



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Filipe Ferreira da Silva

Projeto Mecatrónico de um
Equipamento para a Indústria Automóvel



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Filipe Ferreira da Silva

Projeto Mecatrónico de um
Equipamento para a Indústria Automóvel

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Eurico Seabra

DECLARAÇÃO

Nome: Filipe Ferreira da Silva

Endereço eletrónico: a62096@alunos.uminho.pt

Tlm: +351918163998

Número do Bilhete de Identidade: 14087851

Título dissertação: Projeto mecatrónico de um equipamento para a indústria automóvel

Orientadores: Professor Doutor Eurico Seabra;

Ano de conclusão: 2015;

Designação do Mestrado: Ciclo de Estudos Conducente ao Grau de Mestre em Engenharia Mecânica;

Nos exemplares das teses de doutoramento ou de mestrado ou de outros trabalhos entregues para prestação de provas públicas nas universidades ou outros estabelecimentos de ensino, e dos quais é obrigatoriamente enviado um exemplar para depósito legal na Biblioteca Nacional e, pelo menos outro para a biblioteca da universidade respetiva, deve constar uma das seguintes declarações:

1. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura: _____

Agradecimentos

À empresa, ITEC – *Iberiana Technical* , um especial agradecimento pela oportunidade de realizar esta dissertação no âmbito de um estágio curricular na empresa.

Ao orientador, professor doutor Eurico Seabra, um especial agradecimento pela atenção, disponibilidade e dedicação demonstrada durante a realização deste projeto.

Agradeço também a todos os membros da ITEC, em especial ao Paulo Compadrinho, Rui Costa, Gabriela Silva e Tiago Barbosa.

Por fim, um agradecimento muito especial a toda a minha família, em especial aos meus pais e irmã que durante esta caminhada universitária me apoiaram incondicionalmente para que chegasse a esta fase com sucesso. Um muito especial obrigado à Mariana Afonso, por todo o incentivo e apoio na concretização de todos os objetivos definidos durante a vida académica bem como o apoio durante esta dissertação.

A todos muito obrigado!

Resumo

Esta dissertação resulta do trabalho desenvolvido no âmbito de um estágio curricular na empresa ITEC – *Iberiana Technical*, situada em Frossos, Braga. Esta dissertação aborda o projeto e desenvolvimento de um equipamento semi-automático para depositar *grease* num produto destinado à indústria automóvel. Inicialmente realizou-se uma pesquisa bibliográfica com o intuito de se estudar metodologias de projeto mecatrónico bem como temáticas de componente mais prática relacionada com o projeto de equipamentos. O estudo de temáticas relacionadas com o projeto para a manufatura e fabrico, segurança de máquinas segundo a diretiva máquina 2006/42/CE e ergonomia do posto de trabalho revelaram-se essenciais para se realizar o projeto de um equipamento industrial. Inicialmente definiu-se especificações, objetivos e funções do equipamento, gerou-se soluções possíveis e avaliou-se as mesmas. Posteriormente, com essas soluções selecionadas realizou-se a fase do projeto detalhado que consiste em elaborar o conceito idealizado para uma solução possível de ser fabricada. Para tal, foi necessário selecionar os componentes *off-the-shelf* e dimensionar os componentes pertencentes aos diferentes conjuntos do equipamento, como o sistema de fixação do produto, ferramenta de deposição e estrutura. Todos estes componentes foram projetados respeitando as normas do projeto para montagem e manufatura, segurança de equipamento e ergonomia. Além disso, foi desenvolvido um protótipo em *Matlab* de um sistema de visão que tem como objetivo verificar se a ferramenta de deposição se encontra com a agulha bem colocada, na inclinação correta e se é o tamanho correto. Os resultados das medições do tamanho da agulha e do aperto da agulha provam a grande precisão desse sistema de visão. Após o fabrico e montagem do equipamento realizou-se uma sucessão de testes experimentais. Nestes testes verificou-se que houve erros de projeto que deveriam ter sido evitados durante o projeto detalhado, contudo foram todos corrigidos e verificou-se que as especificações definidas pelo cliente foram alcançadas. No entanto, após comercialização, verificou-se que a fiabilidade da válvula de deposição era duvidosa uma vez que ao longo do tempo começava a colocar menor quantidade de *grease*, sendo esta solução resolvida com novos vedantes.

Palavras- Chave: Deposição de *grease*, projeto mecatrónico, fases de projeto, sistemas de visão, diretiva máquina 2006/42/CE.

Abstract

This master thesis results from the work developed in an internship at the company ITEC – Iberian Technical, located in Frossos, Braga. This thesis describes the development of a semi-automatic equipment to dispense grease in a rib of a polymeric product. First a bibliography research was conducted to identify mechatronic project methodologies and also topics related to practical issues about equipment project. The study of concepts related with design for manufacturing and assembly, equipment safety by machine directive 2006/42/CE and ergonomic concerns reveals essential to this mechatronic project. This work was based on the design project methodology in which first specifications, objectives and functions are defined and then solutions are idealized and evaluated. After that, the conceptual solution is detailed to obtain a result possible to be executed and is based in the concept developed. This also involves the selection of off-the-shelf components and the dimension of the components related to which assembly group, such as: product housing, dispensing tool and structure. All of these components were projected considering the norms defined by design for manufacturing and assembly, equipment safety and ergonomics. In order to verify if the dispensing tool and the needle are in the correct position, if the needle squeeze is complete and if it is the right size, a vision system prototype was developed. The results of the measurements of the needle size and the needle squeeze show the high precision that this system can have. After manufacturing and assembling, the equipment was tested. These tests revealed project errors that should have been avoided, however, all of them were immediately corrected and the specifications defined by the client were achieved. After the equipment was sent to the customer, it was noted that the amount of grease dispensed was decreasing with time. This problem was solved by replacing the valve by a recent model. Thus, we can conclude that the specification of the off-the-shelf components sometimes does not match what is specified by the provider.

Keywords: Dispensing systems, mechatronic project, project milestones, vision systems, machine directive 2006/42/CE.

Índice

Índice	vii
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xi
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento do trabalho	1
1.2 Definição de Objetivos	2
1.3 Estrutura da Tese	2
1.4 Contribuição no trabalho	3
2 Pesquisa Bibliográfica	5
2.1 Projecto Mecatrónico	5
2.1.1 Introdução à Mecatrónica	5
2.1.2 Engenharia de produto	7
2.1.2.1 Modelos descritivos	7
2.1.2.2 Modelos prescritivos	8
2.1.2.3 VDI 2206 - Metodologia de projeto para sistemas mecatrónicos	9
2.1.3 Metodologia de projeto	11
2.1.3.1 Métodos criativos	11
2.1.3.2 Métodos racionais	12
2.1.4 Modelo de projeto	12
2.1.4.1 Planeamento	13
2.1.4.2 Projeto concetual	13
2.1.4.2.1 Objetivos	14
2.1.4.2.2 Funções	14
2.1.4.2.3 Especificações	15

2.1.4.2.4	Criação de soluções no projeto concetual	16
2.1.4.3	Avaliação de soluções	16
2.1.4.3.1	Método da árvore de objetivos	17
2.1.4.3.2	Análise de valor	18
2.1.4.4	Projeto detalhado	19
2.2	Conceitos de componente prática e normalização	20
2.2.1	Configurações Geométricas	20
2.2.2	Projeto para manufatura (DFM) e projeto para a montagem (DFA)	22
2.2.2.1	Projeto para manufatura (DFM)	22
2.2.2.2	Projeto para a montagem (DFA)	24
2.2.2.2.1	Manuseamento	25
2.2.2.2.2	Acoplamento e Inserção	26
2.2.2.2.3	Sistemas à prova de erro (<i>Poka-Yoke</i>)	28
2.2.3	Segurança e normalização	29
2.2.3.1	Diretiva (2006/42/CE)	29
2.2.3.1.1	Quase-Máquinas	31
2.2.3.1.2	Normas europeias para a segurança de máquinas	31
2.2.3.2	Avaliação dos riscos	32
2.2.3.3	Redução dos Riscos	34
2.2.3.4	Princípio de redução dos riscos	34
2.2.3.4.1	Desenho mecânico	36
2.2.3.4.2	Estado de funcionamento e significado	36
2.2.3.4.3	Compatibilidade eletromagnética	36
2.2.3.4.4	Paragem de emergência	38
2.2.3.5	Medidas de proteção	39
2.2.3.5.1	Impedir o acesso de maneira permanente	39
2.2.3.5.2	Impedir o acesso temporariamente	40
2.2.3.5.3	Deter peças	40
2.2.3.5.4	Povocar a paragem	40
2.2.3.5.5	Impedir a colocação em funcionamento	41
2.2.3.5.6	Provocar a paragem e impedir a colocação em movimento	42
2.2.3.5.7	Distinguir entre pessoas e objetos	42
2.2.3.5.8	Controlar os parâmetros da máquina	42
2.2.3.5.9	Desativar funções de segurança manual e temporário	43

2.2.3.6	Dispositivos de proteção optoeletrônicos	43
2.2.3.6.1	Detetar os dedos ou as mãos	44
2.2.3.6.2	Detetar uma pessoa quando entra na zona de perigo	44
2.2.3.6.3	Detetar a presença e aproximação de uma pessoa a uma zona de perigo	45
2.2.3.7	Seleção do dispositivo de segurança e montagem	46
2.2.3.7.1	Cálculo da distância de segurança	46
2.2.3.7.2	Cálculo da altura do campo de proteção	48
2.2.3.7.3	Determinação da resolução do dispositivo de segurança .	49
2.2.3.8	Riscos Residuais	50
2.2.3.9	Comercialização	50
2.2.4	Ergonomia do posto de trabalho	51
2.2.4.1	Altura do posto de Trabalho	51
2.2.4.2	Área de trabalho	52
2.2.4.3	Zona alcançável	53
2.2.4.4	Campo de Visão	54
2.2.4.5	Iluminação do posto de trabalho	54
2.3	Sistemas de visão	55
2.3.1	Imagem digital	55
2.3.2	Processamento de imagem	56
2.3.3	Técnicas utilizadas	57
2.3.3.1	<i>Thresholding</i>	57
2.3.3.2	<i>Edge detection</i>	58
2.3.3.3	<i>Erosion e dilation</i>	58
2.3.3.4	<i>Hough</i>	59
2.3.4	Conceitos de metrologia	60
2.3.4.1	Precisão vs Exatidão	60
2.3.4.2	Erros de medição	61
2.3.4.3	Incerteza de medição	61
3	Estudo de mercado	63
3.1	Sistemas de deposição de grease	63
3.2	Robôs de posicionamento	66
3.2.1	Tipo cartesiano	67

3.2.1.1	Eixos elétricos	68
3.2.1.2	Mesas cartesianas	68
3.2.2	Tipo <i>Scara</i>	69
3.2.3	Tipo braço robótico	70
3.2.4	Comparação das configurações	71
3.3	Sistemas de fixação de produto	71
3.3.1	Colocação do produto	72
3.3.2	Fixação do produto	73
3.3.3	Deteção do produto	74
3.3.4	Sistemas móveis de fixação de produto	76
3.4	Sistemas de visão	77
3.4.1	Configurações	77
3.4.1.1	Câmaras com processamento interno (<i>SmartCameras</i>)	77
3.4.1.2	Câmaras com processamento externo	78
3.4.2	Exemplo de caso prático	79
4	Projeto conceptual	81
4.1	Descrição do equipamento pretendido	81
4.2	Adjudicação do projeto	82
4.3	Objetivos do projeto	83
4.4	Especificações do projeto	84
4.5	Árvore de funções do equipamento	85
4.6	Soluções desenvolvidas	87
4.6.1	Ferramenta com sistema de deposição de <i>grease</i>	87
4.6.1.1	Solução com válvulas em forma de V	87
4.6.1.2	Solução com uma única válvula	88
4.6.2	Sistema de fixação do produto	89
4.6.2.1	Solução com bloqueio por calcador	91
4.6.2.2	Solução com bloqueio por rolete	91
4.6.3	Sistema de visão	91
4.7	Avaliação das soluções	93
4.7.1	Ferramenta com dispensador de <i>grease</i>	93
4.7.2	Sistema de visão	94

5	Projeto detalhado	97
5.1	Equipamento desenvolvido	97
5.2	Constituintes do equipamento	99
5.2.1	Estrutura em perfil	99
5.2.2	Sistema de doseamento de <i>grease</i>	101
5.2.2.1	Descrição da solução desenvolvida	101
5.2.2.2	Seleção da válvula	102
5.2.2.3	Seleção do alimentador	103
5.2.3	Sistema de fixação do produto	103
5.2.3.1	Descrição da solução desenvolvida	104
5.2.3.2	Guiamento do produto	104
5.2.3.3	Fixação do produto	105
5.2.4	Seleção do robô	107
5.3	Sistema de visão desenvolvido	108
5.3.1	Solução física	109
5.3.2	Algoritmo desenvolvido	110
5.3.2.1	Operações aplicadas	110
5.3.2.2	Deteção da existência, inclinação e tamanho da agulha	111
5.3.2.3	Cálculo do aperto	113
5.3.2.4	Resultados obtidos e Incerteza de medição	115
5.4	Arquitetura de controlo	119
5.5	Interface Homem-Máquina	120
5.6	Segurança	121
5.7	Ergonomia	123
5.8	Desenhos técnicos	124
5.8.1	Nomenclatura adotada pela ITEC	124
5.8.2	Desenhos de conjunto	125
5.8.3	Desenhos de fabrico	126
6	Resultado final	129
6.1	Equipamento construído	129
6.1.1	Ferramenta de doseamento de <i>grease</i>	130
6.1.2	Ferramenta de fixação do produto	130
6.1.3	Alimentador de <i>grease</i>	131

6.1.4	Segurança	132
6.1.5	Comercialização	133
6.2	Erros de projeto e pontos de melhoria	134
6.3	Análise de funcionamento	135
6.3.1	Tempo de ciclo	136
6.3.2	Eficiência da deposição de <i>grease</i>	136
7	Conclusão	139
7.1	Conclusão	139
7.2	Trabalhos futuros	140
	Referências	141

Lista de Figuras

2.1	Ilustração dos constituintes de mecatrónica. Adaptado de (1).	6
2.2	Fluxo de funcionamento de sistema mecatrónico. Adaptado de (1).	6
2.3	Fluxograma do modelo 4 etapas. Adaptado de (2).	7
2.4	Fluxograma de projeto definido por <i>French (1985)</i> . Adaptado de (2).	8
2.5	Diagrama do fluxo em "V" da VDI. Adaptado de (1).	10
2.6	Fluxo de projeto normalmente utilizado. Adaptado de (2).	12
2.7	Fluxo de projeto adotado. Adaptado de (3).	12
2.8	Exemplo de uma árvore de objetivos. Adaptado de (2).	14
2.9	Abordagem do problema como caixa negra. Adaptado de (2).	15
2.10	Diagrama de blocos de funções. Adaptado de (3).	15
2.11	Exemplo de mapa morfológico de um equipamento de extrair batatas. Adaptado de (3).	17
2.12	Diagrama de blocos de funções. Adaptado de (4).	18
2.13	Quatro diferentes possibilidades para um esquadro. Extraído de (4).	20
2.14	Os quatro aspetos a ter em conta no projeto. Adaptado de (4).	21
2.15	Aspetos a considerar ao se projetar ligação aparafusada. Extraído de (4).	21
2.16	Hipérbole sobre os problemas do processo de projeto com vista à manufatura. Extraído de (5).	22
2.17	Exemplos de componentes assimétricos, simétricos, ligeiramente assimétricos e nitidamente assimétricos. Adaptado de (6).	25
2.18	Exemplos de componentes que têm tendência a encravar e emaranhar. Adaptado de (6).	25
2.19	Ilustração de exemplos de componentes de dimensão reduzida, afiados, escorregadio e flexível. Adaptado de (6).	26
2.20	Exemplos de situações problemáticas ao inserir e acoplar. Adaptado de (6).	26
2.21	Sistema de montagem em pirâmide. Adaptado de (6).	27
2.22	Exemplos de diferentes dificuldades de inserção. Adaptado de (6).	27
2.23	Diferença de facilidade do posicionamento com ou sem rebaixo. Adaptado de (6).	27

2.24	Exemplo de simplificação de elementos de ligação. Adaptado de (6).	28
2.25	Exemplo de um acoplamento com <i>Poka-Yoke</i> .	28
2.26	Diretivas para a Segurança de Máquinas na UE. Adaptado de (7).	30
2.27	Tipo de norma aplicável em função do dispositivo de segurança. Adaptado de (7).	32
2.28	Processo de Avaliação do Risco (conforme <i>EN ISO 14121</i>). Adaptado de (7).	33
2.29	Exemplos de possíveis perigos presentes nos equipamentos. Adaptado de (7).	34
2.30	Processo de redução dos riscos. Adaptado de (7).	35
2.31	Exemplos de como reduzir riscos mecânicos. Adaptado de (7).	36
2.32	Significado das cores na sinalização do equipamento. À esquerda nas botoneiras e à direita no pirilampo de sinalização. Adaptado de (7).	37
2.33	Exemplos de aplicação correta de ligação equipotencial. Adaptado de (7).	37
2.34	Exemplos de acionamento de situações de emergência. Extraído de (7).	39
2.35	Exemplo de impedimento do acesso de maneira permanente. Extraído de (7).	40
2.36	Exemplo de impedimento do acesso temporariamente. Extraído de (7).	40
2.37	Exemplos de proteções para deter objetos. Extraído de (7).	41
2.38	Exemplo de paragem provocada por operador. Extraído de (7).	41
2.39	Exemplo de deteção no campo de proteção ativo de um scanner laser de segurança. Extraído de (7).	41
2.40	Exemplo de invasão da zona perigosa. Extraído de (7).	42
2.41	Sistema de visão para identificar produtos. Extraído de (7).	42
2.42	Sistema de aquisição de dados da máquina. Extraído de (7).	43
2.43	Exemplo de atuador manual. Extraído de (7).	43
2.44	Equipamentos optoeletrónicos da <i>SICK</i> . Extraído de (7).	44
2.45	Equipamento com barreiras optoeletrónicas. Extraído de (7).	45
2.46	Vedação da área de trabalho. Extraído de (7).	45
2.47	Exemplo da deteção da aproximação do operador. Extraído de (7).	45
2.48	AGV - <i>Automated guided Vehicle</i> . Extraído de (7).	46
2.49	Fluxograma para a seleção do dispositivo de segurança. Adaptado de (7).	47
2.50	Tipos de aproximação à zona de perigo. Adaptado de (7).	47
2.51	Exemplos de acessos a contornar a zona de proteção. Adaptado de (7).	48
2.52	Nomenclatura adotada para o cálculo da altura do campo de proteção. Adaptado de (7).	48
2.53	Tabela de seleção da altura do dispositivo de segurança. Adaptado de (7).	49
2.54	Tabela para determinação da resolução do dispositivo de segurança. Adaptado de (7).	49
2.55	Exemplos de sinalética de segurança. Extraído de (7).	50

2.56	Marcação CE. Extraído de (7).	51
2.57	Indicação de que braço não deve trabalhar acima da altura do coração. Adaptado de (8).	52
2.58	Altura do posto de trabalho com base nos valores da tabela 2.2. Adaptado de (8).	53
2.59	Zona de trabalho em função do tipo de tarefa realizado. Adaptado de (8).	53
2.60	Ilustração com indicação do ângulo de visão de operador. Adaptado de (8).	54
2.61	Imagem com identificação de um pixel. Adaptado de (9).	56
2.62	Identificação de diferentes níveis de processamento de imagem. Adaptado de (9).	56
2.63	Exemplos de processamento de baixo e médio nível. Adaptado de (9).	56
2.64	Exemplos de aplicação de <i>Thresholding</i> . Extraído de (10).	57
2.65	Representação de um limite de imagem e do resultado da derivada de primeira ordem nesse limite. Extraído de (11).	58
2.66	Exemplo da aplicação de um <i>thresholding</i> seguido de um <i>edge detection</i> . Adaptado de (10).	59
2.67	Exemplo da aplicação de um <i>erosion</i> seguido de um <i>dilation</i> . Adaptado de (12).	59
2.68	Representação da nomenclatura da reta. Adaptado de (11).	60
2.69	Analogia ao tiro ao arco para exemplificar precisão vs exatidão. Adaptado de (13).	60
2.70	Representação gráfica de uma distribuição normal. Extraído de (14).	62
3.1	Exemplo da deposição de cola. Extraído de (15).	63
3.2	Exemplo da deposição de material viscoso para funcionar como vedante. Extraído de (16).	64
3.3	Na figura à esquerda está presente um alimentador manual e à direita um alimentador automático. Extraído de (17).	64
3.4	Na figura à esquerda está presente uma válvula de deposição e à direita um conjunto de diferentes tipos de agulhas. Extraído de (18).	65
3.5	Válvula em corte com identificação das diferentes entradas e da saída. Adaptado de (19).	65
3.6	Na figura à esquerda encontra-se a situação de fechado e à direita a situação de abertura da válvula. Adaptado de (19).	66
3.7	Exemplos de diferentes tipos de deposição, dependendo da configuração da cabeça de deposição. Extraído de (16).	66
3.8	Diferentes configurações possíveis dos sistemas robóticos. Imagem adaptada de (20).	67
3.9	Exemplo de uma configuração com eixo elétrico. Extraído de (21).	69

3.10	Exemplo de uma configuração com mesa cartesiana. Extraído de (22).	69
3.11	Exemplo de um robô do tipo <i>Scara</i> . Extraído de (21).	70
3.12	Exemplo de um robô do tipo braço robótico da marca <i>Staubli</i> . Extraído de (23).	70
3.13	Exemplo de dois sistemas de fixação do produto distintos (à esquerda fixação de um torno mecânico e à direita fixação de um PCB. Extraído de (24) e (25).	72
3.14	Exemplo de sistema de fixação manual comercializado pela <i>Destaco</i> . Extraído de (26).	73
3.15	Exemplo de sistema de fixação semi-automático.	74
3.16	Exemplo de sensores indutivos. Extraído de (27).	75
3.17	Exemplo de sensores capacitivos. Extraído de (27).	75
3.18	Exemplo de sensores fotoelétricos. Extraído de (27).	75
3.19	Multi-conexão <i>Harting</i> . Extraído de (28).	76
3.20	Vários modelos de <i>smartcameras</i> existentes no mercado. Extraído de (29).	78
3.21	Exemplo de <i>smartcamera</i> da <i>National Instruments</i> na figura à esquerda, e na figura da direita o software de programação da mesma existentes no mercado. Extraído de (30).	78
3.22	Diagrama de sequência de operações realizadas por um sistema de visão com esta configuração.	79
3.23	Dois exemplo práticos do uso de sistemas de visão na indústria para inspecionar o produto. Figura da direita extraída de (31).	80
4.1	Identificação dos locais a depositar <i>grease</i>	82
4.2	Identificação dos locais de deposição no produto aproximado.	82
4.3	Árvore de objetivos desenvolvida para o equipamento desejado.	84
4.4	Abordagem do problema como uma caixa negra, definindo entradas e saídas.	85
4.5	Definição das funções a realizar pelo equipamento.	86
4.6	Possível solução com válvulas de deposição em "V".	88
4.7	Possível solução com uma única válvula de deposição.	89
4.8	Sistema de fixação das bases existente no cliente.	90
4.9	Posição relativa dos pinos de guiamento.	90
4.10	Solução de fixação com bloqueio por calcador (situação fechada e aberta).	91
4.11	Solução de fixação com bloqueio por rolete (32).	92
4.12	Soluções possíveis para o sistema de visão.	92
5.1	Equipamento Desenvolvido.	97
5.2	Atravancamento do equipamento.	98

5.3	Legenda do equipamento. Ver tabela 5.1.	98
5.4	Estrutura em perfil desenvolvida, sendo dividida em duas partes.	100
5.5	Diferentes configurações de fixação dos perfis. Extraído de (33).	100
5.6	Soluções utilizadas para fixar componentes à estrutura, recorrendo a porcas com cabeça martelo ou roscando o furo interior do perfil. Extraído de (33).	100
5.7	Soluções utilizadas para fixar placas de vedação. Extraído de (33).	101
5.8	Solução desenvolvida para o sistema de doseamento de <i>grease</i>	102
5.9	Válvula de deposição de <i>grease</i> selecionada da <i>ABNOX</i> . Extraído de (19).	103
5.10	Alimentador de <i>grease</i> selecionado. Modelo <i>AXFP3-S25</i> da <i>ABNOX</i> . Extraído de (17).	103
5.11	Sistema de fixação do produto desenvolvido.	104
5.12	<i>JIG</i> do produto desenvolvido.	105
5.13	Sensor para detetar o produto. Modelo <i>E3T-FT13</i> da <i>OMRON</i> . Extraído de (34).	105
5.14	Solução desenvolvida para fixar o produto. à esquerda o conjunto em modo explodido e à direita o conjunto montado.	106
5.15	Movimento realizado pelo cilindro ao bloquear o produto.	106
5.16	Identificação da força realizada pelo cilindro, bem como as reações proporcionadas pelos apoios.	107
5.17	Nomenclatura das dimensões da norma DIN 6799.	107
5.18	Modelo selecionado da marca <i>JANOME</i> . Extraído de (35).	108
5.19	Sequência de operações a realizar pelo sistema de visão.	109
5.20	Sistema de visão desenvolvido.	109
5.21	Sequência de operações.	110
5.22	Representação da imagem da agulha em matriz sendo os valores 0 a cor preto e valores 1 a cor branco.	111
5.23	Resultado final após a aplicação das operações mencionadas anteriormente.	112
5.24	Operações para se obter uma referência de comprimento.	113
5.25	Imagem da agulha com a reta que representa a agulha.	113
5.26	Imagem da válvula com a identificação dos pontos usados para o cálculo.	114
5.27	Representação dos cálculos para obter o ponto P'_{11}	114
5.28	Cálculo da distância entre o ponto P'_{11} e P_{21}	115
5.29	Imagem com as duas agulhas testadas.	115
5.30	Gráfico com dispersão dos valores de tamanho de agulha para a agulha pequena.	116
5.31	Gráfico com dispersão dos valores de tamanho de agulha para a agulha maior.	117
5.32	Gráfico com dispersão dos valores de aperto para a agulha pequena.	117

5.33	Gráfico com dispersão dos valores de aperto para a agulha maior.	117
5.34	Diagrama do funcionamento do equipamento.	119
5.35	Componentes do interface homem-máquina, sendo: 1 - Ecrã tátil iterativo, 2 - Con- junto de botoneiras e 3 - Corte geral.	120
5.36	Interface do alimentador de <i>grease</i>	120
5.37	Interface presente durante o funcionamento do equipamento.	121
5.38	Identificação dos componentes de segurança, sendo: 1 - barreiras optoeletrónicas e 2 - Sensor de porta.	122
5.39	Mensagem de emergência no interface.	122
5.40	Sinalização a colocar no equipamento para identificação dos perigos.	123
5.41	Dimensões do equipamento com enfoque nas dimensões de interesse ergonómico. . .	124
5.42	Exemplo de um desenho de conjunto.	125
5.43	Detalhe da lista de componentes no desenho de conjunto presente na figura 5.42. . .	126
5.44	Exemplo de um desenho de fabrico.	126
5.45	Detalhe da legenda do desenho de fabrico presente na figura 5.44.	127
6.1	Resultado final. Na figura está presente os dois equipamentos e o alimentador de <i>grease</i>	129
6.2	Equipamento durante montagem com detalhe do sistema de fixação e ferramenta de deposição.	130
6.3	Ferramenta de deposição com a gravação do ajuste angular.	131
6.4	Na figura à esquerda encontra-se o sistema de bloqueio do produto por rolete e à direita o sensor de deteção do produto.	131
6.5	Alimentador de <i>grease</i> inserido numa estrutura.	132
6.6	Na figura à esquerda o sensor de porta e à direita a barreira optoeletrónica.	133
6.7	Sinalética presente no equipamento.	133
6.8	Na figura à esquerda a chapa CE presente no equipamento e à direita a capa do manual de instruções.	134
6.9	Problema ocorrido com a mangueira hidráulica.	135
6.10	Problema ocorrido com a válvula de deposição.	137

Lista de Tabelas

2.1	Análise de valor	19
2.2	Altura do posto de trabalho dependendo do tipo de trabalho. Adaptado de (8)	52
2.3	Tabela com valores de iluminância recomendados para diferentes áreas de trabalho. Adaptado de (36).	55
3.1	Tabela com a comparação das diferentes configurações robóticas	71
4.1	Análise de valor para solução da ferramenta com dispensador de <i>grease</i>	94
4.2	Análise de valor para solução do sistema de visão.	94
5.1	Legenda da figura 5.3	99
5.2	Caraterísticas do modelo <i>AXDV-CI</i> da <i>abnox</i> (19).	102
5.3	Tabela com caraterísticas principais da mesa cartesiana selecionada. (35)	108
5.4	Tabela com valores obtidos para a agulha pequena.	116
5.5	Tabela com valores obtidos para a agulha maior.	116
5.6	Incerteza de medição e resultado final para situação com agulha pequena	118
5.7	Incerteza de medição e resultado final para situação com agulha maior	118
6.1	Valores dos pontos conforme e não conforme usados no cálculo da eficiência de deposição para a amostra de 74 pontos.	137

Capítulo 1

Introdução

A presente dissertação foi realizada durante o ano letivo 2014/2015 como projeto final de curso para atribuição do grau de mestre do aluno Filipe Silva do curso Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Universidade do Minho, no qual se pretende que seja desenvolvido um trabalho de cariz científico-técnico. A indústria de conceção, desenvolvimento e construção de máquinas, em termos europeus, assenta a sua produção nas necessidades das indústrias transformadoras e no desenvolvimento de produtos. No entanto, o mercado automóvel representa um forte volume de faturação, devido à constante atualização e lançamento de novos produtos. Todas as máquinas projetadas para a indústria, contêm características que vão de acordo às especificações definidas pelo cliente bem como às suas necessidades. O projeto de um equipamento industrial corresponde na maioria dos casos a um projeto mecatrónico e a indústria mundial têm vindo a acompanhar uma evolução nos equipamentos fabris devido aos avanços tecnológicos da eletrónica. A junção de conhecimento eletrónico, mecânico e informático torna-se numa grande arma a nível de projeto devido ao grande potencial resultante da junção destes três ramos. Este trabalho pretende desenvolver de raiz um equipamento mecatrónico, que após realizar fases de projeto e de fabrico se obtenha um equipamento de valor acrescentado de elevada robustez, fiabilidade e precisão.

1.1 Enquadramento do trabalho

A presente dissertação de mestrado realiza-se no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, com especialização em Mecatrónica, da Universidade do Minho, e apresenta o projeto mecatrónico de um equipamento semi-automatizado de doseamento de fluídos. O equipamento, faz parte de uma linha de produção para fabrico de um componente para a indústria automóvel. O projeto deste equipamento é desenvolvido em parceria com a empresa *ITEC – Iberiana Technical* sita em Frossos, Braga, por meio da realização de um estágio curricular ao abrigo do Mestrado Integrado com a duração de 10 meses. A empresa ITEC foi criada em Março de 2006 e desenvolve a sua

atividade no ramo do comércio de equipamentos, consumíveis e serviços para a indústria eletrônica e automóvel. Grande parte da sua faturação resulta da realização de máquinas sob medida, isto é, sistemas de produção à medida das necessidades do cliente. Da sua carteira de clientes destacam-se entidades de relevo, tais como: *BOSCH Car Multimédia, Delphi, PREH, Visteon, Key Plastics Portugal, ASPOCK, GESTAMP*, entre outras. A ITEC é uma empresa que tem a qualidade dos seus processos assegurada pelos dispostos da norma ISO 9001 e em 2011, 2012 e 2013 recebeu o título de PME Líder. Durante este estágio desenvolveram-se diferentes soluções para outros projetos adjudicados pela empresa, como por exemplo: sistemas de clipagem, corte de gito (alimentadores de plástico para o molde), doseamento de fluidos, sistemas de aparafusamento, entre outros, contudo, nesta dissertação apresenta-se um projeto que foi inteiramente desenvolvido pelo autor desde o início realizando a função de projetista mecânico.

1.2 Definição de Objetivos

Pretende-se com esta dissertação apresentar um resumo dos conhecimentos necessários para a realização do projeto de um sistema automatizado de produção, tendo em conta requisitos de índole económica, de fabrico, montagem, manutenção e normalização relativa a segurança. O objetivo principal a que o autor se propõe são o desenvolvimento de um equipamento e a implementação do processo de projeto no desenvolvimento de um equipamento industrial. Contudo, os objetivos propostos para esta dissertação foram: 1- Estudo de diferentes normalizações e guias de auxílio para o projeto de equipamentos seguros e comercializáveis no espaço europeu (marca CE); 2- Aplicação de todas as fases de projeto desde a pesquisa de mercado até à comunicação do resultado final; 3- Aplicar princípios técnicos referendos ao projeto para a manufatura (DFM), projeto para a montagem (DFA), ergonomia do posto de trabalho, e segurança; 4- Aplicar um sistema de visão para a inspeção visual de aspetos relacionados com o sistema de deposição de *grease*. De modo geral, o sistema a desenvolver trata-se de um equipamento de deposição de *grease* (massa lubrificante) nas nervuras de um componente polimérico.

1.3 Estrutura da Tese

Esta dissertação é constituída por 8 capítulos. Uma breve revisão de cada capítulo será de seguida apresentada.

Capítulo 2

O capítulo 2 encontra-se dividido em três diferentes temas. Inicialmente aborda-se conceitos teóricos relacionados com o projeto mecatrónico, nomeadamente filosofias de projeto, fases do pro-

jeto e descrição de cada fase. Posteriormente, aborda-se questões de vertente mais prática onde se aborda questões relacionadas com o projeto para a montagem e manufatura, análise de erros, segurança e ergonomia de equipamentos. Finalmente, introduz-se um capítulo que aborda conceitos relacionados com processamento de imagem, nomeadamente descrever o que é o processamento de imagem e ferramentas utilizadas nesta dissertação.

Capítulo 3

No capítulo 3 aborda-se as soluções existentes no mercado para sistemas de deposição, robôs de posicionamento, sistemas de fixação de produto e sistemas de visão.

Capítulo 4

No capítulo 4 aborda-se as fases do projeto concetual do equipamento, em que se aborda o equipamento pretendido, define-se objetivos e funções do mesmo, apresenta-se as diferentes soluções desenvolvidas para as diferentes funções e finalmente, realiza-se uma avaliação das soluções para se definir qual a que se irá detalhar.

Capítulo 5

No capítulo 5, apresenta-se o projeto detalhado do equipamento. Neste capítulo apresenta-se o resultado final, bem como as diferentes soluções desenvolvidas para dada função. Para além disto, apresenta-se o sistema de visão projetado bem como o software desenvolvido. Finalmente, aborda-se as temáticas relacionadas com o controlo do equipamento, interface homem-máquina, segurança, ergonomia e desenhos técnicos criados.

Capítulo 6

Neste capítulo apresenta-se fotos do equipamento após fabrico e montagem. Para além disso, apresenta-se a ultima fase do projeto que corresponde à comercialização do equipamento.

Capítulo 7

O capítulo 7 aborda questões relacionadas com o funcionamento do equipamento, realizando-se uma análise crítica ao desempenho do mesmo.

Capítulo 8

Por fim, o capítulo 8 apresenta as principais conclusões obtidas e contribuições da presente dissertação, salientando aspetos que podem ser melhorados no futuro.

1.4 Contribuição no trabalho

O desenvolvimento do equipamento envolveu uma equipa organizada constituída por elementos com diferentes áreas de conhecimento na qual eu me incluo. Todo o desenvolvimento do equipamento aborda diferentes fases e funções, desde o contacto com o cliente, idealização do equipamento, pro-

jeto conceitual e detalhado, eletrificação e montagem, programação da consola iterativa e robô, entre outros. A contribuição no trabalho final concentrou-se no acompanhamento da seleção do robô e sistema de doseamento, bem como a responsabilidade de desenvolver toda uma estrutura e diferentes componentes que garantissem mecanicamente a funcionalidade do mesmo. Após o estudo da melhor solução e após aprovação do cliente, todo o trabalho de desenvolver detalhadamente os componentes do equipamento, bem como garantir um funcionamento isento de problemas mecânicos bem como a criação dos desenhos de fabricação a enviar para fornecedores foram efetuados pelo autor deste trabalho. Porém, programação e eletrificação não fazem partes do trabalho desenvolvido.

Capítulo 2

Pesquisa Bibliográfica

Este capítulo tem como objetivo abordar conceitos teóricos que fundamentam o trabalho desenvolvido nesta dissertação, estando dividido em três sub-capítulos, nomeadamente: Projeto mecatrónico, conceitos de componente prática e processamento de imagem. No projeto mecatrónico apresenta-se uma introdução à mecatrónica bem como uma abordagem geral à metodologia de projeto. Nos conceitos de componente prática, aborda-se temáticas relacionadas com o projeto de equipamentos para a indústria. Como neste trabalho se desenvolveu uma solução de um sistema de inspeção por visão, apresenta-se aqui um capítulo que aborda os conceitos teóricos aplicados nesta dissertação.

2.1 Projecto Mecatrónico

Neste sub-capítulo aborda-se o projeto em si, nomeadamente metodologias de projeto criadas e a metodologia adotada nesta dissertação. Inicialmente, introduz-se o conceito de mecatrónico, seguindo-se uma abordagem à engenharia de projeto, metodologia de projeto e o modelo de projeto adotado.

2.1.1 Introdução à Mecatrónica

A criação de produtos inovadores requer a combinação de engenharia mecânica, engenharia eletrónica e tecnologias de informação, pois a união destas três áreas da engenharia torna possível a criação de produtos mecatrónicos de bastantes complexidade que seriam impossíveis de se obter recorrendo exclusivamente a uma das áreas mencionadas anteriormente (1). Atualmente, é difícil encontrar no mercado produtos completamente mecânicos sendo quase todos produtos mecatrónicos pois obtêm-se produtos com melhores desempenhos. Na Figura 2.1 é possível observar as áreas abrangentes da mecatrónica.

Com a combinação destas três áreas distintas, foi possível otimizar soluções envelhecidas sendo atualmente possível criar sistemas de controlo em malha fechada muito mais facilmente. O fluxo de funcionamento de um produto mecatrónico consiste na monitorização de um processo recorrendo a

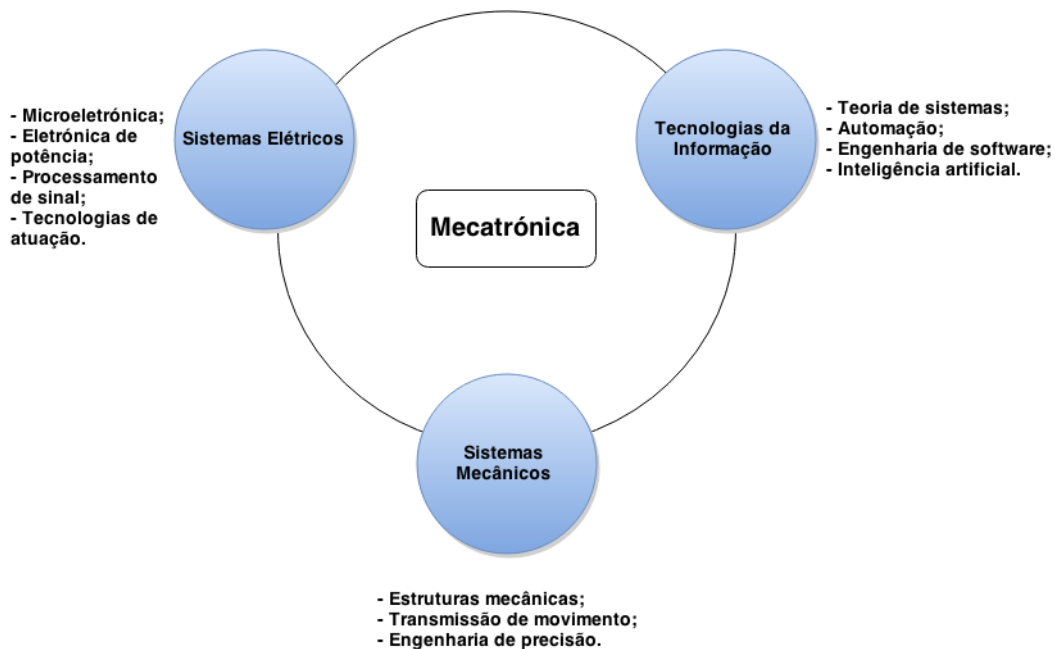


Figura 2.1: Ilustração dos constituintes de mecatrônica. Adaptado de (1).

sensores para realizar essa monitorização. Com base nestas entradas o controlador define alterações a fazer ao sistema, sendo essas alterações efetuadas por atuadores. Este fluxo de funcionamento está exemplificado na figura 2.2.

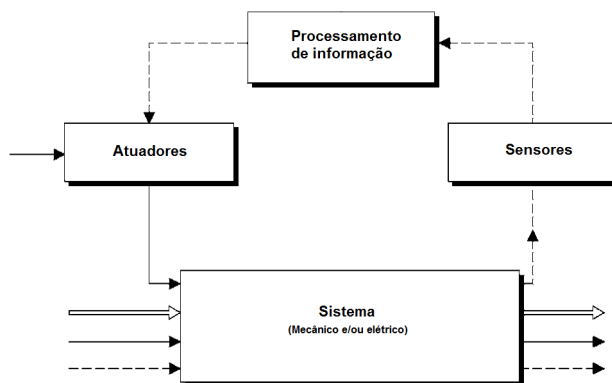


Figura 2.2: Fluxo de funcionamento de sistema mecatrônico. Adaptado de (1).

Segundo (1), a mecatrônica apresenta vantagens em relação a sistemas inteiramente mecânicos, nos quais se incluem a possibilidade dos equipamentos em realizar novas funções, melhorar o comportamento dos sistemas através de monitorização e controlo sem intervenção externa, aumentar os limites de aplicação, criação de sistemas automáticos de diagnóstico de falha, aumentar a segurança dos equipamentos, entre outros. Contudo, produtos mecatrônicos apresentam desvantagens como por exemplo: caso um equipamento eletrónico avarie, compromete totalmente a realização da função, a

reparação destes equipamentos é economicamente inviável. A relação benefício/custo é a base de decisão para criar um produto mecatrónico, pois para realizar funções básicas, um equipamento mecatrónico terá um custo bastante mais elevado em relação a um mecânico, sendo o proveito reduzido. Por essa razão, existe ainda um número significativo de equipamentos totalmente mecânicos.

2.1.2 Engenharia de produto

Ao longo do tempo foram sendo desenvolvidos guias e modelos para guiar o projetista no projeto de um equipamento. Alguns desses modelos simplesmente descrevem a sequência de atividades que tipicamente ocorrem no “processo” do projeto, enquanto outros tentam explorar mais profundamente as atividades que constituem o projeto.

2.1.2.1 Modelos descritivos

Segundo (2), os modelos descritivos realçam, geralmente, a importância da geração de uma solução conceptual no início do processo. A solução inicial é posteriormente sujeita a análise, avaliação, refinamento e desenvolvimento da mesma, contudo, às vezes a fase de avaliação poderá não conduzir diretamente à fase de comunicação da solução final, sendo necessária a escolha de uma nova solução, havendo um “retorno” iterativo entre as fases de avaliação e de geração da solução. Um modelo simples descritivo do “processo” do projeto é obtido com base nas atividades essenciais que um projetista realiza. O fim do processo é a comunicação do produto, onde o produto se encontra pronto para ser fabricado, contudo, anteriormente existe a fase de procura de soluções, a de conceção da mesma e uma final onde o produto é avaliado segundo os critérios e especificações definidas inicialmente. Assim sendo, tem-se um simples modelo de quatro etapas que consiste em: exploração, geração, avaliação e comunicação. Na figura 2.3 tem-se o fluxograma deste modelo de quatro etapas.

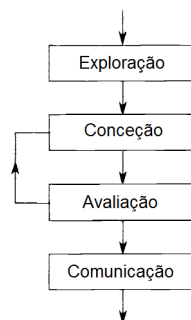


Figura 2.3: Fluxograma do modelo 4 etapas. Adaptado de (2).

Este modelo representa o fluxo mais simplificado existente no “processo” de projeto, sendo os modelos normalmente desenhados na forma de diagrama com etapa seguida de etapa (2), com setas de retorno que representam o recuo para uma etapa precedente quando é necessário rever a solução

obtida nessa etapa. Ao longo dos anos, vários autores publicaram modelos mais detalhados do “processo” de projeto, como por exemplo *French (1985)* que desenvolveu um modelo mais detalhado com base nas seguintes atividades: Análise do problema; projeto conceptual; Criação de esquemas; detalhe. No diagrama da figura 2.4 está representado o fluxograma definido por *French (1985)* no qual os círculos representam etapas no qual há saída de resultados enquanto os retângulos representam atividades ou trabalho a realizar.

