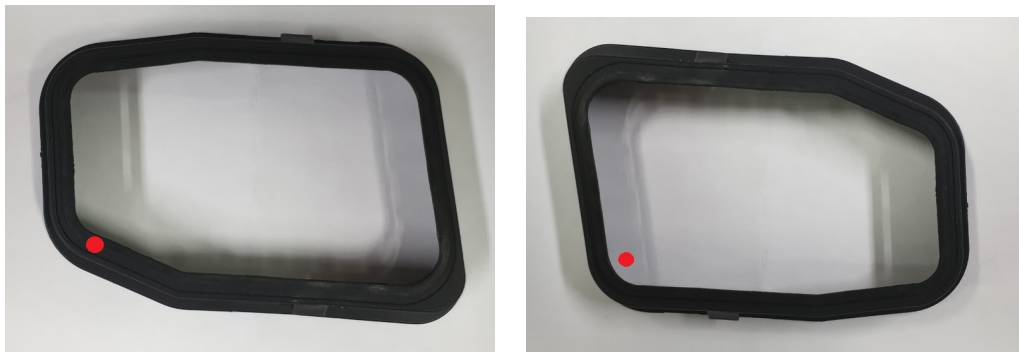


Figura 3.3: Detecção da Orientação da Peça

A máquina é constituída por um motor PBM604XK30-M da Sanyo, que executa a função de *Pick and Place*. Consoante o estado das deteções de orientação, este vai recolher à pista correspondente, deixa na pista seguinte e, se necessário, roda a mesma. Como forma de segurança, está situado um sensor dentro do *Pick and Place* que verifica, mais uma vez, se a peça se encontra com a base orientada ao tapete. Caso esta não esteja conforme, o *Pick and Place* move a mesma para uma caixa NOK, situada na lateral da máquina, sinalizada a verde na Figura 3.2.

Nas pistas finais, as peças são encaminhadas para o *buffer*, onde são recolhidas pelo COBOT e transportadas para a máquina de injeção. O molde de injeção é composto por vinte e quatro peças, Figura 3.4, o que implica quatro carregamentos do robô.

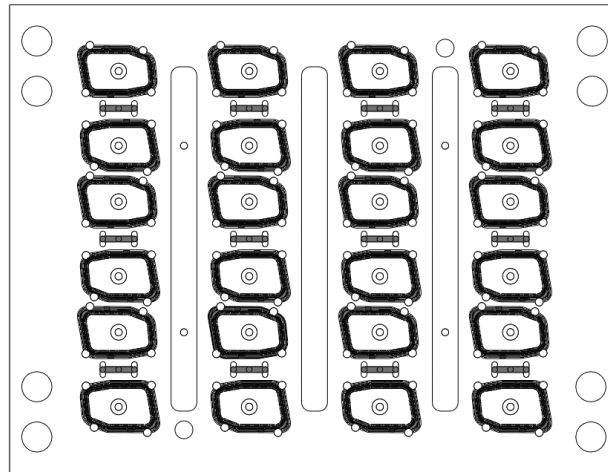


Figura 3.4: Molde de Injeção

Após a injeção, o COBOT descarrega as peças do molde e movimenta-as para as caixas correspondentes. No início de cada ciclo, o operador tem a opção de escolher ciclos de lixo, que representam o número de vezes que o robô deita as peças para a caixa NOK. Estes ciclos de lixo acontecem devido à falha de injeção nos primeiros ciclos, pelo facto da máquina não ter atingido a temperatura e falhe na injeção de algumas peças. Após os ciclos de lixo, este encaminha as peças para a caixa OK, mas antes na caixa de gitos. Os gitos são os bicos por onde é injetada a peça, sendo que resta sobras de borracha que sobram da injeção, cujos são postos na caixa de gitos.

Este processo, representado pela extração de 24 peças e 12 gitos, e colocação de 24 peças no molde, deverá cumprir um tempo de dois minutos, considerado o tempo de ciclo. Dado que a máquina de injeção contém dois moldes, o objetivo é executar o ciclo com um molde enquanto o outro molde está na injeção.

A nível de segurança foram feitas algumas exigências, como barreiras e portas para controlar o acesso de operadores à máquina durante o seu funcionamento, prevenindo acidentes.

3.2 Arquitetura do Sistema

De forma a obter o resultado final esperado, foi necessária a junção de todos os departamentos da WRK. O departamento de projeto encarregou-se de tratar de todos os aspetos de desenho e projeto mecânico, de forma à maquinaria tratar da maquinação dos materiais. Após a maquinação e montagem da estrutura foi feita a montagem de todos os componentes, assim como a sua electrificação. O passo seguinte, e final, é a programação por parte do departamento de automa-

ção. Inicialmente é feito um programa manual, de forma a serem feitas todas as afinações aos periféricos e componentes mecânicos. Todo este processo requer um enorme trabalho e esforço de todas as equipas da WRK. Na Figura 3.5 é possível ver o diagrama da estrutura do projeto desenvolvido.

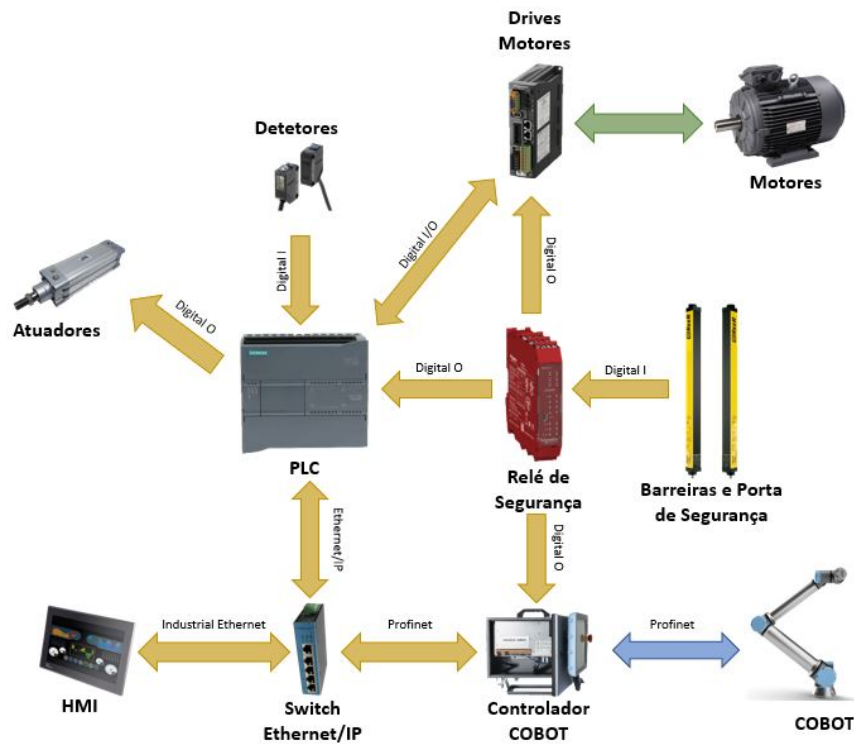


Figura 3.5: Diagrama da Estrutura

Como já referido, os robôs colaborativos necessitam de um controlador dedicado, dado que não são capazes de se controlar diretamente. O controlador gere todos os comandos recebido e transforma em movimento do COBOT. Mesmo com o controlador do COBOT há a necessidade de um controlo externo, sob comandos da máquina. Para tais situações é utilizado um PLC. Estes trabalham de forma paralela, garantindo também a segurança associada a ambos. O arranque do COBOT, assim como a gestão do seu programa, é feita através do PLC.

O PLC é encarregue de executar o tratamento do resto dos sinais associados à máquina, tais como, sensores, motores e os restantes periféricos associados. É utilizada uma interface gráfica, HMI, de modo a fornecer uma utilização mais intuitiva.

Relativamente à comunicação entre o PLC e os restantes controladores, esta é efetuada de duas maneiras, através de Profinet e Industrial Ethernet. O protocolo

Profinet foi utilizado como forma de comunicação com o robô, como especificado pelos fabricantes, e Industrial Ethernet para comunicar com a HMI. De modo a facilitar a conexão entre si, é utilizado um *switch*, com ligação de cabo de rede, permitindo a troca de informação pelos vários controladores.

3.3 Descrição da Arquitetura do Sistema

Nesta secção estão descritos os equipamentos utilizados para a realização do projeto, assim como uma comparação com modelos semelhantes, de modo a justificar a escolha dos equipamentos.

3.3.1 Robô Colaborativo

O COBOT, distingue-se dos robôs tradicionais de igual arquitetura, pela sua capacidade de em determinadas condições, poder partilhar a área de trabalho com um operador de forma segura. Em relação à sua área de trabalho, estes possuem uma cobertura similar à dos outros robôs.

A pedido do cliente, a marca escolhida foi a UR, que como referido anteriormente, é vista como pioneira em torno dos robôs colaborativos, o que influenciou na sua escolha. É composta também por equipas de suporte e apoio ao cliente, que fornecem assistência em Portugal, beneficiando quer o interador em causa (WRK) como o cliente final.

De forma a decidir o modelo apropriado ao projeto, foram consideradas as especificações dos vários modelos (Tabela 3.1), de modo a tomar a escolha acertada. As principais especificações que definem a escolha de um robô são a carga útil, o seu alcance, o nº de eixos, repetibilidade e precisão, e os graus de liberdade correspondentes.

Tabela 3.1: Especificações COBOT UR [23]

Universal Robots	Carga Útil	Alcance	Nº de Eixos	Repetibilidade
UR3e	3 kg	500 mm	6	0,03 mm
UR5e	5 kg	850 mm	6	0,03 mm
UR10e	10 kg	1300 mm	6	0,05 mm
UR16e	16 kg	900 mm	6	0,05 mm

Quanto à escolha de um robô, como já referido, é feito um estudo e análise às especificações consoante a necessidade, sendo que o modelo pretendido será um equilíbrio entre as mesmas. Para o projeto desenvolvido era necessário algo com uma carga útil mais elevada, dado o peso da ferramenta, assim como um alcance maior dado o transporte entre as duas máquinas envolvidas no processo. Visto

que para cada carregamento/descarregamento são necessárias quatro viagens, é necessária uma alta repetibilidade.

Tendo em conta os fatores descritos, é possível ver que o modelo UR3 estaria fora de questão, dada a baixa carga útil e alcance. O UR16 corresponde às expectativas relativas à carga útil, ao contrário do alcance, que não encaixa nos requisitos. Com estes dois modelos fora de questão, sobram o UR5 e o UR10, sendo que o UR5 não tem carga útil suficiente para a ferramenta, nem alcance suficiente. Embora os modelos UR3 e UR5 apresentem uma menor repetibilidade, estes não correspondem aos parâmetros desejados.

Assim sendo, o modelo que mais se adequa ao projeto é o UR10. O COBOT dispõe de 6 eixos, os quais são os responsáveis pelos movimentos do mesmo, representados na Figura 3.6.

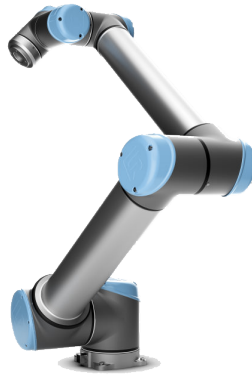


Figura 3.6: UR10 [14]

Este modelo reúne os requisitos necessários ao projeto, como é possível verificar na seguinte Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Especificações UR10 [24]

Nº de Eixos	6
Carga útil (kg)	10
Alcance (mm)	1300
Repetibilidade (mm)	0,05
Intervalo de Funcionamento Máx. Base	$\pm 360^\circ$
Intervalo de Funcionamento Máx. Ombro	$\pm 360^\circ$
Intervalo de Funcionamento Máx. Cotovelo	$\pm 360^\circ$
Intervalo de Funcionamento Máx. Pulso 1, 2 e 3	$\pm 360^\circ$
Velocidade Máx. Base e Ombro	$\pm 120^\circ/\text{Seg}$
Velocidade Máx. Cotovelo	$\pm 180^\circ/\text{Seg}$
Velocidade Máx. Pulso 1, 2 e 3	$\pm 180^\circ/\text{Seg}$

Consoante o departamento de projeto, a ferramenta anexada ao COBOT pesa entre 6-7 kg, pelo que dentro dos modelos disponíveis, o UR10e representou uma das hipóteses. O UR10e, em comparação ao UR16e, é a escolha certa visto que este apresenta um alcance maior e encontra-se dentro dos valores apropriados à carga útil. A ferramenta em questão foi projetada de forma personalizada e adequada ao projeto, do zero.

Como explicado previamente, o robô necessita de um controlador próprio, este incluído com o equipamento, que gere todos movimentos do robô, assim como entradas/saídas digitais/analógicas e segurança do equipamento. O controlador utilizado é a OEM Control Box, da UR, Figura 3.7.



Figura 3.7: Controlador UR

O controlador em questão tem incluído 16 entradas e saídas digitais, e 2 entradas e saídas analógicas. O controlador tem como protocolos de comunicação Modbus, TCP, Profinet e Ethernet/IP, sendo que o protocolo utilizado para estabelecer a comunicação com o PLC foi o Profinet. Este comunica diretamente com o PLC e a ligação é feita com recurso a um cabo Ethernet. A comunicação entre os dois equipamentos estabelecem a troca de sinais digitais, seja como forma de segurança ou como sinais indicativos, por exemplo, de posição do robô.

Para o seu controlo e programação, o COBOT tem, interligado ao seu controlador, uma consola tátil com o *software* do fabricante (Figura 3.8).

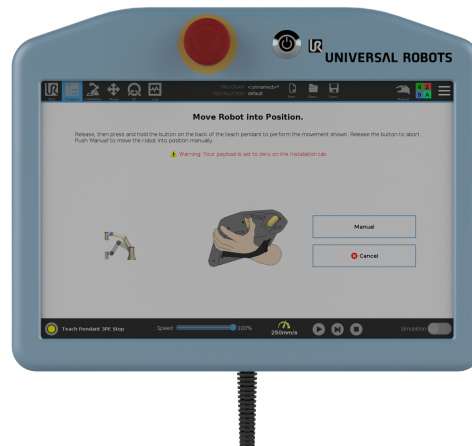


Figura 3.8: Consola UR [15]

Tal como um robô tradicional, o COBOT tem como propriedade a possibilidade de montagem de uma ferramenta na sua extremidade. De maneira ao COBOT realizar as tarefas pretendidas, foi projetada uma ferramenta, específica ao projeto. Para tal, era necessário criar uma ferramenta capaz de garantir o transporte das peças e dos gitos, assim como uma maneira de limpar o molde de injeção, após retirada de peças. O desenho projetado está representado na Figura 3.9.

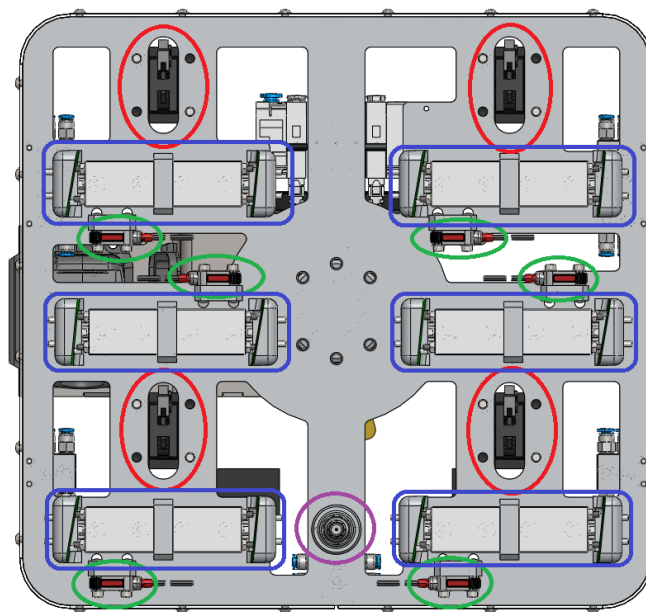


Figura 3.9: Ferramenta COBOT

De modo a garantir o transporte das peças foram aplicados *grippers*, rodeados a azul na Figura 3.9, controlados pneumaticamente.

Para garantir que não houve nenhuma falha, pneumática ou de natureza da máquina, cada *grripper* tem na sua posição um detetor de peça, rodeados a verde. Estes garantem que o COBOT tem todas as seis peças em sua posse durante a recolha de peças.

No caso da ferramenta ir recolher as peças injetadas, esta está equipada com garras que têm como função remover os gitos. Estas garras estão rodeadas a vermelho, e tal como os *grippers*, possuem detetores de forma a garantir a extração dos mesmos. Após a retirada de peças injetadas, é necessário limpar o molde. Esta limpeza é feita por um sopro de ar, rodeado a violeta.

Todos estes sinais digitais ou pneumáticos são tratados pelo PLC, ligados através de uma ficha *harting*, explicado no ponto 3.3.2.

3.3.2 PLC

Como referido anteriormente, o PLC representa o cérebro de todo o funcionamento do projeto. Contém a maioria das operações lógicas inerentes aos dispositivos, controlando assim as saídas consoante o estado das entradas recebidas.

