



Desenvolvimento da Componente de Programação de uma Célula de Teste de um Componente Automóvel

CARLOS EMANUEL DA ROCHA SANTOS DE SOUSA COUTO

julho de 2019



Desenvolvimento da Componente de Programação de uma Célula de Teste de um Componente Automóvel

CARLOS EMANUEL DA ROCHA SANTOS DE SOUSA COUTO

Julho de 2019

Desenvolvimento da Componente de Programação de uma Célula de Teste de um Componente Automóvel

Carlos Emanuel da Rocha Santos de Sousa Couto



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Especialização em Automação e Sistemas
2018

Este relatório satisfaz parcialmente os requisitos da unidade curricular:
Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de
Computadores

Candidato: Carlos Emanuel da Rocha Santos de Sousa Couto, Nº 1121186,
1121186@isep.ipp.pt

Orientação científica: Ramiro de Sousa Barbosa, rsb@isep.ipp.pt

Empresa: WRK,LDA

Supervisão: André Filipe Monteiro Aguiar, andre.aguiar@wrk.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Especialização em Automação e Sistemas
2018

Agradecimentos

A realização deste projecto não seria de todo possível sem a ajuda e apoio prestado por um conjunto de pessoas e entidades.

Gostaria de, em primeiro lugar, agradecer à minha namorada Raquel Gonçalves, pela motivação, pela paciência e por tudo o que fez para que fosse possível a conclusão desta minha etapa.

Em segundo lugar, queria agradecer aos meus pais e irmã pela ajuda, carinho e atenção durante toda a minha vida académica.

Em terceiro lugar, ao Engenheiro Ramiro Barbosa por todo o apoio e tempo que despendeu durante todo o desenvolvimento do projecto.

Em quarto lugar, queria agradecer à empresa WRK, LDA , em especial ao Sr. Carlos Lopes pela oportunidade que me concedeu para a realização deste trabalho no seio da empresa.

Em quinto lugar, aos colegas Nuno Mota, Licínio Mota e João Martins, por todas as opiniões e conselhos que me deram durante o desenvolvimento do projecto bem como durante a fase de testes na produção. Não posso deixar também de exprimir a minha gratidão para com o meu amigo Cláudio Sousa por toda amizade demonstrada nesta fase da minha vida.

Em último lugar, agradecer a todos os meus familiares e amigos, em especial ao João Marques, à Sara Gonçalves e ao Luís Nunes pelo carinho e motivação durante toda esta fase académica.

Carlos Couto

Resumo

Se no fim do século XVIII a passagem da produção artesanal para a produção com recurso a máquinas veio revolucionar toda a indústria, atualmente estamos também a vivenciar uma mudança que tem tido um grande impacto neste mesmo setor. De facto, estamos perante um momento de grande crescimento tecnológico que traz consigo inúmeras vantagens quando direcionado para a produção industrial. O aumento da capacidade de produção, por melhoria dos processos e diminuição da probabilidade de erro, e o aumento da produtividade constituem assim aspetos positivos que advêm da automatização dos processos de fabrico.

Sendo uma realidade a necessidade de produzir produtos de qualidade em grandes quantidades e num curto espaço de tempo, as empresas têm apostado cada vez mais na automatização da sua produção. Nesta perspetiva, a empresa WRK, Lda, sediada em Gondomar, Portugal, dedica-se à criação exclusiva de soluções automatizadas à medida das necessidades do cliente. Tendo sido neste contexto que foi desenvolvido o equipamento que deu origem a esta dissertação.

Em colaboração com a equipa de projecto mecânico foi desenvolvida uma célula com a finalidade de automatizar testes que visam a verificação da funcionalidade de uma peça que será constituinte de um automóvel. Sendo de referenciar três etapas essenciais nesse processo, sendo elas: zona de entrada de peças; a zona de testes e a zona de saída. Para que estas etapas ocorram de forma sequencial, foi necessário realizar a programação de um PLC em linguagem *Ladder*, com objectivo de que este funcionasse como cérebro do sistema, sendo responsável pelo controlo de todos os elementos. Para além disso foi também necessário o recurso a uma rede industrial para comunicação com outros sistemas, motores, consola HMI, cilindros pneumáticos e detectores.

O objectivo desta dissertação passa então por explicar detalhadamente como se procedeu à automatização do processo de verificação e testes de uma peça plástica na saída de uma máquina de injeção, abordando a componente eléctrica, a programação e o comando do equipamento.

Palavras-Chave:

Automação, Soluções automatizadas, Testes, PLC, *Ladder*.

Abstract

If in the end of the 18th century the transition from handmade to machine-made production revolutionized the entire industry, we are now experiencing a change that has had a great impact in this sector. We are, indeed, facing a moment of great technological growth that brings with it countless advantages when directed towards industrial production. The increase in production capacity, by improving processes and reducing the probability of error, and increasing productivity are positive aspects that come from the automation of manufacturing processes.

Since it is necessary to produce quality products in large quantities and in a short space of time, companies have been trusting and engaging more and more in the automation of their production. In this perspective, the company WRK, Lda, located in Gondomar, Portugal, is dedicated to the exclusive creation of automated solutions based on the client's needs. It was in this context that the equipment described in this dissertation was developed.

In collaboration with the mechanical design team, a cell was developed with the purpose of automating tests aimed at verifying the functionality of a part that will be a component of a car. There are three essential steps in this process, which are: zone of entry of parts; the test zone and the exit zone. In order for these steps to occur sequentially, it was necessary to program a PLC in Ladder language, to work as the brain of the system, being responsible for the control of all the elements. In addition, it was also necessary to use an industrial network for communication with other systems, motors, HMI console, pneumatic cylinders and detectors.

The purpose of this dissertation is to explain in details how the process of verification and test of a plastic part was carried out at the exit of an injection machine, addressing the electrical component, programming and control of the equipment.

Keywords:

Automation, Automated solutions, Tests, PLC, Ladder.

Conteúdo

Agradecimentos	iii
Conteúdo	ix
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xix
Acrónimos	xxi
1 Introdução	1
1.1 Contextualização	2
1.2 WRK, Lda	3
1.2.1 Organograma da empresa	6
1.3 Objectivos	8
1.4 Calendarização	9
1.5 Organização da dissertação	11
2 Estudo Contextual da Automação	13
2.1 Evolução histórica da Automação	13
2.2 Arquitectura de um sistema automatizado	15
2.2.1 Controlo lógico Programável (PLC)	16
2.2.2 Linguagem de programação	24
2.2.3 Sistemas SCADA	28
2.2.4 Redes Industriais	30
2.2.5 Motores	32
2.2.6 Testes de Continuidade e Isolamento	35
2.2.7 Visão artificial	36
3 Solução desenvolvida	43
3.1 Processo requisitado	43
3.2 Estrutura do sistema desenvolvido	46
3.2.1 Zona de Entrada	48

3.2.2 Zona de testes	51
3.2.3 Zona de saída	53
3.3 Teste eléctrico	58
3.4 Teste Visão	61
4 Arquitectura do sistema desenvolvido	67
4.1 PLC	68
4.2 Prato rotativo e motores do transportador	70
4.3 Sistema para o teste eléctrico	72
4.4 Motores do sistema de visão	79
4.5 Dispositivos do sistema de visão	82
4.6 Consola HMI	87
4.7 Robôs	88
4.8 Sistema de segurança	90
5 Configurações do sistema desenvolvido	93
5.1 Teste eléctrico	93
5.2 Teste de verificação e medição	100
6 Implementação do sistema desenvolvido	107
6.1 Projecto da rede industrial	107
6.2 Programação do PLC	110
6.2.1 Configuração e mapeamento de entradas e saídas (I/O)	110
6.2.2 Lógica de Programação	112
6.2.3 Procedimentos de segurança	113
6.2.4 Modos de funcionamento	114
6.2.5 Lógica de controlo de peças no prato rotativo	117
6.2.6 Lógica do robô de entrada e do robô de saída	118
6.2.7 Lógica do teste eléctrico	119
6.2.8 Lógica do teste de visão tridimensional	120
6.2.9 Lógica do teste de verificação e medição	121
6.3 Consola HMI	122
7 Conclusões	125
7.1 Solução implementada	125
7.2 Melhorias futuras	126
Bibliografia	129
A Esquemas eléctricos	133
B Comunicações	137
C I/O PLC	141

D Base principal do sistema	147
E Robôs	151
F Teste Eléctrico	159
G Teste Visão 3D	163
H Teste verificação e medição	167
I Transportador	171

Lista de Figuras

1.1	Logótipo da empresa WRK, Lda	3
1.2	Equipamento que testa a mola constituinte de um volante da marca Renault	4
1.3	Equipamento de inserção de <i>clips</i> e espuma numa peça de plástico constituinte de um veículo automóvel	4
1.4	Equipamento de validação de peças através de teste de inspecção visual com recurso a câmaras	5
1.5	Equipamento destinado ao puncionar e mandrilar de diferentes referências de tubos	5
1.6	Equipamento de montagem e verificação de um apoio de braço para um automóvel	6
1.7	Organograma da empresa WRK, Lda	7
2.1	Unidades industriais por volta da revolução industrial	14
2.2	Representação simbólica da quarta revolução industrial	15
2.3	Arquitectura de um sistema automatizado	16
2.4	Diagrama de constituintes de um PLC	17
2.5	Logótipo Omron	18
2.6	Software Sysmac Studio	19
2.7	Software CXOne	20
2.8	Logótipo Siemens	20
2.9	Software Tia Portal	21
2.10	Configuração de hardware no Software Tia Portal	21
2.11	Software Simatic Step 7	22
2.12	Configuração de hardware através do software Simatic	23
2.13	Software Speed 7 Ethercat Manager	24
2.14	Lista de Instruções	25
2.15	Structured Text	26
2.16	Function Block Diagram	27
2.17	Linguagem Ladder	27
2.18	Software WinCC Flexible	29
2.19	Software Esa Crew	29

2.20	<i>Software Beijer iX Developer</i>	30
2.21	Representação de uma rede industrial [1]	31
2.22	Constituição de um motor de passo [2]	34
2.23	<i>Insulation tester 5520, da marca Hioki</i>	36
2.24	Multímetro digital da marca Fluke	36
2.25	Equipamentos CV-X	37
2.26	<i>Software CV-X Series Simulation</i>	38
2.27	Exemplo da manipulação por <i>software</i>	38
2.28	<i>Software IV-Navigator</i>	39
2.29	<i>Software Vision Manager</i>	40
2.30	<i>Software E2D200</i>	40
3.1	Representação de um exemplo da peça a ser testada no equipamento	44
3.2	Representação de um exemplo da peça a ser testada no equipamento, insertos eléctricos e pontos plásticos	44
3.3	<i>Layout</i> inicial da célula de produção da peça a ser testada	45
3.4	Estrutura da solução desenvolvida para o processo requisitado	46
3.5	Vista principal da estrutura da solução desenvolvida para o processo requisitado	47
3.6	Estrutura da solução desenvolvida: zonas de funcionamento	48
3.7	Estrutura da solução desenvolvida: descarregamento de peças pelo robô Kuka	49
3.8	Posição da peça na zona de entrada (<i>buffer</i>)	49
3.9	Estrutura da solução desenvolvida: transporte das peças do <i>buffer</i> de entrada para zona de teste	50
3.10	Orientações da peça durante o sistema	51
3.11	Estrutura da solução desenvolvida: uma das oito posições do prato rotativo	51
3.12	Estrutura da solução desenvolvida: zona de testes	52
3.13	Estrutura da solução desenvolvida: postos de testes	53
3.14	Estrutura da solução desenvolvida: transporte de caixa paletizadas de peças funcionais	54
3.15	Estrutura da solução desenvolvida: zona de saída de peças funcionais	55
3.16	Estrutura da solução desenvolvida: zona de saída das peças não funcionais	56
3.17	Estrutura da solução desenvolvida: botão de pedido de ciclo de controlo de peças	57
3.18	Estrutura da solução desenvolvida: tapete do ciclo de controlo de peças	58
3.19	Localização no sistema do teste eléctrico	58
3.20	Insertos eléctricos da peça	59
3.21	Estrutura da solução desenvolvida: teste eléctrico	60
3.22	Vista de perfil dos pinos a serem submetidos ao teste eléctrico	61

3.23 Movimento das duas câmaras 3D	62
3.24 Estrutura de visão 3D	62
3.25 Divisão por zonas da peça a ser testada na visão 3D	63
3.26 Exemplo de cotas de medição de pontos da peça	63
3.27 Teste da furação da peça	64
3.28 Teste da medição da peça	65
4.1 Representação da arquitectura do sistema	68
4.2 Representação do PLC CJ2M da Omron	68
4.3 Representação da configuração de <i>hardware</i> do PLC	70
4.4 Representação do módulo CJ1W-CIF01, RS-232 Omron	70
4.5 Representação do prato rotativo Weiss	71
4.6 Representação do motor SEW Eurodrive	71
4.7 Representação do variador de frequência Bonfiglioli S2U Standart	72
4.8 Representação do modelo ST5520 da marca Hioki	72
4.9 Características do modelo ST5520 Hioki	73
4.10 Representação do pino PTR 1021 [3]	73
4.11 Representação da ficha Harting conectada a uma caixa de terminais em poliéster	74
4.12 Representação base da ficha Harting	75
4.13 Representação do conector presente na ficha Harting	75
4.14 Representação da carcaça e da caixa exterior da ficha Harting	76
4.15 Representação do Meder electronic HM24-1A83-02 A4/8	76
4.16 Representação do <i>software</i> Saturn PCB Design: determinação da largura das pistas	77
4.17 Representação da ficha 1792245 da Phoenix Contact	78
4.18 Foto real do lado superior da placa de circuito impresso desenvolvida	78
4.19 Foto real do sistema para o teste eléctrico	79
4.20 Representação do motor Sanyo Drive, modelo PB604FCK30-M e do <i>drive</i> PB4A002R301	80
4.21 Representação do sistema de controlo em malha fechada do <i>drive</i> PB4A002R301 da Sanyo Drive	81
4.22 Exemplo de um programa criado no SANMOTION Model No. PB <i>Setup software</i>	81
4.23 Sistema Keyence LJ-V7060	82
4.24 Controlador principal da marca Keyence, modelo CV-X480F	82
4.25 <i>Encoder relay unit</i> CA-EN100U da marca Keyence	83
4.26 Unidade de controlo CA-E100LJ da marca Keyence	83
4.27 Estrutura real do sistema de visão tridimensional	84
4.28 Sistema IV-500MA da marca Keyence e sua distância de funciona- mento ideal	84
4.29 Sistema IG-010 da marca Keyence	85

4.30 Ilustração do funcionamento dos amplificadores laser do sistema IG-010 da marca Keyence	85
4.31 Sistema IG-1000 da marca Keyence	86
4.32 Representação do módulo DL-EPI	86
4.33 Estrutura real do sistema de visão para verificação e medição	87
4.34 Consola <i>ESAWare</i> , modelo EW107AA	88
4.35 Robô Scara LS6 da marca Epson	89
4.36 Robô Scara G6 da marca Epson	90
4.37 Barreiras de segurança da marca Omron, modelo F3SG-4RE0640P14	91
4.38 Fechos de segurança da marca Omron, modelo D4SL-N4NDA-D4	91
4.39 Botoneira de emergência da marca Schmersal	92
4.40 Representação de ligações de segurança ao relé de segurança	92
5.1 Programas criados para o teste eléctrico no aparelho Hioki ST5520	94
5.2 Requisitos do cliente para o teste eléctrico discriminados no caderno de encargos	94
5.3 Configuração do teste de isolamento no aparelho Hioki ST5520	95
5.4 Representação do resultado de um teste de isolamento	95
5.5 Configurações gerais do teste de isolamento e do teste de continuidade	96
5.6 Configuração do meio de comunicação RS-232C no Hioki ST5520	97
5.7 Configuração do teste de continuidade no aparelho Hioki ST5520	97
5.8 Representação do resultado de um teste de continuidade	98
5.9 Exemplo da recepção da trama enviada após realização de um teste de continuidade	99
5.10 Configuração da comunicação RS-232 no PLC	100
5.11 Imagem obtida pela câmara IV-500MA utilizada no teste de verificação	101
5.12 Imagem mestre para o teste de verificação	101
5.13 Representação da área de ajuste de posição e das sete ferramentas para detecção de presença de furos	102
5.14 Teste a uma peça com todos os sete furos presentes, peça funcional	103
5.15 Teste a uma peça em que os furos centrais estão ausentes, peça não funcional	103
5.16 Requisitos do cliente para a altura do conector da peça presentes no caderno de encargos	104
5.17 Modos de leitura possíveis por parte dos amplificadores IG-010, <i>Top</i> e <i>Bottom</i>	105
5.18 Resultado de um teste de medição a uma peça com altura inferior ao valor pretendido	105
5.19 Resultado de um teste de medição a uma peça com altura superior ao valor pretendido	106
5.20 Resultado de um teste de medição a uma peça com altura compreendida no intervalo de tolerância estabelecido	106

6.1	Representação da rede industrial <i>Ethernet/IP</i> no <i>software Network Configurator</i>	108
6.2	Exemplo da criação de uma <i>Network Variable</i> no <i>CX-programmer</i>	109
6.3	<i>Network Variables</i> criadas para os dispositivos da rede industrial que fazem parte deste projecto	110
6.4	Exemplo da variação do valor da variável <i>Grafcet Geral</i> de acordo com o modo de funcionamento seleccionado	111
6.5	Variáveis criadas para os diferentes ciclos do sistema	111
6.6	Secções criadas com recurso ao <i>software CX-programmer</i>	112
6.7	Lógica de controlo de peças no prato rotativo	117
6.8	Lógica de atribuição de cada pino de duas peças a serem testadas	119
6.9	Variáveis presentes no separador <i>tag</i> do <i>software Esa Crew</i>	122
6.10	Definição de uma variável de uma <i>input</i> do PLC	123
6.11	Exemplo de ecrãs criados na consola HMI	124
6.12	Ecrã de <i>password</i>	124
A.1	Representação do esquema de ligações PLC - Prato rotativo [4]	134
A.2	Representação do esquema eléctrico da placa de circuito impresso	135
B.1	Representação da tramas enviada pelo aparelho Hioki após teste de continuidade [5]	138
B.2	Representação dos canais do modelo ST5520 Hioki [5]	138
B.3	Representação do protocolo de comunicação do controlador sistema de visão com PLC [6]	139
D.1	Fluxograma principal do sistema	148
D.2	Fluxograma modo automático	149
E.1	Fluxograma da lógica de controlo robô entrada	152
E.2	Fluxograma da lógica de controlo robô saída	155
F.1	Fluxograma teste eléctrico	160
F.2	Fluxograma teste eléctrico activação dos relés PCB	161
G.1	Fluxograma teste visão 3D	164
G.2	Fluxograma teste visão 3D aquisição de dados	165
H.1	Fluxograma teste verificação e medição	168
I.1	Fluxograma da lógica do transportador	172

Lista de Tabelas

1.1	Planeamento do projecto	10
4.1	Características do PLC CJ2M	69
4.2	Características do motor da marca Sanyo Drive, PB604FCK30-M	79
4.3	Características do <i>drive</i> PB4A002R301	80
6.1	Endereços IP de cada dispositivo integrado na rede industrial	108
6.2	Tamanho, em <i>bytes</i> , dos dados partilhados por cada dispositivo	109
C.1	Lista Entradas PLC	142
C.2	Lista Saídas PLC	144
D.1	Lista de variáveis de rede usadas para comunicação com o PLC <i>master</i> da célula de produção	150
E.1	Lista de variáveis de rede usadas para comunicação com robô de entrada	153
E.2	Lista de variáveis de rede usadas para comunicação com robô de saída	156
G.1	Lista de variáveis de rede usadas para comunicação com controlador sistema de visão 3D	166
H.1	Lista de variáveis de rede usadas para comunicação com o controlador do teste de medição	169
H.2	Lista de variáveis de rede usadas para comunicação com o controlador do teste de verificação	170

Acrónimos

CAD *Computer Aided Design*

CAM *Computer Aided Manufacturing*

CIM *Computer-integrated manufacturing*

CIP *Common Industrial Protocol*

CPU *Central Processing Unit*

HMI *Human Machine Interface*

I/O *Input/Output*

ISEP *Instituto Superior de Engenharia do Porto*

LED *Light Emitting Diode*

PID *Proporcional-Integral-Derivativo*

PCB *Printed Circuit Board*

PLC *Programmable Logic Controllers*

SCADA *Supervisory Control and Data Acquisition*

USB *Universal Serial Bus*

Capítulo 1

Introdução

Sendo o crescimento tecnológico uma realidade e trazendo a sua aplicação ao contexto da produção grandes vantagens, quer em termos de capacidade de produção quer em termos de produtividade, fica clara a pertinência da aposta na automatização por parte das empresas de todo o mundo.

Foi identificando esta necessidade no mercado que a empresa WRK, Lda., foi criada. O seu intuito é dedicar-se ao desenvolvimento de soluções automatizadas de acordo com as necessidades do cliente. Tendo sido neste contexto que foi desenvolvido o equipamento que deu origem a esta dissertação.

Com esta dissertação pretende-se assim explicar todo o trabalho desenvolvido na WRK, Lda, ao nível da componente de automação de um equipamento que visa automatizar testes a uma peça plástica de um automóvel.

Este foi um trabalho desenvolvido no âmbito da unidade curricular de Tese/Dissertação, constituinte do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores - área de especialização em Automação e Sistemas, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

Esta unidade curricular tem como objectivo a consolidação do processo de aprendizagem através da aplicação de conhecimentos, adquiridos ao longo do percurso académico, no desenvolvimento de um projecto científico. O intuito é dotar o estudante de autonomia em contexto real assim como desenvolver o seu espírito crítico. Neste capítulo encontra-se uma breve contextualização do âmbito em que surgiu o equipamento desenvolvido, nomeadamente, a necessidade levantada pelo o cliente para a sua criação e a empresa em que foi criado (WRK, Lda). Para além disso, são apresentados os objectivos que se pretendiam alcançar ao longo do projecto, sendo também abordada a calendarização das diferentes etapas e actividades desenvolvidas no decorrer do mesmo. Por fim, é exposta uma breve descrição da estrutura da presente dissertação.

1.1 Contextualização

O crescimento de uma tecnologia flexível, possibilitando a aplicação de sistemas automáticos em várias soluções, trouxe consigo grandes benefícios. Contudo, é de referir que, embora já existam soluções automatizadas para uma grande variedade de exigências, as valências da automatização são ilimitadas. Por este motivo, é possível encontrar no mercado diferentes ideias e sistemas para a mesma solução.

A grande panóplia de soluções encontradas advém sobretudo das crescentes vantagens que a automatização tem trazido para as empresas, o que, por sua vez, tem levado a que outras empresas se dediquem exclusivamente ao desenvolvimento de equipamentos que permitam essa automatização.

Um sistema automático pode ser descrito como um sistema dinâmico, capaz de controlar e prover automaticamente qualquer tipo de produção, tendo por base uma sequencialidade de processos anteriormente estudados e programados. Assim sendo, automatizar os processos permite o alcance de uma maior capacidade de produção, ao melhorar os processos e diminuir a probabilidade de erro. De facto, quando se tratam de processos executados manualmente, com uma directa envolvimento de um ser humano, a probabilidade de haver erros é maior do que quando a mesma função é executada através de um *software*. Isto ocorre porque o *software* é desenvolvido para realizar determinadas funções com base em padrões que são sempre seguidos, colmatando assim as limitações humanas em termos de precisão, rapidez e uniformidade. Outra das grandes vantagens da automatização na área da produção é o aumento da produtividade, com a produção de produtos de qualidade em grandes quantidades e num curto espaço de tempo. Tal facto aumenta a probabilidade da empresa alcançar as suas metas e obter sucesso. Ainda podemos acrescentar que as soluções automatizadas libertam o ser humano de tarefas pesadas, desagradáveis e perigosas, sendo que relativamente a este último aspeto permitem também a redução do número de acidentes.

Mas como em tudo, não existem apenas vantagens. Na automatização existem também aspetos negativos que têm levantado algum receio das empresas para automatizar os seus processos. Uma desvantagem muitas vezes referenciada é o valor, isto é, o investimento que é necessário para automatizar e, posteriormente, as despesas de manutenção. Estas últimas envolvem custos relativos: à dotação dos operadores de formação para que estes procedam a uma manutenção simples do equipamento; ao deslocamento da empresa que criou o equipamento em caso de avaria e à aquisição de novas peças em caso de necessidade. Outra das grandes desvantagens da automatização, é o aumento do desemprego, dado que muitas pessoas perdem o emprego pois as suas funções passam a ser executadas por máquinas. Embora tal possa ser visto como factor positivo para o empregador que reduz os custos em termos de mão-de-obra, há muitos que referenciam o mesmo como uma desvantagem.

Apesar de tudo isto, a realidade é que as vantagens da automatização para as empresas acabam por superar as desvantagens.

Foi assim com base nesta premissa que surgiu a proposta de um cliente à WRK, Lda., para a criação de uma célula de testes de um componente constituinte de um automóvel de forma automatizada.

1.2 WRK, Lda

A empresa WRK, Lda, fundada no primeiro dia de Março de 2011 e sediada em Gondomar, Portugal, dedica-se à concepção e construção de equipamentos exclusivos para montagem e testes de qualidade de componentes em subsectores da construção automóvel. Tendo como objectivo a melhoria dos processos de fabrico bem como o aumento da qualidade final dos produtos, a missão da empresa passa por: "Prestar serviços destinados a atender as necessidades dos clientes, em Portugal e no estrangeiro, com qualidade, confiabilidade e custos adequados aos seus negócios".

Na Figura [1.1](#) é ilustrado o logótipo da empresa.



Figura 1.1: Logótipo da empresa WRK, Lda

É ainda de realçar que é uma empresa certificada pela norma NP EN ISO 9001:2015, integrando as mais recentes tecnologias ao longo das várias fases de desenvolvimento de um equipamento, nomeadamente, ao nível do projecto, da maquinação, da montagem, da automação, da instalação e da manutenção.

Os serviços que são disponibilizados, tratando-se de uma empresa que desenvolve actividade no ramo da automação industrial, são:

- Maquinação automática - comando numérico computadorizado (CNC);
- Maquinação convencional;
- Construções mecânicas;
- Mecatrónica;
- Automação Industrial;

- Medição tridimensional.

Esta é assim uma empresa que implementa soluções automatizadas com objectivos diversos na indústria automóvel, sendo exemplo de equipamentos por si desenvolvidos os seguintes:

- Equipamento de teste de uma mola constituinte de um volante da marca Renault, representado na Figura 1.2. Avalia de forma individual a força, flexibilidade e o circuito eléctrico.

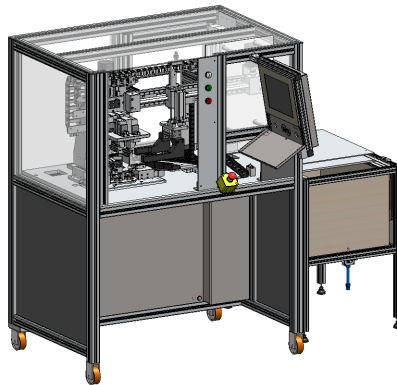


Figura 1.2: Equipamento que testa a mola constituinte de um volante da marca Renault

- Célula robotizada destinada à inserção de *clips* e espumas numa peça plástica constituinte de um veículo automóvel, representada na Figura 1.3. Os componentes são abastecidos em depósitos da máquina que os detecta e assegura a sua inserção em posicionamentos específicos.

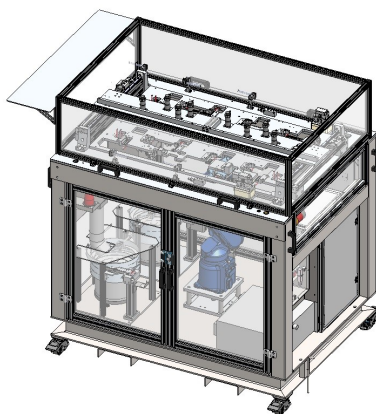


Figura 1.3: Equipamento de inserção de *clips* e espuma numa peça de plástico constituinte de um veículo automóvel

- Equipamento que se destina à verificação de peças saídas de uma máquina de injeção, representado na Figura 1.4. Esta análise é efectuada, em simultâneo, por duas câmaras de inspecção visual, que indicam se as peças estão em conformidade com o desejado.

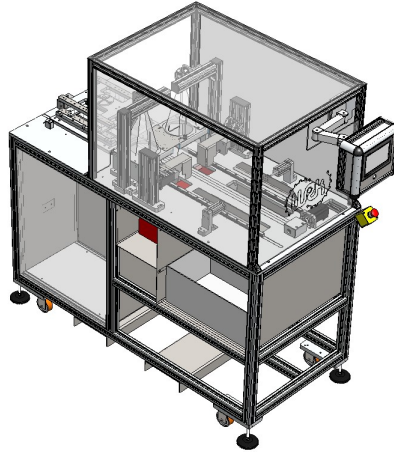


Figura 1.4: Equipamento de validação de peças através de teste de inspecção visual com recurso a câmaras

- Equipamento destinado a puncionar e mandrilar de diferentes referências de tubos e cravação das respectivas válvulas, representado na Figura 1.5. O equipamento assegura ainda a inserção da anilha de soldadura.

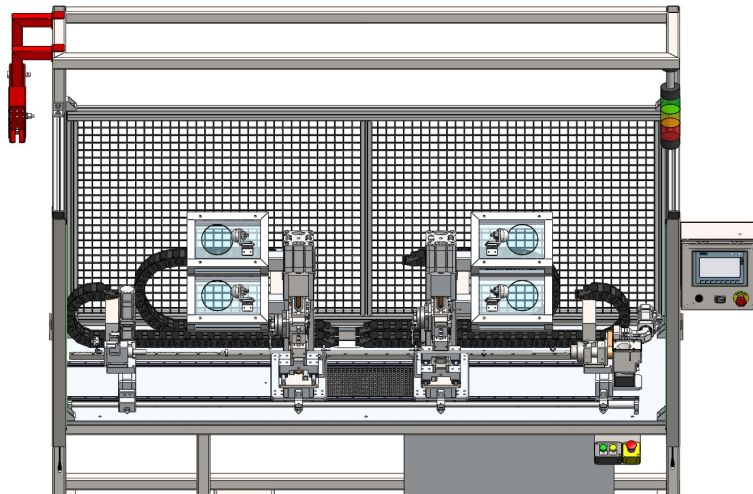


Figura 1.5: Equipamento destinado ao puncionar e mandrilar de diferentes referências de tubos

- Equipamento destinado à montagem e verificação de um apoio de braço para um automóvel, representado na Figura [1.6](#).

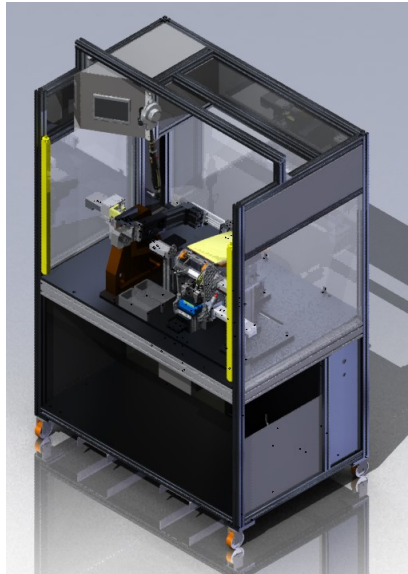


Figura 1.6: Equipamento de montagem e verificação de um apoio de braço para um automóvel

Face à grande variedade de equipamentos produzidos, é ainda de referir que a empresa é constituída por uma equipa altamente qualificada e multidisciplinar, com conhecimentos em engenharia mecânica mas também com um conhecimento avançado em engenharia electrotécnica, em áreas como: Automação Industrial e Robótica, Redes Locais e Industriais, Visão, Electrónica, Instrumentação, Instalações Eléctricas e Máquinas Eléctricas.

1.2.1 Organograma da empresa

A empresa encontra-se organizada segundo um organograma próprio, representado na Figura [1.7](#), que permite perceber melhor todo o processo desenvolvido desde a proposta feita pelo cliente até à expedição do equipamento requerido.

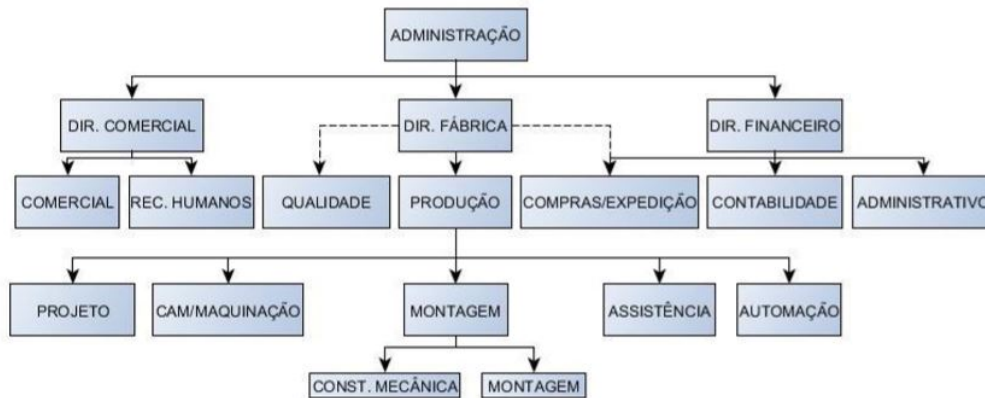


Figura 1.7: Organograma da empresa WRK, Lda

Assim sendo, uma proposta que seja apresentada por um cliente, é primeiramente analisada pelo director comercial que deve reportar a mesma à administração. Posteriormente são negociados preços e prazos com o cliente. Assim que a proposta for aprovada quer pela empresa quer pelo cliente, dá-se início ao processo de produção. A este nível é de realçar o importante papel do director de fábrica que deve coordenar todos os elementos pertencentes aos diferentes departamentos envolvidos nessa produção, sendo eles:

- **Departamento de Projecto:** Responsável pela recepção e análise da ordem de produção e pela realização do projecto, nomeadamente, do desenho do equipamento e das peças a fabricar, com recurso ao *software* CAD. Esse projecto só é aprovado após análise do cliente, sendo que só após esta é possível avançar no processo de produção. É de referir que os componentes que não são fabricados pela empresa devem ser requisitados ao departamento de compras.
- **Departamento de Maquinação:** Responsável pela recepção dos desenhos realizados pelo departamento de projecto, os quais devem ser analisados para que, posteriormente, se proceda à produção das peças, utilizando *software* CAM. É também da responsabilidade deste departamento realizar a maquinação das peças.
- **Departamento de Montagem:** Responsável pela recepção do material produzido pelo departamento de maquinação e do material adquirido pelo departamento de compras, pela análise do desenho do equipamento e, por fim, pela montagem do mesmo.

- **Departamento de Automação:** Responsável pela colocação dos componentes de automação e electricidade, de acordo com o desenho do equipamento. É ainda da responsabilidade deste departamento a programação dos elementos de controlo destinados ao comando do equipamento. Por fim, deve ainda realizar testes para assegurar o adequado funcionamento do equipamento, após a completa montagem do mesmo e proceder à realização do manual de instruções.

Após tudo isto, o cliente dirige-se à empresa para aprovação do equipamento, podendo sugerir alterações, caso o faça, o equipamento só é expedido após se proceder às respectivas alterações e as mesmas serem aprovadas. Todo este processo de produção é idêntico para todos os equipamentos desenvolvidos.

1.3 Objectivos

O objectivo principal do projecto consiste na automatização de testes a uma peça plástica de um automóvel, de forma a verificar a sua completa funcionalidade para que seja inserida num veículo.

Tendo por base este objectivo principal, é essencial o estabelecimento de um conjunto de acções para o seu cumprimento, sendo elas:

- Proceder à realização de um estudo do estado da arte para perceber os equipamentos já existentes dentro da mesma área ou em áreas semelhantes;
- Estudar detalhadamente os equipamentos/linhas industriais destinadas a equipamentos de teste já existentes, assim como os componentes constituintes desses equipamentos/linhas industriais;
- Analisar as opções de actuação existentes;
- Definir as estratégias a utilizar;
- Fazer o planeamento do projecto;
- Acompanhar o desenvolvimento do projecto;
- Testar o *hardware* seleccionado para integração no sistema;
- Desenvolver o *software* destinado ao sistema;
- Realizar a interligação do *hardware* e *software* desenvolvido;
- Realizar a esquematização eléctrica recorrendo a uma ferramenta computacional;

- Testar o equipamento e proceder ao seu melhoramento de acordo com as necessidades e com os requisitos do cliente;
- Realizar o manual de instruções do equipamento;
- Apoiar na instalação do equipamento na fábrica do cliente, assim como na formação dos operadores e no arranque da produção;
- Prestar apoio técnico via acesso remoto, por telefone ou por correio electrónico, sempre que necessário;
- Garantir a manutenção do equipamento, elaborando relatórios das intervenções efectuadas.

1.4 Calendarização

Num projecto de Engenharia todas as etapas da evolução do projecto devem estar bem definidas para que haja sucesso na sua conclusão. Concluindo uma etapa, dá-se início a outra, até ser atingido o objectivo principal. É também de extrema importância planear a execução de cada uma dessas etapas para que o prazo de desenvolvimento do equipamento seja cumprido. Desta forma, na Tabela [1.1](#) encontra-se a calendarização de todo o projecto.

1.5 Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em sete capítulos.

O primeiro capítulo é um capítulo introdutório onde é abordado o contexto em que surgiu a proposta para o desenvolvimento do equipamento em questão, assim como os objectivos e a calendarização de todo o projecto.

No segundo capítulo, é documentado o que existe actualmente no campo em estudo, sendo este fundamental para explicar os acréscimos desta dissertação ao estado de conhecimento actual. Para além disso, este estudo detalhado dos equipamentos já existentes no mercado com a mesma finalidade do que se pretende desenvolver, revelou-se importante no levantamento dos habituais problemas desses mesmos equipamentos.

No terceiro capítulo, é apresentada a solução encontrada pela empresa (WRK, Lda) de modo a dar resposta às necessidades descritas pelo cliente.

No capítulo quatro, é abordada detalhadamente a arquitectura do sistema desenvolvido.

Seguidamente, no quinto capítulo, são descritas todas as configurações realizadas ao nível dos dispositivos utilizados nos testes que constituem o sistema desenvolvido.

No sexto capítulo é abordada a implementação do sistema.

Por último, no sétimo capítulo são apresentadas as conclusões do projecto realizado.

A dissertação termina com os Anexos que vão sendo referenciados ao longo da mesma.

Capítulo 2

Estudo Contextual da Automação

Neste capítulo é realizada uma abordagem ao mundo da automação fazendo-se uma referência a factores históricos e técnicos necessários para uma melhor compreensão da temática.

2.1 Evolução histórica da Automação

A Automação consiste "numa técnica de que resulta a execução automática de tarefas administrativas, científicas ou industriais" [7], ou seja, é um processo que permite que tarefas sejam executadas por máquinas com controlo automático, em que quase não existe intervenção humana.

Desde o seu surgimento, em finais do século XVIII, aquando da primeira Revolução Industrial, que a automação tem vindo a evoluir, tornando-se numa ferramenta valiosa para todas as empresas, sobretudo, as que desempenham funções no sector industrial. Tal não se restringe ao facto de permitir ao homem evitar a execução de tarefas exaustivas, monótonas e perigosas, advém também dos benefícios que a automação traz em termos de qualidade e produtividade [8].

Por volta de 1870, outra descoberta veio impulsionar o sector industrial, a energia eléctrica. Os accionamentos passaram assim a ser eléctricos surgindo as soluções electromecânicas para a automatização dos processos. A melhoria da dinâmica destas soluções foi ainda conseguida pela aplicação da electrónica. Esta tinha já surgido por volta dos anos 60 e quando utilizada ao nível da automação permitiu aumentar as funcionalidades dos equipamentos e torná-los mais compactos. Estávamos perante a segunda Revolução Industrial, na imagem 2.1 é possível observar as unidades industriais nessa era [9].



Figura 2.1: Unidades industriais por volta da revolução industrial

Já no fim do século XX, com aquela que foi considerada a terceira revolução industrial (Revolução Digital) verificou-se uma grande expansão ao nível da electrónica, com o surgimento da nanotecnologia e consequentemente do microprocessador. Para além disso, os sistemas de integração do projecto à manufactura (CAD/CAM), bem como a Figura do PLC – Controlador Lógico Programável, ganharam espaço, surgindo com tudo isto soluções automatizadas programáveis e, mais tarde, dependentes de comunicações. Tal trouxe efectivamente grandes vantagens ao nível da flexibilidade dos equipamentos industriais, ao permitir que o mesmo equipamento seja programado para diferentes operações [10]. Com isto, ficou ultrapassado um grande entrave da automação industrial que era a rigidez dos sistemas de produção.

Face a tudo isto, podemos concluir que a automação tal como a conhecemos nos dias de hoje, surgiu da fusão de diferentes áreas técnico-científicas, tratando-se de uma área multidisciplinar que implica conhecimento alargado e diversificado a diversos níveis, incluindo a nível tecnológico. De facto, quando aplicada à indústria, o desenvolvimento de uma solução automatizada implica que a utilização de várias tecnologias ocorra de forma integrada, funcionando o sistema de forma síncrona [11].

Após a primeira revolução industrial, associada à mecanização da produção; a segunda revolução industrial, associada à invenção da electricidade e a terceira revolução industrial, associada à automação industrial com recurso a computadores e Internet, existe a percepção actual de que estamos a vivenciar um período de estagnação. Contudo, o que se tem verificado é um crescimento contínuo e permanente, com aposta na melhoria.

Face às exigências actuais em termos de segurança e fiabilidade na área da automação, o surgimento de novos sistemas implica um estudo cuidadoso e detal-

hado e, por isso, demorado. No entanto, é possível referenciar algumas evoluções que ocorreram mais recentemente na área da automação, por exemplo, surgiram novos protocolos de comunicação; a electrónica de potência passou a ser utilizada de forma generalizada; a WEB foi aplicada a componentes dos sistemas, permitindo o acesso remoto aos mesmos; surgiram sensores mais pequenos e potentes; a interface homem-máquina tornou-se mais completa e mais facilmente manuseável, entre outras [11].

Já em 2011, deu-se início àquilo que muitos designam por Indústria 4.0 ou quarta revolução industrial, representada simbolicamente na Figura 2.2. Esta é assim marcada pela digitalização de processos e, conseqüentemente, pelo surgimento da ideia e execução de "fábricas inteligentes" [12]. O termo "fábrica inteligente" é utilizado para descrever "sistemas que têm capacidade para autodiagnóstico, autoconfiguração e auto-otimização e que possibilita dedicar as actividades mais nobres e complexas às pessoas" [13]. Assim sendo, espera-se que esta transformação a nível industrial traga futuramente grandes vantagens em termos de produtividade e também de competitividade, alcançando-se patamares nunca vistos até então.



Figura 2.2: Representação simbólica da quarta revolução industrial

2.2 Arquitectura de um sistema automatizado

Um sistema automatizado é composto por um conjunto de elementos que funcionam de forma sincronizada. Cada um desses elementos tem funcionalidades distintas e essenciais para o correto funcionamento do sistema. Assim, como unidade central, podendo mesmo ser feita uma analogia ao cérebro humano, surge o elemento de controlo lógico programável. Um PLC é "um aparelho digital que usa memória programável para armazenar instruções que implementam funções lógicas" [14]. Essas funções são constituídas por acções que são executadas com base em informações exteriores fornecidas por elementos como os sensores e detec-

tores. Por sua vez, essas acções, nomeadamente o movimento que lhes é inerente, são realizadas por elementos específicos, podendo ser robôs, motores, cilindros pneumáticos, prensas hidráulicas, entre outros. Todos estes elementos interagem entre si através de um meio de comunicação, constituindo assim uma rede industrial.

Para além disso, um outro elemento relevante do sistema é o seu sistema SCADA, importante para uma interface homem-máquina amigável. A este nível existem no mercado soluções denominadas consolas HMI. Estas são capazes de comunicar com todos os elementos do sistema, via *drivers* já existentes. A arquitectura dos sistemas automatizados é normalmente semelhante à Figura 2.3, podendo existir algumas variações de acordo com a aplicação pretendida.

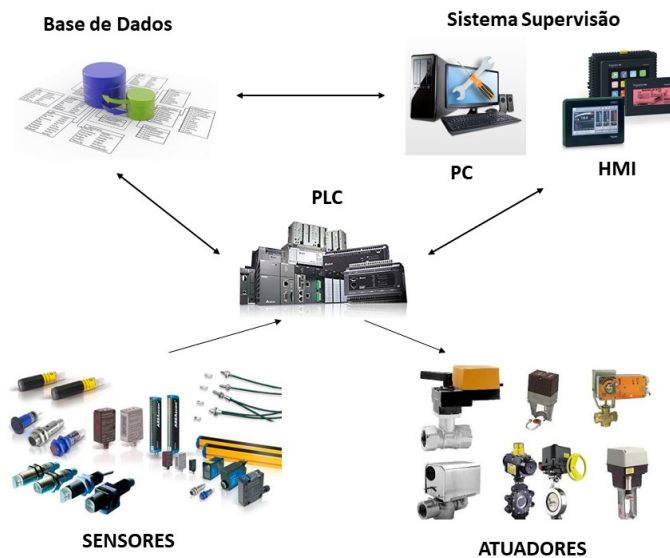


Figura 2.3: Arquitectura de um sistema automatizado

Desta forma, além de tornarem os sistemas industriais mais apelativos, aumentam a sua eficácia e eficiência, disponibilizando informação fiável e em tempo real aos seus utilizadores.