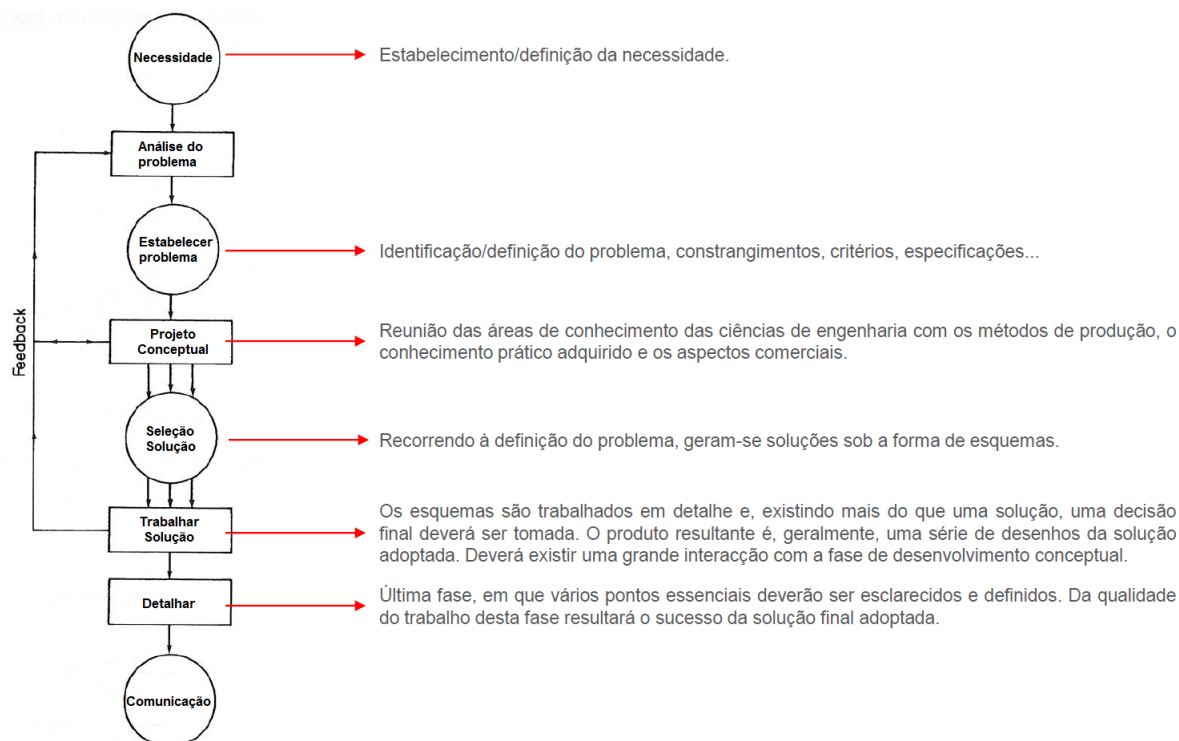


Figura 2.4: Fluxograma de projeto definido por *French (1985)*. Adaptado de (2).

O processo inicia com uma necessidade, sendo a primeira etapa a análise do problema, todavia *French (1984)* afirmou que a análise do problema é uma pequena mas importante parte de todo o “processo” de projeto.

2.1.2.2 Modelos prescritivos

Segundo (2), os modelos prescritivos permitem persuadir e encorajar os projetistas a adotar formas de trabalho ainda mais aperfeiçoadas. Oferecem um procedimento sistemático (e algorítmico) e são, muitas vezes, considerados como ferramentas que proporcionam uma metodologia de projeto. Muitos destes modelos acentuam na necessidade de um trabalho mais analítico, antes da geração da solução conceptual, para garantir que o problema que se pretende solucionar está completamente compreendido, e que nenhum aspeto importante é descurado nesta análise. Segundo *Jones (1984)*, estes modelos tendem a sugerir uma estrutura básica do tipo: **Análise – Síntese – Avaliação**.

Em que:

- **Análise** - listagem de todos os requisitos de concepção e redução destes a uma série de especificações de desempenho;
- **Síntese** – determinação de possíveis soluções para cada uma das especificações individuais e construção, a partir destas, de soluções completas;
- **Avaliação** – Avaliar, com exatidão, se as soluções alternativas cumprem os requisitos de desempenho, custo e vendas, antes da solução final ser selecionada.

Este modelo assemelha-se ao modelo convencional do “processo” de projeto, contudo aqui especifica-se que se deve gerar mais do que uma solução, avaliando-se e posteriormente escolhe-se a solução final, contudo na realidade esta sensibilidade do procedimento não é frequentemente empregue.

Um modelo prescritivo mais detalhado foi desenvolvido por *Archer* (1984), o qual inclui iterações com o cliente, com busca de outras fontes de informação, entre outras. Outros modelos muito mais complexos foram propostos, os quais seguem em geral as estruturas mencionadas anteriormente, diferindo no nível de detalhe que fazem em cada fase. Nestes modelos, faz-se um detalhe minucioso das atividades e etapas que são necessárias realizar em todos os projetos.

A sociedade profissional de engenheiros da Alemanha, nomeadamente *Verein Deutscher Ingenieure* (VDI) produziu uma série de guias para o “processo” de projeto, nas quais se inclui a *VDI 2221: Systematic approach to the Design of Technical Systems and Products* (1). Este guia sugere uma aproximação sistemática em que o processo de projeto, como parte da criação do produto, está dividido em etapas gerais de trabalho tornando o projeto mais transparente, racional e independente para uma determinada industria. Este guia é o que mais se aplica ao projeto mecânico, contudo, como este trabalho aborda o projeto mecatrónico, abordar-se-á de seguida a *VDI 2206 - Design methodology for mechatronic system*.

2.1.2.3 VDI 2206 - Metodologia de projeto para sistemas mecatrónicos

O objetivo da *VDI 2206* é fornecer uma metodologia de suporte para o desenvolvimento dos sistemas mecatrónicos (1). A principal característica da *VDI* é ser o processo, método e ferramenta para a fase inicial do desenvolvimento, concentrado no projeto do sistema. O resultado do projeto do sistema é o conceito de sistema mecatrónico (a solução é estabelecida após verificação e validação). Este guia da *VDI* é um suplemento à *VDI 2221* e à *VDI 2422*.

Segundo a norma *VDI 2206* o desenvolvimento de um produto mecatrónico segue um modelo em “V”. No modelo da figura 2.5, as necessidades dos clientes são transformadas em requisitos (requirements). Posteriormente estes requisitos são transformados em especificações, pois estas definem

características métricas que o produto mecatrónico terá de satisfazer. Posto isto, o próximo passo que é necessário realizar é o *System design*.

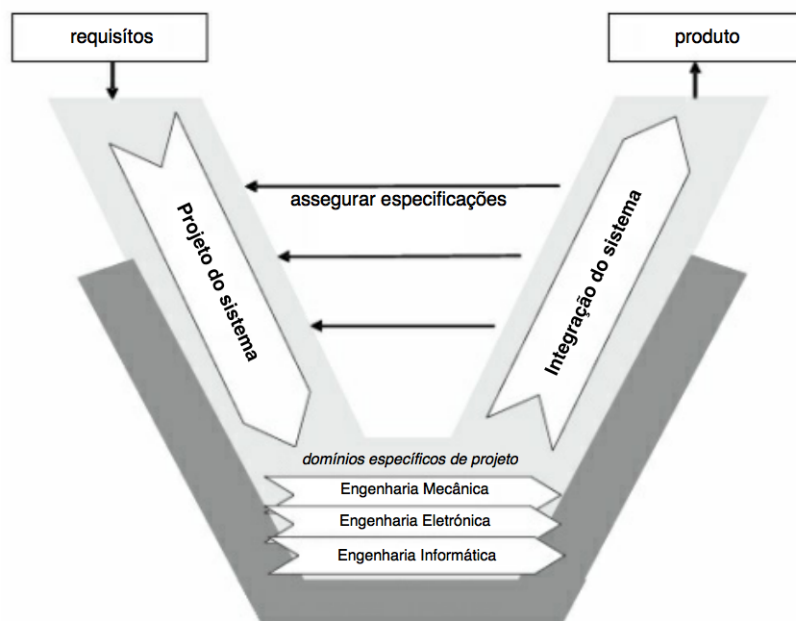


Figura 2.5: Diagrama do fluxo em "V" da VDI. Adaptado de (1).

O *System Design* consiste em dividir o produto numa estrutura de funções a qual pode ser dividida em subfunções em que se irá procurar encontrar soluções para cada subfunção em que no final se encontre uma possível solução global. Assim primeiro é necessário realizar a estrutura de funções como foi referido, em que se identifique primeiro os inputs e outputs, e posteriormente o que é necessário realizar aos inputs para se obter os outputs, em que isto representa as funções. Para tal, deve criar-se um possível fluxo (semelhante ao da figura 2.2) no qual se representa o fluxo de energia, material e de informação que irá demonstrar onde cada área da mecatrónica se encontra no projeto bem como a função de cada bloco. Após isto, é necessário encontrar uma solução para cada subfunção. O processo de encontrar uma solução é um processo iterativo e moroso que representa grande parte do desenvolvimento do produto mecatrónico. Após a obtenção de uma possível solução para cada subfunção e após as sub soluções serem interligadas obtêm-se uma solução conceptual que engloba partes mecânicas, eletrónicas e tecnologias de informação. O *System Integration* consiste na junção de todas as partes e eliminação das incompatibilidades para se obter a melhor solução final. Assim, aqui realiza-se testes aos componentes do produto, desde teste de comportamento, segurança, elabora-se o fabrico dos componentes, análise estrutural, controlo de qualidade e certificação para no fim se obter o produto final. Ao longo deste processo de projeto, ocorre a modelação do sistema/produto onde se estuda comportamentos dinâmicos, problemas de aquecimento e vibrações,

resistência mecânica dos componentes, entre outros. A *VDI* constitui assim, um guia que define as etapas do projeto mecatrónico e as relações existentes entre essas etapas, sendo um fluxo de projeto bastante na indústria alemã.

2.1.3 Metodologia de projeto

É constituída por todos os procedimentos, técnicas, ajudas ou ferramentas que o projetista poderá usar e combinar entre si para a concretização de um projeto (2). Apesar de alguns dos métodos poderem ser meros procedimentos normais e convencionais de projeto, nos últimos anos tem-se assistido a um aumento substancial de novos procedimentos, os quais são vulgarmente agrupados sob o nome de metodologia de projeto. A intenção principal destes novos métodos é o de permitirem a introdução de procedimentos racionais no projeto. Alguns são mesmo novas invenções, enquanto que outros são meras adaptações de métodos usados noutras áreas de conhecimento (como da investigação operacional ou da administração, por exemplo), sendo, outros ainda, simples formalizações das técnicas informais usadas pelos projetistas.

O processo de formalização de um procedimento tende a alargar a abordagem do problema e o âmbito de procura de soluções apropriadas, uma vez que encoraja e permite ao projetista alcançar outras soluções, bem para além da que lhe poderá ter ocorrido inicialmente aquando da análise do problema. Este conjunto de métodos pode ser agrupado, genericamente, em dois grandes grupos: métodos criativos e métodos racionais (2).

2.1.3.1 Métodos criativos

Existem vários métodos que são usados para estimular o pensamento criativo, com o intuito de aumentar o fluxo de ideias, conseguindo assim remover os bloqueios mentais que inibem a criatividade e alargar o âmbito de procura de soluções. Exemplos de métodos criativos tem-se:

- Brainstorming;
- Sinética – recorrendo a analogias;
- TRIZ (Teoria para a resolução de problemas Inventivos).

Os métodos descritos anteriormente abordados, são apenas algumas técnicas que se têm mostrado úteis para aumentar o pensamento criativo dos projetistas e das equipas de projeto (2). Contudo, ideias criativas ocorrem também sem recorrer a estes métodos.

2.1.3.2 Métodos racionais

Apesar dos objetivos serem semelhantes aos dos métodos criativos, os métodos racionais são os que definem normalmente a metodologia de projeto, devido ao facto de encorajarem o uso de uma abordagem sistemática (2). Contudo, existe uma enorme variedade de métodos racionais que abordam todos os aspetos do projeto, desde a clarificação do problema até ao projeto de detalhe. Na figura 2.6, está representado o fluxo de projeto que normalmente se utiliza, onde é possível observar as relações existentes entre as etapas.

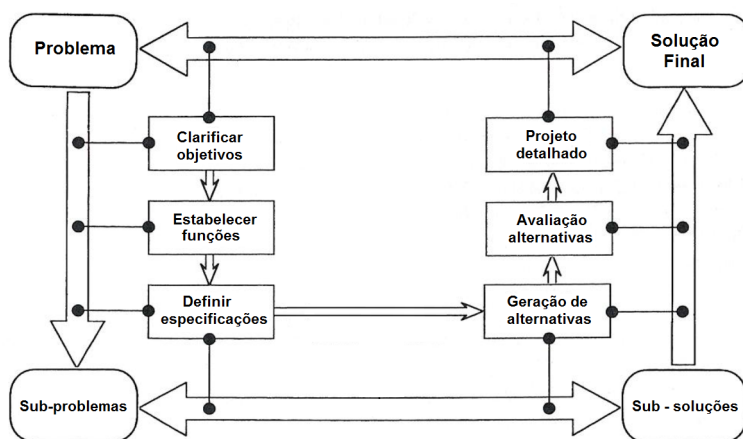


Figura 2.6: Fluxo de projeto normalmente utilizado. Adaptado de (2).

O modelo da figura 2.6 pode ser agrupado de uma diferente perspetiva o qual se pode dividir em 5 etapas que será abordado detalhadamente de seguida.

2.1.4 Modelo de projeto

Segundo (3), o modelo de projeto que é mais consensual na indústria e pelo qual se regem grande parte dos projetos é semelhante ao que já foi apresentado anteriormente na figura 2.6, e pode ser apresentado num modelo de 5 etapas como se observa na figura 2.7. Estas etapas são respetivamente, planeamento, projeto concetual, avaliação de soluções, projeto detalhado e comunicação. Este tipo de modelos garante um progresso mais rápido no desenvolvimento do produto, diminuindo assim os custos do mesmo.



Figura 2.7: Fluxo de projeto adotado. Adaptado de (3).

Outro aspeto fundamental de um projeto é o custo do mesmo. O custo tende a aumentar exponencialmente desde a fase zero até à última fase, contudo, o custo do desenvolvimento do produto é reduzido comparado ao custo causado pela perda de reputação devido a um produto defeituoso que requer a recolha do mesmo. Por esse motivo, ter o "processo" de projeto bem estipulado é uma mais-valia para evitar situações penalizadoras.

De seguida abordar-se-á cada etapa do "processo" de projeto, em que se apresentará um pequeno resumo baseado em (3) e (2).

2.1.4.1 Planeamento

A primeira fase do projeto é o planeamento que é normalmente realizado antes do projeto ser adjudicado, pois é necessário indicar um prazo de entrega ao cliente. Esta fase inicial consiste no planeamento das atividades constituintes do projeto bem como a orçamentação do mesmo. Com base nos requisitos do cliente e nos seus objetivos para o equipamento, é elaborado de um modo superficial a solução a conceber, onde se identifica os principais componentes do equipamento realizando esboços com a ideia para fornecer ao cliente. Esta idealização inicial é importante, pois é com base neste conceito inicial que a orçamentação é feita, e por este motivo, uma má abordagem ao problema na primeira fase do projeto pode inviabilizá-lo devido a uma má orçamentação, sendo por isso essencial realizar uma análise de risco ao problema. Após adjudicação do projeto, é necessário reunir a equipa de trabalho para definir detalhadamente *milestones* a alcançar, bem como uma calendarização das mesmas no tempo. Normalmente, estas calendarizações são realizadas num diagrama de *Gantt* que consiste num gráfico onde se ilustra o avanço das diferentes etapas de um projeto. Os intervalos de tempo representam o início e fim de cada fase aparecendo como barras coloridas sobre o eixo horizontal do gráfico. Sendo desenvolvido em 1917 pelo engenheiro mecânico *Henry Gantt*, este gráfico é utilizado como uma ferramenta de controlo do estado do projeto, pois nele podem ser visualizadas as tarefas de cada membro, bem como o tempo utilizado para cumpri-la, permitindo assim, analisar o empenho de cada membro.

2.1.4.2 Projeto concetual

Após a calendarização das etapas do projeto, uma das primeiras etapas a realizar é o projeto concetual. O projeto conceptual consiste na etapa do projeto onde são estabelecidos os objetivos, funções e especificações do equipamento e com base nestes inicia-se a criação de possíveis soluções. Nesta fase do projeto, a criatividade da equipa de trabalho necessita de ser estimulada e em muitas situações recorre-se a métodos criativos, como os que foram abordados no capítulo 2.1.3.1. De seguida, abordar-se-á a definição dos objetivos, funções e especificações do projeto bem como exem-

plos de gerações de soluções nesta etapa do projeto.

2.1.4.2.1 Objetivos

No início do projeto, quando o projetista é abordado com a necessidade de um novo equipamento, é pouco provável que essa “necessidade” esteja expressa de uma forma clara, e o cliente provavelmente possui apenas uma vaga ideia do que pretende, tentando expressar essa sua necessidade no caderno de encargos (quando existe). Assim, o projeto inicia-se por vezes, com um problema mal definido ou cujos requisitos são algo vagos, devendo-se assim definir inicialmente quais são os objetivos do equipamento. O método da árvore de objetivos (*objective tree*) oferece um formato útil e claro para a exposição dos objetivos permitindo realçar os objetivos e os meios para os atingir, bem como a relação existente entre os diferentes objetivos. Este procedimento ajuda a clarificar os objetivos a atingir, bem como facilita o entendimento entre cliente-projetista. Na figura 2.8, é possível observar um exemplo de um árvore de objetivos, em que o objetivo principal é o equipamento ser seguro e os sub-objetivos são: baixo risco de lesão do operador, baixa probabilidade de erros cometidos pelo operador e baixo risco de danificação de componentes. Como se observa na figura 2.8, cada ligação representada indica que um objetivo de mais baixo nível é um meio para alcançar o objetivo de mais alto nível ao qual está ligado.

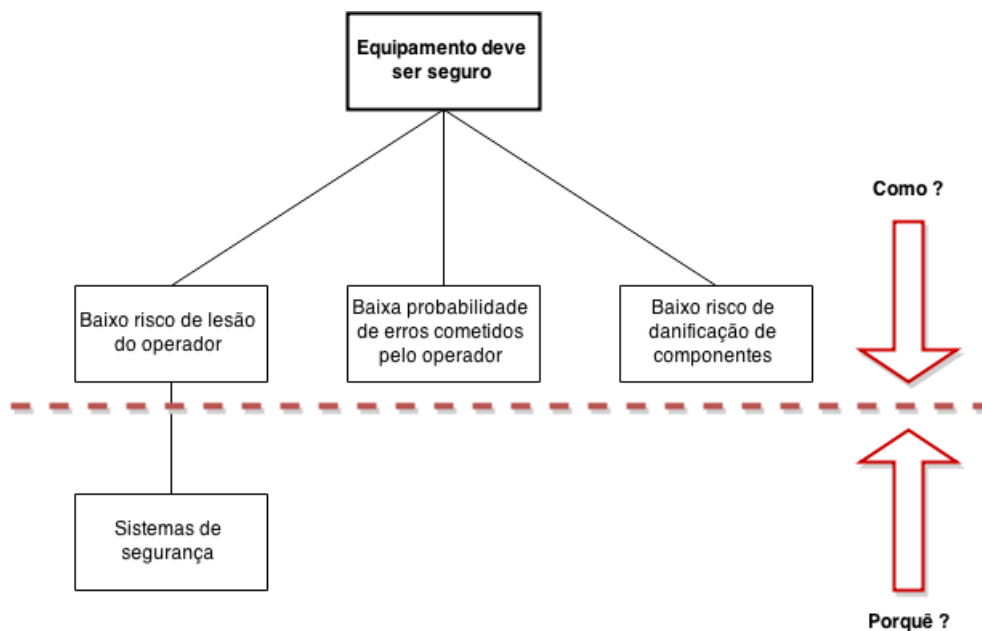


Figura 2.8: Exemplo de uma árvore de objetivos. Adaptado de (2).

2.1.4.2.2 Funções

Como se viu anteriormente, no método da árvore de objetivos os problemas a resolver têm diferentes níveis de generalidade. Com base nisto, um problema pode ser dividido em pequenos problemas em

que a resolução de todos os pequenos elimina o problema maior. Uma maneira de tornar a abordagem ao problema mais fácil é considerar não o tipo de solução, mas sim as funções essenciais que uma solução deverá satisfazer. O método da análise de funções considera as funções essenciais e o nível para o qual o problema deverá ser dirigido. Para implementar este método deve-se inicialmente considerar o equipamento como uma caixa negra, ver figura 2.9. Ao considerar o equipamento como uma caixa negra, significa que a primeira abordagem a realizar é determinar qual a função global e definir as entradas e saídas. Como exemplo, tem-se uma máquina de descascar fruta, em que a função da máquina é descascar a fruta e na qual entra fruta com casca e sai fruta sem casca.



Figura 2.9: Abordagem do problema como caixa negra. Adaptado de (2).

A fase posterior consiste na divisão da função global em sub-funções da mesma, em que cada sub-função tem as suas próprias entradas e saídas e a compatibilidade entre elas deverá ser verificada e conferida. Para tal, mostra-se as iterações das sub-funções na forma de diagrama de blocos como se apresenta na figura 2.10.

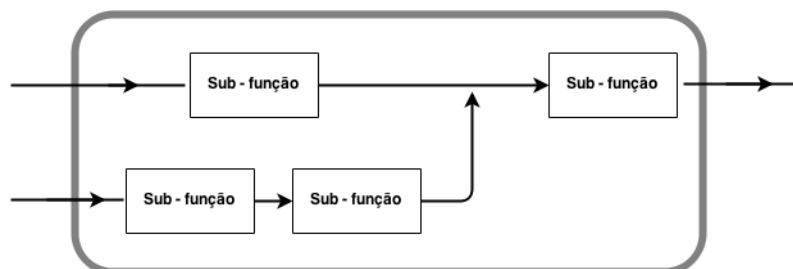


Figura 2.10: Diagrama de blocos de funções. Adaptado de (3).

A divisão em sub-funções para além de facilitar o entendimento do problema em si, permite ao projetista concentrar-se em encontrar a solução mais plausível para cada sub-função. Assim, como indica o ciclo de projeto da figura 2.6, para cada sub-problema encontrar-se-á a respetiva sub-solução.

2.1.4.2.3 Especificações

As especificações do equipamento compreendem os requisitos de desempenho do produto e são características que podem incluir por exemplo: dimensões do equipamento, requisitos de desempenho como potência ou ainda requisitos legais de segurança. Os objetivos e funções são, muitas vezes, considerados como sendo especificações de desempenho, o que não é correto pois os objetivos e funções são indicações do que deverá ser alcançado ou realizado, os quais não são normalmente definidos em torno de limites muito precisos. O método da especificação de desempenho é usado para auxi-

liar à definição do problema, deixando margem de manobra ao projetista para alcançar uma solução satisfatória. Este método consiste na definição de especificações técnicas com base no nível de generalidade em que se irá trabalhar. Assim, quando se está por exemplo a projetar um aquecedor para um edifício é necessário atribuir especificações que se adequem ao desejado, com por exemplo se se está a projetar um sistema de aquecimento central ou um simples termo-ventilador. No fim da definição das especificações, após se obter uma lista completa e detalhada das especificações técnicas, tornar-se-á necessário diferenciar quais os requisitos que são “exigidos” dos que são apenas “desejados”. Assim, um requisito exigido é um requisito que tem necessariamente de ser cumprido com a punição da não aprovação do equipamento por parte do cliente. Enquanto um requisito desejado é um requisito que o cliente, se possível, gostaria de ver satisfeitos na proposta final. Outro aspeto que facilita o projeto é a atribuição de um peso relativo a cada especificação técnica, obtendo-se assim diferentes níveis de importância.

2.1.4.2.4 Criação de soluções no projeto concetual

A criação de soluções é um aspeto fundamental no processo de conceção, pois permite a apresentação de algo novo, contudo, na maioria das vezes, o que se realiza é um melhoramento e otimização de produtos já existentes. Exigem diversas maneiras para se criar novas soluções, como por exemplo a geração espontânea de ideias, em que se obtém duas ou três ideias e se vai excluindo tendo em conta os requisitos do equipamento obtendo-se assim a solução que se irá detalhar. Caso solução não resulte ou se torne incompatível com o desejado, o processo retorna para nova geração de soluções. Contudo, este processo é um processo de certo modo pouco criativo, pois não estimula o aparecimento de diferentes soluções. Para ajudar na geração de soluções, pode-se recorrer a mapas morfológicos que permitem explorar e encorajar o projetista a identificar novas combinações de elementos para se obter uma nova solução. Assim, ao se combinar diferentes sub-soluções para as respetivas sub-funções, conduz-se a uma nova solução não identificada previamente. Um exemplo de um mapa morfológico está representado na figura 2.11.

2.1.4.3 Avaliação de soluções

Após a criação de uma gama de soluções, é necessário selecionar a melhor solução para o problema em questão. As escolhas, em muitas ocasiões, são feitas por palpite, intuição, baseadas na experiência, ou por decisões arbitrárias, contudo, é preferível que sejam efetuadas de acordo com um procedimento racional e que provoque o consenso na equipa de trabalho. Existem diferentes tipos de avaliações possíveis de se realizar, contudo, todas se baseiam na atribuição de diferentes ponderações aos elementos diferenciadores, em que uns são considerados mais importantes do que

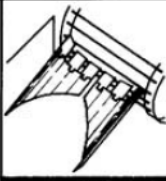
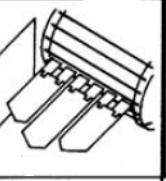
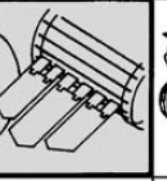
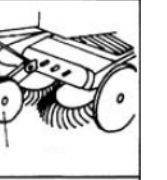
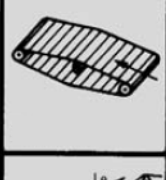
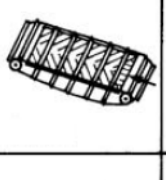

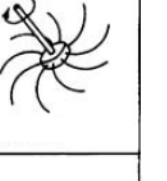
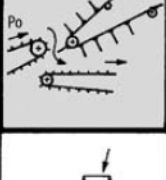
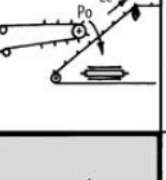



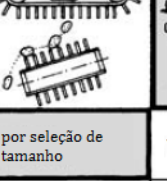
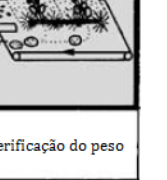
Soluções Sub-funções		Soluções			
		1	2	3	4
1	Elevação				
2	peneirar				
3	Separar folhas				...
4	Separar pedras				
5	Classificar batatas	à mão	por fricção	por seleção de tamanho	Verificação do peso
6	Apanhar	Inclinável	transportador	dispositivo de encher sacos	...

Figura 2.11: Exemplo de mapa morfológico de um equipamento de extrair batatas. Adaptado de (3).

outros. Torna-se assim necessário dispor de meios que promovam diferenciação, de tal forma que as soluções criadas possam ser avaliadas e comparadas. Os elementos diferenciadores são normalmente as especificações e os objetivos definidos para o equipamento. Existe diferentes métodos para avaliar as soluções desenvolvidas durante o projeto conceptual, contudo neste trabalho abordar-se-á o método da árvore de objetivos e a análise de valor, em que o primeiro avalia as soluções segundo a árvore de objetivos e o segundo avalia de acordo com as especificações técnicas.

2.1.4.3.1 Método da árvore de objetivos

O método da árvore de objetivos avalia as soluções desenvolvidas atribuindo pesos numéricos aos objetivos e pontuações numéricas aos desempenhos das soluções alternativas medidos em função dos objetivos. Estes objetivos são estabelecidos numa fase inicial do processo podendo com o decorrer do processo ser alterados, ou poderão não ser os mais apropriados para as soluções que foram desenvolvidas. Os objetivos incluirão fatores técnicos e económicos, requisitos dos consumidores, requisitos de segurança, entre outras. Para tal, recorre-se à árvore de objetivos definida inicialmente

no processo de projeto e atribui-se pesos de modo a soma dos objetivos na mesma hierarquia seja igual a um. Na figura 2.12, observa-se um exemplo de uma árvore de objetivos com a ponderação correspondente.

Com os mapas morfológicos obtém-se um maior número de ideias para realizar uma determinada função, tendo-se assim um pensamento mais aberto e com um maior número de possibilidades de soluções.

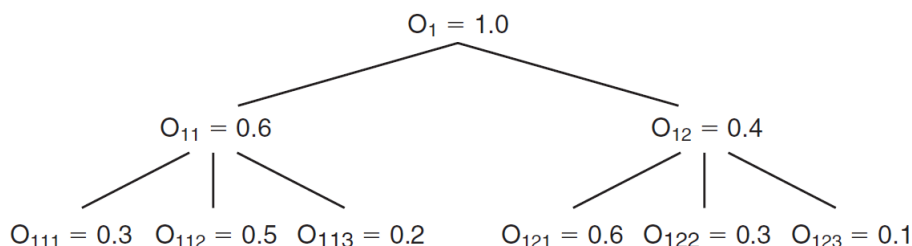


Figura 2.12: Diagrama de blocos de funções. Adaptado de (4).

Como se observa na figura, a soma do peso de cada objetivo na mesma hierarquia é igual a um, sendo que a avaliação final da solução é dada pela multiplicação da nota para cada objetivo pela respectiva ponderação, e realizando posteriormente o cálculo que relacione os objetivos. Para o caso presente na figura 2.12, a avaliação final será dada pela seguinte equação:

$$O_1 = 0.6((O_{111}0.3) + (O_{112}0.5) + (O_{113}0.2)) + 0.4((O_{121}0.6) + (O_{122}0.3) + (O_{123}0.1)) \quad (2.1)$$

No final a solução que tiver melhor resultado será a solução a escolher.

2.1.4.3.2 Análise de valor

A análise de valor apresenta um conceito semelhante ao método da árvore de objetivos no qual são atribuídos diferentes ponderações aos elementos diferenciadores, contudo, apresenta-se sob forma de lista. A aplicação deste método, inicia-se com a apresentação das especificações sob forma de tabela, em que à frente de cada especificação é colocado a respectiva ponderação. A pontuação é obtida após o somatório do produto da nota e respectiva ponderação de cada especificação. No fim, a solução que tiver maior pontuação é a solução mais viável. Para facilitar a compreensão deste método, na tabela 2.1 encontra-se um exemplo da aplicação de uma análise de valor. Contudo, este exemplo apresenta-se de uma forma simplificada, pois é necessário mais detalhe na especificação.

Neste exemplo, o total da solução um é obtido da seguinte forma:

$$TA_1 = (X_1A_{11}) + (X_2A_{12}) + (X_3A_{13}) + (X_4A_{14}) \quad (2.2)$$

Tabela 2.1: Análise de valor

Especificação	Ponderação (1 - 10)	Solução 1	Solução 2
Fiabilidade	X_1	A_{11}	A_{21}
Tempo de ciclo	X_2	A_{12}	A_{22}
Segurança	X_3	A_{13}	A_{23}
Manutenção	X_4	A_{14}	A_{24}
<i>Total</i>		TA_1	TA_2

2.1.4.4 Projeto detalhado

O projeto detalhado é a fase que se segue após o projeto conceptual no “processo” do projeto, contudo a fronteira entre um e outro por vezes não é precisa pois como ao longo do tempo se tem tentado reduzir o ciclo de desenvolvimento do produto usando os métodos correntes de engenharia, tarefas que antes eram consideradas como parte do projeto detalhado, atualmente podem já não o ser. Assim, em muitos projetos já não é correto afirmar que é no projeto detalhado que se realiza todos os dimensionamentos, toleranciamentos e que todos os detalhados são finalizados. Contudo, o projeto detalhado, como o nome indica é a fase onde todos os detalhes são agrupados, todas as decisões são tomadas e a decisão de avançar com a produção do equipamento é tomada. Como se observa na figura 2.7, muitas decisões já foram tomadas em etapas anteriores sendo essenciais para o projeto do produto, porém a mudança das mesmas nesta fase do projeto seria dispendioso em tempo e esforço. Um frouxo projeto detalhado pode arruinar um brilhante projeto concetual, provocando assim erros de fabrico, custos elevados e funcionamento ineficiente. Porém, o contrário não é verdade, pois um projeto detalhado brilhante não irá salvaguardar um frouxo projeto concetual. Assim, como o nome indica, projeto detalhado é a realização do detalhe completo de todos os sistemas, equipamentos que constituem o produto para assegurar que o produto obtido no final seja de acordo com o inicialmente planeado. Nesta fase do projeto são tidas em conta várias temáticas de carácter mais prático e experimental, bem como normalização existente para o produto a projetar. Assim, abordar-se-á nesta fase dimensionamento e toleranciamento dos componentes, segurança e ergonomia, seleção de materiais e tratamentos térmicos caso se apliquem, entre outros. Alguns destes assuntos são abordados no capítulo 2.2.

Por vezes, é necessário abandonar uma solução quando já se encontra na fase de detalhe, pois após se detalhar o produto pode-se chegar à conclusão que aquela solução afinal é impossível de se realizar por um motivo que não foi identificado na fase concetual. Existe diversos motivos para um projeto se tornar inviável ou impraticável nesta fase, como por exemplo a impossibilidade de fabricar tal componente, necessidade de componente *off-the-shelf* com características que não existem no mercado, entre outras. Quando isto acontece, é necessário voltar ao projeto concetual e recomeçar

o “processo” de projeto.

2.2 Conceitos de componente prática e normalização

No capítulo anterior abordou-se aspectos teóricos sobre o “processo de projeto”, sendo que neste se aborda aspectos de cariz mais prática. Exemplos de aspectos de cariz prática tem-se: configurações geométricas, projeto para a manufatura e montagem, segurança e normalização e ergonomia. Existem outros aspectos que se poderia abordar aqui, contudo, achou-se irrelevante para este projeto.

2.2.1 Configurações Geométricas

Após se realizar um esboço conceptual de como o equipamento será constituído, é necessário na fase do projeto detalhado começar a definir a forma e as dimensões gerais dos componentes do sistema. Assim, é possível criar um componente do sistema com diferentes configurações para realizar a mesma função, sendo necessário definir um que traga benefícios ao projeto em si, tanto na montagem, fabrico e custo. Na figura 2.13, tem-se uma imagem de quatro configurações distintas de um esquadro a 90°.

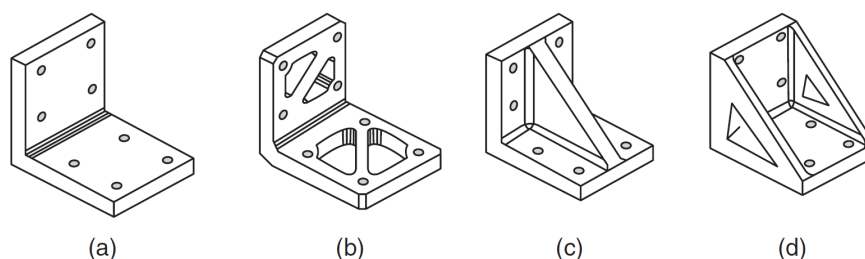


Figura 2.13: Quatro diferentes possibilidades para um esquadro. Extraído de (4).

Como se observa na figura, as soluções apresentadas são bastante distintas entre si, principalmente nos seus processos de fabrico. O projetista, depara-se constantemente com uma dificuldade em idealizar componentes deste tipo, pois necessita de garantir que o componente aguente os esforços a que estará sujeito durante o funcionamento, necessita de ter conhecimento dos processos de fabrico para não criar componentes de difícil execução ou mesmo impossíveis de fabricar, bem como na seleção do material do componente (4). Todos estes aspectos mencionados anteriormente, afetam diretamente o custo do componente, sendo necessário um conhecimento abrangente do projetista para idealizar o componente ideal. Assim, desde logo se conclui os quatro aspetos principais que um projetista necessita de ter em atenção para criar um componente que realize determinada função, sendo esses aspetos: o material, a geometria, o fabrico e os esforços mecânicos (ver figura 2.14).

Para se ter uma ideia mais esclarecedora do que um projetista deve pensar quando realiza por

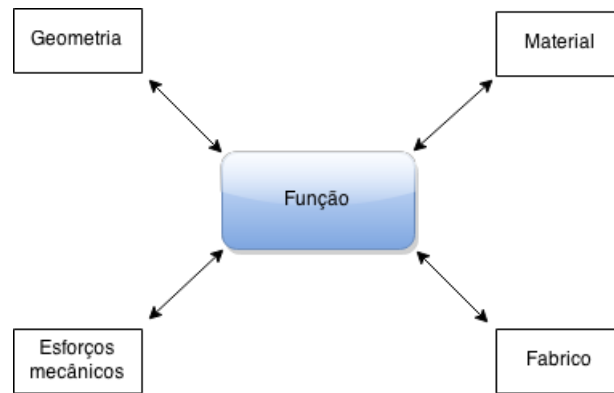


Figura 2.14: Os quatro aspetos a ter em conta no projeto. Adaptado de (4).

exemplo o acoplamento de dois componentes recorrendo a uma ligação aparafusada, na figura 2.15 encontra-se todos os aspetos a considerar e a ter em mente aquando do projeto desse acoplamento.

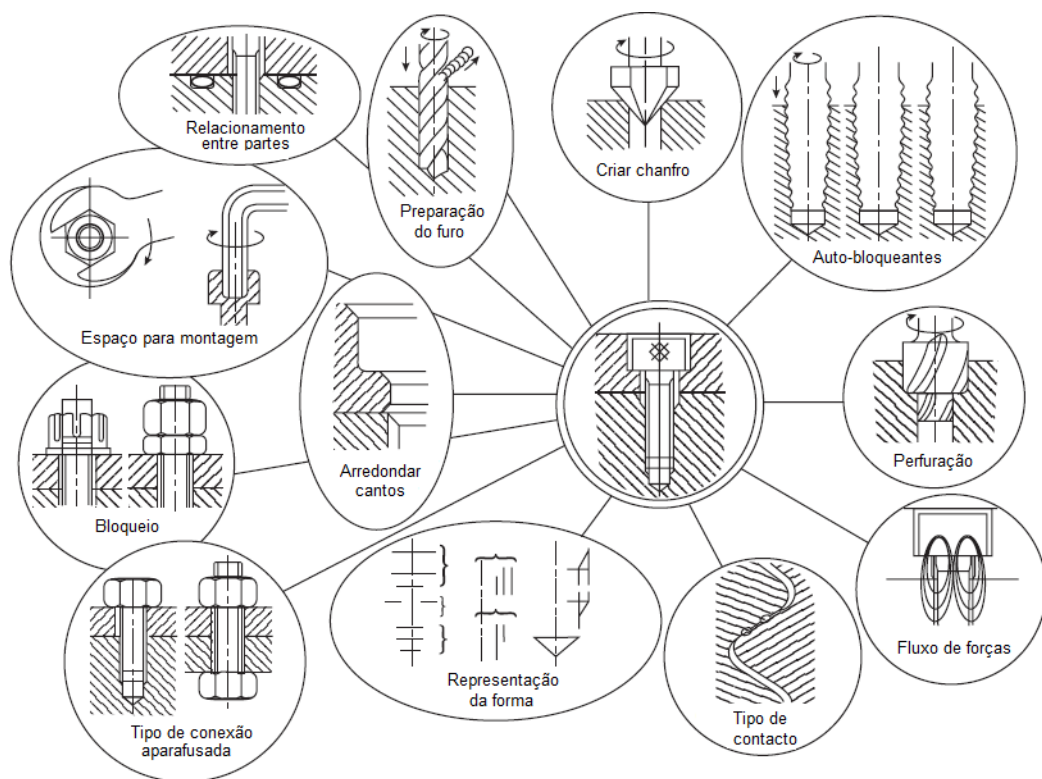


Figura 2.15: Aspetos a considerar ao se projetar ligação aparafusada. Extraído de (4).

Como se observa na figura 2.15, existe muitas variáveis a pensar aquando do projeto, por isso, um grande fator de importância no projeto de produtos com componentes mecânicos é a experiência do projetista (4).

2.2.2 Projeto para manufatura (DFM) e projeto para a montagem (DFA)

É imprescindível que durante a fase de detalhe do projeto, na qual se define geometrias, dimensionamentos e tolerâncias, deve estar integrado no projeto um membro da área de fabrico e de montagem para aconselhar nas decisões. Caso isso não seja possível, o projetista necessita de estar familiarizado com métodos de montagem e fabrico. Para tal, guias generalizados de DFM e DFA foram desenvolvidos. O DFM e DFA tem de estar sempre presentes no processo de projeto de um equipamento para se obter projetos de qualidade e de baixo custo-efeito (5). Antes de 1980, existia uma separação entre gabinetes de projeto e de fabrico. A figura 2.16, representa a hipérbole destes problemas, onde o projetista realiza rapidamente o desenho sem considerar aspetos de projeto, e ao fabricar o operador vê-se com grande dificuldade para criar esses componentes.

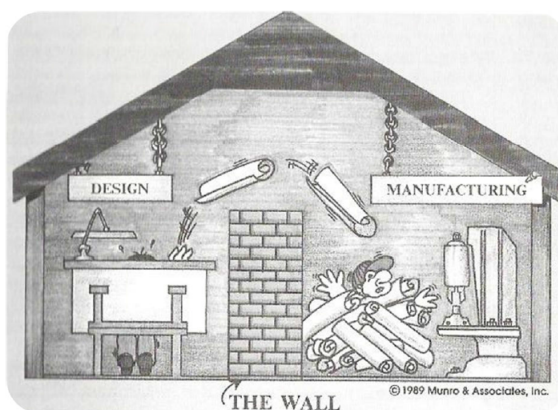


Figura 2.16: Hipérbole sobre os problemas do processo de projeto com vista à manufatura. Extraído de (5).

2.2.2.1 Projeto para manufatura (DFM)

O objetivo de integrar o projeto para a manufatura no projeto de equipamentos tem como objetivo, como se referiu anteriormente, reduzir custos de fabrico e melhorar qualidade do produto. Para tal, desenvolveu-se guias de auxílio ao projetista, com o objetivo de o auxiliar no desenho do equipamento, evitando a criação de componentes que exigem demasiados recursos de fabricação e que porventura irão aumentar o custo desnecessariamente. Os guias DFM são normas de boas práticas de projeto que foram empiricamente adotadas com a experiência de trabalho (4). Como normas tem-se:

1. **Minimizar o número de componentes** – Eliminando componentes facilita todo o projeto, pois é menos componentes a fabricar, montar, mover, inspecionar, entre outras tarefas que se realizam sobre componentes. Contudo, a redução não deve ir para além do limite a partir do qual os componentes se tornem demasiados complexos de fabricar. O uso de materiais

plásticos possibilita a redução no número de componentes pois é possível se obter geometrias mais complexas.

2. **Usar componentes Standard** – os custos são minimizados e a qualidade é melhorada com o uso de componentes standard comerciais, sendo ainda possível à empresa normalizar internamente o tamanho, materiais e processos de fabrico de componentes a fabricar. Em geral, o projeto é facilitado com o recurso a estes componentes.
3. **Usar componentes semelhantes no mesmo equipamento** – É uma boa prática usar componentes iguais em diferentes produtos, sendo estes constituídos do mesmo material e dimensões. Isto elimina possíveis confusões, bem como facilita o fabrico, pois é mais fácil fabricar dois componentes iguais do que dois com pequenas diferenças.
4. **Estabelecer dimensões standard** – Estabelecer as dimensões por exemplo do diâmetro dos furos, bem como o tamanho dos parafusos é uma boa prática a realizar durante o projeto. Assim, deve-se tentar usar o mesmo tipo de parafusos com mesma dimensão num determinado componente, pois para além de simplificar a montagem (operador não necessita de trocar de ferramenta de aperto), simplifica também o fabrico, eliminando uma troca de ferramenta e reduzindo consequentemente os custos de fabrico.
5. **Criar componentes de geometria simples** – É um erro típico de projetista aumentar a complexidade dos componentes para lhe dar um aspeto mais trabalhado e visualmente mais apelativo, contudo, isto faz disparar os custos de fabrico e por essa razão é fundamental tentar criar soluções com geometrias o mais simples possíveis, sendo possível obter-se componentes “near net shape” mais facilmente. Para além da geometria simples, a escolha do material e dos tratamentos térmicos possíveis deve ser o mais racional possível, evitando a utilização sem necessidade de materiais mais nobres ou de maior dificuldade de fabrico.
6. **Evitar tolerâncias apertadas** – Especificar tolerâncias demasiado apertadas das que são realmente necessárias resulta num aumento do custo de produção. Isto porque, para a obtenção dessas tolerâncias é necessário recorrer a processos de fabrico que tenham resolução da mesma ordem de grandeza, aumentando o ciclo de fabrico.
7. **Minimizar operações secundárias e acabamento** – Minimizar operações secundárias como tratamentos térmicos e evitar acabamentos superficiais como pintura, polimento, anodizações, entre outros. Estas operações só devem ser usadas quando há uma razão funcional para tal.

Os aspetos mencionados acima, são aspetos fundamentais que o projetista se deve questionar ao projetar algo, contudo, nada melhor do que aprender processos de fabrico e acompanhar o processo para ganhar experiência, aperfeiçoando assim o seu pensamento e metodologia de projeto.