O PLC utilizado foi o Siemens S7-1200, apresentado na Figura 3.10, e foi programado através do *software* TIA Portal, pertencente ao fabricante do equipamento.



Figura 3.10: Siemens S7-1200 [16]

Devido à complexidade do projeto, que resulta num grande número de sinais a gerir, foi necessário adicionar cartas de expansão, de entradas e saídas. No planeamento de um projeto é necessário analisar todos os seus equipamentos, assim como os sinais que estes vão necessitar. É também importante definir um intervalo apropriado de entradas/saídas disponíveis, sendo que ao longo da sua vida útil podem existir alterações à sua estrutura, como por exemplo, inclusão de novos detetores ou atuadores.

Após o planeamento, foram detetadas 108 sinais digitais necessários, sendo estes 66 entradas e 42 saídas. Dito isto, e dada a complexidade do projeto e de possíveis alterações futuras, foram então seleccionadas cinco cartas de expansão com, no total, 94 entradas e 58 saídas:

- 3x Siemens 6ES7223-1BL32-0XB0 – 16DI+16DO
- 2x Siemens 6ES7221-1BH32-0XB0 – 16DI

Desses cinco módulos de expansão, três deles contêm 32 sinais digitais, com 16 entradas e 16 saídas, sendo que os dois restantes contêm 16 sinais digitais, todas entradas. Isto deve-se ao facto de um maior número de entradas a ser geridas, maioritariamente deteções, assim como sinais de informação recebidos da máquina de injeção. Com todos os sinais necessários definidos, ficaram 84 entradas e 53 saídas ocupadas. De salientar que ao longo do desenvolvimento foram efetuadas alterações ao mesmo, que resultou na utilização de alguns sinais previamente considerados livres.

Relativamente à comunicação o PLC, sendo o cérebro de toda a lógica envolvida no projeto, comunica com todos os dispositivos envolventes no ciclo do mesmo, como descrito na Figura 3.2.

Este comunica com o COBOT através do protocolo Profinet, por intermédio do *switch*. Ambos trocam informações, maioritariamente relativos a posições do robô, que influencia no estado de todos os equipamentos pneumáticos inseridos na ferramenta do robô colaborativo, assim como ordem de movimentos, seja do robô ou da máquina em si, evitando colisões. O seu desenvolvimento encontra-se descrito sucintamente na secção 4.1.

A comunicação com a HMI é feita através do protocolo Industrial Ethernet, assim como o COBOT, por intermédio do *switch*. A comunicação entre ambos consiste na troca de informação, como sinais digitais e variáveis internas a estes, e no accionamento de funções, como o ciclo automático e accionamento manual de atuadores. Todas estas funções são detalhadas na secção 4.3.

O PLC comunica com os restantes dispositivos através de sinais digitais, como é o caso do relé de segurança que indica se existem condições para proceder o funcionamento do ciclo em questão.

3.3.3 HMI

Com vista a melhorar a interação operador-máquina, foi adicionada à sua estrutura uma HMI. Esta permite controlar o estado da máquina, alterar o modo de funcionamento, assim como monitorizar o ciclo em tempo real. A consola aplicada é da marca ESA, modelo SC 107 (Figura 3.11).

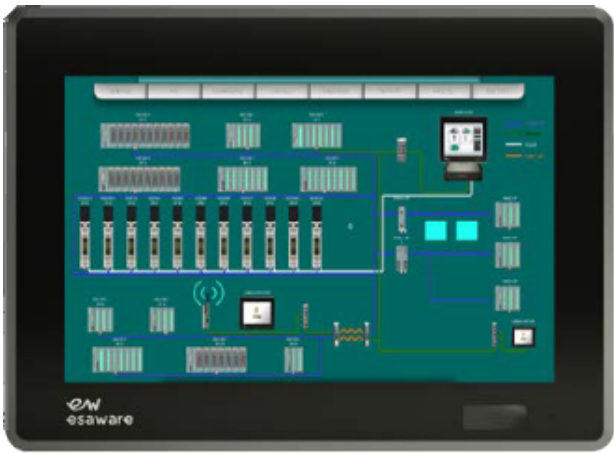


Figura 3.11: HMI ESA 7” [17]

O modelo em questão vem equipado com um processador ARM, duas portas Série COM e uma entrada USB, com um ecrã de 7 polegadas. Cada uma das suas portas são compatíveis com RS232 e RS485.

Comparativamente à HMI em questão, existem modelos equivalente de outras marcas como é o caso da própria Siemens, com o modelo KTP700 Basic, e da OMRON com o modelo NB7W-TW01B. Na Tabela 3.3 é possível ver as suas principais especificações [41][42][43].

Tabela 3.3: Comparação HMI

Especificações	Dimensões	Tipo de Ecrã	Porta Série 1	Porta Série 2	USB	Comunicação S7-1200
ESA SC107	800X480	LCD TFT 65 536 cores	(RS232/485)	(RS232/485)	1	Sim
SIMATIC HMI KTP700 Basic			Ethernet	Não		Sim
OMRON NB7W-TW01B			(RS232)	(RS232/422/485)		Não

Como é possível observar nas especificações, os três modelos são semelhantes relativamente às configurações visuais, sendo que a principal diferença entre eles consiste nas suas portas série e nas comunicações suportadas pelas mesmas. A HMI da ESA é a mais completa, visto que ambas as suas portas suportam diversos

tipos de comunicação, ao contrário da OMRON que apenas contém uma porta com mais possibilidades, enquanto que a da Siemens inclui apenas uma porta. É de salientar que a consola da OMRON não poderia ser uma opção, dado que não é compatível com o PLC, descrito na subsecção 3.3.2.

Visto isto, a consola da ESA é a que oferece mais vantagens. Consiste também num ambiente de trabalho intuitivo e moderno, apresentando melhor custo/benefício relativamente às concorrentes. Tem a grande vantagem do seu *software* ter incluídas figuras como botões e animações, o que facilita e retira tempo de programação ao utilizador. Embora a comunicação RS232 não seja utilizada, esta pode vir a ser utilizada no futuro, na eventualidade de desenvolvimento do projeto, como é o exemplo de leitura de códigos de barras.

O *software* utilizado para a sua programação é o Crew Editor, original do fabricante. A HMI comunica com o PLC através de Industrial Ethernet Protocol, configurado no próprio *software*.

3.3.4 Segurança

Relativamente à segurança, a máquina é caracterizada como um sistema fechado, sendo a área deste protegido por barreiras de segurança. As barreiras em questão funcionam como um feixe de emissão e receção, caso esta seja interrompida avisa o equipamento de segurança que algo ultrapassou a zona de segurança, como é possível observar na Figura 3.12.



Figura 3.12: Barreira de Segurança [18]

Embora este seja composto por um robô colaborativo, é necessário controlar o movimento do operador dentro da área de trabalho, dado que a máquina de injeção está inserida na mesma. Este tipo de proteção previne que o operador tenha acesso a zonas de movimentos pneumáticos, correndo o risco de provocar lesões. Caso uma barreira seja interrompida o programa interrompe as operações da máquina, eliminando qualquer risco associado.

Além das barreiras, em zonas que estas não conseguem fazer a proteção, existem também portas com monitorização de segurança com recurso a um sensor que verifica o estado da porta, com o mesmo propósito das barreiras ou seja, interromper o movimento dos equipamentos, uma vez aberta.

A máquina dispõe ainda de 2 botões de emergência, na estrutura do COBOT e ao lado da HMI. Os botões garantem que, uma vez pressionados, todos os equipamentos atuadores devem interromper o seu processo. Estes devem ser pressionados apenas em situações justificáveis.

Para efetuar o controlo destes dois dispositivos de segurança, visto que estes não possuem controlo próprio, este foi feito com recurso ao PLC de segurança da Schneider XPSMCMCP0802, Figura 3.13. É composto por 8 entradas destinadas a fazer a monitorização do sinal dos dispositivos de segurança. É programado através do *software* SoSafe, e este executa todo o controlo de segurança relativo à máquina, controla o estado das saídas de segurança, e que informa ao PLC se tem condições de executar o programa.



Figura 3.13: Relé de Segurança [19]

Em alternativa poderia ter sido utilizado um PLC S7-1200F (Figura 3.14) com expansões Fail-Safe. Este PLC com as expansões Fail-Safe tem a particularidade de poder conjugar no mesmo equipamento o programa lógico da máquina assim como a gestão de segurança do equipamento. Esta solução tem a vantagem da facilidade de troca de informação entre o dispositivo de segurança e o controlador principal, assim como obter uma solução em quadro elétrico mais compacta. Em contra partida, existem entidades empresas que ainda exigem que as soluções sejam circuitos diferentes assim como a aplicação de uma solução unificada acarreta um custo maior.

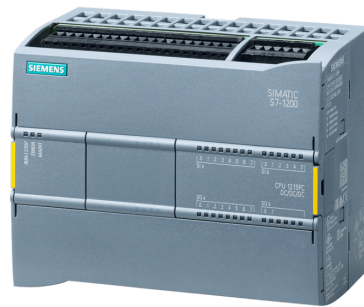


Figura 3.14: Siemens S7-1200f [20]

Embora este sistema seja vantajoso a nível de espaço ocupado este não foi considerado, por opção do cliente, dado pretender separar o sistema de segurança da lógica programada.

O relé de segurança é ligado a todos os controladores dos equipamentos móveis, como é o caso dos motores e do robô colaborativo, assim como às botoneiras de emergência, tendo assim garantida a segurança da máquina. A lógica de segurança do relé é executada no programa do fabricante.

3.4 A Solução Desenvolvida

Nesta secção será descrito o funcionamento final do projeto, assim como o papel dos seus equipamentos de programação e de segurança, de forma a facilitar a interpretação do Capítulo 4.

3.4.1 Resultado Final

Foi elaborado um fluxograma (Figura 3.15) com o objetivo de fornecer uma melhor perspetiva da solução desenvolvida.

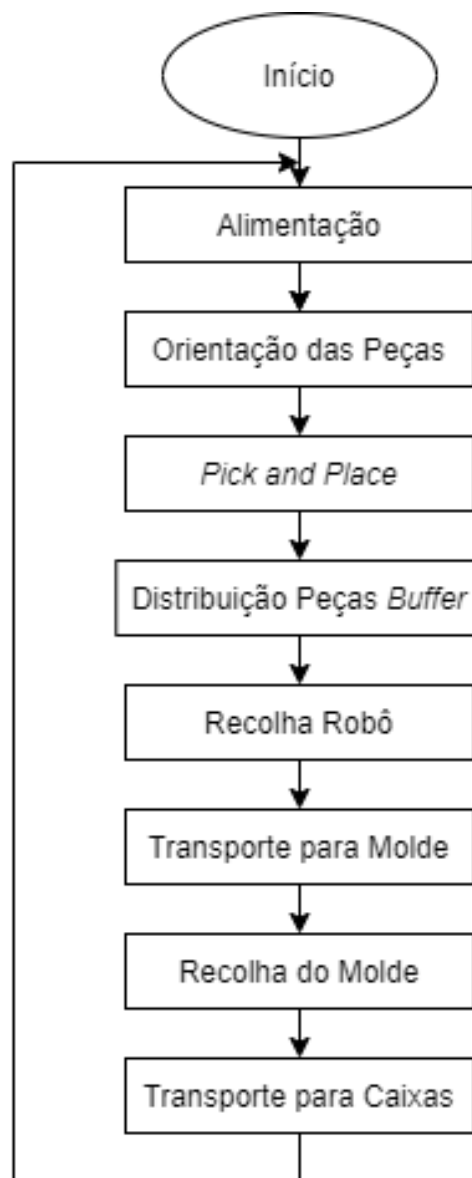
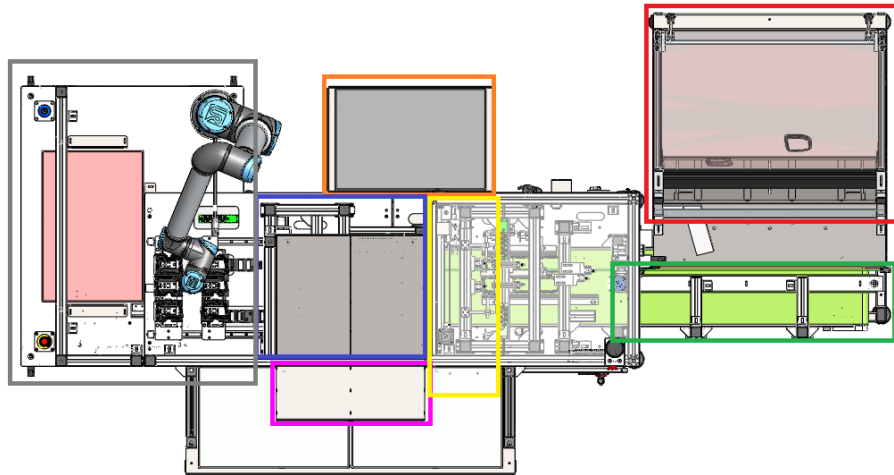


Figura 3.15: Fluxograma da Solução Desenvolvida

Na Figura 3.16 é apresentado o desenho do formato final da máquina desenvolvida, de um ângulo superior. A figura encontra-se assinalada por formas de diversas cores, indicando as várias partes funcionais do mesmo.

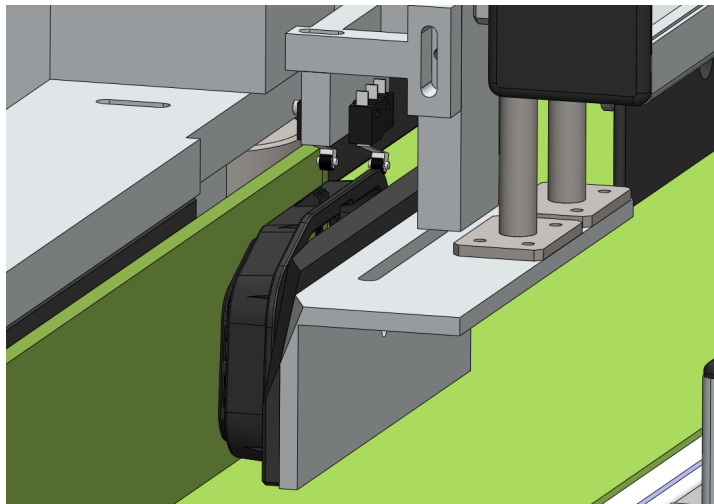
Esta será a parte integrante na máquina já adquirida pelo cliente, nomeadamente de injeção. A sua disposição foi ao encontro do pretendido pelo cliente, de maneira a ambas as máquinas se integrarem, através do COBOT. Ao longo do seu desenvolvimento foram efetuados ajustes e alterações, consoante os resultados observados e indicações do cliente.

Figura 3.16: *Layout Final*

Rodeado a vermelho, no lado direito da máquina, está situado o alimentador de entrada. É nesta zona que o operador carrega o mesmo com peças. As peças, após carregadas, irão ser alimentadas para o início do tapete. São alimentadas através de um movimento vertical, efetuado pelo motor do alimentador. Após alimentadas para o tapete, indicado com cor verde, na extremidade deste, existe um detetor que influencia o funcionamento do alimentador. Caso existam peças suficientes no tapete, de modo a não criar um sobrelotação e provocar encravesamentos, este indica que o alimentador pare.

Após as peças se situarem no tapete, segue o circuito definido, que além do tapete horizontal contém um tapete, movido por um motor de passo, que facilita a movimentação das mesmas à próxima fase. Visto que esta pode estar orientada de duas formas diferentes, na parte à esquerda do retângulo verde, estão localizados dois *switches* que são accionados pela sua aresta mais saliente, visível na Figura 3.17.

O accionamento destes *switches* provoca uma alteração no estado dos cilindros situados logo à frente, que causam um desvio na peça, de forma a orientá-la corretamente.

Figura 3.17: Atuação *Switch*

Quando orientadas, conforme a direção, seguem para duas pistas distintas, direita ou esquerda, onde irão ser recolhidas pelo *Pick and Place*. Esta fase do desenvolvimento está rodeada a amarelo. Na eventualidade de existirem duas ou mais peças em alguma das pistas, esta causa a paragem do motor de passo, evitando a passagem de mais peças, que por si previne o congestionamento do processo.

Cada uma das pistas inclui dois detetores, de primeira e segunda posição de peça, um terceiro detetor alternativo à segunda posição, que em caso de congestionamento causa também a paragem do motor de passo, e um detetor que verifica a orientação horizontal da peça, como ilustrado na Figura 3.3. Caso uma peça esteja disponível para recolha numa das pistas, e conforme a sua orientação, o PLC gere essa informação e encaminha para a função adequada ao *Pick and Place*, que a irá movimentar para a seguinte pista associada.

O *Pick and Place* pode movimentar as peças para três pistas diferentes, sendo que estas são carregadas de forma sequencial, com o objetivo de tornar o carregamento uniforme. Sendo que ao contrário da pista do meio, as pistas da esquerda e da direita consistem na orientação do chanfro para a frente. Assim sendo, existe a possibilidade de uma peça estar orientada corretamente e na direção correta da respetiva pista, o que não justifica a movimentação do *Pick and Place*. Caso seja esse o caso, é apenas recuado o bloqueio de peça e movimentada a peça através do tapete em funcionamento. Esta funcionalidade diminui o tempo de ciclo desta fase, melhorando o tempo de carregamento de pistas.