2.2.1 Controlo lógico Programável (PLC)

Na década de 50 já existiam, nas linhas de produção do ramo automóvel, os primeiros modelos de automação industrial compostos por grandes painéis de relés e extensos conjuntos de cabos e fios. No entanto, este tipo de automação era bastante ineficiente quando havia a necessidade de ser feita uma alteração ao planeamento ou proceder a alterações ao nível dos produtos em produção. Isto porque essas mudanças demoravam imenso tempo, dado a inflexibilidade

da solução. Por este motivo, na década de 60, Dick Morley [15], projectou a primeira unidade de controlo, denominada como Controlo lógico programável (PLC, Modelo 084) para a General Motors, que requisitava rapidez, flexibilidade e agilidade no processo de alteração da sua linha de produção. A Figura 2.4 representa os constituintes de um PLC.

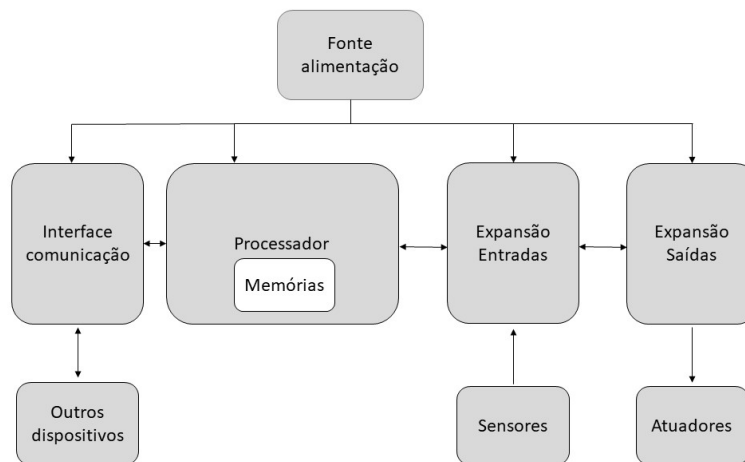


Figura 2.4: Diagrama de constituintes de um PLC

O PLC veio dar confiabilidade, flexibilidade e velocidade ao processo produtivo, para além de ter tornado mais fácil a interface de operação e programação para o utilizador [14]. Com o mesmo é possível proceder a qualquer alteração na lógica de programação do equipamento em segundos, muitas vezes sem a necessidade de alteração física nas ligações [16] [17].

O PLC é constituído por:

- Interface de entradas e de saídas, podem ser fixas (PLC mais pequeno e de baixo custo) ou modulares (PLC com maior flexibilidade pois entradas e saídas são ilimitadas);
- Unidade central de processamento (microprocessador), responsável pelo funcionamento lógico de todos os componentes e pelo controlo de comunicações entre os diferentes módulos;
- Fonte de alimentação;
- Unidade de memória, armazena informação, programas e dados no PLC;

- Dispositivo de programação, utilizado para descarregar o programa na memória do processador, programa esse que pode ser escrito em diversas linguagens;
- Interface de comunicação, realiza a transferências de dados de e para o PLC;
- Circuitos auxiliares, circuitos que actuam quando o PLC falha.

De forma sucinta pode-se descrever o funcionamento de um PLC como um processo cíclico que tem início com a leitura dos dados de entrada pela unidade central de processamento. Seguidamente, é executado o programa que foi previamente descarregado com recurso ao dispositivo de programação. Posteriormente, os dados de saída são actualizados e a unidade central de processamento executa um diagnóstico interno e faz a comunicação com o restante sistema [16].

Numa análise ao mercado actual, existem diferentes controladores lógicos programáveis, que, embora de diferentes marcas, têm por base linguagens de programação comuns. A este nível é de referenciar algumas marcas, sendo elas, Omron, Siemens e VIPA.

A Omron trata-se de uma empresa Japonesa de componentes electrónicos, Figura 2.5, fundada em 1933. O seu negócio tem por base a fabricação e venda de componentes de automação industrial e equipamentos médicos, como, termómetros, medidores de pressão arterial e nebulizadores.



Figura 2.5: Logótipo Omron

No mundo industrial, a Omron, tem na sua produção, para além de controladores lógicos programáveis, sensores, consolas HMI, servomotores, controladores de temperatura, barreiras de segurança, *scanners* de área segura, sensores de medição a laser, sistemas de visão industrial, robôs, entre muitos outros.

Ao nível dos controladores lógicos programáveis, a marca apresenta uma oferta diversificada, económica e compatível com diferentes tipos de comunicação.

Por exemplo, nos modelos da família CJ a comunicação de dados é realizada através de uma porta *Ethernet standard* para o protocolo *Ethernet/IP*, possuindo este modelo também portas USB para um acesso instantâneo para programação e resolução de problemas. Outro exemplo, são os modelos da família CP, segundo o fabricante, constituem uma solução em que é possível seleccionar e adequar as características de um determinado produto de acordo com as necessidades em termos de funcionalidade, flexibilidade e preço. Esta sua característica, juntamente com a rapidez de comunicação e o acréscimo simples de módulos de entradas e saídas, é o que torna este um modelo em destaque.

Para além do protocolo de comunicação *Ethernet/IP*, outro que é também utilizado pela Omron é a *Ethercat*, uma rede industrial mais rápida para automação de máquinas. Este protocolo de comunicação, implica a utilização de controladores do modelo NJ/NX, com um *software* de programação próprio chamado *Sysmac*, encontrando-se na Figura 2.6 a interface de programação.

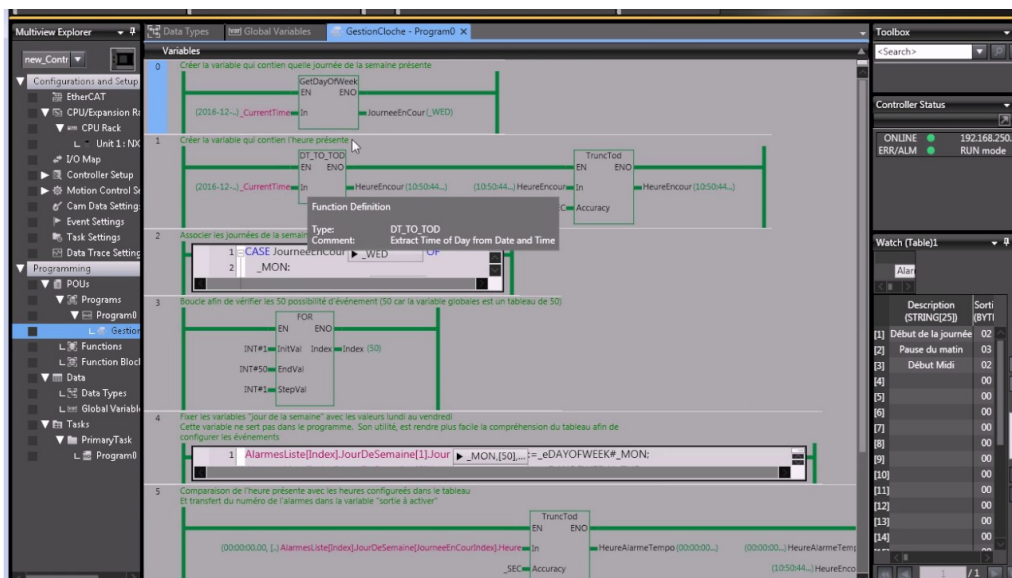


Figura 2.6: *Software Sysmac Studio*

A Omron dispõe ainda de um *software* de programação próprio, chamado *CX-One*, este permite aos técnicos industriais configurar e programar um conjunto de controladores lógicos programáveis, interfaces homem/máquina e sistemas de controlo de redes industriais. Na Figura 2.7 encontra-se a interface de programação. Nesta empresa, a criação de programas é feita normalmente com recurso a linguagem *Ladder*.

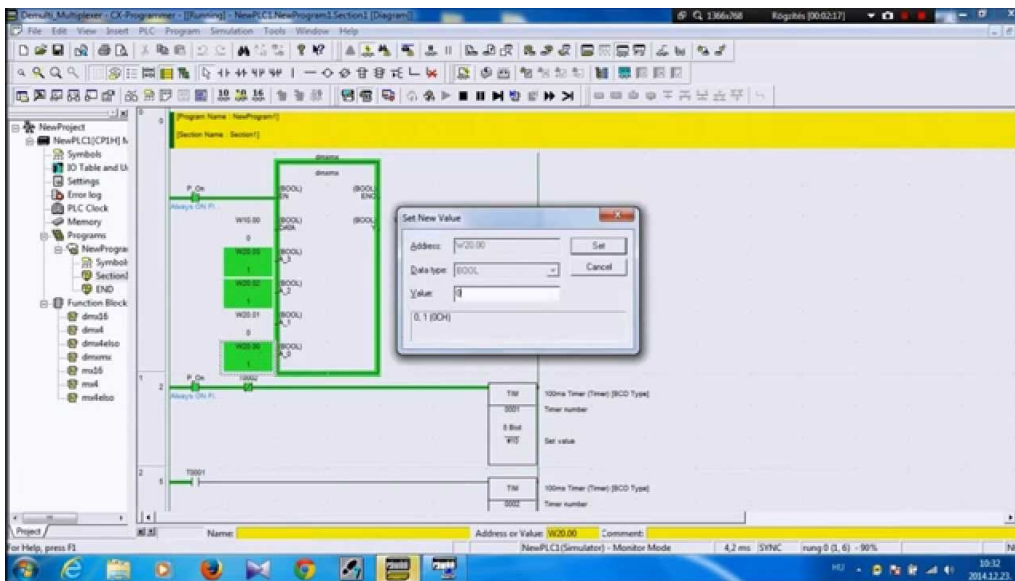


Figura 2.7: *Software CXOne*

A Siemens, Figura 2.8, é uma empresa multinacional Alemã, fundada em 1847. No início da sua actividade, o foco da empresa consistia exclusivamente no fabrico de equipamentos de telecomunicações, actualmente, encontra-se associada a uma maior variedade de produtos, nomeadamente, material eléctrico, equipamento hospitalar, painéis solares, computadores, entre outros.

SIEMENS
Ingenuity for life

Figura 2.8: Logótipo Siemens

Ao nível dos PLC, a Siemens apresenta uma grande diversidade no mercado, tendo a particularidade de todos eles serem programados com recurso a um *software* próprio, chamado *Tia Portal*, cujo interface se encontra representado na Figura 2.9.

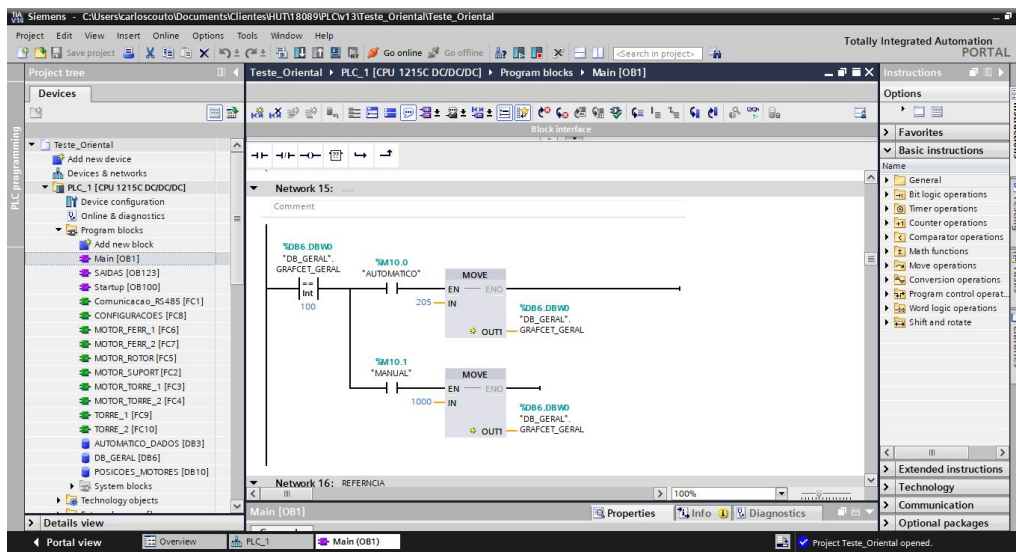


Figura 2.9: *Software Tia Portal*

O *Tia Portal*, possibilita a configuração do *hardware*, conforme apresenta a Figura 2.10, onde se procede ao estabelecimento de comunicações industriais, à programação, a simulações/testes, tendo ainda funções operacionais e de diagnóstico. É considerada uma plataforma centralizada de engenharia, pois contém uma única interface para todas as tarefas de automação.

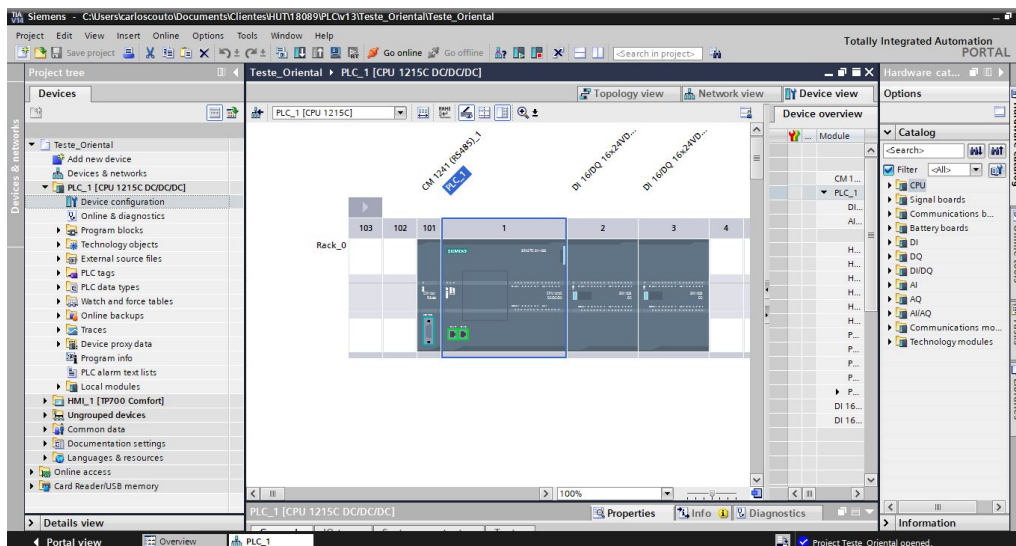


Figura 2.10: Configuração de *hardware* no *Software Tia Portal*

A empresa VIPA é uma empresa multinacional Alemã, fundada em 1985, pela mão de Wolfgang Seel. Esta empresa tem o seu foco no desenvolvimento de *hardware* para automação industrial, apresentando compatibilidade com elementos da marca Siemens. Por exemplo, a gama de autómatos PLC VIPA SPEED 7, é programada pelo *software Simatic Step 7* da Siemens. Esta interface de programação encontra-se representada na Figura 2.11

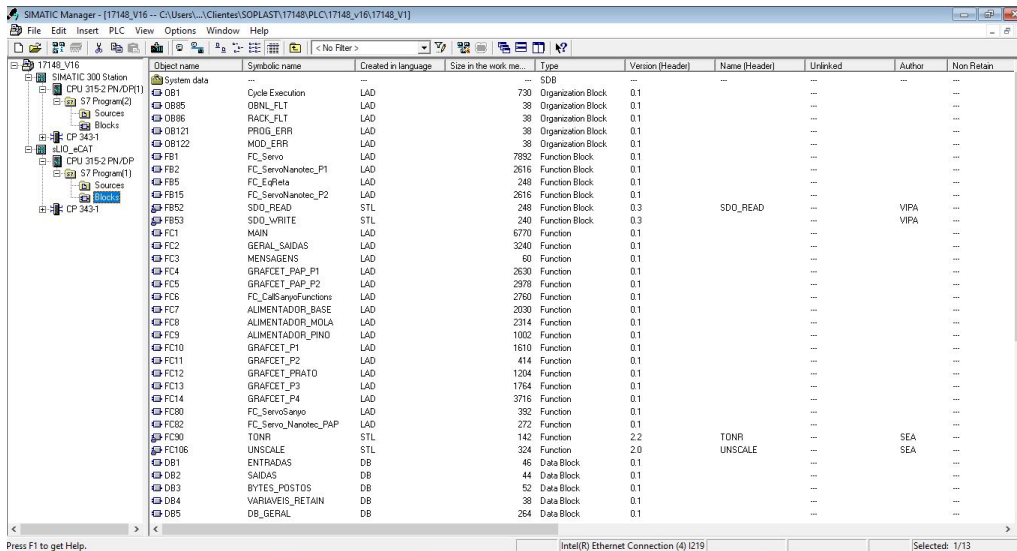


Figura 2.11: *Software Simatic Step 7*

A configuração de *hardware* através do *software Simatic* encontra-se representada na Figura 2.12

Ao nível dos PLC, a VIPA diferencia-se das restantes empresas por ser detentora de soluções com elevada rapidez de processamento. Estes apresentam conectividade *Ethernet* integrada possibilitando ainda, de uma forma fácil, a integração de outros módulos de comunicação ou módulos de entradas e saídas. Assim sendo, apenas é necessário adquirir o PLC, podendo ser adicionados mais tarde outros módulos alterando a composição da unidade de controlo. Actualmente existe mesmo a possibilidade de integração da rede *Ethercat* nas soluções desenvolvidas pela VIPA. Tal foi alcançado com a recente chegada do controlo lógico *Slio CPU 015N*, onde é integrado o sistema *Ethercat Master*.

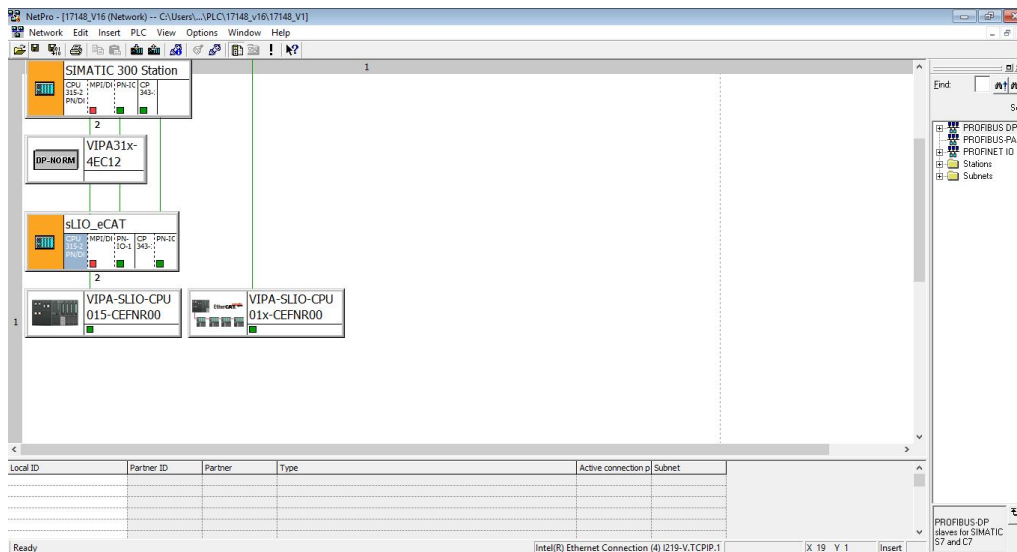


Figura 2.12: Configuração de *hardware* através do *software Simatic*

Através do *software Speed 7 Ethercat Manager*, é possível configurar a rede *Ethercat* com CPU VIPA. Esta interface encontra-se representada na Figura 2.13.

É neste *software* que é administrada toda a rede *Ethercat*. O que se verifica é que todos os elementos do sistema, *master* e *slaves*, são descritos em arquivos denominados *ESI files*, em formato XML, sendo associado um ID a cada um desses elementos. No ficheiro ESI de cada um desses elementos encontram-se descritos determinados parâmetros aos quais são associados endereços de memória que permitem o seu acesso posterior. Isto só é possível após ser realizada a configuração da rede *Ethercat*, o que poderá ser feito de forma automática através da conexão física de todos os *slaves*, entre si e ao *master*. Assim, acoplando, por exemplo, um módulo I/O *Ethercat*, é possível realizar leituras de qualquer elemento da rede.

Relativamente à configuração e programação dos PLC da VIPA, esta marca recorre ao *software Simatic* da Siemens, que constitui a versão anterior do *Software Tia Portal* actualmente utilizado por esta marca. Embora ambas sejam ferramentas de programação da marca Siemens, é de referir que nem todos os modelos são compatíveis com as duas versões, sendo que modelos mais antigos apenas podem ser programados com recurso ao *Software Simatic*.

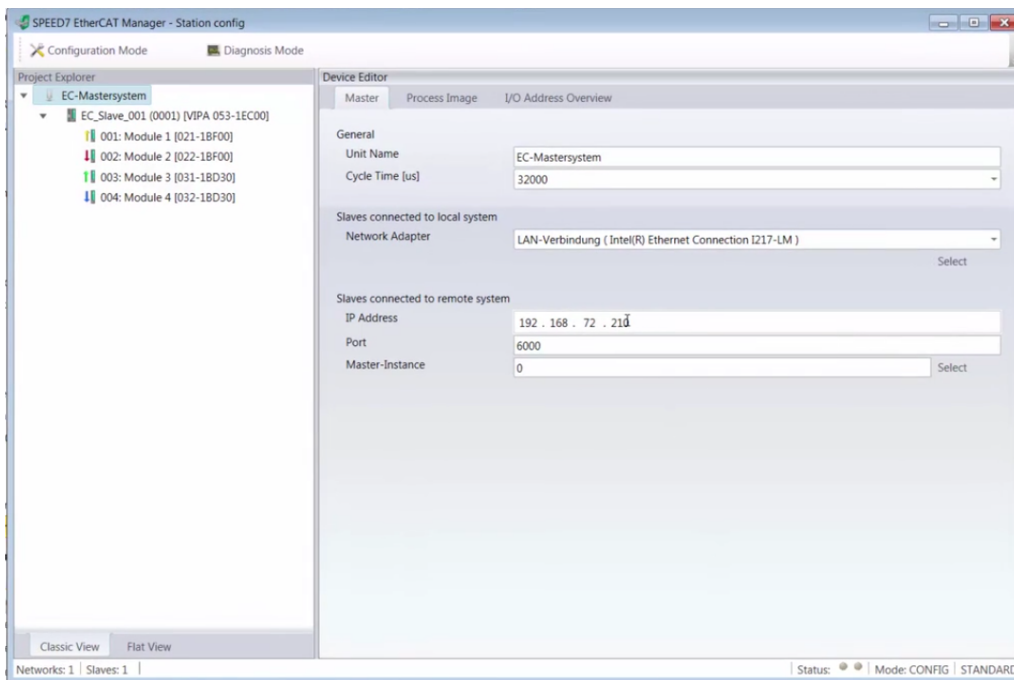


Figura 2.13: *Software Speed 7 Ethercat Manager*

Este *software* apresenta aplicações que permitem o desenvolvimento de um projecto, nomeadamente, o *Simatic Manager*, que é responsável pela gestão de todos os outros aplicativos e permite a configuração de *hardware* e de redes de comunicação e ainda realizar a programação dos PLC; o *Simatic WinCC Flexible* que permite a programação de consolas HMI e o *Simatic WinCC Flexible Runtime* que é utilizado para simulações de aplicações no computador.

2.2.2 Linguagem de programação

Embora diferentes, tal como já mencionado, a base de programação das marcas anteriormente abordadas é semelhante, baseando-se nas cinco linguagens de programação abrangidas pela norma IEC 31161-3. Esta norma define os parâmetros essenciais que devem ser seguidos por qualquer linguagem de programação, estabelecendo cinco linguagens que permitem dar resposta à maioria das necessidades actuais ao nível de controladores. Contudo, permite ainda que se recorra a outras linguagens, desde que estas respeitem os parâmetros estabelecidos na norma, o que simplifica a resolução de problemas.

As cinco linguagens referidas são:

- Lista de Instruções (*Instruction list*)
- Texto Estruturado (*Structured Text*)

- Diagrama de blocos (*Function Block Diagram*)
- Diagrama de funções sequenciais (*Sequential Function Chart*)
- Linguagem Ladder

A Lista de instruções é uma linguagem de baixo nível semelhante à linguagem *Assembly* que recorre ao uso de mnemónicos tal como esta. Baseia-se numa sequência de instruções que é criada e executada linha a linha, sendo a sua utilização adequada quando se pretende a resolução de problemas simples, em programas que apresentam poucas quebras no fluxo de execução. Face a isto, é a linguagem ideal para PLC de pequeno porte.

Contudo, nesta linguagem verifica-se uma grande dificuldade para proceder a alterações no código já implementado, o que constitui a sua grande desvantagem [16] [17].

Na Figura 2.14 encontra-se a esquematização desta linguagem.

```
Instruction list language  
LD    [%MW10>100]  
ST    %Q2.3  
LD    %M0  
AND   [%MW20<%KW35]  
ST    %Q2.2  
LD    %I1.2  
OR    [%MW30>=%MW40]  
ST    %Q2.4
```

Figura 2.14: Lista de Instruções

A linguagem Texto estruturado, é uma linguagem textual, pois utiliza texto em vez de símbolos, o que a distingue da linguagem Ladder, FB ou SFC, e de alto nível, ao contrário da linguagem Lista de Instruções. A sua maior vantagem consiste na rapidez e facilidade ao nível da criação de programas, permitindo mesmo a programação de algoritmos matemáticos complexos com relativa facilidade [16] [17].

Trata-se de um linguagem muitas vezes utilizada para blocos de função usados em outros programas com linguagens de programação que não a linguagem Texto estruturado. Torna-se assim uma solução ideal para programas maiores e mais complexos.

Na Figura 2.15 encontra-se a esquematização desta linguagem.

```

If State = 0 then
  MS0 (axis0, axis0_MS0);          (* Turn servos on and set tags to initial values *)
  MS0 (axis1, axis1_MS0);
  gear_ratio := 0;
  State := 1;
end_if;

If axis0.ServoActionStatus & axis1.ServoActionStatus & State = 1 then
  State := 2;
end_if;

  If State = 2 & input_1 then      (** This IF statement monitors inputs 1, 2 & 0
    gear_ratio := gear_ratio + .5;  Depending on which one is enabled the program will either
    State := 3;                    increase or decrease the gear ratio. If input 0 is pressed the
    elsif State = 2 & input_2 then  program jumps to a subroutine called LadderFile. **)
      gear_ratio := gear_ratio - .5;
      State := 3;
    elsif State = 2 & input_0 then
      State := 5;
    end_if;
end_if;

If State = 3 then
  MAC (axis0, axis1, axis0_axis1_MAC, 1, gear_ratio, 1, 1, Actual, Real, Disabled, 10, 1);
end_if;

```

Figura 2.15: *Structured Text*

A linguagem *Function block diagram*, é uma linguagem gráfica que se baseia em blocos de funções, sendo que esses blocos podem-se encontrar pré-programados e presentes numa biblioteca de blocos de funções, ou então ser criados de acordo com as necessidades do utilizador. É de referir que a programação dos blocos criados pelo utilizador pode ser feita recorrendo a outra linguagem. Tudo isto torna esta linguagem extremamente flexível.

Na Figura 2.16 encontra-se a esquematização desta linguagem.

A linguagem (*Sequential Function Chart*) constitui uma representação gráfica que surgiu da necessidade de controlo de processos sequenciais. A sua vantagem reside no facto de minimizar incoerências, bloqueios ou conflitos durante o funcionamento do sistema.

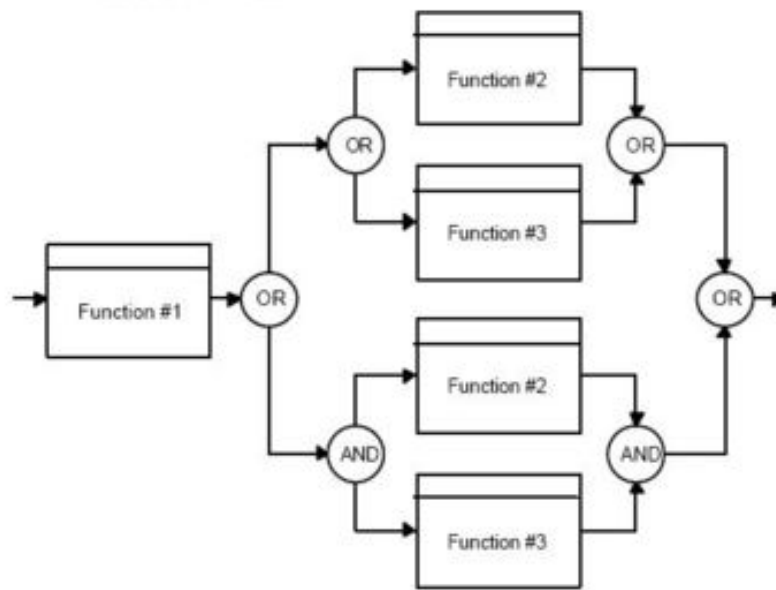


Figura 2.16: *Function Block Diagram*

A linguagem *Ladder*, em analogia a um esquema eléctrico, utiliza símbolos, como contactos e bobinas, para representar funções lógicas. O seu nome, que em português significa Escada advém da disposição dos símbolos que é realizada, normalmente, na vertical. A sua vantagem provém da abrangência de fabricantes que a utilizam nos seus PLC, o que a torna na linguagem mais utilizada ao nível da programação industrial [16] [17].

Na Figura 2.17 encontra-se a esquematização desta linguagem.

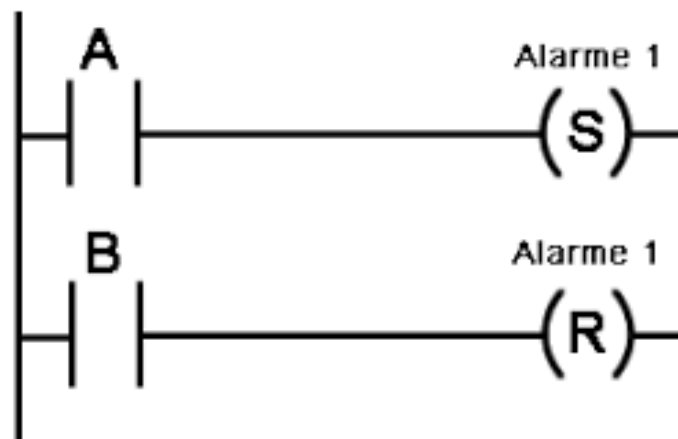


Figura 2.17: Linguagem *Ladder*

2.2.3 Sistemas SCADA

Um sistema SCADA, acrónimo de *Supervisory Control And Data Acquisition*, constitui qualquer sistema que, por meio de um *software*, monitoriza e supervisiona as variáveis e dispositivos de um processo, através da obtenção de dados operacionais. Assim, a partir desses dados, processa de uma forma estruturada relatórios do estado de ciclo [17] [18] [19].

Nos tempos primórdios da sua existência, o sistema SCADA, foi desenvolvido com o intuito de obter maior produtividade, qualidade e competitividade em processos industriais [17] [18]. Inicialmente, com uma tecnologia pouco desenvolvida, limitavam-se a fornecer informações sobre o processo industrial. Faziam-no através de painéis com indicadores que representavam sinais de medidas e estados dos dispositivos, não existindo qualquer interface gráfica com o operador.

Nos dias de hoje, o desenvolvimento ocorrido ao nível destes sistemas advém do facto de todos os equipamentos que são controlados por estes se encontrarem interligados através de uma rede de comunicação. Assim, a introdução do sistema SCADA, com a conexão de todos os elementos e consequente criação de uma rede industrial, permite aumentar a eficiência, competitividade e produtividade ao nível do processo produtivo. Isto porque, recorrendo a estes sistemas, é possível recolher dados até mesmo em ambientes complexos, eventualmente dispersos geograficamente, dados esses cuja interpretação permite uma avaliação do desempenho operacional. Para além disso, um sistema SCADA permite ainda o armazenamento automático dos dados para que possam ser posteriormente analisados, sem erros ou trabalho adicional.

Um dos elementos com elevada importância num sistema de SCADA é a *Human Machine Interface*, HMI. Com características destinadas a promover uma amigável integração entre o humano e o sistema, uma consola HMI possui normalmente um ecrã com todas as informações, configurações, opções e acções do sistema, em tempo real.

Tal como para o fabrico de PLC, no mercado actual existem também algumas marcas que se dedicam ao fabrico de consolas HMI, sendo estas exploradas seguidamente [17] [18] [19].

A Omron é uma dessas marcas. Esta utiliza o *software CX-Supervisor* para desenvolver aplicações de supervisão e controlo de máquinas.

A Siemens, através do seu *software WinCC Flexible*, disponível na ferramenta *Simatic* e *Tia Portal*, e baseada na tecnologia *Windows*, proporciona ambientes multi-tarefas permitindo expansões e a interligação a elementos internos e externos ao sistema. É possível observar o *software* referido na Figura 2.18.

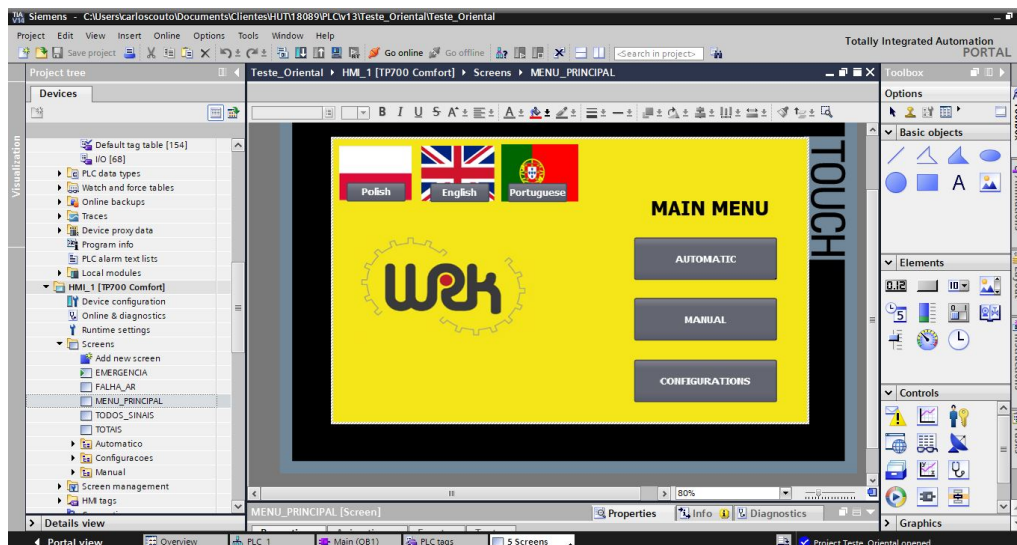


Figura 2.18: *Software WinCC Flexible*

A empresa ESA Engenharia, presente no mundo da automação industrial há 40 anos, apresenta também uma solução tecnológica bastante atractiva, sendo ela o *CNC Motion solutions*. Este numa única aplicação incorpora funções de PLC, CNC e HMI. Contudo, apresenta também consolas unicamente dedicadas à função HMI, que se apresentam como uma solução para o controlo e comando de qualquer tipo de sistema industrial. Ao nível da programação, o *software* utilizado é o *Crew*, representado na Figura [2.19](#).

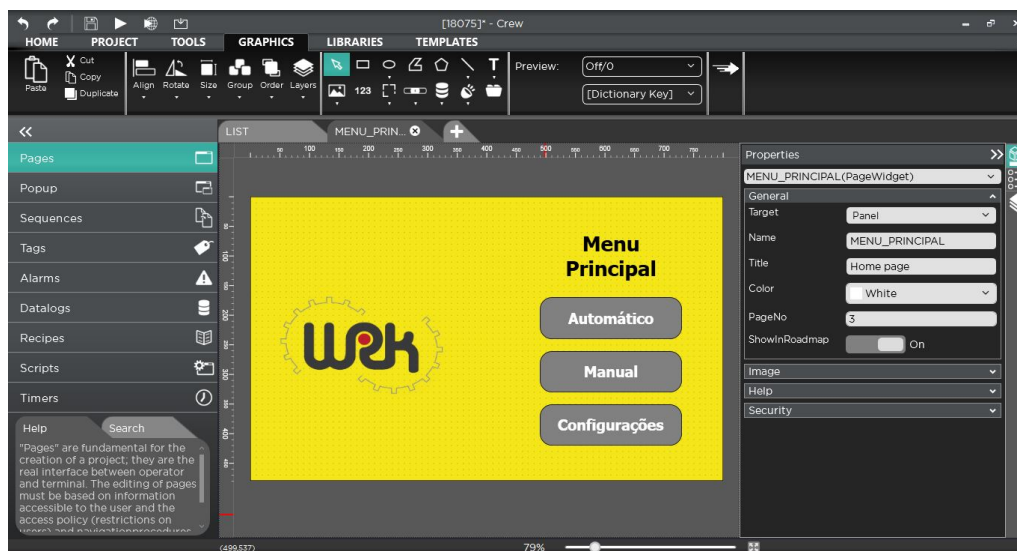


Figura 2.19: *Software Esa Crew*

A Schneider, oferece também uma gama de dispositivos HMI programados através do *software CitectSCADA*.

Para além dos fabricantes já referidos, também a empresa sueca Beijer Electronics, fundada nos anos 80, oferece soluções que permitem a comunicação, o controlo, a visualização da rede e a transmissão de dados. Normalmente, para consolas HMI, o *software* utilizado pela marca é o *iX Developer*, representado na Figura 2.20.

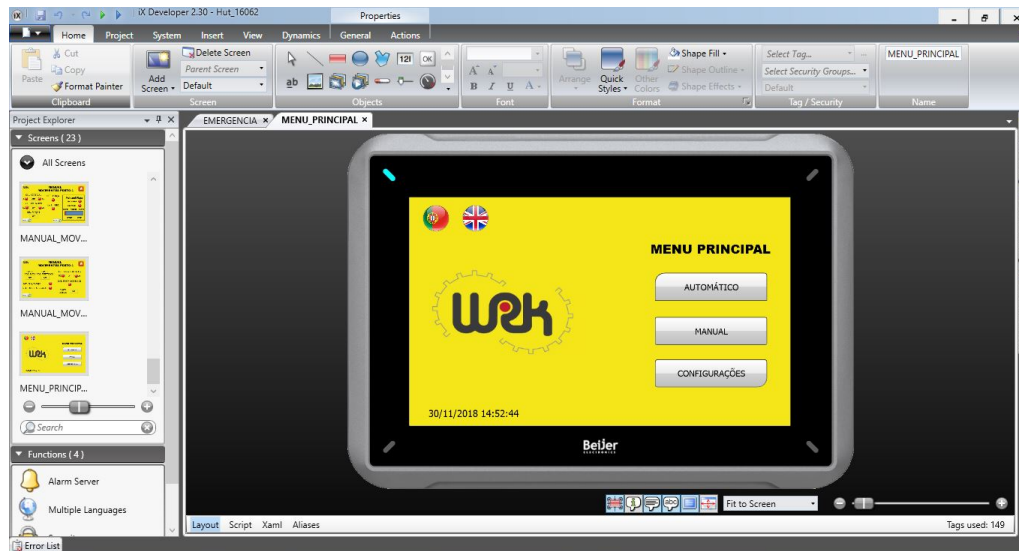


Figura 2.20: *Software Beijer iX Developer*

Como é possível concluir, no mercado actual são muitas as empresas que se dedicam ao desenvolvimento de sistemas integrados de aquisição de dados para ambientes industriais, podendo ter sido referenciadas muitas outras, de que é exemplo a empresa alemã Phoenix Contact de Itália de onde surgiu a tecnologia Sipro.

2.2.4 Redes Industriais

Uma rede industrial diz respeito aos protocolos de comunicação que são utilizados para conectar, gerir, controlar e supervisionar um determinado processo industrial. Tal é possível pois esta permite a partilha de informação, de forma rápida e precisa, entre todos os intervenientes no processo.

Com a existência de processos produtivos cada vez mais complexos surgiu a necessidade de expansão das redes industriais, o que levou ao aparecimento de diferentes protocolos de comunicação [20] [21].

três versões, a *PROFIBUS-DP*, a *PROFIBUS-FMS* e, a versão mais recente, a *PROFIBUS-PA*. A *PROFIBUS-DP* é o protocolo que garante uma maior velocidade de comunicação tendo sido desenvolvido especialmente para a comunicação entre sistemas de automação e equipamentos descentralizados. A *PROFIBUS-FMS* trata-se da solução de padrão de comunicação universal apresentando uma grande variedade de funções disponíveis já que foi projectado para possibilitar a comunicação ao nível de célula. Por fim, a *PROFIBUS-PA* surgiu para dar resposta às necessidades resultantes da automação de processos industriais, permitindo a conexão entre sistemas e equipamentos de campo. É uma solução ideal para ambientes perigosos já que possibilita uma comunicação segura nessas condições.

O meio físico normalmente utilizado neste tipo de rede é o cabo de par entrançado, RS-485, podendo em alguns casos ser utilizada a fibra óptica [16].

A rede industrial CAN foi primeiramente desenvolvida para ser utilizada ao nível da indústria automóvel, nomeadamente, com o objectivo de por fim aos sistemas complexos de fios substituindo-os por um simples cabo. Entretanto tem vindo a evoluir e a sua aplicação a nível industrial, nomeadamente, para partilha de dados e controlo em tempo real. Constitui assim uma solução simples e barata face às soluções tradicionais [21].

A rede *Ethernet/IP*, adapta o *Common Industrial Protocol* (CIP) à *Ethernet* padrão, tendo como principal vantagem possibilitar o acesso ao nível inferior da hierarquia industrial, o chão de fábrica, a partir do nível superior, nível administrativo, em tempo real. Para além disso, este protocolo permite troca de informação entre dispositivos sem que seja necessário *hardware* especializado. O *Ethernet/IP* permite ainda a comunicação *full-duplex* entre os dispositivos do sistema e os equipamentos de controlo que fazem parte da mesma rede.

O seu funcionamento baseia-se numa comunicação entre nós em que uma mensagem com um destinatário específico é transmitida a todos os nós, sendo posteriormente filtrada e apenas valorizada pelo nó a que se destina [16] [22].

A rede *Ethercat*, baseada em *Ethernet* em tempo real, destina-se à automação industrial e diferencia-se das restantes pela sua flexibilidade e facilidade de manuseamento. O seu funcionamento utiliza um barramento de dados composto por um *master* e um determinado número de *slaves* [23] [24].

2.2.5 Motores

Um motor constitui tudo aquilo que produz movimento, sendo que em engenharia mecânica diz respeito a um sistema que converte diferentes formas de energia em trabalho mecânico [25]. Actualmente existem diferentes tipos de motores que serão explorados seguidamente.

O motor de passo, inventado por Marius Lavet em 1936, é um tipo de motor eléctrico que é habitualmente usado em aplicações onde é exigida alta precisão. Este é constituído internamente por uma série de campos electromagnéticos que são activados e desactivados electronicamente.

Normalmente estes motores são categorizados consoante o binário que produzem, sendo o seu binário máximo atingido quando as suas bobines recebem toda a corrente para um determinado passo. Contudo, podem também ser divididos de acordo com o seu tipo construtivo, podendo ser de três tipos: relutância variável, íman permanente e híbridos [26] [27]. Destes, os mais utilizados na indústria são os motores híbridos, compostos por um rotor, bobines, rolamentos e carcaça e com um ângulo de passo correspondente a 1,8 graus, conseguido devido à geometria do rotor.

Os motores de passo geram movimento de acordo com sinais provenientes de dispositivos electromecânicos, convertendo a excitação eléctrica em movimentos mecânicos rotacionais. Ou seja, um passo do motor resulta de um pulso eléctrico que atinge os terminais do motor desencadeando movimento, sendo que um determinado número de passos, variável de acordo com o tipo de motor utilizado, provoca uma rotação completa do eixo do motor. Deste modo, como cada passo corresponde a um movimento cuja distância correspondente é conhecida, consegue-se determinar o posicionamento do motor através da quantidade de pulsos eléctricos que atingem os seus terminais. Para além disso, sabendo o ângulo do passo do motor é possível determinar quantos passos são necessários para se dar uma volta completa [26] [27]. Isto é, sabendo que uma volta completa corresponde a 360° , obtendo o quociente entre os 360° e o ângulo do passo do motor, obtém-se o número de passos necessários para uma volta completa. Assim, sabendo que o ângulo de passo, é por exemplo de 1,8 graus, concluímos que são necessários 200 passos para o motor realizar uma volta completa.

Contudo, é de mencionar que o número de passos correspondente a uma volta completa do motor depende também do modo de operação seleccionado, que pode ser: *Full Step one-phase on*, *Full step two-phase on*, em ambos não se verifica nenhuma divisão entre os passos do motor, *Half Step*, cada passo do motor é dividido em dois e o *Microstep*, é possível dividir os passos em vários intervalos [26] [27].

De acordo com o modo de operação escolhido, irão verificar-se variações ao nível da precisão, velocidade e binário, sendo que a escolha dependerá daquilo que é privilegiado pelo fabricante da máquina. A precisão do motor está relacionada com o número de passos necessários para que uma volta seja completada, sendo que quantos mais passos forem necessários maior será a precisão do motor.

Na Figura 2.22 encontra-se representada a constituição de um motor de passo.

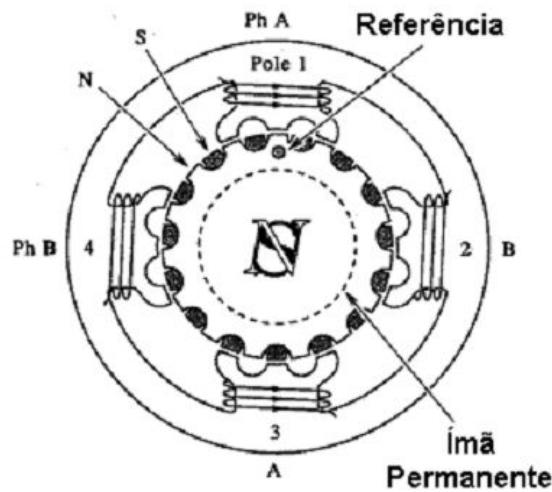


Figura 2.22: Constituição de um motor de passo [2]

Para controlar o motor de passo, para além de dispositivos programáveis, é necessário um outro elemento que forneça também energia suficiente para alimentar o motor diretamente. É neste âmbito que surge o *driver* do motor. É da sua responsabilidade a interpretação e conversão de sinais transmitidos pelo controlador principal em uma sequência lógica de impulsos eléctricos, que previnem as vibrações do motor em determinadas velocidades tornando o seu movimento mais suave, etapa conhecida como tradução. Este dispositivo tem ainda a capacidade para memorizar determinadas posições do motor que podem ser accionadas, através de protocolos de comunicação, pelo controlador principal.