2.2.2.2 Projeto para a montagem (DFA)

Uma vez fabricados, os componentes serão posteriormente montados e acoplados, originando posteriormente o produto final. Assim, o grande objetivo da montagem é que seja fácil e rápida de realizar. Segundo (6), o processo de montagem de componentes está dividido em duas operações: manuseamento seguido de acoplamento sendo dividido em três tipos de montagem, que são classificados de acordo com o nível de automatização que possuem: montagem manual, montagem automática e montagem robotizada. Neste trabalho será apenas abordado a montagem manual. O custo da montagem é função da quantidade de componentes do produto e do grau de complexidade relativo ao seu manuseamento e acoplamento. Os objetivos do projeto para a montagem dividem-se em três categorias distintas que remetem para a obtenção de um processo eficaz e eficiente: objetivos gerais, objetivos de manuseamento e objetivos de acoplamento (6). Os objetivos gerais são:

- Minimizar o número total de componentes;
- Diminuir a quantidade de trabalhos a realizar numa determinada posição;
- Agrupar componentes em subconjuntos;
- Utilizar sistemas à prova de erro (Poka-yoke).

Os objetivos relativos ao manuseamento são:

- Diminuir a utilização de ligações por aparafusamento;
- Projetar com vista a um fácil manuseamento e acoplamento.

Os objetivos relativos ao acoplamento são:

- Definir uma direção de montagem comum ao maior número de componentes;
- Projetar com vista a não obstruir zonas de aparafusamento ou zonas de acesso difícil;
- Minimizar a força humana necessária ao acoplamento de componentes.

Para o fácil manuseamento, acoplamento e inserção dos componentes existe um conjunto de técnicas que devem ser empregues e que por essa razão são apresentadas abaixo. Estas técnicas são apresentadas de forma geral, procurando abranger o maior número possível de casos práticos.

2.2.2.2.1 Manuseamento

De forma a facilitar o manuseamento de componentes, o projetista deve tentar criar componentes que sejam simétricos sobre os eixos de inserção. Caso não o possa ser, deve ser o mais assimétrico possível (6). Na figura 2.17, é possível observar casos de componentes: assimétricos, simétricos, ligeiramente assimétricos e nitidamente assimétricos.

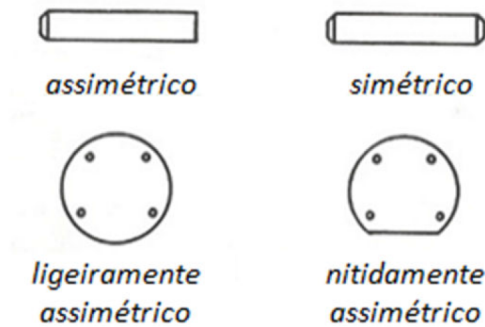


Figura 2.17: Exemplos de componentes assimétricos, simétricos, ligeiramente assimétricos e nitidamente assimétricos. Adaptado de (6).

Projetar de forma a prevenir o atolamento de componentes que tendem a encravar quando são armazenados sobrepostos (ver figura 2.18 em cima). Evitar geometrias que provoquem o acoplamento involuntário de componentes quando são armazenados a granel (ver figura 2.18 em baixo).



Figura 2.18: Exemplos de componentes que têm tendência a encravar e emaranhar. Adaptado de (6).

Para além deste aspetos anteriormente mencionados, é necessário ter em atenção componentes que tenha dimensão reduzida para que seja manuseado, seja escorregadio, seja afiado ou flexível (ver figura 2.19).

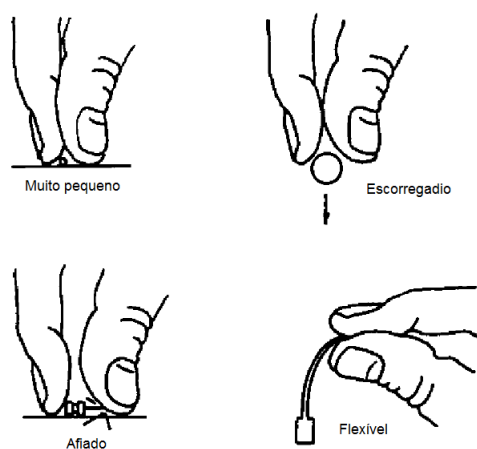


Figura 2.19: Ilustração de exemplos de componentes de dimensão reduzida, afiados, escorregadio e flexível. Adaptado de (6).

2.2.2.2.2 Acoplamento e Inserção

Para facilitar a inserção, o projetista deve tentar criar componentes que apresentem pouca resistência à inserção contendo chanfros para guiamento nos componentes a inserir (6). Contudo, ao exagerar nos chanfros, pode-se criar situações de encravamento, como se observa na figura 2.20.

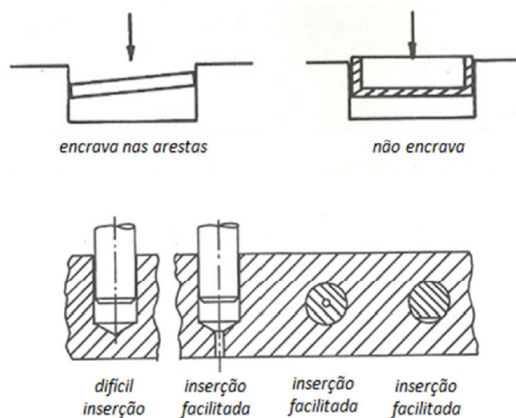


Figura 2.20: Exemplos de situações problemáticas ao inserir e acoplar. Adaptado de (6).

Usar sempre que possível um sistema de montagem em pirâmide (figura 2.21, realizando a montagem segundo um eixo ou direção).

Um dos erros comuns nos projetistas é a projeção de componentes que ao serem montados não é possível colocá-lo na posição final. Para tal, deve-se evitar este tipo de situações, bem como facilitar a sua inserção como se observa nos casos da figura 2.22.

Deve-se criar caixas para os componentes que serão acoplados por elementos de fixação, pois assim evita-se o constante reposicionamento do componente. Na figura 2.23, é possível ver a maior

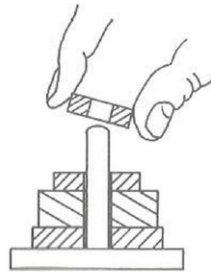


Figura 2.21: Sistema de montagem em pirâmide. Adaptado de (6).

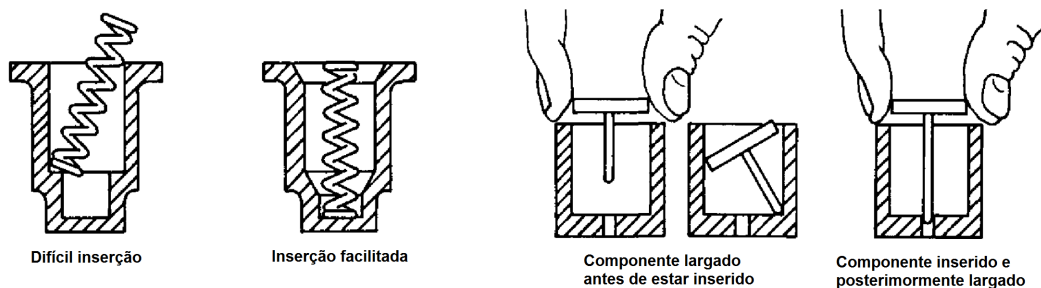


Figura 2.22: Exemplos de diferentes dificuldades de inserção. Adaptado de (6).

facilidade no posicionamento na situação da esquerda, comparativamente à da esquerda.

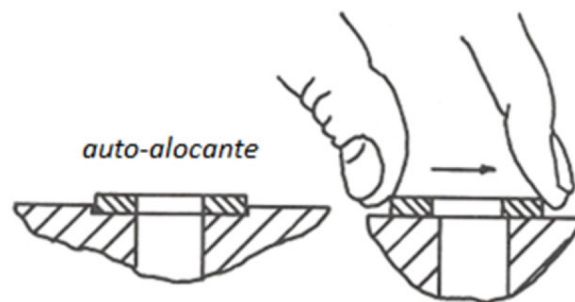


Figura 2.23: Diferença de facilidade do posicionamento com ou sem rebaixo. Adaptado de (6).

Ao usar elementos de fixação não permanentes, como por exemplo ligações aparafusadas, na montagem de conjuntos, deve-se evitar a necessidade do operador segurar um componente enquanto prepara o outro para a montagem. Para além disto, os locais devem ser de fácil acesso e visíveis ao operador, para facilitar tanto a montagem como a desmontagem para manutenção por exemplo. Na figura 2.24, está patente uma solução de difícil montagem que deve ser evitada sempre que possível e substituir por soluções como a alternativa apresentada na figura.

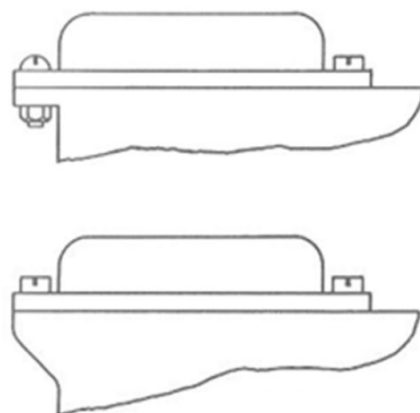


Figura 2.24: Exemplo de simplificação de elementos de ligação. Adaptado de (6).

2.2.2.2.3 Sistemas à prova de erro (*Poka-Yoke*)

Um elemento importante do projeto para a montagem (DFA) é a redução de erros de montagem pelo operador, criando componentes que encaixam apenas de uma única forma e orientação. Em 1961, um engenheiro de produção japonês desenvolveu um princípio chamado *Poka-yoke*, que em português significa à prova de erro. Este princípio pretende projetar com vista à eliminação dos erros associados à montagem durante a produção (4). É comum desenvolver componentes assimétricos, sistemas de guiamento de peças, como por exemplo cavilhas, componentes que independentemente da forma como são montados cumprem a sua função, entre outros, como forma de minimizar os erros de montagem. Um exemplo de um sistema *Poka-yoke*, está presente na figura 2.25. O componente da figura, assemelha-se a uma tomada trifásica, em que existe uma saliência que apenas permite a conexão de uma única maneira, evitando assim possíveis erros de conexões.

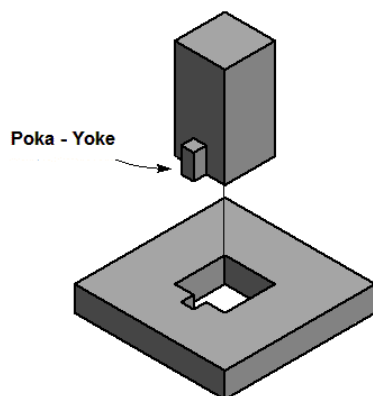


Figura 2.25: Exemplo de um acoplamento com *Poka-Yoke*.

2.2.3 Segurança e normalização

Este capítulo aborda aspetos relacionados com a normalização existente sobre segurança de equipamentos, bem como metodologias a seguir para tornar os equipamentos seguros reduzindo a sua fonte de perigos. Este capítulo apresenta um resumo de segurança e normalização de equipamentos baseado em (7).

Uma máquina segura proporciona tranquilidade tanto ao fabricante como ao operário. O utilizador normalmente exige que o equipamento garanta a segurança, contudo existe regulamentação internacional que garante a segurança dos utilizadores das máquinas. Estas regulamentações têm sido adaptadas de maneira distinta dependendo da área a que se aplica. Assim existe um consenso de obrigações que o fabricante tem de assegurar, nomeadamente:

- Ao fabricar as máquinas, o fabricante deve identificar todos os perigos existentes e zonas de perigo mediante avaliação dos riscos;
- Após identificar, o fabricante deve eliminar ou reduzir os riscos com medidas adequadas. Se não for possível eliminar o risco, o fabricante deve seleccionar equipamentos de segurança apropriados e identificar os perigos caso ainda existam;

Assim, a segurança das máquinas depende em grande medida da correta aplicação das diretivas e normas. Na Europa aproximou-se as normalizações nacionais às europeias. Uma das ideias fundamentais da União Europeia é a proteção e segurança dos seus cidadãos tanto o privado como o profissional. Outra ideia é a criação de um mercado único com liberdade de circulação de mercadorias. Para cumprir ambas as ideias, a comissão e o conselho europeu, adotaram várias diretivas. Assim os estados membros devem transpor estas diretivas para leis nacionais. Estas diretivas definem objetivos e requisitos essenciais de segurança e saúde e foram formadas da maneira mais neutra possível no que diz respeito aos aspetos tecnológicos (37). No âmbito da segurança das máquinas e proteção no trabalho (ver figura 2.26), adotaram-se as seguintes diretivas:

- Diretiva máquina, dirigida aos fabricantes de máquinas;
- A diretiva do uso de equipamentos de trabalho dirigida aos operadores;
- Diretivas adicionais

2.2.3.1 Diretiva (2006/42/CE)

Em 1989 o conselho da comunidade europeia adotou a diretiva tendo em conta uma aproximação às legislações dos estados membros sobre equipamentos, que se conheceu como Diretiva Máquinas

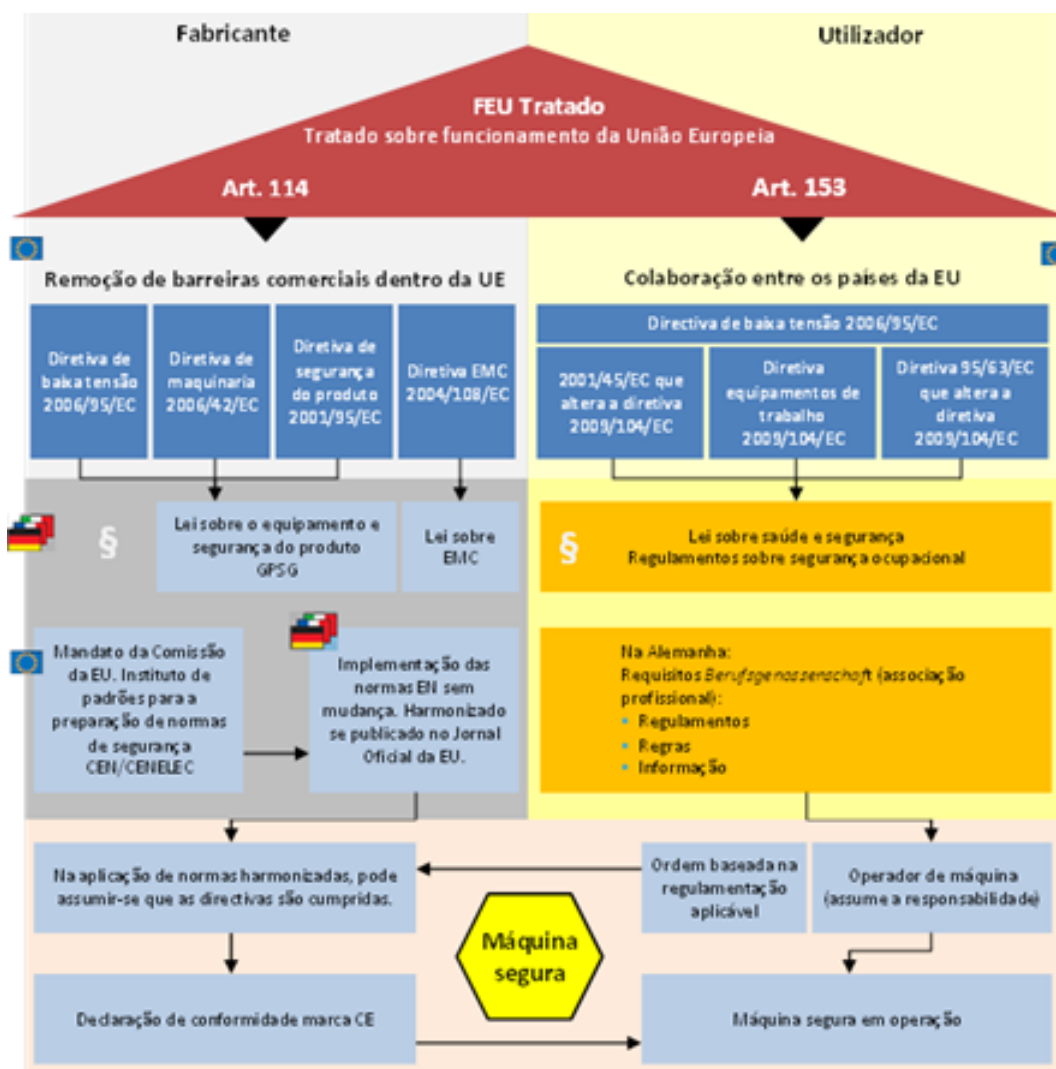


Figura 2.26: Diretivas para a Segurança de Máquinas na UE. Adaptado de (7).

(89/392/CEE). Em 1998 realizaram-se alterações à Diretiva máquinas, criando-se a Diretiva Máquinas (98/37/CE). Em 2006 adotou-se uma nova Diretiva Máquinas (2006/42/CE) que substituiu a versão anterior e cuja aplicação em todos os estados membros foi imposta a partir de 29/12/2009. A diretiva máquinas 2006/42/CE é dirigida aos fabricantes e à comercialização de máquinas e componentes de segurança e estabelece as ações necessárias para o cumprimento dos requisitos de segurança e saúde em máquinas novas, eliminando assim barreiras comerciais dentro da Europa garantindo aos utilizadores e operários um elevado estado de segurança. A presente diretiva é aplicável aos seguintes produtos:

- Máquinas;
- Equipamento intermutável;
- Componentes de segurança;

- Dispositivos amovíveis de transmissão mecânica;
- Quase-máquinas.

2.2.3.1.1 Quase-Máquinas

Existe um grupo particular de equipamentos que pelas suas características, à vista da Diretiva Máquinas, não pode ser considerado como uma máquina completa, as Quase-Máquinas. Segundo a Diretiva Máquinas 2006/42/CE, define-se quase-máquinas como um conjunto de componentes que quase constituem uma máquina mas que não desempenham nenhuma função por si só, destinando-se à montagem ou acoplamento a outras máquinas, quase-máquinas ou equipamentos, para formar conjuntamente uma máquina. Dada a sua natureza específica, as quase-máquinas não conseguem cumprir com todos os requisitos da Diretiva Máquinas. Neste caso adota-se um procedimento especial, no qual o fabricante deve:

- Cumprir os requisitos essenciais previstos pela Diretiva que sejam viáveis na medida do razoável.
- Expedir uma declaração de incorporação que descreva que requisitos foram cumpridos.
- Redigir um manual de instruções de montagem (em vez de um manual de instruções) na língua que ambas as partes, fabricante e utilizador, acharem conveniente.

2.2.3.1.2 Normas europeias para a segurança de máquinas

Estas normas descrevem como aplicar os requisitos definidos nas diretivas europeias. No contexto de segurança distinguem-se três tipos de normas:

- **Normas A**, essenciais de segurança: apresentam termos, princípios de desenho e aspetos gerais que podem ser aplicados a todas as máquinas.
- **Normas B**, categorias de segurança: apresentam um aspeto de segurança ou um dispositivo de segurança que pode ser utilizado numa ampla gama de máquinas. Estas normas dividem-se ainda em dois tipos:
 - Normas B1 para aspetos específicos de segurança;
 - Normas B2 para dispositivos de segurança.
- **Normas C**, requisitos de segurança: apresentam todos os requisitos de segurança de uma máquina ou grupo de máquinas específico.

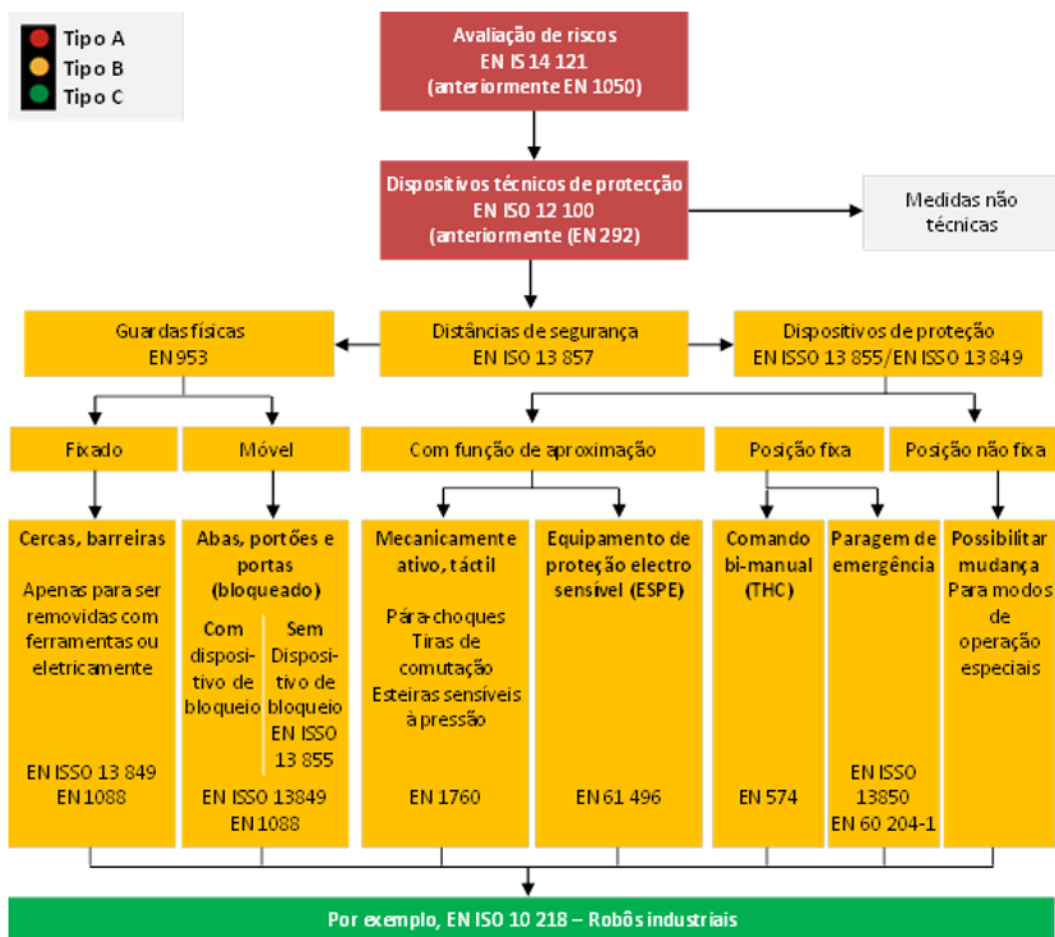


Figura 2.27: Tipo de norma aplicável em função do dispositivo de segurança. Adaptado de (7).

A figura 2.27 apresenta a relação entre os dispositivos de segurança e a respetiva norma.

Quando existe uma norma de tipo C específica para um determinado tipo de máquina, essa norma sobrepõe-se às normas de tipo A e B. De realçar que a paragem de emergência é uma medida de segurança e não um mecanismo de protecção.

2.2.3.2 Avaliação dos riscos

Ao projetar uma máquina deve-se analisar os possíveis riscos e caso necessário adotar medidas para proteger o utilizador dos perigos existentes. Para ajudar o fabricante das máquinas, as normas definem e descrevem o processo de avaliação dos riscos. Uma avaliação dos riscos consiste numa série de passos lógicos que permitem a análise e a valorização sistemática dos riscos. A máquina deve-se projetar tendo em conta os resultados desta avaliação. Caso necessário, após a avaliação dos riscos dever-se-á realizar uma redução dos mesmos introduzindo medidas de protecção adequadas. A aplicação de medidas de protecção não deve resultar na criação de mais riscos. A avaliação dos riscos

é definida pela norma *EN ISO 14121*, estando a evolução do processo representado na figura 2.28.

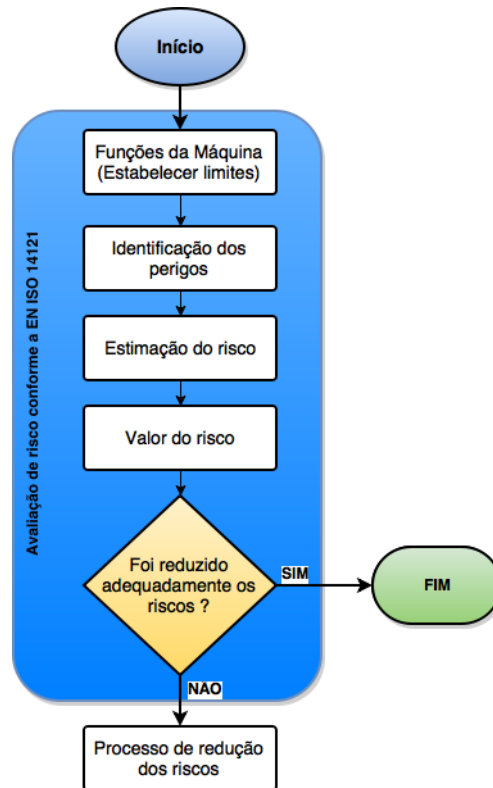


Figura 2.28: Processo de Avaliação do Risco (conforme *EN ISO 14121*). Adaptado de (7).

A avaliação dos riscos começa quando se estabelece as funções da máquina. Estes podem ser:

- Especificações da máquina (que produz, rendimento máximo, material usado, entre outras);
- Limitações de espaço e o lugar onde possivelmente se utilizará;
- Vida útil prevista;
- As funções e os modos de funcionamento previstos;
- O funcionamento incorreto e as perturbações previsíveis;

Após estabelecida as funções da máquina, chega o passo mais importante da avaliação dos riscos que consiste na identificação de situações de perigo, podendo-se ter:

- Perigos mecânicos;
- Perigos elétricos;
- Perigos térmicos;
- Perigos por ruído;

- Perigos por vibrações;

Exemplos de perigos mecânicos observa-se na figura 2.29.



Figura 2.29: Exemplos de possíveis perigos presentes nos equipamentos. Adaptado de (7).

A identificação dos perigos existentes deve-se efetuar em todas as fases da vida útil da máquina, onde se inclui: transporte, montagem e instalação, início de funcionamento, funcionamento normal, reparação de avarias, manutenção, avarias e produção.

2.2.3.3 Redução dos Riscos

Após a avaliação dos riscos é necessário posteriormente efetuar a redução dos mesmos. Para tal, aplica-se o método das três etapas (ver figura 2.30) que consiste em eliminar ou minimizar os riscos dentro do possível, aplicar medidas de proteção necessárias para eliminar riscos que não puderam ser evitados no projeto e posteriormente caso haja riscos residuais que não podem ser evitados, deve-se informar o cliente sobre a existência dos mesmos.

2.2.3.4 Princípio de redução dos riscos

A norma EN ISO 12100 identifica e aborda o processo de redução de riscos existente nos projeto mecânico sendo uma norma do tipo A (norma essencial de segurança). A primeira fase como foi

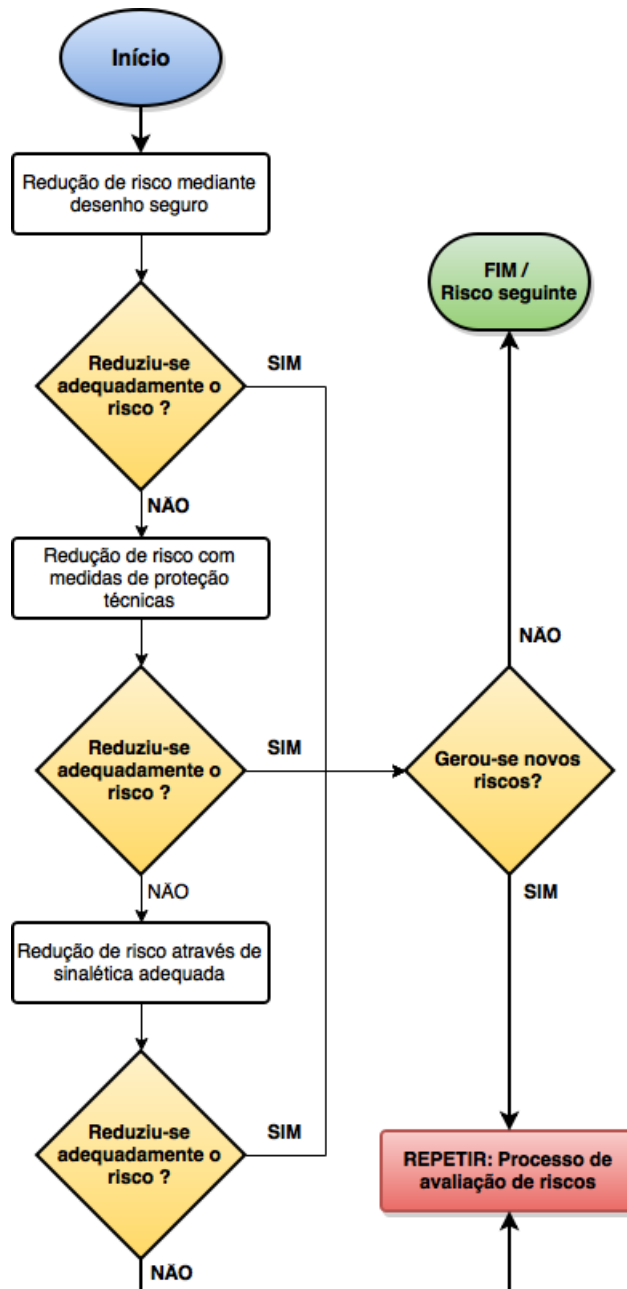


Figura 2.30: Processo de redução dos riscos. Adaptado de (7).

referido anteriormente consiste na construção segura. Para um equipamento ser seguro, na fase de idealização do equipamento a segurança deve ser um dos principais fatores a considerar e os componentes devem sempre selecionar-se, utilizar-se e instalar-se de maneira que em caso de falha do equipamento, seja garantida a segurança das pessoas. Deve também procurar-se evitar danos na máquina e no envolvente da mesma. Um design baseado na segurança constitui o primeiro passo do processo de redução de riscos. Como exemplos encontra-se o desenho mecânico, estado de funcionamento e significado, segurança elétrica, estado de emergência, estanquidade e proteção e segurança

eletromagnética.

2.2.3.4.1 Desenho mecânico

O objetivo primordial de todo o desenho é evitar que se produzam perigos. Isto pode alcançar-se, por exemplo, das seguintes maneiras:

- Evitar bordas e esquinas pontiagudas;
- Evitar pontos de corte, esmagamento e entrada;
- Limitar a energia cinética (massa e velocidade);
- Aplicar princípios de ergonomia.

Na figura 2.31, está presente exemplos para a redução de perigos.

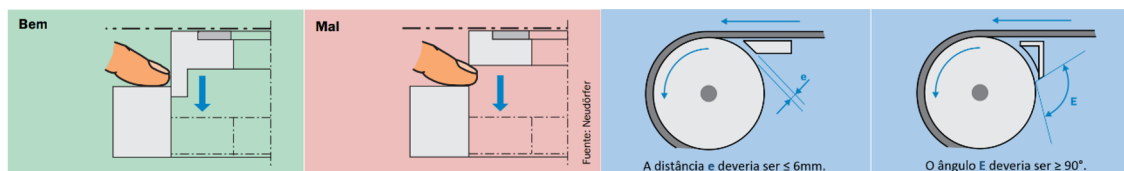


Figura 2.31: Exemplos de como reduzir riscos mecânicos. Adaptado de (7).

2.2.3.4.2 Estado de funcionamento e significado

O interface homem-máquina dos equipamentos são constituídos na maioria dos casos por botões que devido a terem variadas funções possuem diferentes cores. A cada cor está associada uma determinada função/ação que o operador reconhece. O mesmo acontece no pirilampo de funcionamento, no qual o operador com base na cor iluminada identifica o estado de funcionamento do equipamento. Na figura 2.32, está representado o significado de cada cor, nomeadamente nas botoneiras e no pirilampo de funcionamento.

2.2.3.4.3 Compatibilidade eletromagnética

A diretiva CEM europeia define a compatibilidade eletromagnética como “a capacidade de um equipamento funcionar no seu ambiente eletromagnético, de forma satisfatória e sem produzir ele próprio perturbações eletromagnéticas intoleráveis para tudo o que se encontre no referido ambiente”. As perturbações eletromagnéticas podem ser causadas por:

- Perturbações elétricas rápidas e transitórias;
- Impulsos de tensão (picos) produzidos;

Cor	Significado	Descrição	Cor	Significado	Descrição
Branco Cinza Preto	Não específico	Ativar funções	Branco	Neutro	Usar em caso de dúvida relativamente à cor adequada
Verde	Seguro	Acionar durante utilização segura ou para preparar um estado normal	Verde	Estado normal	
Vermelho	Emergência	Aciona o estado de emergência	Vermelho	Emergência	Estado de perigo, intervir imediatamente
Azul	Instrução	Acionar numa situação que requer intervenção obrigatória	Azul	Obrigação	Indica estado que necessita intervenção do operador
Amarelo	Anomalia	Acionar em situação de anomalia	Amarelo	Anomalia	Estado crítico iminente

Figura 2.32: Significado das cores na sinalização do equipamento. À esquerda nas botoneiras e à direita no pirilampo de sinalização. Adaptado de (7).

- Campos eletromagnéticos;
- Perturbações de alta frequência (cabos próximos);
- Descargas eletrostáticas (ESD).

Para prevenir perturbações eletromagnéticas deve-se seguir as seguintes regras:

- Ligação equipotencial geral mediante uma ligação condutora entre peças da máquina e instalação (figura 2.33;
- Não conduzir corrente equipotencial através da blindagem;
- Aplicar uma blindagem curta e que cubra toda a superfície.

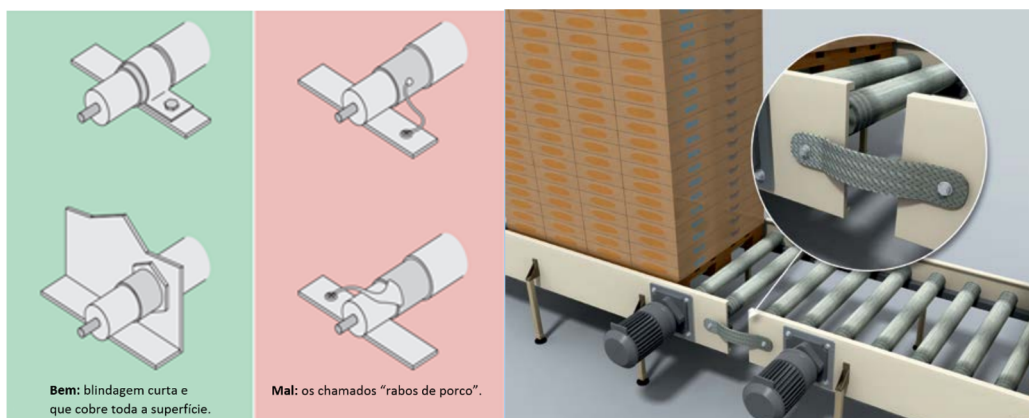


Figura 2.33: Exemplos de aplicação correta de ligação equipotencial. Adaptado de (7).

2.2.3.4.4 Paragem de emergência

Para além da paragem de serviço, uma máquina também deve poder ser parada em caso de emergência por motivos de segurança. Assim a norma exige que:

- Cada máquina deve estar dotada de um dispositivo de comando para a paragem de serviço completa da máquina;
- Deve conter, pelo menos, uma função de paragem de Categoria 0. Também poderão ser necessárias funções de paragem de categorias 1 e/ou 2, por requisitos de segurança e de funcionamento da máquina.
- Uma ordem de paragem da máquina deve ter sempre prioridade em relação às ordens de arranque. Se a máquina foi parada ou os componentes desta causam o perigo, deve ser interrompido o fornecimento de energia do acionamento. As categorias de paragem dividem-se em 0, 1 e 2. Sendo que na categoria de paragem 0 desliga-se a alimentação de energia aos elementos de acionamento (paragem descontrolada), na categoria 1 coloca-se a máquina num estado seguro e apenas então se corta a energia aos elementos de acionamento e na categoria 2 coloca-se a máquina num estado seguro, mas não se corta a energia.

Situação de emergência

Em caso de emergência, não só devem ser detidos todos os movimentos perigoso, mas também de maneira segura todas as fontes de energia. Esta ação é denominada de paragem de emergência. Todas as máquinas (salvo as exceções descritas na Diretiva Máquinas) devem contar, pelo menos, com um sistema de paragem de emergência. Assim:

- Os sistemas de paragem de emergência devem ser de fácil acesso;
- A paragem de emergência deve parar a situação perigosa o mais rápido possível sem criar riscos adicionais;
- A ordem de paragem de emergência deve ter prioridade em relação a todas as outras funções e instruções, independente do modo de funcionamento;
- A restauração do sistema de paragem de emergência não deve provocar uma nova colocação em marcha;
- Deve empregar-se o princípio de acionamento direto com função de encravamento mecânico;
- A paragem de emergência deve ser ajustada às categorias de paragem 0 ou 1.

Quando se aciona o estado de emergência, os dispositivos disparados por esta circunstância devem permanecer no estado desativado até que se restaure o referido equipamento. A restauração de equipamentos de comando deve ser efetuada manualmente no local. Assim, apenas se deverá preparar a máquina para a colocar de novo em movimento (ver figura 2.34).

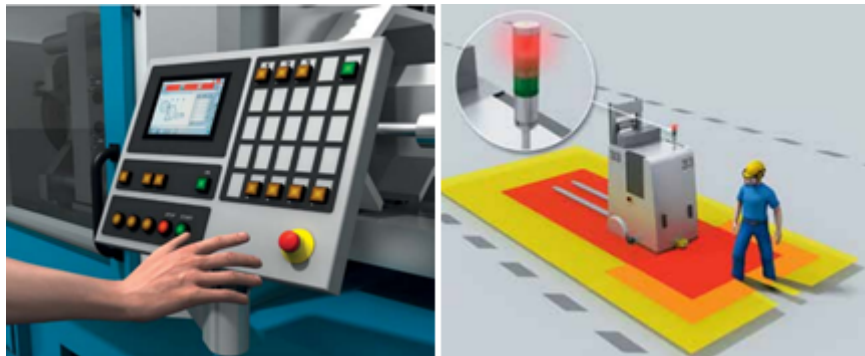


Figura 2.34: Exemplos de acionamento de situações de emergência. Extraído de (7).

A norma EN ISO 13850 aborda os princípios de projeto de sistemas de paragem de emergência, bem como a Diretiva Máquinas 2006/42/CE.

2.2.3.5 Medidas de proteção

As medidas de proteção técnicas são implementadas mediante dispositivos de proteção (painéis, portas, cortinas de luz, dispositivos bi-manuais) ou unidades de controlo (de posição, velocidade, entre outras) que têm função de segurança. A segurança funcional tem o significado de que uma medida de proteção depende do correto funcionamento de um comando. Para conseguir a segurança funcional, devem ser definidas funções de segurança e determinar-se o nível de segurança necessário. Posteriormente, é necessário realizar a validação de todas as medidas de proteção implementadas.

Determinar as funções de segurança

A função de segurança define a forma de reduzir o risco a partir de medidas de segurança técnicas. Deve ser definida uma função de segurança para cada risco que não seja possível eliminar com o projeto. Assim pode-se: Impedir o acesso de maneira permanente, impedir o acesso temporariamente, deter peças, provocar a paragem, impedir a colocação em movimento, provocar a paragem e impedir a colocação em movimento, distinguir entre pessoas e materiais e desativar funções de segurança manual e temporariamente. De seguida, abordasse cada uma dos casos mencionados anteriormente.

2.2.3.5.1 Impedir o acesso de maneira permanente

O acesso a uma zona perigosa pode ser impedido recorrendo a painéis, barreiras ou obstáculos mecânicos, também denominados dispositivos de proteção separadores. Na imagem 2.35 observa-se

um exemplo do uso de painéis, no qual também se usa dispositivos em forma de túnel que impedem aceder às zonas perigosas permitindo a passagem do produto.



Figura 2.35: Exemplo de impedimento do acesso de maneira permanente. Extraído de (7).

2.2.3.5.2 Impedir o acesso temporariamente

Impede-se o acesso a uma zona perigosa até que a máquina se encontre num estado seguro. Se solicitada, efetua-se uma paragem de serviço. Quando a máquina se encontra em dito estado seguro, desbloqueia-se o acesso (figura 2.36).

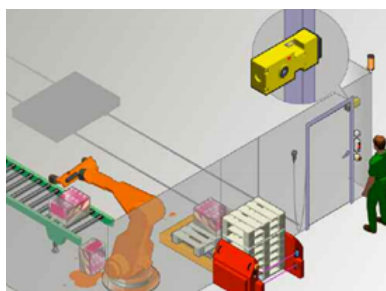


Figura 2.36: Exemplo de impedimento do acesso temporariamente. Extraído de (7).

2.2.3.5.3 Deter peças

Se existe possibilidade de projeção de componentes das máquinas ou se estas emitem radiações, devem ser utilizados dispositivos de proteção mecânicos para evitar os riscos que pressupõem. Exemplos deste tipo de proteção: a janela no torno que protege de aparas e fragmentos e a cerca que detenha um braço robótico (ver imagem 2.37).

2.2.3.5.4 Povocar a paragem

Quando necessário, como por exemplo o aproximar de uma pessoa, uma função de segurança coloca a máquina no estado seguro. Para evitar problemas ao voltar a colocar a máquina em movimento, pode ser conveniente iniciar uma paragem de serviço antes da paragem de segurança (categoria de paragem 1). Neste caso, são necessárias funções de segurança adicionais para impedir um arranque

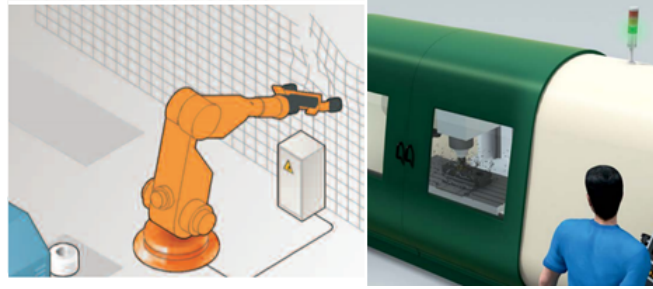


Figura 2.37: Exemplos de proteções para deter objetos. Extraído de (7).

intempestivo. Um exemplo é a interrupção dos feixes de uma barreira de luz de segurança (ver figura 2.38).

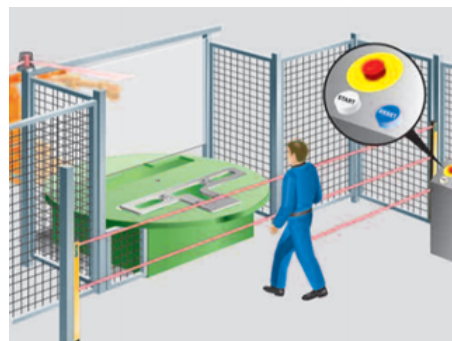


Figura 2.38: Exemplo de paragem provocada por operador. Extraído de (7).

2.2.3.5.5 Impedir a colocação em funcionamento

Depois de ativada uma função de segurança que “provoca a paragem”, é impedida a colocação em movimento enquanto houver pessoas na zona de perigo. Um exemplo é a deteção no campo de proteção ativo de um scanner laser de segurança (ver imagem 2.39). A paragem é provocada pelo campo de proteção da barreira de luz de segurança.).

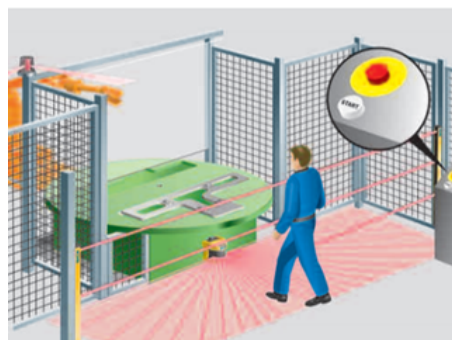


Figura 2.39: Exemplo de deteção no campo de proteção ativo de um scanner laser de segurança. Extraído de (7).

2.2.3.5.6 Provocar a paragem e impedir a colocação em movimento

Com o mesmo dispositivo de proteção que provoca a paragem, é impedida uma nova colocação em movimento enquanto houver pessoas ou partes do corpo na zona de perigo. Como exemplo tem-se a utilização de um scanner laser de segurança para delimitar a zona (ver figura 2.40).



Figura 2.40: Exemplo de invasão da zona perigosa. Extraído de (7).

2.2.3.5.7 Distinguir entre pessoas e objetos

Para transportar materiais para dentro e fora das zonas de perigo, são utilizadas características específicas dos materiais alimentados para distinguir de maneira automática entre pessoas e materiais. Quando se transportam materiais, o dispositivo de proteção não reage, mas sim, se detetar pessoas. Ver figura 2.41).

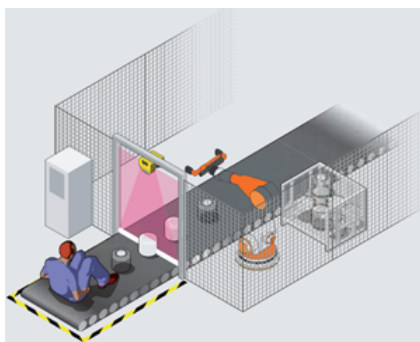


Figura 2.41: Sistema de visão para identificar produtos. Extraído de (7).