Como já referido, após a movimentação de peças pelo *Pick and Place*, estas são distribuídas por três pistas de forma sequencial, cujas pistas se encontram

rodeadas a azul. No início de cada pista está localizado um detetor de pista cheia, sendo que a detecção deste, por um período inferior a 1 segundo, informa ao *Pick and Place* que a peça movimentada já foi entregue e pode prosseguir para o próximo movimento de ciclo. O comprimento das três pistas, com peças, permite um carregamento completo do molde da máquina de injeção.

No final das três pistas as peças entram diretamente no *buffer* final da máquina, rodeado a cinza. O *buffer* é constituído por dois separadores distintos, Figura 3.18, em que cada separador contém três peças, e que ambos cheios e na posição correta, são recolhidas pelo COBOT. Os separadores são constituídos por trancadores laterais que, após detecção das peças, trancam as mesmas de forma a não permitir o seu movimento no recuo dos separadores.

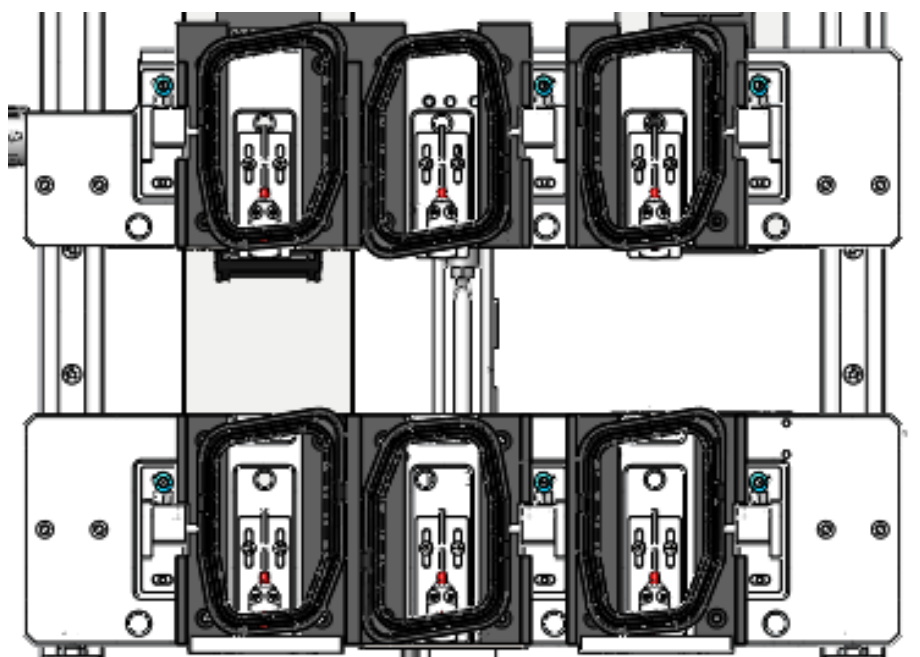


Figura 3.18: *Buffer*

De forma a manter um carregamento uniforme por parte do COBOT para o molde de injeção, no primeiro ciclo este só recolhe quando todas as três pistas anteriores se encontram cheias. Caso se verifiquem todas as condições necessárias, como detecção das seis peças no *buffer* e pistas cheias, no caso de primeiro ciclo, os trancadores laterais são accionados e os separadores movimentados para posição de recolha do COBOT, ilustrado na Figura 3.19. Assim que os separadores se encontrem na posição correta, verificada pelos detetores de avanço e recuo dos cilindros pneumáticos associados, é enviado um sinal ao COBOT indicando que este pode recolher as peças em segurança.

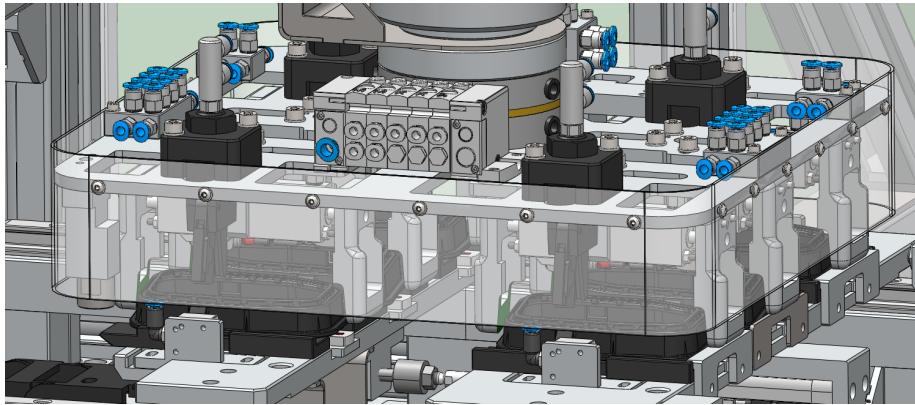


Figura 3.19: COBOT a Pegar Peças

Com o COBOT na posição de recolha de peça, através dos detetores localizados na ferramenta, este verifica a presença de todas. Se esta condição não se verificar, o processo não avança e emite um alerta visual e sonoro, de modo a informar o operador do erro associado, caso contrário, é dada ordem aos *grippers* para trancar as peças, e logo de seguida, recuar os trancadores laterais. Após verificada esta sequência de ações, o PLC informa o COBOT que pode recuar e iniciar o carregamento do molde. Após o robô sair da zona de pega de peças, não indicador de perigo a ambos os equipamentos, informa o PLC que pode recuar os separadores à posição inicial. Como já indicado, o carregamento total do molde implica quatro carregamentos do robô.

Após o carregamento total do molde e a injeção das peças, o robô faz a recolha das peças injetadas. Através de sinais enviados pela máquina de injeção à máquina descrita no projeto, este reencaminha a informação ao robô que pode recolher as mesmas em segurança. O processo de recolha de peças no molde segue o mesmo raciocínio da recolha de peças no *buffer*, sendo que neste caso existe a recolha de gitos, o que implica a sua deteção de forma a prosseguir o ciclo. Efetuada a recolha no molde, o robô começa por se movimentar à caixa de gitos, indicada a laranja na Figura 3.16, onde serão despejados. Após o despejo dos gitos, existe a possibilidade de o COBOT se encontrar num ciclo lixo, descritos na secção 3.1, e nesse caso, as peças são colocadas na posição de caixa NOK, assinalado a roxo. No caso de não se encontrar num ciclo lixo e todas as peças em conformidade, este larga as mesmas na caixa OK, rodeado a amarelo, e retorna ao início do ciclo.

Capítulo 4

Programação

No presente capítulo será apresentada e descrita a programação efetuada nos equipamentos pertencentes ao projeto, nomeadamente, do COBOT, do PLC, da HMI e do Relé de Segurança. Serão apresentados os diferentes modos programados, assim como algumas explicações acerca de escolhas tomadas.

4.1 PLC

Como referido na secção 3.3.2, o PLC foi programado através do *software* TIA Portal. O primeiro passo na criação do programa é definir o equipamento utilizado, assim como as respetivas cartas de expansão. Foi também definido o endereço IP 192.168.250.1, como é possível ver na Figura 4.1.

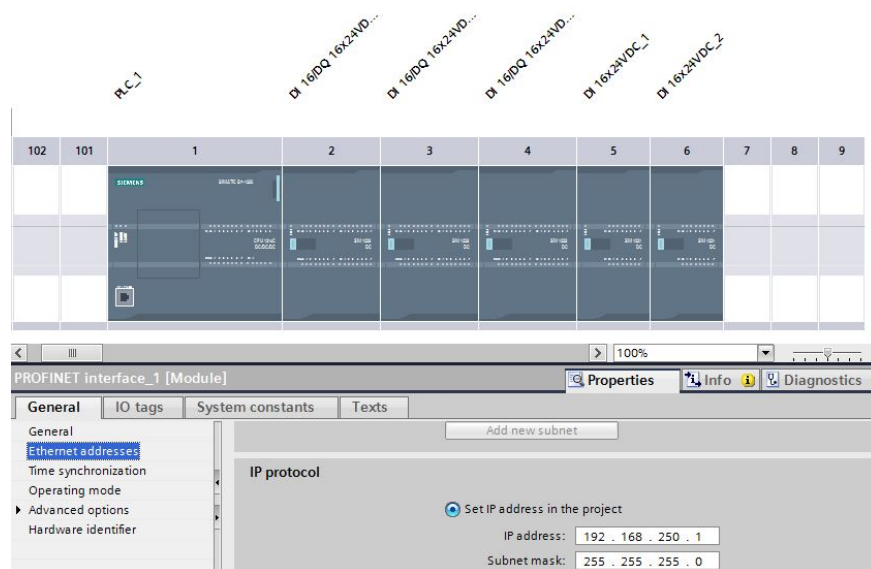


Figura 4.1: Atribuição IP PLC

Uma vez feita a configuração do PLC, segue-se a configuração do COBOT. Para tal foi seguido o guião fornecido pela UR [44]. Inicialmente é instalado o ficheiro do mesmo, disponibilizado no guião, adicionado o mesmo aos dispositivos do *software* e interligado ao PLC, especificando o tipo de comunicação, neste caso, Profinet, como apresentado na Figura 4.2.

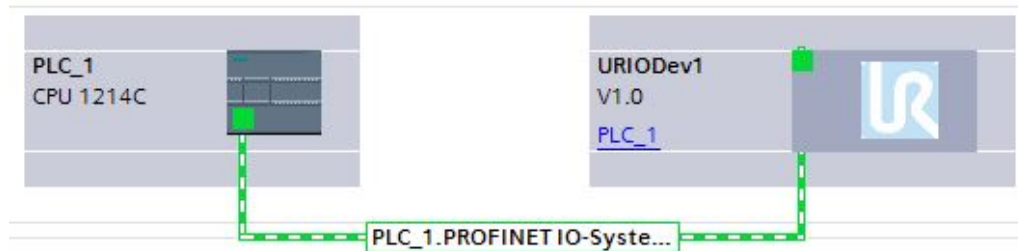


Figura 4.2: Ligação PLC e COBOT

Estabelecida a ligação entre ambos, são configurados os módulos correspondentes do COBOT. Este contém 10 módulos, sendo que 7 deles contêm dados que podem ser lidos pelo COBOT e os restantes podem ser definidos pelo mesmo. Na sua configuração foram atribuídos os endereços, de forma a não criar conflito com as restantes variáveis associadas à máquina. Foi também definido o IP do mesmo, Figura 4.3.

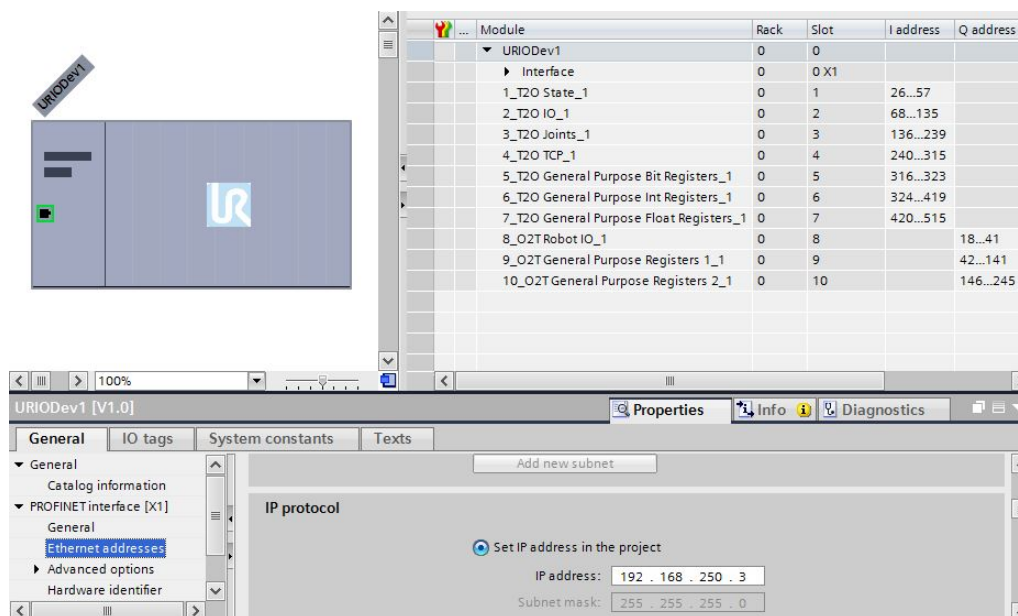


Figura 4.3: Configuração do COBOT no TIA Portal

Visível na Figura 4.3, estão os 10 módulos com os respectivos endereços. Cada um destes módulos contém uma série de sinais enviados para/pelo COBOT, que fornece as informações necessárias ao programa, como é possível observar na Figura 4.4.

▼ Tag_5	"UR_1_T2O_State"	%I26.0
▼ Robot	UR_T2O_Robot	
Controller major version	USInt	%IB26
Controller minor version	USInt	%IB27
Reserved	UInt	%IW28
Robot mode	USInt	%IB30
Real time machine seco...	USInt	%IB31
Real time machine millis...	UInt	%IW32
Real time machine minu...	USInt	%IB34
Real time machine hours	USInt	%IB35
Real time machine days	UInt	%IW36
Robot current [A]	Real	%ID38
PW: Is power on	Bool	%I42.0
PR: Is program running	Bool	%I42.1
TB: Is teach button press...	Bool	%I42.2
PB: Is power button pres...	Bool	%I42.3

Figura 4.4: Sinais do COBOT

Feitos estes passos, é necessário estabelecer comunicação com o PLC e efetuar o *download* do *hardware* para concluir a configuração e verificar se existem erros na compilação do mesmo. Caso não exista, encontra-se tudo em conformidade para prosseguir com a programação.

A sequência lógica do programa é representada por variáveis do tipo inteiro, sendo que esta é alterada consoante o estado do programa. A variável principal que é a GRAFCET_GERAL, definida por valores escolhidos pelo programador, correspondentes aos diferentes estados em que se encontra o ciclo principal da máquina, tal como se encontra no fluxograma geral da Figura 4.6. De acordo com o estado em que se encontra, diferentes valores são assumidos pela variável. Os diferentes estados são descritos nesta secção.

Na fase de arranque da máquina, em que é tudo ligado eletricamente, o COBOT é ligado remotamente pelo PLC, sem necessária intervenção do ope-

rador. Este verifica se o COBOT se encontra ligado, caso não esteja, dá a ordem ao mesmo para ligar. Na Figura 4.5 é possível verificar o extrato de código do PLC, responsável por esta ação. Estes sinais são definidos na sua consola, como descrito na secção 4.2.

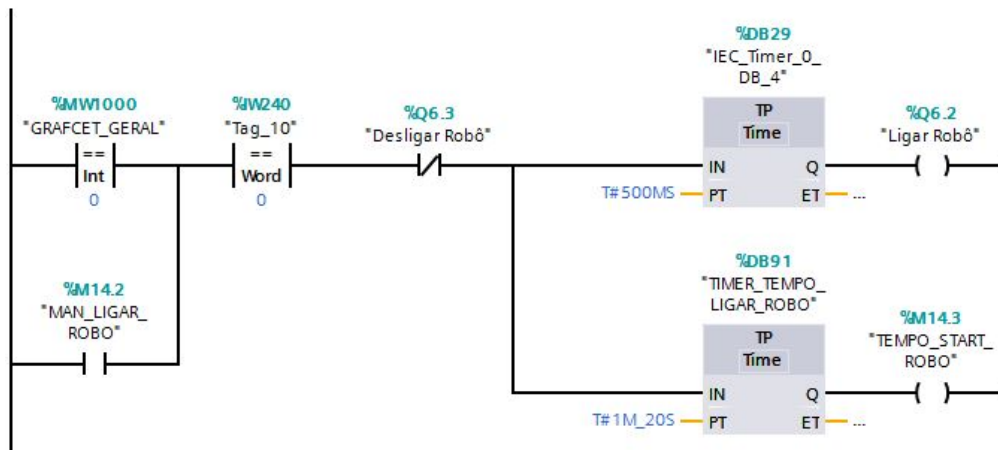


Figura 4.5: Ordem de Ligar COBOT

Como explicado, no arranque do PLC é verificado se o COBOT se encontra ligado e, caso não exista ordem, para desligar o mesmo. Caso se verifiquem estas condições, é dado o sinal durante 500 milissegundos. É também ativada a variável `TEMPO_START_ROBO` durante 1 minuto e 20 segundos, equivalente ao tempo que o mesmo demora a iniciar. Esta é usada para ativar o alarme da HMI, referente ao ecrã associado, apresentado na secção 4.3.

Na Figura 4.6 encontra-se apresentado o fluxograma respetivo ao panorama geral do programa. É feito o rearme, onde após é possível escolher o modo de funcionamento pretendido. Após concluído o modo em questão, é efetuado novamente o rearme garantindo a posição segura dos atuadores.