Para além disso, é este que fornece a corrente eléctrica, adequada de acordo com a sequência lógica de impulsos obtida na etapa da tradução, aos terminais do motor para que o movimento seja desencadeado. A corrente máxima que cada *driver* pode fornecer é variável dependendo do modelo utilizado [26] [27].

Por último, é de referir que também são os *drivers* que controlam o modo de operação dos motores de passo.

Outro tipo de motor muito utilizado são os servomotores. Estes são motores eléctricos com um binário superior aos motores de passo, que possuem um mecanismo de *feedback*, baseado em sensores ópticos, ultrassónicos e até mesmo, para reconhecimento do espaço, em câmaras, que permite um controlo sobre a sua posição. São constituídos basicamente por um motor de corrente contínua, um conjunto de engrenagens e um circuito electrónico de controlo.

Os servomotores permitem um controlo mais preciso, recorrendo a sistemas de controlo que garantem essa precisão, de que é exemplo o Controlador proporcional integrativo e derivativo (PID) [26].

2.2.6 Testes de Continuidade e Isolamento

O electromagnetismo é um ramo da física que correlaciona os campos eléctricos com os campos magnéticos considerando que um e outro estão intimamente ligados. Através da lei de Ampère, é mesmo possível calcular o campo magnético resultante da passagem de uma determinada corrente eléctrica. Assim, em instalações eléctricas são utilizados materiais dieléctricos, isto é, isolantes eléctricos, de modo a que mesmo que sujeito à acção de um campo magnético exterior o fluxo de corrente eléctrica não seja afectado. Contudo, a eficiência do material dieléctrico não é total surgindo a importância da realização de testes de isolamento.

Os testes de isolamento podem ser usados para determinar a integridade dos enrolamentos ou cabos em motores, transformadores, mecanismos de distribuição e instalações eléctricas. Sendo assim importantes para proteger e prolongar a vida útil dos sistemas eléctricos e dos motores [28].

Numa analogia fácil, os testes de isolamento podem ser comparados à verificação da pressão num sistema de fluídos. Num cano de água, ao aumentar a pressão são mais facilmente detectadas possíveis fugas, da mesma forma, numa corrente eléctrica, ao aumentar a sua alimentação a corrente de fuga, caso exista, torna-se mais evidente.

Contudo, como é utilizada uma tensão muito elevada é necessário ter alguma precaução de modo a que este teste não danifique o sistema. Assim, foram criadas soluções que permitem a realização deste teste de forma controlada e sem riscos. O princípio de funcionamento destas soluções baseia-se na aplicação de alta tensão mas em uma corrente muito limitada. Tal permite evitar danos em sistemas cujo isolamento se encontra defeituoso e, por outro lado, impede que o operador receba níveis de corrente perigosos por serem excessivamente elevados [28].

Uma destas soluções é o *Insulation tester* 5520, da marca Hioki, ilustrado na Figura 2.23. Este equipamento realiza testes de isolamento em sistemas cuja tensão pode variar entre 25 V a 1000 V, com uma margem de 1 V, apresentando comunicações RS-232C e *External I/O*. O mesmo destaca-se dos restantes equipamentos existentes no mercado pela velocidade com que realiza o teste, na ordem dos 50 ms.



Figura 2.23: *Insulation tester 5520, da marca Hioki*

Para além destes aparelhos, existem também no mercado os multímetros digitais, representado na Figura 2.24, que são aparelhos utilizados para medir grandezas eléctricas tendo também capacidade para medir a resistência do isolamento. Contudo, a sua utilização encontra-se limitada a sistemas de baixa tensão e, por isso, não permitem averiguar uma potencial formação de arco eléctrico, algo que só é verificado com a utilização de tensões muito elevadas [29].



Figura 2.24: Multímetro digital da marca Fluke

2.2.7 Visão artificial

Com a alta competitividade que se faz sentir no mercado actual, as empresas encontram-se numa busca constante pela máxima eficiência, procurando garantir que os seus processos produtivos sejam o mais fiáveis possíveis. Assim sendo, com a evolução da tecnologia na indústria, são cada vez mais os processos produtivos onde têm sido adoptados sistemas para controlo e verificação, que visam assegurar que o processo foi executado de forma correta e tendo em conta os parâmetros estabelecidos inicialmente.

Um desses sistemas é a visão artificial que constitui um dos mais utilizados.

O seu princípio de funcionamento baseia-se na captura de imagens do produto ao longo do processo produtivo. Posteriormente, através do processamento das imagens capturadas e seguindo uma sequência de instruções é atribuída uma classificação. Desta forma, este sistema permite garantir que as etapas produtivas que ocorreram até então foram realizadas correctamente e o processo produtivo pode prosseguir.

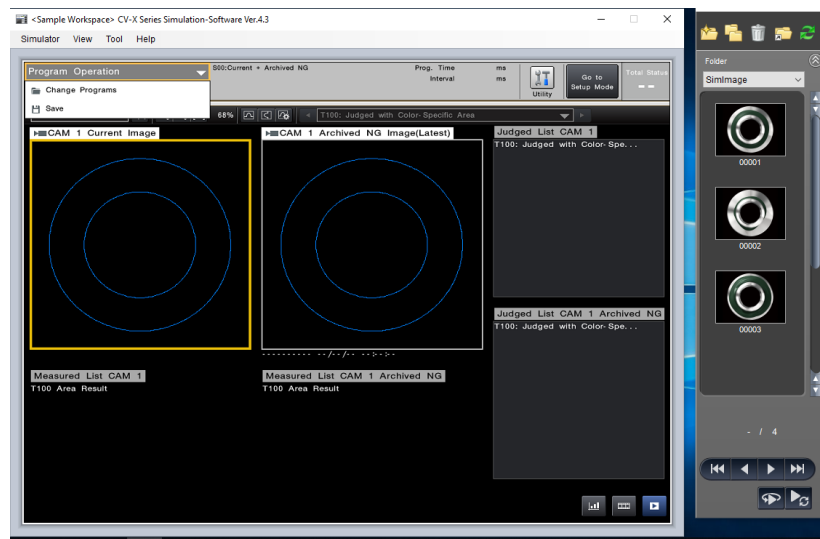
A oferta no mercado relativamente a este tipo de sistemas é cada vez maior, sendo que nesta luta pode-se referir como factores decisivos o ambiente de programação, a facilidade de integração do sistema nas máquinas do cliente e a rapidez de processamento. Sendo de referir algumas marcas que desenvolveram sistemas que visam ir de encontro às necessidades do mercado, nomeadamente, a Keyence, a Banner, a IFM e a Omron.

Os sistemas de visão Keyence, são o resultado dos esforços da marca em tornar a programação dos seus próprios sistemas simples, rápida e eficientes. É isso mesmo que a marca pretende alcançar com a série de equipamentos CV-X, representados na Figura 2.25, que apresentam uma interface de programação baseada em símbolos e ícones de fácil interpretação, tornando a programação intuitiva.



Figura 2.25: Equipamentos CV-X

O *software* de programação utilizado é o CV-X Series Simulation, apresentado na Figura 2.26 que possui a função de *Tool Adjustment Navigation*. Esta particularidade deste *software* surgiu para dar resposta a um dos problemas detectado anteriormente que consistia em falhas de ajuste de posição que, por sua vez, causavam falsas rejeições. Tal tornava-se uma dor de cabeça para os programadores pois era difícil descobrir qual ferramenta e função deviam usar para corrigir o problema. Assim este problema deixou de existir [30].

Figura 2.26: *Software CV-X Series Simulation*

Quanto à sua constituição é de referir que o *software CV-X Series Simulation*, tem incorporadas câmaras com 21 *megapixels*, com capacidade para capturar 9 fotos por segundo focando em detalhes minuciosos, permitindo com isto aos seus utilizadores taxas de qualidade de produção elevadas. Um dos pontos fortes a realçar é o facto de permitir a manipulação das imagens através de um *software*, não sendo preciso configurar a iluminação nem ser rigoroso nesta variante como anteriormente era necessário. Na Figura 2.27 é possível analisar um exemplo da ferramenta de manipulação de imagens no *software* da Keyence.

Figura 2.27: Exemplo da manipulação por *software*

Como alternativa para aplicações menos rigorosas, a Keyence apresenta a solução da série IV. Nesta as câmaras podem ser aplicadas em lugares mais restritos em termos de espaço, são menos minuciosas e o ambiente de programação é através do *software* IV-Navigator, apresentado na Figura 2.28, sendo a sua grande vantagem a sua fácil utilização [31].

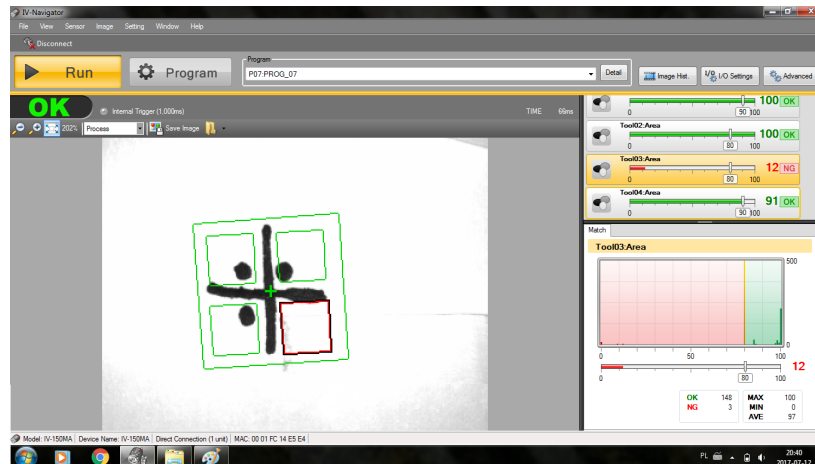


Figura 2.28: *Software* IV-Navigator

Tal advém sobretudo do facto de esta solução ter a capacidade de ajuste automático de brilho e a focalização, que até então era um processo manual, ser também realizada automaticamente, por um motor desenvolvido exclusivamente para a Série IV. Assim, a sua programação baseia-se num conjunto de operações, sendo elas, o ajuste automático de brilho e foco, a configuração da área de inspeção e a criação da lógica.

É de realçar que todos estes sistemas da Keyence possuem capacidade de comunicação por redes industriais, Ethernet/IP, Modbus e PROFINET.

Com o *software* Vision Manager, apresentado na Figura 2.29, a marca Banner também surge com soluções no mercado da visão artificial. A este nível é de fazer referência à solução da série VE que apresenta um sistema com 2 MP (1600 x 1200 píxeles), 1.3 MP (1280 x 1024 píxeles). Esta solução apresenta capacidade de comunicação por Ethernet/IP, Modbus e PROFINET.

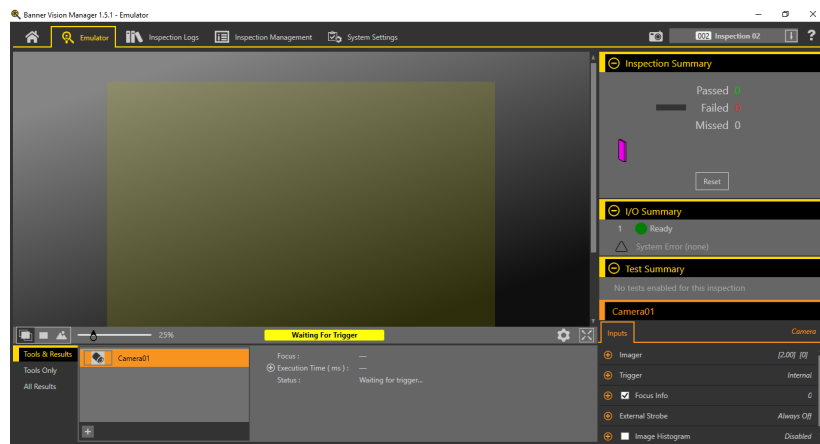


Figura 2.29: *Software* Vision Manager

Outra das marcas de referência no que diz respeito a soluções de inspeção é a IFM. O modelo O2V122, sensor de inspeção de objectos, com iluminação integrada, representa uma solução viável ao permitir uma distância de trabalho de 50 mm até 2000 mm, sendo de referir que quanto maior a distância de trabalho maior será o campo de visão e consequentemente menor será a resolução. Nesta solução o *software* de programação do sistema de visão é o E2D200, apresentado na Figura 2.30, e o protocolo de comunicação é *Ethernet/IP*.

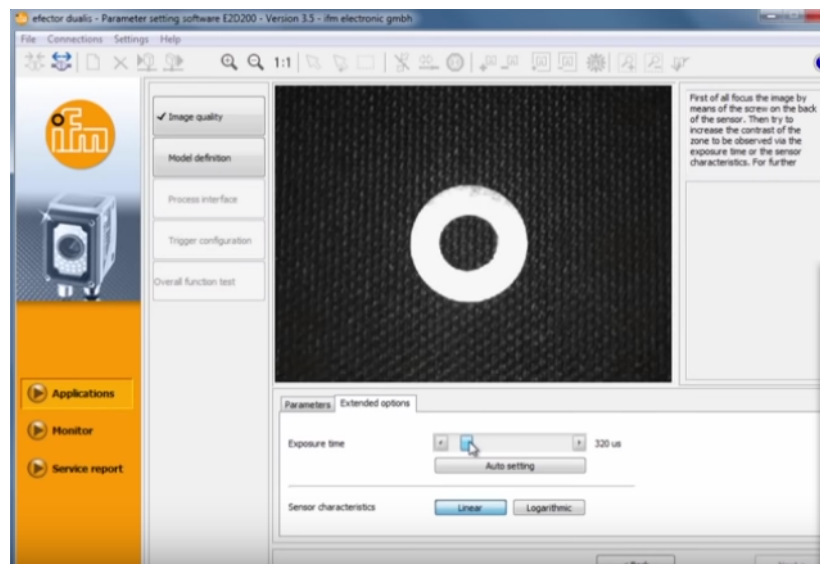


Figura 2.30: *Software* E2D200

A Omron é detentora de vários modelos destacando-se o último lançamento, a série FHV7. Esta possui capacidade de comunicações RS232, Ethernet/IP,

PROFINET e *Parallel I/O*. Dentro da série FHV7, os modelos variam a sua resolução deste 0.4 MP a 12 MP.

As suas maiores aplicações variam desde aplicações robóticas na indústria automóvel, passando pela rastreabilidade/leitura de códigos/identificação, até medições de alta precisão e ciclos de controlo de qualidade. Na indústria alimentar ou no sector farmacêutico também pode ser encontrada em inspecções de impressão, embalamento e selecção de materiais.

Capítulo 3

Solução desenvolvida

O projecto do sistema desenvolvido foi realizada através de um programa de modelação paramétrica *SolidWorks*, onde é possível visualizar e planear toda a estrutura física do sistema. O planeamento e desenho técnico foi realizado por um Engenheiro mecânico, tendo este tido em conta alguns requisitos técnicos dos quais se destaca: a elevada rigidez da estrutura de suporte, a segurança de todo o sistema, a distribuição dos elementos pelo sistema bem como a sua dinâmica.

A etapa seguinte passou então pela unificação das duas componentes do sistema, a componente mecânica e a componente eléctrica. A este nível é de realçar a importância que a interligação e comunicação entre os profissionais dos diferentes departamentos teve para dar resposta a todas os requisitos exigidos pelo cliente.

3.1 Processo requisitado

O processo requisitado pelo cliente foi uma solução automatizada para a verificação da funcionalidade de uma peça que será parte constituinte de um automóvel. A peça encontra-se representada na Figura [3.1](#)

O pedido realizado pela empresa cliente foi explanado através de um caderno de encargos, onde foram expressos os seguintes requisitos mecânicos:

- Local para recepção das peças saídas da máquina de injeção;
- Realização de testes de continuidade e isolamento;
- Realização de testes de visão;
- Separação de peças funcionais e não funcionais;
- Paletização de todas as peças em caixas;
- Saída das caixas quando cheias através de um transportador.

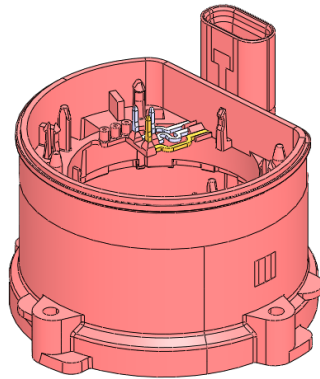


Figura 3.1: Representação de um exemplo da peça a ser testada no equipamento

Os testes de continuidade e isolamento apresentados no caderno de encargos visam avaliar a funcionalidade dos insertos. Já com o teste de visão pretende-se verificar as medidas e o posicionamento de determinados pontos chave da peça, o que é essencial para a sua funcionalidade no automóvel. Na Figura 3.2 encontram-se representados os três insertos nos quais devem ser executados os testes de continuidade e isolamento. Estes podem ser identificados na mesma através da cor vermelha, castanha e amarela. Estão também presentes na Figura 3.2 os pontos plásticos chave que serão verificados através do teste de visão.

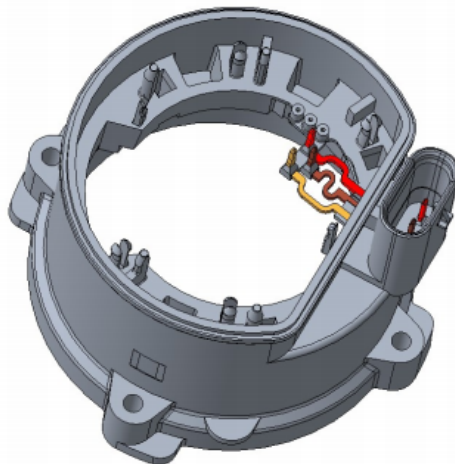


Figura 3.2: Representação de um exemplo da peça a ser testada no equipamento, insertos eléctricos e pontos plásticos

O objectivo pretendido pelo cliente é que a solução criada seja incorporada numa célula de produção tal como mostra a Figura 3.3, onde se encontra representado o *layout* inicial do cliente.

Nesse *layout* é apresentada a máquina de injeção, responsável pelo processo de moldagem do plástico que dá origem à peça desejada e o Robô Kuka, encarregue do transporte das peças saídas da máquina de injeção para o sistema a ser desenvolvido pela WRK, LDA.

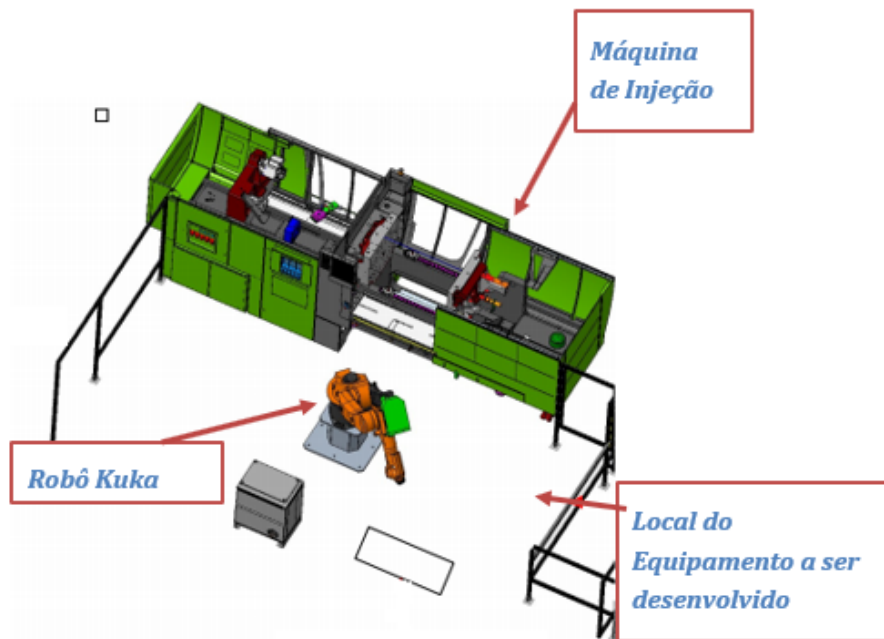


Figura 3.3: *Layout* inicial da célula de produção da peça a ser testada

Foi ainda necessário ter em conta alguns requisitos relativos ao funcionamento do sistema, nomeadamente:

- **Tempo de Ciclo:** 8 peças em 40 s;
- **Prato rotativo:** 8 posições contemplando 2 peças;
- **Histórico de dados de rejeição;**
- **configuração:** Parametrização dos limites dos teste;
- **PLC Segurança:** Omron G9SP;

- PLC: Omron CJ2M;
- Botoneiras de emergência;
- Portas com encravamento mecânico de segurança e barreiras de segurança.

3.2 Estrutura do sistema desenvolvido

A estrutura da solução desenvolvida para o processo requisitado, encontra-se representada na Figura 3.4 e Figura 3.5.

Sendo as medidas do equipamento representado as seguintes:

- **Altura:** 2065 mm;
- **Comprimento:** 3000 mm;
- **Profundidade:** 1980 mm;
- **Peso em vazio:** aprox. 2000 kg.

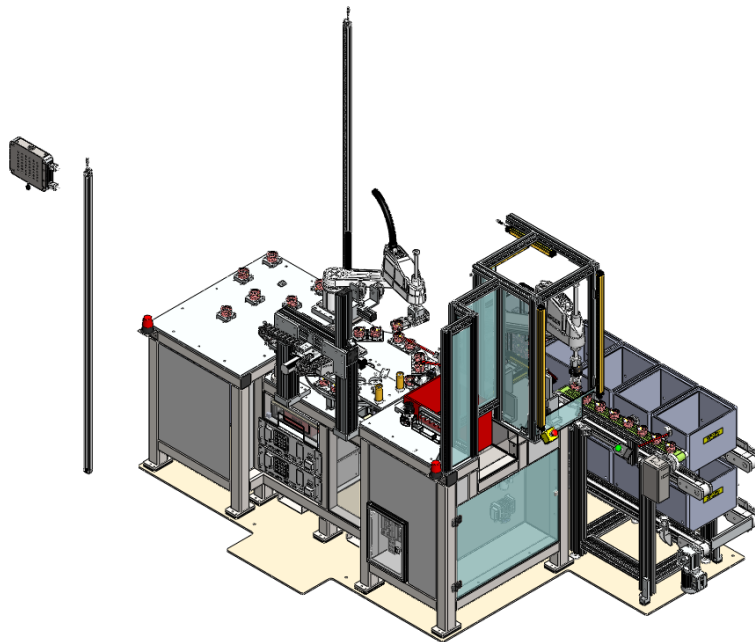


Figura 3.4: Estrutura da solução desenvolvida para o processo requisitado

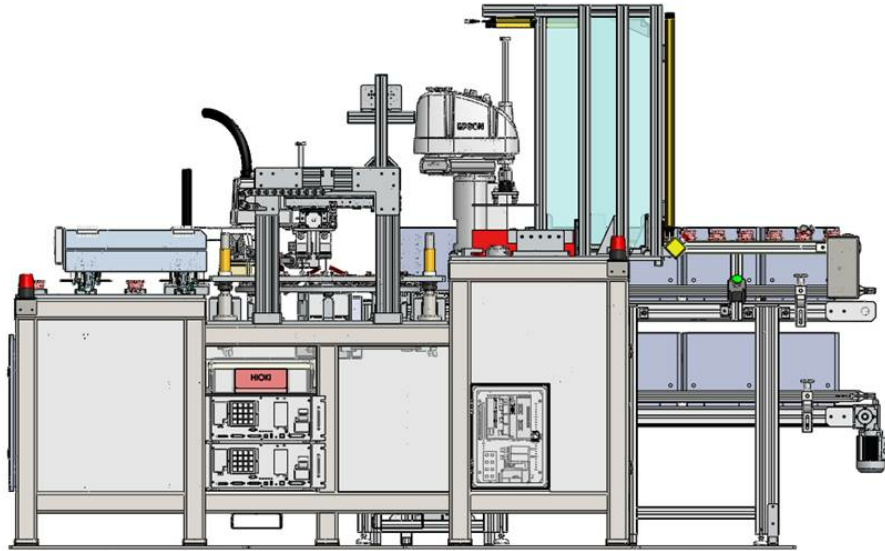


Figura 3.5: Vista principal da estrutura da solução desenvolvida para o processo requisitado

Tal como requisitado pelo cliente, a estrutura da solução desenvolvida é o resultado da agregação de três zonas principais, que são a base do funcionamento de toda a célula. Na Figura 3.6 encontram-se representadas essas mesmas zonas, sendo elas: zona de entrada de peças, zona de testes e zona de saída de peças.

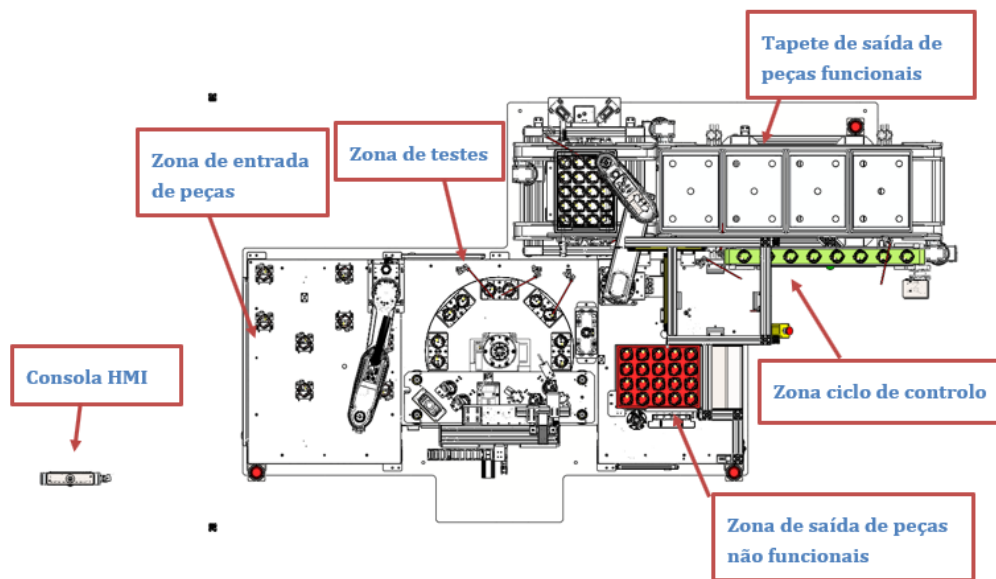


Figura 3.6: Estrutura da solução desenvolvida: zonas de funcionamento

3.2.1 Zona de Entrada

Como já mencionado a solução desenvolvida é parte integrante de uma célula de produção que tem início numa máquina de injeção de peças de que o cliente dispõe. Após a sua injeção e através de um robô Kuka, representado na Figura 3.3 e na Figura 3.7, oito peças são transportadas e descarregadas na zona de entrada do sistema desenvolvido. Nesta zona, encontra-se um *buffer* com oito posições, em cada uma das quais existe um detector que garante a presença da peça, sendo a peça apenas reconhecida se se encontrar correctamente posicionada, Figura 3.8. Desta forma, é possível garantir a presença de peças em todas as posições, o que é essencial para o início de cada ciclo, sendo ainda possível assegurar que o *buffer* se encontra vazio para dar início a um novo ciclo.

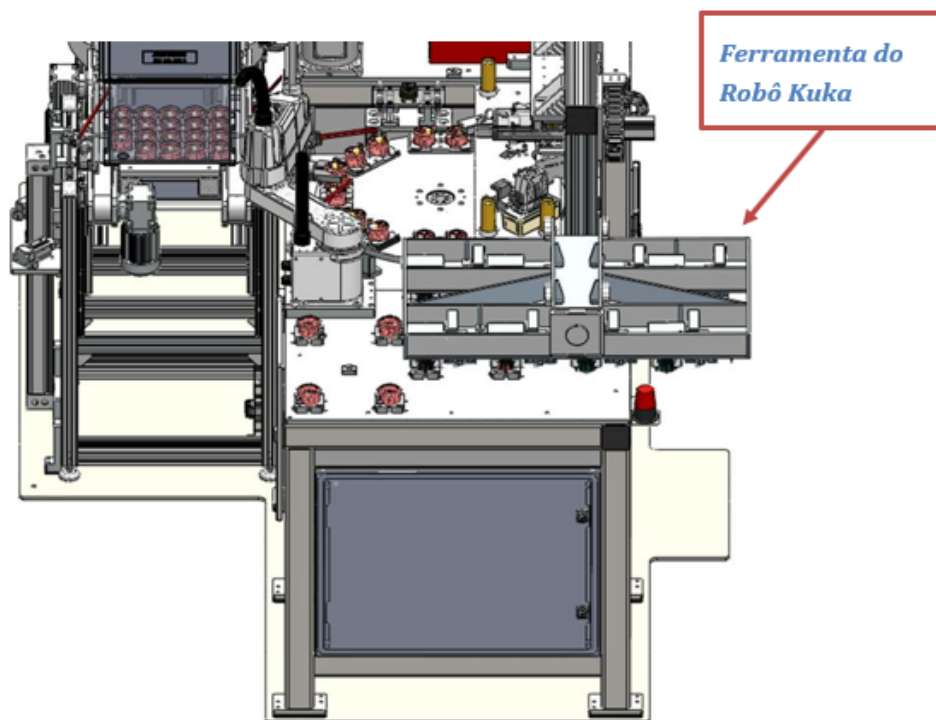


Figura 3.7: Estrutura da solução desenvolvida: descarregamento de peças pelo robô Kuka

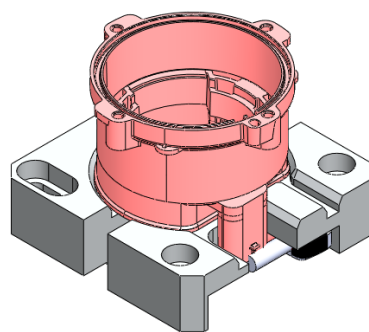


Figura 3.8: Posição da peça na zona de entrada (*buffer*)

Realizado o descarregamento das peças por parte do robô Kuka, garantindo que a sua ferramenta já não se encontra na zona de entrada e que as oito peças se encontram no *buffer* é iniciado o transporte das peças para a zona de teste. Este transporte é realizado por um robô Scara LS6 da Epson através do método *pick and place*, tal como mostra a Figura 3.9.

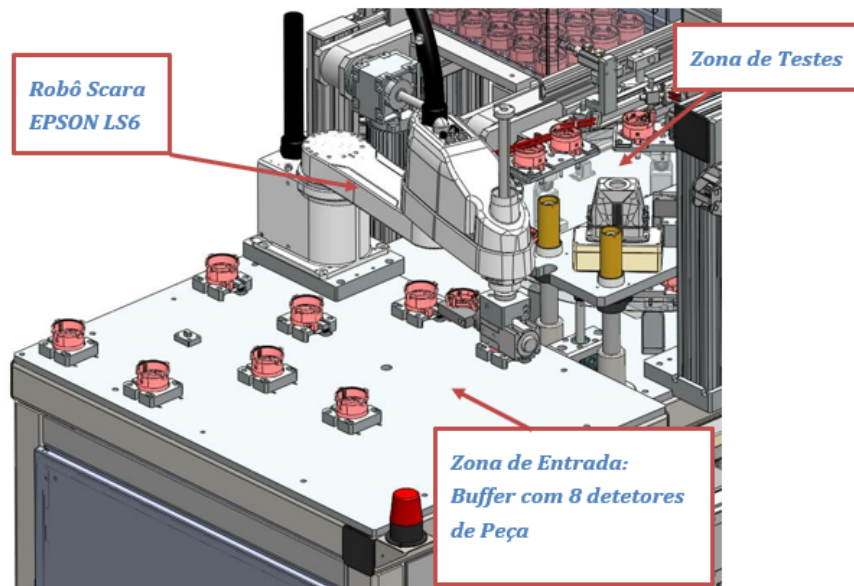


Figura 3.9: Estrutura da solução desenvolvida: transporte das peças do *buffer* de entrada para zona de teste

A ferramenta do robô SCARA LS6 da Epson, para além de um sistema pneumático que permite a abertura e fecho de uma pinça de material plástico, denominada garra, possui também um elemento rotativo, também ele pneumático, que permite a rotação da peça em um ângulo de 180 graus no sentido directo. Assim, o posicionamento da peça sofre alteração em relação à sua posição no *buffer*, tal como fica evidente na Figura 3.10.



Figura 3.10: Orientações da peça durante o sistema

3.2.2 Zona de testes

A zona de testes é constituída por um prato rotativo da marca Weiss que, de forma sequencial e síncrona, faz com que cada peça passe por cada um dos diferentes postos desta zona. Este prato rotativo encontra-se dividido em oito posições, dado que existem oito postos na zona de teste, e cada posição permite a presença de duas peças em simultâneo, tal como demonstra a Figura 3.11. Assim, com todas as posições ocupadas é possível trabalhar com dezasseis peças em simultâneo na zona de teste.

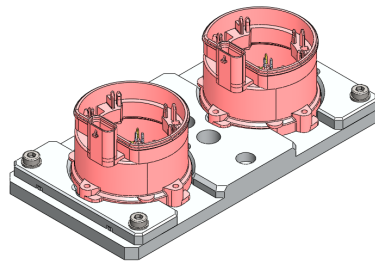


Figura 3.11: Estrutura da solução desenvolvida: uma das oito posições do prato rotativo

A estrutura da zona de testes encontra-se representada na Figura 3.12, sendo de mencionar que os postos dois, três e sete não são utilizados estando reservados para aplicações futuras.

É também de referir que para garantir a presença de peças no posto de entrada, estão aí presentes dois detectores que garantem a chegada das peças ao prato rotativo. Estes são os únicos detectores presentes na zona de testes.

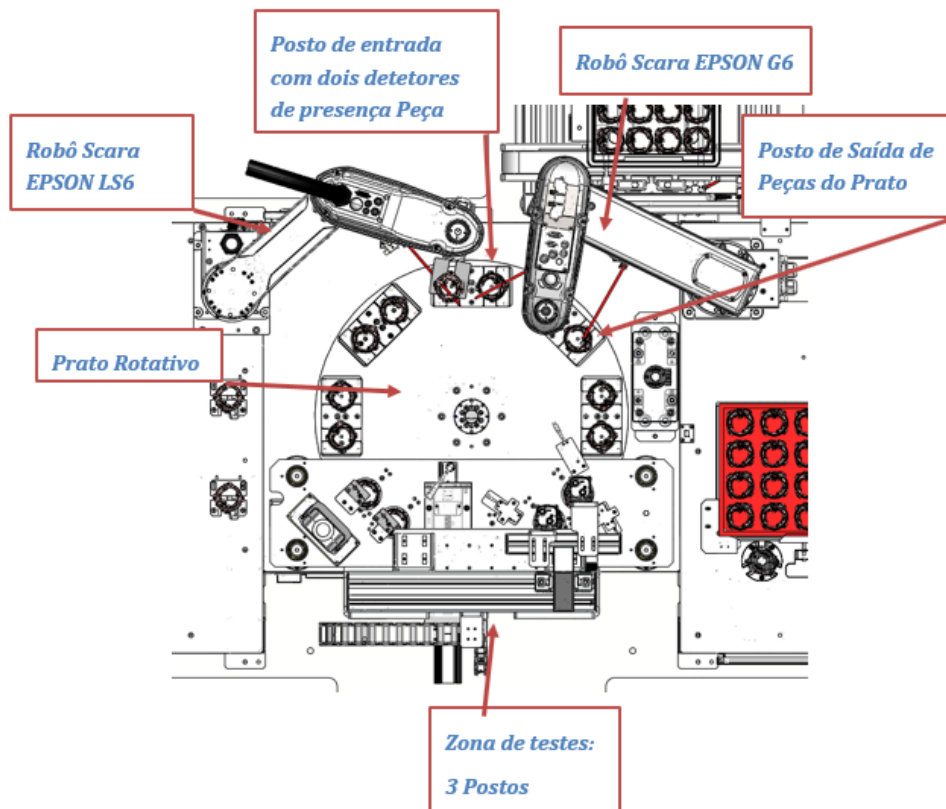


Figura 3.12: Estrutura da solução desenvolvida: zona de testes

Garantida a presença de duas peças no posto de entrada é realizada a rotação do prato. Assim que o prato pára é accionado um detector que informa que a rotação terminou e que o prato parou numa posição segura. Posto isto, é então iniciado o transporte de mais um par de peças, de forma individualizada, por parte do robô Scara Epson LS6 e posteriormente ocorre uma nova rotação. Este processo repete-se sucessivamente, sendo que quando o primeiro par de peças chega ao posto elétrico, aquando da terceira rotação, são iniciados os primeiros testes. Quando dois ou mais testes independentes se encontram a ocorrer no mesmo instante a rotação do prato encontra-se dependente do processo mais lento, só quando este termina é que é realizada nova rotação.

Na Figura 3.13 encontram-se representados os três postos de testes da célula.

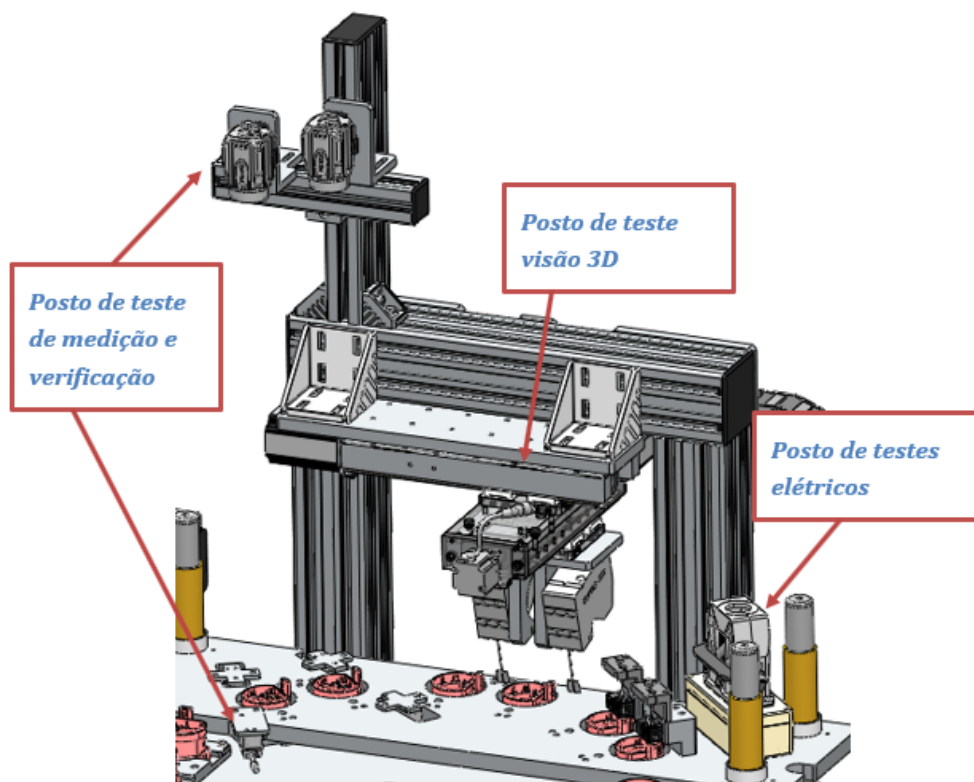


Figura 3.13: Estrutura da solução desenvolvida: postos de testes

No posto do teste eléctrico, é realizado nomeadamente, o teste de continuidade e o teste de isolamento sendo estes abordados na secção 3.3. No seguinte posto é realizado o teste de visão tridimensional, analisado na secção 3.4. No terceiro posto de teste são realizados testes de visão que visam a verificação da presença de determinados furos nas peças e a medição do tamanho de pontos específicos das mesmas. Este posto é também analisado na secção 3.4. Por último, o posto de saída que constitui o ponto de saída da zona de testes.

3.2.3 Zona de saída

O transporte das peças do último posto do prato rotativo para a zona de saída é realizado por um robô Scara G6 da Epson. Este, consoante a conjugação de resultados dos testes realizados, separa as peças colocando-as em caixas presentes na zona de saída. Para peças funcionais, encontram-se uma caixa localizada à direita do robô Scara G6 da Epson e outra para as peças não funcionais, localizada à esquerda do mesmo.

No caso das peças funcionais, está presente um transportador com dois andares, representado na Figura [3.14](#).

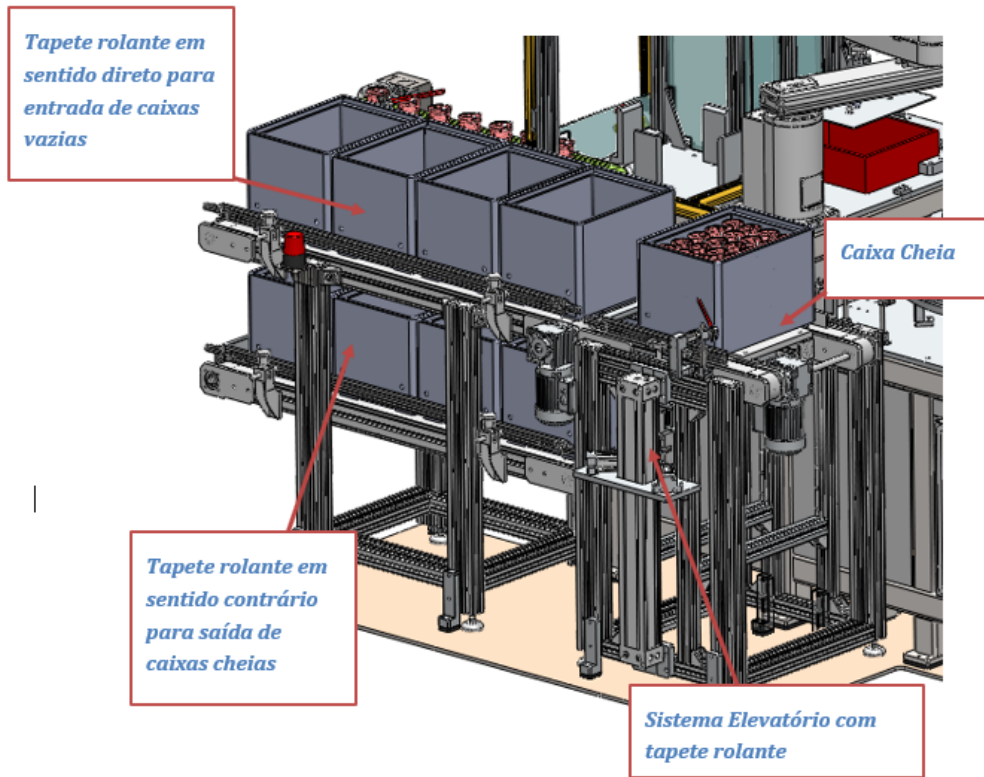


Figura 3.14: Estrutura da solução desenvolvida: transporte de caixa paletizadas de peças funcionais

No andar superior são transportadas, no sentido directo, caixas vazias onde serão paletizadas as peças funcionais. É da responsabilidade do operador colocar as caixas vazias no transportador, até um máximo de 4 caixas em espera. A caixa vazia é então transportada até ser detectada pelos detectores presentes no transportador que a bloqueiam, no sistema elevatório, através de cilindros pneumáticos. Nesse momento inicia-se a paletização das peças funcionais.

Cada uma das caixas tem capacidade para 100 peças divididas em 5 camadas, cada uma das quais com 20 peças. Cada vez que é finalizada uma das camadas, o robô Scara Epson G6, troca a ferramenta da sua extremidade e coloca separadores, previamente colocados pelo operador num local de armazenamento, na caixa. Assim, as camadas de peças em cada caixa ficam divididas por separadores.

Quando a caixa se encontra cheia, ocorre a sua descida no sistema elevatório. Já no andar inferior a caixa é desbloqueada e transportada para fora da célula por outro tapete que funciona no sentido indirecto, representado na Figura [3.15](#).

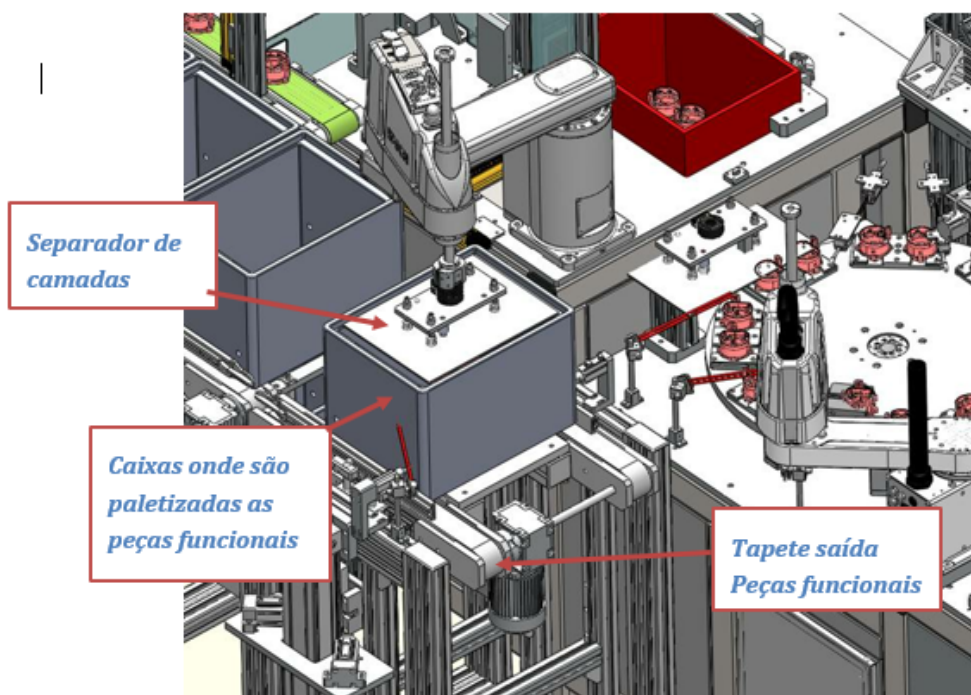


Figura 3.15: Estrutura da solução desenvolvida: zona de saída de peças funcionais

Chegada ao fim do tapete, a caixa é retirada pelo operador.