2.2.3.5.8 Controlar os parâmetros da máquina

Em algumas aplicações, é necessário controlar diversos parâmetros da máquina para que não excedam os limites de segurança. Uma vez ultrapassado um destes limites, são aplicadas as medidas apropriadas. Pode-se controlar velocidade, temperatura, pressão e posição (ver figura 2.42).

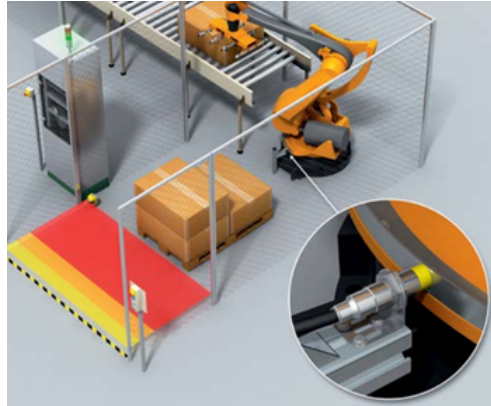


Figura 2.42: Sistema de aquisição de dados da máquina. Extraído de (7).

2.2.3.5.9 Desativar funções de segurança manual e temporário

Se são desativadas temporariamente funções de segurança para efetuar trabalhos de ajuste ou estudar o processo, devem ser aplicadas medidas adicionais de redução de riscos. A desativação deve ser efetuada manualmente. Um exemplo é o comando manual com dispositivo de validação e teclas +/- como se observa na figura 2.43).



Figura 2.43: Exemplo de atuador manual. Extraído de (7).

2.2.3.6 Dispositivos de proteção optoelectrónicos

Os dispositivos de proteção optoelectrónicos (figura 2.44) são um tipo de dispositivos em que um componente emissor projeta um feixe de luz que por sua vez é recebido pelo componente recetor, formando-se um feixe “contínuo” cuja interrupção é detetada pelo sistema. São exemplos de dispositivos de proteção optoelectrónicos os seguintes:

- Cortinas e barreiras de luz;
- Scanners;
- Câmaras.



Figura 2.44: Equipamentos optoeletrônicos da SICK. Extraído de (7).

Este tipo de dispositivo é geralmente empregue em situações que não existe perigo de projeção de peças e quando o operador tem que realizar operações na máquina que constituem situações de perigo, mas que fazem parte do ciclo produtivo. Utiliza-se em detrimento dos dispositivos de proteção mecânicos uma vez que se reduz o tempo de acesso à máquina e por se conseguir maior ergonomia do posto de trabalho. As funções de segurança de um dispositivo de proteção optoelectrónico são:

- Provocar a paragem;
- Evitar um arranque súbito;
- Impossibilitar a colocação em movimento;
- Distinguir entre pessoas e objetos;
- Controlar os parâmetros da máquina;
- Informar sobre o estado da segurança.

Abaixo são apresentadas situações onde o uso destes sensores é o mais indicado:

2.2.3.6.1 Detetar os dedos ou as mãos

Com as barreiras de luz (figura 2.45) consegue-se uma grande aproximação à zona de perigo. Este tipo de dispositivo de segurança apresenta grandes vantagens, pois permite que se reduza a distância de segurança a que o operário pode trabalhar, melhorando assim a ergonomia do equipamento.

2.2.3.6.2 Detetar uma pessoa quando entra na zona de perigo

Com o acesso protegido, é detetada a aproximação de uma pessoa pela deteção do seu corpo. Este tipo de proteção (figura 2.46) serve para proteger o acesso a uma zona de perigo e quando as barreiras são interrompidas gera-se um sinal de alarme.



Figura 2.45: Equipamento com barreiras optoeletrónicas. Extraído de (7).

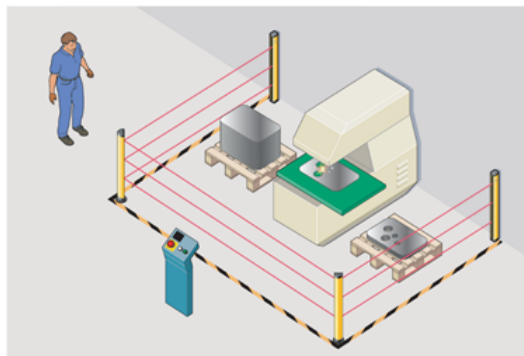


Figura 2.46: Vedação da área de trabalho. Extraído de (7).

2.2.3.6.3 Detetar a presença e aproximação de uma pessoa a uma zona de perigo

Com este tipo de deteção, é detetada a aproximação/presença de uma pessoa dentro de uma zona de perigo. Este tipo de dispositivo de segurança é adequado para as máquinas que não permitem ver uma zona de perigo desde a posição da botoneira de reset (figura 2.47).

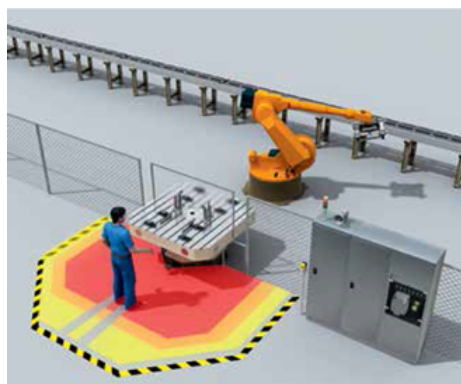


Figura 2.47: Exemplo da deteção da aproximação do operador. Extraído de (7).

Este tipo de proteção é também aplicado para AGV (*Automated guided Vehicle*) (figura 2.48), gruas e guias transportadoras, e tem como objetivo proteger o operário e terceiros durante o movimento efetuado por estes sistemas.



Figura 2.48: AGV - *Automated guided Vehicle*. Extraído de (7).

2.2.3.7 Seleção do dispositivo de segurança e montagem

Um aspeto fundamental na hora de seleccionar o dispositivo de segurança mas adequado é o espaço disponível. O procedimento de seleção do tamanho e posição do dispositivo de segurança está descrito no fluxograma na figura 2.49.

De seguida aborda-se o cálculo da distância de segurança apropriada.

2.2.3.7.1 Cálculo da distância de segurança

Depois de se seleccionar o dispositivo de segurança é necessário determinar a distância entre o campo de ação e a zona de perigo. O procedimento de cálculo é descrito pela norma EN ISO 13 885, onde se distingue três situações (ver figura 2.50).

Uma vez escolhido o dispositivo de segurança deve-se calcular a distância de segurança necessário entre o campo de proteção e a zona perigosa. Os seguintes parâmetros são tidos em conta:

- O tempo de paragem da máquina;
- O tempo de resposta do comando de segurança correspondente;
- O tempo de resposta do dispositivo de segurança.

Caso a distância mínima seja demasiado grande e inaceitável em termos ergonómicos, deve-se reduzir o tempo total de paragem da máquina ou seleccionar-se um dispositivo de segurança com maior resolução.

A distância de segurança é calculada pela seguinte fórmula:

$$S = (kxT) + C \quad (2.3)$$

Em que S é a distancia mínima [mm] entre a zona perigosa e o dispositivo de segurança; K é um parâmetro [mm/s] da velocidade de aproximação do corpo ou de partes do corpo; T é o tempo [s] do

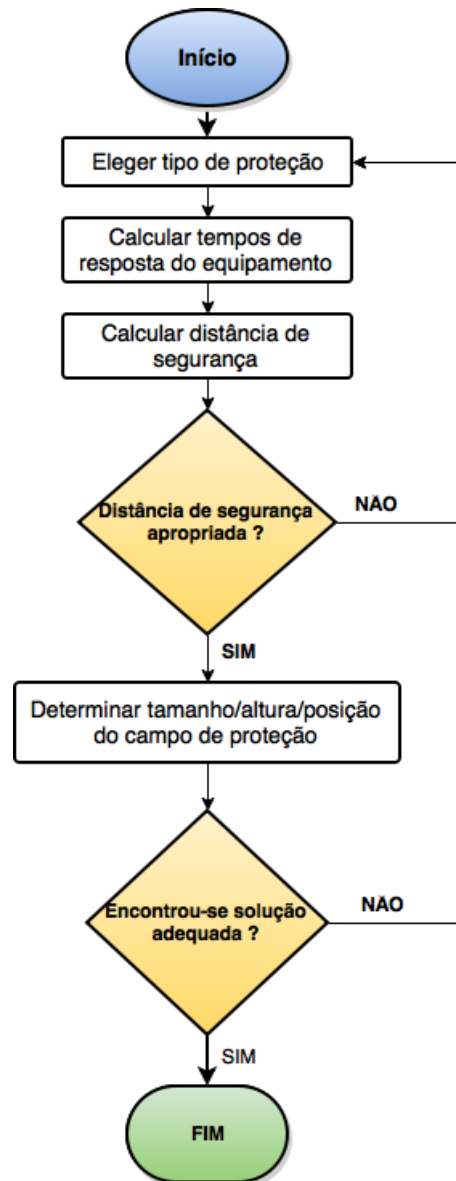


Figura 2.49: Fluxograma para a seleção do dispositivo de segurança. Adaptado de (7).

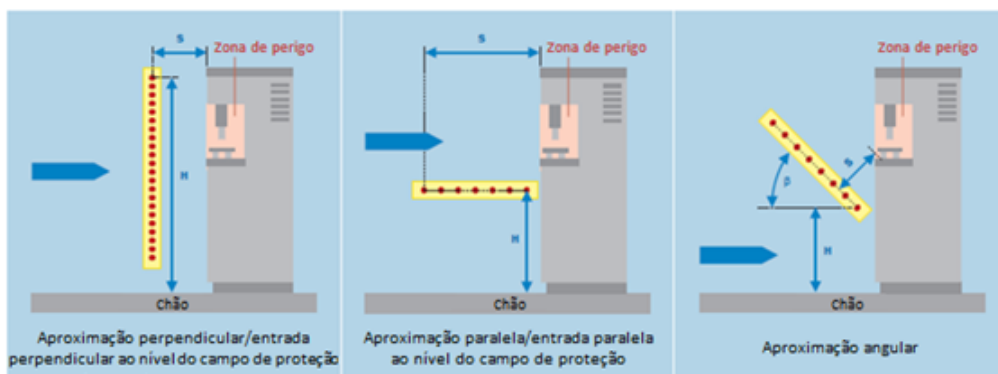


Figura 2.50: Tipos de aproximação à zona de perigo. Adaptado de (7).

movimento de inércia de todo o sistema; e C é a distância [mm] que é necessário penetrar na zona de perigo para que seja acionado o dispositivo de segurança.

2.2.3.7.2 Cálculo da altura do campo de proteção

Na montagem dos dispositivos de proteção existem considerações a ter, nomeadamente no acesso às zonas de perigo pois é necessário garantir que o operador não consiga contornar a zona de proteção definida pelo dispositivo de segurança. Desta forma, só deve ser possível aceder à zona de perigo pela zona de proteção, não sendo permitido o acesso por cima, pelos lados ou por baixo da zona de proteção (figura 2.51).

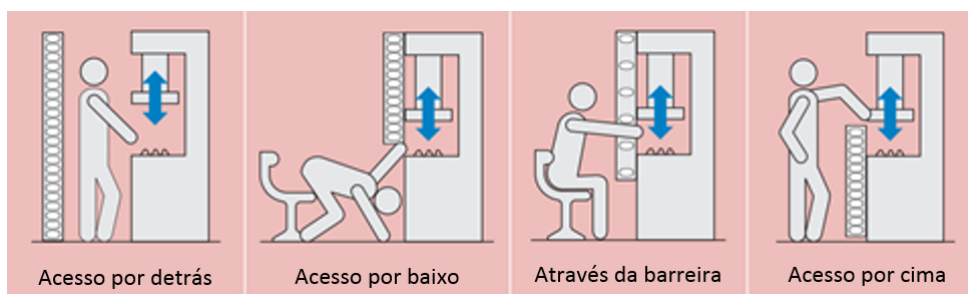


Figura 2.51: Exemplos de acessos a contornar a zona de proteção. Adaptado de (7).

Para calcular a altura necessária do campo de proteção, considera-se a nomenclatura da figura 2.52 bem como a tabela presente na figura 2.53 que relaciona a altura da zona de perigo (a) com a altura do bordo superior do campo de proteção (b) e com a distância horizontal (c) em relação à zona de perigo. Os valores da altura do campo de proteção da tabela na figura 2.53 estão conforme a norma ISO 13 855.



Figura 2.52: Nomenclatura adotada para o cálculo da altura do campo de proteção. Adaptado de (7).

Assim, o cálculo da altura do campo de proteção é obtido realizando os seguintes passos:

1. Determine a altura da zona perigosa (a) e encontre esse valor na coluna da esquerda;

Altura <i>a</i> da zona de perigo (mm)	Distância horizontal <i>c</i> em relação à zona de perigo (mm)												
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	0	0
2400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	0	0
2200	800	750	750	700	650	650	600	550	400	250	0	0	0
2000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	0	0	0	0
1800	1100	1100	950	950	850	800	750	550	0	0	0	0	0
1600	1150	1150	1100	1000	900	850	750	450	0	0	0	0	0
1400	1200	1200	1100	1000	900	850	650	0	0	0	0	0	0
1200	1200	1200	1100	1000	850	800	0	0	0	0	0	0	0
1000	1200	1150	1050	950	750	700	0	0	0	0	0	0	0
800	1150	1050	950	800	500	450	0	0	0	0	0	0	0
600	1050	950	750	550	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	900	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Altura resultante <i>b</i> do bordo superior do campo de protecção (mm)													
900	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600		

Figura 2.53: Tabela de seleção da altura do dispositivo de segurança. Adaptado de (7).

2. Pesquise nessa linha a primeira coluna na qual a distância horizontal (*c*) seja inferior à distância de segurança anteriormente calculada;
3. No fundo da tabela encontrar-se-á a altura resultante (*b*) do bordo superior do campo de proteção.

2.2.3.7.3 Determinação da resolução do dispositivo de segurança

Os dispositivos de proteção têm associado a si uma característica denominada resolução. A resolução do dispositivo de proteção entende-se como a distância entre os sucessivos feixes de luz que o constituem. Conforme o tipo de objeto ou tamanho do corpo que se pretende negar a penetração na zona de perigo a resolução mínima necessária que o dispositivo necessita de ter é diferente. Tendo como base o corpo, na tabela da figura 2.54 apresenta os valores de resolução.




Parte do Corpo		Abertura <i>e</i> (mm)	Distância de segurança (mm)		
			Ranhura	Quadrado	Círculo
Ponta do dedo		$e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2
		$4 < e \leq 6$	≥ 10	≥ 5	≥ 5
Do dedo ao pulso		$6 < e \leq 8$	≥ 20	≥ 15	≥ 5
		$8 < e \leq 10$	≥ 80	≥ 25	≥ 20
		$10 < e \leq 12$	≥ 100	≥ 80	≥ 80
		$12 < e \leq 20$	≥ 120	≥ 120	≥ 120
Do braço ao ombro		$20 < e \leq 30$	≥ 850	≥ 120	≥ 120
		$30 < e \leq 40$	≥ 850	≥ 200	≥ 120
		$40 < e \leq 120$	≥ 850	≥ 850	≥ 850

Figura 2.54: Tabela para determinação da resolução do dispositivo de segurança. Adaptado de (7).

2.2.3.8 Riscos Residuais

Após a avaliação dos riscos e redução dos mesmos recorrendo a dispositivos de segurança, todos os riscos que não sejam possíveis de eliminar devem ser identificados e comunicados aos operadores.

Pode-se comunicar das seguintes maneiras:

- Advertências no manual de instruções;
- Instruções de trabalho, requisitos de formação ou treino dos operadores;
- Pictogramas;
- Indicações do uso de equipamentos de proteção individual;
- Uso de sinalética adequada.

Na figura 2.55, encontra-se alguns exemplos de sinalética de segurança segundo a norma ISO 3864-1: 1984.



Figura 2.55: Exemplos de sinalética de segurança. Extraído de (7).

2.2.3.9 Comercialização

Antes da comercialização é necessário realizar uma validação geral que pode ser feita internamente ou recorrente a identidade externa. É considerado que foram reduzidos suficientemente os riscos se a resposta a cada uma das seguintes questões for afirmativa:

- Foram tidas em conta as condições de serviço em todas as fases da vida útil da máquina ?
- Foram eliminados os perigos, ou foram reduzidos tanto quanto possível os riscos que na prática pressupõem estes perigos?
- Foi garantido que as medidas aplicadas não comportam novos perigos?

- Os operadores foram advertidos sobre os riscos residuais?
- As medidas de proteção aplicadas são compatíveis?
- Foi reduzido adequadamente o risco?

Após a conformidade no processo de validação geral, pode ser emitida a declaração de conformidade e aplicada a marca CE (figura 2.56) na máquina enquanto se prepara a documentação técnica. Com a máquina deve ser anexado um manual de instruções na língua oficial do país e no país em que irá ser utilizada.



Figura 2.56: Marcação CE. Extraído de (7).

2.2.4 Ergonomia do posto de trabalho

A Ergonomia é a área científica que trata da compreensão da interação entre o ser humano e outros constituintes do sistema onde ele se encontra, aplicando teorias, princípios e métodos a projetos que visam otimizar o bem-estar humano e o desempenho dos sistemas (36). A ergonomia do posto de trabalho deve-se adequar ao corpo humano para permitir que o operador trabalhe facilmente, otimizando assim o trabalho realizado bem como o esforço feito pelo operador. Ao aplicar-se princípios ergonómicos aos equipamentos projetados espera-se que se obtenha um melhoramento das condições de trabalho, bem como uma melhor postura do operador contribuindo para um ganho em segurança, qualidade de trabalho e tempo. Os capítulos presentes de seguida corresponde a um resumo do conteúdo de (8) e (36).

De seguida aborda-se as regras fundamentais da ergonomia que cobrem os aspetos mais essenciais da norma EN ISO 6385. Estas regras abordam: altura do posto de trabalho, área de trabalho, zona alcançável, campo de visão e iluminação.

2.2.4.1 Altura do posto de Trabalho

Os postos de trabalho devem ter uma altura de trabalho que garante que se adequa a uma grande parte da população. Assim, o estudo da altura média das pessoas leva à altura ideal do posto de trabalho,

sendo esta obtida com base no alcance do corpo humano e com base na atividade a realizar. A altura da população mundial pode ser dividida em 4 categorias:

- **Grupo 1:** Mulheres pequenas (apenas 5 %);
- **Grupo 2:** Média da altura das mulheres e homens pequenos;
- **Grupo 3:** Mulheres altas e média da altura dos homens;
- **Grupo 4:** Homens altos (apenas 5 %).

Tabela 2.2: Altura do posto de trabalho dependendo do tipo de trabalho. Adaptado de (8)

Tipo de trabalho	Altura do posto de trabalho em mm			
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
<i>Elevadas necessidade de: Inspeção visual; Manuseamento cuidadoso.</i>	1100	1200	1250	1350
<i>Média necessidade de: Inspeção visual; Manuseamento cuidadoso.</i>	1000	1100	1150	1250
<i>Baixa necessidade de: Inspeção visual; Manuseamento cuidadoso.</i>	900	1000	1050	1150

Realizando-se a média das dimensões presentes na tabela 2.2 obtém-se a altura otimizada do posto de trabalho, ou seja, cerca de 1125 mm. Na figura 2.57, é possível observar melhor como este valor afeta os quatro grupos mencionados anteriormente.

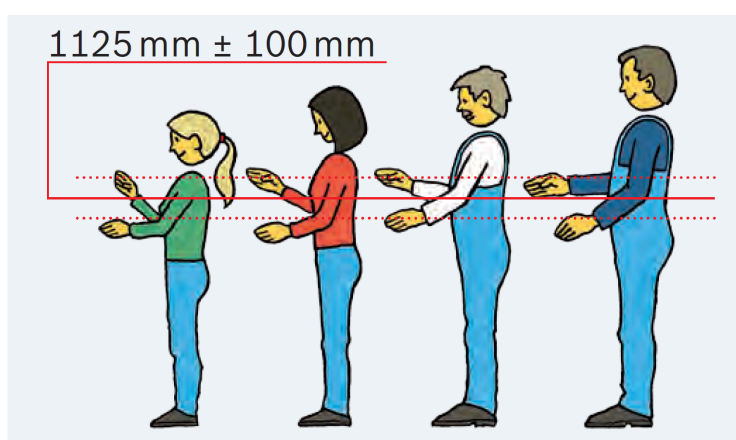


Figura 2.57: Indicação de que braço não deve trabalhar acima da altura do coração. Adaptado de (8).

2.2.4.2 Área de trabalho

De acordo com a norma a altura da área de trabalho deve estar sempre entre 800 e 1500 mm. Para além disso as seguintes regras devem-se cumprir:

- Evitar trabalhar acima do coração (acima de 1500 mm) (ver figura 2.58), pois a circulação sanguínea e a oxigenação dos músculos é reduzida o que provoca uma queda no rendimento de trabalho;
- Promover atividades dinâmicas, pois atividades monótonas inibe a circulação sanguínea leva a uma quebra de rendimento na tarefa a realizar;
- Variar o esforço físico, alternando a posição de trabalho bem como a rotação do posto de trabalho para aumentar rendimento e reduzir stress;

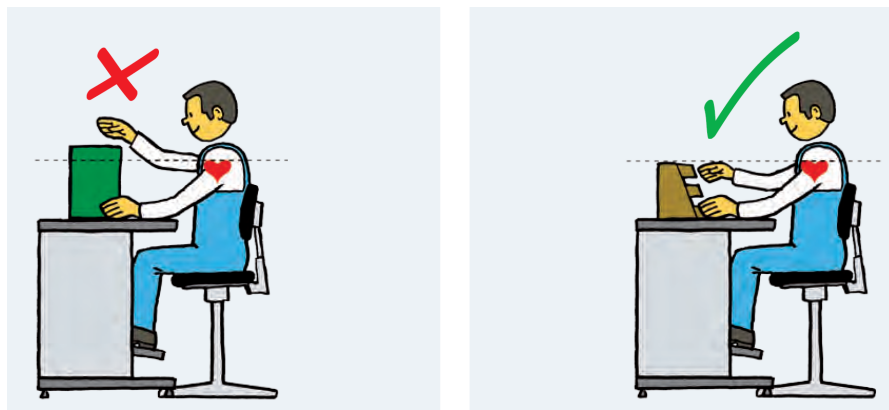


Figura 2.58: Altura do posto de trabalho com base nos valores da tabela 2.2. Adaptado de (8).

2.2.4.3 Zona alcançável

Todos os equipamentos, componentes que o operário necessita interagir devem estar facilmente acessíveis e localizados no alcance fisiológico do operário. Rotações torsionais e movimentos dos ombros deve ser evitados particularmente ao operar com pesos superiores a um quilograma. Na figura 2.59, está representado a zona alcançável bem como a caracterização de três áreas de trabalho distintas: área A,B e C.

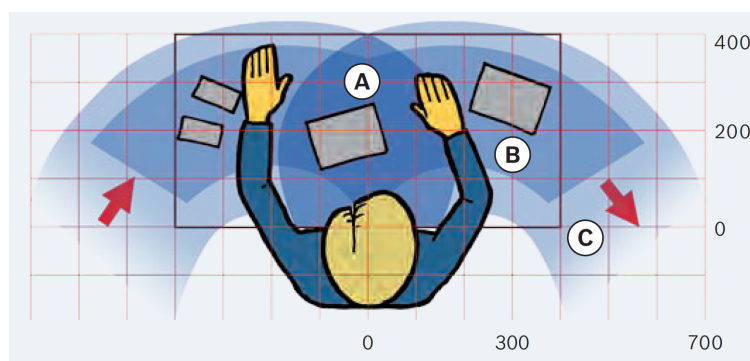


Figura 2.59: Zona de trabalho em função do tipo de tarefa realizado. Adaptado de (8).

A área A da figura 2.59 é ideal para trabalhos que é necessário usar as duas mãos, tem um excelente campo de visão, ideal para movimentos motores precisos sendo a área ideal para a realização de qualquer tarefa. Por questões de espaço, por vezes é necessário realizar tarefas na área B e C. Na área B pode-se realizar movimentos brutos, onde não é necessário precisão bem como o uso das duas mãos, podendo ser usada por exemplo para colocar a ferramenta de trabalho. A área C é uma área a evitar pois implica movimento torsional e de ombros, podendo ser usada apenas para fornecer material ao operador seguinte.

2.2.4.4 Campo de Visão

Outro aspeto fundamental a ter em conta no projeto de equipamentos é o campo de visão. O campo de visão do ser humano pode ser observado na figura 2.60, onde nas áreas a vermelho é possível identificar vários objetos simultaneamente sem mover os olhos ou cabeça e nas áreas a cinza tem-se o restante campo de visão, no qual se tem uma visão desfocada sendo necessários movimentos corporais para se focar.

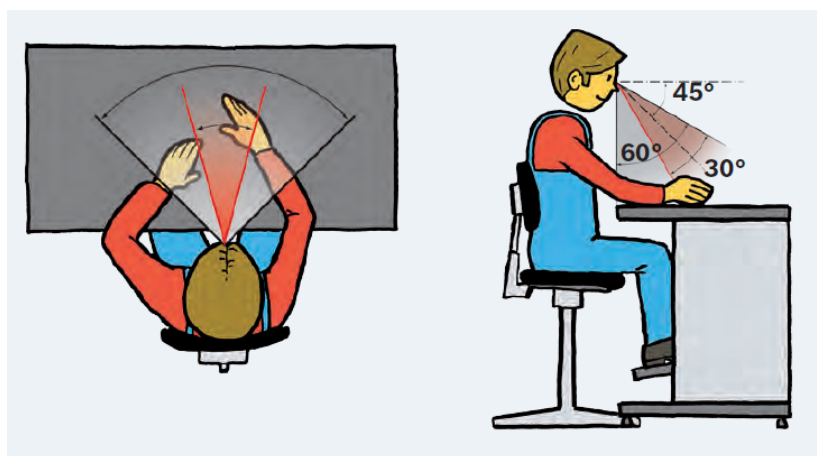


Figura 2.60: Ilustração com indicação do ângulo de visão de operador. Adaptado de (8).

Os movimentos contínuos de olhos e cabeça e constante focagem ocular provocam um aumento de fadiga do operário, logo estas situações são de evitar.

2.2.4.5 Iluminação do posto de trabalho

A quantidade correta de luz para a atividade a desenvolver no posto de trabalho é uma regra básica para uma melhor eficiência e qualidade do processo. Com a quantidade correta obtém-se uma redução de fadiga prematura, aumentos de concentração e reduz os riscos de erros. Deve-se evitar fortes contrastes e reflexões dos equipamentos. A DIN EN 12 464 define os valores de iluminância (é a medida do fluxo luminoso incidente por unidade de superfície) em Lux que podem ser consultados na tabela 2.3, dependendo da função realizada.

Tabela 2.3: Tabela com valores de iluminância recomendados para diferentes áreas de trabalho. Adaptado de (36).

Tipo de atividade	Valores médios de iluminância em Lux
<i>Trabalho de escritório</i>	500
<i>Trabalho de bancada</i>	700
<i>Trabalho com componentes de reduzida dimensão</i>	750
<i>Tarefas com dificuldade na indústria e laboratórios</i>	1000
<i>Controlo de qualidade</i>	>1000
<i>Trabalho minucioso</i>	1500
<i>Trabalho de precisão</i>	1500

2.3 Sistemas de visão

A visão consiste na habilidade de ver e reconhecer objetos através da quantidade de luz que esses objetos refletem. No olho humano, a retina que é uma superfície parabólica de tecido vivo, captura a luz e transforma essa energia luminosa em impulsos nervosos que são levados pelo nervo ótico para o cérebro, sendo aí interpretados. A visão artificial usa computadores e outros dispositivos eletrônicos para analisar imagens e reconhecer objetos através do processamento de imagem que consiste em alterar uma imagem de tal modo que possa ser analisada e proporcionar a tomada de decisão a partir da mesma (9). Assim um sistema de visão é um sistema a partir do qual decisões são tomadas após a captura da imagem e posterior processamento. Nos capítulos seguintes aborda-se com mais detalhe o conceito de imagem digital, processamento de imagem e técnicas utilizadas no processamento de imagem.

2.3.1 Imagem digital

Uma imagem digital é uma aproximação a uma imagem real representado sobre a forma de matriz, em que cada ponto da matriz denomina-se pixel (9). Os valores de cada pixel podem representar:

- Imagens em tons de cinzentos ou preto e branco;
- Imagens a cores - Vermelho, verde e azul (RGB).

Os pixels de uma imagem em tons de cinzento podem ter valores compreendidos entre 0 e 255, sendo 0 preto e 255 branco. Por forma a facilitar a programação, normalmente este intervalo encontra-se dividido entre 0 e 1, em que 0 é preto e 1 é branco. Os pixels de uma imagem a cores são constituídos por três valores que definem a cor de vermelho, verde e azul. De relembrar que uma imagem digital é sempre uma aproximação a uma imagem real, em que quanto melhor a resolução

da imagem melhor a aproximação. Na figura 2.61 está presente um exemplo da aproximação mencionada anteriormente.

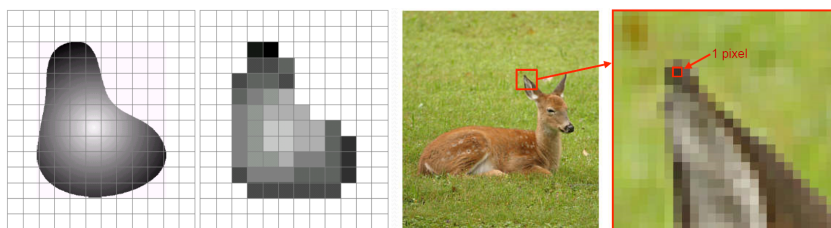


Figura 2.61: Imagem com identificação de um pixel. Adaptado de (9).

2.3.2 Processamento de imagem

O processamento de imagem consiste no melhoramento de imagens adquiridas para uma melhor interpretação humana, bem como um processamento dessa informação adquirida para assim ser possível se obter sistemas de processamento de imagem com os quais se tomam decisões (10). De modo geral, pode-se dividir em três categorias o processamento de imagem, nomeadamente: baixo nível, médio nível e alto nível. Na figura 2.62 está representado a evolução que existe nestas três categorias relativamente a entradas e saídas.

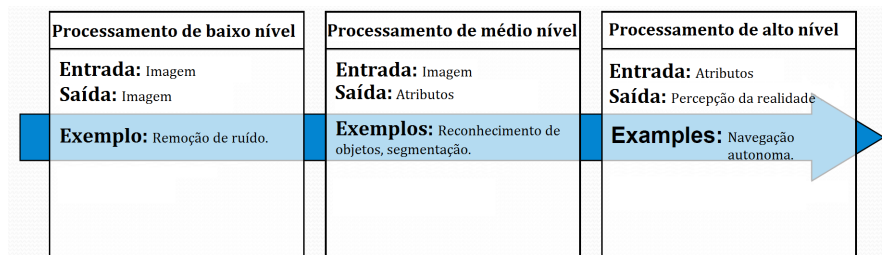


Figura 2.62: Identificação de diferentes níveis de processamento de imagem. Adaptado de (9).

Exemplos de processamento de baixo e médio nível estão presentes na figura 2.63, onde na figura à esquerda se realiza uma redução de ruído e na figura da direita a identificação das mãos e da face.

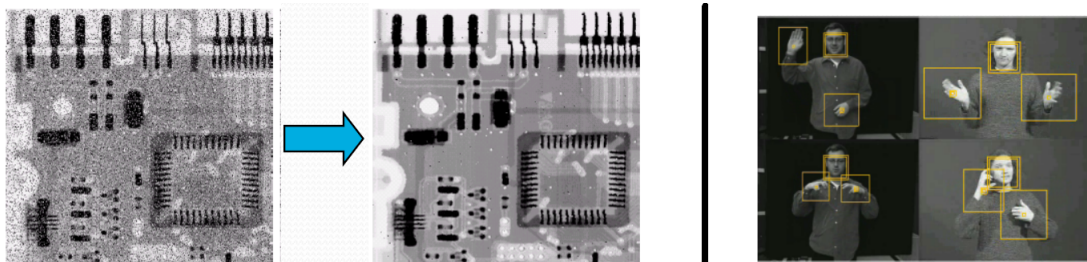


Figura 2.63: Exemplos de processamento de baixo e médio nível. Adaptado de (9).

Desde a imagem inicial até ao resultado final, aplicam-se técnicas desenvolvidas ao longo do

tempo nesta área do processamento de imagem. De modo a fundamentar este trabalho aborda-se de seguida técnicas utilizadas neste trabalho.

2.3.3 Técnicas utilizadas

Todos os sistemas de processamento de imagem após aquisição da imagem necessitam de realizar uma sucessão de operações com vista a obter o resultado pretendido. Estas operações variam conforme a finalidade do processamento de imagem, contudo, quase todos os algoritmos desenvolvidos contêm operações morfológicas bem como operações de segmentação de imagem. Operações de segmentação de imagem têm como objetivo dividir os pixéis de uma imagem em grupos que tenham uma forte correlação nessa imagem, sendo normalmente uma das operações iniciais de qualquer sistema de processamento de imagem. Existe diversas operações específicas relacionadas com operações de segmentação, sendo abordado neste trabalho posteriormente a operação *thresholding* e *edge detection*. Uma vez realizada operação de segmentação, operações morfológicas podem ser usadas para remover imperfeições na imagem segmentada e melhorar a forma e estrutura da imagem (10). De seguida, abordar-se-á a operação *Close* que é considerada uma operação morfológica.

2.3.3.1 Thresholding

O *Thresholding* é uma operação de segmentação que coloca uma imagem a preto e branco com base num valor de referência, ou seja, tendo uma imagem em tons de cinzento, os valores de cinzento abaixo da referência escolhida tomam o valor zero (preto) e os valores a cima tomam o valor um (branco) (10). Na equação seguinte está explícita a aplicação da operação *thresholding*.

$$g(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{se } f(x,y) > T \\ 0, & \text{se } f(x,y) \leq T \end{cases} \quad (2.4)$$

Na figura 2.64 à esquerda encontra-se imagem em tons de cinzento e à direita o resultado da aplicação de um *thresholding*.



Figura 2.64: Exemplos de aplicação de *Thresholding*. Extraído de (10).

2.3.3.2 *Edge detection*

A operação *Edge detection* é juntamente com o *thresholding* uma operação de segmentação. O objetivo desta operação é representar uma imagem apenas pelos limites dos objetos presentes na mesma. Na figura 2.65 está representado à esquerda a variação dos tons de cinzento numa fronteira e à direita o resultado após a aplicação da derivada de primeira ordem. Esta derivada de primeira ordem realça assim o limite existente. De realçar que operações de detecção de limites são muito sensíveis a ruído e por norma a reduzir sua influência operações morfológicas são previamente aplicadas (11). Por norma, imagens com muito detalhe não são propícias para aplicar esta operação.

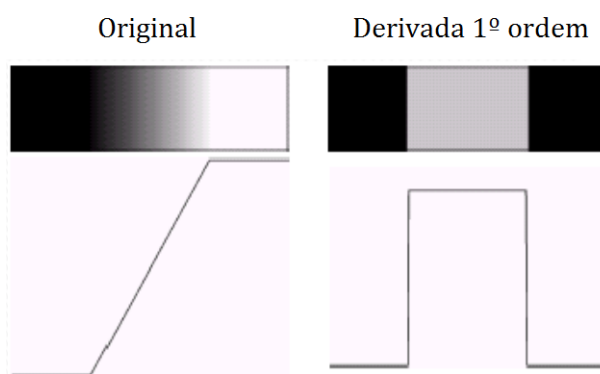


Figura 2.65: Representação de um limite de imagem e do resultado da derivada de primeira ordem nesse limite. Extraído de (11).

A aplicação desta operação é conseguida recorrendo a filtros que realizam a mesma função de uma derivada, contudo, existe diversos filtros sendo os mais conhecidos o de *Roberts*, *Prewitt*, *Sobel* e o *Laplacian*. Um filtro não é mais do que uma matriz de números que é aplicada a cada pixel originando um novo valor para esse pixel, em que esse novo valor depende do filtro aplicado e dos pixels em redor. Na figura 2.66, está representado a aplicação a uma imagem de um vaso sanguíneo uma operação de *Thresholding* seguido de uma *Edge detection* com filtro *Laplacian*.

2.3.3.3 *Erosion e dilation*

Segundo (12), o *erosion* e *dilation* são as operações básicas morfológicas aplicadas a imagens, e normalmente aplicam-se uma a seguir a outra. Quando é aplicado um *erosion* seguido de um *dilation* denomina-se uma operação de *opening* e o inverso uma operação de *closing*. A aplicação de um *erosion* ou *dilation* resulta da aplicação do respetivo filtro. Operações de *erosion* e *dilation* são fundamentais para remover ruídos de imagens bem como melhorar a perceção de uma imagem após segmentação. Um exemplo da aplicação de uma operação de *opening* (aplicação de filtro *erosion* seguido de filtro *dilation*) está representado na figura 2.67. Como se observa na figura, a aplicação

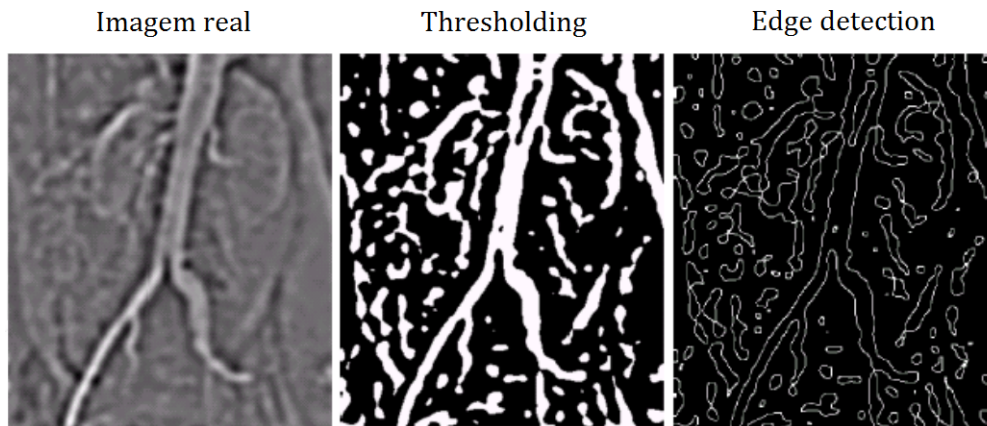


Figura 2.66: Exemplo da aplicação de um *thresholding* seguido de um *edge detection*. Adaptado de (10).

do *opening* reduziu o ruído presente na imagem após *thresholding* como também melhorou a nitidez das impressões digitais.

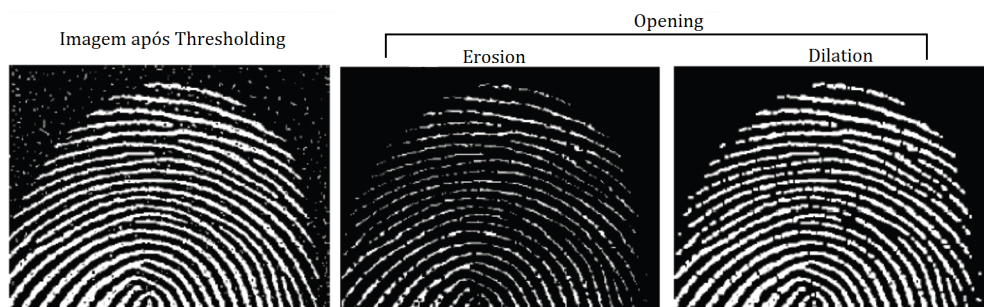


Figura 2.67: Exemplo da aplicação de um *erosion* seguido de um *dilation*. Adaptado de (12).

2.3.3.4 Hough

A transformada de *Hough* segundo (11), é usada principalmente para a detecção de retas, circunferências e elipses, mas pode ser estendida para qualquer outra curva parametrizável. Sendo conhecidos n pontos de uma imagem pretende-se determinar quais os conjuntos de pontos que podem pertencer a linhas retas e para tal recorre-se à transformada de *Hough*. Uma reta no plano imagem pode ser representada por duas equações paramétricas:

$$y = ax + b \quad \text{ou} \quad \rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (2.5)$$

Em que, a representa o declive da reta, b o ponto na origem, ρ a distância mais curta entre a origem e a reta e θ o ângulo que essa reta faz com eixo das abcissas. A transformada de *Hough* utiliza a segunda equação pois a cada ponto está associado uma curva sinusoidal. O cálculo realizado pela transformada não é neste trabalho descrito devido à sua complexidade. O resultado final contém

o valor de ρ e θ bem como os dois pontos da extremidade da reta. Na figura 2.68, está representado graficamente a reta bem como o significado de cada variável.

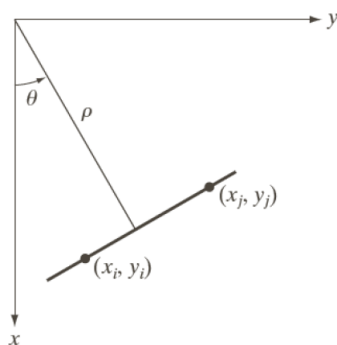


Figura 2.68: Representação da nomenclatura da reta. Adaptado de (11).

2.3.4 Conceitos de metrologia

A metrologia é a ciência da medição e inclui todos os aspectos teóricos e práticos da realização da medição (13). Segundo a *BIPM (International Bureau of Weights and Measures)* a metrologia é "a ciência da medição, englobando conteúdos experimentais e teóricos com qualquer nível de incerteza em qualquer ramo científico e tecnológico. " Como a aplicação de um Sistema de processamento de imagem tem fins metrológicos, abordar-se-á aqui alguns conceitos teóricos relacionados com metrologia.

2.3.4.1 Precisão vs Exatidão

Em metrologia o perfeito conhecimento da diferença existente entre precisão e exatidão é fundamental para o entendimento desta ciência. Assim, o conceito exatidão refere-se ao grau de concordância de uma medida com o seu valor alvo, ou seja, quanto mais próxima do valor verdadeiro correspondente mais exato é. O conceito precisão, em contrapartida, está relacionado com o grau de dispersão da medida quando obtida nas mesmas condições. Para melhor se entender a diferença existente, apresenta-se na figura 2.69 uma analogia ao tiro ao arco (13).



Figura 2.69: Analogia ao tiro ao arco para exemplificar precisão vs exatidão. Adaptado de (13).

2.3.4.2 Erros de medição

De modo a reduzir a incerteza de medição deve-se realizar cerca de 10 medições, contudo, a incerteza não é nula pois variações nas medições continuam a surgir (13). Estas variações acontecem devido a erros de medição que podem ter como causa as seguintes fontes de erro:

- Instrumento de medição – Instrumento pode não estar calibrado, sofrer de desgaste, flexão, bem como interferências exteriores no caso de instrumentos elétricos, entre outras causas;
- O processo de medição – o processo de medição nem sempre é fácil de realizar uma vez que por vezes é difícil conseguir a estabilidade do que se pretende medir;
- Capacidades do operador – duas pessoas não medem da mesma forma e devido a isto o operador é uma das principais fontes de erro;
- O Ambiente – Temperatura, humidade, pressão do ar entre outras características afetam diretamente o valor obtido na medição.

Assim como nenhuma medição é completamente exata, ou seja, o valor medido não é exatamente o valor teoricamente verdadeiro é necessário especificar a incerteza da medição.

2.3.4.3 Incerteza de medição

Os erros mencionados anteriormente são quantificados e associados à medição através da soma da incerteza. Por exemplo, a medição de um objeto com cerca de 20 milímetros de comprimento e incerteza de medição de 0.4 milímetros pode ser representado das seguintes maneiras:

- Incerteza absoluta – expressa nas unidades de medição (20mm ± 0.4mm);
- Incerteza relativa – incerteza expressa em percentagem (20mm ± 2 %).

Ao realizar-se sucessivas medições obtêm-se uma melhor ideia de qual o valor verdadeiro, bem como permite também calcular a incerteza associada (14). Se só erros aleatórios afetar a medição, demonstrou-se que para um número de medições elevado, a distribuição de valores assemelha-se a uma distribuição normal. Na figura 2.70 está representado uma distribuição normal, sendo μ a média e σ o desvio-padrão.

Segundo (14), o cálculo da incerteza é efetuado da seguinte forma:

$$\text{Incerteza} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (2.6)$$

$$\text{Medida} = \mu + \text{Incerteza} \quad (2.7)$$

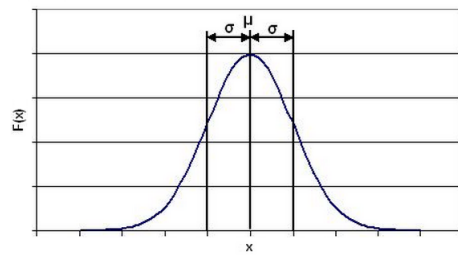


Figura 2.70: Representação gráfica de uma distribuição normal. Extraído de (14).