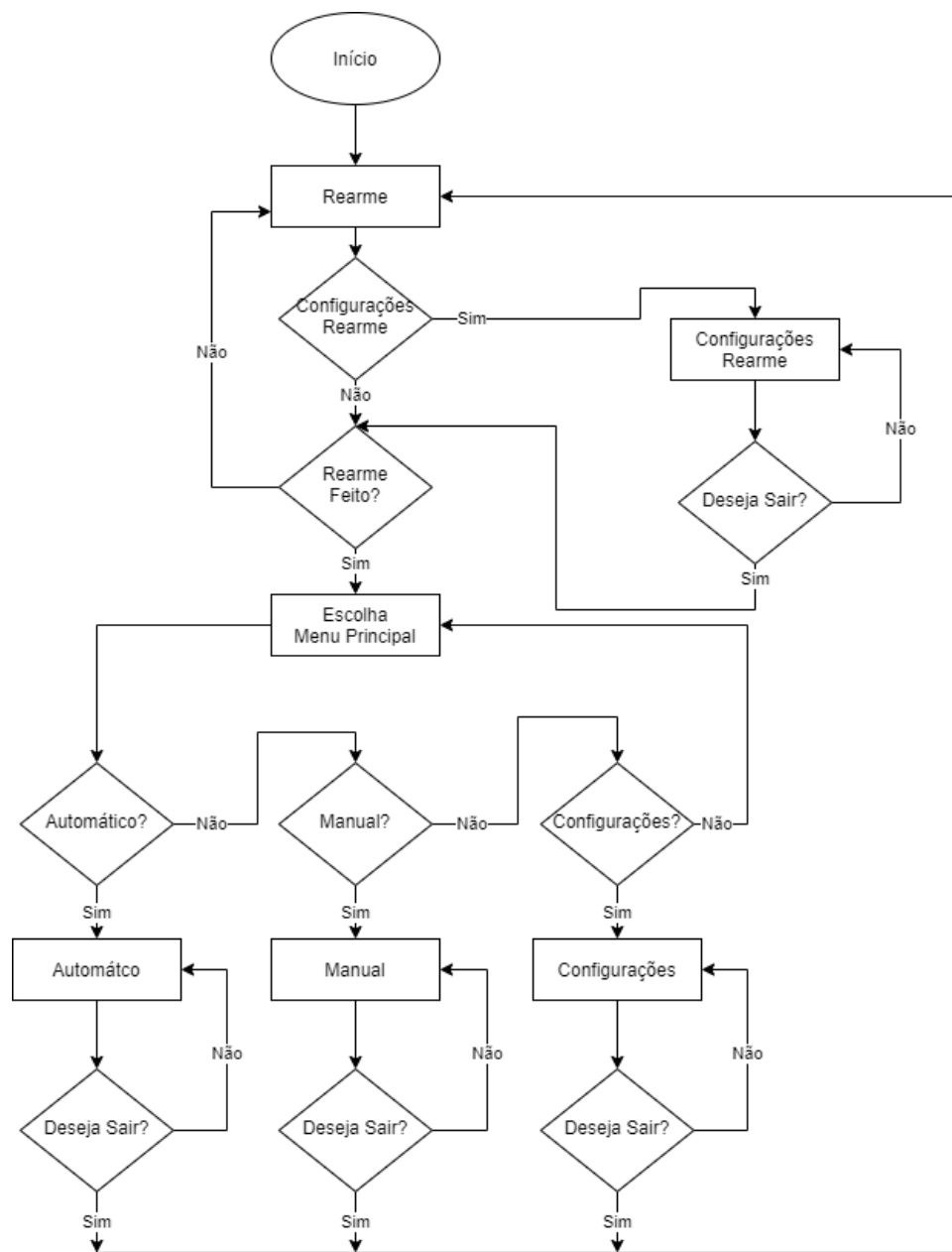


Figura 4.6: Fluxograma Geral

A primeira etapa do programa é a parte da segurança, em que é feita uma verificação aos equipamentos essenciais ao seu funcionamento, de modo a garantir a sua conformidade, descrito na secção 4.4. Feita a verificação com sucesso, sucede o rearme da máquina. O rearme é efetuado conforme apresentado na Figura 4.7, e consiste na movimentação dos seus actuadores para a posição inicial.

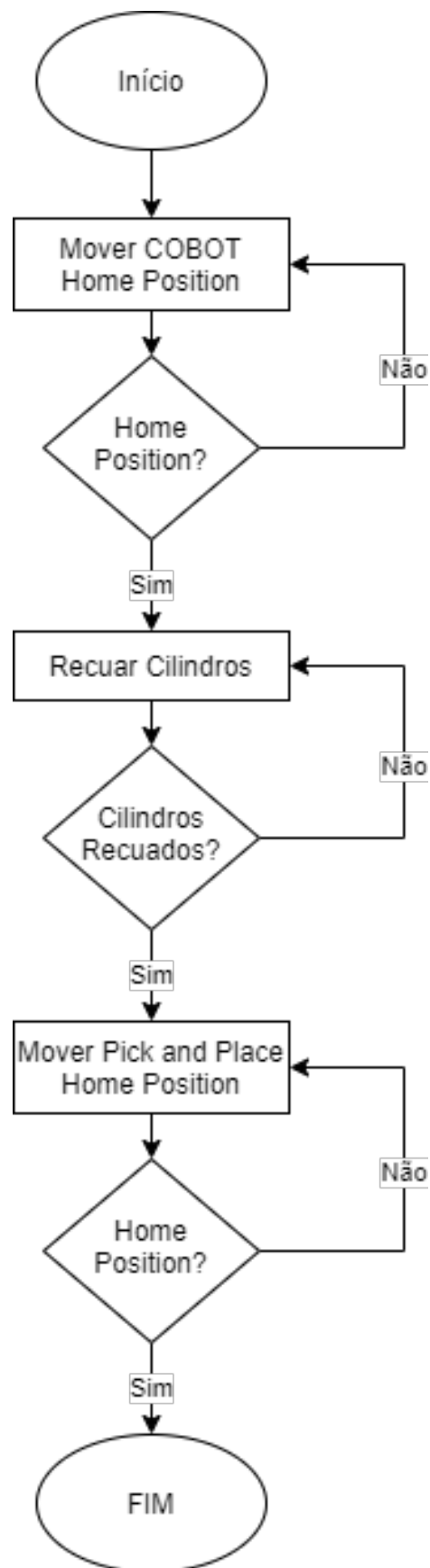


Figura 4.7: Fluxograma de Rearme

Este inclui também o COBOT, para evitar possíveis colisões. A ordem para o rearme do COBOT é efetuada através de ordem de *reset* ao mesmo, descrito na secção 4.2. De forma a evitar que este não receba o sinal no momento do rearme, por exemplo, devido a uma colisão ou desconexão do modo remoto, a ordem de rearme é continuamente enviada por pulsos, com uma frequência de 1Hz, através de uma função incluída no *software*, como mostra a Figura 4.8.

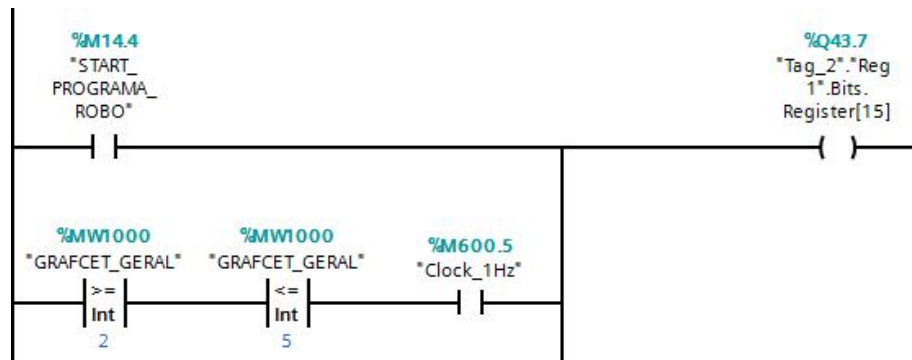


Figura 4.8: Rearme COBOT

Uma vez feito o rearme, é necessária a escolha do modo a utilizar. O modo manual permite ao utilizador mover, como o nome indica, manualmente cada um dos actuadores, pneumáticos ou motores, e também verificar o estado dos detectores. Este modo é maioritariamente utilizado pela WRK em fase de desenvolvimento, em afinações e testes. O modo manual é acedido pela HMI, e através da comunicação estabelecida entre eles, quando o utilizador selecciona o que pretende atuar, o PLC recebe a ordem indicada que, por consequente ativa a saída lógica associada. Na Figura 4.9 é possível verificar o processo descrito. De modo a identificar o modo escolhido, foi criada uma variável do tipo inteiro que, consoante a escolha, altera o seu valor, como é o caso do modo manual, que tem o valor 1000.

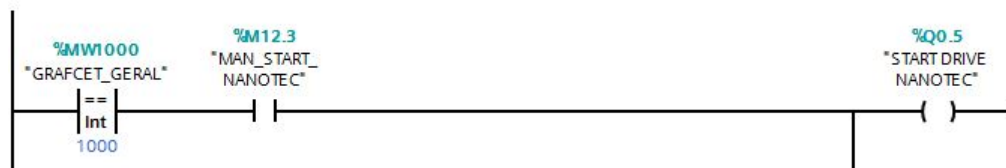


Figura 4.9: Controlo Manual dos Atuadores

Como indicado no fluxograma geral, Figura 4.6, ao sair do modo manual é feito o rearme.

Uma vez escolhido o modo automático, este move o ecrã da HMI para a escolha do automático, em que o operador tem que seleccionar o ponto de início do programa e os ciclos de lixo, se necessário, apresentado na secção 4.3. O operador pode seleccionar começar o programa pelo 1º ciclo ou pela produção contínua. A escolha do modo apenas influencia no movimento do COBOT, sendo que o 1º ciclo indica que este deve começar por recolher peças da máquina desenvolvida para o molde da injeção, e a produção contínua indica que deve começar por recolher peças já injetadas, gitos e efetua a limpeza do molde.

No início do ciclo automático é feita uma verificação aos detetores da ferramenta do COBOT para ver se existem peças na mesma e, caso tenha, este vai deitá-las na caixa NOK. Esta verificação é necessária visto que o último estado do COBOT possa ter surgido de uma colisão, o que pode conter peças defeituosas, desta maneira, é necessário rejeitar as mesmas. Verificadas estas condições e, caso seja seleccionado o 1º ciclo, o COBOT dirige-se para a posição de espera de peças, e é iniciado o ciclo da máquina.

No primeiro ciclo do automático, de forma a garantir cadência suficiente para o preenchimento do molde, antes de libertar os separadores para o COBOT recolher as peças, é esperado o enchimento das três pistas, como mostra a Figura 4.10.

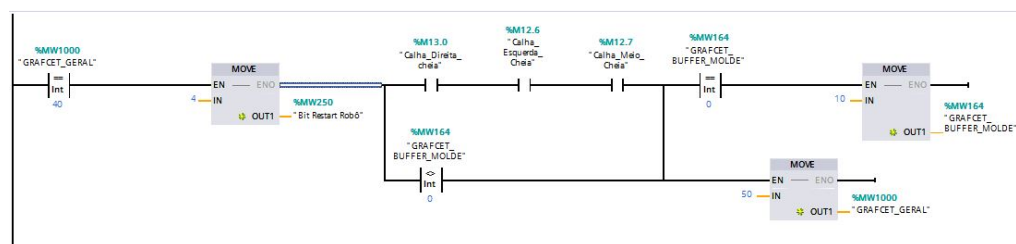


Figura 4.10: Calhas Cheias

Com o início do ciclo, é dada a ordem para o arranque do alimentador. A estrutura do alimentador tem dois fins de curso, superior e inferior, que controlam assim o seu movimento. Na parte direita do tapete tem um detetor que, caso detete peças à saída do alimentador, pára o mesmo evitando sobrelotação. As peças seguem pelo tapete e seguem para a verificação de orientação das mesmas e, como explicado na secção 3.4.1, através de dois *switches*, são accionados os atuadores, que as orientam corretamente, seguindo para as duas pistas seguintes. Este processo é feito conforme indicado no fluxograma da Figura 4.11.

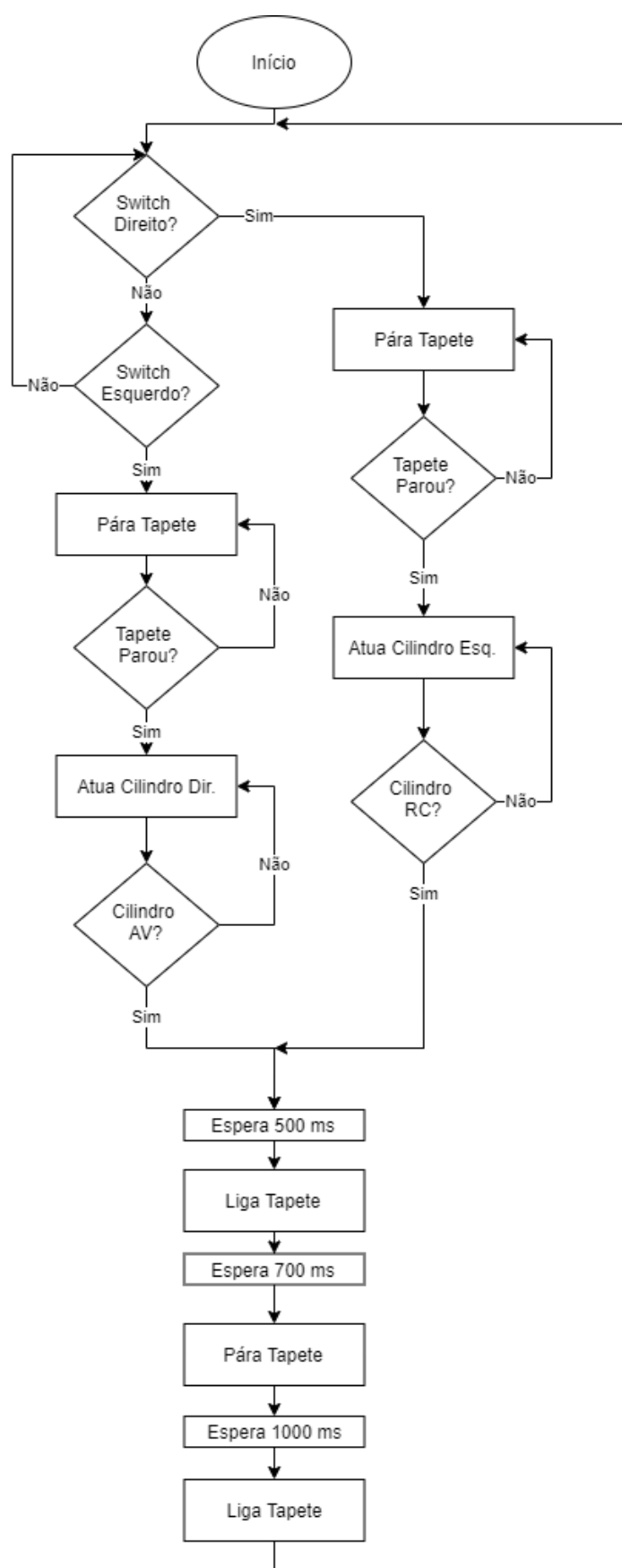


Figura 4.11: Fluxograma de Rotação

As duas pistas seguintes têm dois sensores, um em cada pista que, ativos por um tempo superior a 400 milissegundos, interrompe o movimento do tapete auxiliar e do alimentador, Figura 4.12.

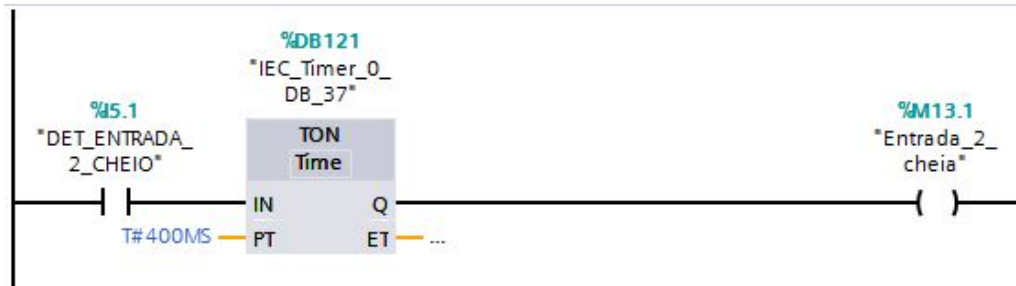


Figura 4.12: Pista Cheia

Segue-se a distribuição por parte do *Pick and Place*, que recolhe as peças das duas pistas indicadas. De forma a ajudar à interpretação dos próximos passos, a Figura 4.13 tem as posições associadas legendadas.