É de alertar para a importância da escolha adequada do local de fixação do transportador, já que este tem de estar lado a lado com o robô Scara Epson G6, que por sua vez, tem de estar perto de um local de armazenamento de separadores. É ainda de acrescentar que, como a reposição das caixas vazias e dos separadores é realizada por um operador, de modo a aumentar a eficácia de todo o processo, tornou-se necessário colocar detectores e sinalizadores que indicam a necessidade de reposição de *stock*.

Quanto às peças não funcionais, e como já referido, são colocadas numa caixa localizada à esquerda do robô Scara Epson G6, como mostra a Figura [3.16](#).

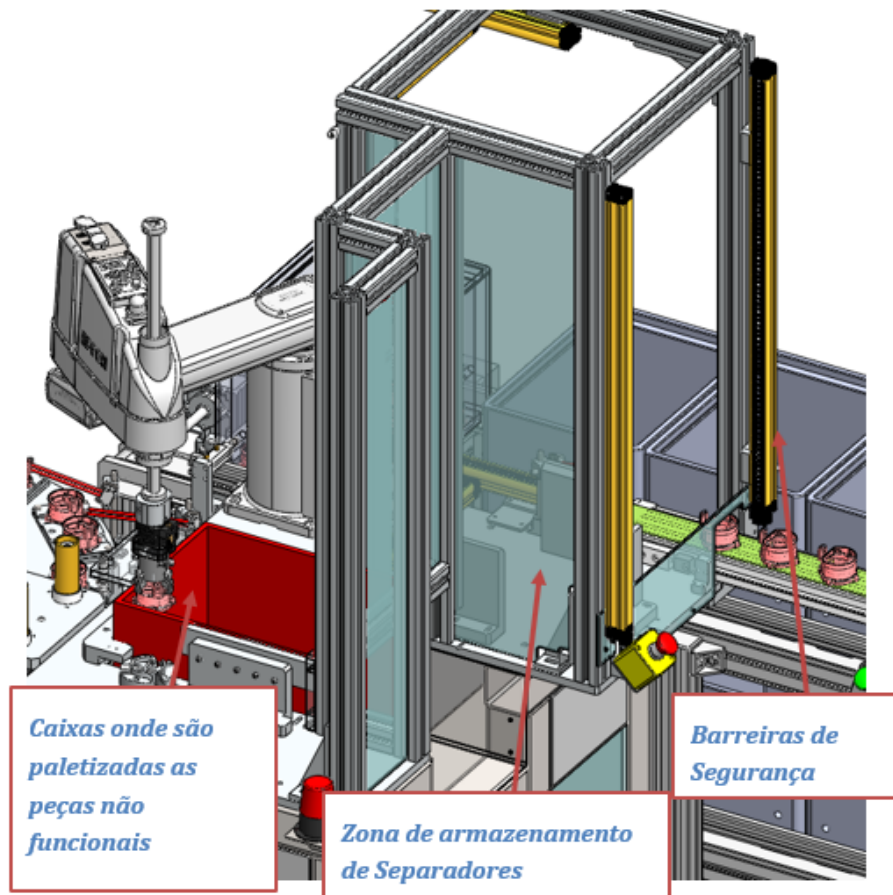


Figura 3.16: Estrutura da solução desenvolvida: zona de saída das peças não funcionais

Estas peças são paletizadas da mesma forma que as peças funcionais, colocando-se separadores entre cada camada.

Neste caso, também existem cilindros pneumáticos, com o intuito de fixar a caixa garantindo assim uniformidade na paletização e detectores, de forma a garantir a presença da caixa no local.

Na Figura [3.16](#), para além do já referido, é também possível observar as barreiras de segurança e o botão de emergência que constituem mecanismos de segurança requeridos pelo cliente para proteger o operador.

Outro requisito do cliente, foi a existência de um ciclo de controlo para a verificação das peças saídas da máquina de injeção, nomeadamente, para avaliar a sua composição controlando a qualidade das peças injectadas. Desta forma, como é apresentado na Figura 3.17, foi criado um botão que ao ser pressionado, o robô Scara Epson G6 retira as oito peças seguintes, correspondentes a um ciclo, no momento da sua saída da zona de testes, para um tapete, apresentado na Figura 3.18, onde o operador avalia a qualidade das peças.

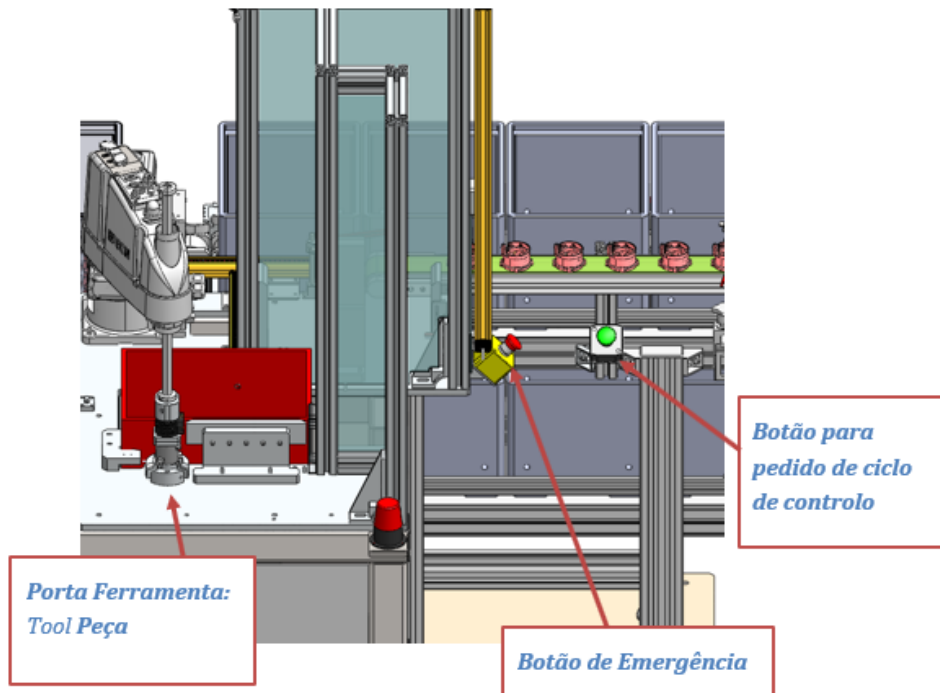


Figura 3.17: Estrutura da solução desenvolvida: botão de pedido de ciclo de controlo de peças

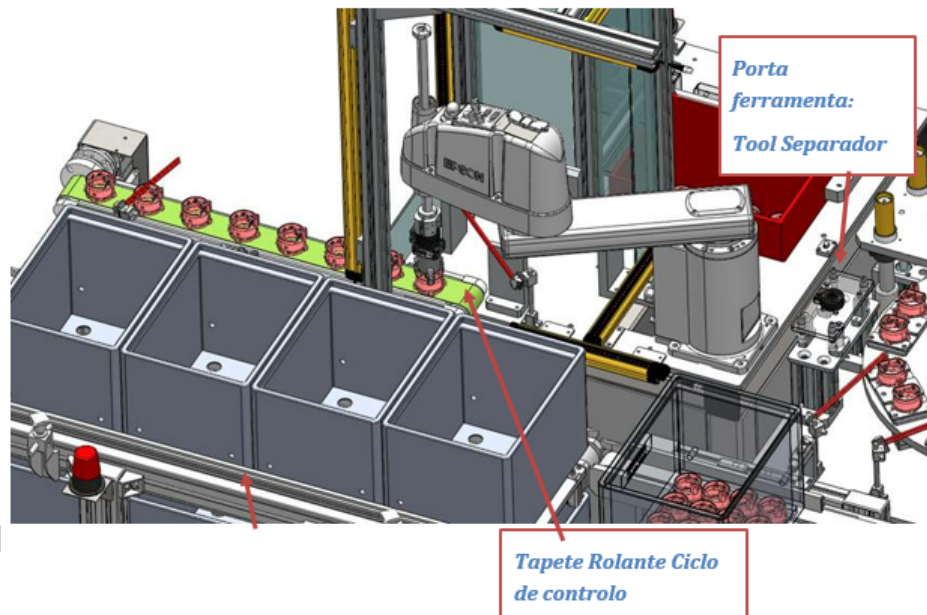


Figura 3.18: Estrutura da solução desenvolvida: tapete do ciclo de controlo de peças

3.3 Teste eléctrico

Um dos requisitos apresentados pelo cliente no caderno de encargos foi a realização de um teste eléctrico à peça produzida, assim o posto do teste eléctrico da zona de testes é destinado a este fim. Na Figura 3.19 é possível visualizar a localização do posto do teste eléctrico .

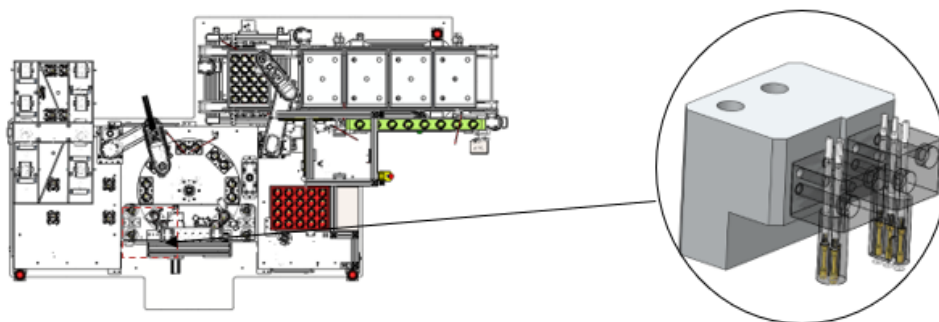


Figura 3.19: Localização no sistema do teste eléctrico

O teste eléctrico pode ser dividido em duas fases: a primeira consiste no teste de continuidade, cujo objectivo é garantir que os pinos dos três insertos se encontram em contacto com a peça plástica; a segunda diz respeito ao teste de isolamento.

A peça produzida pela empresa cliente, apresenta três insertos cada um dos quais contendo dois pinos, um no conector e outro no interior da peça. Como ilustrado na Figura 3.20, pode-se analisar e nomear os três pares de pinos dos insertos da seguinte forma: primeiro par, P1, constituído pelos pinos P1-A e P1-B; segundo par, P2, constituído pelos pinos P2-A e P2-B; terceiro par, P3, constituído pelos pinos P3-A e P3-B.

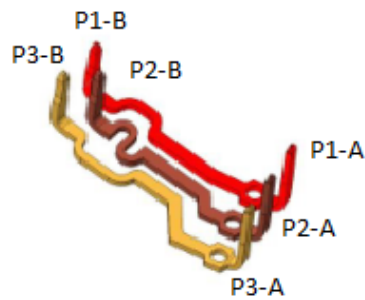


Figura 3.20: Insertos eléctricos da peça

Assim, o teste de continuidade baseia-se na verificação da continuidade eléctrica entre os pinos do mesmo inserto, isto é, entre o pino P1-A e o P1-B, entre o P2-A e o P2-B e por último, entre o P3-A e o P3-B. Assegurando-se o contacto entre os pinos dos três insertos e a peça plástica.

O segundo teste, o teste de isolamento, consiste em verificar se os insertos estão isolados entre si, para isso é medida a resistência devendo esta ser superior a 500 M Ω . Este teste deve ter uma duração aproximada de 1,2 segundos. Na Figura 3.21 encontra-se ilustrado o teste eléctrico.

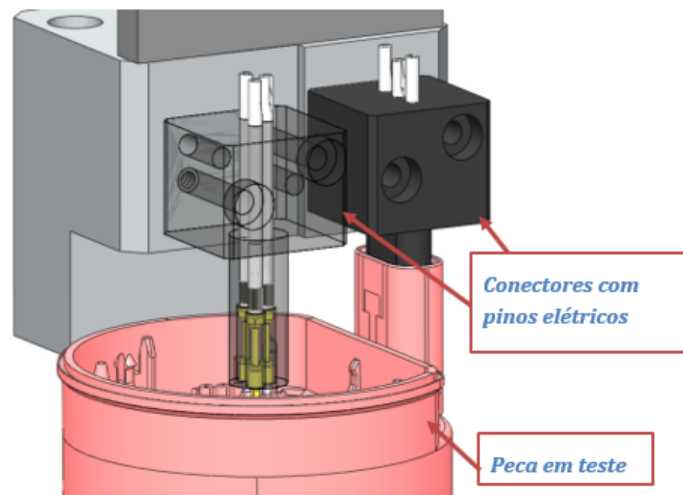


Figura 3.21: Estrutura da solução desenvolvida: teste eléctrico

Os dois testes mencionados previamente, são executados através do aparelho de medição *Insulation Tester* Hioki ST5520, sendo a comunicação entre o PLC *master* do sistema e este aparelho realizada via sinais I/O e RS232.

Para que o teste eléctrico seja executado existe ainda um sistema intermediário entre os insertos e o aparelho referido. Esse sistema será explorado no Capítulo [4](#).

Por fim, é de referir que os pinos utilizados são da marca PTR 1021/G - AX -3.0NA-2.0, sendo possível verificar pela sua referência que são pinos de alta corrente da série 1021/G, com uma cabeça côncava, sendo o 3.0N a capacidade de carga em Newton que o pino concede e o 2.0 o seu diâmetro [3](#).

A Figura [3.22](#) representa uma vista de perfil dos pinos dos insertos da peça a serem testados no posto do teste eléctrico.

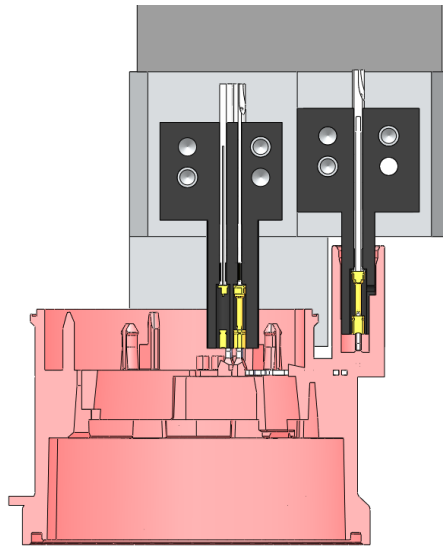


Figura 3.22: Vista de perfil dos pinos a serem submetidos ao teste eléctrico

3.4 Teste Visão

Após a peça ser submetida ao teste eléctrico, são executados dois testes de visão artificial: o teste de visão tridimensional e o teste de visão para medição e verificação das peças plásticas.

O primeiro a ser realizado é o teste de visão tridimensional, executado na quinta posição do prato rotativo, tendo como objectivo avaliar o posicionamento dos insertos e pinos e a presença dos furos da peça. Neste teste o sistema utilizado é da marca Keyence, sendo de referir que a sua programação não é realizada pela empresa WRK, LDA.

De forma sucinta, pode-se referir que neste teste são utilizados dois motores para mover, simultaneamente e através de um movimento de varredura, duas câmaras de visão tridimensional, uma sobre cada uma das peças presentes no posto. O movimento de cada câmara é representado na Figura [3.23](#).

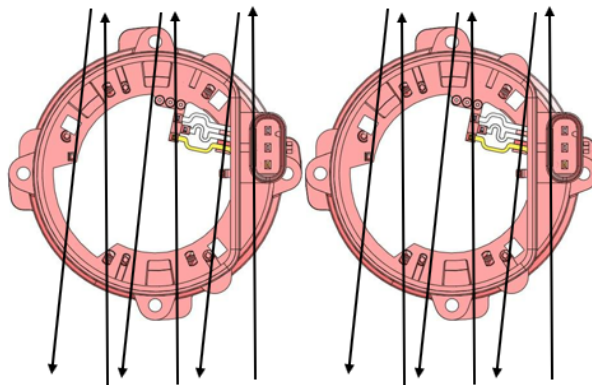


Figura 3.23: Movimento das duas câmaras 3D

Na Figura [3.24](#) é ilustrada a estrutura física deste teste.

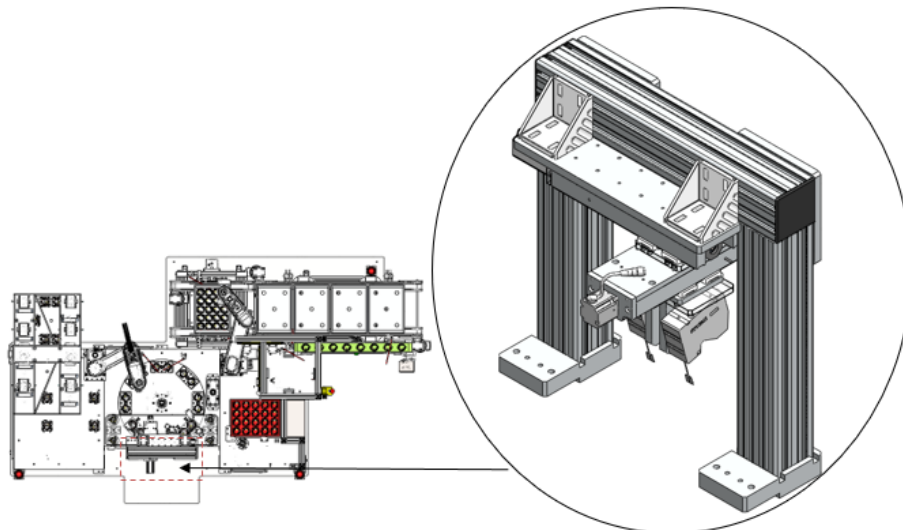


Figura 3.24: Estrutura de visão 3D

A empresa contratada para a programação do teste de visão tridimensional optou por dividir a peça em três zonas, tal como ilustrado na Figura [3.25](#), analisando dessa forma todos os pontos necessários. No final é enviado o resultado da análise realizada em cada zona, sendo o resultado final do teste uma conjugação da avaliação das três zonas. Ou seja, só com três sinais "Ok" é que a peça é considerada funcional. Assim é importante acrescentar, caso este teste falhe, é possível saber qual a zona da peça em que se encontra a falha.

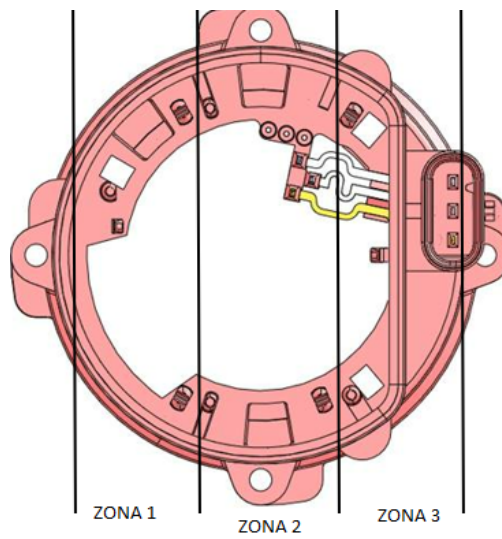


Figura 3.25: Divisão por zonas da peça a ser testada na visão 3D

Na Figura 3.26 encontra-se um exemplo de um dos pontos que se pretende medir na peça através do teste de visão tridimensional.

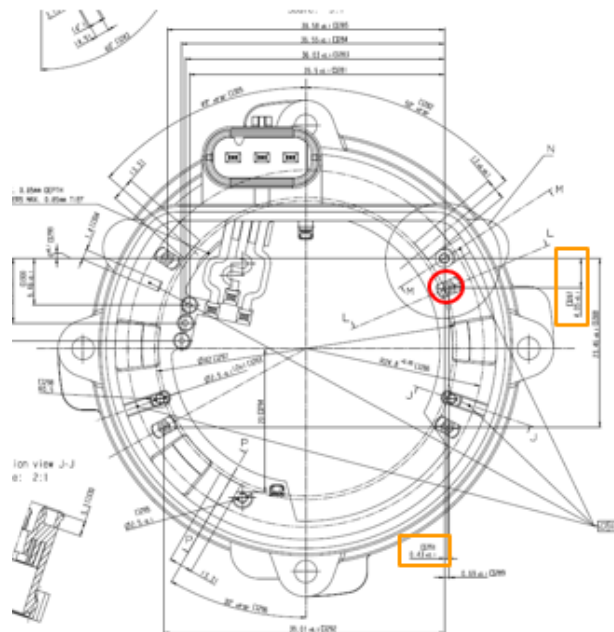


Figura 3.26: Exemplo de cotas de medição de pontos da peça

Posteriormente, através de um meio de comunicação *Ethernet/IP*, o PLC utilizado como *master* do sistema obtém os resultados do teste realizado e classifica as peças em funcionais ou não funcionais.

Por fim temos o último teste, o teste de verificação e medição. Ao contrário do teste apresentado anteriormente, este é programado pela WRK, LDA e tem como primeiro objectivo verificar se todos os furos da peça se encontram totalmente passantes. Como mostra a Figura 3.27, neste teste é realizada a verificação de quatro furos exteriores e três furos interiores, através de duas câmaras Keyence IV-500MA. É importante acrescentar, que caso o teste falhe pela ausência de um dos furos é possível saber qual o furo que faltou para a peça ser considerada não funcional.

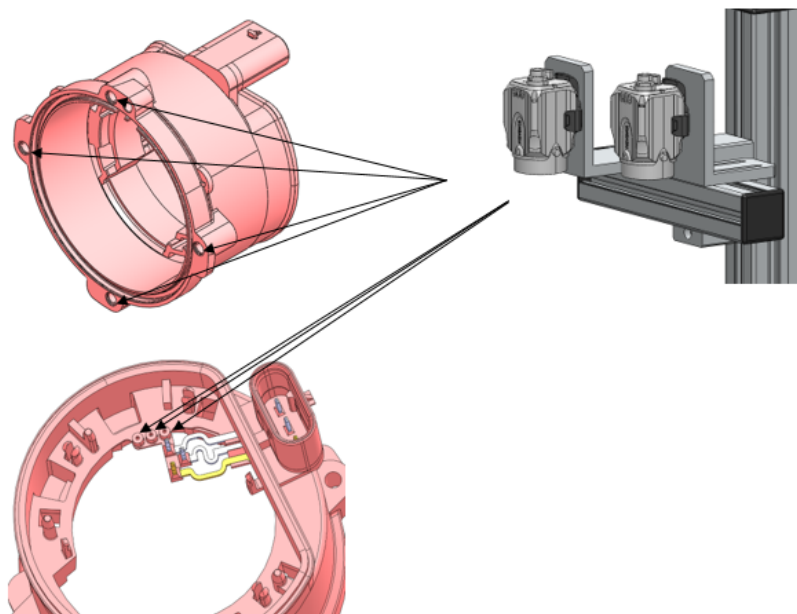


Figura 3.27: Teste da furação da peça

O segundo objectivo do teste passa pela medição da altura da base da peça, através de um feixe laser, tal como ilustrado na Figura 3.28. O sistema responsável por essa medição é o aparelho IG-010 da marca Keyence.

Em ambos os testes é utilizado o meio de comunicação *Ethernet/IP* para comunicar com o PLC *master* do sistema.

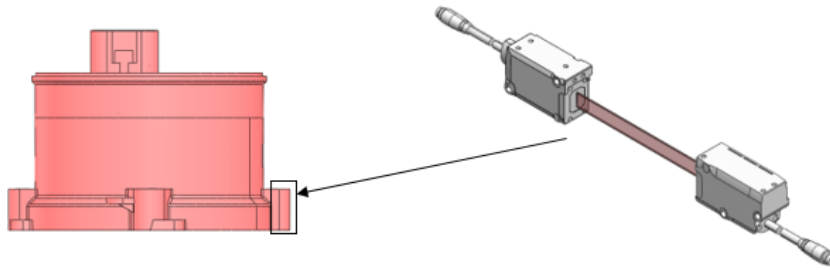


Figura 3.28: Teste da medição da peça

Capítulo 4

Arquitectura do sistema desenvolvido

Neste capítulo é exposta a arquitectura do sistema desenvolvido como solução para a requisição do cliente. Assim, é realizada uma descrição de cada componente do sistema, são abordados os materiais utilizados no seu desenvolvimento e são ainda apresentados os procedimentos adoptados para a execução de todo o projecto.

O sistema desenvolvido é o resultado de múltiplas interacções e do entrosamento de vários componentes e materiais, tendo sido essencial na sua execução a integração de *hardware* e o desenvolvimento de *software* de controlo adequado. Tal como esquematizado na Figura 4.1, este tem como componente central o PLC Omron CJ2M que comunica com os diferentes componentes do sistema, nomeadamente, com o PLC *master* da célula de produção, com os dois robôs *pick and place*, com o prato rotativo e os motores do transportador, com os dispositivos utilizados nos testes eléctricos, com os dispositivos e motores do sistema de visão, com a consola HMI e ainda com os componentes responsáveis pela segurança do sistema. Assim, o PLC é usado como unidade inteligente, permitindo coordenar, comandar e monitorizar todo o sistema.

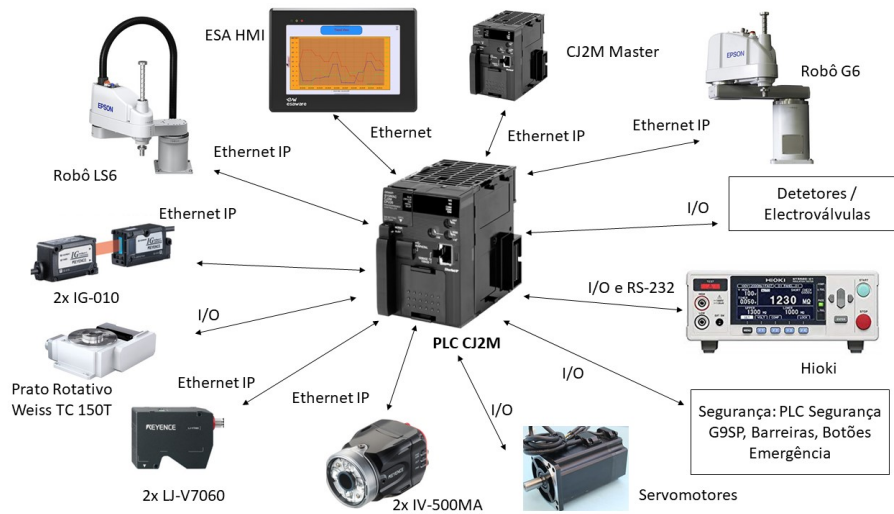


Figura 4.1: Representação da arquitetura do sistema

4.1 PLC

Na gestão do projecto do sistema, foi necessário considerar todos os elementos que o constitui, assim como os meios de comunicação que interligavam os constituintes do sistema. Deste modo, foi necessário definir a unidade de controlo tendo em conta que esta teria de incorporar o módulo de comunicação escolhido ou de oferecer a possibilidade de comunicação através de todos os protocolos, sendo uma solução viável no sistema. Face a isto, a unidade de controlo escolhida foi o modelo CJ2M da Omron, ilustrado na Figura 4.2 e cujas características se encontram detalhadas na Tabela 4.1.



Figura 4.2: Representação do PLC CJ2M da Omron

Tabela 4.1: Características do PLC CJ2M

PLC	
Modelo	CJ2M-CPU33
Expansões	CJ1W-ID262; CJ1W-ID232; CJ1W-OD262; CJ1W-OD232; CJ1W-DA041;
Total Entradas Digitais	64+32= 96 (PNP)
Total Saídas Digitais	64+32= 96 (PNP)
Total Saídas Analógicas	4 (0-10 V)
Protocolo de comunicação	Ethernet/IP; USB + serial comm. option slot
Velocidade execução	40ns
Total max. Rungs	20 000
Software de Programação	Cx-Programmer

O PLC utilizado possui então canais de comunicação que permitem que seja possível conectá-lo a todos os elementos do sistema, seja por meio de entradas e saídas, através do protocolo RS-232 ou por meio do protocolo de comunicação *Ethernet*, podendo o fabricante acoplar os elementos necessários de acordo com o meio de comunicação que pretender.

Neste caso, recorreu-se ao protocolo de comunicação *Ethernet IP*, um meio de comunicação *Ethernet* em tempo real e com elevada dinâmica, para o PLC realizar o comando dos dois robôs e dos dispositivos dos sistemas de visão e estabelecer comunicação com o PLC *master*. Já os servomotores associados ao sistema de visão e os servomotores do transportador das peças funcionais, são controlados pelo PLC através da comunicação estabelecida por meio de entradas e saídas. Num misto entre entradas e saídas e protocolo RS-232 ocorre a comunicação com o dispositivo Hioki.

Assim sendo foi necessário acoplar ao PLC expansões de entradas digitais e saídas digitais e analógicas. Na Figura [4.3](#) encontra-se representada a configuração deste *hardware* do PLC utilizando *software de programação CX-programmer* da Omron.

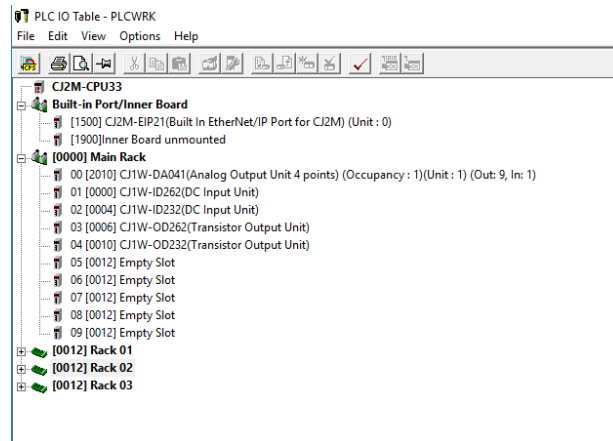


Figura 4.3: Representação da configuração de *hardware* do PLC

Para a comunicação com o aparelho Hioki, foi ainda acoplado ao PLC o módulo CJ1W-CIF01, representado na Figura 4.4, que habilita o PLC a comunicações RS-232.



Figura 4.4: Representação do módulo CJ1W-CIF01, RS-232 Omron

4.2 Prato rotativo e motores do transportador

O prato rotativo é um elemento essencial em todo o sistema pois garante a sequencialização de todos os postos presentes na zona de teste. O modelo utilizado para esse fim foi o TC 150 da marca Weiss que se encontra representado na Figura 4.5. Este possui um variador de frequência com alimentação trifásica e um controlador próprio com um consumo de 0,045-0,12 kW com alimentação 24 V DC.



Figura 4.5: Representação do prato rotativo Weiss

Este controlador é, por sua vez, controlado pelo PLC do sistema através de sinais digitais. Na Figura [A.1](#), presente no Anexo [A](#), encontra-se representado o esquema de ligações entre o prato rotativo e o PLC do sistema.

Associado ao prato rotativo está o transportador cujo movimento é assegurado por três motores da marca SEW Eurodrive, representados na Figura [4.6](#) [\[32\]](#).

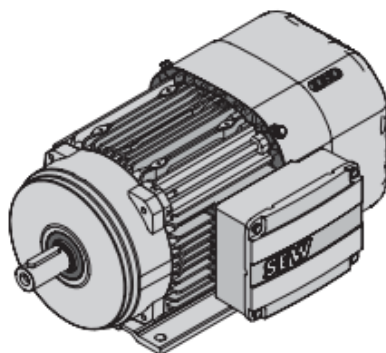


Figura 4.6: Representação do motor SEW Eurodrive

O controlo destes motores é feito pelo variador de frequência da marca Bonfiglioli, modelo S2U Standart, representado na Figura [4.7](#) [\[33\]](#).



Figura 4.7: Representação do variador de frequência Bonfiglioli S2U Standart

4.3 Sistema para o teste eléctrico

Com o intuito de realizar o teste eléctrico, apresentado na secção 3.3, foi necessário proceder à implementação de *hardware* no sistema. Dado que o cliente requisitou a utilização do modelo ST5520 da marca Hioki, representado na Figura 4.8, foi este o aparelho utilizado para esse fim.

ST5520 **HIOKI**
ST5520-01 Instruction Manual
INSULATION TESTER



Figura 4.8: Representação do modelo ST5520 da marca Hioki

Pelas suas características, apresentadas na Figura 4.9, este respeita todos os requisitos do cliente para o teste eléctrico, de que é exemplo a obrigatoriedade da realização do teste de isolamento a 1000 V, o que o torna uma escolha viável 5.

Measurement items	Insulation resistance (Applied DC voltage method)
Testing voltage	(Measurement range: AUTO/MANUAL setting is possible) $25\text{ V} \leq V < 100\text{ V}$ (2.000/20.00/200.0 M Ω), $100\text{ V} \leq V < 500\text{ V}$ (2.000/20.00/200.0/2000 M Ω), $500\text{ V} \leq V \leq 1000\text{ V}$ (2.000/20.00/200.0/4000 M Ω)
Basic accuracy	$\pm 2\%$ rdg. ± 5 dgt. $25\text{ V} \leq V < 100\text{ V}$ [0 to 20 M Ω] $100\text{ V} \leq V < 500\text{ V}$ [0 to 20 M Ω] $500\text{ V} \leq V \leq 1000\text{ V}$ [0 to 200 M Ω]
Measurement speed	Fast: 30 ms/time, Slow: 500 ms/time (selectable)

Figura 4.9: Características do modelo ST5520 Hioki

Contudo, aquando do estudo do aparelho, foi observado que este apenas apresenta um canal para testes, tal como mostra a Figura B.2 no Anexo B. Como explicado na secção 3.3, é necessário realizar testes em três insertos, contendo cada inserto dois pinos, tal perfaz um total de 6 pinos por peça 5. Após a identificação desta limitação foram analisadas outras alternativas, dentro da marca Hioki, nomeadamente, aparelhos com mais canais de teste. No entanto, nenhuma das soluções encontradas foi financeiramente viável para o cliente. Assim sendo, a solução passou por implementar uma placa de circuito impresso em que, por meio da comutação através de relés, os canais de teste do aparelho Hioki alternam por cada pino de cada inserto.

Em contacto com cada pino da peça foi ainda necessário colocar um pino eléctrico, PTR 1021, representado na Figura 4.10, para permitir a comunicação entre os pinos da peça e a placa de circuito impresso.



Figura 4.10: Representação do pino PTR 1021 3

Cada um desses pinos encontra-se por sua vez ligado, através de um cabo com secção de 1,5 mm, a uma ficha denominada Harting. É importante referir que a secção do cabo foi determinada através de uma tabela, em que, consoante o comprimento do cabo e potência instantânea pretendida, é determinada a secção do cabo. Assim, através do manual do aparelho Hioki ST5520, verificou-se que este debita uma corrente máxima de 10 mA, sendo que se pretende que o teste de isolamento seja realizado a uma tensão de 1000 V, obtém-se uma potência instantânea pretendida de 10 W. O comprimento de cabo necessário é de 5 m, chegando-se ao valor de 1,5 mm para a secção do cabo 34.

A ficha Harting, surge para facilitar o transporte, manuseamento e manutenção do sistema ao permitir facilidade na conexão e desconexão de cabos, ao proteger as duas interfaces e ao garantir uma transmissão de energia segura, mesmo em condições adversas. Esta última vantagem advém do facto de esta ficha ser resistente ao pó, às vibrações, a tensões mecânicas elevadas e ainda ser impermeável até ao grau de protecção IP69K. Para reduzir ainda o risco de falha de componentes e, conseqüentemente, o tempo de inactividade desnecessário, a base de conexão da ficha foi fixada a uma caixa de terminais poliéster da gama MGRP da marca Eldon, que apresentam um grau de protecção IP 66, 67.

O sistema encontra-se representado na Figura [4.11](#).

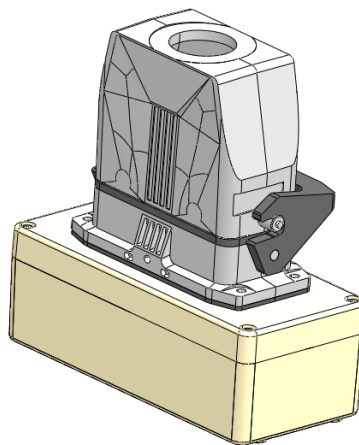


Figura 4.11: Representação da ficha Harting conectada a uma caixa de terminais em poliéster

Para a escolha da ficha Harting mais adequada recorreu-se à empresa Phoenix Contact, que possui no seu *site* um configurador que torna mais simples a selecção de uma solução à medida do cliente. Assim, foi escolhida uma ficha do tipo modular, dado serem necessárias 12 ligações e esta se encontrar dividida para quatro conectores cada um dos quais com três pólos de potência do tipo pino, tal como mostra a Figura [4.12](#).

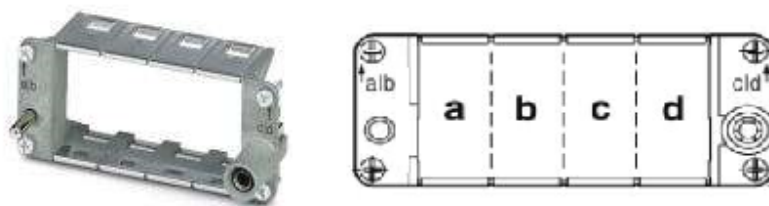


Figura 4.12: Representação base da ficha Harting

Os conectores utilizados, de referência HC-M-03-CT-M, representados na Figura 4.13, têm como principais características suportarem um máximo de 690 V, 40 A e uma potência instantânea de 10 kW. Um aspecto importante na sua escolha foi a distância entre os centros das suas furações, valor normalmente referido como *pitch*, que nestes conectores é de 7,5 mm. Contudo, é de referir que embora este conector não suporte os 1000 V requeridos para o teste eléctrico trata-se do conector que suporta maior tensão e, por outro lado, como a corrente para o teste de isolamento não é superior a 10 mA e o conector fornece 40 A, este é um conector viável nesta situação.



Figura 4.13: Representação do conector presente na ficha Harting

Por fim, foi apenas escolhida a caixa exterior e a carcaça da ficha, representadas na Figura 4.14. Ambas são em alumínio, com tamanho B16, e possuem um tipo de conexão para parafuso M32 que permite a passagem de 12 cabos de 1,5 mm de secção.

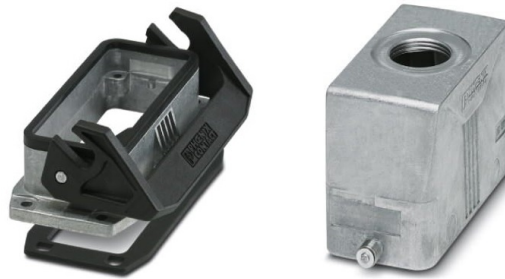


Figura 4.14: Representação da carcaça e da caixa exterior da ficha Harting

Estabelecida a forma, segura e flexível, de conectar os pinos da peça e o aparelho Hioki, tornou-se necessário focar na placa de circuito impresso para a comutação dos canais de teste por cada pino eléctrico conectado aos pinos de cada inserto.

Assim sendo, foi necessário encontrar um relé com funcionamento a 24 V que possuísse um *Switching Voltage* superior a 1000 V. Como o tempo de ciclo do sistema é reduzido, testadas 8 peças em 40 segundos, foi também importante ter em atenção o tempo da operação de comutação do relé. Desta forma, foi utilizado o relé Meder electronic HM24-1A83-02 A4/8, representado na Figura 4.15. Este possui um *Switching Voltage* de 7,5 kV, *OperatingTime (max.)* de 3,0 ms e um *Release Time (max.)* de 1,5 ms [35].



Figura 4.15: Representação do Meder electronic HM24-1A83-02 A4/8

Para dimensionar correctamente a largura das pistas da placa de circuito impresso, foi utilizado o *software* Saturn PCB Design. Este trata-se de um *software*

que segue as normas IPC-2152, *Standard for Determining Current-carrying Capacity in Printed Board Design* da *Association Connecting Electronics Industries*. Para as características principais pretendidas, uma tensão de 1000 V e uma corrente máxima de 10 mA, este *software* considera necessário uma largura de pista superior a 2,5050 mm, distância mínima para uma tensão superior a 500 V, como mostra a Figura 4.16.

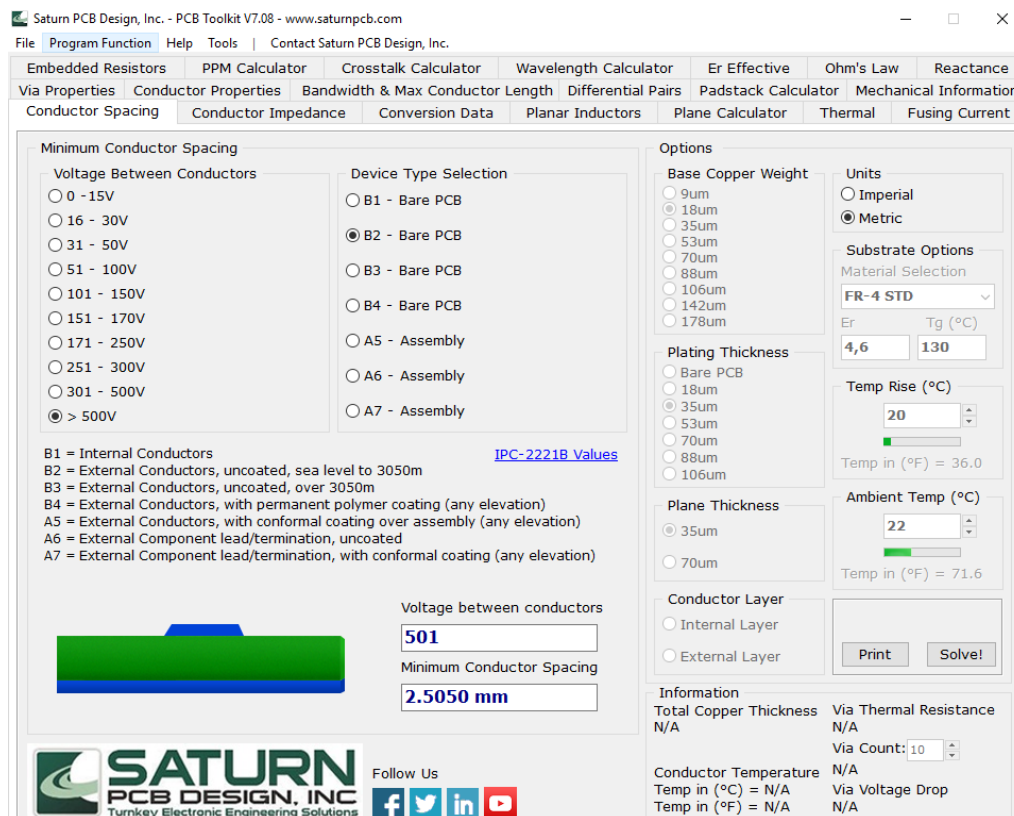


Figura 4.16: Representação do *software* Saturn PCB Design: determinação da largura das pistas

Com a utilização do relé da Meder electronic, que possui um tamanho considerável, a placa de circuito impresso adquiriu também uma dimensão considerável. Assim, visto que o tamanho da placa de circuito impresso já seria grande, por razões de segurança e de forma a tornar o sistema mais viável, optou-se por uma largura de pista de 5 mm, em vez do valor mínimo estabelecido (2,5050 mm).

Para a conexão dos fios que interligam a ficha Harting à placa de circuito impresso, foi ainda necessário encontrar conectores específicos para as características do teste. Assim com um *pitch* de 7,5 mm, que tem em conta os 5 mm de largura de pista, e com capacidade de suportar 1000 V e uma corrente de 41 A, a

ficha de conexão 1792245, da Phoenix Contact, representada na Figura 4.17, foi a solução utilizada [35].



Figura 4.17: Representação da ficha 1792245 da Phoenix Contact

Assim, foi projectada a placa de circuito impresso, utilizando o *software Ki-cad*, estando o seu esquema eléctrico representado na Figura A.2 no Anexo A. De salientar que a placa de circuito impresso possui doze relés para realizar a comutação dos doze pinos das duas peças presentes na zona de teste eléctrico. Assim a activação de cada saída do PLC permite a comutação de uma ponta de prova para um pino específico. São assim utilizadas doze saídas do PLC, tendo sido necessário utilizar conectores de 24 V para interligar estas saídas.

No final, foram soldados os componentes na placa, encontrando-se na Figura 4.18 a imagem da placa desenvolvida. De salientar que a placa de circuito impresso encontra-se isolada dentro de uma caixa de terminais poliéster de dimensões 250x400x120 mm para protecção do sistema.

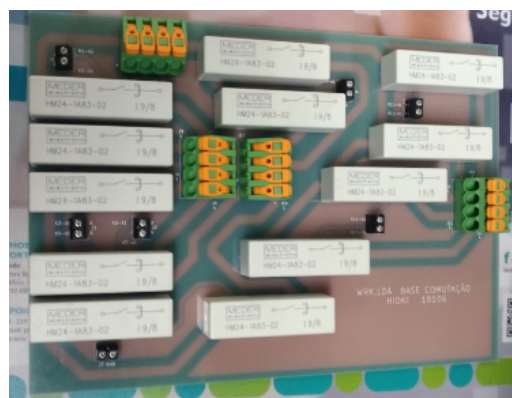


Figura 4.18: Foto real do lado superior da placa de circuito impresso desenvolvida

Uma imagem real dos pinos, cabos, ficha Harting e caixa de terminais, que se encontram visíveis e mais próximos das peças de teste, encontra-se na Figura [4.19](#).