Capítulo 3

Estudo de mercado

Este capítulo incide sobre o estudo de mercado realizado para identificar o que é um sistema de doseamento e quais os seus constituintes, quais as configurações robóticas existentes no mercado bem como sistemas de fixação de produto existentes em outros equipamentos.

3.1 Sistemas de deposição de grease

Os sistemas de deposição (*dispensing systems*) de líquidos são equipamentos utilizados na indústria para depositar um material líquido em determinadas posições específicas de um produto (15). Estes sistemas são usados para depositar por exemplo: pasta térmica, colas, lubrificantes /*grease*, entre outros. Estes equipamentos permitem depositar uma quantidade precisa de material no local pretendido, tornando a sua gama de utilização bastante ampla. Na figura 3.1 e 3.2, é possível observar dois exemplos de dispensação de líquidos para dois casos particulares.



Figura 3.1: Exemplo da deposição de cola. Extraído de (15).

Um Sistema de dispensação é constituído maioritariamente constituído por uma válvula pneumática, um alimentador de *grease* e o sistema pneumático que faz o controlo da deposição (19). Para dispensar o material na posição exata, a válvula pode ser acoplada a mesa cartesiana ou robô. O alimentador de *grease* contém o recipiente com o material bem como um sistema que o coloca sobre pressão, sendo esse aumento de pressão conseguido manualmente recorrendo a alavanca ou através de um sistema automático. Na figura 3.3 à esquerda tem-se um exemplo de um alimentador manual



Figura 3.2: Exemplo da deposição de material viscoso para funcionar como vedante. Extraído de (16).

e à direita de um alimentador automático. Os alimentadores manuais são usados para situações em que se depositam pequenas quantidades de material e com pouca frequência o que leva a uma queda de pressão lenta. Os alimentadores automáticos são os mais comuns, pois permitem autonomia total do equipamento, tendo incluído sensor de aviso para quando material estiver a acabar. O material normalmente vêm em latas metálicas e os alimentadores dispõe de locais próprios para essas latas, estando na figura 3.3 um alimentador com capacidade para duas latas.



Figura 3.3: Na figura à esquerda está presente um alimentador manual e à direita um alimentador automático. Extraído de (17).

O controlo da deposição é efetuado pela válvula pneumática que faz a função de uma válvula (abrir e fechar) mas controlada pneumaticamente. Existe no mercado um grande número de válvulas variando entre si na gama de doseamento conseguido, bem como nas pressões de alimentação do material. Na extremidade de saída das válvulas é acoplado uma agulha, podendo ter diferentes dimensões dependendo da espessura do filme pretendido. Na figura 3.4, é possível observar uma válvula pneumática com a agulha acoplada na extremidade, bem como os diferentes tipos de agulhas existentes no mercado.



Figura 3.4: Na figura à esquerda está presente uma válvula de deposição e à direita um conjunto de diferentes tipos de agulhas. Extraído de (18).

O princípio de funcionamento dos sistemas de deposição é relativamente simples. A válvula pneumática é constituída por três entradas onde duas são do ar comprimido para realizar o controlo da deposição e a outra do material a depositar sob pressão (19). Na figura 3.5 é possível observar o esquema de uma válvula pneumática, onde se observa a entrada e saída do material a depositar bem como entrada do ar comprimido para realizar o controlo da deposição.

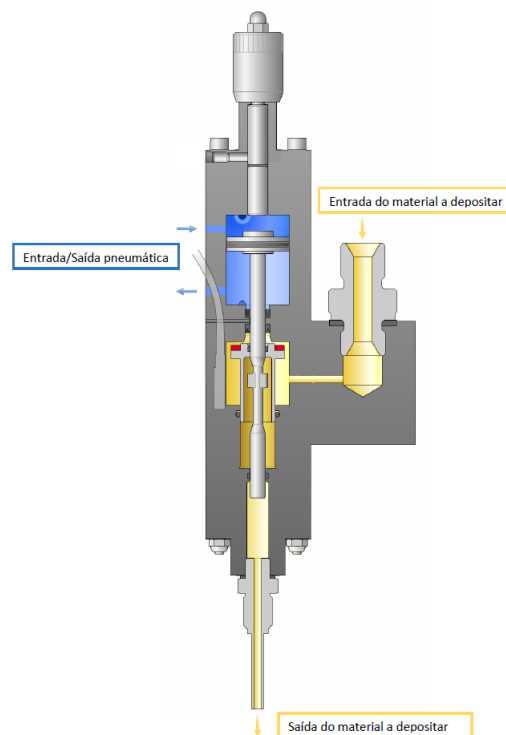


Figura 3.5: Válvula em corte com identificação das diferentes entradas e da saída. Adaptado de (19).

A abertura da válvula é conseguida através da existência de um chanfro no veio central que é

controlado pneumáticamente. Quando o ar entra pela entrada superior (ver figura 3.5) o veio desce e quando a vedação atinge o chanfro dá-se a passagem de material e a consequente deposição. Na figura 3.6 observa-se as duas situações (aberto/fechado) onde é possível identificar o chanfro mencionado anteriormente.

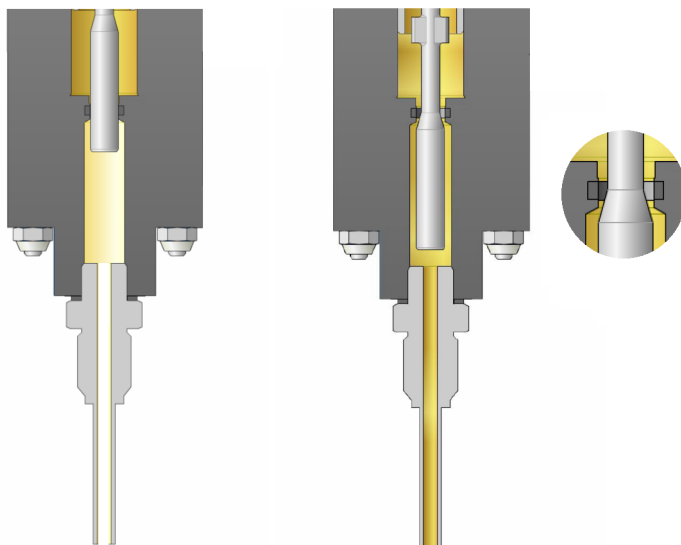


Figura 3.6: Na figura à esquerda encontra-se a situação de fechada e à direita a situação de abertura da válvula. Adaptado de (19).

Estes sistemas de deposição permitem depositar vários tipos de materiais, de diversas formas e espessuras (16). Na figura 3.7, encontra-se vários tipos de deposições possíveis, podendo-se ter deposição em forma de gota, por fio, fio interrompido, deposição bruta e tipo spray.



Figura 3.7: Exemplos de diferentes tipos de deposição, dependendo da configuração da cabeça de deposição. Extraído de (16).

3.2 Robôs de posicionamento

Os Sistemas de *dispensing* necessitam de um sistema de posicionamento para permitir a colocação de material em diferentes posições e orientações. Os sistemas de posicionamento podem ter diferentes

configurações geométricas como se observa na figura 3.8, podendo ser do tipo cartesianos, polares, cilíndricos, braço robótico ou *Scara* (20).

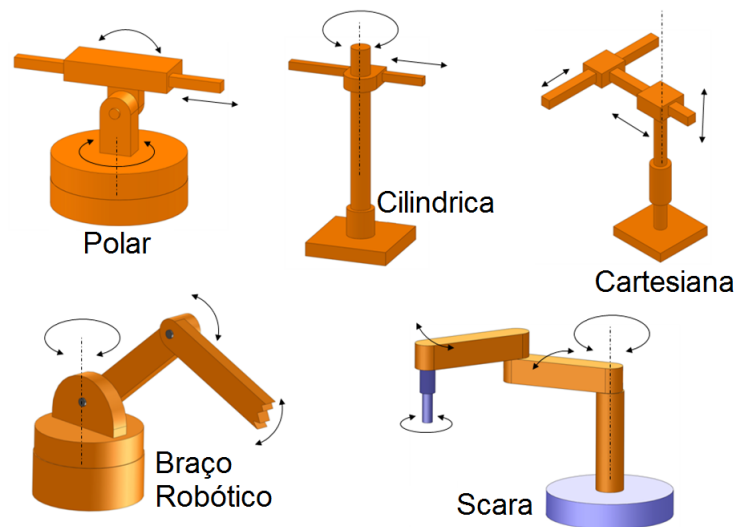


Figura 3.8: Diferentes configurações possíveis dos sistemas robóticos. Imagem adaptada de (20).

De seguida, aborda-se pontualmente as configurações cartesianas, *Scara* e braço robótico, identificando os graus de liberdade, bem como os equipamentos com esse tipo de configuração existentes no mercado.

3.2.1 Tipo cartesiano

A configuração cartesiana é a configuração mais comum usada em dispositivos de engenharia, pois é possível criar sistemas cartesianos com relativa facilidade (20). Um exemplo disso é as impressoras 3D de baixo custo, que tem configurações deste tipo. As grandes vantagens deste tipo de configuração são: ter movimento linear em três direções, ter um modelo cinemático simples, maior facilidade em criar estruturas rígidas (sistemas de medição por coordenadas usam este tipo de configuração devido à elevada rigidez conseguida), fácil visualização e previsão dos movimentos. Contudo, apresenta algumas desvantagens, nomeadamente: requer um volume de trabalho amplo, o volume de trabalho é menor que tamanho do robô, não consegue alcançar posições sob objetos e não é ideal para locais com pó devido aos carris dos eixos. Com este tipo de configurações é possível ter-se cerca de seis graus de liberdade, contudo, os graus de liberdade de modelos comercializados encontram-se entre três e quatro, pois são mais que suficientes para as aplicações a realizar por este tipo de configurações. No mercado existe uma vasta gama de produtos com este tipo de configuração para diferentes operações. Os parâmetros que os caracterizam são: velocidade de funcionamento, área de trabalho, carga suportada, tipo de controlo, entre outros. A dimensão destes equipamentos varia conforme os parâmetros de funcionamento, pois sistemas que suportam cargas maiores necessitam de ter grande envergadura,

como é o caso das gruas portuárias. Para a aplicação que se pretende neste trabalho, comercializa-se no mercado dois tipos de configurações, nomeadamente: Mesas cartesianas e sistemas cartesianos com eixos elétricos.

3.2.1.1 Eixos elétricos

Os sistemas cartesianos com eixos elétricos são sistemas constituídos por eixos elétricos que possuem geralmente três graus de liberdade, pois para cada eixo linear possui o respetivo eixo elétrico, contudo, é possível ter-se mais graus de liberdade dependendo da ferramenta acoplada ao eixo dos z. No mercado, existe uma grande diversidade de eixos elétricos, sendo que a sua escolha recai sobre parâmetros de funcionamento, como: ambiente de trabalho, tipo de movimento e especificações técnicas (curso, esforços suportados, velocidade, entre outros).

Relativamente ao ambiente de trabalho, existe modelos específicos para ambiente industrial denominado "normal", para área alimentar, para ambientes controlados (denominado "sala limpa") muito presente na indústria eletrónica, bem como eixos elétricos para ambientes agressivos para o seu funcionamento, como por exemplo ambientes com presença de água e poeiras.

Após a seleção da gama de modelos adequada ao ambiente de trabalho, o modelo ideal é o modelo que têm as especificações técnicas desejadas. Como especificações técnicas características dos eixos elétricos, tem-se a velocidade de funcionamento (que depende da carga a que está sujeito), o curso, os esforços que suporta quando acoplado na horizontal e na vertical bem como os momentos torsores, o tipo de *encoder* (pode ser incremental ou absoluto), o tipo de tensão de alimentação, comprimento do cabo, modelos específicos de precisão, entre outros parâmetros.

Segundo (20), o uso de eixos elétricos para criar sistemas cartesianos apresenta a grande vantagem de permitir criar um sistema com a área de trabalho desejada, bem como possibilitam a criação de sistemas com maior rigidez, suportando cargas mais pesadas. Contudo, para o seu controlo é necessário recorrer a controladores próprios para se conseguir sincronizar os diferentes eixos, sendo um custo acrescentado. A combinação de eixos permite criar sistemas cartesianos como o da figura 3.9, sendo constituído por três graus de liberdade.

3.2.1.2 Mesas cartesianas

As mesas cartesianas são compostas por três ou mais graus de liberdade, em que um deles é realizado pelo movimento relativo da mesa onde se coloca o objeto. Estas mesas apresentam uma área de trabalho definida para cada modelo, não sendo possível criar uma conforme as nossas necessidades. O atravancamento destes equipamentos é reduzido, sendo assim bastante compactas, contudo, sua rigidez é inferior à conseguida com sistemas constituídos por eixos elétricos o que limita os esforços



Figura 3.9: Exemplo de uma configuração com eixo elétrico. Extraído de (21).

suportados pelas mesmas (20). Uma vantagem é o controle integrado que possuem, sendo assim uma solução mais viável em relação a eixos cartesianos. Um exemplo de uma mesa cartesiana está presente na figura 3.10, onde é possível observar uma mesa cartesiana de três eixos (movimentos lineares segundo eixos do x , y e z).



Figura 3.10: Exemplo de uma configuração com mesa cartesiana. Extraído de (22).

3.2.2 Tipo Scara

A configuração *Scara* foi desenvolvido inicialmente em 1981 por um grupo japonês, apresentando-se desde logo como uma configuração útil para várias situações na indústria (20). Com este tipo de configuração mais semelhante ao braço humano, obtêm-se maiores velocidades de funcionamento em comparação com os sistemas cartesianos, pois é mais flexível sendo ideal para situações em que os movimentos horizontais são muito superiores aos verticais. Outra grande vantagem deste sistema é o seu atravancamento, pois é bastante reduzido comparado com o tipo cartesiano, sendo apenas

fixado no equipamento numa área relativamente pequena, contudo tem uma área de trabalho circular. A configuração *Scara* é composta por juntas rotacionais no plano xy enquanto o eixo linear contém um deslocamento linear. Na figura 3.11, é possível observar um robô do tipo *Scara* comercializado.



Figura 3.11: Exemplo de um robô do tipo *Scara*. Extraído de (21).

3.2.3 Tipo braço robótico

O braço robótico é a configuração típica que ocorre quando se pensa em robôs, pois, atualmente existe demonstrações de verdadeiras obras de arte conseguidas com estes equipamentos (20). Este tipo de configuração assemelha-se a um braço humano, permitindo substituir a função humana em diversas áreas, desde situações rotineiras até situações onde é requerida grande precisão e repetibilidade. Estes equipamentos têm flexibilidade máxima, pois a sua área de trabalho é uma esfera que o envolve cobrindo assim uma área elevada em relação à sua dimensão. Para além da sua grande precisão e velocidade de trabalho, os braços robóticos permite aceder a locais sob e sobre objetos. Porém, têm um custo elevado, pois para além do controlador exigido devido ao modelo cinemático complexo, necessita de ter bastante rigidez o que implica uma elevada qualidade de fabrico. Contudo, nas posições de alcance máximo a rigidez é reduzida. Na figura 3.12, está representado um braço robótico da *Staubli* com seis graus de liberdade.



Figura 3.12: Exemplo de um robô do tipo braço robótico da marca *Staubli*. Extraído de (23).

3.2.4 Comparação das configurações

Para facilitar a comparação das três configurações robóticas apresentadas anteriormente, nomeadamente, tipo cartesiano, *Scara* e braço robótico, analisa-se sob a forma de tabela (tabela 3.1) uma análise comparativa entre as diferentes configurações com uma avaliação relativa.

Tabela 3.1: Tabela com a comparação das diferentes configurações robóticas

Caraterísticas / Tipo de configuração	Cartesiano	Scara	Braço Robótico
<i>Geometria do volume de trabalho</i>	Paralelepípedo	Cilindro	Esfera
<i>Dimensão do volume de trabalho em relação ao avançamento</i>	Inferior	Superior	Muito superior
<i>Análise Cinemática/ Controlo</i>	Fácil	Difícil	Muito difícil
<i>Custo</i>	Não dispendioso	Ligeiramente dispendioso	Muito dispendioso
<i>Flexibilidade</i>	Baixa	Média	Elevada

Como se observa na tabela 3.1, a escolha do tipo de configuração deve ser efetuada inicialmente com base nos movimentos necessários a realizar pelo robô, pois é necessário selecionar uma configuração que seja capaz de o realizar. Posteriormente, após se ter uma configuração que garante os movimentos a realizar, a escolha recai com a análise das restantes caraterísticas de acordo com os interesses do projeto. Estes parâmetros podem ser por exemplo: o custo do equipamento e implementação, velocidade e flexibilidade do robô, facilidade de programação/configuração, dimensão, entre outros.

3.3 Sistemas de fixação de produto

Um sistema de fixação de produto é um sistema que é responsável pela fixação do produto para a realização de operações no mesmo. Assim, todos os equipamentos possuem sistemas que garantem a imobilidade do produto durante as operações a realizar sobre ele. Este tipo de sistemas diferem consoante o avançamento, forma e geometria do mesmo. Normalmente, estes sistemas dividem-se em duas partes, em que uma é a base onde se coloca o produto (denominada por “JIG”) e a outra é o sistema que o imobiliza nessa posição. Para garantir que o produto encaixa, estes sistemas podem possuir o negativo do produto ou possuir sistemas de aperto por entalamento, como é o caso do torno mecânico.

O desenvolvimento de um sistema de fixação deve assegurar sempre que:

- O produto fique imobilizado;
- Fácil colocação e extração do mesmo;
- Garantir que só existe uma maneira de colocação, ou seja, ser à prova de erros (Poka-Yoke);
- Garantir que fica sempre na mesma posição;
- Facilitar o acesso ao produto para a operação a realizar;
- Entre outros.

Sistemas de fixação de produto estão representados na figura 3.13, onde na figura à esquerda se encontra o sistema de fixação de um torno mecânico que fixa o produto por entalamento, na figura à direita encontra-se a fixação de um PCB.

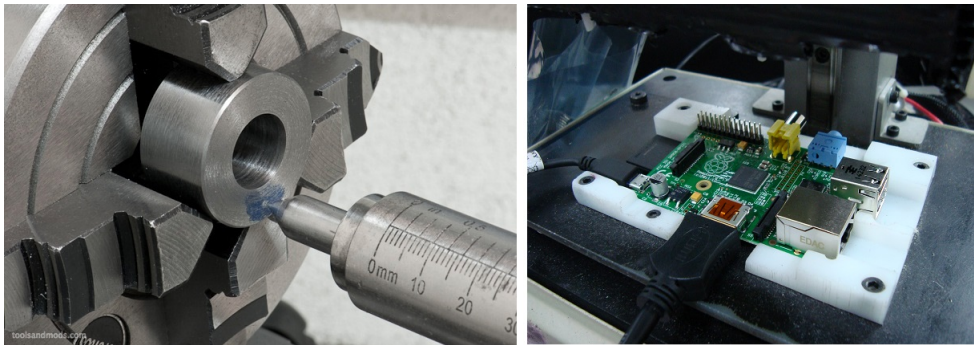


Figura 3.13: Exemplo de dois sistemas de fixação do produto distintos (à esquerda fixação de um torno mecânico e à direita fixação de um PCB. Extraído de (24) e (25).

De seguida, aborda-se sistemas existentes no mercado para colocação do produto, sistemas de bloqueio, sistemas móveis de colocação e deteção do produto.

3.3.1 Colocação do produto

Como se viu anteriormente, existe diferentes tipos de sistema de fixação e posicionamento de produtos, contudo, todos asseguram que o produto fica colocado sempre na mesma posição, para se conseguir assim obter uma repetibilidade na operação a realizar sobre ele. A fácil colocação do produto é conseguida aplicando princípios similares aos usados no projeto para a montagem (*DFA*) abordados no capítulo 2.2.2.2, pois, a colocação de um produto no *JIG* (base onde produto é fixado) deve ser facilitada para o operador, da mesma maneira que a montagem de um equipamento também o deva ser para quem o montar. Normalmente, a facilidade de colocação é conseguida com o uso de chanfros no *JIG* para o guiamento do produto, pois com esses chanfros possíveis erros de aproximação são corrigidos. Existe situações em que se utiliza pinos para realizar o guiamento. Contudo, a fácil

colocação não se resume exclusivamente à colocação em si do produto mas também à facilidade que o operador tem em constatar qual a posição de colocação, pois, sistemas de fixação e posicionamento muito elaborados e confusos provocam a hesitação do operador. Outro facto importante é o *JIG* ser à prova de erros de colocação, ou seja, só ser possível colocar o produto numa determinada posição. Como foi abordado no capítulo 2.2.2.2.3, o *JIG* deve ser *Poka-Yoke*. Os componentes assimétricos são os mais fáceis de aplicar o *Poka-yoke*, contudo, por vezes é necessário remover certos volumes ou criar novos no *JIG* para evitar que o produto encaixe ao contrário. Os componentes com simetria em pelo menos um plano necessitam de uma maior atenção, pois essa simetria possibilita que se coloca com orientações diferentes. Relativamente ao retirar o produto do *JIG*, é necessário ter em atenção de como se irá realizar essa tarefa. Caso seja manual, é necessário garantir que o operador consegue pegar no produto pela orientação mais cómoda, sendo por vezes necessário criar “rasgos” para que o operador consiga colocar os dedos. Para sistemas automáticos, como por exemplo sistemas robotizados com ferramenta constituída por ventosas de vácuo, é necessário assegurar que existe o espaço necessário para se aceder ao produto.

3.3.2 Fixação do produto

O sistema de fixação do produto para além de conter um *JIG* que garante o posicionamento do produto, é necessário na maioria das situações garantir que o produto não sairá da posição quando sujeito a uma ação de fabrico. Situações como por exemplo gravação laser, deposição de materiais como a pintura não necessitam que o produto esteja fixo, pois não aplicam nenhuma força ao produto, contudo, situações em que é exercida carga no produto é necessário o fixar. Os sistemas de fixação, podem ser manuais ou automáticos, sendo que os automáticos recorrem na maioria dos casos a soluções pneumáticas (26). Na figura 3.14, encontra-se um grampo manual usado para bloquear a movimentação do produto, sendo usado maioritariamente para situações em que o nível de automação do equipamento é reduzido.



Figura 3.14: Exemplo de sistema de fixação manual comercializado pela Destaco. Extraído de (26).

Na maioria das situações industriais, os equipamentos contêm circuito pneumático e o por tal

usam soluções que recorrem a cilindros pneumáticos para bloquear o produto. Na extremidade da haste do cilindro é colocado um componente fabricado que fica em contacto com o produto. Na figura 3.15, tem-se um exemplo prático de um gabari de soldadura de uma bicicleta que recorre a um sistema pneumático para bloquear os tubos na respetiva posição.

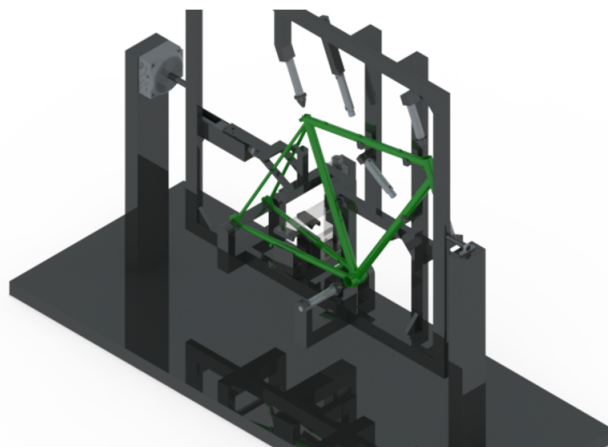


Figura 3.15: Exemplo de sistema de fixação semi-automático.

Os sistemas de fixação que recorrem a sistemas pneumáticos possibilitam uma grande variedade de configurações possíveis para a fixação do produto, pois existe diversos tipos de cilindros pneumáticos.

3.3.3 Detecção do produto

Deve-se garantir a presença do produto no *JIG* após este ter sido posicionado bem como que se encontra na posição correta, e a sua ausência quando este é retirado. Para tal, os equipamentos dispõem de sensores para detetar a presença do produto. Para eliminar possíveis erros ou problemas de colocação, os sensores só devem ficar ativos (detetar produto), quando ele se encontra na posição correta no *JIG*, e não apenas a sua presença, pois pode estar mal colocado o produto e o equipamento vai detetar a sua presença e inicia o ciclo de fabrico na mesma. Porém, garantir que o sensor só deteta na posição correta nem sempre é possível, sendo que nestas situações o início do ciclo de fabrico não pode ser dado pelos sensores mas sim pelo operador que assegura que está colocado na posição correta. Dentro de uma vasta gama de sensores comercializados atualmente, em geral, para deteção de posição eles podem ser do tipo indutivo, capacitivo ou fotoelétrico. Segundo (27) tem-se:

- **Sensores indutivos:** usados para a deteção de materiais metálicos sem contacto. São insensíveis ao pó, vibrações e corrosão. Ver figura 3.16.
- **Sensores capacitivos:** Sensores capacitivos: usados para a deteção de qualquer objeto sem



Figura 3.16: Exemplo de sensores indutivos. Extraído de (27).

contacto. São particularmente utilizados para deteção de materiais poliméricos, madeiras, etc. Ver figura 3.17.



Figura 3.17: Exemplo de sensores capacitivos. Extraído de (27).

- **Sensores fotoelétricos:** usados para a deteção de quase qualquer tipo de materiais, por reflexão de um feixe de luz que é emitido pelo sensor. Este tipo de sensores destaca-se dos restantes pelo maior alcance de deteção. Ver figura 3.18.



Figura 3.18: Exemplo de sensores fotoelétricos. Extraído de (27).

Como se referiu anteriormente, estes são os principais tipos de sensores para deteção de posição, contudo existe variante que podem realizar mesma função como os sensores magnéticos, ultrassons e sistemas de visão.

3.3.4 Sistemas móveis de fixação de produto

Os equipamentos de fabrico projetados hoje em dia dispõem de uma grande flexibilidade relativamente à função que desempenham, pois permitem trabalhar com mais do que um produto no mesmo equipamento, bastando alguns minutos para fazer a substituição da ferramenta, do *JIG* e seleccionar o programa correspondente ao novo produto. Para se conseguir esse tipo de flexibilidade é necessário criar conjuntos amovíveis de fácil substituição. Esta necessidade provém da vasta gama de produtos semelhantes que atualmente existe, o que existe uma maior flexibilidade à linha de produção para se readaptar a um novo produto. Para se conseguir esta flexibilidade, os sistemas de fixação de produto são acoplados a um sistema base fixo ao equipamento. Assim, consegue-se uma substituição simples do sistema de fixação de produto pelo o do novo produto. Contudo, como se abordou anteriormente, estes sistemas possuem sistemas de fixação que recorrem a sistemas pneumáticos bem como a sensores de deteção do produto, que necessitam de ser desacoplados do sistema base. Para se conseguir um desacoplamento fácil, usa-se fichas de multi-conexão que são constituídas por pequenos acessórios escolhidos de conexões elétricas e pneumáticas. Um exemplo de uma ficha desse tipo está representado na figura 3.19, da marca *Harting* e da série modular. Na figura 3.19 do lado esquerdo a conexão encontra-se no modo fechado, e no lado direito pode-se ver a grande variação nos diferentes tipos de conexões.



Figura 3.19: Multi-conexão *Harting*. Extraído de (28).

Assim, com este tipo de conexões é possível realizar a troca de sistemas de fixação de produto mais rapidamente, comodamente e garantindo a fiabilidade do mesmo. De realçar que a configuração da conexão necessita de ser igual para todos os sistemas de fixação, logo se num necessita de quatro ligações pneumáticas e outro só duas, todas as conexões terão quatro.

3.4 Sistemas de visão

Os sistemas de visão estão cada vez mais presentes em equipamentos pois permitem realizar um controlo de qualidade logo após operação, permitindo verificar por exemplo se ferramenta é a correta, analisar estado do produto antes de entrar na máquina, entre outros. Os sistemas de visão são normalmente constituídos por uma câmara, uma unidade de processamento, um algoritmo para realizar o processamento de imagem e a comunicação do resultado da análise através de I/O (*Input/Output*). Esta comunicação pode ser por exemplo a atribuição de valores a variáveis, a indicação de anomalia ou ordem de rejeição, entre outros. A implementação dos sistemas de visão em equipamentos industriais mudou radicalmente ao longo da última década após o início da comercialização das *smart cameras*. As *smart cameras* são câmaras que possuem internamente uma unidade de processamento (CPU) bem como um software próprio para realizar a programação. Com estes softwares, a aplicação de algoritmos de análise de imagem é facilitada pois estes possuem funções pré-programadas, que facilitam a aplicação destes equipamentos pois o programador não necessita de possuir conhecimentos sobre análise de imagem. Para além disto, as *smart cameras* possuem interfaces de comunicação (I/O) (portas *Ethernet*, USB, entre outras) que permitem a comunicação com autómatos e computadores. Neste capítulo abordar-se diferentes configurações de aplicação de sistemas de visão, uma análise aos constituintes destes sistemas e posteriormente exemplo de casos práticos.

3.4.1 Configurações

De modo geral, pode-se aplicar duas configurações aquando da aplicação de um sistema de processamento de imagem, em que uma hipótese recorre à aplicação de *smartcameras* e a outra recorre a câmaras básicas e a uma unidade de processamento em separado. A aplicação de uma ou de outra é muito relativa, pois depende do fim para que se pretende, dos conhecimentos da equipa de trabalho, da fiabilidade, entre outros. De seguida, aborda-se mais cuidadosamente cada uma das soluções.

3.4.1.1 Câmaras com processamento interno (*SmartCameras*)

Como se mencionou anteriormente, *smartcameras* são câmaras que contêm internamente uma unidade de processamento e possuem um *software* próprio para a programação da análise de imagem. Na figura 3.20 está representado diferentes modelos de uma *smartcamera*.

A aplicação de *smartcameras* apresenta várias vantagens pois elas facilitam de certo modo a aplicação de sistemas de visão pois o facto de possuírem internamente um processador, terem *software* iterativo de programação e I/O para comunicar com outros componentes de uma máquina industrial tornam a sua aplicação desejável. Na figura 3.21 tem-se um exemplo de um equipamento da



Figura 3.20: Vários modelos de *smartcameras* existentes no mercado. Extraído de (29).

National Instruments onde é possível identificar os I/O que a *smartcamera* possui, nomeadamente: duas portas *ethernet* e uma entrada VGA. O software fornecido juntamente com o equipamento é intuitivo e recorre a operações lógicas para definir a decisão a tomar, não sendo assim necessários grandes conhecimentos de programação e análise de imagem para se programar um equipamento deste género.



Figura 3.21: Exemplo de *smartcamera* da *National Instruments* na figura à esquerda, e na figura da direita o software de programação da mesma existentes no mercado. Extraído de (30).

Por outro lado, apresentam uma construção robusta, compacta e a maioria já inclui a lente de focagem. Para além disto, todos as marcas que comercializam estes produtos disponibilizam um serviço de assistência técnica para auxiliar o programador com alguma dificuldade. Contudo, o principal revés da aplicação destes equipamentos está relacionado com o preço de aquisição, pois ainda são bastante dispendiosos.

3.4.1.2 Câmaras com processamento externo

Uma alternativa ao uso de *smartcameras* é o uso de câmaras normais que são posteriormente conectadas a computadores ou unidades de processamento para realizarem a análise de imagem. Antes da criação de *smartcameras*, todos os equipamentos com sistemas de visão recorriam a este tipo de configuração, contudo hoje em dia esta configuração é utilizada em menor escala. Na figura 3.22,

está representado um esquema da sequência de funcionamento de uma configuração deste tipo.

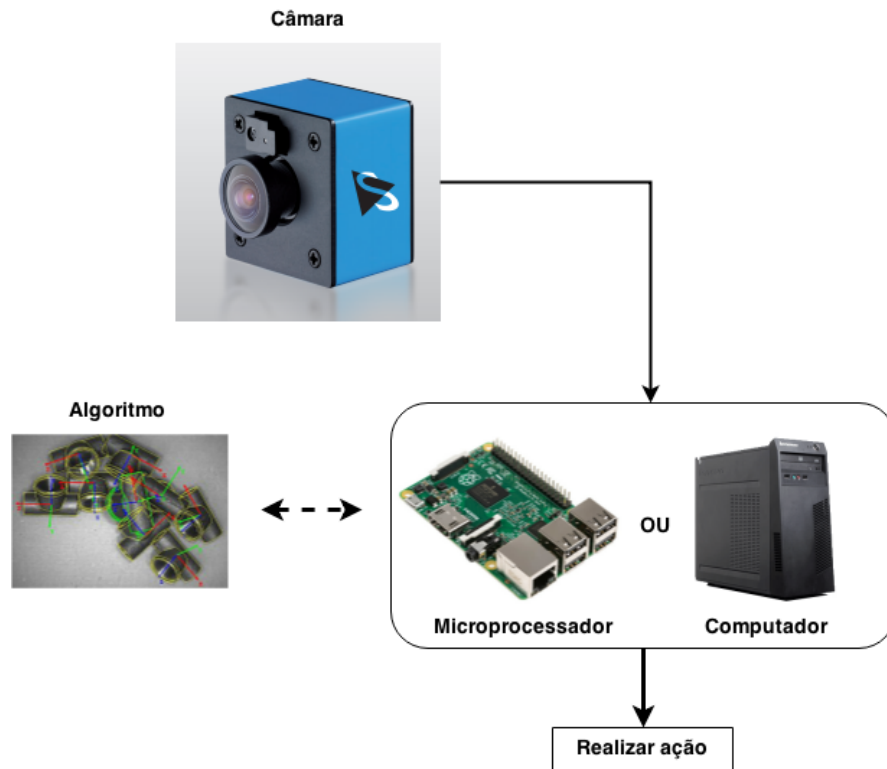


Figura 3.22: Diagrama de sequência de operações realizadas por um sistema de visão com esta configuração.

As vantagens deste tipo de configurações são o baixo custo e a versatilidade do processamento de imagem possível de realizar. O baixo custo resume-se ao facto de as câmaras sem processamento interno serem muito mais baratas bem como as unidades de processamento. Contudo, apresenta algumas desvantagens como o maior número de componentes, necessidade de mão-de-obra específica para programar software de análise de imagem, menor fiabilidade pois é um sistema menos robusto, entre outras. No mercado existe câmaras que se adequam para estas aplicações, pois apesar de serem variâncias de *smartcameras*, apresentam menos funcionalidades internas que modelos mais completos e apresentam compatibilidade com grande variedade de software nos quais se incluem *Labview*, *Matlab*, *Halcon*, entre outros e apresentam um custo inferior às *smartcameras*.

3.4.2 Exemplo de caso prático

Na figura 3.23, está presente dois exemplos de casos práticos da aplicação de sistemas de análise de imagem para a inspeção de produtos. Na figura da esquerda estão presentes duas *smartcameras* bem como dois iluminadores anelares, enquanto à direita se encontra uma câmara a focar um circuito impresso (PCB).

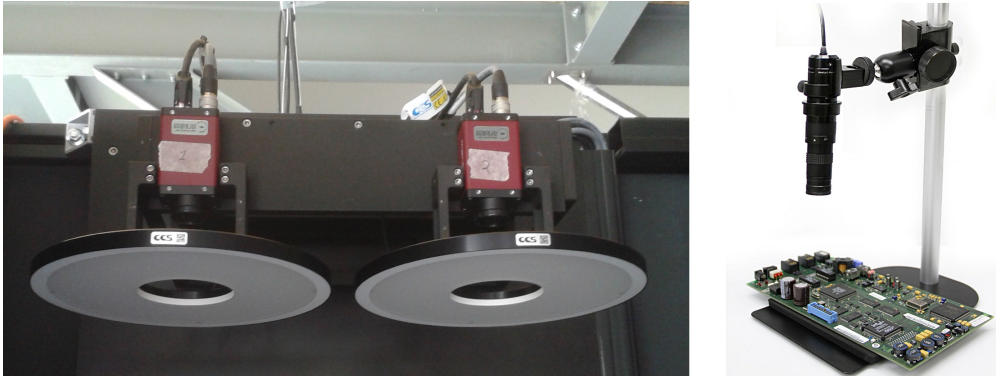


Figura 3.23: Dois exemplo práticos do uso de sistemas de visão na indústria para inspecionar o produto. Figura da direita extraída de (31).

Capítulo 4

Projeto conceptual

Como foi abordado anteriormente, o projeto conceptual consiste na etapa do projeto onde são estabelecidos os objetivos, funções e especificações do equipamento e com base nestes inicia-se a criação de possíveis soluções. Antes de se entrar nesta etapa, inicialmente, após contacto do cliente foi necessário desenvolver um conceito e um orçamento de um equipamento que fosse de acordo ao definido pelo cliente no caderno de encargos. Assim, neste capítulo aborda-se inicialmente o que é pretendido pelo cliente e a proposta que originou a adjudicação do projeto. De seguida, entra-se no projeto conceptual propriamente dito do equipamento, em que se aborda as especificações e árvore de funções do produto, se desenvolve soluções para as principais funções, bem como uma avaliação final das mesmas.

4.1 Descrição do equipamento pretendido

Uma empresa portuguesa da área de polímeros que trabalha para a indústria automóvel necessita de um equipamento que deposite com precisão *grease* (massa lubrificante) nas nervuras de um componente plástico. Estas nervuras servem de guiamento para o componente plástico que nela encaixa e o *grease* tem a função de facilitar o encaixe bem como garantir a separação física dos componentes durante o seu funcionamento. Com esta deposição anula-se a existência da folga que por sua vez anula a existência de ruído no funcionamento do equipamento. O equipamento pretendido é um sistema semi-automático de aplicação de *grease* que é constituído por um robô ao qual está acoplado uma válvula de deposição que deposita o material (no capítulo 3.1 aborda-se com maior detalhe estes equipamentos). Devido ao produto em questão ainda não se comercializar, a ITEC teve de garantir confidencialidade relativamente ao produto e por essa razão em nenhum local desta dissertação se encontrará o produto para o qual se projetou o equipamento, mas sim uma aproximação ao real. O objetivo deste equipamento é como foi referido anteriormente, depositar *grease* nas nervuras de um produto, contudo, deve depositar de ambos os lados da nervura conforme se observa na figura 4.1.

Na figura 4.2, estão os locais onde é necessário depositar, sendo o produto apresentado na figura uma aproximação ao real. Esta informação e outras mais estão presentes no caderno de encargos fornecido pelo cliente sendo abordados nos capítulos posteriores.

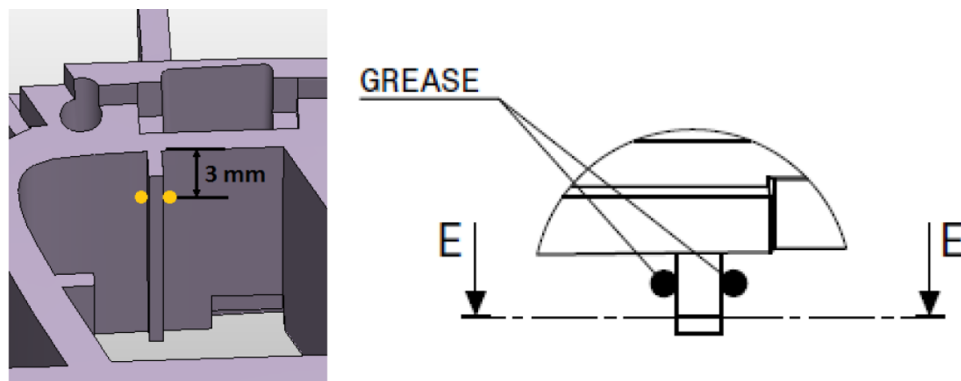


Figura 4.1: Identificação dos locais a depositar *grease*.

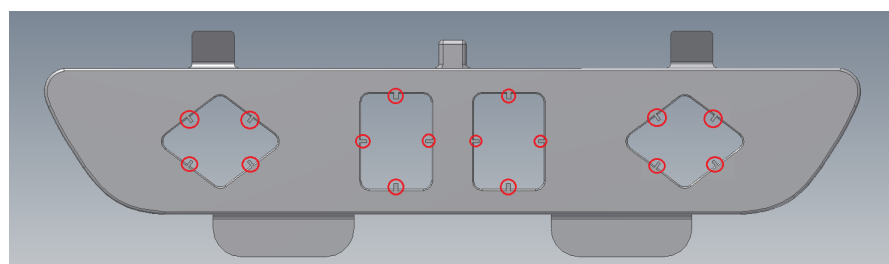


Figura 4.2: Identificação dos locais de deposição no produto aproximado.

4.2 Adjudicação do projeto

A solução inicialmente apresentada ao cliente, consiste num equipamento de deposição de *grease* constituído por uma mesa cartesiana, no qual ao porta-ferramentas (constituente do equipamento que está acoplado ao eixo do robô) se acopla uma ferramenta com duas válvulas de deposição em forma de “V” para garantir a deposição em ambos os lados da nervura. A mesa cartesiana possui 4 graus de liberdade, sendo três os movimentos de translação nos eixos x, y, z e um eixo de rotação segundo o eixo z. De modo geral, a solução apresentada contém os seguintes equipamentos:

- Uma mesa cartesiana de 4 eixos;
- Duas válvulas de deposição;
- Um alimentador de *grease*;
- Um porta ferramentas e porta peças;

- Quadro elétrico e autômato;
- Estrutura de acondicionamento e proteção em perfil de alumínio 45x45.

Esta proposta foi encaminhada para o cliente num documento apropriado, no qual se apresenta uma estimativa dos custos imputáveis ao projeto, respetivo preço final e prazo de entrega após adjudicação. De notar que é muito difícil estimar o custo total do equipamento sem se especificar a maioria dos componentes utilizados e o tempo necessário à realização do desenho 3D, eletrificação da máquina e programação do autômato. Contudo, tendo-se a experiência em projetos anteriores como uma mais-valia, é possível apontar valores muito próximos dos reais. Neste caso concreto, sabia-se já o valor aproximado de alguns dos componentes essenciais do projeto como válvulas de deposição, robô cartesiano e outros que são comuns a muitos projetos e que pouco diferem de projeto para projeto como a estrutura de acondicionamento, quadro elétrico, controlo e interface homem-máquina, sendo que a restante maioria são peças maquinadas (logo com um custo calculável). Para além dos componentes foi necessário considerar o custo da mão-de-obra especializada homem/hora em projeto. Após adjudicação, teve-se um período de oito semanas até ensaios e avaliação feita pelo cliente sendo posteriormente instalada na fábrica do cliente. Assim, o próximo passo foi iniciar o projeto conceptual propriamente dito do equipamento. De seguida, aborda-se mais concretamente as fases do projeto conceptual, que consiste na identificação de objetivos, funções e especificações do equipamento, bem como o estudo de possíveis soluções e sucessiva avaliação das mesmas.

4.3 Objetivos do projeto

Para se melhor idealizar e clarificar o equipamento pretendido, deve-se criar uma árvore de objetivos para a equipa de trabalho ter sempre em mente o que é pretendido e desejado. Grande parte destes objetivos são inicialmente definidos pelo cliente no caderno de encargos, porém, pode-se adicionar mais objetivos que possam aumentar no final o valor do equipamento sem um grande aumento de custo. Assim, criou-se uma árvore de objetivos (ver figura 4.3) no qual se definiu como objetivos gerais os seguintes: *User-friendly*, Seguro, Fiável, Versátil, Móvel e Com acomodações. No capítulo 2.1.4.2.1, abordou-se com maior detalhe as árvores de objetivos, e como foi mencionado, numa abordagem crescente na hierarquia obtém-se a resposta ao “Porquê?” de ser necessário aquele objetivo, e na abordagem decrescente obtém-se o “Como?” se irá obter. Como exemplo, têm-se o objetivo de ser *user-friendly*, em que as respostas ao “Como?” se encontram na hierarquia inferior, nomeadamente altura de trabalho ergonómica, colocação de produto facilitada e altura da consola ao nível dos olhos e o “Porquê?” de se pretender uma colocação do produto facilitada está na hierarquia superior, ou seja, ser *user-friendly*.