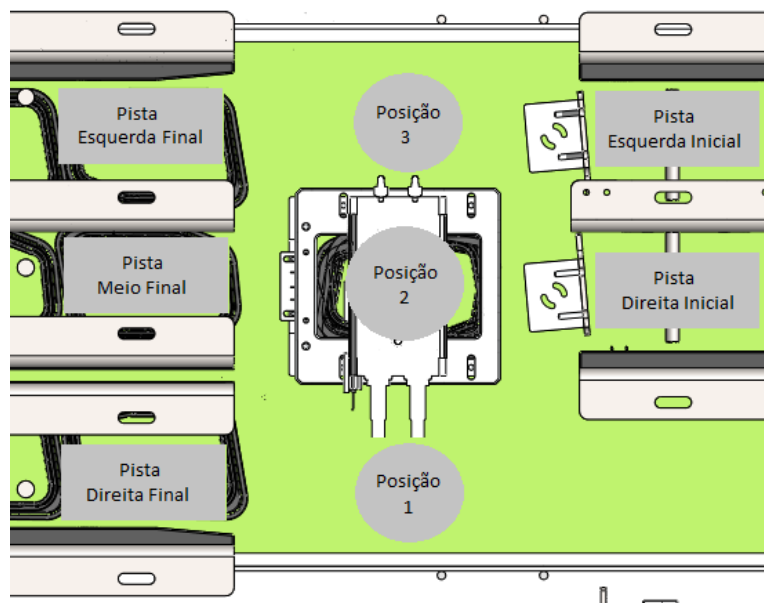


Figura 4.13: Legenda *Pick and Place*

Como descrito anteriormente, as peças vêm das pistas iniciais, consoante a sua orientação. Daí são recolhidas pelo *Pick and Place* e encaminhadas para a pista final correspondente. Este move-se entre posições guardadas, denominadas como posições 1, 2 e 3. Na Figura 4.14 encontra-se o fluxograma descritivo deste processo.

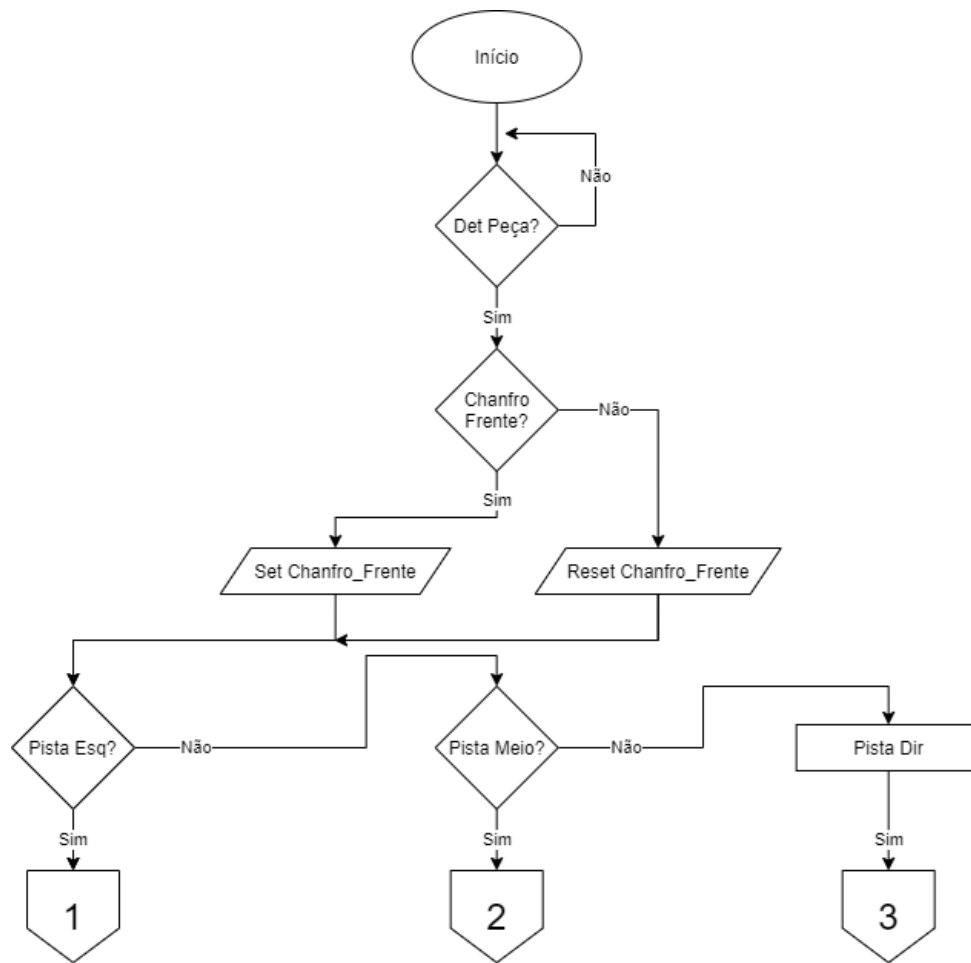
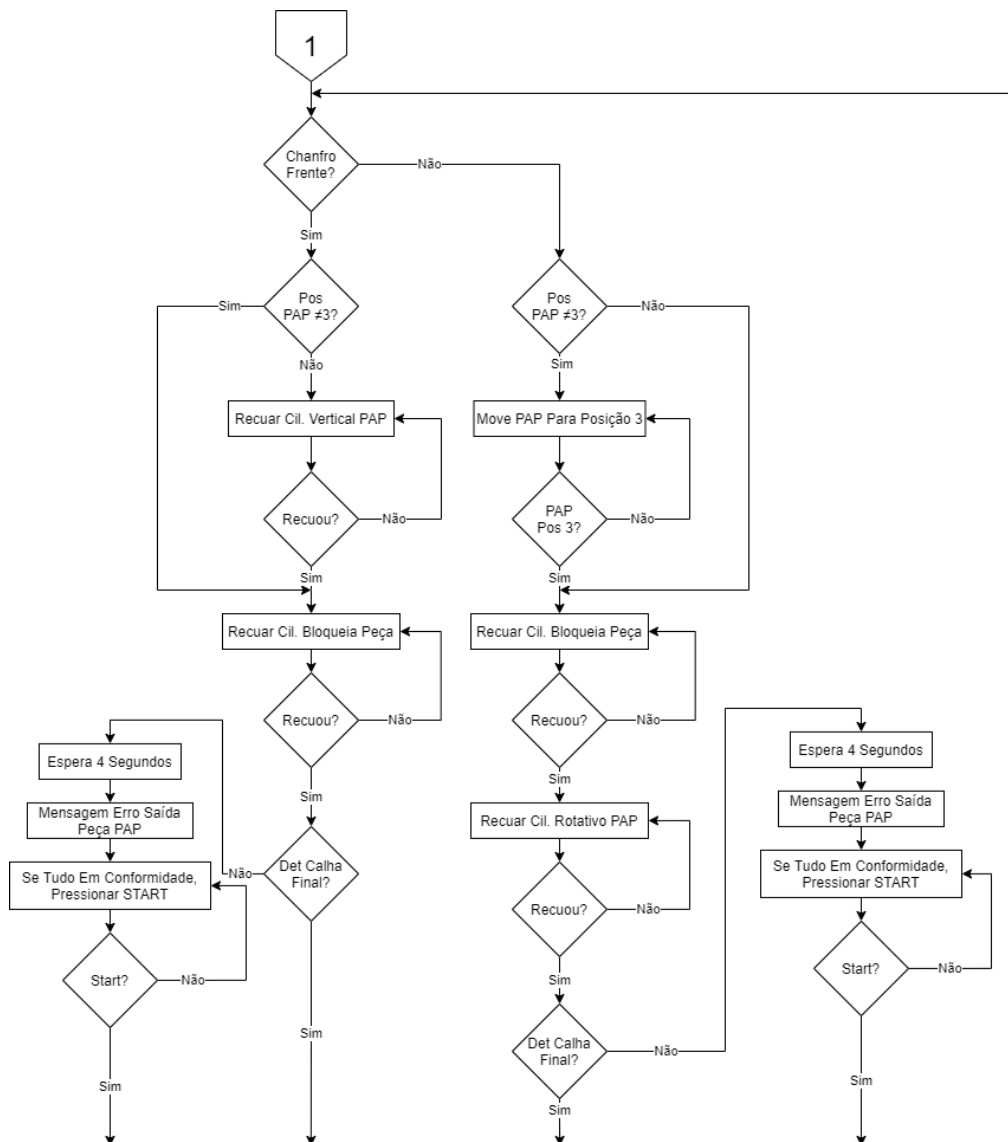


Figura 4.14: Fluxograma de Condições do *Pick and Place*

Como é possível observar, após a detecção de peça numa das pistas, é verificada a orientação horizontal da peça, como ilustrado anteriormente na Figura 3.3. É feito o controlo de uma variável, **Chanfro_Frente**, que posteriormente influencia no decorrer do programa. Com estas condições verificadas, é feita a escolha da pista de destino.

A fase seguinte é a distribuição das peças nas pistas finais, executada pelo *Pick and Place*. Esta distribuição é feita de forma sequencial, controlada por uma variável do tipo inteiro. A escolha da pista tem em conta todos os dados como, posição do *Pick and Place*, pista de destino, pistas disponíveis para recolha e orientação da peça, e é feita com base na otimização do processo. Na Figura 4.15 é possível observar o fluxograma relativo a este processo, em que foi apenas considerado a hipótese da pista esquerda inicial, visto que o processo da direita é semelhante.

Figura 4.15: Fluxograma *Pick and Place*

Dado que a peça provém da pista esquerda inicial, e tem como destino a pista esquerda final, como refere o número 1 da sua variável, é feita a verificação da orientação horizontal (chanfro para a frente). Caso esteja, esta não necessita da intervenção do *Pick and Place*, e portanto é verificado se o mesmo se encontra na posição 3, indicada na Figura 4.15. Se este se encontrar na posição em questão, é efetuado o seu recuo vertical, de modo a não interferir no movimento da peça, caso contrário, é feito o recuo do bloqueia peças. Se a peça estiver orientada de forma errada, é feita a sua rotação com recurso ao *Pick and Place*.

Na entrada de cada uma das três pistas finais estão localizados detetores de

pista cheia que, neste caso, indica ao programa que a peça deixou o *Pick and Place* e pode prosseguir. Caso este não detete a peça após 3 segundos, é accionado um sinal sonoro e luminoso, que indica ao operador para verificar se a peça avançou ou bloqueou e, em caso de bloqueio, desbloquear a mesma e pressionar o botão físico de START para prosseguir, como indica o código apresentado na Figura 4.16.

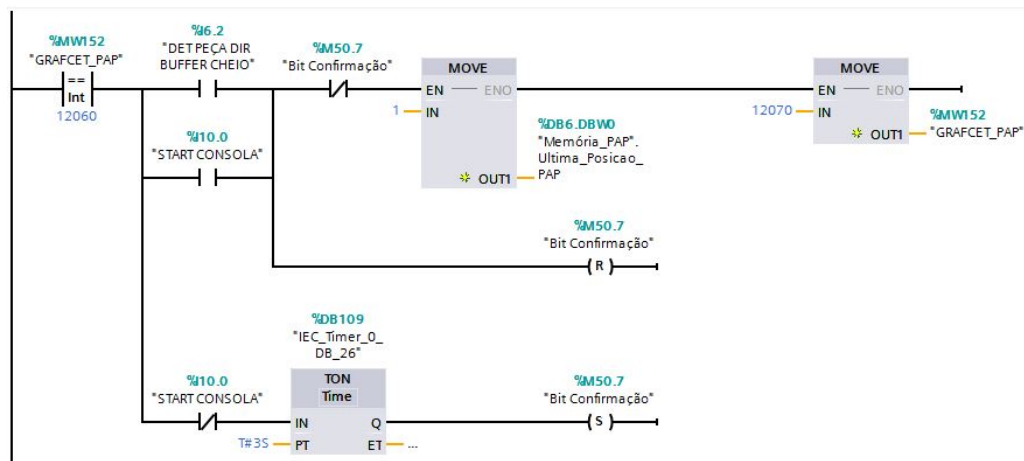
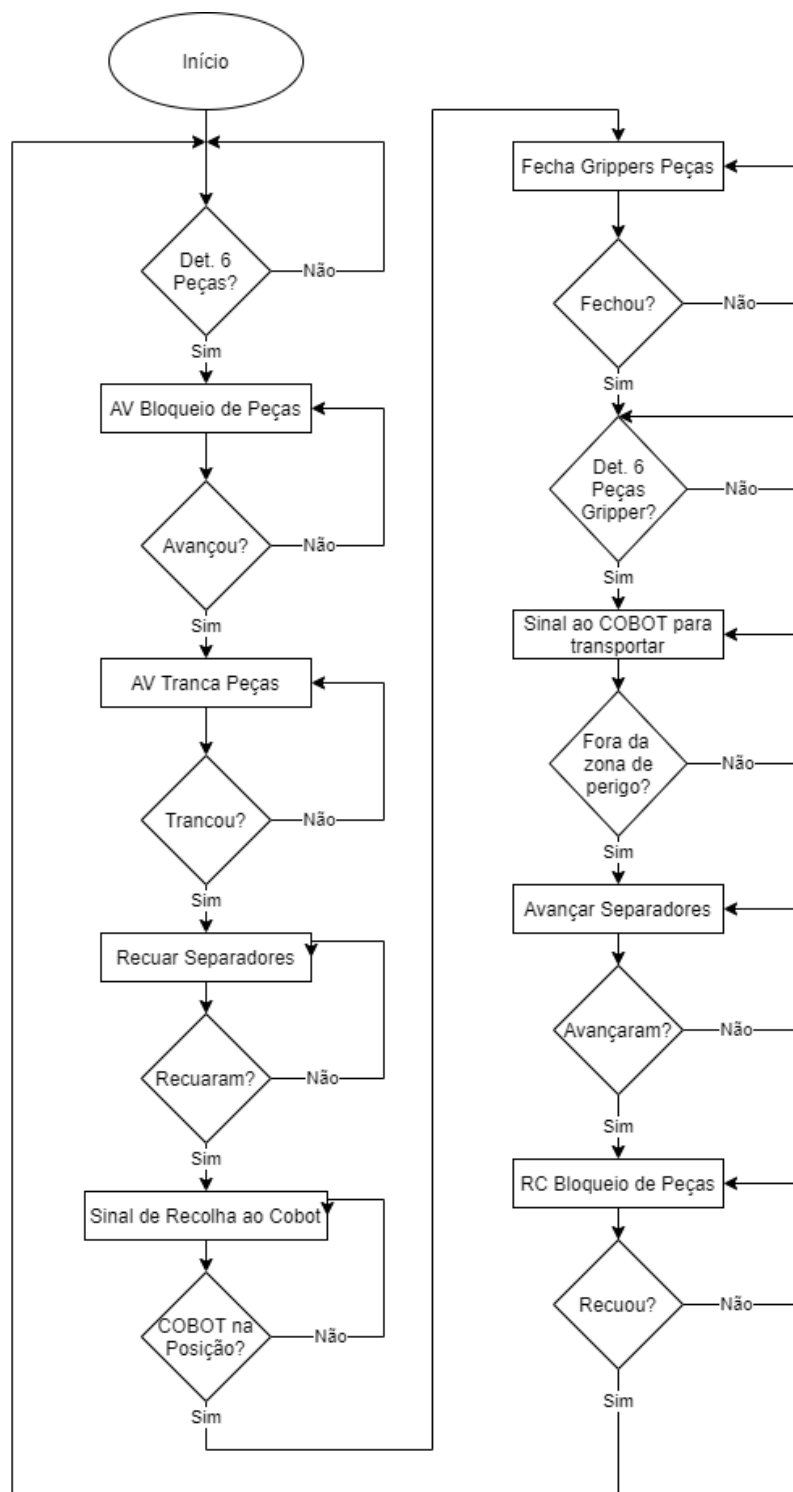


Figura 4.16: Detecção de Peça na Pista Final

Uma vez nas três pistas finais, as peças seguem para o *buffer*, onde é feita a recolha pelo COBOT, cujas etapas são apresentadas no fluxograma da Figura 4.17.

Figura 4.17: Fluxograma *Buffer*

Após detetadas as seis peças no *buffer*, é feito o bloqueio das peças situadas nas três pistas finais e, de seguida o trancamento das situadas no *buffer*. Uma vez confirmado o trancamento, são atuados os separadores para a posição de recolha do COBOT que, por sua vez, espera o sinal do PLC. Quando o mesmo se encontra na posição de recolha, o PLC dá ordem para fecho dos *grippers* e é confirmada a detecção das peças. Caso esta condição não esteja conforme, é sinalizado ao operador para verificar o erro associado. Após a recolha das mesmas, o COBOT envia um sinal, indicando que se encontra fora da zona de perigo de colisão, sendo segura a movimentação dos separadores para a posição inicial. Estando estes na posição inicial, são recuados os bloqueios de peça nas pistas e reiniciado o processo do *buffer*. As confirmações de posição dos actuadores são controladas pelos detetores situados no equipamento mecânico.

4.2 Robô Colaborativo

Nesta secção é apresentada a programação efetuada para o controlo do COBOT, assim como a descrição de algumas decisões tomadas. Como referido, este é programado através da sua consola física. Esta consiste em definir pontos de destino, e o tipo de movimento efetuado para o mesmo.