Figura 4.19: Foto real do sistema para o teste eléctrico

4.4 Motores do sistema de visão

Como referido na secção [3.4](#), no sistema de visão são utilizados dois motores responsáveis por movimentar, simultaneamente, os dispositivos responsáveis por realizar uma medição tridimensional das peças que se encontram a ser testadas. Os motores utilizados para este fim são da marca Sanyo Drive, modelo PB604FCK30-M encontrando-se as suas características na Tabela [4.2](#)

Tabela 4.2: Características do motor da marca Sanyo Drive, PB604FCK30-M

Motor	
<i>Modelo</i>	PBM604FCK30-M
<i>Série</i>	PBM
<i>Tamanho do Motor</i>	60 mm
<i>Comprimento do motor</i>	4 mm
<i>Fonte de tensão</i>	230 V AC
<i>Tipo de Encoder</i>	16000 p/r
<i>Holding Torque</i>	1.9 N.m

Por sua vez, para controlar estes motores, é utilizado o *drive* PB4A002R301, cujas características são apresentadas na Tabela 4.3

Tabela 4.3: Características do *drive* PB4A002R301

Drive	
<i>Modelo</i>	PB4A002R301
<i>Série</i>	PB
<i>Número de controlo de eixos</i>	1
<i>Interface comunicação</i>	I/O, RS-485
<i>Encoder</i>	16000 p/r, optical incremental
<i>Input power supply</i>	Single phase 200V to 230V
<i>Power supply current</i>	2.5 A
<i>Control method</i>	PWM control;

Na Figura 4.20 encontra-se o motor Sanyo Drive, modelo PB604FCK30-M e o *drive* utilizado para o seu controlo [36].



Figura 4.20: Representação do motor Sanyo Drive, modelo PB604FCK30-M e do *drive* PB4A002R301

Este *drive* enquadra-se numa gama da Sanyo Drive denominada *The closed loop stepping system SANMOTION*, que combina a facilidade do uso de um motor de passo e a confiabilidade dos servomotores. O controlo em malha fechada é baseado no *feedback* dado pelo *encoder* acoplado ao motor de passo. Desta forma, a marca oferece um sistema mais confiável e altamente eficiente comparativamente aos sistemas de passo em malha aberta. Na Figura 4.21 encontra-se uma representação do sistema de controlo em malha fechada [37].

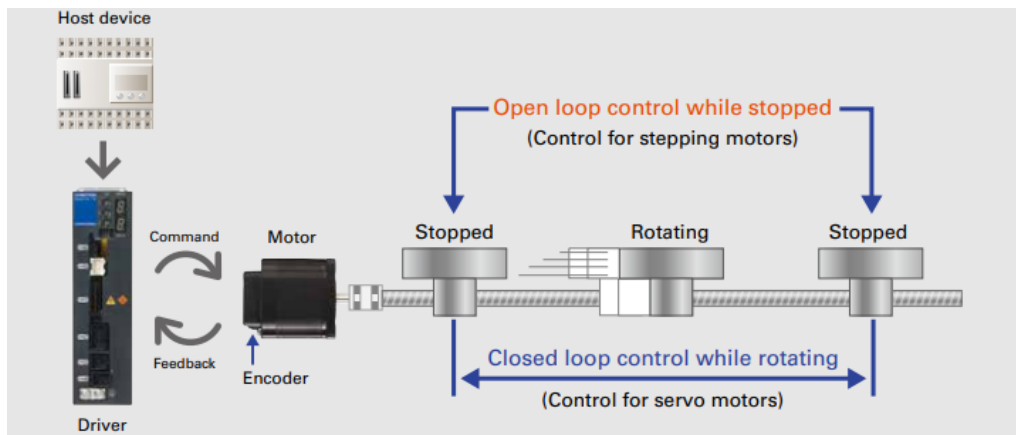


Figura 4.21: Representação do sistema de controlo em malha fechada do *drive* PB4A002R301 da Sanyo Drive

Abordando agora a programação dos motores do sistema de visão, é de mencionar que esta é realizada através do *SANMOTION Model No. PB Setup software* que permite a parametrização das características e a programação dos seus movimentos dos motores, sendo também utilizado para programar o movimento *home*. Utilizando este *software* são criados programas, que corresponde a uma sequência de ações e posições que o motor deve realizar, que, através de entradas digitais de acordo com o que se pretende em cada instante, vão sendo accionados. O mesmo se verifica na ordem de *home*.

Na Figura 4.22 encontra-se representado um exemplo de um programa realizado no SANMOTION Model No. PB *Setup software*.

	CODE	NAME	DATA
0	30	Relative Drive 2	1000 / 20 / 20 / 2000 / 0 / 16
1	108	In-Position Jump	TRUE (if Out-Position) / 1
2	107	TIMER WAIT	300
3	30	Relative Drive 2	300 / 5 / 5 / -2000 / 0 / 16
4	108	In-Position Jump	TRUE (if Out-Position) / 4
5	106	END	
6			
7			

Figura 4.22: Exemplo de um programa criado no SANMOTION Model No. PB *Setup software*

Na Figura 4.27 é apresentada a aplicação dos motores Sanyo Drive, modelo PB604FCK30-M no sistema de visão tridimensional.

4.5 Dispositivos do sistema de visão

Como parte integrante do sistema de visão tridimensional, acoplado aos motores anteriormente abordados, encontra-se o sistema Keyence LJ-V7060, que se encontra representado na Figura 4.23. Este sistema trata-se de um sensor de medição tridimensional a laser que actua realizando movimentos de varredura sobre as peças [30].



Figura 4.23: Sistema Keyence LJ-V7060

Este sistema é conectado ao controlador principal do sistema de visão tridimensional, o controlador da marca Keyence, modelo CV-X480F, que se encontra representado na Figura 4.24.



Figura 4.24: Controlador principal da marca Keyence, modelo CV-X480F

Como a medição é realizada através de movimentos, o sistema utiliza o *feedback* de um *encoder*, marca Keyence modelo CA-EN100U, representado na Figura 4.25, que é acoplado aos eixos mecânicos dos motores.



Figura 4.25: *Encoder relay unit* CA-EN100U da marca Keyence

A decodificação dos sinais emitidos pelo *encoder* é realizada pelo controlador CA-E100LJ da marca Keyence, representado na Figura 4.26, que se encontra acoplado ao controlador principal.



Figura 4.26: Unidade de controlo CA-E100LJ da marca Keyence

A Figura 4.27 mostra a implementação real de todo o sistema de visão tridimensional.

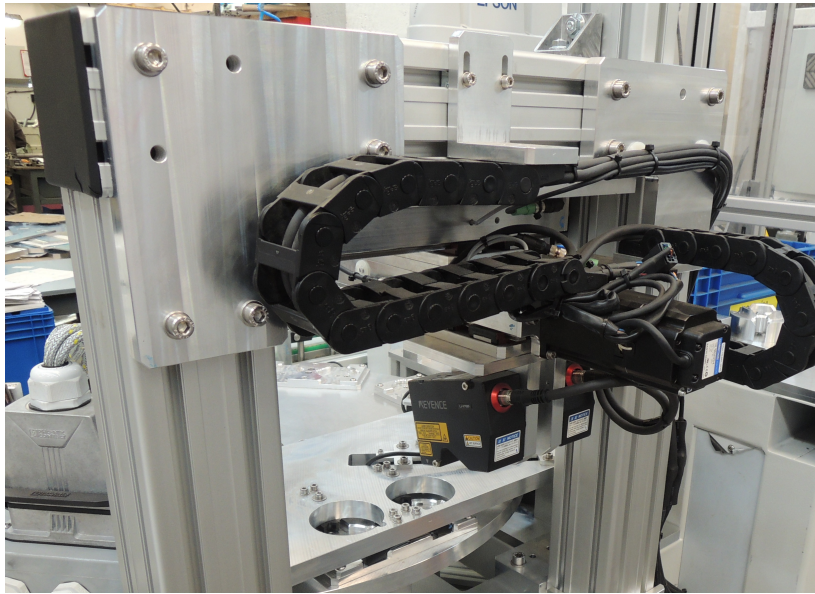


Figura 4.27: Estrutura real do sistema de visão tridimensional

Para o teste de verificação da presença de furos são utilizadas duas câmaras IV-500MA da marca Keyence, cuja representação conjuntamente com a distância de funcionamento ideal se encontra na Figura 4.28 [31].

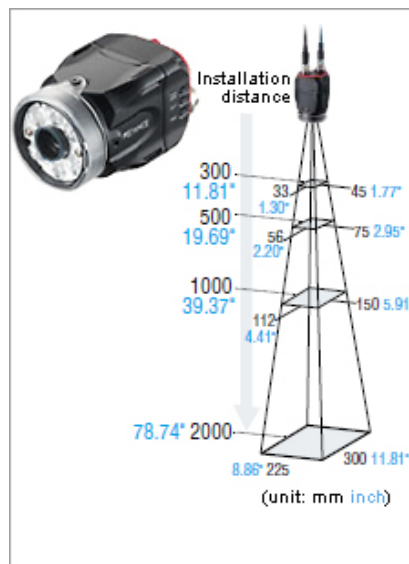


Figura 4.28: Sistema IV-500MA da marca Keyence e sua distância de funcionamento ideal

O teste de medição da altura dos conectores das peças é realizado pelo sistema IG-010 da marca Keyence, o qual se encontra representado na Figura [4.29](#).



Figura 4.29: Sistema IG-010 da marca Keyence

O seu funcionamento baseia-se na utilização de dois amplificadores laser, um emissor e outro receptor. A peça a ser medida deve ser colocada entre ambos de forma a interromper o feixe laser. Assim, a peça origina uma sombra no receptor. Como a largura do feixe laser corresponde a uma quantidade fixa de milímetros é possível determinar o tamanho do objecto a ser medido através da medida obtida pela zona de sombra, tal como ilustrado na Figura [4.30](#).

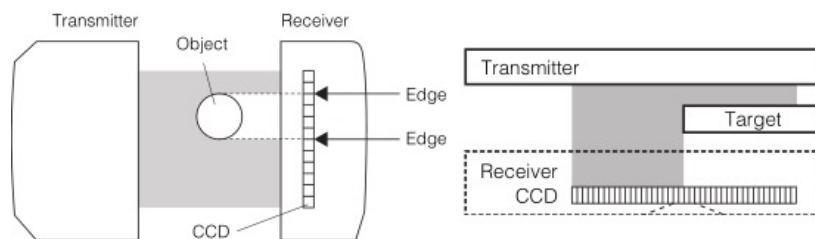


Figura 4.30: Ilustração do funcionamento dos amplificadores laser do sistema IG-010 da marca Keyence

Os amplificadores do sistema IG-010 são ligados a controladores, modelo IG-1000 da marca Keyence, que se encontram representados na Figura [4.31](#), onde são realizadas as configurações e calibrações para utilização deste sistema.



Figura 4.31: Sistema IG-1000 da marca Keyence

Como a comunicação com o controlador IG-1000 é realizada através de *Ethernet/IP*, é utilizado o módulo DL-EP1, representado na Figura 4.32, para permitir a troca de informações entre o PLC e este sistema.



Figura 4.32: Representação do módulo DL-EP1

Na Figura 4.33 encontra-se representada a estrutura física do sistema de visão para verificação e medição.



Figura 4.33: Estrutura real do sistema de visão para verificação e medição

4.6 Consola HMI

A consola HMI constitui a interface do sistema com o operador. Esta comunica com a unidade central do sistema, o PLC, através do *Industrial Ethernet Protocol*, sendo que como intermediário desta comunicação existe um *Switch*. Este possui várias portas independentes de forma a possibilitar a transmissão e recepção de pacotes de dados, de forma simultânea com vários elementos.

A consola HMI utilizada neste sistema foi desenvolvida pela ESA e designa-se *ESAWare*, modelo EW107AA, estando representada na Figura [4.34](#).



Figura 4.34: Consola *ESAWare*, modelo EW107AA

Esta consola possui um ecrã *Thin film transistor liquid crystal display* (TFT LCD) de 7 polegadas, com resolução de 800 x 480 pixels, retro iluminação e um conjunto de 65536 cores. O seu processador é um ARM Cortex A8, que possui uma memória RAM de 256 MB DDR3. É constituída por duas portas *Ethernet*, uma porta USB e uma porta RS-232. Garante 50000 horas de funcionamento a uma temperatura de -10 a 50 graus celsius.

4.7 Robôs

A componente robótica foi desenvolvida por outro profissional também responsável pelo projecto. Como referido no capítulo 3, o sistema desenvolvido possui dois robôs Scara da Epson, o robô Scara LS6, responsável pelo transporte das peças do *buffer* para a zona de teste, e o robô Scara G6, que transporta as peças do último posto da zona de testes para a zona de saída.

O robô Scara LS6, representado na Figura 4.35, tem como características 38:

- Número de eixos: 4;
- Alcance horizontal: 600 mm;
- Alcance vertical: 170 mm;
- Alcance orientação: 360 graus;
- Precisão horizontal: +/- 0,02 mm;
- Precisão vertical: +/- 0,01 mm;
- Precisão orientação: +/- 0,01 graus;
- Carga útil: 6 kg;

- Força de prensagem: 100 N;
- Controlador: RC90.



Figura 4.35: Robô Scara LS6 da marca Epson

O robô Scara G6, representado na Figura [4.36](#), tem como características [\[39\]](#) :

- Número de eixos: 4;
- Alcance horizontal: 450 mm;
- Alcance vertical: 150 mm;
- Alcance orientação: 360 graus;
- Precisão horizontal: +/- 0,015 mm;
- Precisão vertical: +/- 0,01 mm;
- Precisão orientação: +/- 0,005 graus;
- Carga útil: 6 kg;
- Força de prensagem: 100 N;
- Controlador: RC700.



Figura 4.36: Robô Scara G6 da marca Epson

Os controladores de ambos os robôs comunicam com o PLC através da rede industrial *Ethernet/IP*, dessa forma são constituídos por uma *Ethernet/IP Board*.

4.8 Sistema de segurança

O sistema de segurança foi também estudado e desenvolvido por outro profissional também responsável pelo projecto. Este optou por combinar uma diversidade de sistemas, sendo exemplo de um deles a utilização de três pares de barreiras, da marca Omron, modelo F3SG-4RE0640P14, que se encontram representadas na Figura 4.37. O objectivo da sua utilização passa por limitar o acesso ao espaço de trabalho dos robôs.

Outro sistema utilizado ao nível da segurança, são dois fechos de segurança, da marca Omron modelo D4SL-N4NDA-D4, representados na Figura 4.38. Estes são utilizados nas duas portas de acesso ao interior da célula. Este sistema combina a monitorização da segurança de porta e o fecho de protecção, sendo constituído por um trinco de segurança. Associado a esse trinco encontra-se um elemento que permite que o mesmo seja destrancado através de um sinal transmitido pelo PLC.



Figura 4.37: Barreiras de segurança da marca Omron, modelo F3SG-4RE0640P14



Figura 4.38: Fechos de segurança da marca Omron, modelo D4SL-N4NDA-D4

O sistema de segurança inclui ainda as botoneiras de segurança, como as da Figura [4.39](#), que se encontram presentes em toda a célula. Estas são compostas por contactos normalmente fechados que estão ligados a um relé de segurança e para o qual enviam sinais do seu estado. Assim, ao ser pressionada a botoneira de emergência os contactos no seu interior abrem não permitindo o fluxo de corrente eléctrica e o sinal não chega ao relé de segurança. Face à ausência de sinal a relé desencadeia acções para estagnar todo o sistema.



Figura 4.39: Botoneira de emergência da marca Schmersal

O relé de segurança utilizado foi o G9SP-N20S da Omron, representado na Figura 4.40. Este possui vinte entradas digitais PNP e oito saídas digitais PNP, sendo de referir que todos os elementos do sistema da célula de produção se encontram ligados a este relé de segurança. Assim, pode-se concluir que o relé é a peça chave de todo o sistema de segurança [40].

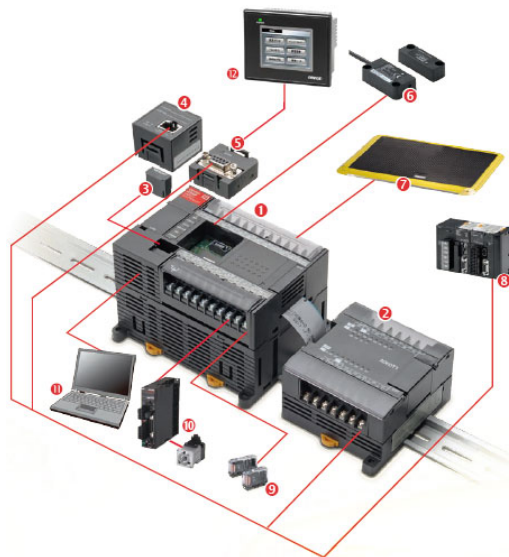


Figura 4.40: Representação de ligações de segurança ao relé de segurança

Capítulo 5

Configurações do sistema desenvolvido

Neste capítulo serão abordadas as configurações efectuadas ao nível do teste eléctrico e do teste de verificação e medição, nomeadamente, as parametrizações e calibrações realizadas nos dispositivos utilizados para esse fim.

5.1 Teste eléctrico

Como já referido no capítulo anterior, é com recurso ao aparelho Hioki, modelo ST5520, que é realizado o teste eléctrico, de que faz parte o teste de isolamento e o teste de continuidade explorados no capítulo [3.3](#).

De forma sucinta, recorreu-se a este aparelho para a criação e parametrização de dois programas, um para o teste de isolamento e outro para o teste de continuidade, tal como representado na Figura [5.1](#).

Sendo que a selecção de qual programa é executado em cada momento, é determinada por sinais digitais, tais como, ordem de execução e ordem de paragem.



Figura 5.1: Programas criados para o teste eléctrico no aparelho Hioki ST5520

Relativamente à configuração do teste de isolamento foram respeitadas as exigências presentes no caderno de encargos do cliente, apresentadas na Figura 5.2, em que é referido que o teste de isolamento deve ser realizado a 1000 V, tendo uma duração de 1,2 segundos. Sendo que para que o teste seja considerado eficaz a resistência deve ser superior a 500 MΩ.



- O teste eléctrico deve conter duas fases: Primeira para garantir que os pinos estão em contato com a peça (teste continuidade) e a segunda, o teste de isolamento 1000VDC, R>500MΩ, com uma duração de 1,2 seg.
- Devem existir 2 pinos por cada inserto, para fazer o primeiro teste de continuidade. Um no conetor e outro no interior da peça
- O teste deve testar os 3 insertos entre eles. Ou seja, 1-2 ; 1-3 ; 2-3

Figura 5.2: Requisitos do cliente para o teste eléctrico descritos no caderno de encargos

Com base nestes parâmetros foi realizada a configuração do teste de isolamento no aparelho Hioki. Como mostra a Figura 5.3, a *Voltage* foi estabelecida com o valor de 1000 V e o *Range* escolhido para a resistência foi o máximo permitido, isto é, 4000 M Ω . No parâmetro *Timer*, que determina a duração do teste, foi estabelecido o valor de 1,2 segundos. É de referir que o parâmetro *Delay* presente na configuração corresponde ao tempo antes de o teste iniciar, tendo sido definido em 0,050 segundos.

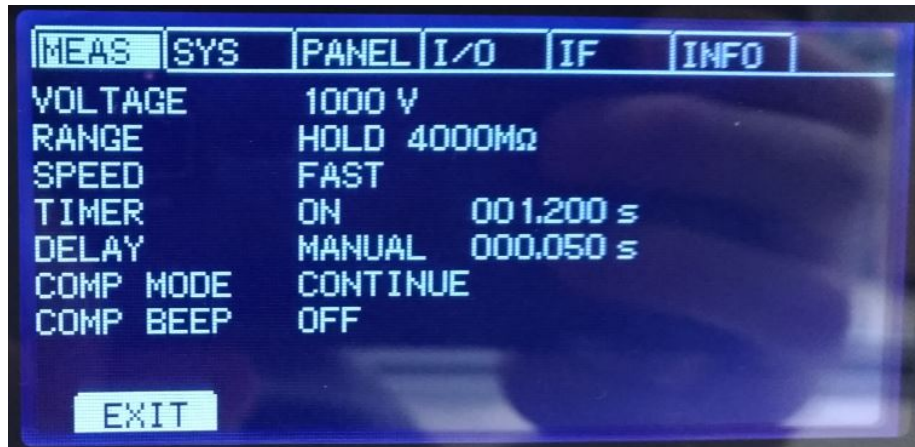


Figura 5.3: Configuração do teste de isolamento no aparelho Hioki ST5520

O programa configurado tem então início quando é dada a ordem de *Start*, o que ocorre após activação da entrada digital que permite seleccionar o primeiro programa do aparelho Hioki, programa esse que corresponde ao teste de isolamento.

A Figura 5.4 apresenta a execução de um teste de isolamento onde o resultado foi *PASS*, significando que a resistência lida foi superior a 500 M Ω .

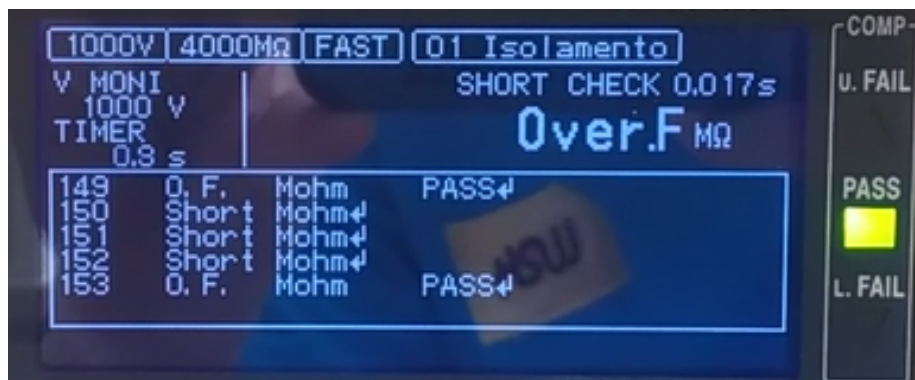


Figura 5.4: Representação do resultado de um teste de isolamento

Mas ainda antes de ter início o teste de isolamento, devido à activação da função *Short Check*, é aplicada uma tensão entre 2 a 4 V no circuito a ser testado, para verificar a presença de curto-circuitos. Desta forma, caso seja detectado um curto-circuito, não é realizado o teste, surge um sinal de erro e o operador é informado, através de uma mensagem, da presença de um curto-circuito. A duração deste *Short Check*, parâmetro *Short Check Time*, foi definida como automática, de modo a que o teste de isolamento só seja iniciado quando o *Short Check* tiver terminado.

Na Figura 5.5 são apresentadas as configurações gerais, nomeadamente, as funções activas para ambos os testes.

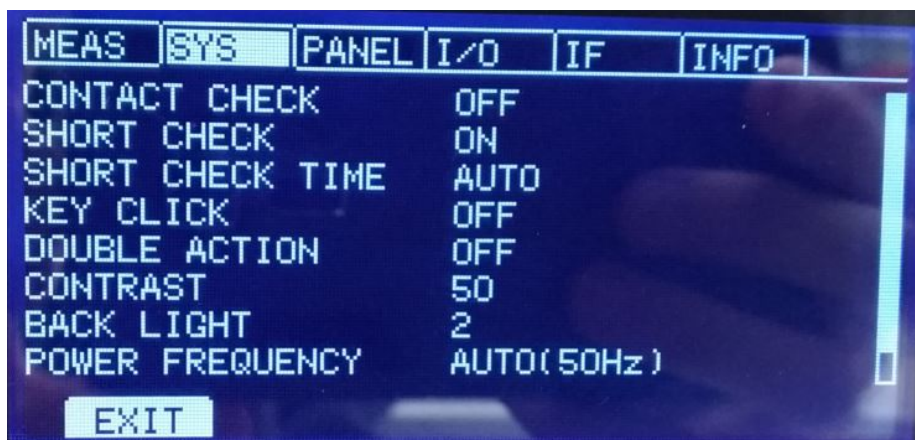


Figura 5.5: Configurações gerais do teste de isolamento e do teste de continuidade

O resultado do teste de isolamento é obtido através de saídas digitais, sendo que, consoante o valor obtido, quatro sinais são possíveis, sendo eles, erro, falha por valor baixo, falha por valor alto e *pass*.

No que diz respeito ao teste de continuidade foi utilizada a função *Short Check* para a realização do teste, contudo, neste caso não é possível obter o resultado através de saídas digitais. Isto porque, caso assim fosse, sempre que ocorresse um curto-circuito, o que corresponde a uma continuidade, o aparelho emitiria o sinal de erro. Assim, foi utilizado o meio de comunicação RS-232C com velocidade de 38400 bps. Deste modo, caso a trama enviada pelo aparelho Hioki ao PLC indique que ocorreu um curto circuito, automaticamente tal é assumido como continuidade. Na Figura 5.6 é apresentada a configuração do meio de comunicação RS-232C.

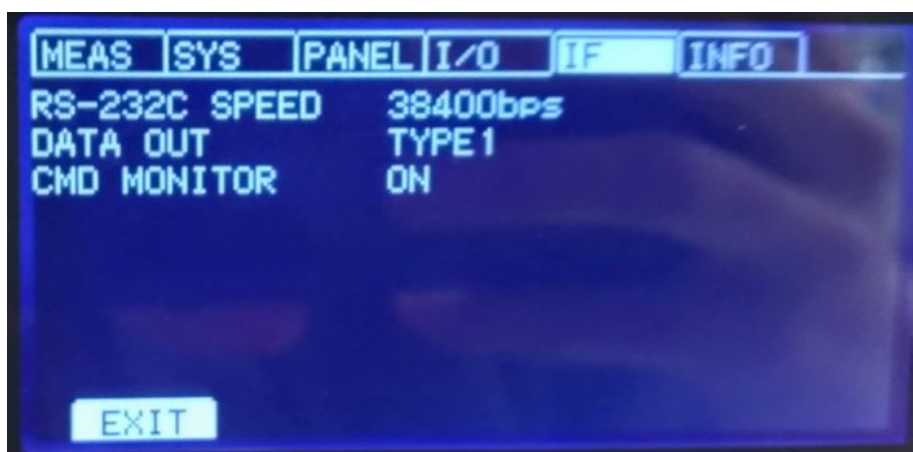


Figura 5.6: Configuração do meio de comunicação RS-232C no Hioki ST5520

O teste de continuidade não necessita da utilização de uma tensão de 1000 V, assim foi definido o mínimo de tensão que o aparelho permite, isto é, 25 V. Como o *Short Check* é realizado antes do teste de isolamento, caso não se verifique a presença de um curto-circuito, pretende-se que o teste de continuidade seja realizado o mais rápido possível de modo a reduzir o tempo de ciclo, assim foi definido que o tempo de execução do teste é de 0,1 segundos. A Figura 5.7 apresenta a configuração do teste de continuidade. Importante referir que foi definido o mínimo de *range* de leitura de resistência, 2 M Ω .

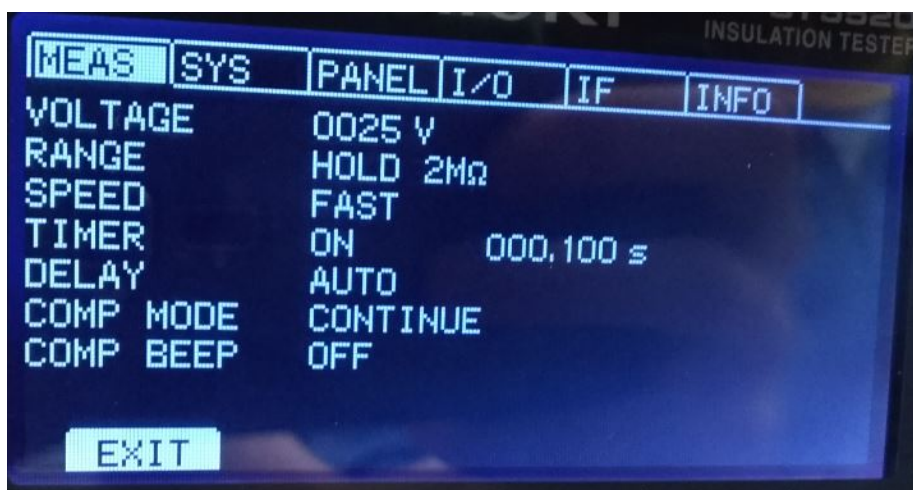


Figura 5.7: Configuração do teste de continuidade no aparelho Hioki ST5520

O programa configurado tem então início quando é dada a ordem de *Start*, o que ocorre após activação da entrada digital que permite seleccionar o segundo

programa do aparelho Hioki, programa esse que corresponde ao teste de continuidade.

A Figura 5.8 apresenta a execução de um teste de continuidade onde o resultado foi *Short*, significando que no circuito onde foi aplicado o teste existe curto-circuito.

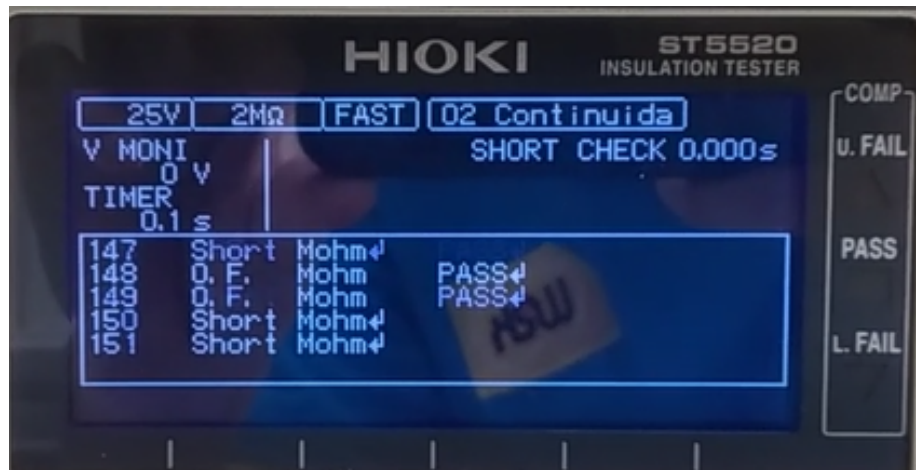


Figura 5.8: Representação do resultado de um teste de continuidade

A cada teste realizado é enviada uma trama ao PLC que permite saber qual o resultado obtido. No manual do Hioki ST5520, está presente a Figura B.1 no Anexo B, que representa a forma como os dados são enviados e respectiva interpretação.

A Figura 5.9 apresenta um exemplo de uma trama recebida pelo PLC após a realização de um teste para validação da continuidade entre dois pinos.

Nesta figura podemos ver que no endereço de memória D00103, D00104 e D00105 é encontrada a palavra *Short*, desta forma concluí-se que existiu curto-circuito, ou seja, existe continuidade.

É de referir que para que a comunicação entre Hioki e PLC ocorra é necessário definir o meio de comunicação RS-232C no menu *Settings* do PLC. Tal só é possível por ter sido acoplado o módulo de comunicação CJ1W-CIF01 ao PLC, tal como abordado na secção 4.1.

Como apresentado na Figura 5.10, foi definida uma velocidade de 38400 bps, igual àquela que foi estabelecida no Hioki, num formato de 8 *data bit*, 1 *stop bit* e sem paridade. Foi ainda definido um valor de 26 *bytes* recebidos.

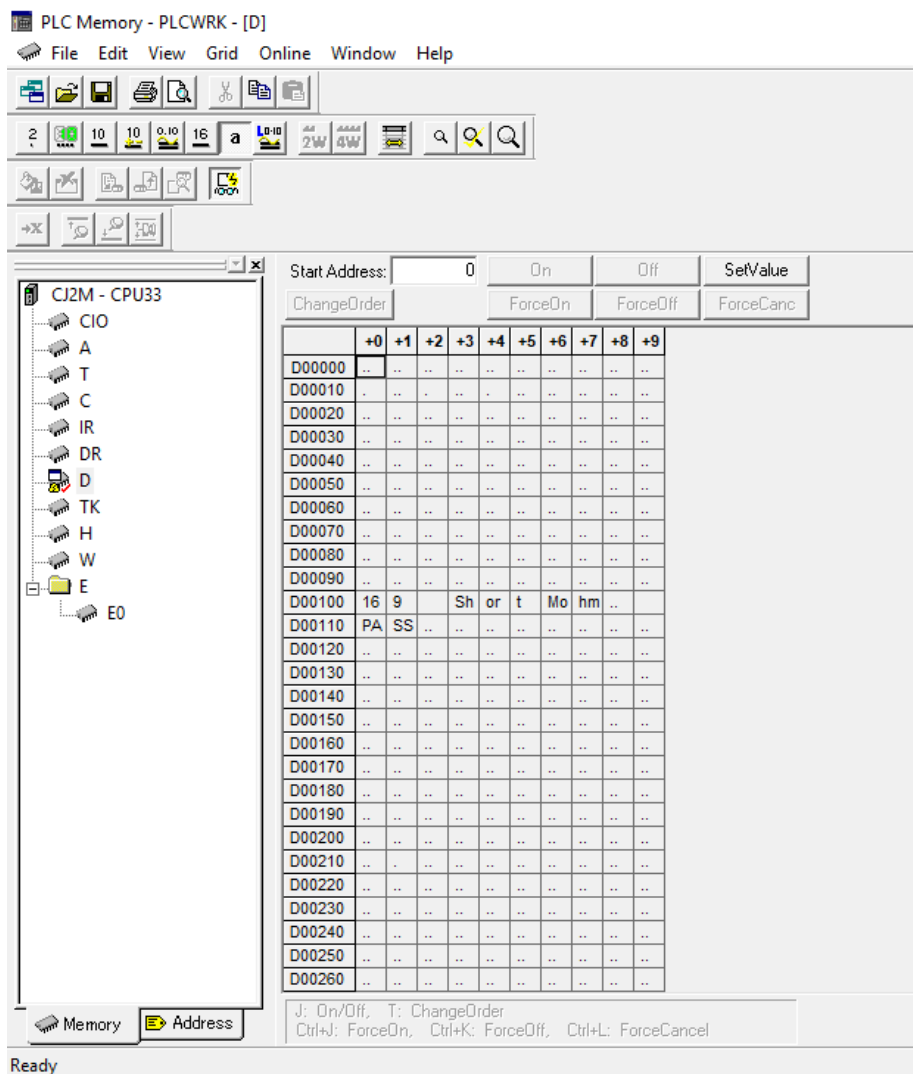


Figura 5.9: Exemplo da recepção da trama enviada após realização de um teste de continuidade

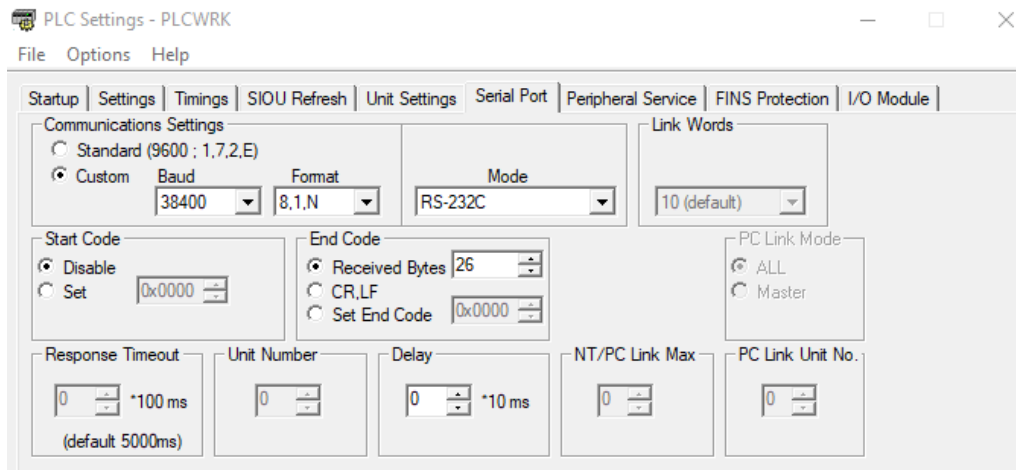


Figura 5.10: Configuração da comunicação RS-232 no PLC

5.2 Teste de verificação e medição

Para a realização do teste de verificação e medição, apresentado na secção 3.4, foram utilizadas duas câmaras de visão IV-500MA, programadas com recurso ao *software IV-Navigator*.

Após realizados os ajustes mecânicos ao nível da posição das câmaras, com objectivo de obter o melhor intervalo activo, isto é, o melhor campo de visão, procede-se à sua configuração. Esta é realizada com o intuito de obter a melhor imagem possível para o teste pretendido. Assim, foi estabelecido como *Trigger* o modo externo e definido o ajuste automático do brilho e do foco.

A Figura 5.11 apresenta uma imagem obtida pela câmara IV-500MA, sendo possível verificar que o intervalo activo engloba todos os pontos a serem avaliados. Posteriormente à sua obtenção são realizadas as correcções necessárias para melhorar a qualidade da imagem, neste exemplo foi activada a função de alto-brilho.

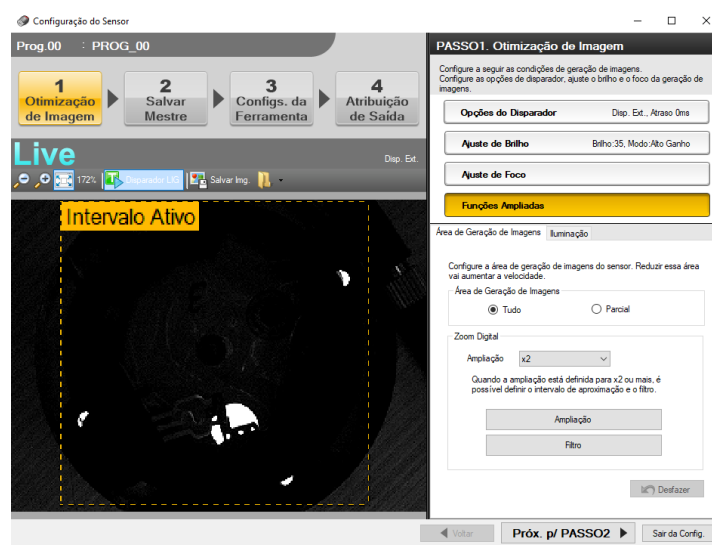


Figura 5.11: Imagem obtida pela câmara IV-500MA utilizada no teste de verificação

Para servir de referência para todos os testes é registrada uma imagem mestre onde são definidos os pontos chave a avaliar. Na Figura 5.12 é apresentada a imagem mestre.

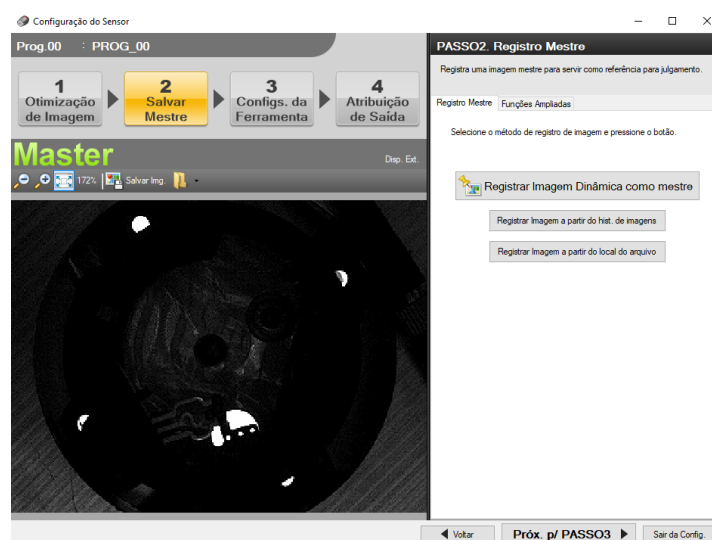


Figura 5.12: Imagem mestre para o teste de verificação

Como apresentado na secção 3.4, cada ponto chave corresponde àquela que deve ser a localização dos furos da peça, num total de sete furos a que correspondem assim sete pontos chave. Assim, para evidenciar esses pontos e permitir a sua

inspecção para detecção de furos são adicionadas ferramentas. Com este intuito, tal como é possível verificar na Figura 5.13, foram adicionadas sete ferramentas de área, correspondendo cada uma a cada ponto que se pretende avaliar. Para além disso, foi configurada uma ferramenta de ajuste de posição, representada na Figura 5.13, que permite eliminar possíveis variações de posição da peça.



Figura 5.13: Representação da área de ajuste de posição e das sete ferramentas para detecção de presença de furos

A detecção de furos na peça é então realizada recorrendo a uma *backlight* de cor branca, localizada na parte inferior da peça, que incide directamente na câmara. Caso os furos se encontrem OK, verifica-se um contraste de cores nas zonas dos pontos chave.

Por último, seria apenas necessário configurar as entradas e saídas físicas da câmara, contudo, como a comunicação com o PLC é realizada via *Ethernet/IP*, este passo é ignorado.

Realizadas todas as etapas anteriores, ou seja, configurada a câmara, esta é colocada em modo *RUN*. Como o *Trigger* foi configurado como externo, o teste só tem início quando uma ordem externa de captura e validação da peça é enviada.

O resultado deste teste pode variar entre peça funcional, quando estão presentes os sete furos na peça ou não funcional quando tal não se verifica.

Na Figura 5.14 é possível visualizar um caso de um teste a uma peça cujo resultado foi funcional, ou seja, todos os sete furos se encontram passantes, resultando numa lógica OK.

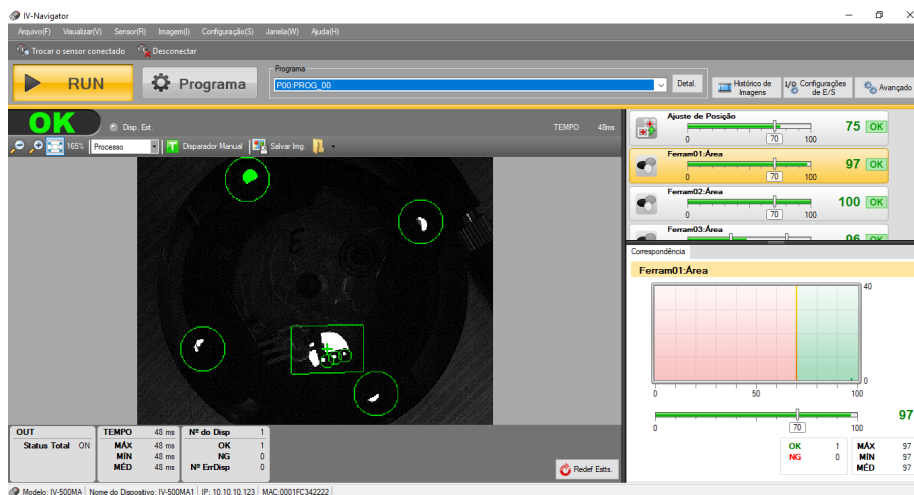


Figura 5.14: Teste a uma peça com todos os sete furos presentes, peça funcional

Na Figura 5.15 é possível visualizar um caso de um teste a uma peça cujo resultado foi não funcional. Neste caso é possível verificar a ausência dos furos centrais, resultando numa lógica NOK.



Figura 5.15: Teste a uma peça em que os furos centrais estão ausentes, peça não funcional

Relativamente ao teste de medição, em que é avaliada a altura do conector da peça, é requisito do cliente, tal como pode ser observado no caderno de encargos presente na Figura 5.16, que esta tenha uma altura de 10,15 mm com um intervalo de tolerância de $\pm 0,1$ mm.

Z						
Visão 3D	RAQ	Cota	Nominal	Medido	TOL +	TOL-
na	na	153	10,15	na	0,1	0,1

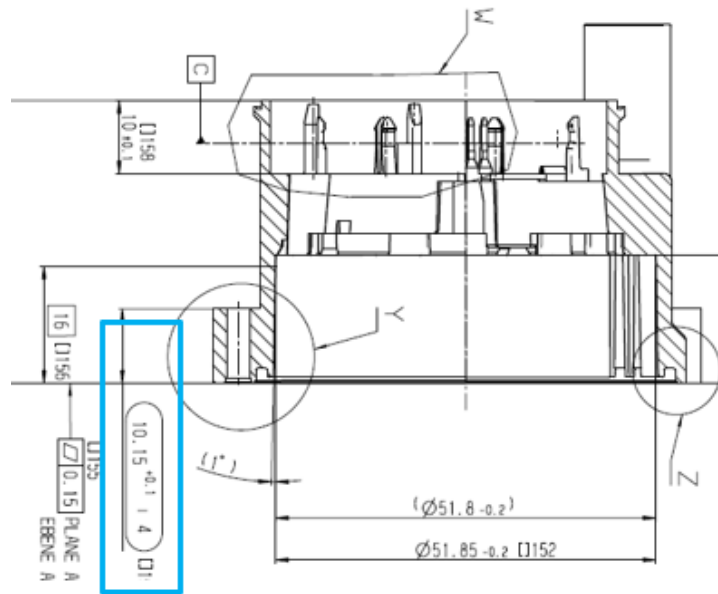


Figura 5.16: Requisitos do cliente para a altura do conector da peça presentes no caderno de encargos

Este teste, tal como abordado na secção 4.5, é realizado pelo sistema IG-010 cujo funcionamento se baseia em dois amplificadores laser, um emissor e outro receptor, que permitem medir a altura do conector da peça. Sendo que para a configuração e calibração deste sistema, é utilizado um controlador IG-1000.

Como principais configurações há a referir a da unidade de leitura, que é estabelecida em milímetros, e dos limites de tolerância, neste caso +/- 0,1 mm. Para além destas, a definição do modo de leitura é também de extrema importância. Como mostra a Figura 5.17, presente no manual da série IG da Keyence, o modo de leitura depende da posição física dos amplificadores, assim, neste caso o modo definido foi o *Bottom*.