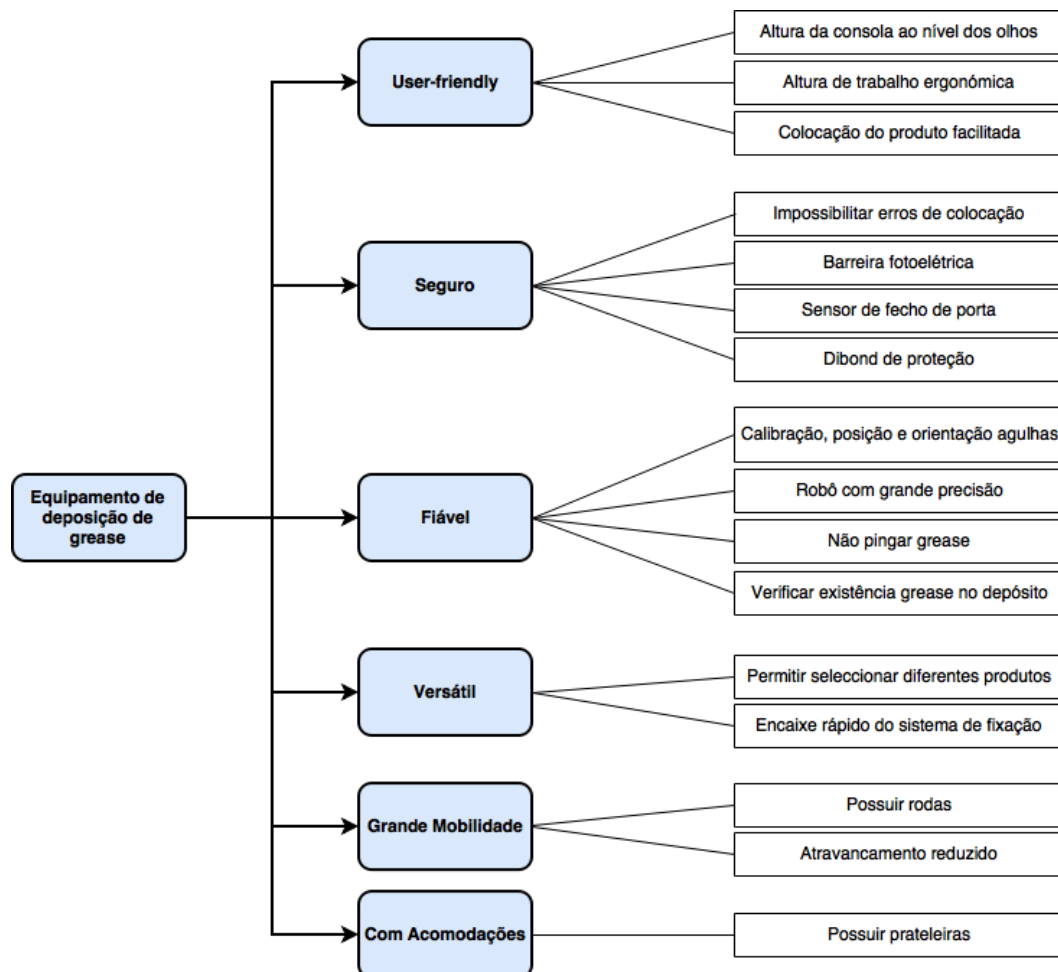


Figura 4.3: Árvore de objetivos desenvolvida para o equipamento desejado.

4.4 Especificações do projeto

As especificações do equipamento são características intrínsecas do equipamento definidas pelo cliente e estão normalmente presentes no caderno de encargos fornecido na fase preliminar. Para além de especificações técnicas, tem também presente objetivos que o cliente exige. A existência de especificações e objetivos limita de certo modo a procura de soluções possíveis, tornando-se também uma boa referência para a avaliação das mesmas. A validação do equipamento pelo cliente é conseguida quando se verifica todos os requisitos exigidos por ele, sendo que para este equipamento o caderno de encargos apresenta as seguintes especificações:

- A aplicação do *grease* deve ser conforme a figura 4.1;
- A quantidade de *grease* por ponto deve estar compreendida entre: 0.003-0.006 gramas;
- O tempo de ciclo não deverá ser superior a 20 segundos;
- O *grease* a utilizar será o TSK2521G (fornecido pelo cliente);

- O sistema de fixação das bases deve ser igual a um já existente no cliente;
- Altura total não deve ser superior a 1,95 m;
- Altura do posto de trabalho deve estar próxima de 0.95 m;
- Deve possuir uma mini bancada frontal com 0,25 m de largura (para colocar peças);
- O equipamento deve possuir uma Luminária de intensidade regulável;
- A troca de baldes (vazio por cheio) deverá ser fácil (SMED);
- Deve possuir um Regulador de pressão de ar conforme o especificado;
- O equipamento deverá trabalhar autónomo dos outros equipamentos da linha.

Contudo, a meio do desenvolvimento do equipamento, após reunião com cliente, mudou-se algumas especificações, alterando assim algumas inicialmente definidas no caderno de encargos. A razão desta alteração, deve-se à encomenda de mais um equipamento, ou seja, a encomenda passou a ser de dois equipamentos semi-automáticos de aplicação de *grease*. Em relação às especificações que se mencionou anteriormente, o tempo de ciclo estava definido em 20 segundos, contudo, aumentou-se para cada máquina para 40 segundos, pois como ambas máquinas estarão a produzir, no geral o tempo de ciclo será de 20 segundos para o conjunto. As outras especificações, nomeadamente, a altura do equipamento e do posto de trabalho e a quantidade de *grease* a depositar mantêm-se.

4.5 Árvore de funções do equipamento

Como se referiu no capítulo 2.1.4.2.2, inicialmente aborda-se o problema sob a forma de caixa negra, em que se define as entradas e as saídas no sistema (ver figura 4.4), sendo que para este equipamento entra o produto e o *grease* e sai o produto já com o *grease* depositado nos locais pretendidos.

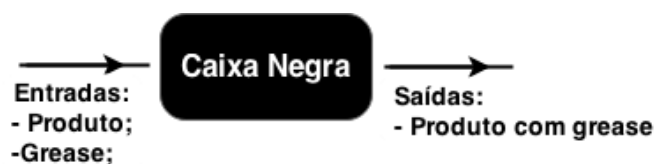


Figura 4.4: Abordagem do problema como uma caixa negra, definindo entradas e saídas.

Após a abordagem geral como caixa negra, é necessário definir as funções a realizar dentro da caixa negra para que seja possível com as entradas mencionadas se obter a respetiva saída. Assim,

na figura 4.5 está representado as funções a realizar para se obter um produto com *grease* depositado. Como é possível observar, pode-se dividir uma função nas suas sub-funções e posteriores sub-funções. Por uma questão de clareza, apresenta-se na figura 4.5 as principais funções e sub-funções do equipamento, as quais, será necessário solucionar.

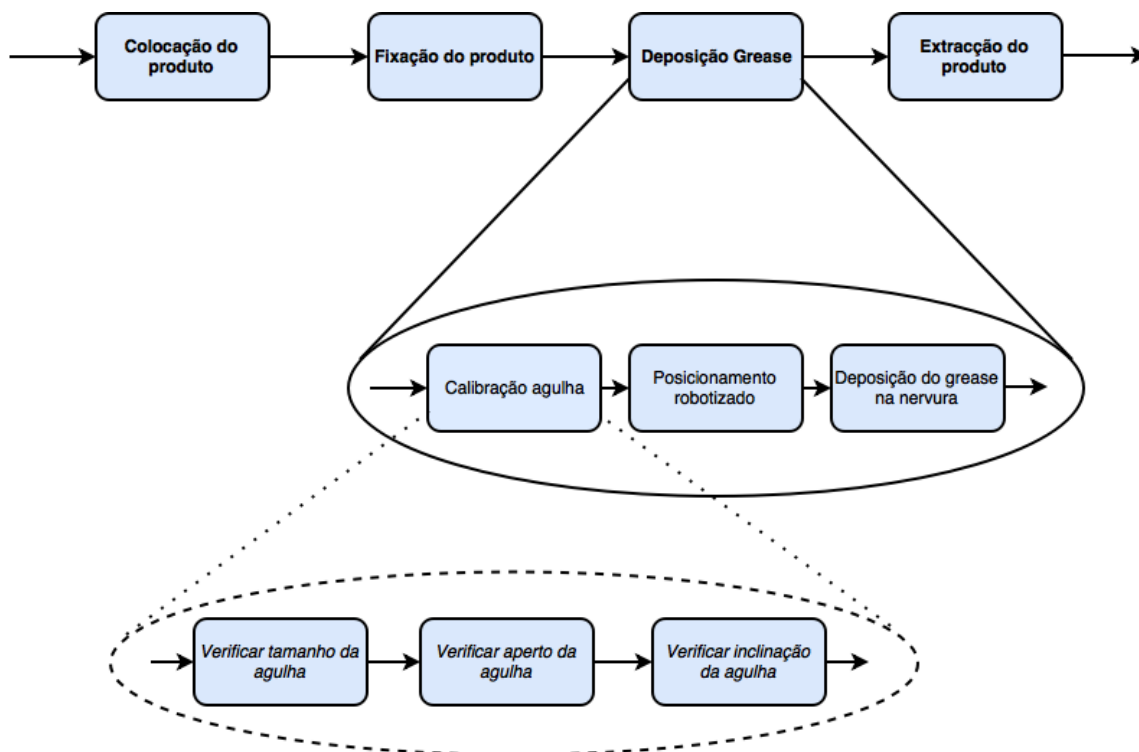


Figura 4.5: Definição das funções a realizar pelo equipamento.

Este equipamento tem como objetivo ser um equipamento semi-automático, ou seja, a deposição do *grease* será automática, contudo, a colocação e extração do produto no equipamento será manual (realizada por operário). Assim, a função *colocação do produto* e *extração do produto* não necessita de solução, pois poderia ser desenvolvido um sistema automático de colocação do produto, contudo, não é o pretendido. As funções gerais que necessitam uma solução são:

- *Fixação do produto* - consiste no mecanismo que garantirá que o produto encaixe facilmente e o bloqueará nessa posição durante a deposição. Para além disto, deve possuir sensor para verificar se produto está colocado bem como ser à prova de erros (*Poka-Yoke*);
- *Deposição do grease* - pode ser dividido em calibração agulha, posicionamento robotizado e a deposição propriamente dita. A calibração da agulha é necessária para garantir que o tamanho da agulha é o correto, se o aperto dela está completo bem como verificar se a inclinação dela é a que corresponde ao programa. Para tal, um sistema de visão foi desenvolvido. O posicionamento robotizado consiste no robô que irá colocar a ferramenta na posição de deposição

em cada ponto. A deposição do *grease* na nervura consiste no sistema de deposição que está acoplado à ferramenta.

De seguida, aborda-se soluções conceptuais desenvolvidas para o sistema de deposição acoplado à ferramenta bem como ao sistema de fixação.

4.6 Soluções desenvolvidas

Inicialmente, desenvolveu-se soluções para os respetivos conjuntos do equipamento, sendo posteriormente analisadas de acordo com as especificações do equipamento. Como esta é uma fase inicial da conceção do equipamento, desenvolveu-se soluções para o porta-ferramentas e para o sistema de fixação do produto, pois estes são as soluções que mais necessitam de ser debatidas com o cliente devido a afetarem com relevância o desempenho do equipamento. Após a criação das soluções e sucessiva reunião com cliente para a análise das mesmas, definiu-se a solução final. O sistema de visão não é pretendido pelo cliente, contudo, desenvolveu-se um protótipo para inspecionar os parâmetros da agulha pretendidos. Posteriormente aborda-se com maior detalhe.

4.6.1 Ferramenta com sistema de deposição de *grease*

O porta-ferramentas como foi anteriormente mencionado, é o conjunto que é acoplado ao robô e que contém nele o sistema de deposição. Para este conjunto desenvolveu-se duas soluções possíveis, em que uma contém duas válvulas em “V” com ajuste da distância entre agulhas e a outra solução corresponde a uma única válvula, podendo estar inclinada ou na vertical.

4.6.1.1 Solução com válvulas em forma de V

A solução inicialmente desenvolvida consiste em duas válvulas de deposição dispostas em forma de “V”, em que uma está fixa e outra está acoplada a uma mesa pneumática para possibilitar uma aproximação no local de deposição, evitando assim o embate com a nervura plástica (ver figura 4.1). Esta solução permite a deposição dos dois lados da nervura simultaneamente, tornando o processo mais eficiente. Como existe nervuras com diferentes larguras (1 e 1,5 mm), coloca-se um sensor indutivo para possibilitar ter dois cursos diferentes em que um é limitado pelos batentes da mesa pneumática e outro pela deteção do sensor havendo assim dois cursos de aproximação possíveis. Na figura 4.6 é possível observar a solução desenvolvida bem como o movimento de aproximação realizado, em que a válvula da esquerda está fixa e a da direita está acoplada à mesa pneumática, podendo-se observar o movimento realizado pela válvula.

Esta solução contém uma mesa pneumática da gama *MXS* da *SMC* bem como um sensor indutivo da *Contrinex*. A grande vantagem desta solução é a deposição simultânea dos dois lados da nervura,

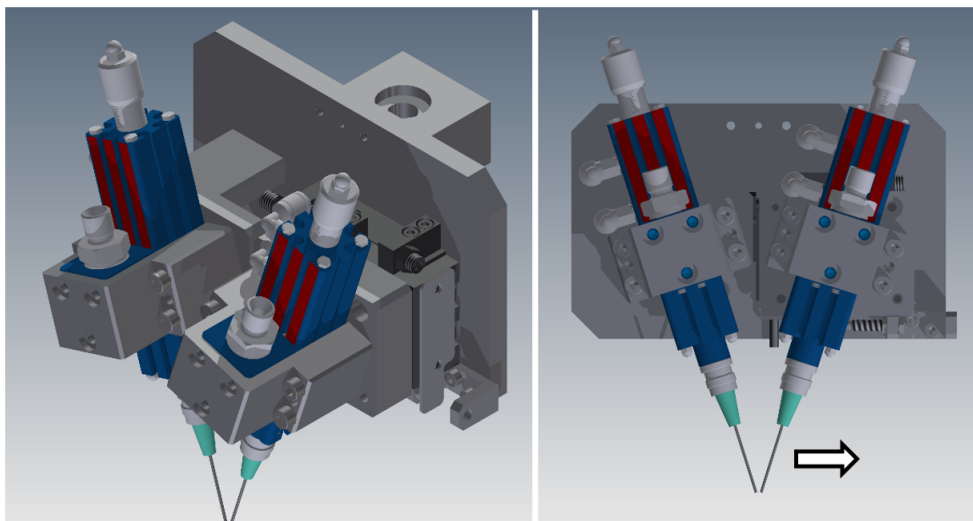


Figura 4.6: Possível solução com válvulas de deposição em "V".

reduzindo o tempo de ciclo. Para além disto a possibilidade de ajustar a distância entre agulhas é regulável, o que permite uma grande versatilidade para diferentes tipos de produto com nervuras. Contudo, esta solução apresenta algumas desvantagens, nomeadamente o peso considerável, pois apesar de a mesa cartesiana o conseguir sustentar, na realização de movimentos rápidos a inércia desta solução causará vibrações consideráveis. Outra desvantagem é o número de componentes que contêm que torna o preço desta solução considerável. Esta solução foi desenvolvida com o objetivo de se conseguir o tempo de ciclo definido inicialmente pelo cliente, contudo, após a alteração na encomenda e no tempo de ciclo, desenvolveu-se uma nova solução com apenas uma válvula.

4.6.1.2 Solução com uma única válvula

A solução com uma única válvula consiste numa válvula de deposição acoplada a um suporte com regulação angular (ver figura 4.7), para permitir ajustar a melhor inclinação de deposição, possibilitando também o funcionamento na vertical. Esta solução é deveras mais simples que a anterior (válvulas em "V"), pois não precisa de movimento de aproximação à nervura pois esse é feito pelo próprio robô.

As grandes vantagens desta solução é o baixo custo do conjunto em relação à solução anterior devido a ter apenas uma válvula e não ter um ajuste de aproximação e o reduzido peso do conjunto que possibilita movimentos mais rápidos reduzindo assim ligeiramente o tempo de ciclo. Contudo, esta solução apresenta mais desvantagens, nomeadamente: Sujeitará o tubo hidráulico de alimentação de *grease* a uma maior torção que poderá dificultar a movimentação da ferramenta bem como a uma mais rápida danificação do mesmo; O fato de ter ajuste angular para se definir qual o melhor ângulo de deposição cria a possibilidade de desconfiguração das posições de deposição, uma vez que

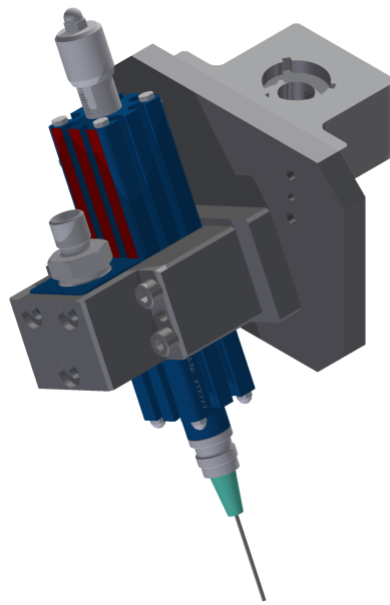


Figura 4.7: Possível solução com uma única válvula de deposição.

após configuração das posições através da atribuição de coordenadas, uma mudança no ângulo de inclinação leva a erros de colocação devido ao posicionamento ter mudado havendo a possibilidade de danificar agulha.

4.6.2 Sistema de fixação do produto

Como foi referido nas especificações e objetivos, o sistema de fixação das bases deve ser igual a um existente no cliente. Na figura 4.8, está presente o sistema existente no cliente onde é possível identificar a base que se encontra fixa e a base para cada produto. O guiamento é conseguido através do uso de um casquilho e pino de guiamento, estando na figura 4.9 a posição relativa a que se devem encontrar, onde é possível observar uma diferença na distância destas posições relativamente ao limite da placa (um valor encontra-se a 20 mm) com o intuito de se aplicar *Poka-Yoke*. Este sistema normalizado no cliente permite-lhe que exista diferentes produtos em que cada um tem o seu respetivo *JIG*, mas que todos encaixem no equipamento da mesma maneira.

O *JIG* é fixado na base superior juntamente com sensor de deteção do produto e sistema de fixação. Para o sistema de fixação desenvolveu-se duas soluções, em que uma recorre a cilindros com calcador na extremidade para fixar a peça e a outra recorre a cilindros com rolete na extremidade para bloquear a peça. De seguida aborda-se de uma perspetiva geral as duas soluções desenvolvidas.

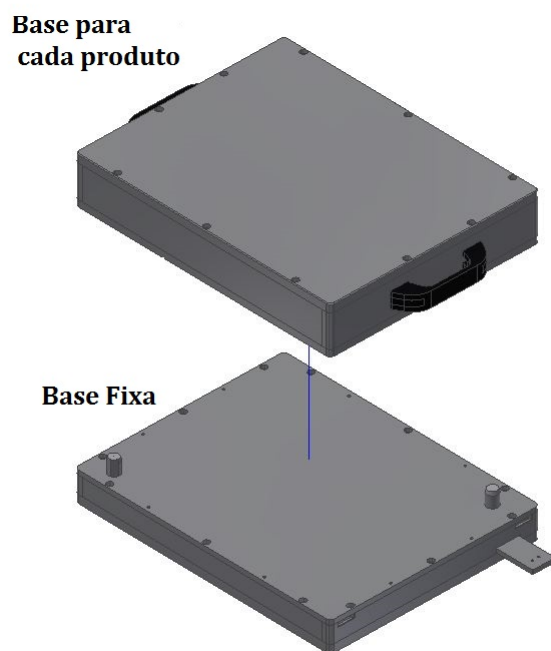


Figura 4.8: Sistema de fixação das bases existente no cliente.

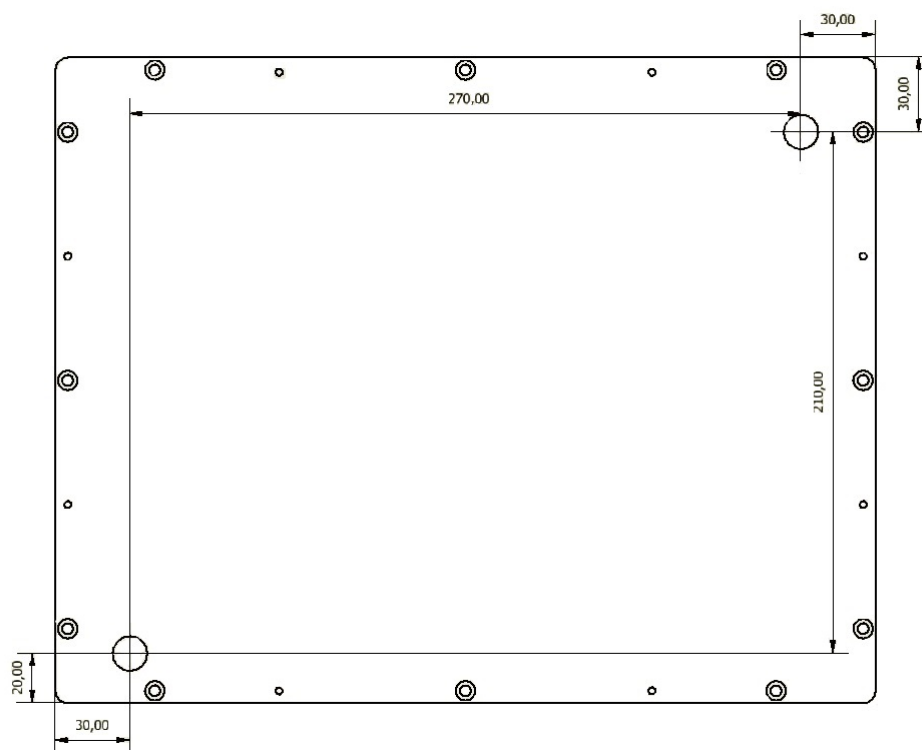


Figura 4.9: Posição relativa dos pinos de guiamento.

4.6.2.1 Solução com bloqueio por calcador

Esta solução como se observa na figura 4.10 recorre a cilindros com rotação de 90° entre abertura e fecho. Para tal, recorrendo a cilindros da *SMC*, nomeadamente os modelos da série *MK* é possível criar sistemas de bloqueio como está representado na imagem. Devido ao facto de rodarem 90° a meio do curso, na posição fechados estarão a bloquear o produto e quando estiverem na posição aberta permitirão a retirada do produto.

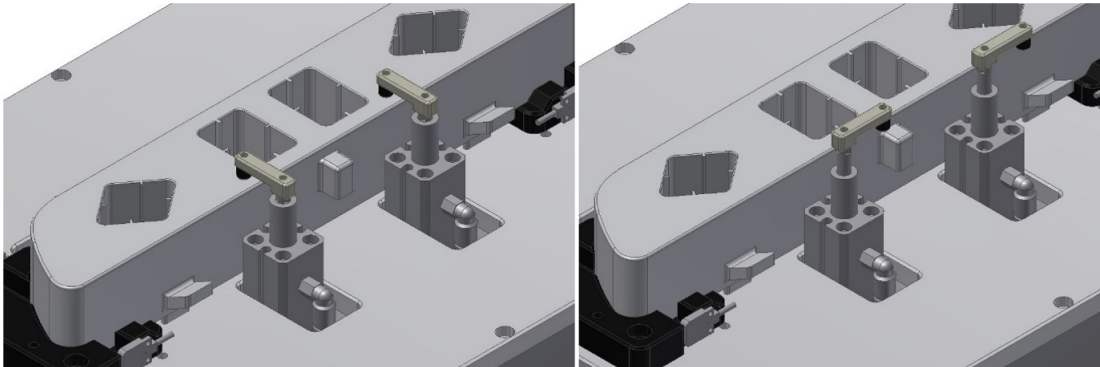


Figura 4.10: Solução de fixação com bloqueio por calcador (situação fechada e aberta).

4.6.2.2 Solução com bloqueio por rolete

Esta solução, foi proposta inicialmente pelo cliente por se assemelhar a soluções já existentes em outros equipamentos que ele detêm e consiste em recorrer aos modelos da série *RSQ* da *SMC* que contêm um rolete na extremidade que são direcionados contra o produto. Esta solução é bastante viável para a fixação deste produto, pois ele contém duas abas na secção traseira onde é possível aplicar esta solução. Na figura 4.11 encontra-se a solução mencionada pelo cliente. A aproximação do rolete à aba não é paralela mas sim com uma inclinação maior do que a aba para pressionar o produto para a sua posição.

4.6.3 Sistema de visão

O sistema de visão neste equipamento tem a função de inspecionar a ferramenta de *grease* com o objetivo de verificar a existência de agulha, tamanho, orientação e aperto. Como se verificou no capítulo 3.4, no mercado atual existe a possibilidade de se desenvolver sistemas constituídos por *smartcameras* que possuem unidade de processamento de imagem internamente ou desenvolver soluções com câmaras comuns que recorrem a unidades de processamento para realizar o processamento de imagem. As soluções possíveis para este equipamento resume-se às duas anteriormente descritas, nomeadamente: *smartcameras* ou câmaras comuns com processamento externo. A solução com recurso

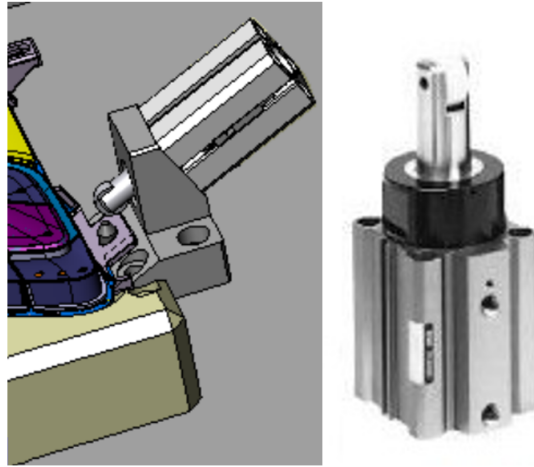


Figura 4.11: Solução de fixação com bloqueio por rolete (32).

a processamento externo é composta por uma câmara compacta da *Allied Vision* que está conectada a um microprocessador da *Raspberry*. Este microprocessador da *Raspberry* permite a programação em linguagem *C++* e a configuração da biblioteca *OpenCV*, possibilitando assim o desenvolvimento de algoritmos de processamento de imagem. Na figura 4.12, está representado a constituição das duas soluções.

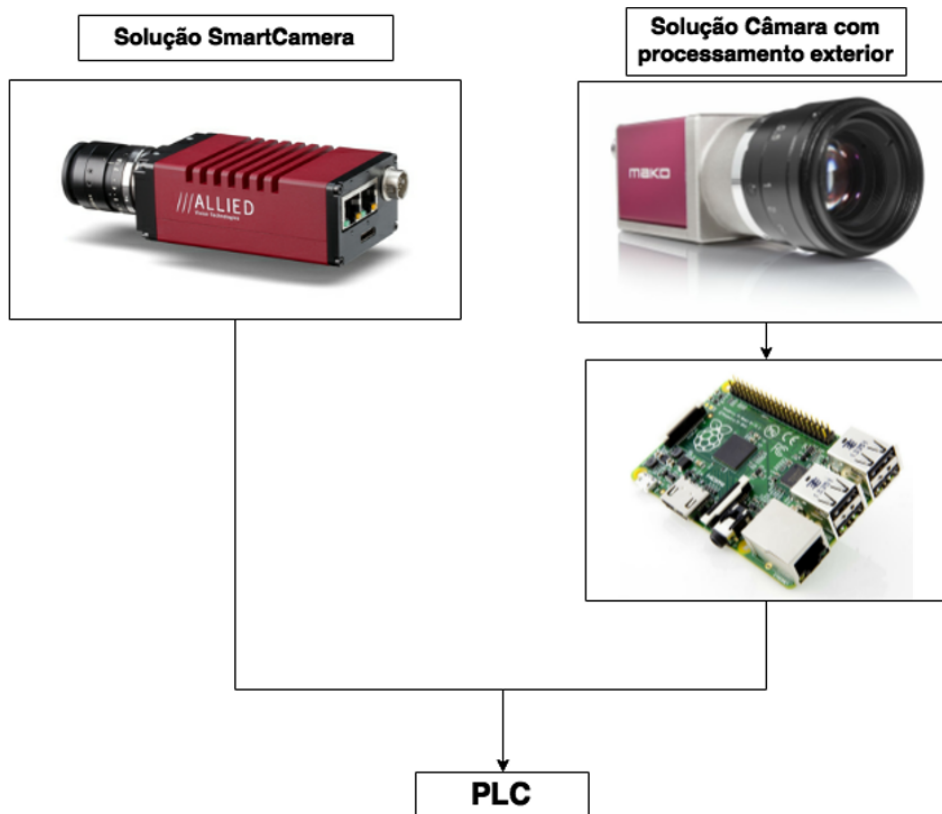


Figura 4.12: Soluções possíveis para o sistema de visão.

Em ambas as soluções após processamento de imagem, o resultado é comunicado ao autômato (PLC).

4.7 Avaliação das soluções

Após a geração de primeiras soluções e conceitos, é necessário realizar uma avaliação das soluções para se selecionar a solução com que se avançará para a fase detalhada do projeto. As soluções que poderiam levar a alguma discordância de opinião são o porta-ferramentas e o sistema de fixação do produto. Como se mencionou anteriormente, existem duas soluções conceptuais desenvolvidas para o sistema de fixação do produto em que uma recorre a um calcador e outra a um rolete. A solução do calcador é a solução mais simples e com custo reduzido devido a apenas ser necessário o cilindro da série *RSQ* da *SMC*, pequena haste fabricada e calcador. A solução com rolete implica a fabricação de um componente para a fixação do cilindro com a inclinação desejada. Esta solução é assim mais cara relativamente à do calcador, pois para além de necessitar mais peças, os cilindros apresentam um custo superior relativamente à outra solução. Contudo, a escolha foi de certo modo “facilitada” devido ao cliente preferir a solução com rolete para ficar um equipamento com sistema de fixação semelhante a existentes na empresa.

4.7.1 Ferramenta com dispensador de *grease*

Relativamente à ferramenta com dispensador de *grease*, a decisão não foi tão fácil como a anterior, pois o porta-ferramentas influencia diretamente no desempenho do equipamento. Devido à dificuldade na escolha, o grupo de projeto viu-se na necessidade de realizar uma análise de valor à solução. Como se viu no capítulo 2.1.4.3, uma análise de valor consiste na avaliação da solução segundo critérios de avaliação definidos inicialmente. Os critérios têm diferentes influências na decisão e devido a isso, é atribuído uma ponderação a cada critério que define a importância desse critério na escolha da seleção. Os critérios de avaliação foram definidos com base nas especificações do equipamento, bem como em requisitos comuns na avaliação de equipamentos. Assim, como requisitos definiu-se: Fiabilidade, Manutenção, Tempo de ciclo, Segurança, Custo, Simplicidade e Facilidade de posicionamento. Na tabela 4.1, encontra-se a tabela com a análise de valor. O cálculo desta avaliação pode ser lembrado no capítulo 2.1.4.3.

A fiabilidade representa o quanto fiável é a solução, ou seja, quanto mais tempo funcionar sem problemas mais fiável é, sendo o critério com maior ponderação. Posteriormente, os critérios com maior ponderação são a segurança e a facilidade de posicionamento. A facilidade do posicionamento é um parâmetro relacionado com a programação dos robôs, pois quando se define uma posição e orientação para o robô, esta pode não corresponder à mesma orientação na extremidade da agulha. A

Tabela 4.1: Análise de valor para solução da ferramenta com dispensador de *grease*.

Critério	Ponderação (0-10)	Solução 1 válvula (0-10)	Solução válvulas em “V” (0-10)
Fiabilidade	9	9	7
Manutenção	6	8	7
Tempo de ciclo	5	4	8
Segurança	8	6	6
Custo	7	9	4
Simplicidade	5	7	5
Facilidade Posicionamento	8	5	9
TOTAL		335	318

solução com uma válvula apresenta um problema em relação à solução com duas em “V” pois como possui ajuste angular, a mudança de inclinação leva a anulação das posições anteriormente definidas enquanto a solução em “V” não existe esse problema. O critério seguinte com mais ponderação é o custo, seguindo-se o tempo de ciclo e simplicidade. Como se referiu anteriormente, o tempo de ciclo não é para o cliente um fator importante. Da análise de valor se conclui que a melhor solução é a solução com uma válvula.

4.7.2 Sistema de visão

De forma a se identificar qual a melhor configuração para implementar no equipamento projetado, apresenta-se de seguida na tabela 4.2 uma análise de valor sobre as respetivas soluções. Os critérios considerados para avaliar as soluções são: Fiabilidade, Manutenção, Assistência técnica, Custo, Simplicidade e Facilidade de implementação.

Tabela 4.2: Análise de valor para solução do sistema de visão.

Critério	Ponderação (0-10)	Solução Smartcamera (0-10)	Solução câmara comum ext (0-10)
Fiabilidade	10	8	8
Manutenção	4	8	7
Assistência técnica	6	8	4
Custo	8	4	8
Simplicidade	7	7	6
Facilidade Implementação	7	6	6
TOTAL		283	280

Em termos de fiabilidade ambas soluções apresentam grande fiabilidade, pois tudo depende do algoritmo de processamento de imagem. A manutenção da solução da *smartcamera* é ligeiramente

facilitada uma vez que apenas possui um componente, contudo, de modo geral ambas soluções não apresentam grande manutenção. A assistência técnica nestes equipamentos tem alguma importância uma vez que se surgir situação que não se encontre solução sempre se poderá solicitar assistência técnica para resolver. Os comerciantes das *smartcameras* possuem serviços de assistência técnica para o cliente o que lhe dá grande vantagem neste critério. O custo destes equipamentos é bastante diferente, uma vez que o custo de uma *smartcamera* é em grande parte das vezes superior a 2000 euros, enquanto uma câmara convencional de 50 euros pode ser o suficiente para a tarefa na segunda solução. A simplicidade da solução é importante uma vez que quanto mais simples for a solução, menos origens de problemas existem e mais fácil é a resolução de problemas. Em termos de facilidade de implementação, ambas soluções são idênticas e conseqüentemente não existe qualquer distinção. Concluindo, da análise de valor conclui-se que a melhor solução é a solução que recorre à *smartcamera*, contudo a diferença é muito curta podendo-se admitir que ambas as soluções são semelhantes.

Capítulo 5

Projeto detalhado

Neste capítulo apresenta-se pormenorizadamente o projeto mecatrónico do equipamento desenvolvido, abordando a seleção de componentes *off-the-shelf* bem como os componentes projetados de raiz. O algoritmo do sistema de visão é apresentado neste capítulo, juntamente com os resultados obtidos.

5.1 Equipamento desenvolvido

O produto final desenvolvido encontra-se na figura 5.1. Este produto é a versão final acordada com o cliente e de forma a facilitar o entendimento do leitor, apresenta-se o resultado desde já. Todo o equipamento foi modelado em 3D - CAD utilizando o software *Autodesk Inventor 2015*. Após renderização, obteve-se a imagem foto realista presente na figura. A figura contém ambos os equipamentos juntamente com a estrutura onde está colocado a bomba de *grease*.



Figura 5.1: Equipamento Desenvolvido.

O atravancamento de um único equipamento encontra-se na figura 5.2, onde é possível observar que este está de acordo com as especificações definidas pelo cliente. Para mais facilmente se entender a dimensão do equipamento que se está a projetar no CAD, por norma, coloca-se um desenho de um ser humano para se ter uma referência de escala. Este ser humano ajuda a perceber por exemplo se é possível observar todo o campo de trabalho desde a posição de trabalho, bem como a que nível dos olhos se encontra a consola.

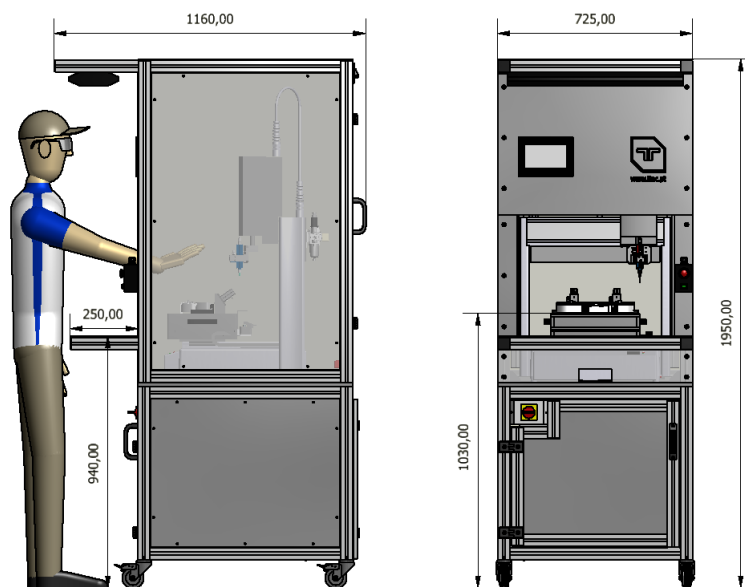


Figura 5.2: Atravancamento do equipamento.

Na figura 5.3 é possível observar a legenda dos componentes constituintes deste equipamento. Seguidamente abordar-se-á as soluções desenvolvidas para cada sistema, bem como a seleção dos componentes *off-the-shelf*.

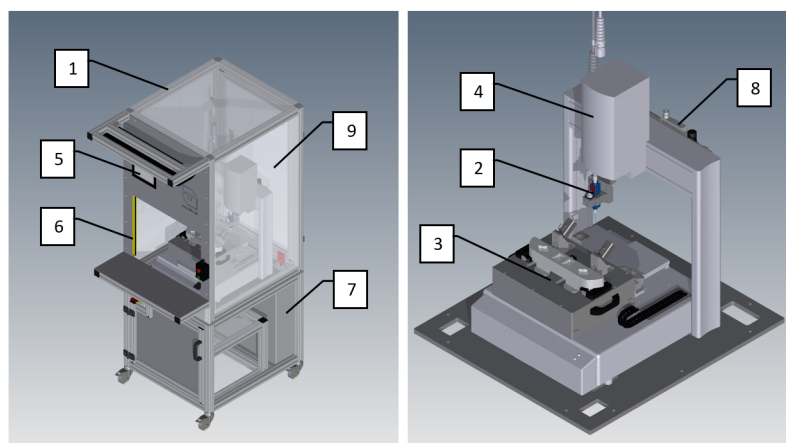


Figura 5.3: Legenda do equipamento. Ver tabela 5.1.

Tabela 5.1: Legenda da figura 5.3

Número	Legenda
1	Estrutura em perfil de alumínio
2	Porta-Ferramenta
3	Fixação produto
4	Mesa cartesiana
5	Interface homem-máquina
6	Barreiras de segurança
7	Quadro elétrico
8	Placa com acessórios pneumáticos
9	Proteções de segurança

5.2 Constituintes do equipamento

Neste capítulo aborda-se as soluções desenvolvidas para os diferentes constituintes do equipamento, nomeadamente: estrutura, ferramenta com sistema de doseamento, sistema de fixação do produto e seleção do robô.

5.2.1 Estrutura em perfil

O projeto da estrutura do equipamento é uma das fases importantes do projeto, pois todo o peso da máquina é suportado por ela. A estrutura deve ter rigidez suficiente para não oscilar durante o funcionamento do equipamento bem como ser leve para aumentar a mobilidade do mesmo. Para tal, utiliza-se normalmente perfil de alumínio normalizado da *Rexrouth*, pois para além de ser leve, existe no mercado uma vasta gama de produtos e acessórios que têm encaixe próprio para os rasgos do perfil, possibilitando assim ao projetista uma maior liberdade na projeção da estrutura. O perfil escolhido é o 45x45, pois é o que se adequa mais tendo em conta as dimensões do equipamento e o peso que suporta, sendo escolhido com base na experiência que a equipa de projeto tem com este tipo de componentes. A estrutura concebida está presente na figura 5.4, onde é possível identificar a divisão entre a estrutura inferior e superior. A estrutura inferior é a parte da estrutura que sustentará o peso total do equipamento, enquanto que a estrutura superior apenas terá acoplado componentes de segurança (placas de policarbonato e barreiras de segurança) e terá também o interface homem-máquina que neste caso será a consola.

Para a construção de estrutura, para além dos perfis é necessário elementos de ligação que conectem os perfis entre si. Para tal, pode-se aparafusar os perfis, criando rosca num deles, recorrer a esquadros próprios para o tamanho de perfil (figura 5.5 à direita) ou outros acessórios que recorrem ao rasgo do perfil (figura 5.5 à esquerda).

Após contacto com fornecedor de estruturas em perfil de alumínio, acordou-se usar ligações

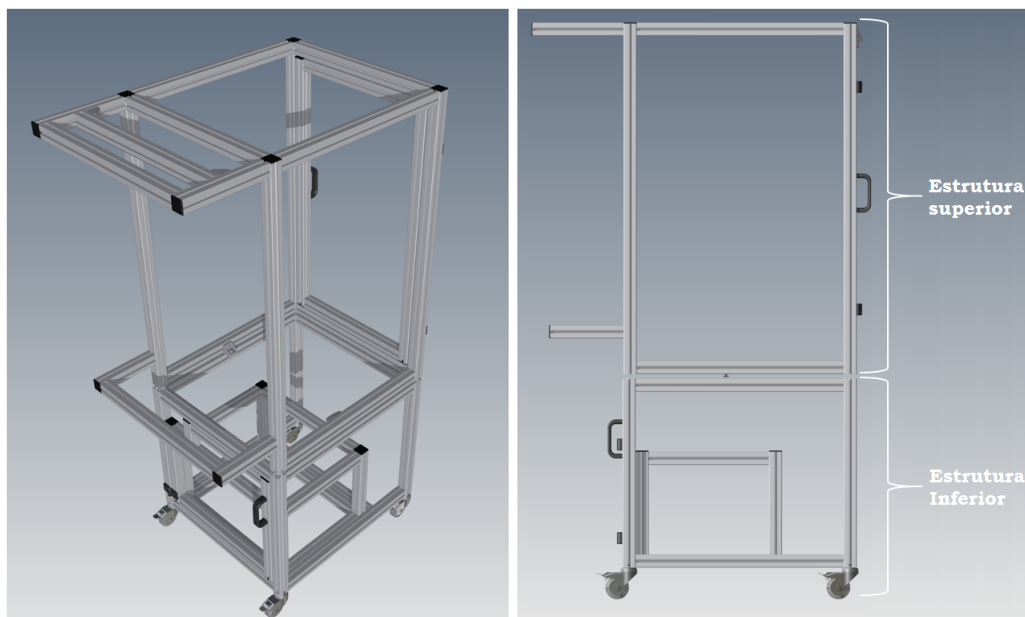


Figura 5.4: Estrutura em perfil desenvolvida, sendo dividida em duas partes.

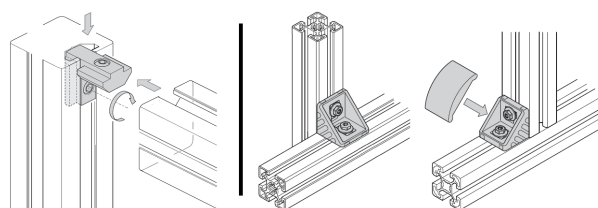


Figura 5.5: Diferentes configurações de fixação dos perfis. Extraído de (33).

aparafusadas pois é uma solução simples e barata, contudo, para unir a estrutura superior à inferior usa-se esquadros. Para fixar qualquer componente roscado ao perfil, é necessário utilizar uma porca própria como se observa na figura 5.6. Contudo, a fixação das rodas é diferente, pois é necessário roscar o interior do perfil para se fixar a roda.

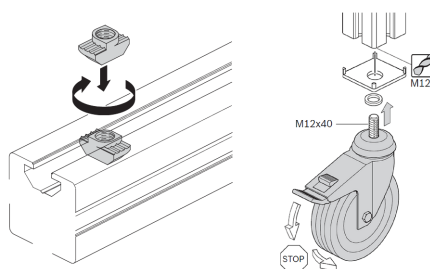


Figura 5.6: Soluções utilizadas para fixar componentes à estrutura, recorrendo a porcas com cabeça martelo ou roscando o furo interior do perfil. Extraído de (33).

Por fim, a última situação a abordar relativamente ao projeto da estrutura está relacionado com a fixação das placas de policarbonato e *dibond*. Existe duas maneiras possíveis de se fixar as placas, nomeadamente: colocar a placa no rasgo do perfil ou aparafusar a placa a um acessório denominado

varofix. Na figura 5.7 é possível observar em concreto as duas situações mencionadas. A grande vantagem de colocar a placa dentro do rasgo é a melhor aparência do equipamento, contudo, dificulta a manutenção. Assim sendo, usou-se as placas dentro do perfil apenas para as duas portas constituintes do equipamento (na frente da estrutura inferior e na traseira da estrutura superior), optando-se pelo uso de *varofix* nas restantes.

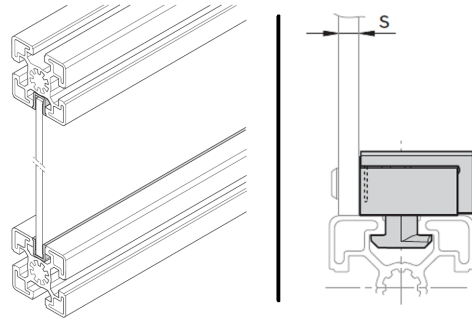


Figura 5.7: Soluções utilizadas para fixar placas de vedação. Extraído de (33).

5.2.2 Sistema de doseamento de *grease*

O sistema de doseamento é o sistema responsável pela deposição do *grease*, sendo constituído por: a válvula de doseamento, alimentador, mangueira e o fixador da válvula ao robô. Como se abordou no capítulo 4.6.1, a solução desenvolvida é constituída por uma única válvula de doseamento com ajuste angular. De seguida, aborda-se a descrição da solução desenvolvida, seleção da válvula de doseamento e seleção do alimentador.