Numa fase inicial, é necessário ativar a ligação Profinet na consola do mesmo, como apresentado na Figura 4.18, de forma a habilitar a comunicação com o PLC.

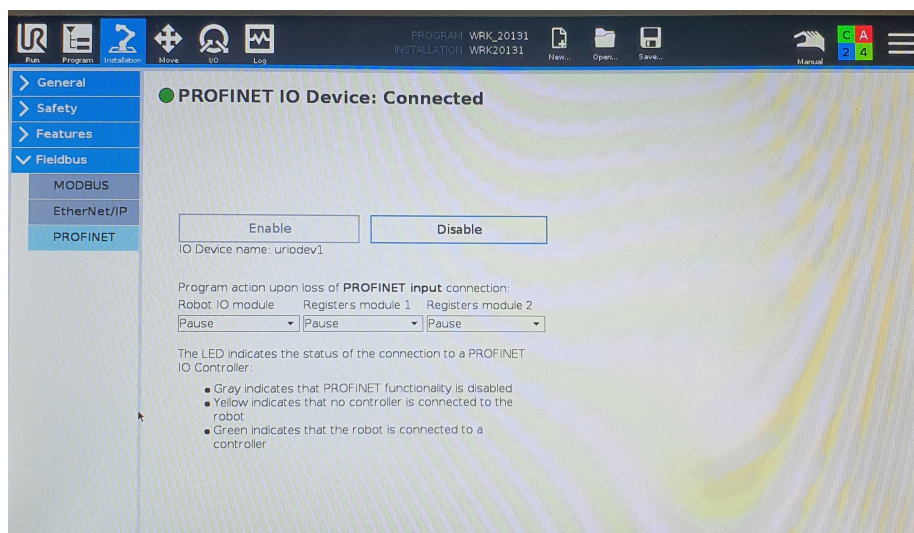


Figura 4.18: Ativação Profinet

Sendo a carga útil do COBOT de 10 kg, é ainda necessário definir a carga que o mesmo se encontra a carregar, neste caso, a ferramenta descrita anteriormente.

Este passo é fundamental ao projeto, visto que todo o seu funcionamento depende do mesmo, como por exemplo, se a carga transportada equivaler à máxima carga útil, não é possível atingir uma aceleração tão elevada devido à força necessária das juntas. Se a carga útil for mal definida, a força do movimentado executado não vai corresponder à real, pelo que vai causar uma aceleração superior ao previsto, provocando uma paragem de emergência ou até o desalinhamento do mesmo. Outra anomalia causada pela má definição da mesma é o tempo de paragem, visto que a força aplicada pelo COBOT a uma colisão, possivelmente humana, varia consoante o peso, ou seja, o tempo de paragem varia, podendo não parar no momento devido.

A correta definição da carga útil é essencial ao bom funcionamento do mesmo, pelo que este passo deve ser efetuado antes de executar qualquer tipo de teste. Para definir a carga útil, este *software* inclui um método automático de execução, em que são pedidos três movimentos diferentes, variando os diversos eixos. Terminado esta fase, é calculada a carga útil transportada, em que neste caso são 6,72 kg, como é apresentado na Figura 4.19. Neste caso em concreto, a massa das peças é desprezável, dada a massa total da ferramenta, mas caso isso não acontecesse, ou seja, se o peso das peças a transportar fosse superior, teria de ser feito um ajuste ao longo do programa à massa carregada pelo robô, conforme este se encontrasse com peças ou sem peças.

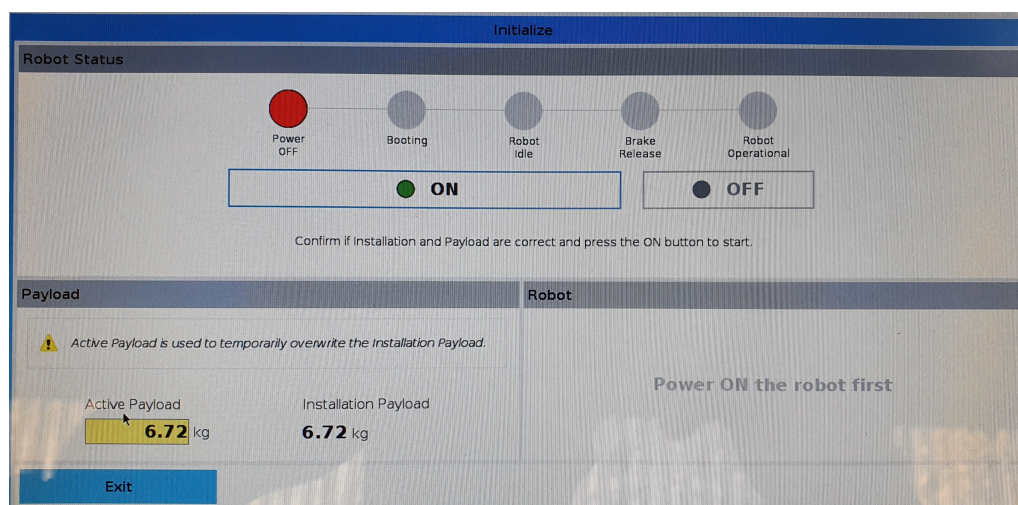


Figura 4.19: Definição da Carga Útil

Uma vez estabelecida a comunicação com o PLC e definida a carga útil, foram definidos os primeiros passos do programa. Na Figura 4.20 encontra-se representado o fluxograma correspondente ao funcionamento do COBOT.

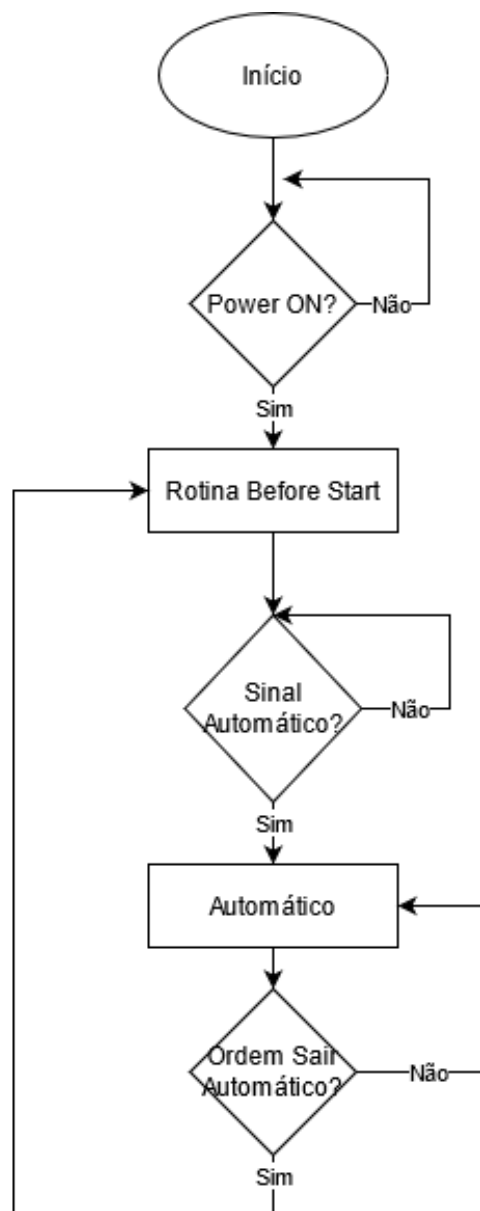


Figura 4.20: COBOT em Arranque

Foi feita uma avaliação de segurança à máquina e, de modo a evitar colisões, foi definida uma série de movimentos que conduz o COBOT à posição segura inicial, seja qual for a sua posição, denominada por *Rotina Before Start*. Após assegurada a posição segura do mesmo, é esperado o sinal do PLC de ordem de automático. Uma vez iniciado, é feito o ciclo até ordem de saída.

Para a rotina *Before Start* foi usada a função `get_actual_tcp_pose()`, em que são adquiridas as coordenadas do COBOT (Figura 4.21). Tendo em conta o

eixo das ordenadas, foi então alterado o valor da coordenada z, correspondente ao eixo vertical, de modo a permitir ao mesmo movimentar-se para uma posição segura inicial. Estando este na posição inicial, como referido, é aguardado o sinal de início do modo automático do PLC.

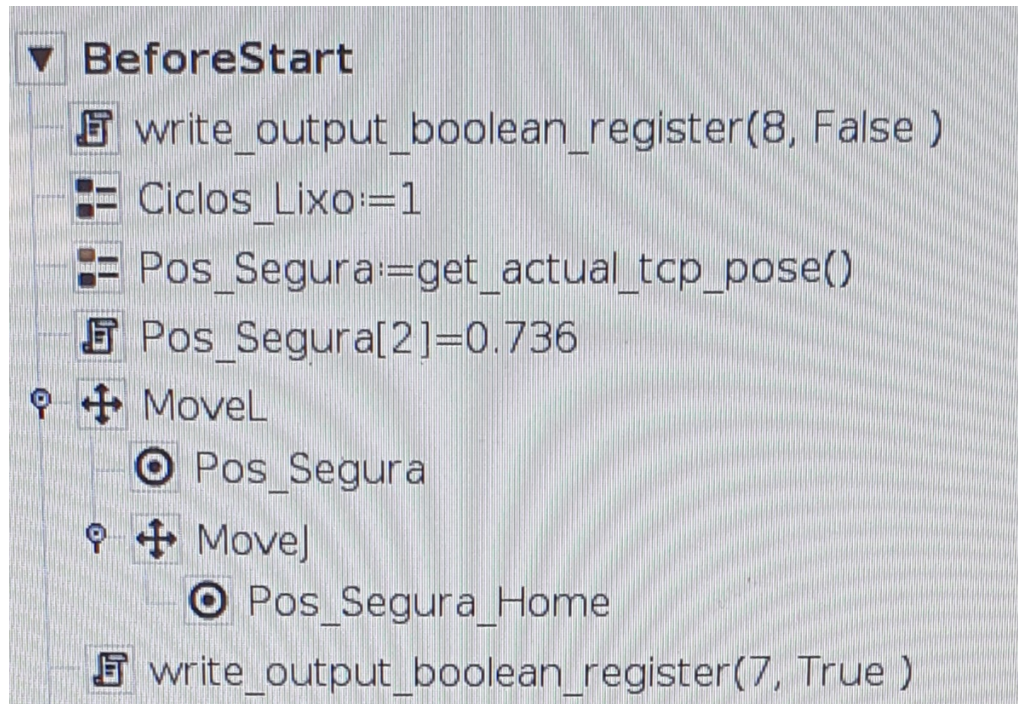


Figura 4.21: Rotina Before Start

Como forma de comunicação entre o COBOT e o PLC são utilizados dois principais comandos:

- **write_output_boolean_register(address, value)** – Altera o estado lógico do endereço indicado com o valor indicado. Neste caso específico, é possível alternar entre 0 e 1. Caso se pretenda a alteração de um variável inteira, no espaço onde tem 'boolean', é colocado 'register'. Este sinal é transmitido para o PLC.
- **read_input_boolean_register(address)** – Lê o estado lógico da variável correspondente ao endereço indicado. Tal como no comando anterior, caso se trate de uma variável do tipo inteiro, é alterado o tipo de variável para *register*.

O passo seguinte consiste em definir os pontos necessários ao seu desenvolvimento, e assim começar a elaborar as rotinas do mesmo. De forma a obter uma

melhor organização, o programa foi dividido em subrotinas, cada uma correspondente a um processo. Foram então criadas quatro subrotinas, sendo estas:

- Recolha_Maq1
- Escolha_Molde_Largar
- Escolha_Molde_Pegar
- Recolhe_Maq2

A chamada destas funções é efetuada consoante definido pelo operador na HMI, como é observado na Figura 4.30. Como descrito anteriormente, o operador escolhe o processo a iniciar, seja ele recolher peças da máquina desenvolvida para o molde de injeção, ou recolha de peças do molde de injeção para as caixas de saída.

Foram também desenvolvidas rotinas de teste, com o intuito de avaliar o seu desempenho na execução dos movimentos e poder otimizar os mesmos de forma a chegar ao resultado pretendido. Estas rotinas foram as primeiras definidas, mas visto que foram usadas apenas em situações de teste, não se encontram incluídas na dissertação presente. Embora não sejam apresentadas as rotinas, são abordados e descritos os diversos testes feitos na secção 4.5.

A primeira rotina, **Recolha_Maq1**, inclui o processo em que o COBOT recolhe as peças da máquina. Como é possível ver na Figura 4.22, são efetuados uma série de movimentos e, ao mesmo tempo, troca de informação com o PLC, para assegurar a não colisão e a correta recolha das peças. Após a sua chegada ao ponto intermédio, este espera um sinal do PLC que informa que o COBOT já pode descer, assim como este, mais tarde, informa o PLC que já recolheu a uma posição segura.

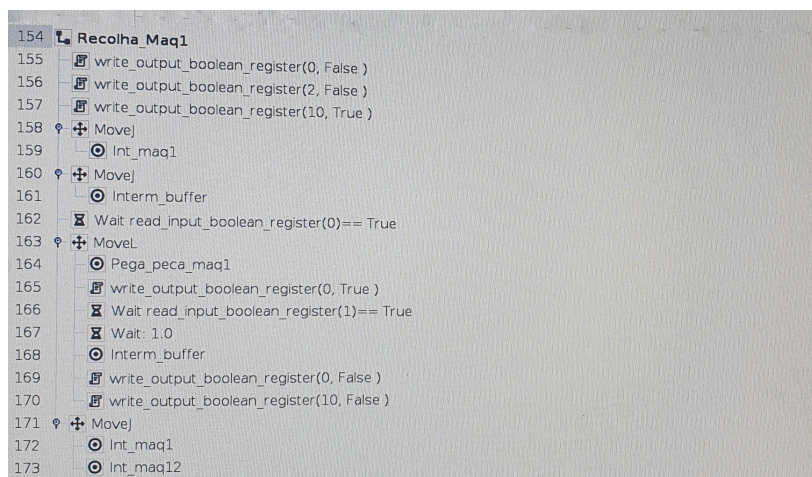


Figura 4.22: Código Rotina Recolha_Maq1

A rotina **Escolha_Molde_Largar**, é a responsável por transportar as peças, recolhidas no *buffer* da máquina desenvolvida, para o molde de injeção da máquina do cliente. Como descrito anteriormente, são necessários quatro transportes para completar o enchimento do molde, pelo que o COBOT vai largar as mesmas em quatro posições distintas. Esse controlo é efetuado pelo PLC através de uma variável do tipo inteira, e comunicado ao COBOT. Na Figura 4.23 é possível ver o controlo lógico desta rotina.

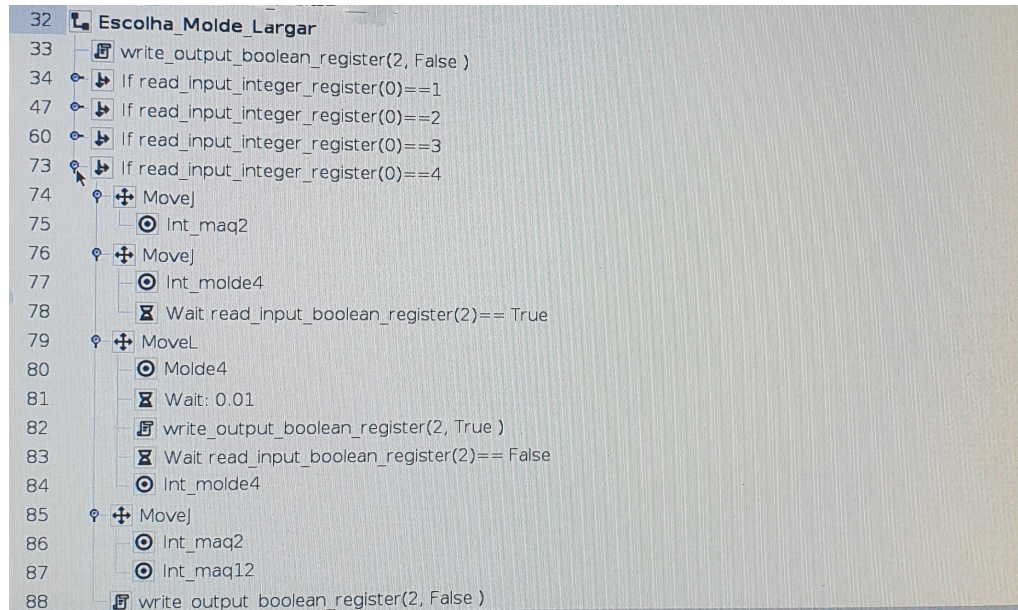


Figura 4.23: Código Rotina Escolha_Molde_Largar

A seguinte rotina definida, **Escolha_Molde_Pegar**, é onde é feita a recolha das peças, após injetadas. A lógica utilizada é semelhante à da última rotina descrita, em que é controlado por um valor inteiro, transmitido pelo PLC. Na última posição de recolha de peças, é efetuada uma limpeza ao molde, de modo a limpar restos de injeção. Esta é feita pela mangueira de ar situada na ferramenta do COBOT. Após a recolha das peças, estas são reencaminhadas para as caixas correspondentes, caixa OK ou NOK e caixa de gitos. Esta última fase encontra-se definida na quarta rotina, **Recolhe_Maq2**.