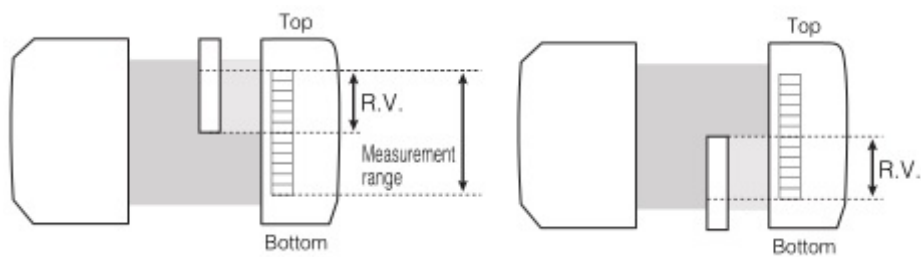


Figura 5.17: Modos de leitura possíveis por parte dos amplificadores IG-010, *Top* e *Bottom*

Em seguida é realizada a calibração do sistema, em que com recurso a um paquímetro é determinada a altura real do conector da peça, sendo posteriormente realizada esta mesma avaliação através dos amplificadores IG-010. Comparando os dois valores obtidos é então realizada a calibração dos amplificadores.

Com base nesta avaliação é ainda estipulado um valor padrão de leitura, ou seja, um *target* de modo a que cada leitura seja comparada com esse valor, +/- a tolerância definida.

A Figura 5.18 representa uma leitura realizada a uma peça com altura menor que o valor pretendido.



Figura 5.18: Resultado de um teste de medição a uma peça com altura inferior ao valor pretendido

Pelo sentido inverso, a Figura 5.19 representa uma leitura realizada a uma peça com altura superior ao valor pretendido.



Figura 5.19: Resultado de um teste de medição a uma peça com altura superior ao valor pretendido

Por fim, a Figura 5.20 representa o resultado de um teste de medição em que o valor obtido se encontra dentro dos valores estabelecidos.



Figura 5.20: Resultado de um teste de medição a uma peça com altura compreendida no intervalo de tolerância estabelecido

Capítulo 6

Implementação do sistema desenvolvido

Apresentada a solução desenvolvida, sua arquitectura e respectivas configurações, segue-se a abordagem da implementação do sistema, nomeadamente, a projecto da rede industrial e a programação do PLC e da consola HMI utilizada.

6.1 Projecto da rede industrial

O PLC utilizado no sistema desenvolvido, modelo CJ2M da Omron, dispõe da possibilidade de comunicação via *Ethernet/IP*. Desta forma, através do *Software Network Configurator* é realizado o seu projecto. Tal só é possível obtendo o ficheiro "EDS", *Electronic Data Sheets*, de cada dispositivo integrado no sistema, dado que este ficheiro é utilizado para comunicar a informação de identidade, essencial para que uma ferramenta da rede reconheça o dispositivo.

Tornou-se então necessário aceder aos *websites* dos fornecedores de cada dispositivo para obter o ficheiro "EDS" de cada um deles. Posteriormente, foi incorporado cada um desses ficheiros no *software Network Configurator*. Por fim, na opção *Change Node Address* do *software* foi atribuído um IP, definido na Tabela [6.1](#), a cada dispositivo. Estes endereços IP são fundamentais para a identificação de cada dispositivo na rede industrial.

Tabela 6.1: Endereços IP de cada dispositivo integrado na rede industrial

Dispositivos	Endereço-IP
PLC MP	10.10.10.110
Consola HMI WRK	10.10.10.114
PLC WRK	10.10.10.119
Epson LS6 WRK	10.10.10.120
Epson G6 WRK	10.10.10.121
CX (Sistema Visão) WRK	10.10.10.122
IV-500MA (1) (Sistema Visão) WRK	10.10.10.123
IV-500MA (2) (Sistema Visão) WRK	10.10.10.124
DL-EP1 (Sistema Visão) WRK	10.10.10.125
EPSON LS6 LAN	10.10.10.126
EPSON G6 LAN	10.10.10.127

Na Figura 6.1 encontra-se representada a estrutura da rede *Ethernet/IP* deste projecto.

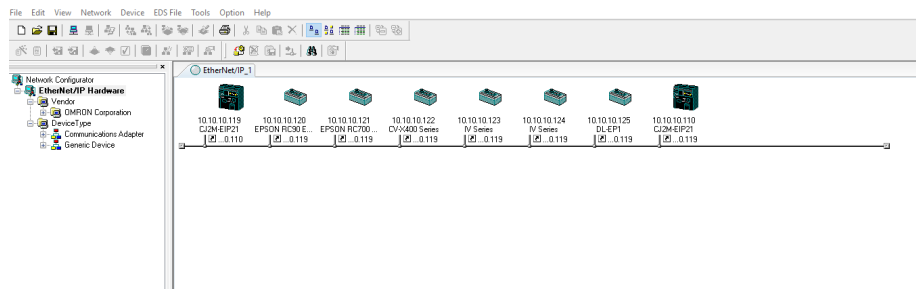


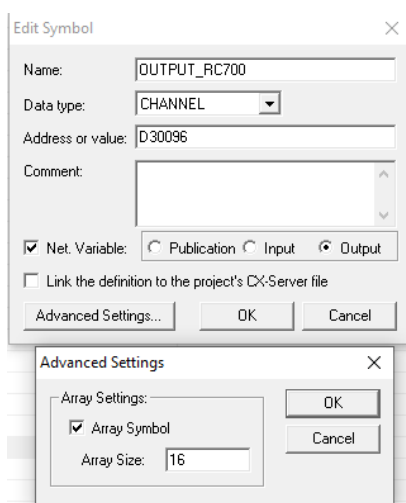
Figura 6.1: Representação da rede industrial *Ethernet/IP* no *software Network Configurator*

A comunicação dentro desta rede industrial é realizada através de variáveis de rede, denominadas como *Network Variable*. Mas antes de mais é relevante referir que cada ficheiro "EDS" apresenta um número de *bytes* correspondente ao tamanho de dados que o dispositivo pretende partilhar sobre o seu estado, bem como da informação externa de que necessita para o seu correto funcionamento no sistema. Na Tabela 6.2 é apresentada a quantidade de dados de partilha de cada dispositivo integrado na rede e pertencente a este projecto.

Tabela 6.2: Tamanho, em *bytes*, dos dados partilhados por cada dispositivo

<i>Dispositivos</i>	<i>Entradas</i>	<i>Saídas</i>
PLC MP	12 Bytes	12 Bytes
Epson LS6 WRK	32 Bytes	32 Bytes
Epson G6 WRK	32 Bytes	32 Bytes
CX (Sistema Visão) WRK	496 Bytes	496 Bytes
IV-500MA (1) (Sistema Visão) WRK	392 Bytes	12 Bytes
IV-500MA (2) (Sistema Visão) WRK	392 Bytes	12 Bytes
DL-EP1 (Sistema Visão) WRK	168 Bytes	10 Bytes

É com base nesta tabela que são então definidas as variáveis de rede recorrendo para isso ao *software CX-programmer*. Utilizando um tipo de dados denominado *channel*, semelhante ao tipo de dados *word* de 16 bits (2 *bytes*), é criado um *array symbol* cujo *array size* corresponde a metade do tamanho dos dados de comunicação de cada dispositivo. Por exemplo, para comunicação com o robô RC700 é criada uma variável, denominada *OUTPUT RC700*, seleccionada como *Network Variable*, com um *array size* de 16 *bytes*, pois na Tabela 6.2 verifica-se que o tamanho dos dados de saída do PLC para o robô é de 32 *bytes*. Na Figura 6.2 é exemplificada a criação de uma variável de comunicação do tipo *channel* com um *array size* 16.

Figura 6.2: Exemplo da criação de uma *Network Variable* no *CX-programmer*

Da mesma forma, foram criadas as variáveis da Figura 6.3 para a comunicação com todos os dispositivos da rede apresentados na Figura 6.1.

↔ INPUT_IV1	CHANNEL[196]	D25000	INPUT
↔ OUTPUT_IV1	CHANNEL[6]	D25500	OUTPUT
↔ INPUT_IV2	CHANNEL[196]	D26000	INPUT
↔ OUTPUT_IV2	CHANNEL[6]	D26500	OUTPUT
↔ INPUT_DL	CHANNEL[84]	D27000	INPUT
↔ OUTPUT_DL	CHANNEL[5]	D27500	OUTPUT
↔ INPUT_PLCMP	CHANNEL[6]	D28000	INPUT
↔ OUTPUT_PLCMP	CHANNEL[6]	D28500	OUTPUT
↔ INPUT_RC90	CHANNEL[16]	D30000	INPUT
↔ OUTPUT_RC90	CHANNEL[16]	D30032	OUTPUT
↔ INPUT_RC700	CHANNEL[16]	D30064	INPUT
↔ OUTPUT_RC700	CHANNEL[16]	D30096	OUTPUT
↔ INPUT_SV	CHANNEL[248]	D30496	INPUT
↔ OUTPUT_SV	CHANNEL[248]	D30992	OUTPUT

Figura 6.3: *Network Variables* criadas para os dispositivos da rede industrial que fazem parte deste projecto

Após a criação das variáveis, retornando ao *software Network Configurator*, é necessário fazer corresponder as saídas do PLC com as entradas dos diferentes dispositivos e as saídas dos dispositivos com as entradas do PLC.

No final de tudo isto, é descarregada a configuração da rede criada e os dispositivos começam a comunicar entre si.

6.2 Programação do PLC

A programação do PLC utilizado foi realizada através de linguagem *Ladder* no *software CX-programmer*. Este PLC, *master*, é responsável pelo controlo da célula de testes através da comunicação com todos os dispositivos do sistema, gerindo todas as informações de forma a criar um ciclo de funcionamento. Para isso, todos os contactos e detectores, bem como os actuadores, são ligados às entradas e saídas correspondentes no PLC, sendo cada sinal enviado transmitido a toda a rede.

6.2.1 Configuração e mapeamento de entradas e saídas (I/O)

Para a configuração e mapeamento de entradas e saídas (I/O), foi primeiramente necessário proceder-se à atribuição do endereço IP ao PLC, conforma a Tabela 6.1. Seguidamente, realizou-se o mapeamento das entradas e saídas do PLC tendo sido para isso criado um conjunto de variáveis. A lista de entradas do PLC está presente Tabela C.1, e a lista de saídas está presente na Tabela C.2 no Anexo C.

Centrando-se numa lógica de estados, foram então criadas variáveis do tipo inteiro cujo valor corresponde a um estado do ciclo. Como base do ciclo foi também criada a variável *Grafcet Geral*, de onde derivam todas as outras variáveis.

Na Figura 6.4 é representado um exemplo onde o valor 50 da variável *Grafcet Geral* representa o estado em que o operador escolhe o modo de funcionamento.

Neste exemplo, caso o operador escolha o modo manual é movido 1000 para a variável *Grafcet Geral*, caso contrário, se for o modo automático o seleccionado, é movido o valor 60.

Assim, comparado o valor da variável *Grafcet Geral* com valores pré-estabelecidos e associados a determinadas acções, sendo que se os valores coincidirem é executada a acção correspondente ou é permitido que outras acções sejam executadas.

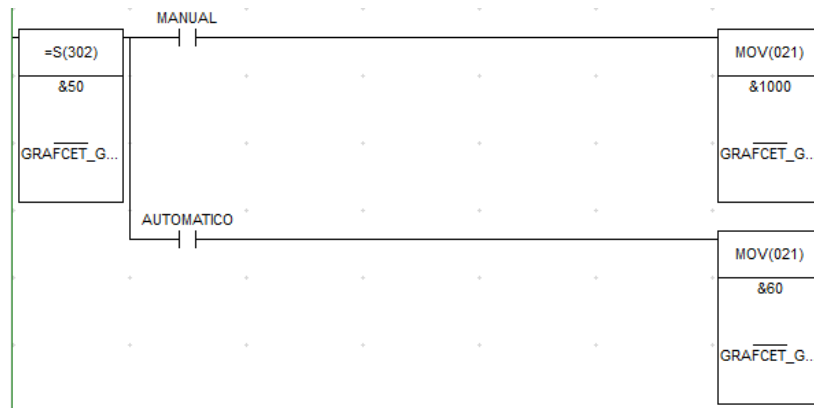


Figura 6.4: Exemplo da variação do valor da variável *Grafcet Geral* de acordo com o modo de funcionamento seleccionado

Por exemplo, na situação representada na Figura 6.4, a partir do momento em que é seleccionado o modo automático, existem processos a serem realizados simultaneamente, nomeadamente, o robô de entrada coloca peças no prato rotativo e o robô de saída retira as peças, trocando informações entre si; está a ser realizado o teste eléctrico, o teste de visão tridimensional e o teste de verificação e medição; o transportador de peças funcionais encontra-se em funcionamento e são constantemente interpretados os sinais de segurança de modo a que, se necessário, a máquina pare.

Na Figura 6.5 encontra-se representada a variável *Grafcet Geral* assim como as variáveis criadas para os diferentes ciclos do sistema.

GRAFCET_GERAL	INT	W100
GRAFCET_TRANSPORTADOR	INT	W110
GRAFCET_ROBO_ENTRADA	INT	W120
GRAFCET_CONTROLO_PECAS_PRATO	INT	W125
GRAFCET_ROBO_SAIDA	INT	W130
GRAFCET_TESTE_ELETRICO	INT	W210
GRAFCET_VISAO_3D	INT	W220
GRAFCET_MEDICAO_VERIFICACAO	INT	W230
GRAFCET_CICLO_CONTROLO	INT	W240

Figura 6.5: Variáveis criadas para os diferentes ciclos do sistema

Com a configuração e o mapeamento de I/O realizado, foi então possível iniciar a lógica de programação.

6.2.2 Lógica de Programação

A lógica de programação está presente nos programas criados para o controlo da célula e para a interface com os robôs e dispositivos utilizados no sistema.

Devido à velocidade de processamento destes programas, o PLC transmite a ideia de que as secções de programa são processadas em paralelo embora este processo ocorra de forma sequencial. Assim, de forma a organizar toda a programação e tornar mais fácil aceder e manipular algum processo, foram criadas vinte e três secções no *software CX-programmer*. Essas secções são apresentadas na Figura 6.6.

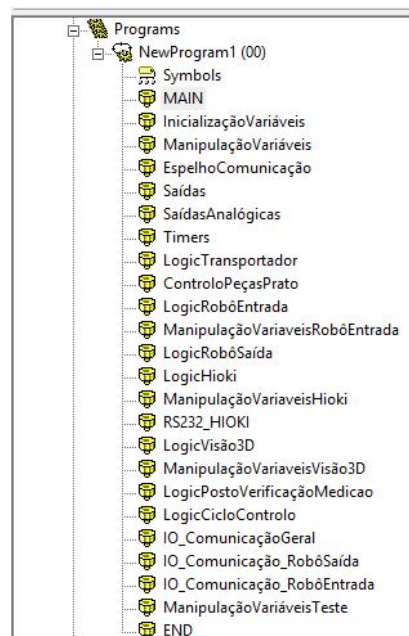


Figura 6.6: Secções criadas com recurso ao *software CX-programmer*

Na secção *Main* é criada a lógica central do ciclo do sistema, sendo nesta secção que é estabelecido o menu principal e o rearme de segurança. Nesta secção é ainda realizada a junção dos ciclos independentes de forma a criar o ciclo base do sistema.

Foi também criada uma secção para a inicialização de variáveis de modo a criar um estado de restabelecimento geral inicial. Relativamente às variáveis, foi ainda criada uma secção para a sua manipulação, ou seja, para que seja possível

o armazenamento de variáveis retentivas de forma a que ao desligar o sistema não sejam perdidas informações.

A secção "Espelho comunicação" foi criada para enviar sinais das entradas do PLC para os dois robôs que fazem parte do sistema.

Nas secções saídas e saídas analógicas, é realizada a activação das saídas do PLC de acordo com os valores provenientes das variáveis.

Na secção *Timer* são criados e executados os *timers* estabelecidos ao longo da programação do PLC.

Foram ainda criadas secções para a criação de lógicas, nomeadamente no que diz respeito ao robô de entrada, ao robô de saída, ao controlo de peças no prato, ao teste eléctrico, ao teste de visão 3D, ao teste de verificação e medição e ao transportador. Sendo que, de forma a auxiliar cada lógica, foram criadas secções para a manipulação de variáveis específicas.

Para simplificar o accionamento de variáveis de comunicação que desencadeiam acções, foram criadas secções dedicadas a esse fim.

No teste eléctrico, como existem informações que provêm da via de comunicação RS-232, foi estabelecida uma secção dedicada à interpretação da informação transmitida por esta via.

6.2.3 Procedimentos de segurança

Os procedimentos de segurança constituem o primeiro passo na inicialização do sistema. Tal como pode ser visualizado na Tabela C.2 no Anexo C, a primeira saída do PLC corresponde à ordem de rearme que se encontra directamente ligada ao relé de segurança. Sendo de referir que o sistema só tem início quando esta saída é activada e que esta activação só se verifica após permissão de um operador e caso o seguinte conjunto de condições se verifiquem:

- Permissão de arranque;
- Sinal de presença de ar comprimido;
- Nenhum botão de emergência pressionado;
- Barreiras de segurança desobstruídas;
- Não existem colisões do robô G6;
- Não existem colisões do robô LS6.

De notar que as informações da ausência de colisões dos robôs são transmitidas ao PLC pelos robôs via *Ethernet/IP*.

Assim, para que o sistema tenha início, é primeiramente necessário que haja uma permissão de arranque, informação dada pelo operador através de um botão virtual presente na consola HMI. Seguidamente, o sistema verifica se todas as condições para o sistema funcionar estão em conformidade. Sempre que uma dessas condições estiver em falha o sistema não inicia e é necessária nova permissão de arranque. No sentido inverso, caso as condições se verifiquem, o sistema procede à inicialização de variáveis e rearme de segurança.

De acordo com a directiva 2006/42/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de Maio de 2006 relativa às máquinas, após uma paragem de emergência, uma nova utilização do sistema deve ser precedida do desbloqueamento do mesmo, através de uma manobra apropriada, devendo apenas ser autorizado um novo arranque e não repor o sistema em funcionamento. Assim, o processo de inicialização de variáveis e rearme de segurança diz respeito ao restabelecimento do sistema ao estado inicial, o que é necessário para uma nova utilização do mesmo. Neste caso em particular, foi definido que este procedimento aconteça também a cada fim de um ciclo em modo automático e em modo manual. Considerou-se que tal seria necessário para garantir que no arranque de um novo ciclo está tudo no estado inicial. Da mesma forma, quando o sistema é desligado e tem início num novo arranque é executado este procedimento dado que não existe conhecimento do que aconteceu no sistema enquanto este esteve desligado [41].

Tudo isto se encontra esquematizado no fluxograma [D.1](#) no Anexo [D](#). Seguindo uma lógica de estados, comparando o valor da variável em questão com o valor das diferentes acções é construída a base de funcionamento do sistema. Dado que depois de desencadeada a acção correspondente ao valor da variável é atribuído um novo valor a essa variável repetindo-se todo o processo.

6.2.4 Modos de funcionamento

Após o rearme de segurança, em que é feito o *reset* das variáveis, no menu principal, apresentado na consola HMI, o sistema permite ao operador escolher o modo de funcionamento, existindo duas possibilidades, o modo automático e o modo manual. O modo automático corresponde ao funcionamento simultâneo e em harmonia do sistema desenvolvido e dos restantes dispositivos da célula de produção. O modo manual auxilia no processo de manutenção e afinação, na activação isolada de cada actuador do sistema e na verificação do funcionamento dos sensores. Este modo deve ser executado apenas por um técnico especialista e é acedido através de uma *password* de forma a restringir o acesso para que o funcionamento do sistema não seja prejudicado.

No menu principal surge ainda o modo de configurações, para o seu acesso é também necessário uma *password* mas de um nível superior, pois neste modo é possível desactivar postos de teste. Por exemplo, caso exista um problema no

posto de teste eléctrico, este pode ser desactivado pelo chefe de produção daquele turno, sendo que o sistema apenas irá validar peças no teste de visão 3D e no teste verificação e medição.

Durante qualquer um dos três modos de funcionamento, num processo quase paralelo, é sempre verificada a presença de sinais de segurança que validam as condições de segurança anteriormente abordadas.

Visto que o modo automático diz respeito ao modo de funcionamento do ciclo de testes torna-se relevante explorá-lo um pouco mais.

Após a selecção deste modo de funcionamento, o sistema é preparado para um novo ciclo. Assim, o sistema começa por verificar se existem peças no *buffer* de entrada, deixadas em ciclos anteriores ou aquando da utilização do modo manual. Caso existam, o sistema informa o operador da presença e localização dessas mesmas peças, ficando a aguardar que estas sejam retiradas.

Seguidamente, é verificada a presença de peças no prato rotativo. Para isso, é verificado o sinal dos detectores aí presentes e, caso seja detectada a presença de peças, é dada a ordem ao operador para que sejam retiradas.

Posteriormente, como apenas existem detectores no primeiro posto do prato rotativo, o operador deve pressionar a tecla "Rodar" na consola HMI para que ocorra uma rotação do prato. Desta forma, é verificada a presença de peças neste novo local que agora se encontra no primeiro posto. Este procedimento ocorre sete vezes para que se verifique a presença de peças em todo o prato rotativo.

Num segundo passo do início de ciclo, o sistema possibilita a retirada da caixa de peças funcionais que estava no transportador a ser paletizada em ciclos anteriores. Caso o operador decida não retirar a caixa, o sistema dá continuidade à paletização anterior e preenche o resto da mesma. O mesmo acontece para a caixa de peças não funcionais, sendo que o sistema só inicia se existir lá uma caixa trancada. Na consola HMI, existem botões virtuais que permitem estas acções de destrancamento e trancamento de caixas para peças não funcionais e de destrancamento para caixas de peças funcionais. Na consola também se encontram representados os sinais dos detectores de caixas do sistema de forma a monitorizar e orientar o operador neste processo.

No passo seguinte, o sistema informa o operador que apenas inicia o modo automático se os robôs estiverem com as suas garras abertas. Tal é necessário para garantir que não existem peças nas garras dos robôs, dado que não existem detectores nas garras do robô. Do mesmo modo, caso esteja presente um separador na garra do robô de saída também este deve ser retirado.

Por fim, o PLC dá ordem aos dois robôs para que se posicionem de forma a iniciar o ciclo. Em sequência automática, primeiramente é dada a ordem de posicionado ao robô de entrada e em seguida o robô de saída. Quando posicionados,

cada robô informa que está na posição desejada e preparado para iniciar. É então apresentado um botão virtual na consola HMI que simboliza o comando de *start* e que deve ser pressionado para dar início ao modo automático.

O primeiro passo do modo automático é dar *start* à lógica do transportador, cujo o fluxograma encontra-se presente na Figura [L.1](#), no Anexo [L](#)

Seguidamente, é dado o *start* à lógica do robô de entrada, à lógica do teste eléctrico, à lógica do teste de visão 3D, à lógica do teste de verificação e medição e à lógica do robô de saída. O sistema fica a aguardar a colocação de peças, saídas da máquina de injeção, por parte do robô Kuka, no *buffer*. Nesta fase inicial, como não existem peças no sistema, pois tal foi garantido no início de ciclo, estas lógicas encontram-se no estado de paragem, em *stand by* à espera de novo *start*. Após serem colocadas oito peças no *buffer* e o robô Kuka ter enviado sinal a informar que saiu da área de possível colisão, é dada a ordem ao robô de entrada para colocar peças no prato rotativo, sendo então colocadas as duas primeiras peças. Posteriormente, quando todas as lógicas iniciadas terminam é realizada a primeira rotação do prato, sendo dado novo *start* a todas as lógicas. Após o término de todas as lógicas iniciadas ocorre nova rotação do prato rotativo. Este procedimento repete-se até à colocação das oito peças no prato rotativo, ficando o *buffer* vazio. Neste momento, em que o robô de entrada aguarda a colocação de novas peças no *buffer*, a rotação do prato rotativo deixa de depender da lógica do robô de entrada. Se o robô Kuka voltar a colocar peças no *buffer* é retomada a acção do robô de entrada. Caso o *buffer* fique sem peças e o prato fique vazio, o operador tem a possibilidade de terminar o ciclo. Caso o faça o ciclo é terminado, caso contrário o sistema fica a aguardar a colocação de peças no *buffer* por parte do robô Kuka.

Quando existe um problema que não permite a fluência do ciclo, é desencadeado o sistema de erros. Este sistema permite que na consola HMI ou no sistema SCADA do cliente, seja apresentada uma mensagem com informação do motivo da paragem do ciclo. Desta forma, um operador ou técnico de manutenção consegue mais facilmente agir e solucionar o problema. Por exemplo, o robô Kuka pode não colocar oito peças no *buffer* da célula de testes, pois uma das cavidades da máquina de injeção pode estar com algum problema. Neste caso é necessário retirar as peças que foram trazidas e reiniciar o ciclo. Outro dos problemas que pode surgir é na desafinação de sensores. Por exemplo ao ser dada a ordem de fecho de garra de um dos robôs, se não for detectada pelo sensor que a garra está fechada é necessária nova intervenção técnica.

O fluxograma da Figura [D.2](#), presente no Anexo [D](#), visa auxiliar a interpretação deste modo de funcionamento.

6.2.5 Lógica de controlo de peças no prato rotativo

Para o controlo de peças no prato rotativo, é necessário ter em atenção três aspectos: os detectores de peça presentes no primeiro posto do prato rotativo, o controlo do número de rotações do prato e as peças retiradas do prato rotativo pelo robô de saída.

Como só existem detectores de presença de peça no primeiro posto do prato rotativo, foi necessário criar uma lógica que garanta a sequencialidade dos testes ao longo do ciclo. Isto porque, caso não haja peças num determinado posto do prato rotativo não é necessário que os testes realizados nesse posto tenham início, nem que o robô de saída venha retirar peças, caso se esteja a falar do último posto do prato rotativo, pois não existem. Tal é importante pois permite reduzir o tempo de ciclo do sistema e saber se uma peça que chega ao último posto foi testada nos três testes que constituem o sistema.

Com este intuito, foi criada uma lógica em que através de uma variável que corresponde ao número de rotações do prato rotativo é possível localizar um par de peças específico. Seguindo a Figura 6.7 é possível perceber que na rotação número 0 encontra-se no posto 1 o primeiro par de peças, na rotação número 1, o primeiro par de peças estará no posto 2, e assim por diante.

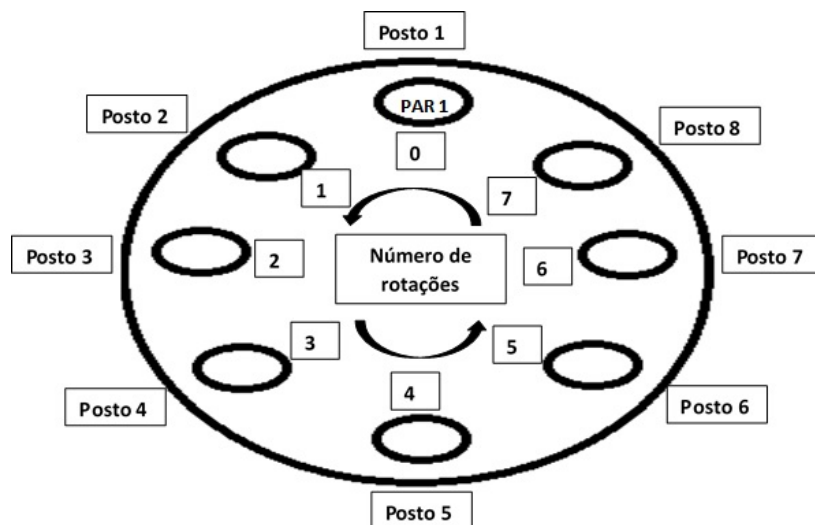


Figura 6.7: Lógica de controlo de peças no prato rotativo

Para além disso, antes de iniciar cada teste é verificado o número de rotações do prato. Visto que, por exemplo, caso esse número seja inferior a três tal significa que não existem peças a serem testadas no posto do teste eléctrico e, por isso, o teste não é iniciado. Da mesma forma, caso o número de rotações seja inferior

a sete tal indica que não existem peças no posto 8, último posto, para serem retiradas pelo robô de saída.

6.2.6 Lógica do robô de entrada e do robô de saída

O controlo dos dois robôs Scara da Epson, robô de entrada e robô de saída, é realizado, através de variáveis de comunicação, via *Ethernet/IP*. Como apresentado na secção 6.1, foi atribuído a cada robô variáveis de comunicação específicas cujos valores correspondem a uma determinada informação. Assim sendo, foi criado um protocolo de comunicação entre o PLC e cada robô em que o PLC, através das informações provenientes de cada robô, desencadeia acções.

Estes robôs normalmente movimentam-se em simultâneo, sendo da responsabilidade do PLC controlar o acesso, por parte de cada um deles, à zona de testes. Tal é de extrema importância para que não ocorram colisões ao acedermos ao mesmo tempo a esta zona. Assim, sempre que um dos robôs pretender movimentar-se numa zona que seja propícia a colisões é necessário que peça permissão ao PLC. Caso o outro robô não esteja nessa zona é dada a permissão que só lhe é retirada quando este informa que já não precisa dela. Caso um dos robôs quiser aceder e a permissão estiver atribuída ao outro robô, terá de pedir permissão e aguardar a saída do outro robô da zona que pretende aceder, só posteriormente é atribuída permissão. Para isso, são importantes as variáveis de comunicação dos robôs que dizem respeito à sua localização, pois permitem que cada movimento de cada robô seja controlado impedindo possíveis colisões quer entre robôs quer com a estrutura física da máquina.

Existem também variáveis que correspondem a ordens de início de ciclo, de forma a que o robô se posicione de forma segura e adequada para iniciar o ciclo.

Para além destas, existem ainda variáveis que correspondem a ordens do PLC para desencadeamento de acções em cada robô, como também a ordens de confirmação de que a ordem dada pelo PLC foi executada. Por exemplo, o PLC dá ordem ao robô de entrada para ir ao *buffer* e trazer a peça número três para a zona de testes. Assim que o robô coloca essa peça na zona pretendida informa o PLC que já o fez. Noutro exemplo, o PLC dá ordem ao robô da saída para retirar a peça esquerda, que os testes classificaram como funcional, para o transportador. Assim que o robô retira a peça da zona de testes informa o PLC que já o fez.

Desta forma, através das confirmações transmitidas por cada robô é possível controlar o número de peças que se encontram na zona de testes e, por exemplo, saber se o prato rotativo está sem peças dando a possibilidade da produção acabar nesse momento.

Resumidamente, cada robô informa o PLC da realização da ordem que lhe foi dada, sendo que essa ordem dada pelo PLC, no caso do robô de entrada, passa pela retirada sequencial de peças do *buffer* e no caso do robô de saída, passa pela

retirada da zona de testes da peça esquerda ou direita considerada funcional ou não funcional.

Desta forma é realizado o ciclo de trabalho para cada robô que é incorporado no ciclo de teste do projecto desenvolvido. O fluxograma da Figura E.1 e da Figura E.2, presente no Anexo E visa auxiliar a interpretação das lógicas utilizadas. Para o robô de entrada são usadas as variáveis de comunicação presentes nas Tabelas E.1 no Anexo E. No caso do robô de saída, a Tabela E.2, no mesmo anexo.

6.2.7 Lógica do teste eléctrico

Como apresentado na secção 4.3, o teste eléctrico é realizado recorrendo ao aparelho Hioki, modelo ST5520, e a uma placa de circuito impresso com doze relés. Esta placa permite assim que, por meio da comutação através dessas relés, os canais de teste do aparelho Hioki alternem por cada pino de cada inserto. Sendo de referir que a activação de cada uma das relés é feita através de uma saída digital do PLC.

Como é possível observar na Figura 6.8, os pinos definidos como "A", os superiores, encontram-se ligados ao canal de teste positivo do Hioki, enquanto os pinos definidos como "B", inferiores, encontram-se ligados ao canal de teste negativo do Hioki. Assim, os testes de continuidade na peça da esquerda são realizados entre os pinos P1-A e P4-B, P2-A e P5-B e P3-A e P6-B. Enquanto que na peça da direita são realizados entre os pinos P7-A e P10-B, P8-A e P11-B e P9-A e P12-B.

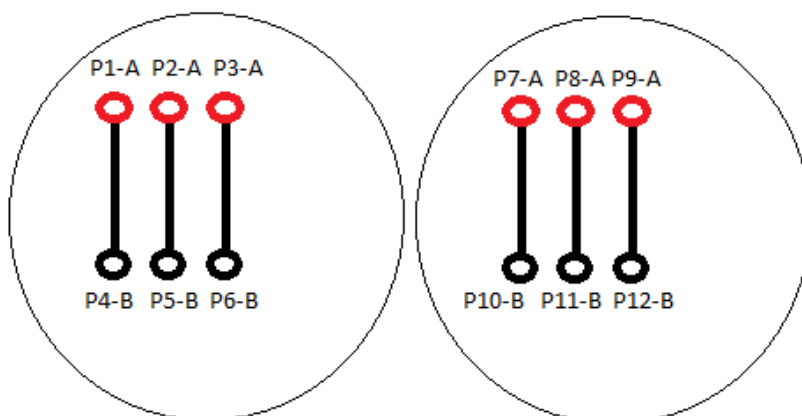


Figura 6.8: Lógica de atribuição de cada pino de duas peças a serem testadas

Para que o teste seja iniciado são activadas três saídas digitais do PLC, duas correspondentes a dois relés e outra que dá o *start* ao teste. No fim de cada teste realizado são enviados os resultados ao PLC, utilizando uma trama, via RS-232.

A presença na trama das letras "Sh", "Short", indica a presença de curto-circuito entre os dois pinos, ou seja, os dois pinos estão em continuidade. Relativamente ao teste de isolamento, este é realizado entre os insertos de cada peça. Seguindo a Figura 6.8, na peça da esquerda é realizado entre os pinos P1-A e P5-B, P3-A e P5-B e P1-A e P6-B, enquanto que na peça da direita é realizado entre os pinos P7-A e P11-B, P9-A e P11-B e P7-A e P12-B. Como requisitado pelo cliente, cada teste de isolamento tem a duração de 1,2 segundos, assim, os testes executados numa peça correspondem a 3,6 segundos do tempo de ciclo, sendo o valor de 7,2 segundos quando somamos o tempo despendido nos testes de isolamento das duas peças.

Sendo que para além do teste de isolamento, ainda são realizados seis testes de continuidade, juntando o tempo necessário para o processamento de informação, o tempo de ciclo neste posto ficaria bastante acima do desejado. Assim, para reduzir o tempo deste ciclo foram apenas realizados dois testes de isolamento por peça. Por exemplo, na peça da esquerda o teste de isolamento é realizado entre P1-A, P5-B e P3-A, testando o isolamento entre dois insertos em simultâneo, e entre P1-A e P6-B. Não sendo necessário saber entre quais dos insertos não existe isolamento, apenas é necessário saber se existe ou não isolamento entre insertos. A mesma estratégia foi utilizada para a peça da direita. Desta forma, o tempo de ciclo para os testes de isolamento passou de 7,2 segundos para 4,8 segundos.

Os fluxogramas das Figuras F.1 e F.2, presentes no Anexo F, visam auxiliar a interpretação da estratégia utilizada para este teste.

6.2.8 Lógica do teste de visão tridimensional

Como mencionado anteriormente, a programação do teste de visão tridimensional foi realizada por uma empresa externa à WRK, Lda. Desta forma, será realizada uma abordagem mais generalista desta lógica.

A lógica de funcionamento deste teste baseia-se em três aspectos, sendo eles: a ordem de movimento dada a dois motores aos quais se encontram acopladas duas câmaras de visão tridimensional; a ordem *trigger* dada a essas câmaras e a análise de toda a informação recolhida após o varrimento das peças.

Como apresentado na secção 3.4, a peça foi dividida em três zonas. Assim, o movimento dos motores, aos quais se encontram acopladas as duas câmaras, foi afinado de modo a que seja testada uma zona de cada um das peças em simultâneo. Por exemplo, num movimento de varredora sobre as peças, uma câmara analisa a zona 1 da peça da esquerda e outra câmara analisa a zona 1 da peça da direita.

Relativamente à recolha de informações, este sistema de visão tem um procedimento específico, que se encontra retratado no seu manual presente na Figura B.3, no Anexo B, e que será seguidamente explanado.

Na definição do conjunto de *bytes* para comunicação *Ethernet/IP*, existe um conjunto de *bits* que foram estipulados como o resultado do teste realizado às zonas da peça. Assim, a lógica de recolha de dados, baseia-se num *bit* de memória, enviado pelo controlador do sistema de visão ao PLC, que, quando se encontra com o seu maior valor lógico, significa que o resultado do teste está disponível. Caso contrário, tal significa que o resultado do teste ainda não foi validado. Posteriormente, o PLC pode recolher os dados do sistema de visão e informa, através de um *bit* enviado do PLC ao controlador do sistema de visão, que já recolheu os dados. O controlador do sistema de visão, ao ser informado que o PLC já recolheu os dados provoca uma descensão do valor lógico do *bit* correspondente ao resultado do teste.

Desta forma, no final dos movimentos de varredura, as três zonas de cada peça foram testadas e o PLC obtém a informação se as duas peças se encontram funcionais ou não funcionais.

Os fluxogramas das Figuras G.1 e G.2, presentes no Anexo G visam auxiliar a interpretação a lógica utilizada para a realização do teste de visão 3D. As variáveis utilizadas para comunicação com os sistema de visão 3D encontram-se na Tabela G.1 no Anexo G.

6.2.9 Lógica do teste de verificação e medição

Relativamente ao teste de verificação e medição, torna-se relevante compreender a lógica do teste de verificação cuja programação é apresentada na secção 5.2 e de que fazem parte duas câmaras IV-500MA que validam a presença de sete furos em cada uma das peças em teste.

O que se verifica é que o PLC, através da rede *Ethernet/IP*, dá ordem de *trigger* a cada câmara que procede então à verificação da presença dos sete furos em cada uma das peças em teste. Sendo que em caso afirmativo a peça é classificada como funcional, caso contrário é considerada não funcional.

Para este caso, existe também um protocolo de comunicação específico, que deve ser garantido para uma correta recolha e envio de informações de cada uma das câmaras para o PLC. Assim, após o *trigger* enviado pelo PLC, cada câmara recolhe uma imagem e procede à sua avaliação, disponibilizando no fim um *bit* que informa que o resultado do teste está disponível. Posteriormente, o PLC recolhe e interpreta essa informação.

Importa referir que neste caso o *bit* que informa o PLC do resultado disponível não tem sempre uma ascensão do seu valor lógico a cada teste, o que se verifica é que a variação do seu valor lógico depende sempre do estado anterior. Ou seja, se no teste anterior houve uma ascensão, no teste actual irá haver uma descensão desse valor.

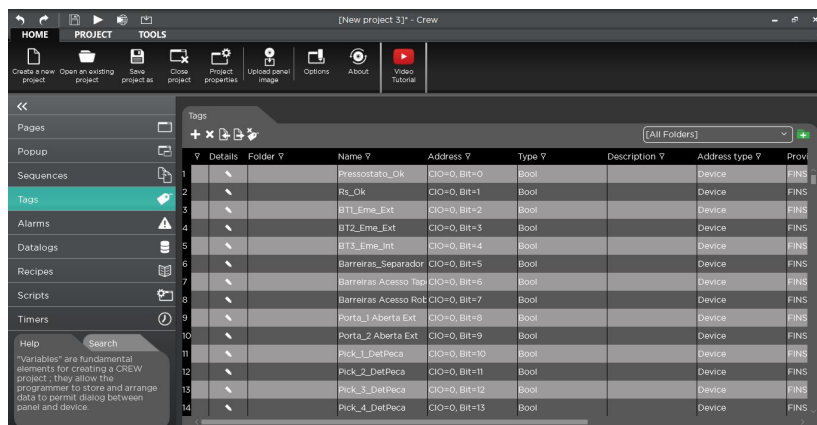
O fluxograma da Figura H.1, presente no Anexo H, visa auxiliar a interpretação deste modo de funcionamento. As variáveis utilizadas para comunicação com o sistema de verificação e medição encontram-se nas Tabelas H.2 e H.1 no Anexo H.

6.3 Consola HMI

O sistema desenvolvido é parte integrante de uma célula de produção de que faz parte uma máquina de injeção do cliente assim como outros dispositivos relativos à produção da peça em questão. Toda esta célula é inacessível da parte exterior, a não ser por duas portas com fecho de segurança. Desta forma, para permitir a supervisão e monitorização de toda a célula, o cliente recorreu a um computador industrial para que funcionasse como sistema SCADA. Assim, toda a informação relativa a resultados de testes, erros, avisos e configurações é transmitida pelo PLC da célula de produção ao sistema SCADA, através de variáveis de comunicação, por meio *Ethernet/IP*. Deste modo, a utilização da consola HMI na célula de testes teve o objectivo de auxiliar a inicialização do sistema, a selecção dos modos de operação, a configuração deste sistema e a realização da manutenção.

A programação da consola HMI, apresentada na secção 4.6, foi então realizada através do *software Esa Crew*. Tendo sido necessário, posteriormente, seleccionar o modelo da consola a utilizar e definir o endereço IP com quem esta deve comunicar, neste caso, o PLC da célula de teste, através do protocolo *Fins Protocol TCP*.

Seguidamente, na opção *Tags* do *software*, ilustrada na Figura 6.9, são definidas as variáveis que a consola HMI irá partilhar com o PLC.



ID	Name	Address	Type	Description	Address type	Prov
1	Pressostato_Ok	CIO=0, BIT=0	Bool		Device	FINS
2	Rs_Ok	CIO=0, BIT=1	Bool		Device	FINS
3	BT1_Eme_Ext	CIO=0, BIT=2	Bool		Device	FINS
4	BT2_Eme_Ext	CIO=0, BIT=3	Bool		Device	FINS
5	BT3_Eme_Int	CIO=0, BIT=4	Bool		Device	FINS
6	Barreiras_Separador	CIO=0, BIT=5	Bool		Device	FINS
7	Barreiras_Acesso Tap	CIO=0, BIT=6	Bool		Device	FINS
8	Barreiras_Acesso Rot	CIO=0, BIT=7	Bool		Device	FINS
9	Porta_1_Aberta Ext	CIO=0, BIT=8	Bool		Device	FINS
10	Porta_2_Aberta Ext	CIO=0, BIT=9	Bool		Device	FINS
11	Pick_1_DietPeca	CIO=0, BIT=10	Bool		Device	FINS
12	Pick_2_DietPeca	CIO=0, BIT=11	Bool		Device	FINS
13	Pick_3_DietPeca	CIO=0, BIT=12	Bool		Device	FINS
14	Pick_4_DietPeca	CIO=0, BIT=13	Bool		Device	FINS

Figura 6.9: Variáveis presentes no separador *tag* do *software Esa Crew*

Por exemplo como é representada na Figura 6.10, foi definida uma variável

para um detector, uma *input* do PLC, para permitir que este seja monitorizado na consola. Outro exemplo, foi o estabelecimento de uma variável *booleana* cujo valor lógico provoca o movimento de um cilindro pneumático. Podendo-se ainda referir a definição de uma variável inteira cujos valores traduzem uma mensagem a ser transmitida ao operador da máquina.

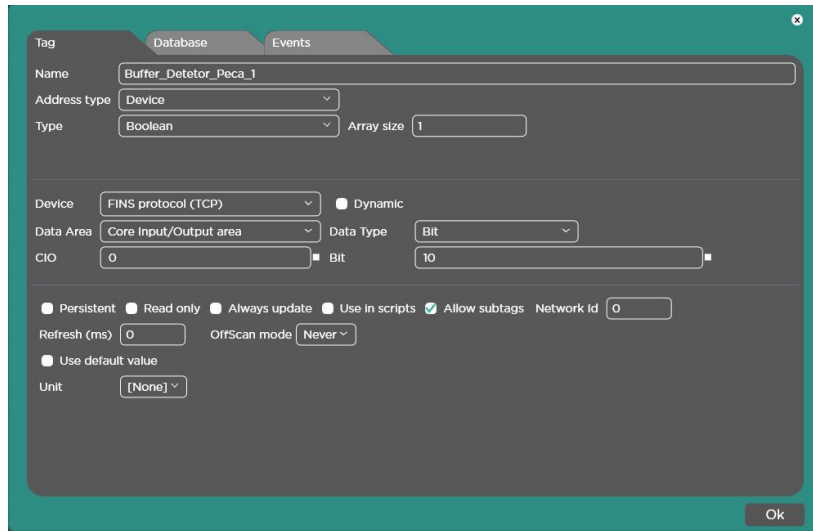


Figura 6.10: Definição de uma variável de uma *input* do PLC

Após o endereçamento de variáveis, são criados ecrãs com mensagens, imagens e animações que auxiliam e tornam mais amigável o entrosamento homem-máquina, como é apresentado na Figura [6.11](#). São exemplo destes ecrãs o ecrã de emergência, o ecrã de erro no rearme, o ecrã do menu principal, o ecrã de configurações, os ecrãs de manutenção (modo manual) e os ecrãs do modo automático.