5.2.2.1 Descrição da solução desenvolvida

Esta solução do sistema de doseamento, como se referiu anteriormente, é constituída por válvula, alimentador de doseamento, mangueira e sistema de fixação. Inicialmente, realizou-se pesquisa de mercado e entrou-se em contacto com os fornecedores de sistemas de doseamento para identificar quais os equipamentos de doseamento a utilizar (capítulos seguintes aborda-se com mais pormenor a seleção). Após identificação destes componentes *off-the-shelf*, projetou-se um sistema que fixa a válvula de doseamento ao eixo z do robô permitindo ajuste angular para possibilitar que o equipamento possa ser configurado na melhor inclinação de deposição. Para facilitar esse ajuste, colocou-se uma escala graduada gravada na parte de trás, oferecendo assim uma referência de ajuste. Na figura 5.8, está presente o sistema de fixação desenvolvido. Para facilitar a orientação da válvula caso funcione na vertical, existe uma ligação aparafusada que fica alinhada quando se encontra nessa posição.

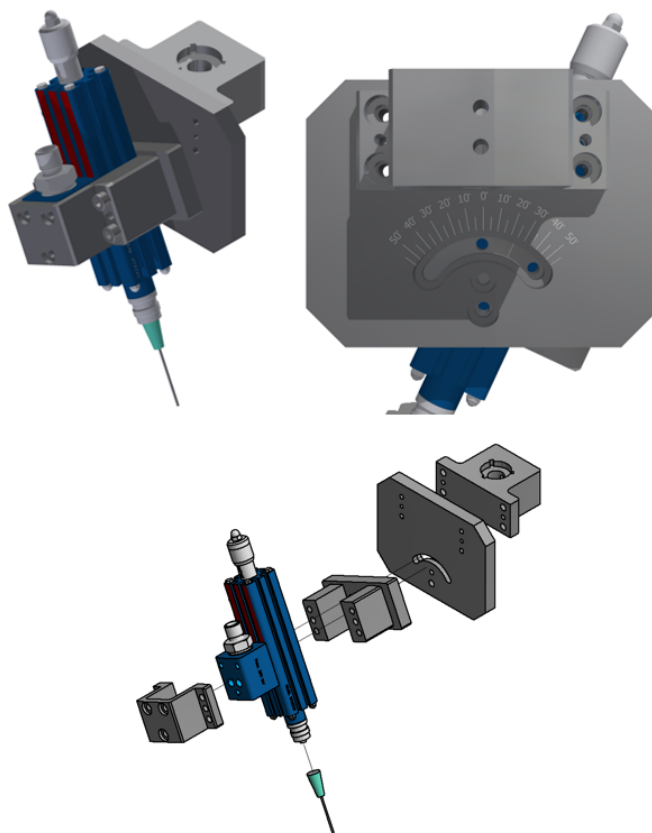


Figura 5.8: Solução desenvolvida para o sistema de doseamento de *grease*.

5.2.2.2 Seleção da válvula

No mercado atual existe uma vasta gama de válvulas de deposição para as mais variadas funções, contudo, considerando a quantidade de material necessário a depositar em cada local, a escolha resumiu-se a um pequeno grupo de produtos. Tendo em conta a experiência do grupo de trabalho com estes equipamentos, selecionou-se o modelo *AXDV-C1* da *ABNOX* (ver figura 5.9) pois para além de não ser a primeira vez que se utiliza esta válvula, ela apresenta uma boa relação qualidade-preço sendo ainda compatível com o tipo de *grease* especificado pelo cliente.

Na tabela 5.2, apresenta-se algumas características técnicas deste equipamento.

Tabela 5.2: Características do modelo *AXDV-C1* da *abnox* (19).

Caraterísticas	
Modelo	<i>AXDV-C1</i>
Gama deposição [cm^3]	0.001 - 0.02
Peso [kg]	0.17
Tipo de conexão	1/8" BSP (<i>British Standard Pipe</i>)
Pressão de alimentação (min - max) [bar]	20 - 200
Pressão de alimentação ar (min - max)	5 - 7
Viscosidade do <i>grease</i> [NLGI e Pa.s]	Até NLGI 3 ou 1000 Pa.s



Figura 5.9: Válvula de deposição de *grease* selecionada da ABNOX. Extraído de (19).

5.2.2.3 Seleção do alimentador

No mercado atual existe diversos tipos de alimentadores de *grease* como foi abordado no capítulo 3.1. Por uma questão de coerência, entrou-se em contacto com o fornecedor de produtos ABNOX para se seleccionar qual o alimentador ideal para esta aplicação, sendo inicialmente definido que a pressurização teria de ser pneumática, ter sensor de balde vazio, ser compatível com a válvula utilizada e alimentar ambos os equipamentos. O modelo sugerido pelo fornecedor foi o AXFP3-S25, adequando-se aos critérios estipulados. Na figura 5.10, encontra-se o modelo selecionado.



Figura 5.10: Alimentador de *grease* selecionado. Modelo AXFP3-S25 da ABNOX. Extraído de (17).

5.2.3 Sistema de fixação do produto

O sistema de fixação do produto é o sistema onde o produto é colocado e fixado durante o processo de deposição, sendo constituído por duas bases em que uma é fixa ao robô e a outra é acoplada à base fixa. Como foi mencionado anteriormente, as bases devem ser iguais a umas já existentes no cliente.

Assim, na base acoplada desenvolveu-se um *JIG* onde o produto é colocado bem como um sistema de bloqueio, para garantir que o produto não sairá do *JIG* durante a deposição de *grease*. De seguida, aborda-se o projeto do *JIG* e do sistema de fixação.

5.2.3.1 Descrição da solução desenvolvida

A solução desenvolvida consiste num conjunto constituído pelas duas bases mencionadas anteriormente, em que na base superior (base acoplada) está presente o *JIG* e o sistema de fixação. Como se referiu no capítulo do projeto conceptual, a solução desejada para o bloqueio do produto recorre a cilindros com roquetes na extremidade da haste que ao avançarem forçam a peça para a sua posição. Contudo, essa solução não foi possível pois não se comercializa cilindros desse modelo com as dimensões pretendidas, tendo sido necessário criar uma solução com o mesmo princípio. Na figura 5.11, está presente o conjunto das duas bases nas quais é possível identificar sistema de fixação, *JIG*, sensores de deteção, conexão *Harting* e suporte para copo de purga. A purga é realizada sempre que alimentador de *grease* é despressurizado, pois o objetivo da purga é eliminar bolhas de ar.

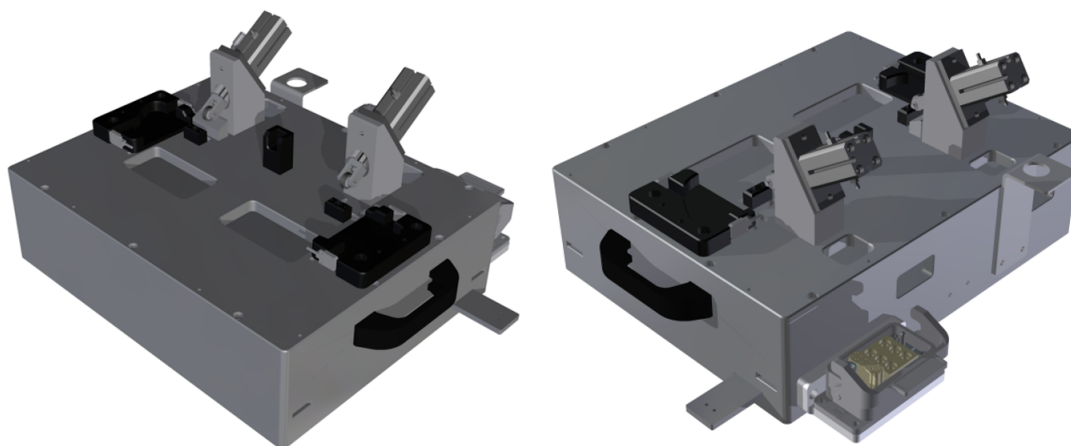


Figura 5.11: Sistema de fixação do produto desenvolvido.

5.2.3.2 Guiamento do produto

Todos os equipamentos que realizam tarefas sobre produtos ou objetos necessitam de ter um lugar específico onde o produto é colocado, devendo impedir os movimentos nesse plano. Para além disso, a inserção deve ser facilitada e à prova de erros (*Poka – Yoke*), usando-se chanfros para guiar o produto para o local correto e assimetrias para haver apenas uma única maneira possível de inserção. Para este caso prático, desenvolveu-se um *JIG* que possui duas bases nas extremidades com o negativo do produto, bem como um componente central para auxílio na colocação. Na figura 5.12, é possível

observar o posicionamento bem como a geometria destes componentes (componentes de cor preta na figura).

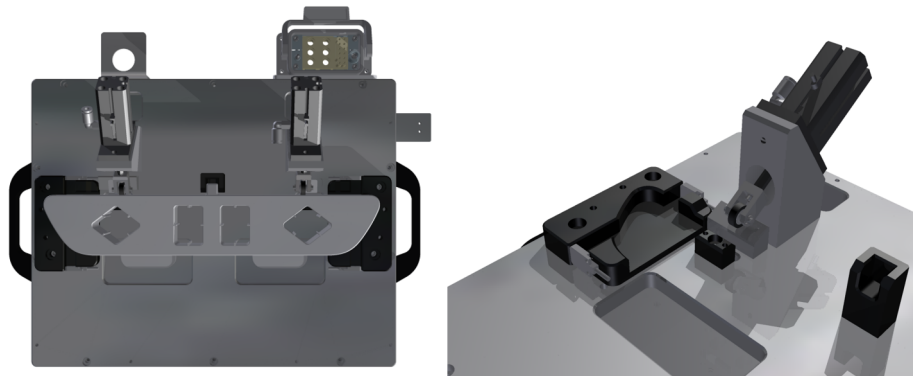


Figura 5.12: *JIG* do produto desenvolvido.

O *JIG* é assim constituído por três componentes, sendo estes aparafusados à base acopladora e usa-se cavilhas para garantir o correto posicionamento. Estes componentes são fabricados em sustarin, pois como é um material macio não irá marcar o produto. Para garantir que o produto está colocado na posição correta e totalmente inserido, usa-se um sensor ótico do tipo emissor-recetor em ambos os lados de guiamento. Sensores óticos são os ideais para esta aplicação, pois quando o feixe de luz estiver interrompido o produto estará totalmente inserido. O sensor utilizado é o *E3T-FT13* da *OMRON* (ver figura 5.13).



Figura 5.13: Sensor para detetar o produto. Modelo *E3T-FT13* da *OMRON*. Extraído de (34).

5.2.3.3 Fixação do produto

Para fixar o produto pretendia-se usar cilindros pneumáticos com rolete na extremidade para empurrar e bloquear a peça, contudo, devido a limitações de mercado, não existem tamanhos compatíveis com a solução a implementar. Assim, foi necessário desenvolver uma solução com o mesmo princípio. Na figura 5.14, é possível observar os componentes desta solução. Esta solução é constituída por um cilindro com referência *CDQSKF* da *SMC* que por possuir veio hexagonal impossibilita a rotação da haste (tipo anti-giro).

O movimento realizado pelo rolete é um movimento de aproximação à “aba” que o produto possui na parte de trás, sendo a inclinação do cilindro em relação à base superior à inclinação da

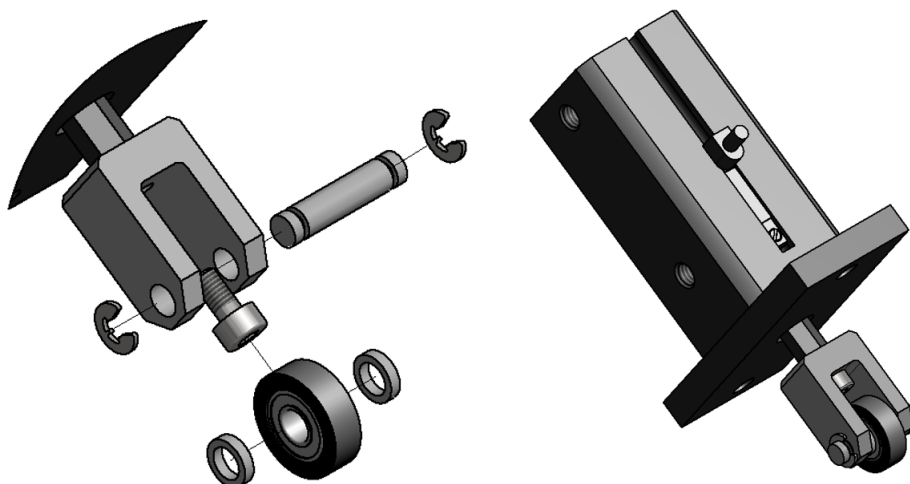


Figura 5.14: Solução desenvolvida para fixar o produto. à esquerda o conjunto em modo explodido e à direita o conjunto montado.

“aba”. Na figura 5.15, está representado o movimento realizado pelo rolete desde a posição avançada até recuada. Como se observa na figura, o rolete na posição recuada permite que o produto seja extraído sem embater no rolete.

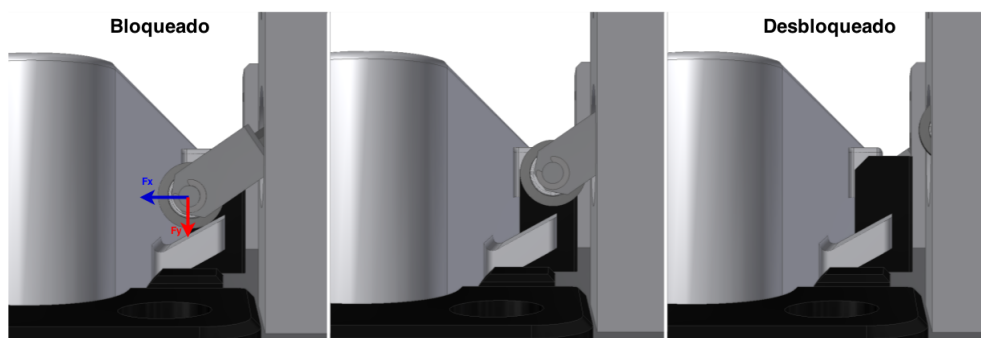


Figura 5.15: Movimento realizado pelo cilindro ao bloquear o produto.

Como a força aplicada possui duas componentes (componente em x e componente em y), a parede do produto estará sujeita a uma força. De forma a não sujeitar o produto a esforços que podem provocar danos, colocou-se um apoio no interior da parede (ver figura 5.16).

A escolha do cilindro recaiu pelos modelos guiados e compactos da *SMC*, escolhendo-se o modelo da série *CQS* com referência *CDQSKF12 – 25D – A93V*, ou seja, possui diâmetro de 12 mm e curso de 25 mm, tendo rasgos laterais para os sensores de fim de curso do tipo *A93V*. O rolete é adquirido na *MISUMI*, tendo a referência *UMBB4-13*. O rolete possui um diâmetro externo de 13 mm e diâmetro interno de 4 mm, sendo constituído por: anel interior, esferas, anel exterior e anel de contacto em poliuretano. A dureza deste material de contacto é *shoreA90* que é semelhante à dureza das solas do calçado. Para bloquear o eixo, usa-se anéis de retenção (*DIN6799*) nas extremidades

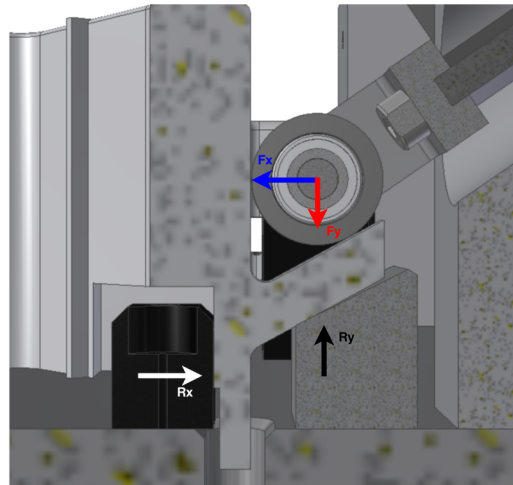


Figura 5.16: Identificação da força realizada pelo cilindro, bem como as reações proporcionadas pelos apoios.

do mesmo. O tamanho do anel de retenção e a profundidade do sulco dependem do diâmetro do veio. Como o veio possui 4mm ($d_1 = 4\text{mm}$) de diâmetro e segundo a norma *DIN6799* (figura 5.17), o diâmetro do sulco deverá ser de 2.3mm ($d_2 = 2.3\text{mm}$), e as características do anel a utilizar são: $a = 1.94\text{mm}$, $s = 0.6\text{mm}$ e $d_3 = 6.3\text{mm}$.

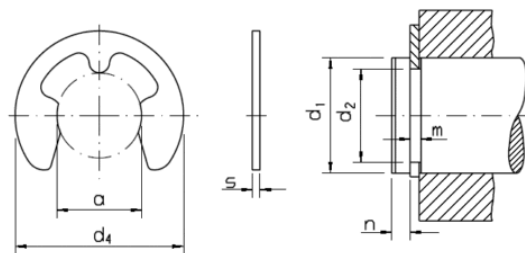


Figura 5.17: Nomenclatura das dimensões da norma DIN 6799.

5.2.4 Seleção do robô

Como foi mencionado anteriormente, a mesa cartesiana posiciona o sistema de deposição nas posições definidas anteriormente (ver figura 4.1). Optou-se pelo uso de uma mesa cartesiana pois para a realização desta operação é requerida precisão, múltiplas posições, bem como a rápida adaptação a outro produto. Poder-se-ia ter usado eixos elétricos, contudo, devido ao reduzido atravancamento dos produtos a mesa cartesiana apresenta-se como a melhor solução. Para realizar a deposição nas posições definidas necessita-se de quatro graus de liberdade, pois para além dos 3 eixos (x,y,z) é necessário um quarto eixo de rotação sobre z devida há existência de posições com diferentes orientações. No mercado existe diversas marcas de mesas cartesianas, contudo a seleção foi facilitada devido à empresa comercializar mesas cartesianas da *JANOME*, e como a equipa de projeto já

está familiarizada com estes equipamentos a decisão foi facilmente tomada. Contudo, necessitou-se de selecionar um modelo e para tal solicitou-se a colaboração do representante europeu da marca que após reunião ficou definido o uso do modelo *JR2304N* (figura 5.18). Este modelo é semelhante a modelos usados em projetos semelhantes contudo possui o 4 eixo de rotação que os outros não possuíam, sendo esta uma nova dificuldade para a equipa de projeto. Estes modelos apresentam bastante robustez, não comprometendo assim a precisão requerida para a função a realizar.



Figura 5.18: Modelo selecionado da marca *JANOME*. Extraído de (35).

Na tabela 5.3 encontra-se as características da mesa cartesiana selecionada.

Tabela 5.3: Tabela com características principais da mesa cartesiana selecionada. (35)

Caraterísticas		
Gama de funcionamento	Eixo x e y (mm)	300x320
	Eixo z (mm)	100
	Eixo R (°)	360
Carga máxima suportada	Área de trabalho (kg)	11
	Ferramenta (kg)	6
Máxima velocidade no modo ponto-a-ponto	Eixo x e y (mm/sec)	800
	Eixo z (mm/sec)	320
	Eixo R (°/sec)	800
Máxima velocidade no modo linha contínua	Velocidade combinada eixo x, y e z (mm/sec)	800
Repetibilidade	Eixo x e y (mm)	±0.01
	Eixo z (mm)	±0.01
	eixo R (°)	±0.008
Dimensões	WxDxH(mm)	560x529x840
Peso do equipamento (kg)		35

5.3 Sistema de visão desenvolvido

Um Sistema de visão foi desenvolvido para ser possível inspecionar parâmetros relacionados com a válvula de deposição de *grease*. Contudo, ele não foi aplicado no equipamento construído devido

a não ser desejado pelo cliente. Como se abordou no capítulo 4.6.3, a solução ideal para este equipamento é um sistema de visão com processamento externo à câmara. De seguida, apresenta-se a solução desenvolvida para se acoplar ao equipamento, bem como o *software* desenvolvido de análise de imagem. O objetivo do sistema de visão é detetar a presença, inclinação e tamanho da agulha e se a agulha se encontra totalmente apertada ou não. Na figura 5.19, está representado o fluxograma das funções a realizar. A partir do momento que uma não se verifica, as posteriores não necessitam de se verificar.

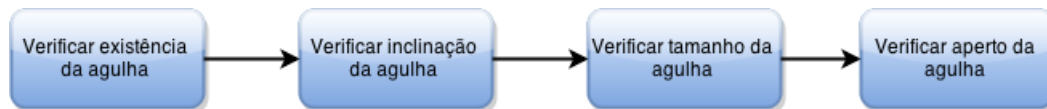


Figura 5.19: Sequência de operações a realizar pelo sistema de visão.

5.3.1 Solução física

De modo a realizar as verificações demonstradas na figura 5.19, o equipamento necessita de estar dotado com um sistema de visão direcionado para a ferramenta de *grease*. A solução desenvolvida consiste na utilização de uma câmara compacta da *Allied Vision* juntamente com um iluminador similar a uma lanterna acoplado no mesmo suporte da câmara. A câmara encontrar-se-á direcionada para a ferramenta de *grease* possuindo ajuste apenas nesse plano. Por outro lado, o iluminador estará na mesma direção da câmara, contudo, possui ajuste para se puder direcionar o fluxo luminoso com diferentes ângulos de incidência. Todo este conjunto é acoplado ao perfil lateral. Na figura 5.20 está representado a ideia pretendida, onde se pode identificar a câmara com tons de vermelhos e o iluminador com tons escuros.

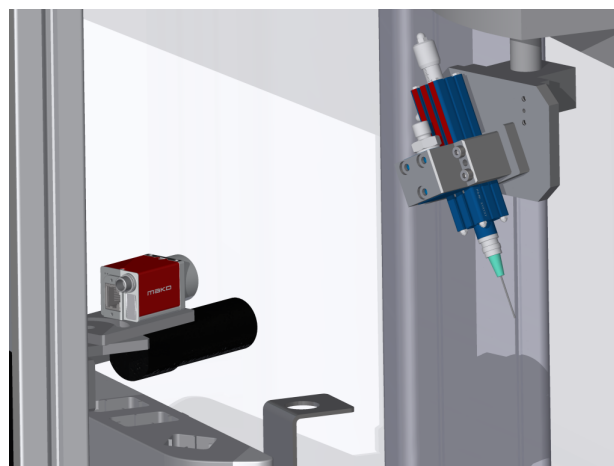


Figura 5.20: Sistema de visão desenvolvido.

De seguida, aborda-se uma parte importante deste trabalho que consiste num algoritmo desenvol-

vido com o objetivo de inspecionar a ferramenta de *grease*.

5.3.2 Algoritmo desenvolvido

Como se mencionou anteriormente, desenvolveu-se um algoritmo de processamento de imagem capaz de avaliar a existência, inclinação, tamanho e aperto da agulha. Este algoritmo foi desenvolvido em *Matlab*, contudo, aplica-se funções simples de processamento de imagem que poderiam ser facilmente programáveis em *C++* para posteriormente se colocar em um microprocessador. A razão da escolha do *Matlab* baseou-se no facto de ser uma linguagem mais familiarizada. De seguida, aborda-se a sequência de operações a realizar para se obter as verificações pretendidas.

5.3.2.1 Operações aplicadas

De forma a se realizar as verificações mencionadas anteriormente, desenvolveu-se um algoritmo de tratamento de imagem em que a partir de uma fotografia do sistema de deposição de *grease* (constituído por agulha, válvula de *grease* e sistema de fixação) se obtém imagem isolada de agulha. Posteriormente, é necessário realizar cálculos ou aplicar funções que levem a obter os resultados pretendidos. Contudo, para se obter imagem em que unicamente está representado a agulha, é necessário aplicar uma sequência de operações. Na figura 5.21, está representado essa sequência de operações.

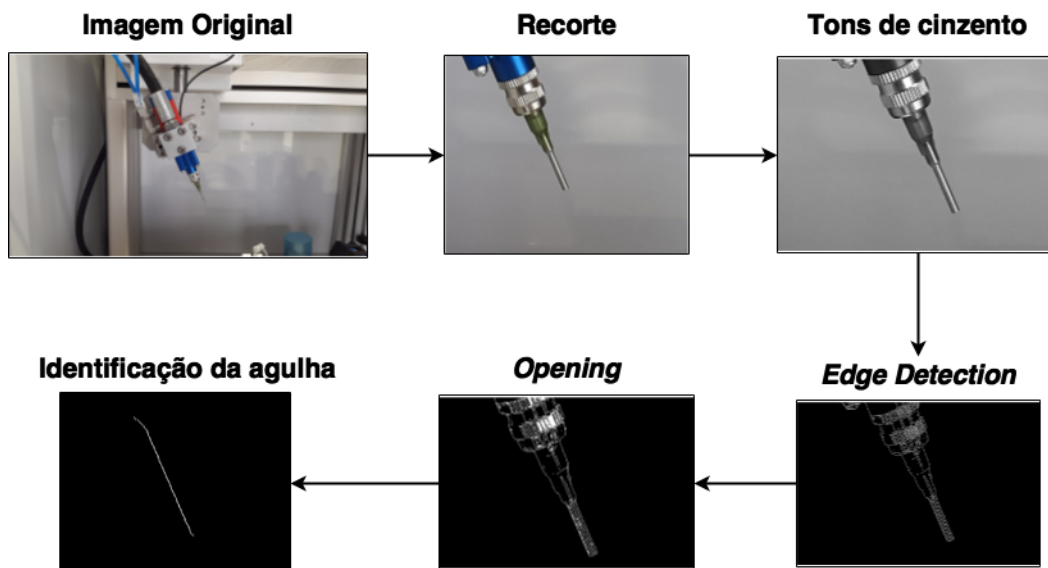


Figura 5.21: Sequência de operações.

Como se observa na figura 5.21, inicialmente realiza-se um recorte na imagem para eliminar informação desprezável, posteriormente, aplica-se filtro para tons de cinzentos dando-se início agora operações de segmentação e morfológicas. Ao aplicar-se um *edge detection*, os limites são realçados estando o interior e o exterior a preto, permitindo identificar desde já a região da agulha. De forma a

realçar as linhas dos limites, aplica-se a operação morfológica *opening*. Posteriormente, é necessário isolar a agulha e sabendo-se que a agulha na matriz da imagem aparece como se observa na figura 5.22, percorre-se todas as linhas da imagem e subtrai-se o último elemento a preto pelo primeiro. A agulha estará localizada onde a diferença destes valores for menor, pois imediatamente acima da agulha a largura é superior. Para tal, desenvolveu-se o algoritmo 1.

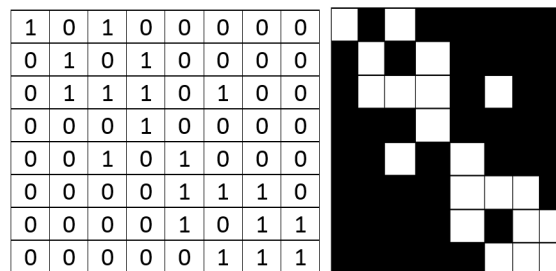


Figura 5.22: Representação da imagem da agulha em matriz sendo os valores 0 a cor preto e valores 1 a cor branco.

Algoritmo 1 Obtenção do comprimento da agulha

Entrada: • Imagem binária $I(i, j)$, sendo i as linhas e j as colunas da imagem com dimensões $N \times M$

• Valor de referência: $vref$

para $i = 1$ até N **fazer**

$indices \leftarrow$ índices de pixels com valor 1 (branco)

se $indices[primeiro] - indices[ultimo] > vref$ **então**

$I(i, \text{todas as colunas menos } indices[ultimo]) \leftarrow 0$

fim se

fim para

$l = soma(I)$

Saída: Tamanho da imagem l

Resumidamente, o algoritmo 1 apresentado percorre todas as linhas da imagem e subtrai o último valor de cor branco pelo primeiro de cor branco e caso seja superior ao valor de referência é porque não corresponde à agulha e como tal toda a linha fica com cor preto. O valor de referência foi obtido iterativamente até se obter valor em que o resultado fosse a agulha. O resultado final está presente na figura 5.23.

5.3.2.2 Detecção da existência, inclinação e tamanho da agulha

Após a obtenção de imagem com pixels que constitui a agulha, pode-se aplicar diferentes algoritmos para se verificar as quatro funções definidas inicialmente, nomeadamente: detetar existência da agulha, medir inclinação e tamanho e verificar aperto. Como se verificou no capítulo 2.3.3.4, ao aplicar-se a transformada de *Hough* obtém-se os parâmetros que definem uma reta. Ao aplicar-se a

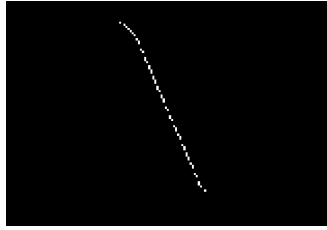


Figura 5.23: Resultado final após a aplicação das operações mencionadas anteriormente.

transformada à figura 5.23, o resultado é os parâmetros representados na figura 2.68, nomeadamente: inclinação da reta segundo eixo x , distância da origem ao ponto mais próximo da reta, o ângulo que este segmento de reta faz com a reta em si, bem como as coordenadas do ponto inicial e final da reta. Com estes parâmetros é possível verificar de imediato se a inclinação da agulha é a correta ou não, pois é uma das variáveis obtidas pela transformada de *Hough*. Para o cálculo do tamanho da agulha, é necessário uma referência na imagem para ser possível relacionar o tamanho em pixels com uma unidade de comprimento. Observando a figura 5.24, a componente vermelha da agulha foi escolhida como referência para o cálculo do comprimento da agulha, isto porque, sendo a imagem a cores constituída por valores de RGB, os valores de R nesse local serão muito superiores aos restantes. Na figura 5.24, está representado a sequência de operações com o objetivo de isolar a região encarnada. Para se obter a zona a vermelho aplicou-se o seguinte algoritmo:

Algoritmo 2 Obtenção da região vermelha

Entrada: • Imagem com as três componentes de cores (RGB) $I(i, j)$, sendo i as linhas e j as colunas da imagem com dimensões $N \times M$

para $i = 1$ até N **fazer**

para $j = 1$ até M **fazer**

$I(i, j, 1) \leftarrow$ imagem com valores de vermelho; $I(i, j, 2) \leftarrow$ imagem com valores de verde; $I(i, j, 3) \leftarrow$ imagem com valores de azul.

se $I(i, j, 1) > 170 \cap I(i, j, 2) < 100 \cap I(i, j, 3) < 100$ **então**

$B(i, j) = 1$;

senão

$B(i, j) = 0$;

fim se

fim para

fim para

Saída: Imagem binária B

Como se observa na figura 5.24, após imagem só com zona encarnada, reduz-se o número de pontos a uma única fila, através de algoritmo semelhante ao 1 em que último valor branco de uma linha mantém-se e os anteriores ficam todos a preto. Após isto, já é possível aplicar a transformada de *Hough*. De referir que na zona a vermelho apenas se encontra um dos lados da região a vermelho da imagem inicial devido a esse lado conter tons de vermelho mais escuros que não cumprem os

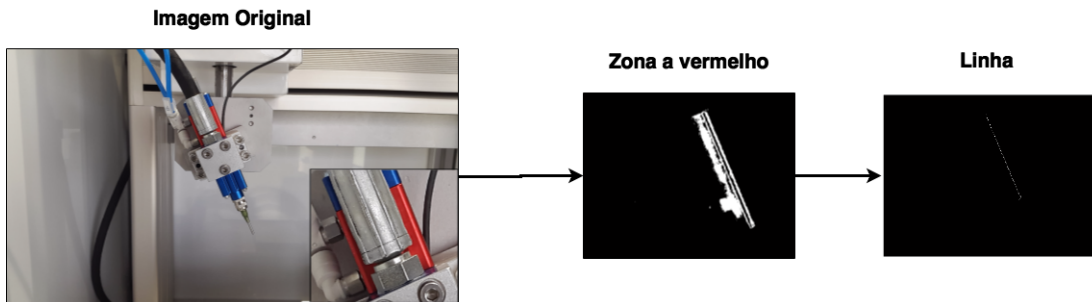


Figura 5.24: Operações para se obter uma referência de comprimento.

valores de RGB definidos. Com a transformada de *Hough* obtém-se a distância entre o ponto inicial e final da reta em pixels. Como é a nossa referência e sabendo que o comprimento é de cerca de 27 mm, é possível aplicar uma relação direta entre pixels e unidade de comprimento. Sabendo que 27 mm corresponde ao tamanho da região a vermelho, e sendo t_v o tamanho em pixels da zona vermelha e t_a o tamanho em pixels da agulha, tem-se:

$$t_a(mm) = \frac{27t_a(\text{pixels})}{t_v(\text{pixels})} \quad (5.1)$$

Na figura 5.25, está representado a reta de pixels medida, sendo obtida após a transformada de *Hough*.



Figura 5.25: Imagem da agulha com a reta que representa a agulha.

5.3.2.3 Cálculo do aperto

Como se mencionou anteriormente, aplicou-se a transformada de *Hough* para determinar o comprimento da reta através dos parâmetros da transformada (inclinação e pontos inicial e final), que define a agulha e para determinar também estes mesmos parâmetros para o comprimento da zona a vermelho. Para determinar se a agulha está totalmente apertada ou não, utilizou-se como referências o primeiro ponto da reta vermelha juntamente com o primeiro ponto da agulha, uma vez que é necessário uma referência fixa na imagem bem como outra da agulha. A referência fixa usou-se a da zona vermelha uma vez que já tinha sido calculada, enquanto o ponto da agulha utilizado para o cálculo do aperto

será o ponto superior uma vez que esse ponto é independente do tamanho da agulha. Na figura 5.26, está representado o posicionamento de ambos os pontos na respectiva reta.

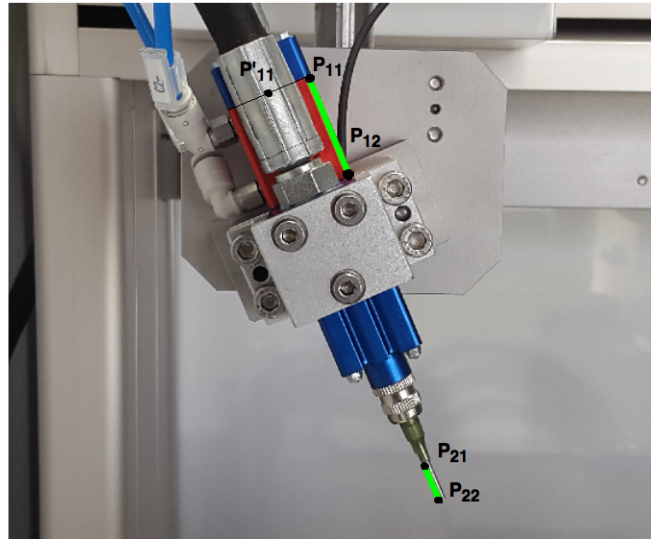


Figura 5.26: Imagem da válvula com a identificação dos pontos usados para o cálculo.

Na figura 5.26, colocou-se o ponto P'_{11} pois será o ponto utilizado como referência da zona vermelha devido a se encontrar no alinhamento dos pontos da agulha. Para se calcular a posição relativa do ponto P'_{11} em relação ao ponto P_{11} , aplicou-se o cálculo trigonométrico presente na figura 5.27. Sendo P'_{11} o ponto médio da largura da válvula, e sabendo que a válvula tem 23 mm de largura a distância entre o ponto P_{11} e P'_{11} é de 11,5 mm. Os 23° correspondem à inclinação da válvula na figura, sendo obtido pela transformada de *Haugh*.

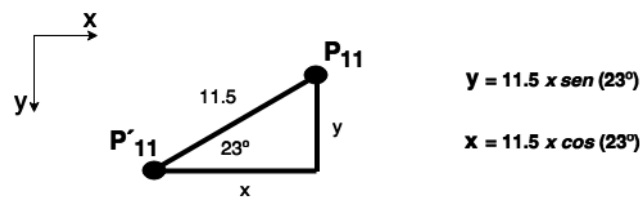


Figura 5.27: Representação dos cálculos para obter o ponto P'_{11} .

Após se obter os valores de x e y , é necessário proceder à correção dos valores do ponto P'_{11} , nomeadamente:

$$P'_{11}x = P_{11}x - 11.5 \cos(23) \quad (5.2)$$

$$P'_{11}y = P_{11}y + 11.5 \sin(23) \quad (5.3)$$

Sabendo o ponto P'_{11} bem como o ponto P_{21} , é possível calcular agora a distância entre estes dois pontos em pixels. A equação de cálculo está presente de seguida e baseia-se no teorema de Pitágoras.

Na figura 5.28, encontra-se uma representação das variáveis.

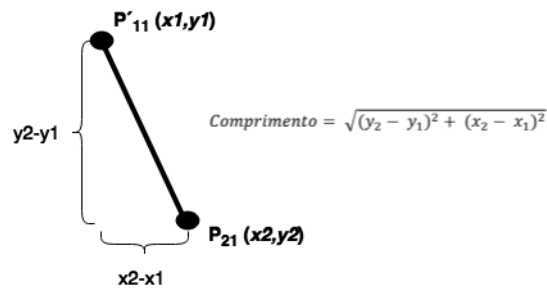


Figura 5.28: Cálculo da distância entre o ponto P'_{11} e P_{21} .

Após se obter a distância entre os dois pontos em pixels (variável t_{ap}) é necessário realizar a conversão para milímetros, e para tal, como se viu anteriormente, obtém-se realizando o seguinte cálculo:

$$t_{ap}(mm) = \frac{27t_{ap}(\text{pixels})}{t_v(\text{pixels})} \quad (5.4)$$

5.3.2.4 Resultados obtidos e Incerteza de medição

Após desenvolvido o algoritmo, realizou-se medições para avaliar o funcionamento do mesmo. Como foi mencionado anteriormente, o objetivo é verificar a presença, tamanho, inclinação e aperto da agulha. No mercado de agulhas com este tipo de rosca existe duas medidas standard: meia e uma polegada. Como tal, tirou-se fotografias com ambas as agulhas e mediu-se as mesmas para se obter um valor real de referência. Na figura 5.29 está presente imagem com as duas agulhas.

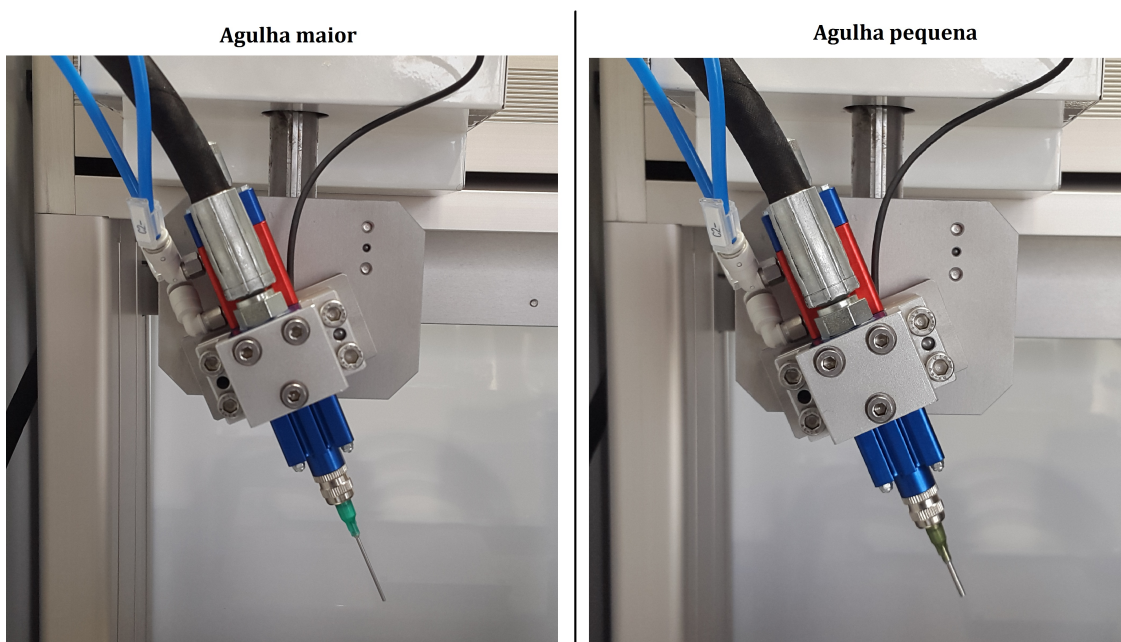


Figura 5.29: Imagem com as duas agulhas testadas.

Na tabela 5.4 e 5.5, está o resultado da medição obtida para cada agulha. No Apêndice 0 é possível observar as fotos utilizadas para cada medição. Os resultados sem agulha apresentam valores muito pequenos de comprimento de agulha, o que indica que a agulha não está colocada. Para facilitar análise de resultados, na figura 5.30 e 5.31 está presente gráficos com a dispersão das medições.

Agulha Pequena

Tabela 5.4: Tabela com valores obtidos para a agulha pequena.

	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Valor medido	Média	Desvio- Padrão
Ângulo (°)	23	24	23	23	23	23.25	0.5
Tamanho agulha (mm)	10.97	10.89	11.12	10.85	12	10.93	0.12
Aperto (mm)	107.56	108.11	107.58	107.75	108.1	107.67	0.25

Agulha Maior

Tabela 5.5: Tabela com valores obtidos para a agulha maior.

	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Valor medido	Média	Desvio- Padrão
Ângulo (°)	23	23	24	24	23	23.5	0.58
Tamanho agulha (mm)	22.51	22.78	22.53	22.78	24	22.66	0.15
Aperto (mm)	108.05	107.27	107.17	108.14	108.1	107.66	0.51

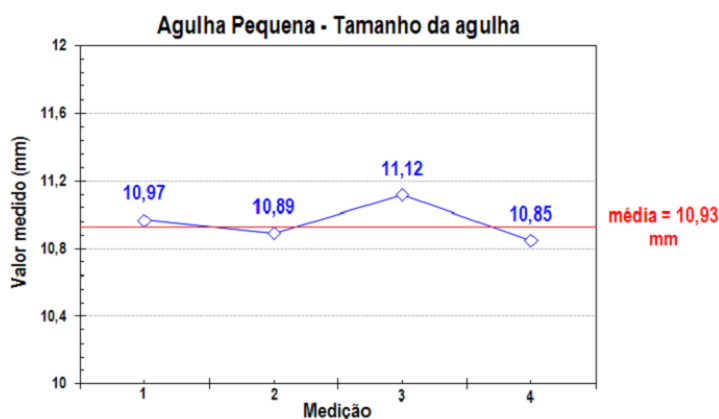


Figura 5.30: Gráfico com dispersão dos valores de tamanho de agulha para a agulha pequena.

Analisando os resultados da tabela 5.4 e 5.5, pode-se concluir que os valores de ângulo medidos pelo sistema de visão aproximam-se consideravelmente do valor medido, contudo, como o ângulo é obtido comparando a inclinação que a reta faz com o eixo vertical, era necessário garantir que a imagem capturada se encontra na horizontal algo que na prática não foi possível de se conseguir. Analisando as dispersões na figura 5.30, 5.31, 5.32 e 5.33 pode-se concluir que os tamanhos da agulha obtidos pelo sistema de visão apresentam uma menor dispersão e conseqüente boa precisão

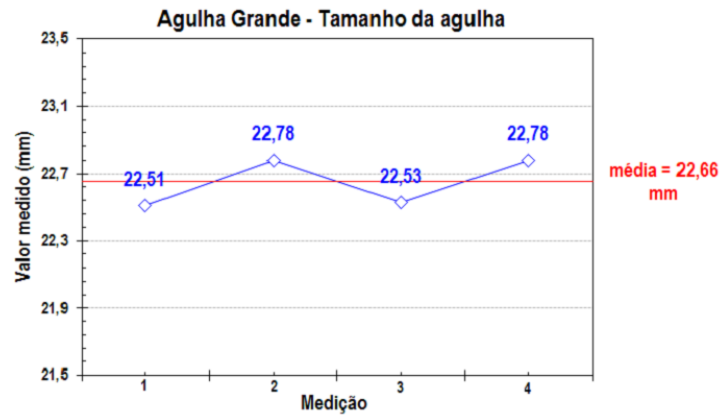


Figura 5.31: Gráfico com dispersão dos valores de tamanho de agulha para a agulha maior.

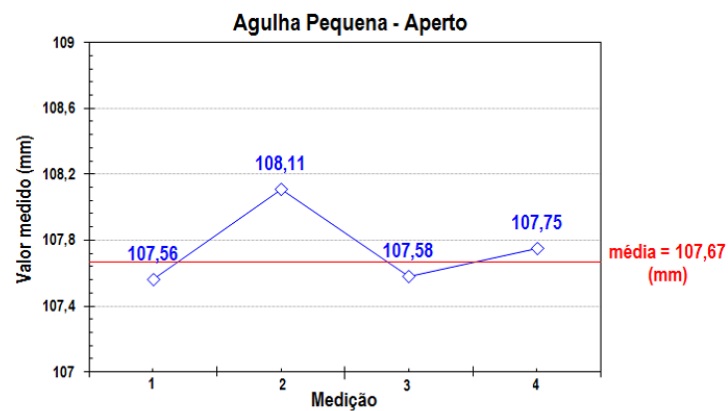


Figura 5.32: Gráfico com dispersão dos valores de aperto para a agulha pequena.