4.3 HMI

Como referido previamente, a implementação de uma consola HMI tem como principal objetivo facilitar a interação homem-máquina. Esta é efetuada através de uma interface gráfica que, além de informar sobre o estado atual da máquina, como alertar para possíveis colisões ou erros em algum equipamento, também tem

opção de escolha de modo de operação. Nesta secção será descrita a programação da mesma, assim como o seu funcionamento.

A interface gráfica consiste num conjunto de páginas, todas elas com a sua função específica, que variam conforme o estado atual da máquina. A HMI tem como base de funcionamento um *script*, que efetua o controlo relativo a questões como, *password* e transições de páginas. Visto que o *script* não se encontra inserido no projeto, o mesmo não é descrito detalhadamente. No primeiro estado da máquina, ou seja, quando é ligada é apresentada uma mensagem informativa de COBOT a ser iniciado, como é possível ver na Figura 4.24. Este ecrã é controlado por tempo, sendo considerado o tempo calculado que o COBOT demora a inicializar.



Figura 4.24: COBOT em Arranque

Considerando o arranque inicial da máquina, após o COBOT ligado, este é movido para o ecrã de emergência (Figura 4.25). Este ecrã, sincronizado com o programa de lógica do PLC, verifica se estão reunidas todas as condições para o seu arranque. Sobreposto ao retângulo de rearmar máquina, está uma área tátil, que, com o controlo lógico, apenas tem visibilidade ativa caso todos os casos visíveis no ecrã estejam em conformidade. Embora no arranque da máquina, o PLC dê ordem para ligar o robô e, dado que na HMI o ecrã é apenas controlado por tempo, foi inserido um botão para ligar o robô caso, por alguma razão, não tenha acontecido.



Figura 4.25: Ecrã de Emergência

Dada a ordem para rearmar a máquina, esta vai efetuar, como o nome diz, o seu rearme. Este consiste em recuar os atuadores pneumáticos para a posição inicial, assim como movimentar o COBOT para a posição segura, definida na programação do mesmo, apresentada na secção 4.2. Caso, durante o rearme, algum destes movimentos não se realize, é apresentada uma mensagem de erro e sinalização sonora, assim como uma área sombreada indicando a localização do erro, apresentado na Figura 4.26.

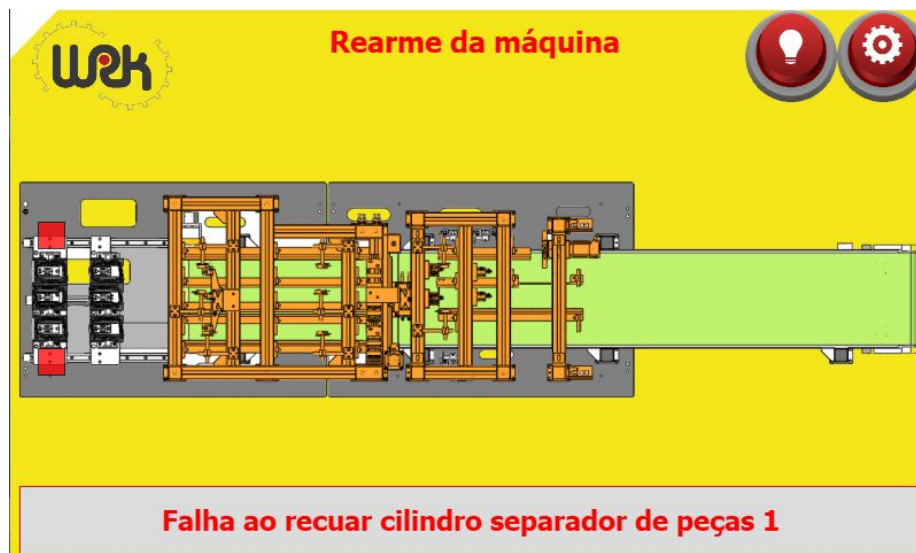


Figura 4.26: Ecrã de Rearme

Concluído o rearme com sucesso, é então apresentado o Menu Principal (Figura 4.27). O Menu Principal é o estado neutro da máquina, onde é decidido o modo de funcionamento da mesma. É possível optar pelo modo manual ou automático.



Figura 4.27: Menu Principal

No modo manual estão incluídas secções que permitem ao utilizador mover todos os atuadores e motores manualmente, assim como monitorizar todos os estados dos detetores.

Este modo é maioritariamente utilizado pela empresa fabricante, nomeadamente a WRK, para testes e afinações ao longo do processo de desenvolvimento, e dado o caso, este modo é protegido com uma *password*, apenas obtida pela WRK e pelo encarregado da máquina, da parte do cliente. As próximas figuras (Figura 4.28 e Figura 4.29) mostram as diversas páginas inseridas no modo manual.

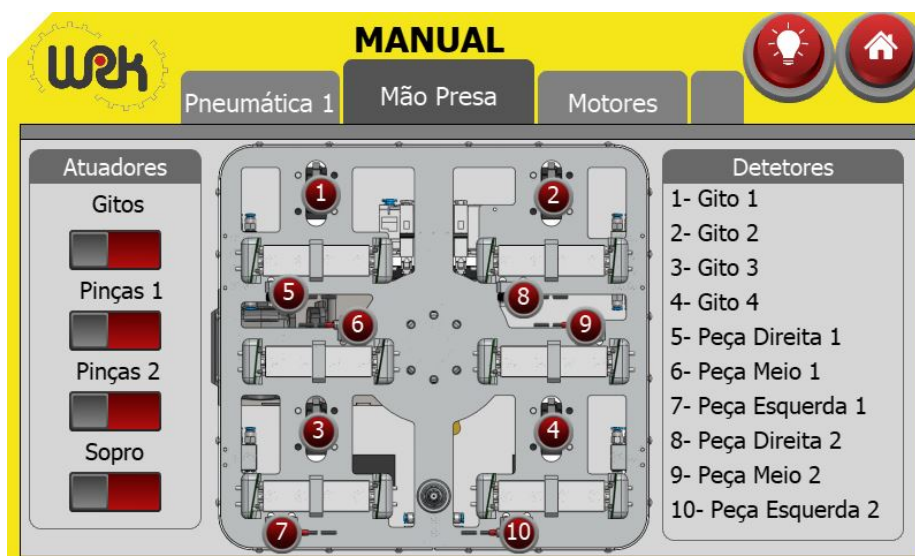


Figura 4.28: Ecrã Manual Mão Presa



Figura 4.29: Ecrã Manual Motores

Caso o operador pretenda iniciar o modo automático, é apresentado um ecrã que apresenta as opções possíveis, de modo a definir o arranque do modo automático.

Como é visível na Figura 4.30, e foi explicado na secção 4.1 é necessário escolher o ponto de arranque do automático, assim como indicar o número de

ciclos lixo, caso pretendam, e pressionar o botão de START após seleccionadas as opções anteriores.

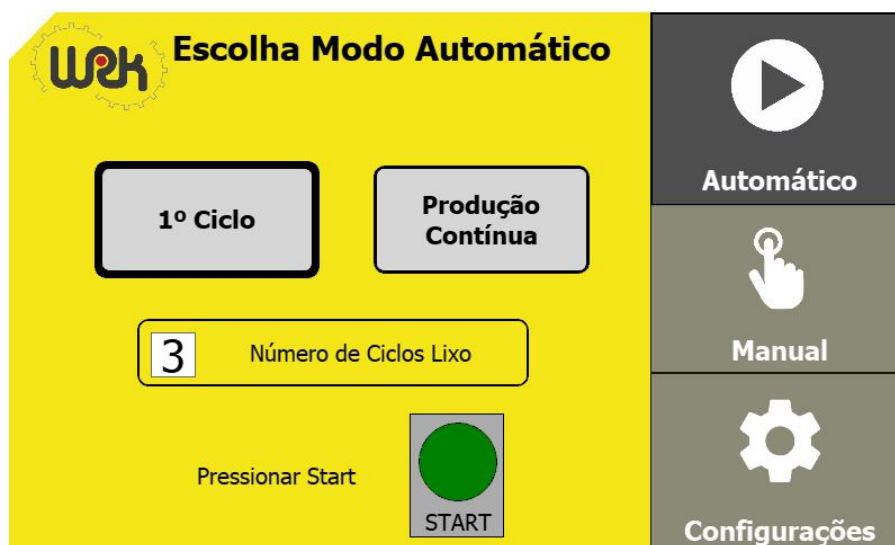


Figura 4.30: Escolha Modo Automático

Uma vez dentro do modo automático, é iniciado o ciclo e o programa altera para o seguinte ecrã, Figura 4.31. Como é possível observar, este apresenta uma imagem figurativa da máquina, caixas de texto que indicam ao operador o estado atual das diferentes operações. Tem também a opção de interromper ou parar o ciclo do COBOT, por necessidade do operador.

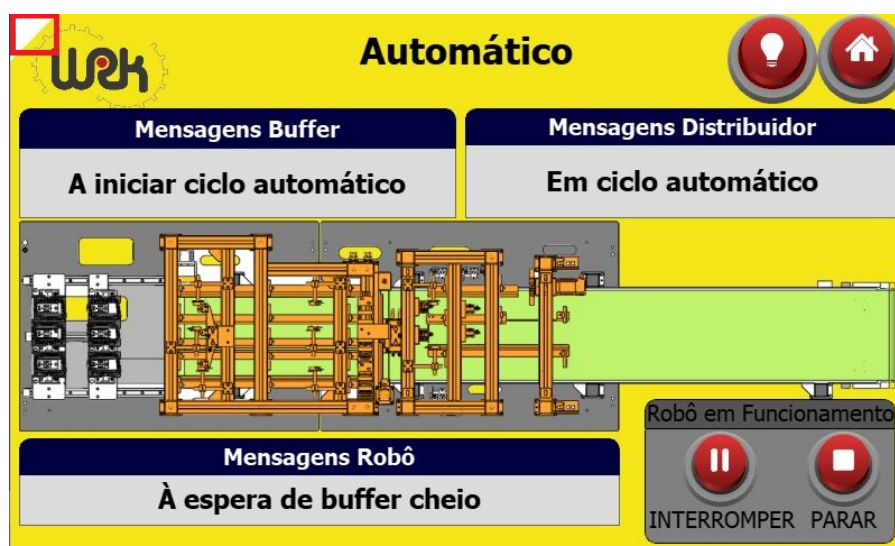


Figura 4.31: Automático

Na eventualidade do COBOT sofrer uma colisão, este informa o PLC, accionando sinalização luminosa e sonora, e transmite à HMI o sucedido que acciona um ecrã *popup*, apresentado na Figura 4.32. Como indica a Figura 4.32, o operador tem que dar *enable* ao COBOT, que retira o *popup* de erro e, conforme o seu estado, continuar o funcionamento ou reiniciar o seu ciclo, através dos botões situados na parte inferior direita do ecrã.

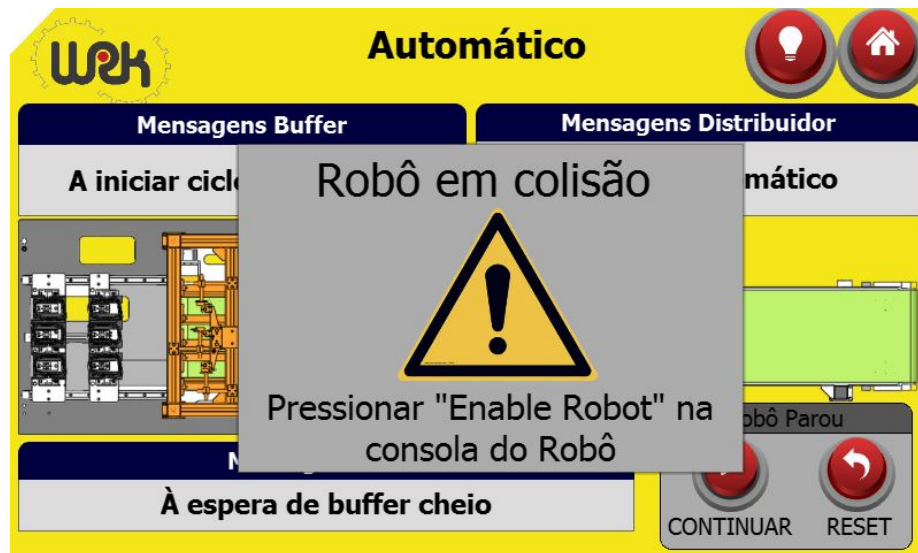


Figura 4.32: Erro Colisão COBOT

Existe também a possibilidade de falha da peça à saída do *Pick and Place*. Caso isso aconteça, o ciclo é parado e é apresentado um *popup* juntamente com sinalização luminosa e sonora, que indicam ao operador a existência de um erro no seu funcionamento e, como indica na Figura 4.33, verificar possíveis obstruções e garantir que se encontra tudo em segurança antes de avançar.

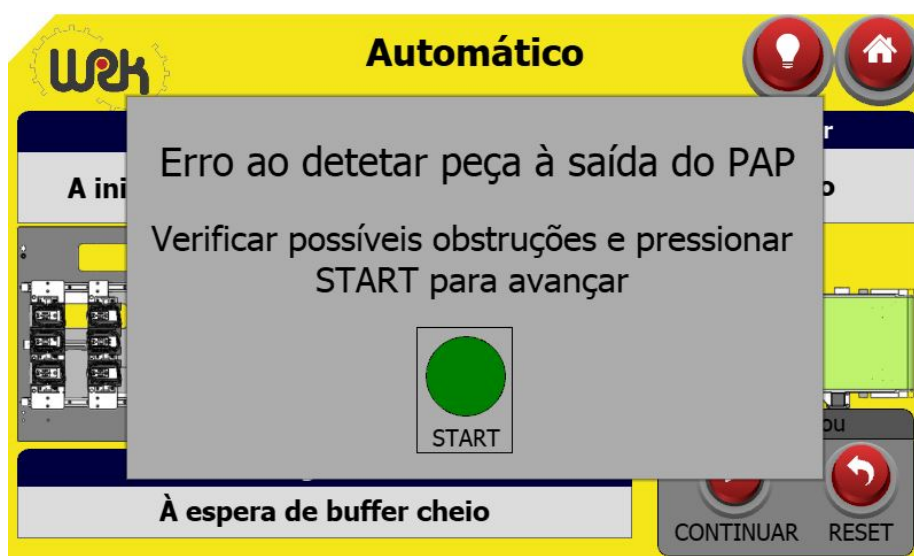


Figura 4.33: Erro Detecção de Peça

Uma vez dentro do ciclo automático, caso o operador queira verificar o estado dos detetores ou dos atuadores, pressionando sobre a zona rodeada a vermelho na Figura 4.31, é apresentada uma página indicativa de todos os estados, Figuras 4.34 e 4.35, com continuação de uma segunda página.



Figura 4.34: Estado de Todos os Sinais - 1

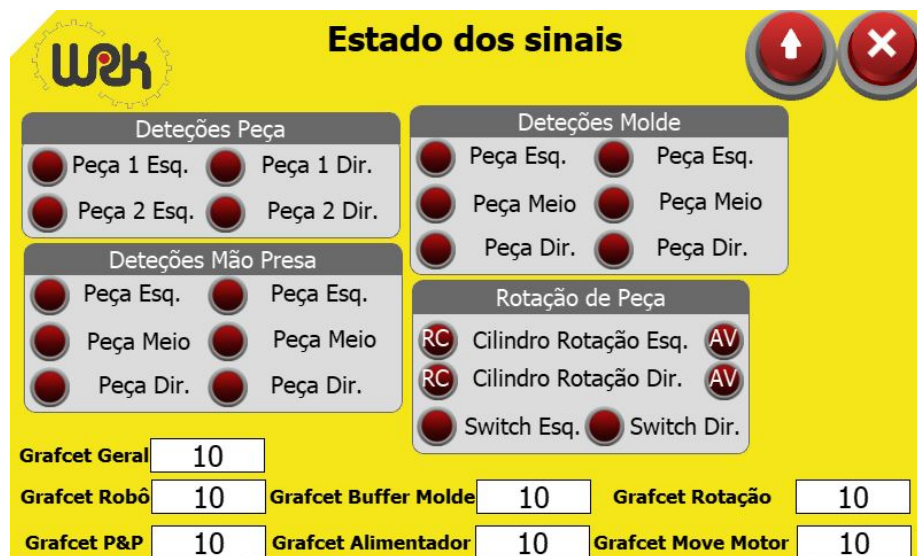


Figura 4.35: Estado de Todos os Sinais - 2

Estas páginas são sobrepostas ao ecrã de automático, pelo que não interrompe o ciclo em funcionamento. Tem incluído o estado dos ciclos referentes ao PLC, sendo estes indicados ao programador em questão. Esta funcionalidade encontra-se na maioria dos ecrãs disponíveis na HMI.