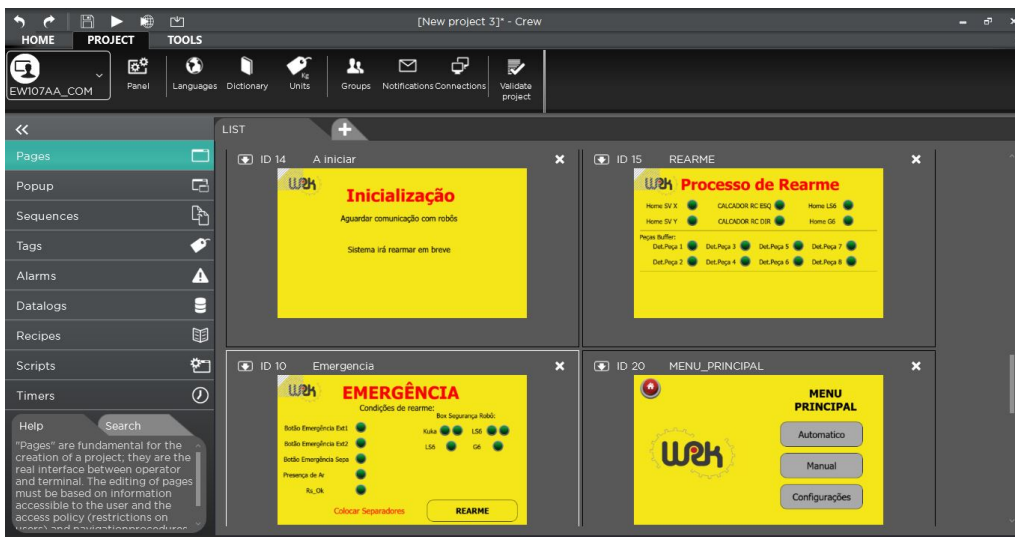


Figura 6.11: Exemplo de ecrãs criados na consola HMI

Em alguns modos de funcionamento do sistema, como é o caso do modo manual ou configurações, pelo facto de uma inadequada operação provocar consequências graves na utilização do sistema, foi criado um ecrã, representado na Figura 6.12, que permite restringir o acesso através do uso de uma *password* que apenas os responsáveis do projecto ou técnicos especializados têm acesso.



Figura 6.12: Ecrã de *password*

Capítulo 7

Conclusões

A presente dissertação teve como principal objectivo o desenvolvimento da componente de programação de uma célula de teste de um componente automóvel. Assim sendo, após a conclusão da mesma, pode-se referir que o objectivo foi alcançado com sucesso encontrando-se o sistema desenvolvido inserido na célula de produção do cliente, ainda que um dos testes requisitados não esteja em execução devido a problemas mecânicos. É de acrescentar que para tal foi essencial o estudo detalhado do mercado industrial, nomeadamente de aplicações industriais e sistemas semelhantes àquele que se pretendia desenvolver.

Este projecto possibilitou assim aumentar o conhecimento em termos de aplicações na área da automação industrial tendo o contacto directo com o cliente num ambiente industrial, permitido também o desenvolvimento de competências ao nível de actuar sobre pressão e gestão de tempo.

Neste capítulo são analisados os objectivos iniciais do projecto, os obstáculos encontrados assim como possíveis melhorias a serem efectuadas no sistema.

7.1 Solução implementada

O desenvolvimento da solução implementada decorreu em três fases fulcrais. A primeira fase passou pelo estudo do funcionamento do sistema juntamente com o departamento de projecto e o cliente. A segunda, disse respeito ao estudo e exploração dos sistemas/dispositivos que são parte constituinte do projecto. A terceira passou pela programação do sistema e sua inicialização já no cliente.

Mas primeiramente tornou-se relevante definir o protocolo de comunicação a utilizar. Para isso, foi necessário reunir com o cliente, que dispunha de parte da célula de produção e com a empresa responsável pela programação do sistema de visão tridimensional. Foi nesse âmbito decidido o meio de comunicação, *Ethernet IP* para comunicação entre os constituintes da célula teste e entre esta e a célula de produção.

Ao nível dos sistemas/dispositivos a utilizar foram respeitados os requisitos do cliente. Assim, ao nível do teste eléctrico, foi utilizado o aparelho Hioki ST5520 tendo sido realizado um estudo aprofundado do seu funcionamento e da sua implementação neste projecto. Contudo, foi encontrada uma grande limitação, este aparelho apenas apresenta um canal de teste. De modo a solucionar esta limitação, foi desenvolvida uma placa de circuito impresso com doze relés. Sendo de referir que foi necessário ter em atenção as tensões envolvidas no teste eléctrico para a escolha dos relés e na disposição de componentes na placa de circuito impresso.

Outro dos requisitos do cliente foi a utilização do PLC Omron CJ2M, tendo sido contabilizadas as entradas e saídas que seriam necessárias para escolher as expansões a utilizar no PLC.

Quando finalizado, o sistema foi incorporado na célula de produção do cliente. Nesta fase, o cliente decidiu que não iria ser necessária a implementação de uma consola HMI na célula de teste, dado que já possuía um sistema SCADA. Dessa forma, controlava a célula de teste através da rede industrial *Ethernet/IP* e por *TPC/IP*, monitorizando todas as acções a partir de um ecrã geral da célula de produção. Assim, a consola HMI da célula de teste foi mantida apenas para efeitos de manutenção desta célula.

Foi então terminada a programação do PLC, contudo, ao nível do prato rotativo detectou-se um problema mecânico que impossibilitou a programação do sistema de visão pela empresa responsável. Desta forma, o teste de visão ficou comprometido não sendo por isso realizado.

Assim, o sistema desenvolvido foi integrado na célula de produção mas apenas o teste eléctrico e o teste de verificação era efectuado. Consoante o resultado destes testes o sistema classificava as peças como funcionais ou não funcionais e paletizava-as nas caixas correspondentes. Nesta fase, foi observado que o tempo de ciclo se encontra alguns segundos acima do estipulado tendo sido realizadas alterações mecânicas que ajudaram a colmatar este problema.

7.2 Melhorias futuras

As melhorias a implementar no sistema, passam sobretudo pela optimização de algumas fases do ciclo de testes, pois o tempo de ciclo foi um dos principais problemas.

Isto verificou-se pois no teste eléctrico, visto que o cliente exigiu a utilização do aparelho Hioki ST5520, foi necessário utilizar a estratégia de leitura e interpretação da trama enviada após o teste de continuidade para avaliar continuidade da peça, o que tornou o teste muito lento. Para além disso como o cliente exigiu que fosse realizado o teste eléctrico completo a cada peça individualmente, o atraso

no tempo do ciclo, deveu-se também à necessidade de trocar programas no Hioki, dado que inicialmente é necessário escolher o programa de teste de continuidade, realizar os testes e depois seleccionar o programa para o teste de isolamento e realizar os testes. Estas sucessivas alterações de programa exigem tempo que incrementa o tempo do ciclo.

Neste âmbito, uma melhoria futura poderia passar por em vez de realizar o teste eléctrico completo a cada peça sequencialmente, ou seja, realizar o teste de continuidade e isolamento na peça da esquerda e posteriormente realizar novamente na peça da direita, a estratégia seria realizar o teste de continuidade na peça da esquerda e na da direita e seguidamente o teste de isolamento novamente nas duas peças. Assim só haveria duas comutações entre programas para o Hioki.

Outra melhoria futura passa por realizar o teste de continuidade através da injeção de uma tensão de 24 V, por exemplo, num pino do inserto e verificar se é obtida no outro pino. Caso tal se verifique, existe continuidade. Assim, com base na Figura 6.8, os pinos com a designação "A" injectavam 24 V e era verificado se os pinos "B", ligados a uma entrada do PLC, recebiam essa tensão.

É de referir que, para a implementação desta alteração, seria necessário alterar a placa de circuito impresso implementando relés para a execução deste teste.

Desta forma, sendo que o teste eléctrico corresponde à maior parte do tempo de ciclo, era possível reduzi-lo e assim atingir as exigências do cliente.

Bibliografia

- [1] Desco, “Redes industriais.” [cited on p. xiv, 31]
- [2] L. de garagem, “Tutorial motor de passo.” [cited on p. xiv, 34]
- [3] PTR, “Series 1021/g.” [cited on p. xv, 60, 73]
- [4] WEISS, “Electromechanical rotary indexing tables tc-t.” [cited on p. xvii, 134]
- [5] Hioki, “St5520 *Instruction Manual*.” [cited on p. xvii, 72, 73, 138]
- [6] Keyence, “Cv-x series easy setup guide.” Control/Communication Ether-Net/IP (KEYENCE KV Series). [cited on p. xvii, 139]
- [7] A. S. COSTA, J. Almeida; MELO, “Dicionário da língua portuguesa,” 1998. [cited on p. 13]
- [8] L. E. L. Parede, Ismael M.; Gomes, “Eletrônica,” 2011. Automação Industrial. [cited on p. 13]
- [9] . e. B. R. L. A. Viana, Amério M. M., “As novas tecnologias de automação: desenvolvimento, atributos e implicações de sua adoção em termos de escalas,” 1999. Ensaio FEE. [cited on p. 13]
- [10] . PEREZ, 1985; CORIAT, “As novas tecnologias de automação: desenvolvimento, atributos e implicações de sua adoção em termos de escalas,” 1985. Ensaio FEE. [cited on p. 14]
- [11] A. M. M. Viana, “As novas tecnologias de automação: desenvolvimento, atributos e implicações de sua adoção em termos de escalas,” 2013. Ensaio FEE. [cited on p. 14, 15]
- [12] A. B. Correia, “Indústria 4.0,” 2016. Construir a empresa digital. [cited on p. 15]
- [13] E. Banzato, “Revista logística,” 2015. Indústria 4.0. [cited on p. 15]
- [14] R. B. Souza, “Souza,rodrigo barbosa,” 2005. [cited on p. 15, 17]

- [15] C. C. System, “Dick morley - ”father of the programmable logic controller,” March-April 2003. Volume 4. [cited on p. 17]
- [16] F. Petruzella, “Programable logic controllers,” s, Fifth Edition. Mc Graw Hill Education 2017. [cited on p. 17, 18, 25, 27, 31, 32]
- [17] W. Bolton, “Programable logic controllers,” 2009. Fifth Edition. Springer. [cited on p. 17, 25, 27, 28]
- [18] R. HADDAD, “Desenvolvimento de sistemas de supervisão, universidade estadual de londrina,” 2006. [cited on p. 28]
- [19] L. B. D. PIRES, Paulo; OLIVEIRA, “Aspectos de segurança em sistemas scada,” 2004. [cited on p. 28]
- [20] M. P. Groover, “Automation, production system, and computer integrated manufacturing.,” 2007. [cited on p. 30, 31]
- [21] L. Figueiredo, “Sistemas flexíveis de fabrico,” 2017. Redes Industriais. [cited on p. 30, 31, 32]
- [22] I. ODVA, “Ethernet/ip - cip on ethernet technology,” 2006. [cited on p. 32]
- [23] P. A. M. K. a. B. S. Kumar, “A study on the suitability of ethernet/ip and ethercat,” 2016. [cited on p. 32]
- [24] E. T. Group, “The ethernet fieldbus ethercat,” 2009. [cited on p. 32]
- [25] G. H. F. Naylor, “Dictionary of mechanical engineering,” 1996. [cited on p. 32]
- [26] A. Hughes, “Electric motors and drives.” 3 ed Oxfor. [cited on p. 33, 34, 35]
- [27] K. E. A. Stoelting, Hans-Dieter, “Handbook of fractionalhorsepower drives.” [cited on p. 33, 34]
- [28] M. Paulino, “Ensaio de resistência de isolamento e de rigidez dielétrica,” 08 2018. Capítulo VII. [cited on p. 35]
- [29] Fluke, “Megohmmeter insulation testers, how to test insulation resistance,” 08 2018. [cited on p. 36]
- [30] Keyence, “Alta performance e simplicidade, série cv-x.” [cited on p. 37, 82]
- [31] Keyence, “Iv series users manua.” [cited on p. 39, 84]
- [32] S. Eurodrive, “W10 dt56 geared motor,” 06 2001. [cited on p. 71]
- [33] Bonfiglioli, “Instruction manual s2u standart.” [cited on p. 71]

- [34] I. S. Técnico, “Determinação da secção dos cabos de baixa tensão.” [cited on p. 73]
- [35] S. Meder, “Series datasheet –hm reed relays.” [cited on p. 76, 78]
- [36] SANMOTION, “Close loop stepping systems, model pb, pcif software.” PCIF Software. [cited on p. 80]
- [37] SANMOTION, “Close loop stepping systems, model pb.” [cited on p. 80]
- [38] EPSON, “Epson ls3 and ls6 robot manual.” [cited on p. 88]
- [39] EPSON, “Epson g6 scara robot manual.” [cited on p. 89]
- [40] Omron, “Standalone controller.” G9SP. [cited on p. 92]
- [41] P. E. E. D. CONSELHO, “Directiva 2006/42/ce,” Maio 2006. relativa às máquinas e que altera a Directiva 95/16/CE (reformulação). [cited on p. 114]
- [42] J. A. F. Ferreira, “Tese de mestrado - virtualização de autómatos programáveis,” 1994. Aveiro. [cited on p. -]
- [43] M. Ayob, “Optimisation of surface mount device placement machine in printed circuit board assembly,” June 2005. [cited on p. -]
- [44] M. P. Groover, “Automation, production system, and computer integrated manufacturing,” 2007. [cited on p. -]
- [45] K. E. A. Stoelting, Hans-Dieter, “Handbook of fractionalhorsepower drives.” [cited on p. -]
- [46] Hioki, “Insulation tester hioki st5520, instruction manual.” [cited on p. -]
- [47] P. Contact, “Series datasheet pcb 1792245.” [cited on p. -]

Anexo A

Esquemas eléctricos

Three-phase version (EF 150/3, EF 220/3, EF 300/3)

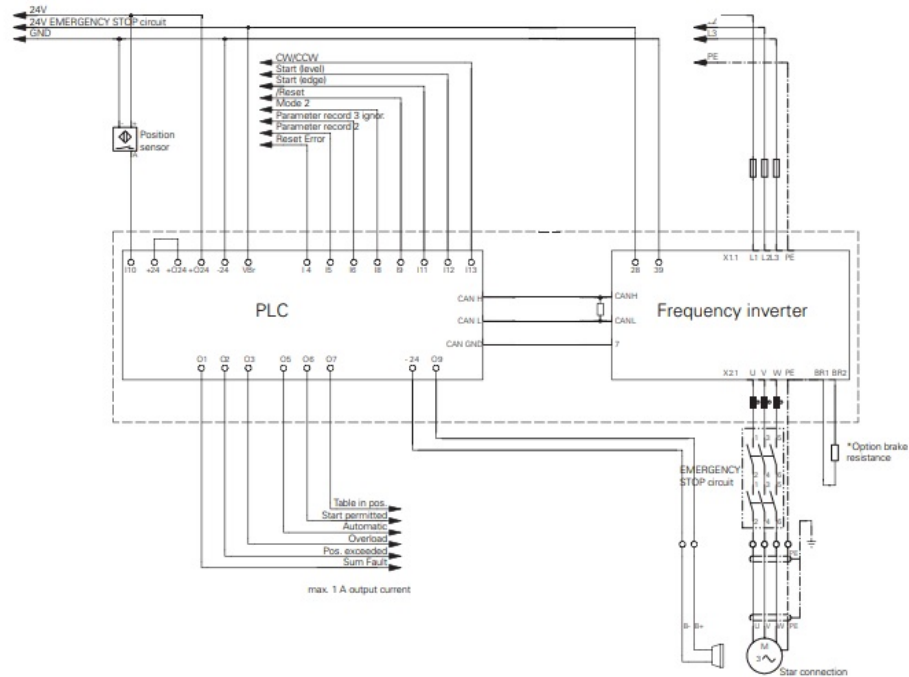


Figura A.1: Representação do esquema de ligações PLC - Prato rotativo [4]

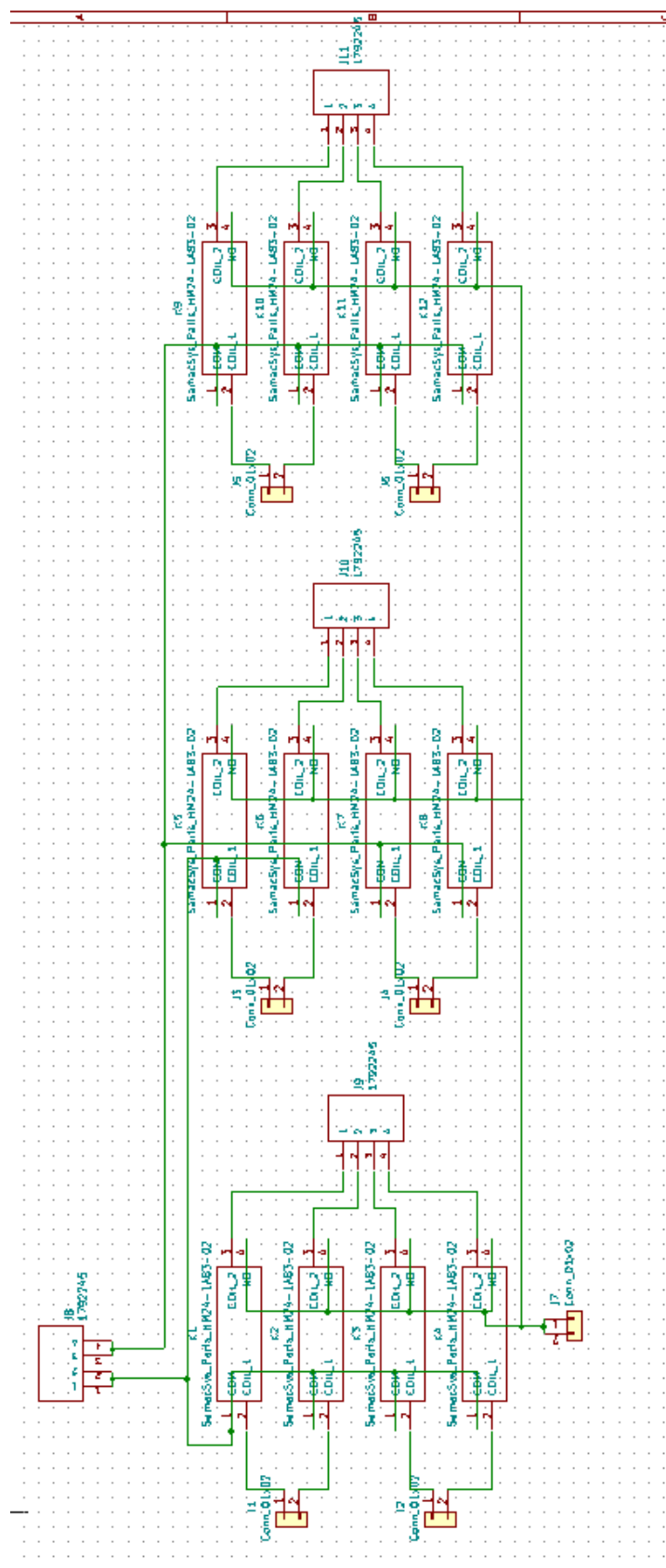


Figura A.2: Representação do esquema eléctrico da placa de circuito impresso

Anexo B

Comunicações

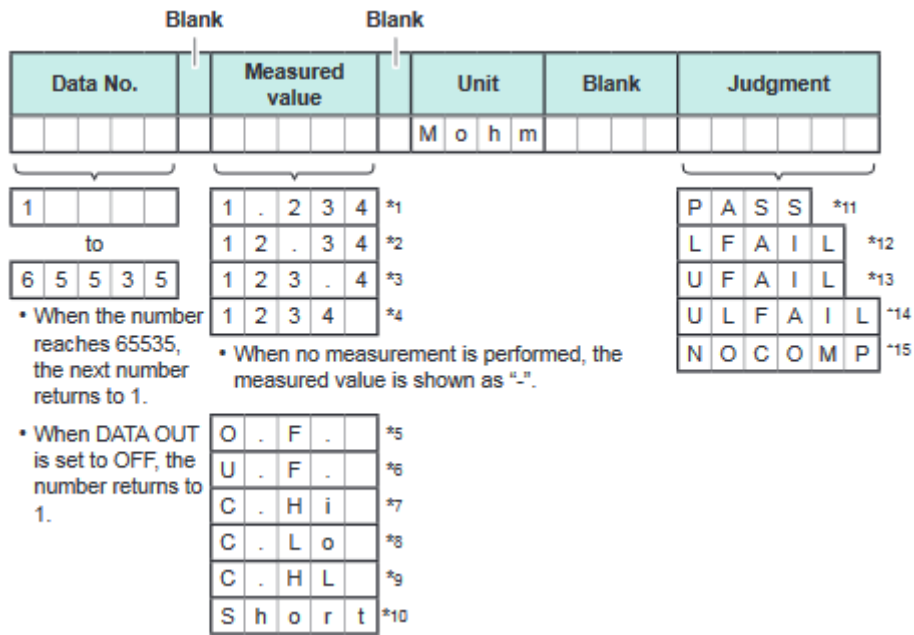


Figura B.1: Representação da trama enviada pelo aparelho Hioki após teste de continuidade [5]

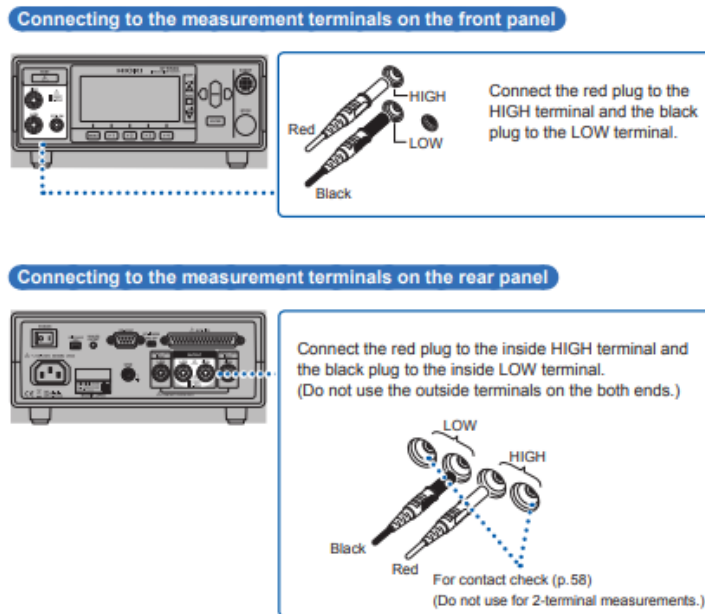


Figura B.2: Representação dos canais do modelo ST5520 Hioki [5]

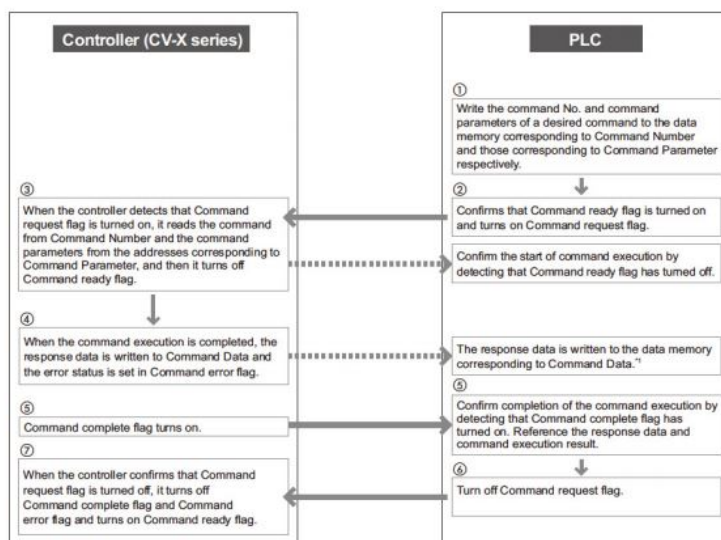


Figura B.3: Representação do protocolo de comunicação do controlador sistema de visão com PLC [6]

Anexo C

I/O PLC

Tabela C.1: Lista Entradas PLC

Endereço	Tipo de dados	Nome
0.00	Input PLC Bool	Pressostato Ok
0.01	Input PLC Bool	Relé Segurança OK
0.02	Input PLC Bool	BT emergência 1
0.03	Input PLC Bool	BT emergência 2
0.04	Input PLC Bool	BT emergência 3
0.05	Input PLC Bool	Barreiras Separador
0.06	Input PLC Bool	Barreiras Transportador
0.07	Input PLC Bool	Barreiras Robô LS6
0.08	Input PLC Bool	Porta Aberta 1
0.09	Input PLC Bool	Porta Aberta 2
0.10	Input PLC Bool	Buffer Detetor Peça 1
0.11	Input PLC Bool	Buffer Detetor Peça 2
0.12	Input PLC Bool	Buffer Detetor Peça 3
0.13	Input PLC Bool	Buffer Detetor Peça 4
0.14	Input PLC Bool	Buffer Detetor Peça 5
0.15	Input PLC Bool	Buffer Detetor Peça 6
1.00	Input PLC Bool	Buffer Detetor Peça 7
1.01	Input PLC Bool	Buffer Detetor Peça 8
1.02	Input PLC Bool	Garra RG6 Rotativo AV
1.03	Input PLC Bool	Garra RG6 Rotativo RC
1.04	Input PLC Bool	Garra RG6 Aberta
1.05	Input PLC Bool	Garra RG6 Fechada
1.06	Input PLC Bool	Prato Detetor Peça ESQ
1.07	Input PLC Bool	Prato Detetor Peça DIR
1.08	Input PLC Bool	Prato Calcador AV ESQ
1.09	Input PLC Bool	Prato Calcador RC ESQ
1.10	Input PLC Bool	Prato Calcador AV DIR
1.11	Input PLC Bool	Prato Calcador RC DIR
1.12	Input PLC Bool	Motor Prato Home
1.13	Input PLC Bool	Reserva
1.14	Input PLC Bool	Motor Prato Pos Ok
1.15	Input PLC Bool	Reserva
2.00	Input PLC Bool	Motor Prato Alarme
2.01	Input PLC Bool	Motor Prato Ready
2.02	Input PLC Bool	Saída Detetor Ferramenta Separador
2.03	Input PLC Bool	Saída Detetor Ferramenta Peça
2.04	Input PLC Bool	Saída Detetor Separadores Acabar
2.05	Input PLC Bool	Saída Detetor Fim Separadores
2.06	Input PLC Bool	Saída Detetor Caixa Nok
2.07	Input PLC Bool	Garra RLS6 Aberta
2.08	Input PLC Bool	Garra RLS6 Fechada
2.09	Input PLC Bool	Saída Tranca Caixa Nok AV
2.10	Input PLC Bool	Saída Tranca Caixa Nok RC
2.11	Input PLC Bool	Saída Vácuo Ok
2.12	Input PLC Bool	Transportador Tranca Caixa 1 ESQ AV
2.13	Input PLC Bool	Transportador Tranca Caixa 1 ESQ RC
2.14	Input PLC Bool	Transportador Tranca Caixa 1 DIR AV
2.15	Input PLC Bool	Transportador Tranca Caixa 1 DIR AV

3.00	Input PLC Bool	Transportador Tranca Caixa 2 AV
3.01	Input PLC Bool	Transportador Tranca Caixa 2 RC
3.02	Input PLC Bool	Transportador Elevador AV
3.03	Input PLC Bool	Transportador Elevador RC
3.04	Input PLC Bool	Transportador Detetor Caixa 1
3.05	Input PLC Bool	Transportador Detetor Caixa 2
3.06	Input PLC Bool	Transportador Detetor Saída Peça Elevador
3.07	Input PLC Bool	Transportador Detetor Peça Elevador
3.08	Input PLC Bool	Transportador Erro Tapete 1
3.09	Input PLC Bool	Transportador Erro Tapete 2
3.10	Input PLC Bool	Transportador Erro Tapete 3
3.11	Input PLC Bool	Transportador Botão <i>Start</i> Tapete Inferior
3.12	Input PLC Bool	Botão Ciclo Controló
3.13	Input PLC Bool	Ciclo Controló Detetor Peça Início
3.14	Input PLC Bool	Ciclo Controló Detetor Peça Fim
3.15	Input PLC Bool	Ciclo Controló Motor <i>Ready</i>
4.00	Input PLC Bool	Ciclo Controló Motor <i>Busy</i>
4.01	Input PLC Bool	Ciclo Controló Motor Erro
4.02	Input PLC Bool	Botão Pedido Autorização Entrada Célula 1
4.03	Input PLC Bool	Prato Erro Arranque
4.04	Input PLC Bool	Transportador Erro Ficha 1
4.05	Input PLC Bool	Transportador Erro Ficha 2
4.06	Input PLC Bool	Transportador Erro Ficha 3
4.07	Input PLC Bool	Hioki Erro
4.08	Input PLC Bool	Hioki Falha Alta
4.09	Input PLC Bool	Hioki Falha Baixa
4.10	Input PLC Bool	Hioki Em Teste
4.11	Input PLC Bool	Hioki <i>Pass</i> Teste Ok
4.12	Input PLC Bool	Drive PB1 <i>Alarm</i>
4.13	Input PLC Bool	Drive PB1 <i>Busy</i>
4.14	Input PLC Bool	Drive PB1 <i>In Position</i>
4.15	Input PLC Bool	Drive PB1 <i>Home End</i>
5.00	Input PLC Bool	Drive PB1 Zona 1
5.01	Input PLC Bool	Drive PB1 Zona 2
5.02	Input PLC Bool	Drive PB2 <i>Alarm</i>
5.03	Input PLC Bool	Drive PB2 <i>Busy</i>
5.04	Input PLC Bool	Drive PB2 <i>In Position</i>
5.05	Input PLC Bool	Drive PB2 <i>Home End</i>
5.06	Input PLC Bool	Drive PB2 Zona 1
5.07	Input PLC Bool	Drive PB2 Zona 2
5.08	Input PLC Bool	Saída Detetor Ferramenta Peça Posição correta
5.09	Input PLC Bool	Botão Pedido Autorização Entrada Célula 2
5.10	Input PLC Bool	Sinal Box Kuka
5.11	Input PLC Bool	Sinal Box Kuka
5.12	Input PLC Bool	<i>Stopper</i> Elevador DIR AV
5.13	Input PLC Bool	<i>Stopper</i> Elevador DIR RC
5.14	Input PLC Bool	<i>Stopper</i> Elevador DIR AV
5.15	Input PLC Bool	Reserva

Tabela C.2: Lista Saídas PLC

<i>Endereço</i>	<i>Tipo de dados</i>	<i>Nome</i>
6.00	Output PLC Bool	Ordem Rearme
6.01	Output PLC Bool	EV Garra RLS6 Aberta
6.02	Output PLC Bool	EV Garra RLS6 Fechada
6.03	Output PLC Bool	EV Garra RLS6 Rotativo AV
6.04	Output PLC Bool	EV Garra RLS6 Rotativo RC
6.05	Output PLC Bool	Buffer Sinalizador Vermelho
6.06	Output PLC Bool	EV Prato Calcador AV
6.07	Output PLC Bool	EV Prato Calcador RC
6.08	Output PLC Bool	Motor Prato <i>Start</i>
6.09	Output PLC Bool	Motor Prato Direção
6.10	Output PLC Bool	Motor Prato <i>Enable</i>
6.11	Output PLC Bool	EV Tranca Ferramenta Robô LS6 AV
6.12	Output PLC Bool	EV Tranca Ferramenta Robô LS6 RC
6.13	Output PLC Bool	EV Tranca Caixa Nok AV
6.14	Output PLC Bool	EV Tranca Caixa Nok RC
6.15	Output PLC Bool	Sinalizador Vermelho Caixa Nok
7.00	Output PLC Bool	EV Ligar Vácuo Separador RG6
7.01	Output PLC Bool	EV Ligar Sopro Separador RG6
7.02	Output PLC Bool	EV Garra RG6 Aberta
7.03	Output PLC Bool	EV Garra RG6 Fechada
7.04	Output PLC Bool	EV Tranca Caixa 1 Transportador AV
7.05	Output PLC Bool	EV Tranca Caixa 1 Transportador RC
7.06	Output PLC Bool	EV Tranca Caixa 2 Transportador AV
7.07	Output PLC Bool	EV Tranca Caixa 2 Transportador RC
7.08	Output PLC Bool	EV Elevador Transportador AV
7.09	Output PLC Bool	EV Elevador Transportador RC
7.10	Output PLC Bool	Sinalizador Vermelho Tapete
7.11	Output PLC Bool	Motor Tapete Elevador Transportador CW
7.12	Output PLC Bool	Motor Tapete Elevador Transportador CWW
7.13	Output PLC Bool	Motor Tapete Elevador Transportador <i>Reset</i>
7.14	Output PLC Bool	Motor Tapete Transportador Superior CW
7.15	Output PLC Bool	Motor Tapete Transportador Superior <i>Reset</i>
8.00	Output PLC Bool	Motor Tapete Transportador Inferior CW
8.01	Output PLC Bool	Motor Tapete Transportador Inferior <i>Reset</i>
8.02	Output PLC Bool	Motor Ciclo Controlo <i>Bit 1</i>
8.03	Output PLC Bool	Motor Ciclo Controlo <i>Start</i>
8.04	Output PLC Bool	<i>Reset</i> Erro Arranque Motor
8.05	Output PLC Bool	<i>Bypass</i> Barreiras Autoriza
8.06	Output PLC Bool	Modo Funcionamento 1 Relé Segurança
8.07	Output PLC Bool	Modo Funcionamento 2 Relé Segurança
8.08	Output PLC Bool	ON/OFF Sensores Garra TRG6
8.09	Output PLC Bool	Relé K1 PCB Hioki
8.10	Output PLC Bool	Relé K2 PCB Hioki
8.11	Output PLC Bool	Relé K3 PCB Hioki
8.12	Output PLC Bool	Relé K4 PCB Hioki
8.13	Output PLC Bool	Relé K5 PCB Hioki
8.14	Output PLC Bool	Relé K6 PCB Hioki
8.15	Output PLC Bool	Relé K7 PCB Hioki

9.00	Output PLC Bool	Relé K8 PCB Hioki
9.01	Output PLC Bool	Relé K9 PCB Hioki
9.02	Output PLC Bool	Relé K10 PCB Hioki
9.03	Output PLC Bool	Relé K11PCB Hioki
9.04	Output PLC Bool	Relé K12 PCB Hioki
9.05	Output PLC Bool	Hioki Start
9.06	Output PLC Bool	Hioki Stop
9.07	Output PLC Bool	Hioki Interlock
9.08	Output PLC Bool	Hioki Program 0
9.09	Output PLC Bool	Hioki Program 1
9.10	Output PLC Bool	Hioki Program 2
9.11	Output PLC Bool	Hioki Program 3
9.12	Output PLC Bool	Drive PB1 Reset Alarm
9.13	Output PLC Bool	Drive PB1 Select
9.14	Output PLC Bool	Drive PB1 Start
9.15	Output PLC Bool	Drive PB1 Home
10.00	Output PLC Bool	Drive PB1 Program 0
10.01	Output PLC Bool	Drive PB1 Program 1
10.02	Output PLC Bool	Drive PB1 Program 2
10.03	Output PLC Bool	Drive PB2 Reset Alarm
10.04	Output PLC Bool	Drive PB2 Select
10.05	Output PLC Bool	Drive PB2 Start
10.06	Output PLC Bool	Drive PB2 Home
10.07	Output PLC Bool	Drive PB2 Program 0
10.08	Output PLC Bool	Drive PB2 Program 1
10.09	Output PLC Bool	Drive PB2 Program 2
10.10	Output PLC Bool	Ordem Abrir Porta Célula 1
10.11	Output PLC Bool	Ordem Abrir Porta Célula 2
10.12	Output PLC Bool	Luz Porta Célula 1
10.13	Output PLC Bool	Luz Porta Célula 2
10.14	Output PLC Bool	Output Box RLS6 Para Kuka
10.15	Output PLC Bool	Output Box RLS6 Para Kuka

Anexo D

Base principal do sistema

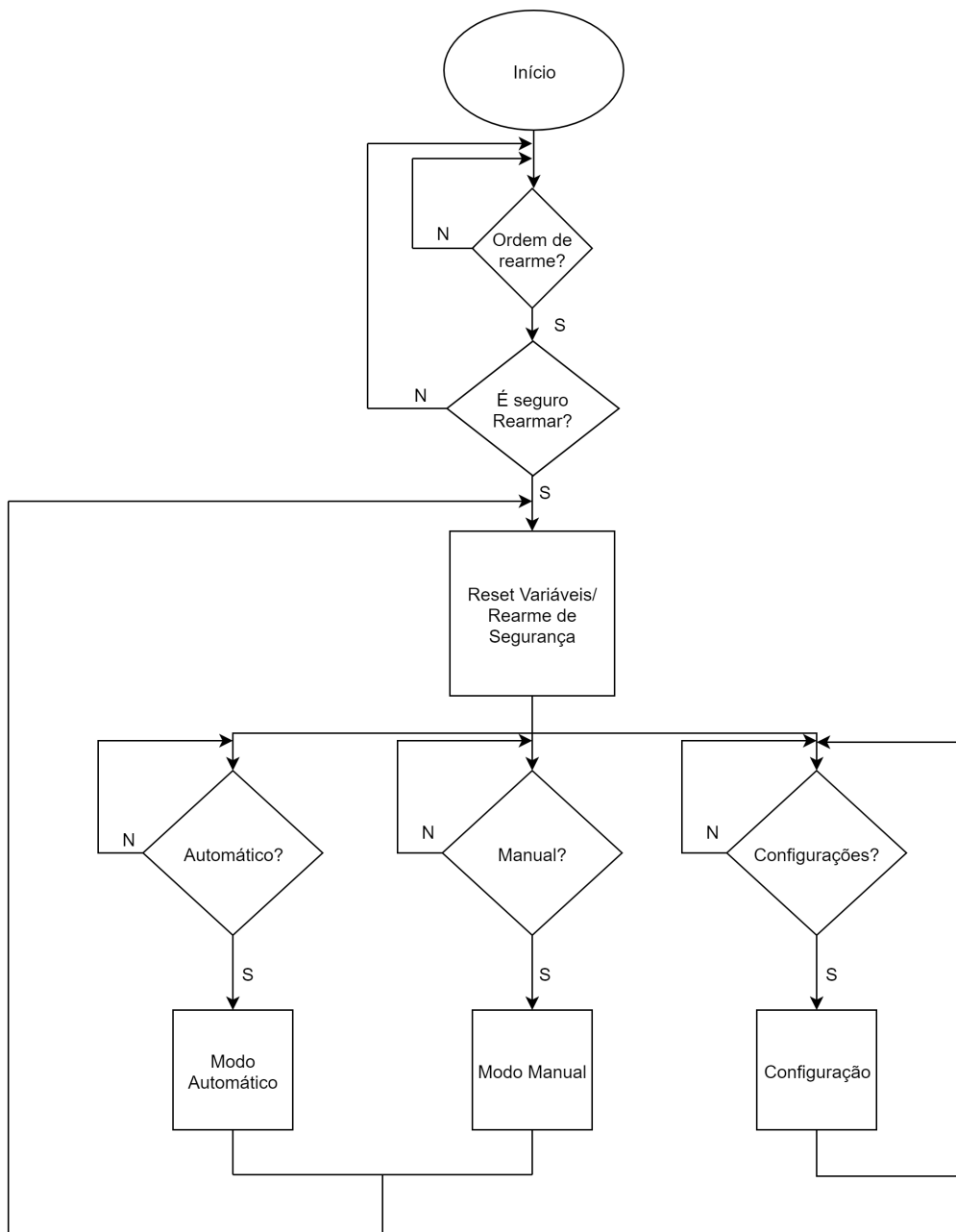


Figura D.1: Fluxograma principal do sistema

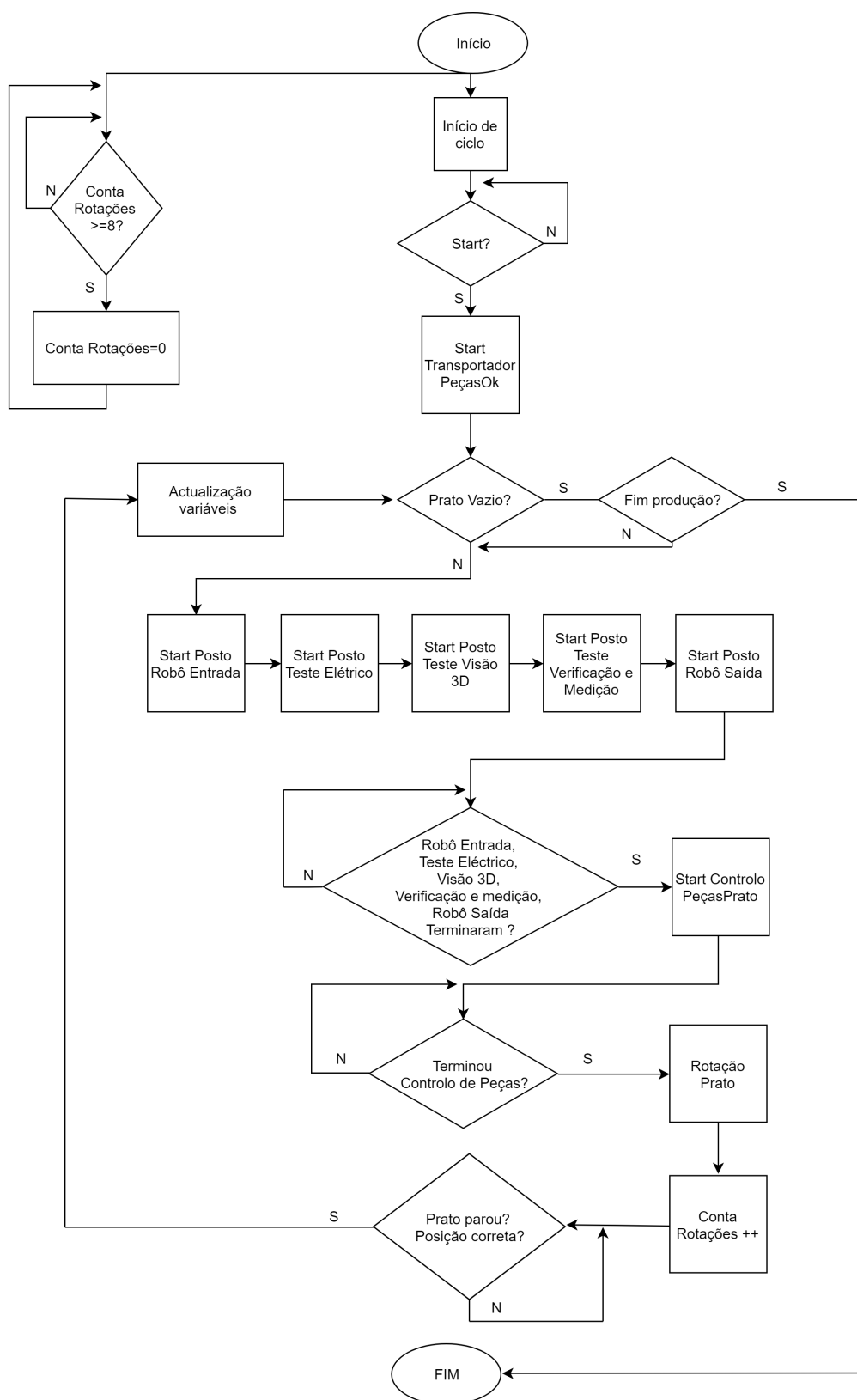


Figura D.2: Fluxograma modo automático

Tabela D.1: Lista de variáveis de rede usadas para comunicação com o PLC *master* da célula de produção

PLC MP – PLC WRK

Endereço	Tipo de dados	Nome
D28000.00	Input PLC Bool	Kuka Já Colocou Peças <i>Buffer</i> e Já se Retirou da Zona

PLC WRK – PLC MP

Endereço	Tipo de dados	Nome
D28000.00	Input PLC Bool	Aguardo e é Seguro Kuka Colocar Peças no <i>Buffer</i>

Anexo E

Robôs

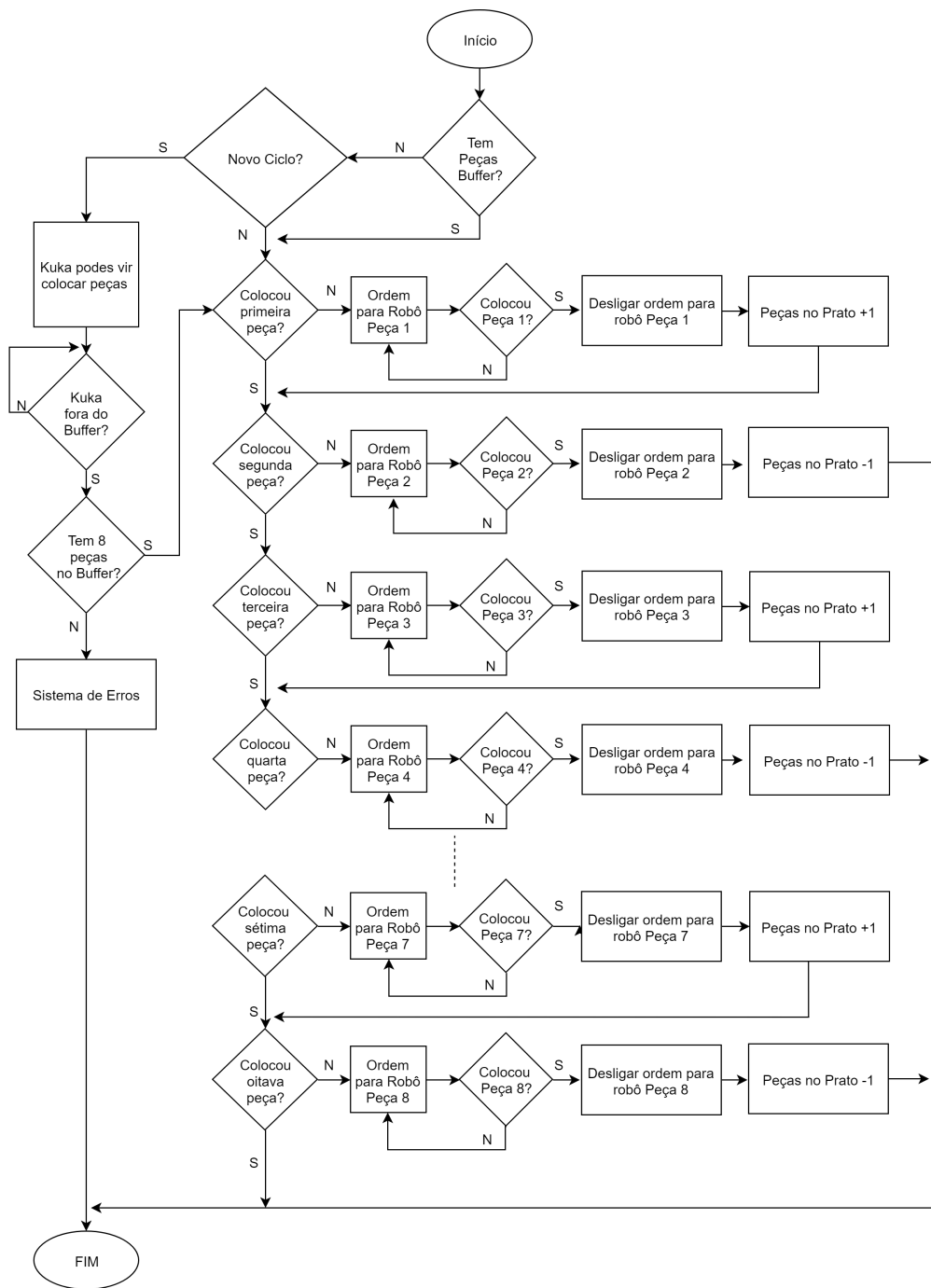


Figura E.1: Fluxograma da lógica de controlo robô entrada

Tabela E.1: Lista de variáveis de rede usadas para comunicação com robô de entrada