4.4 Segurança

A parte de segurança, como indicado na subsecção 3.3.4, é efetuada pelo PLC de segurança da Schneider XPSMCMCP0802, com recurso ao *software* SoSafe, do fabricante.

Nele são ligados todos os equipamentos que possam influenciar qualquer perigo ou risco de integridade física ao operador. Os equipamentos em questão são as barreiras de segurança, a porta de segurança, os botões de emergência e o COBOT. Na Figura 4.36 encontra-se apresentado um fluxograma representativo deste sistema.

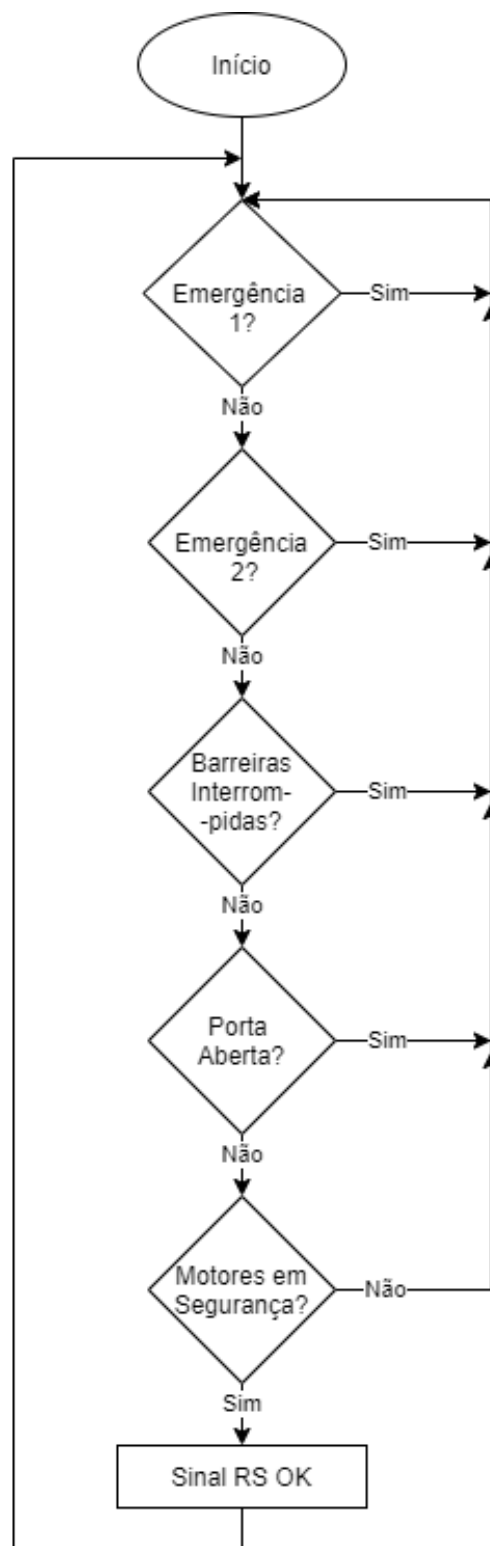


Figura 4.36: Programação PLC de Segurança

Como é possível observar, são verificadas todas as condições necessárias para a segurança do sistema. Caso estas se verifiquem, é então dado o sinal de segurança RS_OK pelo PLC de Segurança.

4.5 Testes e Resultados

Nesta secção serão abordados os testes efetuados ao longo do desenvolvimento do projeto, assim como são mostrados os resultados destes mesmos testes.

Referente ao COBOT, inicialmente foi gasto algum tempo em ensaios de movimentos. Como referido na secção 4.2 foram criadas rotinas de teste, englobando diversos testes, de modo a perceber o comportamento do mesmo consoante os movimentos executados, cujos são:

- **Trajetórias Arredondadas** de forma a perceber a melhor maneira de poupar tempo de ciclo;
- **Configuração da ferramenta**, mais concretamente, a configuração do TCP (*Tool Center Point*) e a carga útil;
- **Testes de colisão** para verificar a veracidade da sua parte colaborativa.

Relativamente à parte da estrutura da máquina, foram feitos testes contínuos, com o objetivo de perceber de que forma esta poderia ser melhorada. O departamento de projeto, em contacto com o cliente, decidiu efetuar alterações à mesma.

A primeira alteração efetuada foi a separação da parte inicial, assinalada a verde na Figura 3.16. Esta separação consiste na redução do tapete principal e adição de um segundo tapete, Figura 4.37, encarregue apenas de transportar as peças até à primeira fase de teste de orientação.

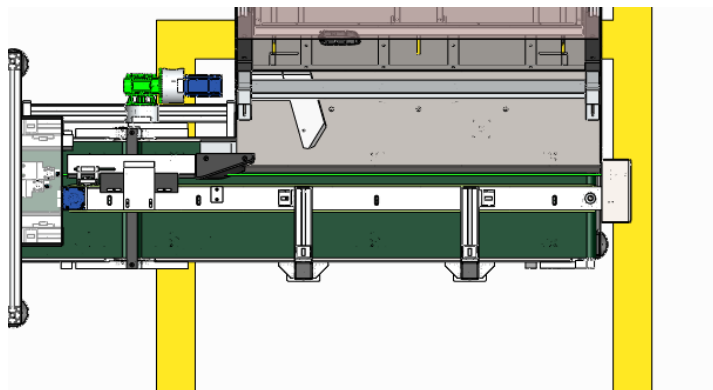


Figura 4.37: Alteração Tapete

Esta alteração deve-se ao facto de atraso no seu carregamento, devido a empacamento das peças dado que o tapete principal funciona com um movimento constante relativamente ao tapete vertical. Com esta alteração foi notória a melhoria.

Foi ainda feita outra alteração, neste caso, ao *Pick and Place*. Durante os testes foi observada que não era possível garantir a orientação vertical das peças a 100%. Dado isto, foi estudada a situação e foi então decidido a adição de uma posição no mesmo, para o exterior do tapete. O objetivo desta adição é a extração das peças mal orientadas para fora do processo. Foi também colocado um *switch* no interior do *Pick and Place*, que é accionado caso a peça se encontre colocada incorretamente, como é possível observar na Figura 4.38.

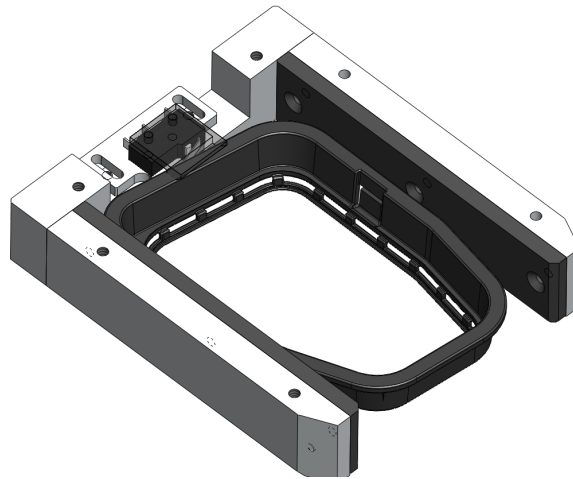


Figura 4.38: *Switch Pick and Place*

Após testes deste novo método foi concluído que o problema se encontrou resolvido, o que aumentou a eficiência do sistema.

Capítulo 5

Conclusão e Desenvolvimentos Futuros

A realização deste projeto foi uma mais valia, tanto a nível pessoal o que permitiu uma nova perspectiva acerca da importância do trabalho de equipa e da comunicação com os clientes, como a nível profissional oferecendo conhecimentos a nível técnico na área da automação e robótica, assim como a níveis de segurança do equipamento e uso de redes industriais.

Relativamente à parte do COBOT, o seu envolvimento neste projeto foi um ponto positivo porque tornou clara a diferença que este implica em trabalhos de transporte de peças. O facto de este ser colaborativo permite ainda a sua reutilização para diferentes projetos, assim como a presença de um operador na sua área de trabalho.

Com a utilização do PLC em conjunto com o COBOT foi um fator fundamental, visto que foi necessário entender a importância de saber distinguir o código que deve ser desenvolvido no PLC e o que deve ser realizado no robô, de forma a que fique o mais simples de interpretar e fácil de alterar, se necessário, no futuro.

A nível da segurança aplicada no projeto desenvolvido, foi possível observar os seus dois extremos, em que por um lado existe um tipo de segurança mais rígido, relativo ao isolamento do operador aos movimentos dos cilindros pneumáticos e dos motores, e por outro lado tem a inclusão de um COBOT que não necessita de ser vedado, o que seria impensável até há algum tempo atrás. Embora este demonstre que ao nível da segurança não foram feitos desenvolvimentos notórios, este permite um maior envolvimento homem/máquina.

No que diz respeito a melhoramentos relativos ao desenvolvimento atual, seria a implementação de um sistema de visão, que iria realizar a verificação de orientação das mesmas, o que tornaria o projeto mais eficiente nesse aspeto. Este poderia ser utilizado no funcionamento do COBOT, em que através de um sistema de visão seria possível ajustar a posição de destino com base na posição

visualizada pelo sistema em questão. Este sistema não foi considerado para o projeto desenvolvido, dado que analisada a relação custo/benefício, este não se justificaria.

Bibliografia

- [1] F. Magueijo, “Dissertação.” <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/10133/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>, Dezembro 2018.
[cited on p. xi, 9]
- [2] C. R. Center, “Robô cartesiano top entry mc2 x-series evo.” <https://www.campetella.com/pt/rob%c3%b4s-cartesianos/mc2-x-series/>.
[cited on p. xi, 9]
- [3] OMRON, “Robôs scara compactos da série ecobra.” <https://automation.omron.com/pt/br/products/family/eCobra>. [cited on p. xi, 10]
- [4] tegruposete7, “Classificação dos robôs.” <https://tegruposete7.wordpress.com/classificacao-dos-robos/>. [cited on p. xi, 11]
- [5] L. A. Riascos, “Classificação dos robôs.” <https://graduacao.ufabc.edu.br/eiar/conteudo/ensino/disciplinas/Robotica/FundamentosRobotica.html>. [cited on p. xi, 12]
- [6] V. B. Eger, “Princípios de mecatronica.” [cited on p. xi, 12]
- [7] D. Industry, “Robô articulado - kr 300 r2500 ultra f - kuka ag.” <https://www.directindustry.com/pt/prod/kuka-ag/product-17587-1272695.html>.
[cited on p. xi, 13]
- [8] K. Matthews, “6 noteworthy developments in mobile robots.” <https://www.therobotreport.com/mobile-robots-6-noteworthy-developments-2019/>, Dezembro 2019.
[cited on p. xi, 14]
- [9] ABB, “Abb launches gofaTM higher payload cobot for collaborative tasks up to 5kg.” [cited on p. xi, 15]
- [10] U. Robots, “Release note software version 5.8.x.x.” <https://www.universal-robots.com/articles/ur/release-notes/release-note-software-version-58xx/>. [cited on p. xi, 18]

- [11] EECO, “Ethernet/ip vs profinet.” <https://eecoonline.com/ethernetip-vs-profinet-protocol-heavyweights/>. [cited on p. xi, 21]
- [12] HMS, “Análise anual do mercado de redes industriais.” <https://revista-automacao.com/news/17595-hms-networks-apresenta-an%C3%A1lise-anual-do-mercado-de-redes-industriais>, Maio 2019. [cited on p. xi, 21]
- [13] “Ajln.” <https://engmecatonico.blogspot.com/2011/05/arquitetura-basica-do-clp.html>. [cited on p. xi, 22]
- [14] U. Robots, “Ur10.” <https://www.universal-robots.com/3d/ur10.html>. [cited on p. xi, 31]
- [15] U. Robots, “Collaborative robot systems built for oem and automation integrators.” <https://www.universal-robots.com/fr/produits/e-series-3pe/>. [cited on p. xi, 33]
- [16] Siemens, “Clp simatic s7-1200.” <https://new.siemens.com/br/pt/produtos/automacao/controladores/s7-1200.html>. [cited on p. xi, 34]
- [17] ESA, “Esa crew scada 2017.” https://www.cospa.ru/upload/iblock/3ea/ESA_CREW_SCADA_2017.pdf, 2017. [cited on p. xi, 36]
- [18] KEYENCE, “Barreira fotoelétrica - keyence.” <https://www.keyence.com.br/landing/lpc/barreira-fotoeletrica.jsp>. [cited on p. xi, 37]
- [19] S. E. Global, “Xpsmcmcp0802.” [cited on p. xi, 38]
- [20] Wiconex, “Controladores básicos simatic s7-1200.” <https://wiconex.com/produtos/controladores-basicos-simatic-s7-1200/>. [cited on p. xi, 39]
- [21] O. Portugal, “Robôs colaborativos.” <https://industrial.omron.pt/pt/products/collaborative-robots>. [cited on p. xv, 16]
- [22] FANUC, “Robôs colaborativos da fanuc.” <https://www.fanuc.eu/pt/pt/rob%C3%B4s/p%C3%A1gina-filtro-rob%C3%B4s/rob%C3%B4s-colaborativos>. [cited on p. xv, 17]
- [23] U. Robots, “Technical details ur models.” https://www.universal-robots.com/media/1808973/oem-control-box_tech-sheet_dec-2019.pdf. [cited on p. xv, 30]
- [24] U. Robots, “Ur10e technical details.” <https://www.universal-robots.com/media/1802458/ur10e-tech-specs-eng.pdf>. [cited on p. xv, 31]

- [25] ISO, “Iso 8373:2012.” https://www.iso.org/obp/ui/?fbclid=IwARoMEpYhvxBkANaXIosuAapiWgrCI02eP2Zy_ZwYdsqe0V9aR4iKpJQz1q4#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en, 2012. [cited on p. 8]
- [26] A. do Nascimento Jéunior, “Repositorio da producao cientifica e intelectual da unicamp: Robotização de uma cadeira de rodas motorizada.” <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/321685>, 2016. [cited on p. 8]
- [27] A. Júnior, “Elementos de robótica.” <http://professor.ufop.br/sites/default/files/cocota/files/elemroboticaintro.pdf>. [cited on p. 8]
- [28] C. B. Silveira, “Os 6 principais tipos de robôs na indústria.” <https://www.citisystems.com.br/tipos-de-robos/>. [cited on p. 9]
- [29] “cobots’, iberdrola.” <https://www.iberdrola.com/inovacao/cobots-robos-colaborativos>. [cited on p. 13]
- [30] I. 15066, “Iso/ts 15066:2016.” <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:ts:15066:ed-1:v1:en>, 2016. [cited on p. 14]
- [31] B. G. DirectIndustry, “Que robô industrial escolher?.” <http://guide.directindustry.com/pt/que-robo-industrial-escolher/>. [cited on p. 14]
- [32] C. Favaro, “Cobots na indústria 4.0: a evolução dos robôs convencionais - mundo do marketing.” <https://www.mundodomarketing.com.br/artigos/clayton-favaro/39140/cobots-na-industria-40-a-evolucao-dos-robos-convencionais.html>, Abril 2021. [cited on p. 14]
- [33] U. Robots, “O que são os cobots?.” <https://www.universal-robots.com/pt/cobots-robots-colaborativos/>. [cited on p. 15]
- [34] M. Elektronik, “Quais são os tipos de redes industriais?.” <http://blog.murrelektronik.com.br/quais-sao-os-tipos-de-redes-industriais/>. [cited on p. 19]
- [35] “Foundation fieldbus osi model versus osi model.” <https://paktechpoint.com/foundation-fieldbus-osi-model-versus-osi-model/>. [cited on p. 19]
- [36] L. Figueiredo, “Sistemas flexíveis de fabrico- redes industriais,” 2017. [cited on p. 19]
- [37] A. César, “Redes industriais: o que são e para quê servem na indústria 4.0.” <https://transformacaodigital.com/mercado/redes-industriais-o-que-sao-e-para-que-servem-na-industria-4-0/>, Maio 2018. [cited on p. 20]

- [38] L. Langnau, “Industrial ethernet takes the lead over field-buses, says study.” <https://www.designworldonline.com/industrial-ethernet-takes-the-lead-over-fieldbuses-says-study/>, Maio 2019. [cited on p. 21]
- [39] J. P. Coelho, “Automação.” <http://www.ipb.pt/~jpcoelho/CET/PLC.pdf>. [cited on p. 22]
- [40] E. Grachten, “10 fatores determinantes para uma escolha bem sucedida do clp.” <https://alfacom.net/2019/03/06/10-fatores-na-escolha-do-clp/>, Março 2018. [cited on p. 23]
- [41] ESA, “Hmi touch sc family.” <https://www.esa-automation.com/en/products/hmi/touch/sc/>. [cited on p. 36]
- [42] Siemens, “Simatic hmi ktp700 basic - technical data.” <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/302298?pdti=td&dl=en&lc=en-OM>. [cited on p. 36]
- [43] OMRON, “Série nb.” https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/pt/v17/v412_nb_series_hmi_datasheet_pt.pdf. [cited on p. 36]
- [44] U. Robots, “Profinet guide.” <https://www.universal-robots.com/articles/ur/interface-communication/profinet-guide/>, Março 2021. [cited on p. 46]