PLC WRK – Robô LS6 controlador RC90

<i>Endereço</i>	<i>Tipo de dados</i>	<i>Nome</i>
D30032.00	Output PLC Bool	RC90 Start
D30032.01	Output PLC Bool	RC90 Stop
D30032.02	Output PLC Bool	RC90 Pause
D30032.03	Output PLC Bool	RC90 Continue
D30032.04	Output PLC Bool	RC90 Reset
D30032.05	Output PLC Bool	RC90 Set Motor On
D30032.06	Output PLC Bool	RC90 Set Motor Off
D30032.07	Output PLC Bool	RC90 Set Power On
D30032.08	Output PLC Bool	RC90 Set Power Off
D30032.09	Output PLC Bool	RC90 Box Robô G6 Colocar Peças no Transportador
D30032.10	Output PLC Bool	RC90 Box Kuka Buffer
D30032.11	Output PLC Bool	RC90 Box Robô G6 Colocar Peças no Prato
D30032.12	Output PLC Bool	Reserva
D30032.13	Output PLC Bool	Reserva
D30032.14	Output PLC Bool	Reserva
D30032.15	Output PLC Bool	Reserva
D30033.00	Output PLC Bool	RC90 Sinal Detetor Garra Aberta
D30033.01	Output PLC Bool	RC90 Sinal Detetor Garra Fechada
D30033.02	Output PLC Bool	RC90 Sinal Detetor Peça Buffer 1
D30033.03	Output PLC Bool	RC90 Sinal Detetor Peça Buffer 2
D30033.04	Output PLC Bool	RC90 Sinal Detetor Peça Buffer 3
D30033.05	Output PLC Bool	RC90 Sinal Detetor Peça Buffer 4
D30033.06	Output PLC Bool	RC90 Sinal Detetor Peça Buffer 5
D30033.07	Output PLC Bool	RC90 Sinal Detetor Peça Buffer 6
D30033.08	Output PLC Bool	RC90 Sinal Detetor Peça Buffer 7
D30033.09	Output PLC Bool	RC90 Sinal Detetor Peça Buffer 8
D30033.10	Output PLC Bool	RC90 Sinal Detetor Rotativo AV
D30033.11	Output PLC Bool	RC90 Sinal Detetor Rotativo RC
D30033.12	Output PLC Bool	RC90 Sinal Detetor Peça Prato Esquerda
D30033.13	Output PLC Bool	RC90 Sinal Detetor Peça Prato Direita
D30033.14	Output PLC Bool	RC90 Ordem Pick Peça Buffer 1
D30033.15	Output PLC Bool	RC90 Ordem Pick Peça Buffer 2
D30034.00	Output PLC Bool	RC90 Ordem Pick Peça Buffer 3
D30034.01	Output PLC Bool	RC90 Ordem Pick Peça Buffer 4
D30034.02	Output PLC Bool	RC90 Ordem Pick Peça Buffer 5
D30034.03	Output PLC Bool	RC90 Ordem Pick Peça Buffer 6
D30034.04	Output PLC Bool	RC90 Ordem Pick Peça Buffer 7
D30034.05	Output PLC Bool	RC90 Ordem Pick Peça Buffer 8
D30034.06	Output PLC Bool	RC90 Ordem Rearme Iniciar
D30034.07	Output PLC Bool	RC90 Modo Automático
D30034.08	Output PLC Bool	RC90 Permissão Entrada Prato

Robô LS6 controlador RC90 – PLC WRK

Endereço	Tipo de dados	Nome
D30000.00	Input PLC Bool	RC90 Ready
D30000.01	Input PLC Bool	RC90 Running
D30000.02	Input PLC Bool	RC90 Paused
D30000.03	Input PLC Bool	RC90 Error
D30000.04	Input PLC Bool	RC90 Estop On
D30000.05	Input PLC Bool	RC90 Motor On
D30000.06	Input PLC Bool	RC90 Aguardar Peças do Kuka
D30000.07	Input PLC Bool	RC90 SafeGuard On
D30000.08	Input PLC Bool	RC90 SError
D30000.09	Input PLC Bool	RC90 Box Segurança Buffer
D30000.10	Input PLC Bool	RC90 Box Posição Segura para receber Kuka
D30000.11	Input PLC Bool	RC90 Box Calcador zona de testes
D30000.12	Input PLC Bool	RC90 Em movimento Peças Buffer-Prato
D30000.13	Input PLC Bool	RC90 Box Segurança colisão G6
D30000.14	Input PLC Bool	Reserva
D30000.15	Input PLC Bool	RC90 Box Posição intermédia Buffer-Prato
D30001.00	Input PLC Bool	RC90 Ordem Abre Garra
D30001.01	Input PLC Bool	RC90 Ordem Fecha Garra
D30001.02	Input PLC Bool	RC90 Ordem EV Rotativo AV
D30001.03	Input PLC Bool	RC90 Ordem EV Rotativo RC
D30001.04	Input PLC Bool	RC90 Movimento Pick Peças
D30001.05	Input PLC Bool	RC90 Movimento Place Peças
D30001.06	Input PLC Bool	RC90 Aguardar Ordem de Movimento
D30001.07	Input PLC Bool	RC90 Place Peça Esquerda Prato OK
D30001.08	Input PLC Bool	RC90 Place Peça Direita Prato OK
D30001.09	Input PLC Bool	RC90 Place Peça 1 OK
D30001.10	Input PLC Bool	RC90 Place Peça 2 OK
D30001.11	Input PLC Bool	RC90 Place Peça 3 OK
D30001.12	Input PLC Bool	RC90 Place Peça 4 OK
D30001.13	Input PLC Bool	RC90 Place Peça 5 OK
D30001.14	Input PLC Bool	RC90 Place Peça 6 OK
D30001.15	Input PLC Bool	RC90 Place Peça 7 OK
D30002.00	Input PLC Bool	RC90 Place Peça 8 OK
D30002.01	Input PLC Bool	Reserva
D30002.02	Input PLC Bool	RC90 Aguardar Permissão Para Entrar no prato
D30002.03	Input PLC Bool	RC90 Rearmei, Pronto OK
D30002.04	Input PLC Bool	RC90 Warning

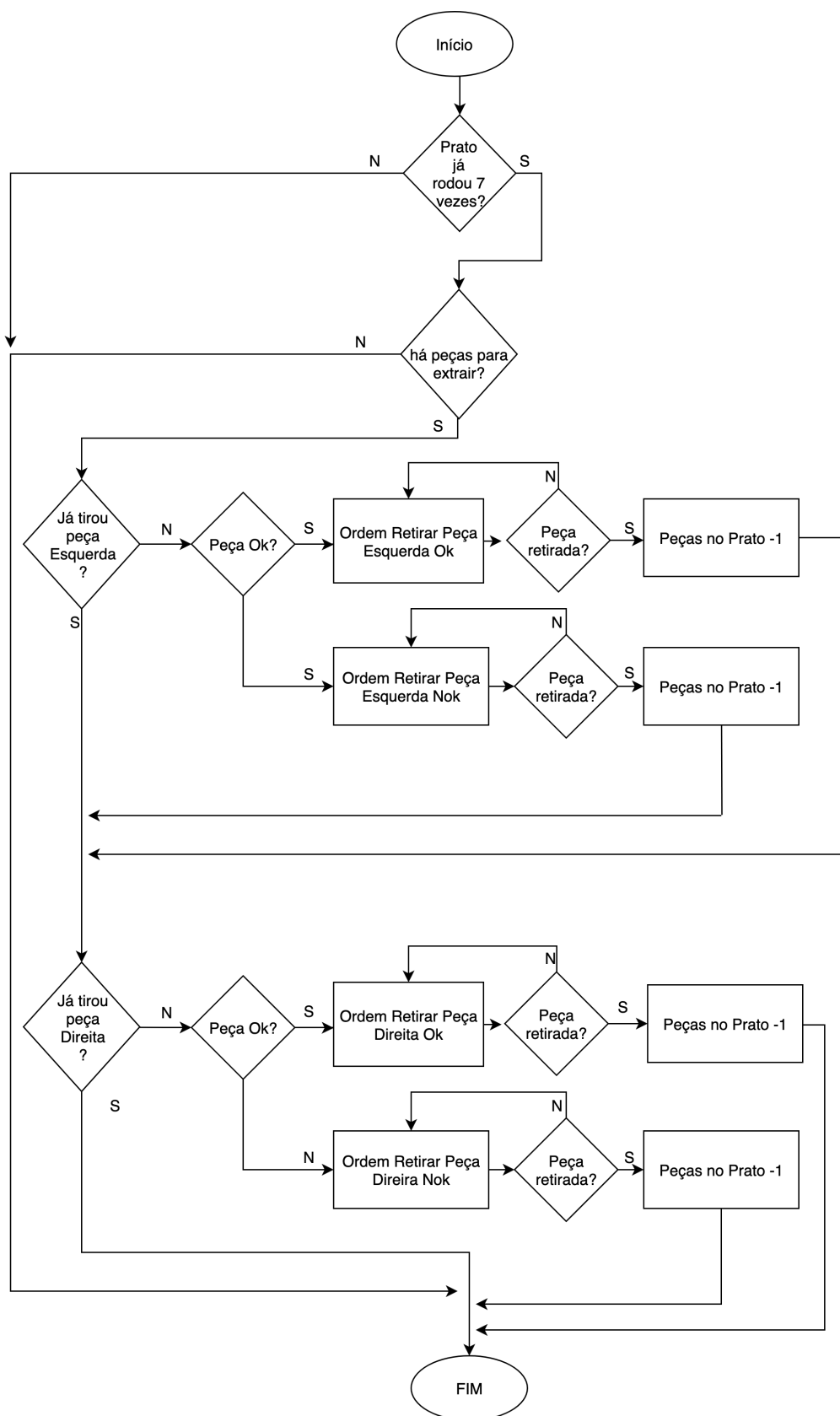


Figura E.2: Fluxograma da lógica de controlo robô saída

Tabela E.2: Lista de variáveis de rede usadas para comunicação com robô de saída

PLC WRK – Robô G6 controlador RC700

Endereço	Tipo de dados	Nome
D30096.00	Output PLC Bool	RC700 Start
D30096.01	Output PLC Bool	RC700 Stop
D30096.02	Output PLC Bool	RC700 Pause
D30096.03	Output PLC Bool	RC700 Continue
D30096.04	Output PLC Bool	RC700 Reset
D30096.05	Output PLC Bool	RC700 Set Motor On
D30096.06	Output PLC Bool	RC700 Set Motor Off
D30096.07	Output PLC Bool	RC700 Set Power On
D30096.08	Output PLC Bool	RC700 Set Power Off
D30096.09	Output PLC Bool	RC700 Box Robô LS6 no Prato
D30096.10	Output PLC Bool	RC700 Box Robô LS6 no Buffer
D30096.11	Output PLC Bool	RC700 Box Robô LS6 Posição Intermédia
D30096.12	Output PLC Bool	RC700 Em movimento Peças Buffer-Prato
D30096.13	Output PLC Bool	Reserva
D30096.14	Output PLC Bool	Reserva
D30096.15	Output PLC Bool	Reserva
D30097.00	Output PLC Bool	RC700 Sinal Detetor Garra Aberta
D30097.01	Output PLC Bool	RC700 Sinal Detetor Garra Fechada
D30097.02	Output PLC Bool	RC700 Ordem Pick Peça Direita OK
D30097.03	Output PLC Bool	RC700 Ordem Pick Peça Esquerda NOK
D30097.04	Output PLC Bool	RC700 Ordem Pick Peça Direita NOK
D30097.05	Output PLC Bool	RC700 Ordem Troca Ferramenta para Separador
D30097.06	Output PLC Bool	RC700 Sinal Vácuo OK
D30097.07	Output PLC Bool	RC700 Sinal Barreira Separadores
D30097.08	Output PLC Bool	RC700 BackUp Peça OK com Ferramenta Peça
D30097.09	Output PLC Bool	RC700 BackUp Peça NOK com Ferramenta Peça
D30097.10	Output PLC Bool	RC700 BackUp Peça OK com Ferramenta Separador
D30097.11	Output PLC Bool	RC700 BackUp Peça NOK com Ferramenta Separador
D30097.12	Output PLC Bool	RC700 Ordem Pick Peça Esquerda OK
D30097.13	Output PLC Bool	RC700 BackUp Robô Sem Ferramenta
D30097.14	Output PLC Bool	RC700 BackUp Robô com Ferramenta Peça
D30097.15	Output PLC Bool	RC700 BackUp Robô com Ferramenta Separador
D30098.00	Output PLC Bool	RC700 BackUp Robô Peça OK
D30098.01	Output PLC Bool	RC700 BackUp Robô Peça NOK
D30098.02	Output PLC Bool	RC700 Sinal Detetor Ninho Ferramenta Peça
D30098.03	Output PLC Bool	RC700 Sinal Detetor Ninho Ferramenta Separador
D30098.04	Output PLC Bool	RC700 Sinal Detetor Caixa 1 Transportador Ok
D30098.05	Output PLC Bool	RC700 Sinal Detetor Caixa NOK
D30098.06	Output PLC Bool	RC700 Robô LS6 Aguarda Permissão Prato
D30098.07	Output PLC Bool	RC700 Ordem Ciclo Controlo
D30098.08	Output PLC Bool	RC700 Sinal Detetor Peça Ciclo Controlo
D30098.09	Output PLC Bool	RC700 Ordem de Rearme
D30098.10	Output PLC Bool	RC700 Modo Automático
D30098.11	Output PLC Bool	RC700 Permissão para Prato
D30098.12	Output PLC Bool	RC700 Sinal Detetor de Separadores
D30098.13	Output PLC Bool	RC700 Sinal Detetor Ferramenta Peça Posição OK

D30098.14	Output PLC Bool	RC700 Caixa OK vazia
D30098.15	Output PLC Bool	RC700 Caixa NOK vazia
D300102	Output PLC INT	RC700 Número de Peça na Camada Atual Caixa OK BK
D300103	Output PLC INT	RC700 Número de Peça na Camada Atual Caixa NOK BK
D300104	Output PLC INT	RC700 Número da Camada Atual Caixa OK BK
D300105	Output PLC INT	RC700 Número da Camada Atual Caixa NOK BK
D300106	Output PLC INT	RC700 Número de Peças na Caixa OK TOTAL BK
D300107	Output PLC INT	RC700 Número de Peças na Caixa NOK TOTAL BK

Robô G6 controlador RC700 – PLC WRK

Endereço	Tipo de dados	Nome
D30064.00	Input PLC Bool	RC700 Ready
D30064.01	Input PLC Bool	RC700 Running
D30064.02	Input PLC Bool	RC700 Paused
D30064.03	Input PLC Bool	RC700 Error
D30064.04	Input PLC Bool	RC700 Estop On
D30064.05	Input PLC Bool	RC700 Motor On
D30064.06	Input PLC Bool	RC700 Box Calcador zona de testes
D30064.07	Input PLC Bool	RC700 Box Segurança Colisão LS6
D30064.08	Input PLC Bool	RC700 Box Caixa OK
D30064.09	Input PLC Bool	RC700 Box Caixa NOK
D30064.10	Input PLC Bool	RC700 Box Zona De Separadores
D30064.11	Input PLC Bool	Reserva
D30064.12	Input PLC Bool	RC700 Em Movimento Peças Prato-Caixas
D30064.13	Input PLC Bool	RC700 SafeGuard On
D30064.14	Input PLC Bool	RC700 SError
D30064.15	Input PLC Bool	RC700 Warning
D30065.00	Input PLC Bool	RC700 Ordem Abre Garra
D30065.01	Input PLC Bool	RC700 Ordem Fecha Garra
D30065.02	Input PLC Bool	RC700 Robô na Caixa OK
D30065.03	Input PLC Bool	RC700 Robô na Caixa NOK
D30065.04	Input PLC Bool	RC700 Robô na Prato
D30065.05	Input PLC Bool	RC700 Robô na Zona De Separadores
D30065.06	Input PLC Bool	RC700 Robô a Trocar Ferramenta Separador
D30065.07	Input PLC Bool	RC700 Robô a Trocar Ferramenta Peça
D30065.08	Input PLC Bool	RC700 Robô a Trocar Ferramenta Peça
D30065.09	Input PLC Bool	RC700 Place Peça Esquerda OK
D30065.10	Input PLC Bool	RC700 Place Peça Direita OK
D30065.11	Input PLC Bool	RC700 Place Peça Esquerda NOK
D30065.12	Input PLC Bool	RC700 Place Peça Direita NOK
D30065.13	Input PLC Bool	RC700 Com Ferramenta Peça
D30065.14	Input PLC Bool	RC700 Com Ferramenta Separador
D30065.15	Input PLC Bool	RC700 EV Tranca Ferramenta RC
D30066.00	Input PLC Bool	RC700 EV Tranca Ferramenta AV
D30066.01	Input PLC Bool	RC700 EV SOPRO
D30066.02	Input PLC Bool	RC700 Ligar Sensores Garra
D30066.03	Input PLC Bool	RC700 A rearmar
D30066.04	Input PLC Bool	RC700 Já Rearmei, Pronto OK

D30066.05	Input PLC Bool	RC700 Robô sem Ferramenta
D30066.06	Input PLC Bool	Reserva
D30066.07	Input PLC Bool	Reserva
D30066.08	Input PLC Bool	RC700 Robô com Peça OK
D30066.09	Input PLC Bool	RC700 Robô com Peça NOK
D30066.10	Input PLC Bool	RC700 Robô com Separador
D30066.11	Input PLC Bool	RC700 Caixa OK Cheia
D30066.12	Input PLC Bool	RC700 Caixa NOK Cheia
D30066.13	Input PLC Bool	RC700 Box Restrição Movimento Ferramenta Peça
D30066.14	Input PLC Bool	RC700 Box Restrição Movimento Ferramenta Separador
D30066.15	Input PLC Bool	RC90 Aguardar Permissão Para Entrar no prato
D300072	Input PLC INT	RC700 Número de Peça Na Camada Atual Caixa OK BK
D300073	Input PLC INT	RC700 Número de Peça Na Camada Atual Caixa NOK BK
D300074	Input PLC INT	RC700 Número Da Camada Atual Caixa OK BK
D300075	Input PLC INT	RC700 Número Da Camada Atual Caixa NOK BK
D300076	Input PLC INT	RC700 Número De Peças Na Caixa OK TOTAL BK
D300077	Input PLC INT	RC700 Número De Peças Na Caixa NOK TOTAL BK

Anexo F

Teste Eléctrico

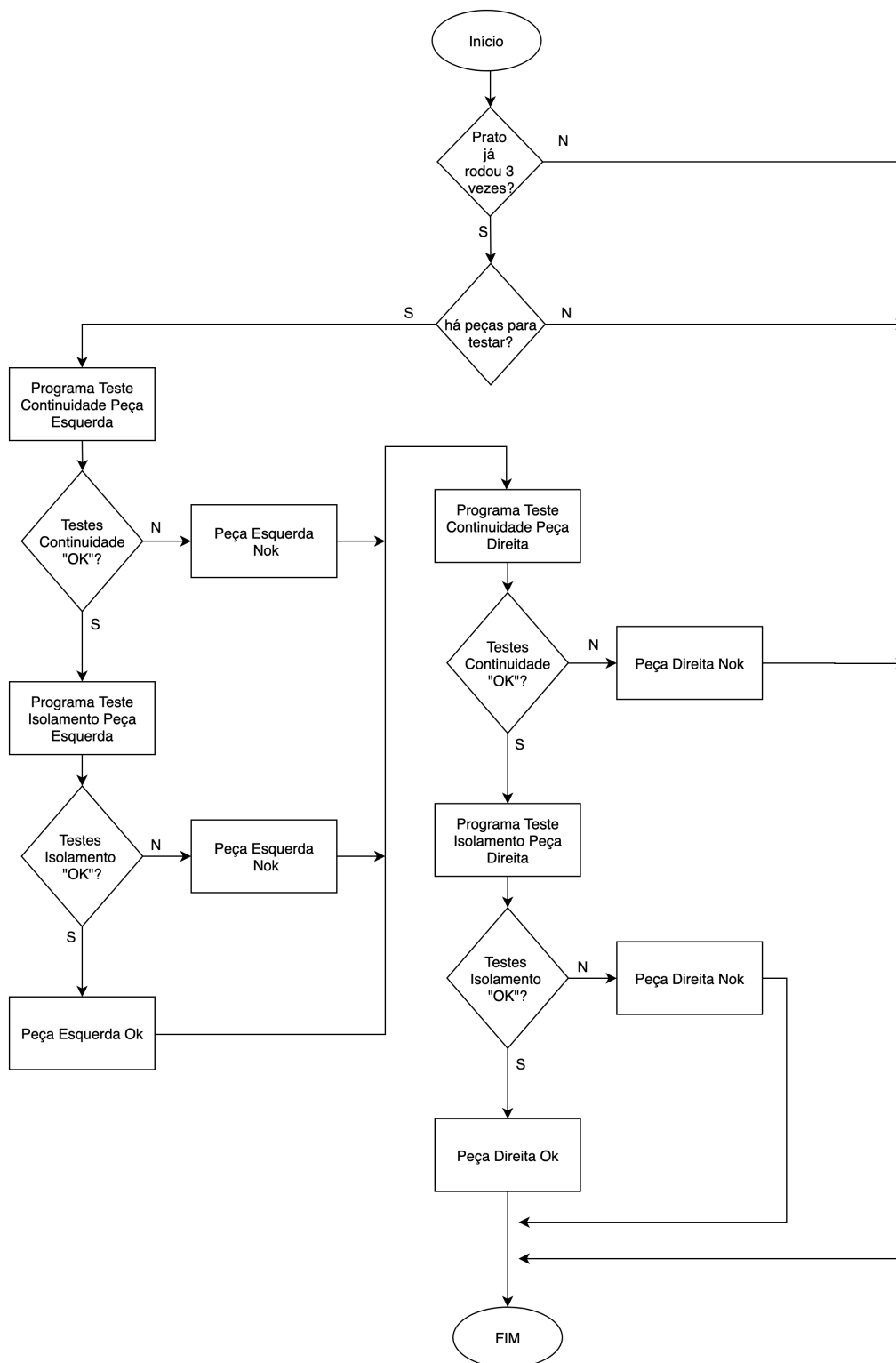


Figura F.1: Fluxograma teste eléctrico

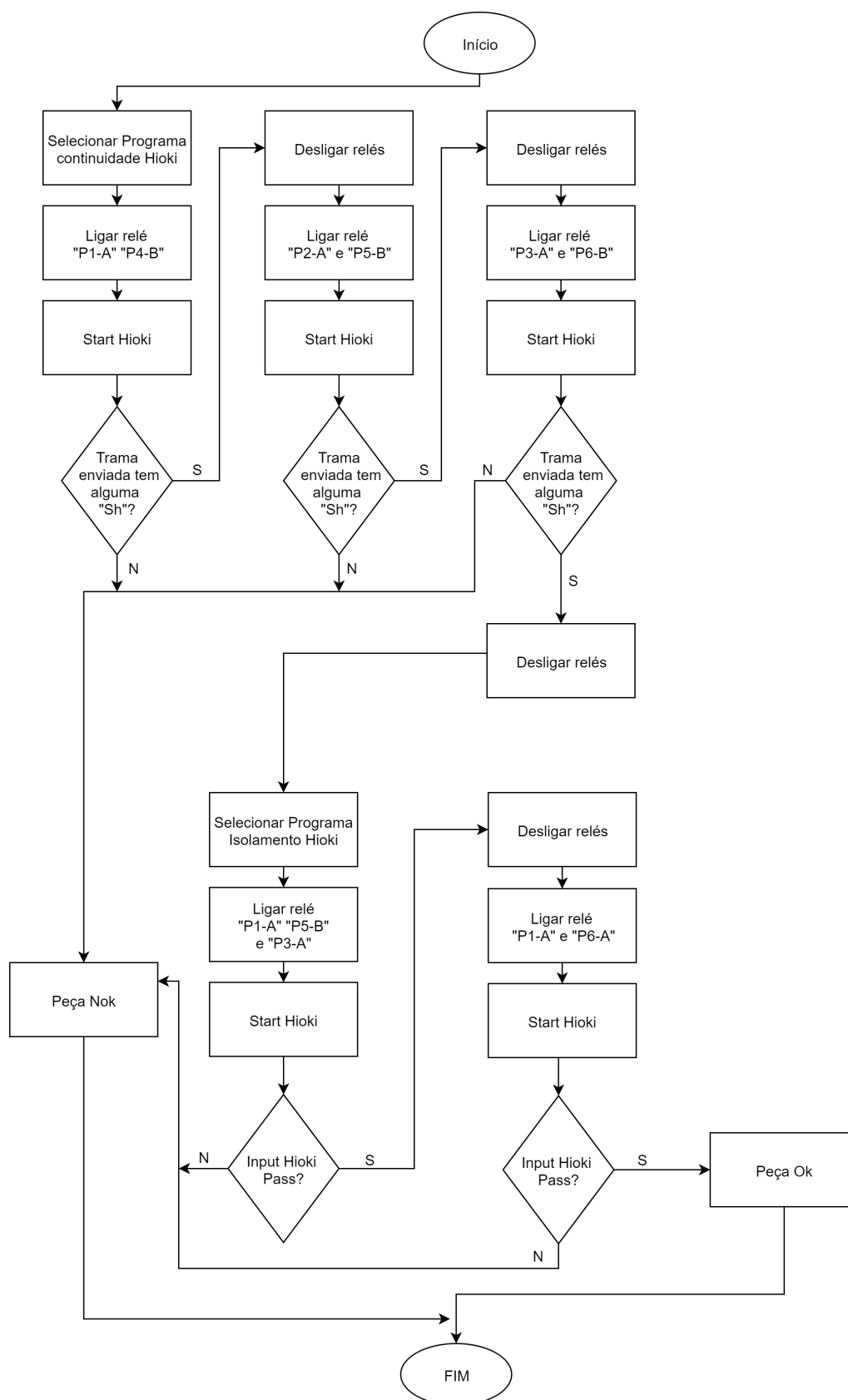


Figura F.2: Fluxograma teste eléctrico activação dos relés PCB

Anexo G

Teste Visão 3D

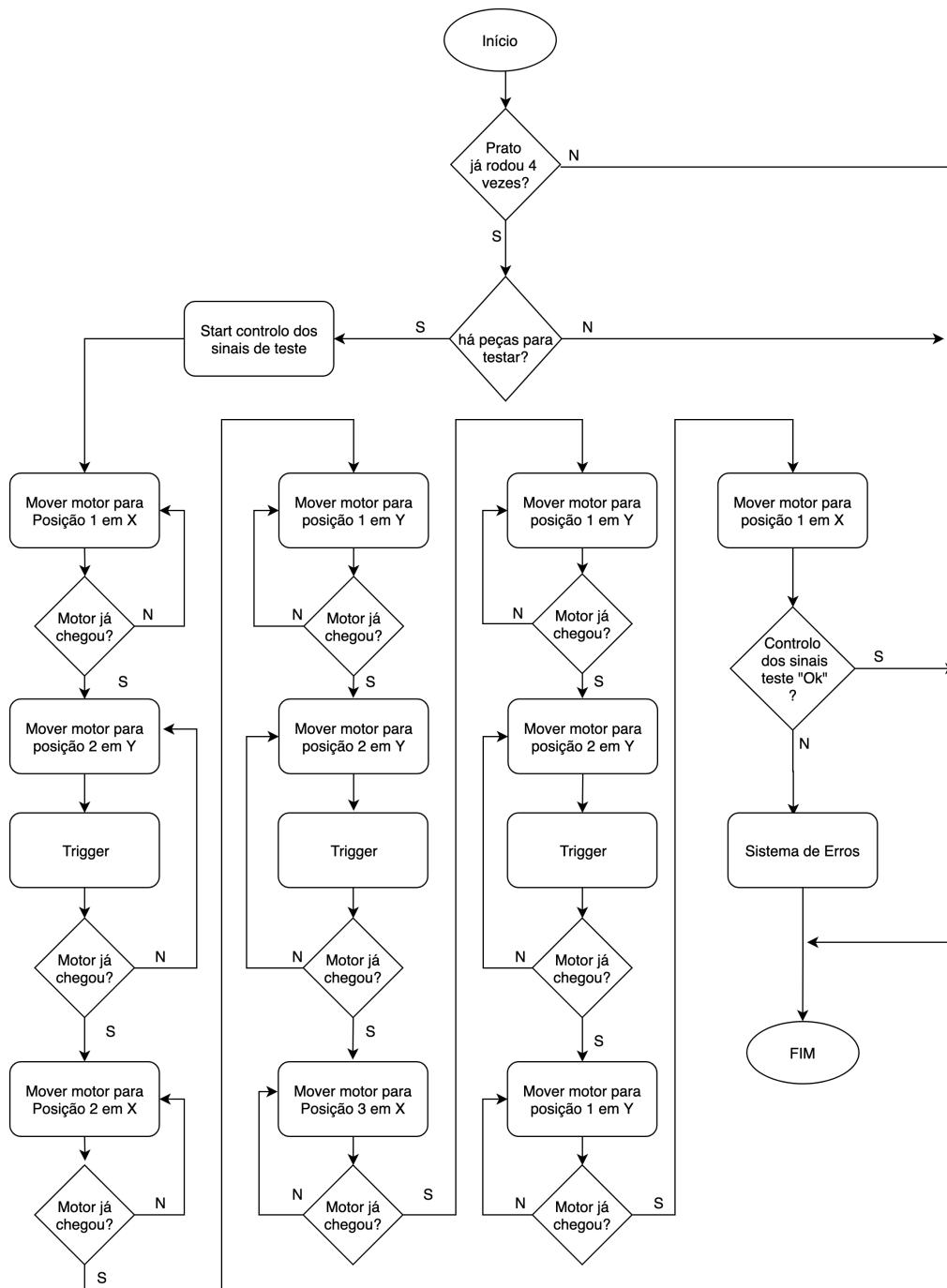


Figura G.1: Fluxograma teste visão 3D

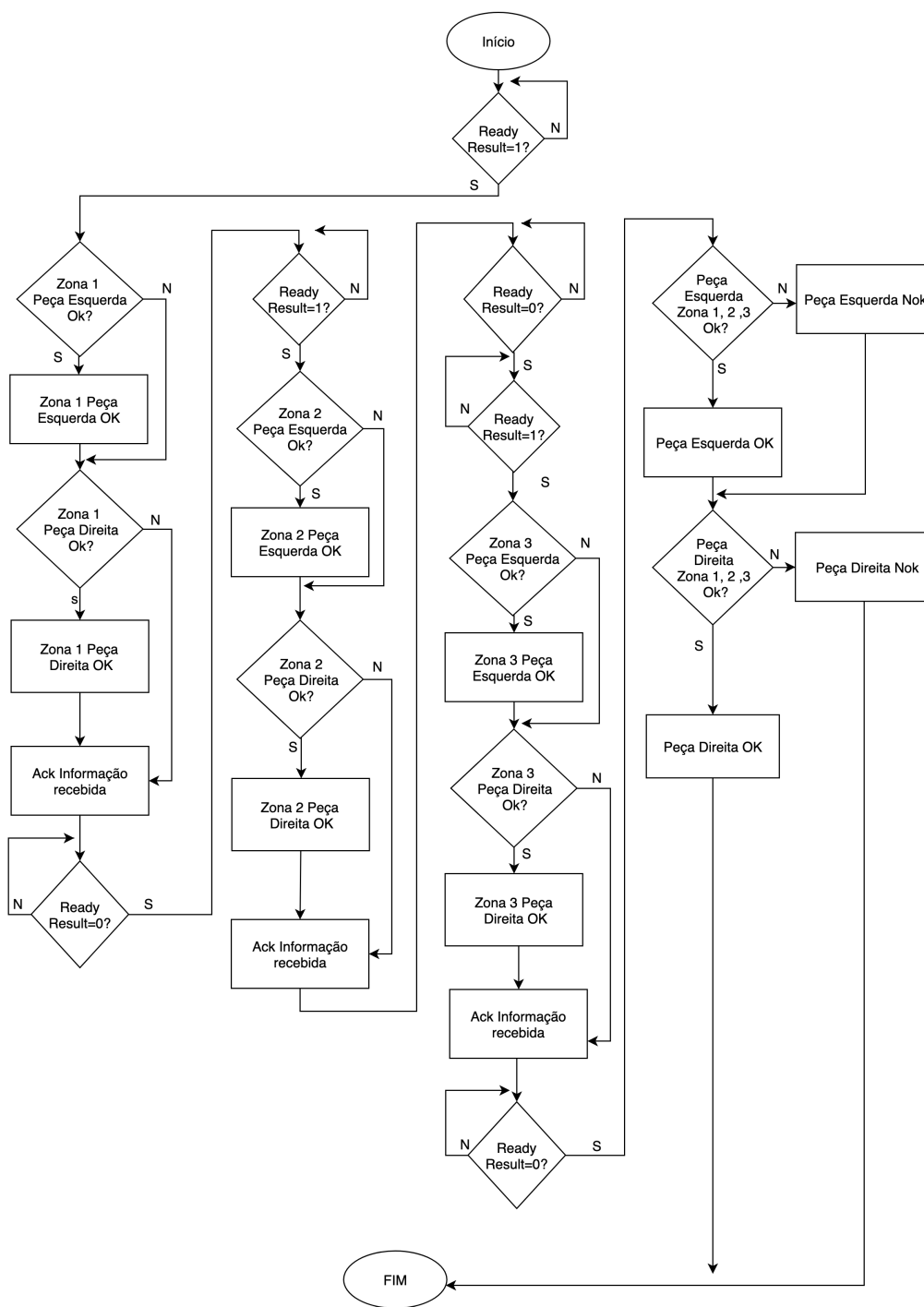


Figura G.2: Fluxograma teste visão 3D aquisição de dados

Tabela G.1: Lista de variáveis de rede usadas para comunicação com controlador sistema de visão 3D

Controlador CV-X480F – PLC WRK

<i>Endereço</i>	<i>Tipo de dados</i>	<i>Nome</i>
<i>D30496.00</i>	Input PLC Bool	<i>Ready Result</i>
<i>D30496.01</i>	Input PLC Bool	B20 Peça Esquerda Zona 1
<i>D30496.02</i>	Input PLC Bool	B21 Peça Direita Zona 1
<i>D30496.03</i>	Input PLC Bool	B22 Peça Esquerda Zona 2
<i>D30496.04</i>	Input PLC Bool	B23 Peça Direita Zona 2
<i>D30496.05</i>	Input PLC Bool	B24 Peça Esquerda Zona 3
<i>D30496.06</i>	Input PLC Bool	B25 Peça Direita Zona 3

PLC WRK - Controlador CV-X480F

<i>Endereço</i>	<i>Tipo de dados</i>	<i>Nome</i>
<i>D30992.03</i>	Input PLC Bool	<i>Ack Result</i>
<i>D30992.08</i>	Input PLC Bool	<i>Trigger</i>
<i>D30998</i>	Input PLC Bool	EXECCONDNO

Anexo H

Teste verificação e medição

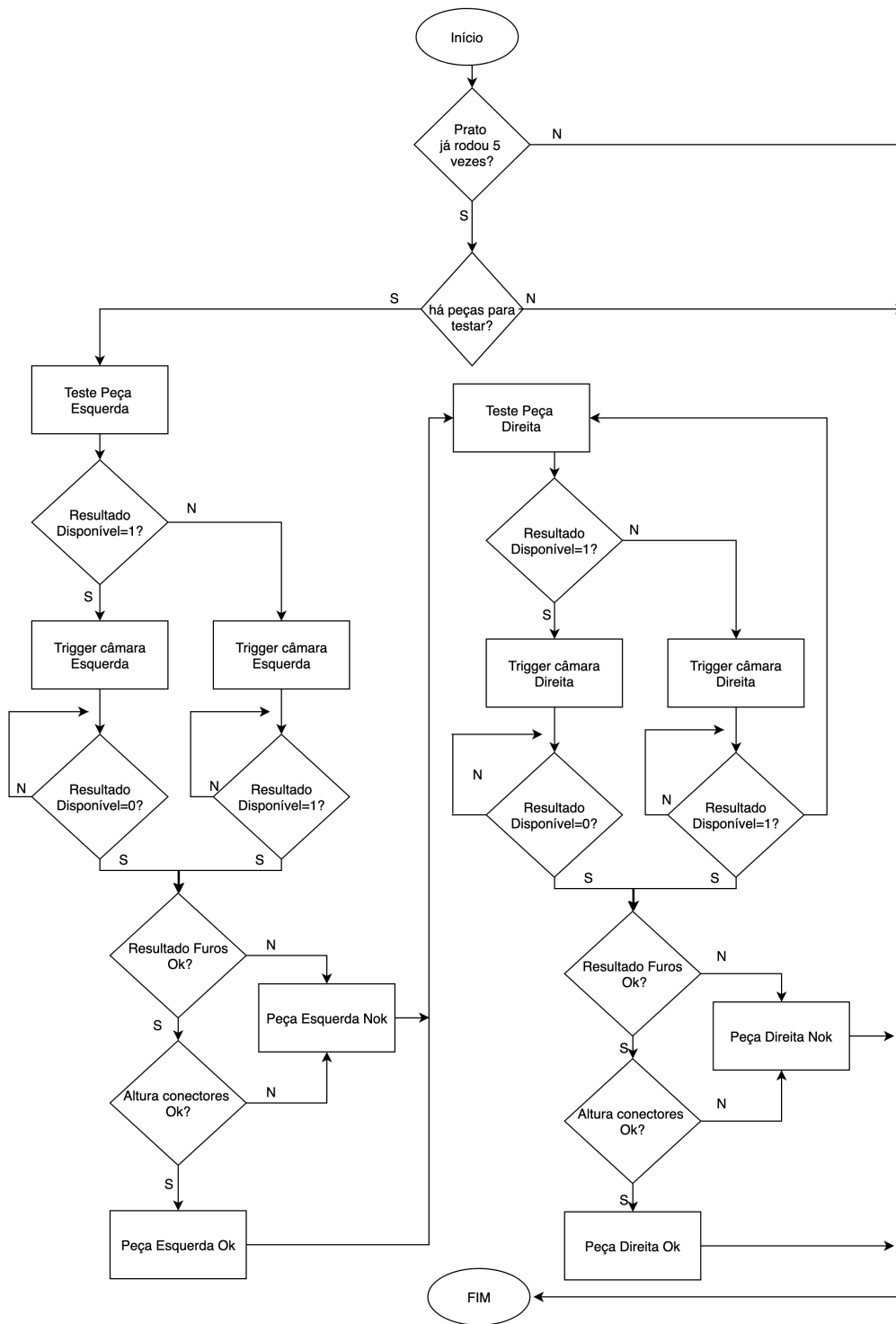


Figura H.1: Fluxograma teste verificação e medição

Tabela H.1: Lista de variáveis de rede usadas para comunicação com o controlador do teste de medição

Controlador IV-500MA – PLC WRK

Endereço	Tipo de dados	Nome
<i>D25009.00</i>	Input PLC Bool	Peça Direita Falha Altura Superior
<i>D25009.01</i>	Input PLC Bool	Peça Esquerda Falha Altura Superior
<i>D25010.00</i>	Input PLC Bool	Peça Direita Falha Altura Inferior
<i>D25010.01</i>	Input PLC Bool	Peça Esquerda Falha Altura Inferior
<i>D25011.00</i>	Input PLC Bool	Peça Direita Altura Peça OK
<i>D25011.01</i>	Input PLC Bool	Peça Esquerda Altura Peça OK

Tabela H.2: Lista de variáveis de rede usadas para comunicação com o controlador do teste de verificação

Controlador IV-500MA – PLC WRK

Endereço	Tipo de dados	Nome
<i>D25000.00</i>	Input PLC Bool	<i>Result Available</i>
<i>D25000.01</i>	Input PLC Bool	<i>Busy</i>
<i>D25000.02</i>	Input PLC Bool	<i>Run</i>
<i>D25000.03</i>	Input PLC Bool	<i>Ready</i>
<i>D25000.04</i>	Input PLC Bool	<i>Result</i>

PLC WRK - Controlador IV-500MA

Endereço	Tipo de dados	Nome
<i>D25500.00</i>	Input PLC Bool	<i>Trigger</i>

Anexo I

Transportador

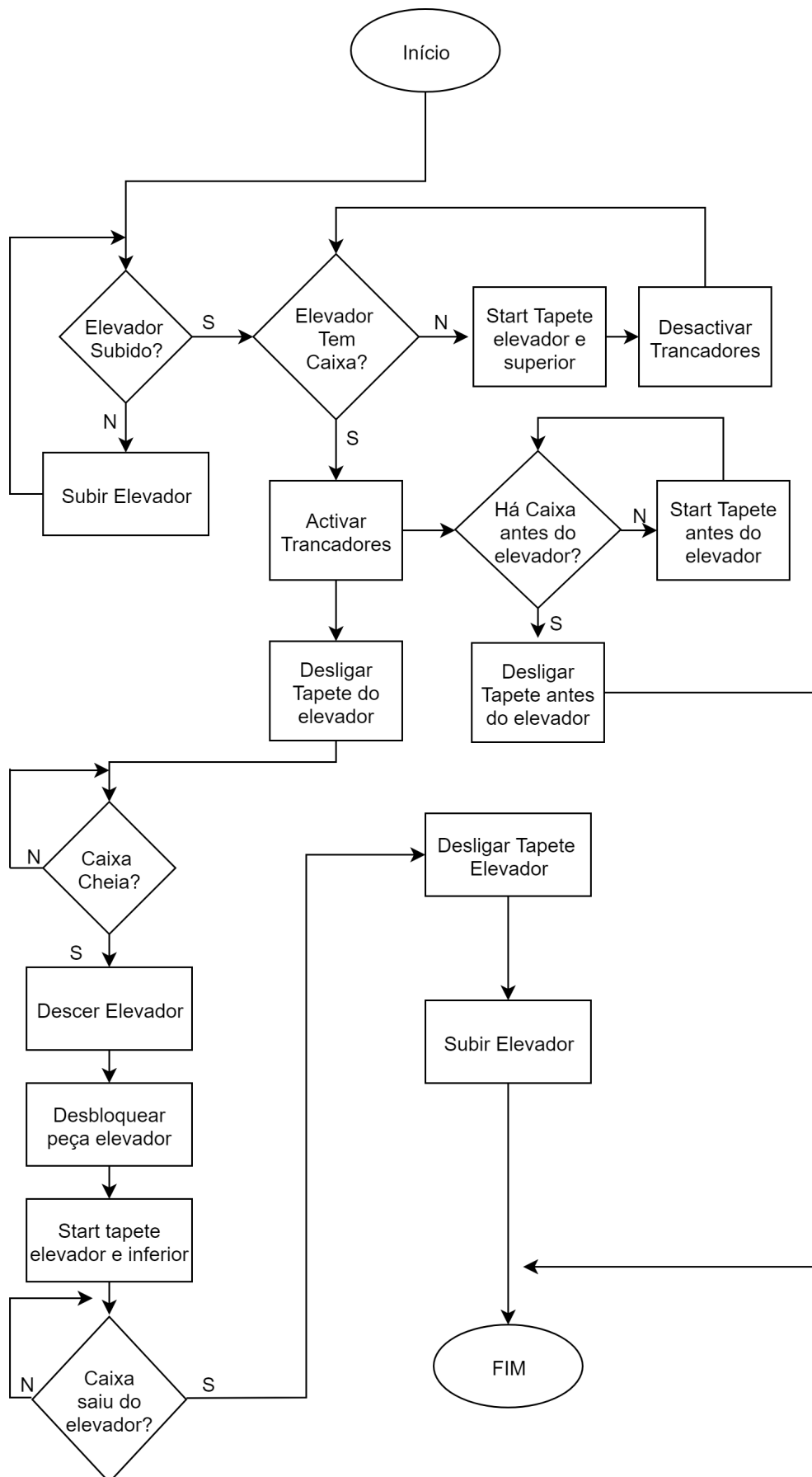


Figura I.1: Fluxograma da lógica do transportador