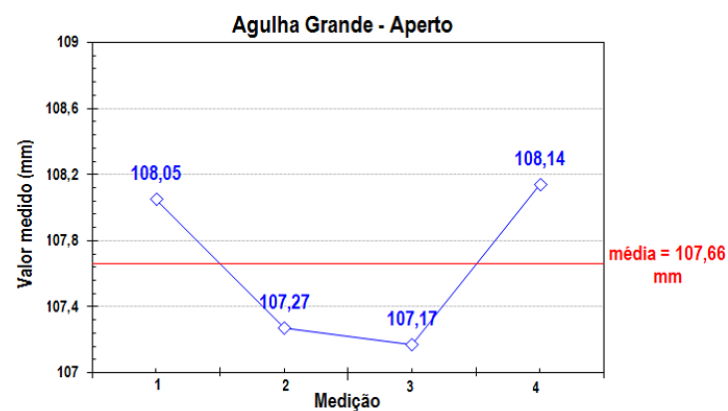


Figura 5.33: Gráfico com dispersão dos valores de aperto para a agulha maior.

uma vez que o desvio-padrão obtido é inferior a 0.15 no pior dos cenários. Este resultado é bastante satisfatório indicando que o sistema é preciso, contudo, necessita de uma calibração para o tornar mais exato. Em relação ao aperto, houve uma dispersão superior nos resultados em comparação com os resultados do tamanho da agulha. Esta dispersão superior deve-se ao fato de o cálculo do aperto

envolver o cálculo de dois pontos em zonas diferentes da imagem (referência em zona vermelha e agulha) o que leva a uma maior acumulação de erros comparativamente ao cálculo do tamanho de agulha. Sendo o propósito deste sistema de visão a medição, deve-se associar à medição a sua incerteza. Para tal, de seguida apresenta-se o cálculo da incerteza de medição com base nos resultados obtidos.

Incerteza de medição

Como se verificou no capítulo 2.3.4.3, o cálculo da incerteza de medição é realizado da seguinte forma:

$$\text{Incerteza} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (5.5)$$

$$\text{Medida} = \mu + \text{Incerteza} \quad (5.6)$$

Na tabela 5.4 e 5.5 estão presentes os valores de σ , μ e N utilizados para o cálculo da Incerteza. Com base nestes valores têm-se:

Tabela 5.6: Incerteza de medição e resultado final para situação com agulha pequena

Agulha pequena	Média (σ)	Desvio-Padrão (σ)	Incerteza	Medida
<i>Tamanho Agulha (mm)</i>	10.93	0.12	0.06	10.93 ± 0.06
<i>Aperto (mm)</i>	107.67	0.25	0.13	107.67 ± 0.13

Tabela 5.7: Incerteza de medição e resultado final para situação com agulha maior

Agulha grande	Média (σ)	Desvio-Padrão (σ)	Incerteza	Medida
<i>Tamanho Agulha (mm)</i>	22.66	0.15	0.08	22.66 ± 0.08
<i>Aperto (mm)</i>	107.66	0.51	0.26	107.66 ± 0.26

Os resultados presentes na tabela 5.6 e 5.7, vêm cimentar a análise realizada anteriormente, onde se conclui que a medição do tamanho de agulha apresenta uma maior precisão comparativamente com o aperto. Este sistema de visão, com base nos resultados obtidos poderia ser implementado no equipamento, contudo, para realizar a verificação do aperto dever-se-ia de melhorar a precisão de medição, uma vez que experimentalmente se verificou que o aperto deve ser total ou então um desaperto não superior a 0.3 mm, algo que se consegue garantir no limite com este equipamento. De relembrar que as imagens usadas para testar o algoritmo foram adquiridas a partir de uma câmara de telemóvel que não é comparável a uma câmara e iluminador presentes nos sistemas de visão, sendo uma causa da incerteza. Para além da câmara, poder-se-ia encontrar outra referência sem ser a zona vermelha para se tentar melhorar a precisão e reduzir consequentemente a incerteza.

5.4 Arquitetura de controlo

A unidade de controlo deste equipamento é constituída por um autómato programável (PLC) que interage diretamente com a consola interativa tátil presente na frente do equipamento e com o robô cartesiano. A programação dos pontos de deposição é realizada diretamente no robô, onde se define posições x , y , z e R para cada ponto, tempo de deposição e a trajetória a executar. Assim, o autómato apenas indica ao robô para iniciar e qual o produto colocado e espera pela resposta dele a indicar que acabou. A consola interativa é o meio de interface entre equipamento e operador, e local onde se seleciona qual o produto a depositar, onde se recebe informações sobre colocar e retirar produto, bem como avisos de situações de emergência. Na figura 5.34, está representado a sequência de informação de um modo geral durante o funcionamento do equipamento entre a consola interativa, autómato programável e robô cartesiano.

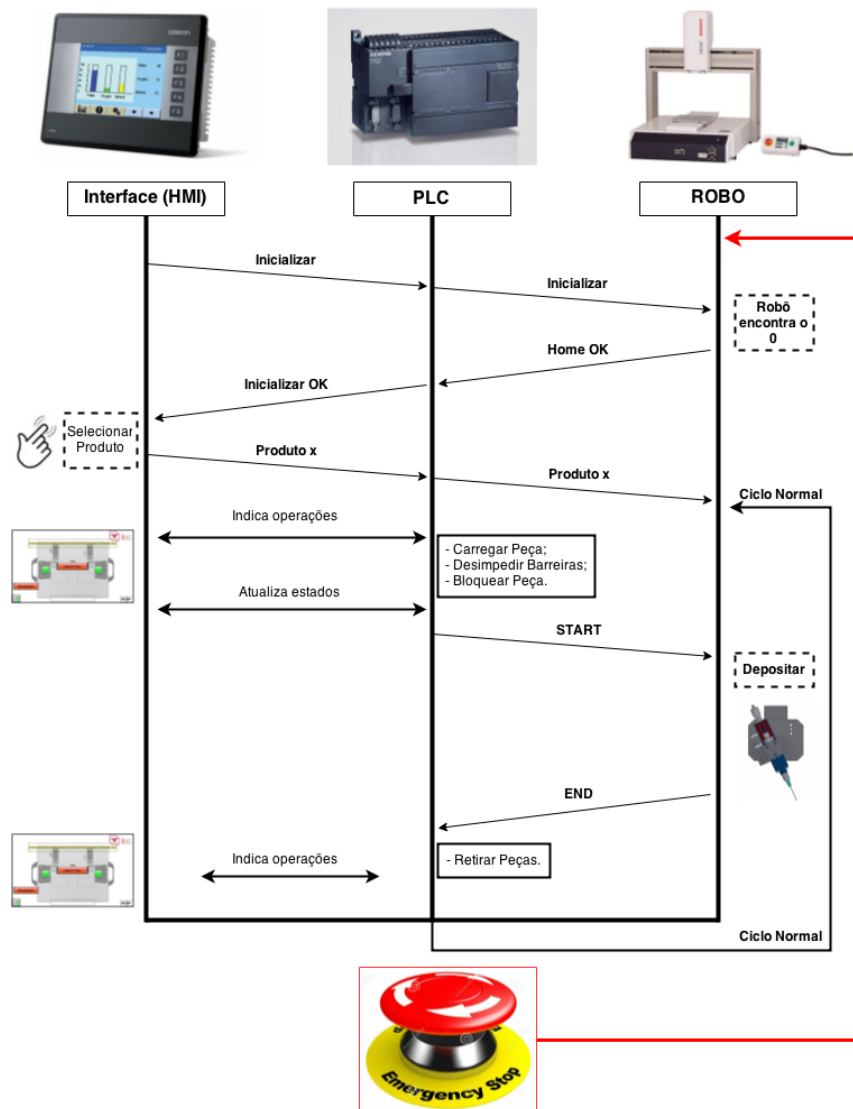


Figura 5.34: Diagrama do funcionamento do equipamento.

5.5 Interface Homem-Máquina

Os interfaces Homem-Máquina são todos os dispositivos no equipamento que realizam a comunicação entre o operador e o equipamento, podendo ser botoneiras, consolas táteis, teclados, entre outros. Este equipamento possui uma consola tátil, um conjunto de botões nos quais se englobam botão de emergência, *start* e botão de purga e um botão de corte geral (*ON/OFF*). Na figura 5.35, é possível observar a consola, o conjunto de botões e o corte-geral. O alimentador de *grease* possui também um interface de origem que se pode observar na figura 5.36.

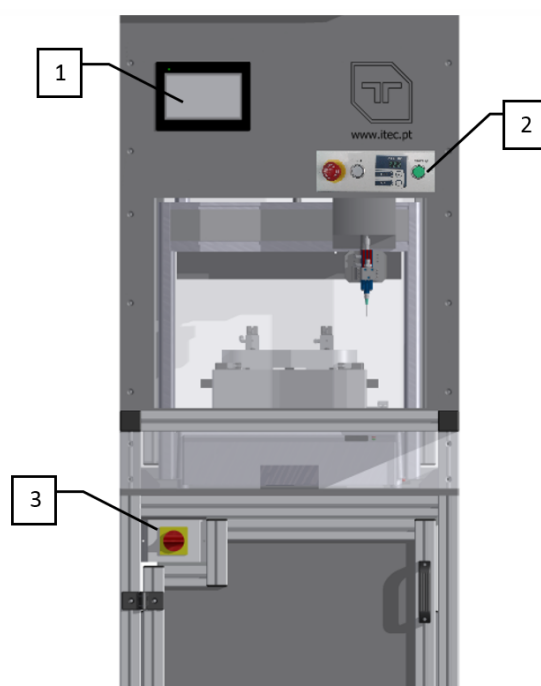


Figura 5.35: Componentes do interface homem-máquina, sendo: 1 - Ecrã tátil iterativo, 2 - Conjunto de botoneiras e 3 - Corte geral.

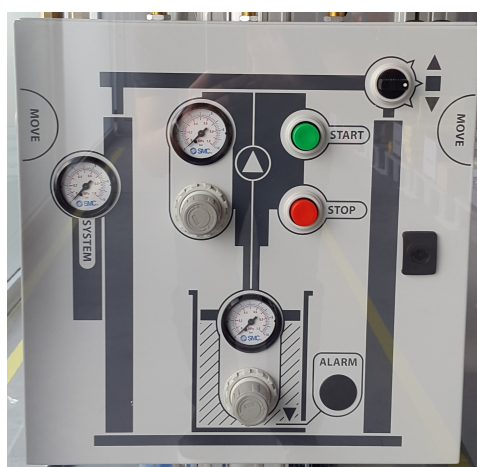


Figura 5.36: Interface do alimentador de *grease*.

O interface na consola foi criado com o objetivo de ser *user-friendly*, onde é possível definir o que se pretende fazer (produção ou manutenção), selecionar o produto, aparecendo posteriormente a janela de funcionamento que está presente na figura 5.37. Esta janela possui informações como o produto selecionado, o tempo de produção diário, a estado dos sensores (se estão a detetar o produto ou não), botão para libertação da peça desativando sistema de fixação, botão para desligar iluminação interior bem como uma indicação do estado do ciclo podendo aparecer as seguintes mensagens: colocar produto, em funcionamento e retirar produto. Não existe botão para inicializar a deposição, pois quando o operador colocar produto e os sensores ficarem interrompidos, a iniciação é dada pelo desimpedimento das barreiras.

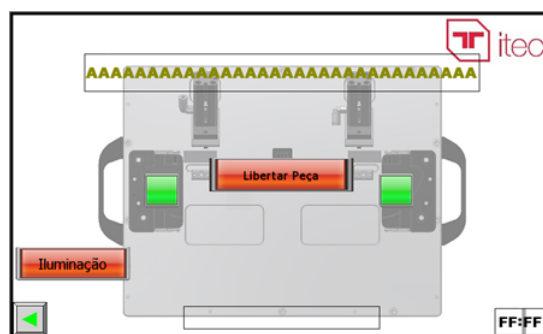


Figura 5.37: Interface presente durante o funcionamento do equipamento.

5.6 Segurança

Este equipamento de maneira a respeitar a diretiva máquinas e normas CE, contém sistemas que visam assegurar a segurança do operador e do ambiente envolvente. O objetivo é vedar o acesso à área de trabalho durante o funcionamento do equipamento, impossibilitando assim que o operador sofra lesões provocadas pela colisão com a ferramenta. Como se observou na figura 5.1, o acesso à área de trabalho é vedado lateralmente, por cima e por trás por *dibond*, contudo, a frente necessita de ter uma abertura para que o operador consiga colocar e retirar o produto. Como se analisou no capítulo 2.2.3.6, o dispositivo ideal para esta situação são barreiras optoeletrónicas. Para tal, selecionou-se barreiras de luz com 450 mm de comprimento da *Harlen Bradley*, pois o operador necessita de espaço o suficiente para aceder à área de trabalho, bem como permitir que observe o funcionamento do equipamento. Como o equipamento na parte de trás possui uma porta, selecionou-se sensores de fecho de porta da *Schneider Electric* para verificar se ela se encontra fechada ou não. A sua abertura, a interrupção das barreiras ou o pressionar da botoneira de emergência leva ao procedimento de emergência. Este procedimento de emergência interrompe a deposição, immobilizando o robô até a porta se fechar ou as barreiras deixarem de estar interrompidas e o operador carregar no botão *start*.

Na figura 5.38, encontra-se a posição das barreiras no equipamento bem como os sensores de porta. De salientar que as barreiras possuem uma chapa na sua frente para as protegerem de embates que a poderiam danificar ou desalinhar.

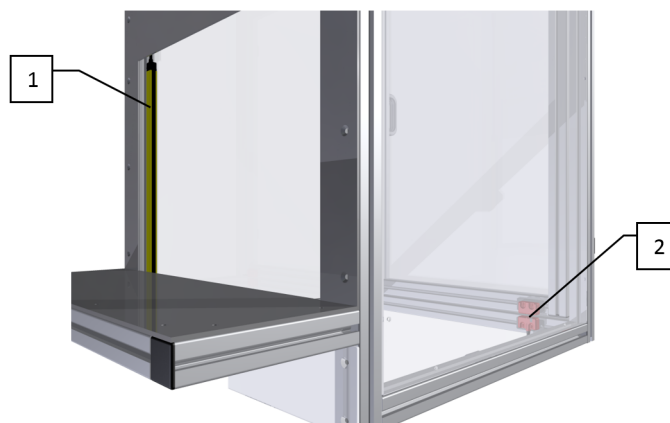


Figura 5.38: Identificação dos componentes de segurança, sendo: 1 - barreiras optoeletrônicas e 2 - Sensor de porta.

O procedimento de emergência não é possível de definir pois o software do próprio robô já contém o procedimento de segurança. Como foi mencionado, caso haja situações que provoquem o procedimento de emergência o robô imobiliza até não se verificar a emergência e o operador pressionar o botão *start*. Durante a situação de emergência o robô perde o posicionamento pois aplica um procedimento de paragem de categoria 0 (corte de alimentação de energia aos elementos de acionamento). Após iniciação, o robô necessita de achar a origem para obter uma referência estando assim impedido de continuar a operação que realizava antes da emergência. Na consola em situações de emergência aparece um aviso em cores avermelhadas (ver figura 5.39) indicando um situação de emergência bem como o procedimento a realizar para reiniciar a máquina.

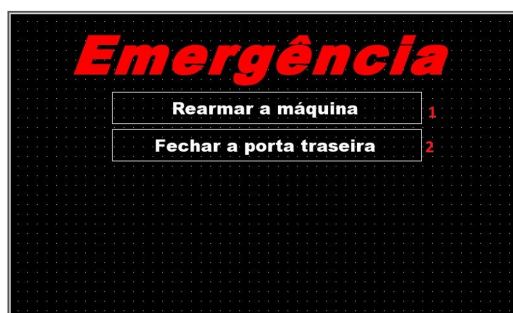


Figura 5.39: Mensagem de emergência no interface.

Como mencionado na diretiva máquinas, todas as situações de perigo que não possam ser eliminadas devem ser advertidas ao cliente, bem como haver sinalização adequada a identificar esses perigos no equipamento. Na figura 5.40, está representada a sinalética usada pela ITEC para sinalizar

situações de perigo.



Figura 5.40: Sinalização a colocar no equipamento para identificação dos perigos.

5.7 Ergonomia

Como se mencionou no capítulo 2.2.4, a Ergonomia é a área científica que trata da compreensão da interação entre o ser humano e outros constituintes do sistema onde ele se encontra, aplicando teorias, princípios e métodos a projetos que visam otimizar o bem-estar humano e o desempenho dos sistemas. Um dos objetivos deste equipamento é ser *user-friendly*, ou seja, teve-se em atenção aspetos ergonómicos no projeto do mesmo, uma vez que é o operador que coloca e retira o produto. Neste projeto, teve-se em atenção a altura do posto de trabalho, a área de trabalho, o alcance à mesma, o campo de visão e a iluminação. A altura do posto de trabalho é cerca de 1030 mm, estando compreendido no intervalo indicado no capítulo 2.2.4, que referencia que a altura de trabalho deve estar compreendida entre $1125\text{mm} \pm 100\text{mm}$, contudo, deveria estar mais próximo do valor de referência (1125) mas tal não foi possível, uma vez que se iria ultrapassar a altura máxima do equipamento definida pelo cliente. Para um projeto melhor fundamentado a nível ergonómico, dever-se-ia dispor de informações relativamente às características fisiológicas dos operadores do cliente final, pois assim não se consideravam os valores gerais que podem não corresponder à realidade. Relativamente à área de trabalho, como o operador não tem de realizar operações sobre o produto exceto a sua colocação e extração no sistema de fixação, não existiu um estudo em termos ergonómicos pois a solução desenvolvida apresenta uma área razoável para o operador colocar e extrair o produto sem dificuldades e obstáculos. Contudo, como se observa na figura 5.41, teve-se em atenção para a posição de colocação e extração não ser muito distante do sistema de fixação. Na posição vertical, o operador está a uma distância de cerca de 600 mm do sistema de fixação, contudo, como ele se inclina para colocá-lo, essa distância é inferior. O campo de visão do operador tem uma importância relativa neste equipamento, pois ele não necessita de ter um campo de visão adequado para realizar a tarefa pois a deposição é automática, contudo, da sua posição de espera deve conseguir ver a deposição, pois assim tem a possibilidade de detetar algum comportamento errado e carregar na emergência. Relativamente

à consola, como se mencionou, está colocado aproximadamente ao nível dos olhos do operador. O equipamento possui duas luminárias para se ter uma quantidade de luz correta, pois com a quantidade correta obtém-se uma redução de fadiga prematura, aumento de concentração e redução do risco de erros. Como o equipamento é encoberto por *dibond*, a área de trabalho do robô apresentaria uma luminosidade bastante reduzida caso o equipamento não possuísse uma luminária no interior. Na figura, é possível observar a posição de ambas as luminárias no topo do equipamento a preto, sendo selecionadas luminárias da série *Tameto* da marca *WALDMANN* que têm um iluminância ajustável entre 700 e 1500 lx (valor de referência a uma distância de 1000 mm).

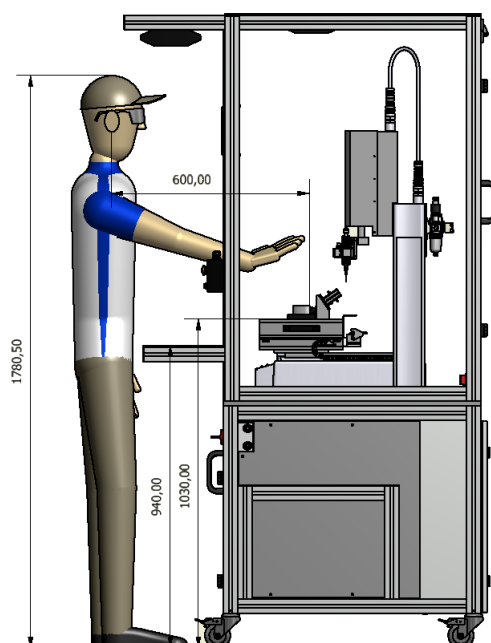


Figura 5.41: Dimensões do equipamento com enfoque nas dimensões de interesse ergonómico.

5.8 Desenhos técnicos

No processo de projeto, após o desenho 3D em software CAD é necessário criar o respetivo 2D para se fabricar os componentes projetados. Para além dos 2D dos componentes, é necessário criar os desenhos de conjunto que irão ajudar na montagem do equipamento, bem como na divisão dos componentes por conjunto. De seguida, aborda-se a nomenclatura praticada pela ITEC na identificação dos componentes, e exemplo de desenho de conjunto e de fabrico.

5.8.1 Nomenclatura adotada pela ITEC

É importante estabelecer uma nomenclatura para a identificação dos ficheiros e desenhos. Para tal a ITEC internamente definiu a seguinte nomenclatura:

- Desenhos técnicos: *BR000xxx.aaa.bb* Em que *BR000xxx* - refere-se ao número adjudicado ao projeto00, *aaa* refere-se ao número do desenho e *bb* refere-se ao sub-número do desenho (caso existam subconjuntos de desenhos de conjunto)
- Desenhos para fabrico: *BR000.xxx.aaa.bb.Vc* - Em que *BR000xxx* refere-se ao número adjudicado ao projeto, *aaa* refere-se ao número do desenho, *bb* refere-se ao sub-número do desenho, caso existam subconjuntos de desenhos de conjunto e *Vc* refere-se à versão do desenho. Os desenhos para fabrico são ficheiros PDF correspondentes aos desenhos técnicos. Estes desenhos são exportados para ficheiro PDF por duas razões: permitir que todos os elementos da equipa de projeto tenham acesso aos desenhos mesmo não tendo um visualizador de ficheiros *dwg* ou *idw* (ficheiros a que correspondem os desenhos 2D gerados pelo *Autodesk Inventor*) e manter um histórico das alterações realizadas nos desenhos, porque o software, apesar de permitir o registo dessas alterações diretamente na folha de desenho, não cria uma nova folha cada vez que é efetuada uma alteração (como é compreensível).

5.8.2 Desenhos de conjunto

Os desenhos de conjunto apresentam como são característicos a identificação dos componentes bem como a respetiva lista de componentes. Na figura 5.42 está representado o desenho de conjunto da ferramenta de *grease*. No apêndice B estão presentes alguns desenhos de conjuntos e de fabrico realizados neste projeto.

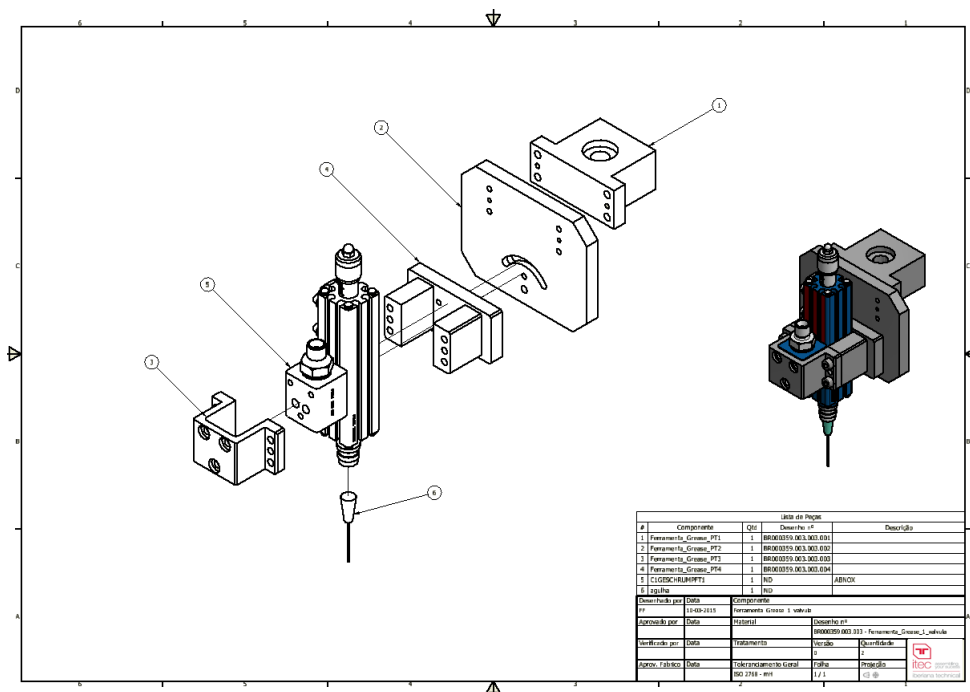


Figura 5.42: Exemplo de um desenho de conjunto.

No desenho é colocado em modo explodido o conjunto bem como na forma montada, pois isto ajuda quem estiver a montar pois entende como se monta e qual o resultado final. A legenda deste desenho está presente na figura 5.43, onde é possível observar a lista de peças com as respectivas quantidades e qual o número do desenho relativamente à nomenclatura adotada. Este conjunto é um sub-conjunto do conjunto três do projeto *BR000359*.


Lista de Peças					
#	Componente	Qty	Desenho nº	Descrição	
1	Ferramenta_Grease_PT1	1	BR000359.003.003.001		
2	Ferramenta_Grease_PT2	1	BR000359.003.003.002		
3	Ferramenta_Grease_PT3	1	BR000359.003.003.003		
4	Ferramenta_Grease_PT4	1	BR000359.003.003.004		
5	C1GESCHRUMPT1	1	ND	ABNOX	
6	agulha	1	ND		
Desenhado por	Data	Componente			
FF	10-03-2015	Ferramenta_Grease_1_valvula			
Aprovado por	Data	Material	Desenho nº		
			BR000359.003.003 - Ferramenta_Grease_1_valvula		
Verificado por	Data	Tratamento	Versão	Quantidade	
			0	2	
Aprov. Fabrico	Data	Toleranciamento Geral	Folha	Projeção	
		ISO 2768 - mH	1 / 1	 itec assembling your success iberiana technical	

Figura 5.43: Detalhe da lista de componentes no desenho de conjunto presente na figura 5.42.

5.8.3 Desenhos de fabrico

Na figura 5.44, está presente o desenho de fabrico do componente BR000359.003.003.003 que faz parte do conjunto anteriormente abordado. De modo a facilitar a leitura, colocou-se as furações em coordenadas.

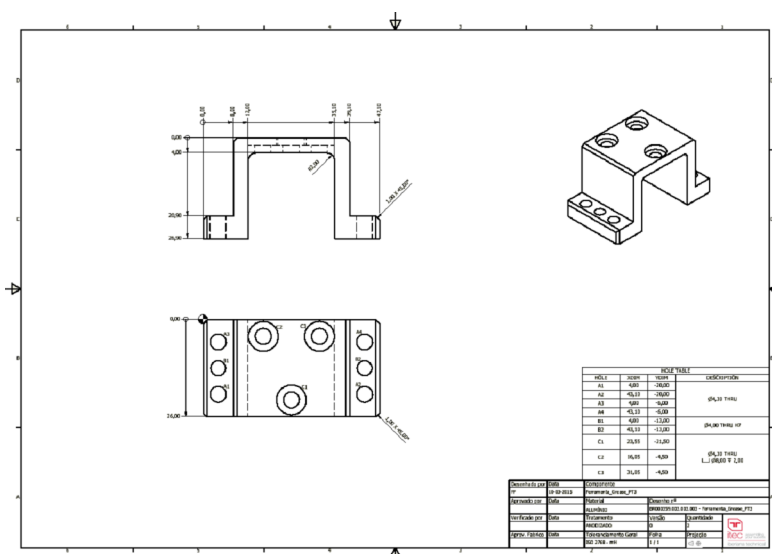


Figura 5.44: Exemplo de um desenho de fabrico.

Na figura 5.45, está presente a legenda do desenho onde é possível identificar a descrição das furações, a quantidade de peças, o material e o tratamento. Em relações às furações, observa-se que

HOLE TABLE				
HOLE	XDIM	YDIM	DESCRIPTION	
A1	4,00	-20,00	Ø4,30 THRU	
A2	43,10	-20,00		
A3	4,00	-6,00		
A4	43,10	-6,00		
B1	4,00	-13,00	Ø4,00 THRU H7	
B2	43,10	-13,00		
C1	23,55	-21,50	Ø4,30 THRU └─┘ Ø6,00 ∇ 2,00	
C2	16,05	-4,50		
C3	31,05	-4,50		

Desenhado por	Data	Componente		
FF	10-03-2015	Ferramenta_Grease_PT3		
Aprovado por	Data	Material	Desenho nº	
		ALUMÍNIO	BR000359.003.003.003 - Ferramenta_Grease_PT3	
Verificado por	Data	Tratamento	Versão	Quantidade
		ANODIZADO	0	2
Aprov. Fabrico	Data	Toleranciamento Geral	Folha	Projeção
		ISO 2768 - mH	1 / 1	1st angle

Figura 5.45: Detalhe da legenda do desenho de fabrico presente na figura 5.44.

os furos B têm um toleranciamento H7, uma vez que são furações para a colocação de pinos de guiamento.

Capítulo 6

Resultado final

Neste capítulo apresenta-se o equipamento final apresentado ao cliente, bem como uma abordagem geral aos componentes do mesmo. Por fim, apresenta-se uma análise sobre os erros do projeto e pontos de melhoria.

6.1 Equipamento construído

O equipamento semi-automático de deposição de *grease* desenvolvido encontra-se na figura 6.1. Na figura é possível observar os dois equipamentos de deposição bem como o alimentador de *grease* à esquerda.



Figura 6.1: Resultado final. Na figura está presente os dois equipamentos e o alimentador de *grease*.

O alimentador na posição de funcionamento fica atrás dos dois equipamentos, havendo um tubo hidráulico a ligar o alimentador aos dois equipamentos. Para além do tubo hidráulico, existe também um cabo elétrico proveniente do sensor de fim de curso dos cilindros do alimentador que indica quando o depósito com *grease* está vazio. Na figura 6.2, encontra-se uma imagem durante a monta-

gem do equipamento, o sistema de fixação do produto e o sistema de doseamento. Nesta imagem é possível identificar os vários constituintes do equipamento, como o robô cartesiano, o tubo hidráulico, a consola de programação, luminária interior e exterior entre outros.

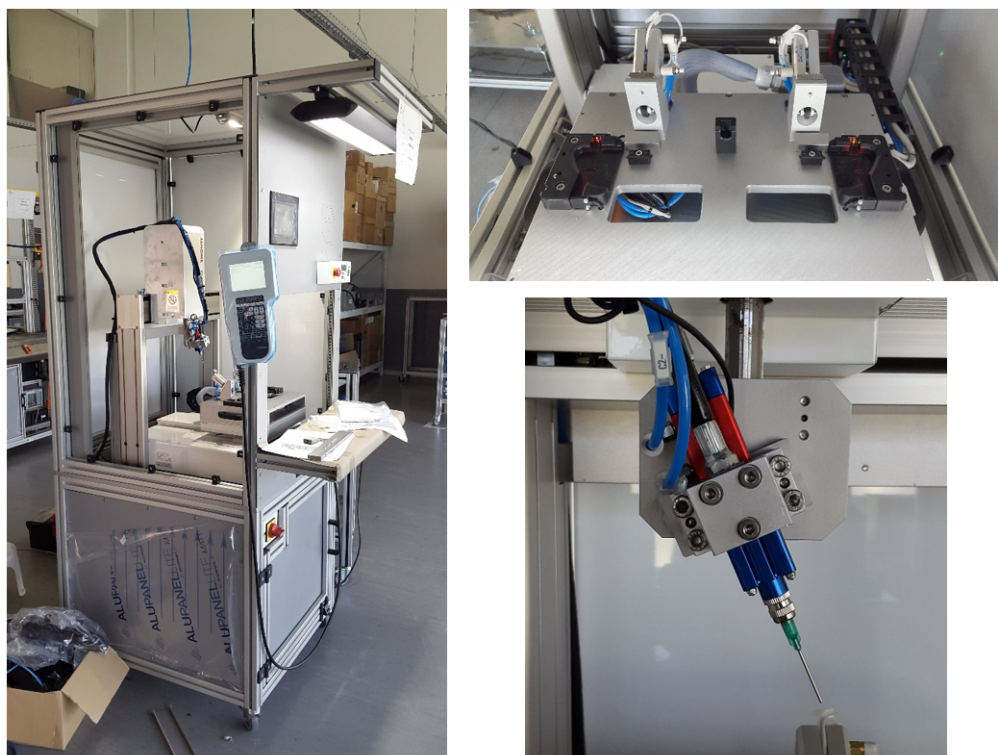


Figura 6.2: Equipamento durante montagem com detalhe do sistema de fixação e ferramenta de deposição.

6.1.1 Ferramenta de doseamento de grease

O sistema de doseamento como se vê na figura 6.3, possui uma gravação na parte de trás para se ter uma referência na inclinação da altura. Para realizar a função pretendida, chegou-se à conclusão que o ângulo ideal é cerca de 23° . Para aumentar a flexibilidade do tubo hidráulico, adaptou-se um prolongamento resistente e flexível ao tubo hidráulico proveniente do alimentador.

6.1.2 Ferramenta de fixação do produto

O sistema de fixação do produto está representado na figura 6.2, e na figura 6.4 é possível observar com maior detalhe o bloqueamento do produto bem como o sensor que identifica a presença do produto. Como é possível observar, a base possui aberturas para a saída dos tubos pneumáticos e fios do sensor.

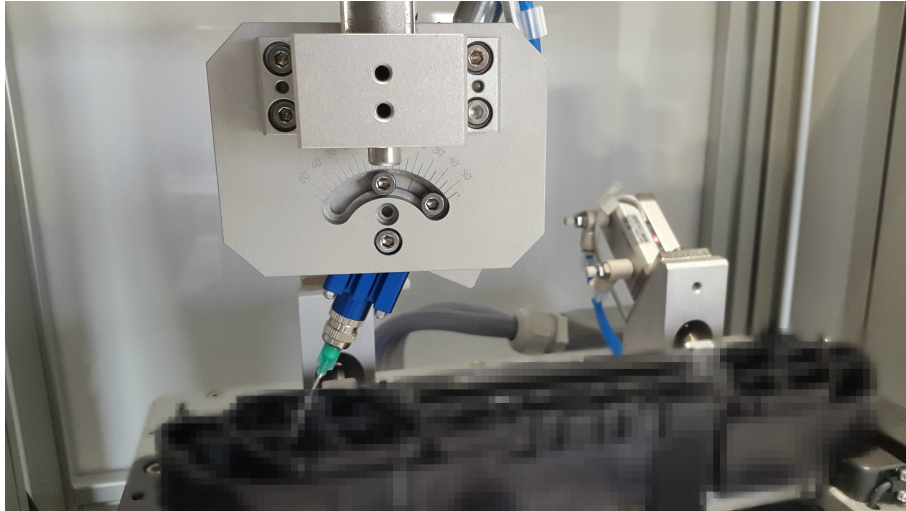


Figura 6.3: Ferramenta de deposição com a gravação do ajuste angular.



Figura 6.4: Na figura à esquerda encontra-se o sistema de bloqueio do produto por rolete e à direita o sensor de deteção do produto.

6.1.3 Alimentador de *grease*

O alimentador de *grease* foi adquirido à *ABNOX* sendo posteriormente inserido numa estrutura em perfil de alumínio 45x45. Esta estrutura possui uma porta frontal para se realizar a troca de balde e outra porta lateral mais pequena para se aceder ao interface homem-máquina do alimentador. Na figura 6.5 está presente o alimentador dentro da estrutura, o sistema de compressão visto de cima e o interface homem-máquina. O alimentador pressiona o *grease* através de dois cilindros na vertical, em que o movimento de recuo eleva a pressão do *grease* obrigando-o a subir pela mangueira. Os sensores de fim de curso dos cilindros corresponde ao estado de balde vazio, comunicando ao *PLC* que impossibilita a continuação do funcionamento até se trocar por um novo balde. O alimentador de *grease* possui um prato no interior específico para o tamanho de balde do cliente bem como uma membrana para garantir a vedação total.

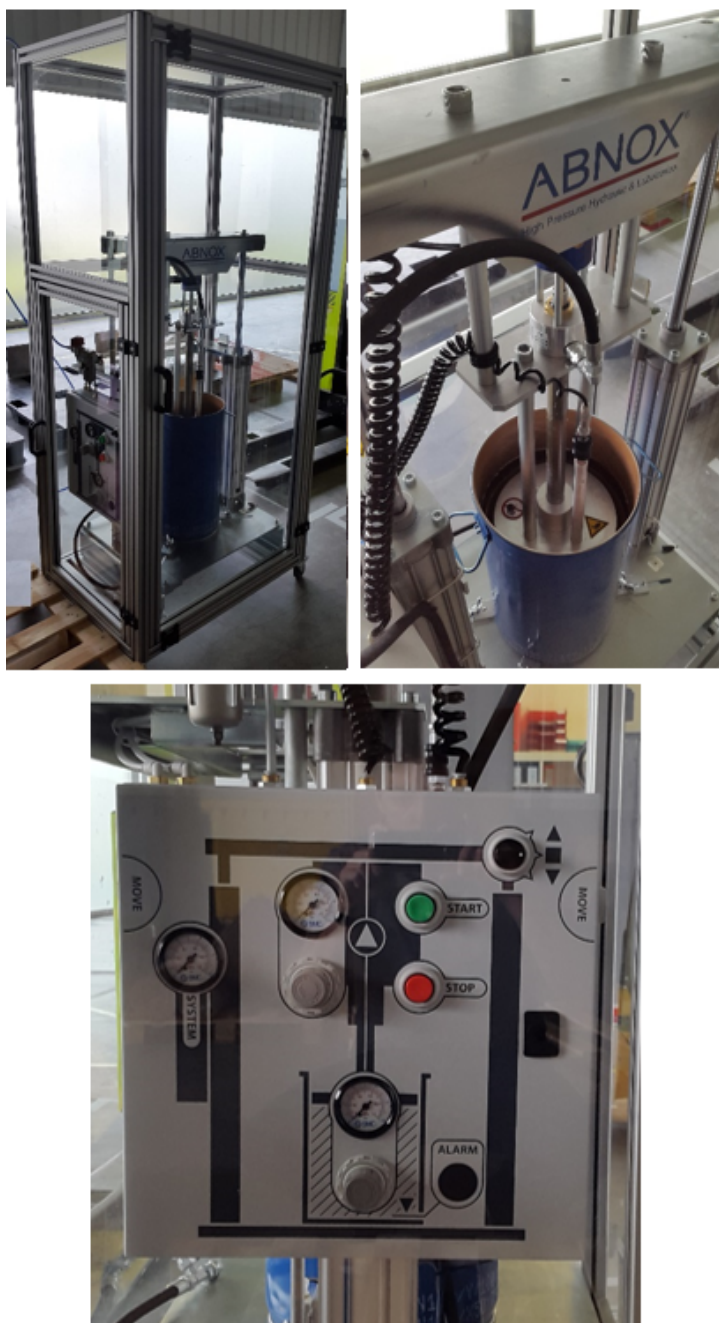


Figura 6.5: Alimentador de *grease* inserido numa estrutura.

6.1.4 Segurança

Como se mencionou no capítulo do projeto detalhado, este equipamento possui barreiras optoeletrônicas e sensores de porta para garantir que o sistema entra em situação de emergência quando o operador entra na área de trabalho durante o funcionamento. Na figura 6.6, é possível observar o sensor de porta e a barreira presente no equipamento.

Os perigos impossíveis de eliminar devem ser identificados recorrendo a sinalética adequada. Na figura 6.7, está presente a sinalética presente neste equipamento que indicam o perigo de choque

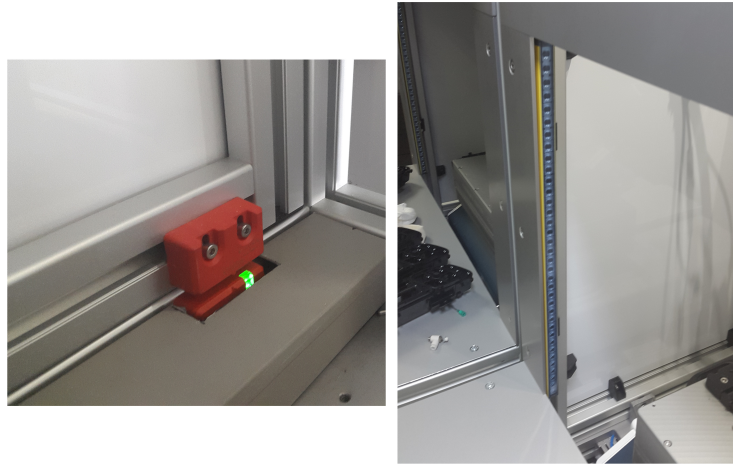


Figura 6.6: Na figura à esquerda o sensor de porta e à direita a barreira optoeletrónica.

elétrico no quadro elétrico bem como o perigo de retirar as proteções. Em termos gerais, este equipamento apresenta poucos riscos para o operador pois o acesso à área de trabalho está devidamente limitado. As zonas em que o acesso é conseguido contêm equipamentos de segurança como barreiras optoelectrónicas e sensores de porta que ativam de imediato a situação de emergência. Contudo, o risco de choque elétrico no quadro é algo que não se pode eliminar, e por essa razão coloca-se sinalética adequada.



Figura 6.7: Sinalética presente no equipamento.

6.1.5 Comercialização

Após a conformidade no processo de validação geral em que se assume que todos os riscos foram reduzidos ao máximo e o equipamento pode ser considerado um equipamento seguro, é emitida a declaração de conformidade e aplicada a marca CE na máquina enquanto se prepara a documentação técnica. Com a máquina é anexado um manual de instruções na língua oficial do país do fabricante e no país do cliente, sendo neste caso a língua Portuguesa. Na figura 6.8, está representado a chapa CE aplicada a cada equipamento bem como a capa do manual de instruções.

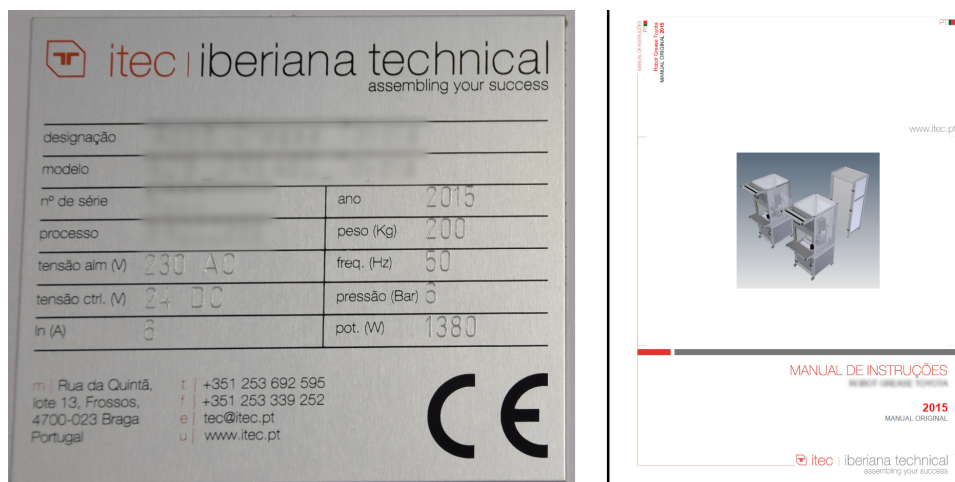


Figura 6.8: Na figura à esquerda a chapa CE presente no equipamento e à direita a capa do manual de instruções.

6.2 Erros de projeto e pontos de melhoria

Como parte do projeto se desenvolve num ambiente virtual, nomeadamente software de CAD levou a que se cometessem erros inadvertidamente. Em relação aos componentes maquinados, o *JIG* do produto necessitou de ser retrabalhado manualmente para eliminar uma saliência que dificultava a colocação. Como o material do *JIG* é *Sustarin* (polímero macio), apenas com uma lixa fina resolveu-se o problema. A montagem dos componentes do sistema de fixação que dão apoio à aba do produto que é calcada revelaram-se difíceis de alinhar e de se definir a posição ideal. O objetivo daquele componente era possibilitar ajustar o local que fazia apoio, contudo, o alinhamento demonstrou-se difícil pois caso fique demasiado para a frente bloqueia o rolete e demasiado para trás não apoia o produto. O tubo hidráulico de *grease* sempre foi uma preocupação neste projeto, pois devido aos movimentos rotacionais da ferramenta de *grease*, a flexibilidade do tubo teria de ser considerável. Na seleção do tubo em si, o fornecedor sugeriu adicionar um tubo hidráulico mais flexível na conexão à válvula e um tubo hidráulico normalizado do flexível até ao alimentador. Contudo, este tubo flexível tem uma pressão máxima de funcionamento inferior à máxima conseguida pelo alimentador e devido a um erro na seleção da pressão de alimentação, o tubo destruíu-se ficando no estado representado na figura 6.9. Para se solucionar o problema contactou-se outro fornecedor de componentes hidráulicos que sugeriu usar tubo hidráulico flexível com pressão máxima de funcionamento superior à do alimentador, resolvendo o problema. Por forma a evitar este tipo de erros, definiu-se que para possíveis trabalhos futuros de sistemas de deposição automáticos de *grease* o tubo hidráulico irá ser incluído no desenho.

Relativamente à programação do robô, o fato de a válvula possuir inclinação e essa ser ajustável

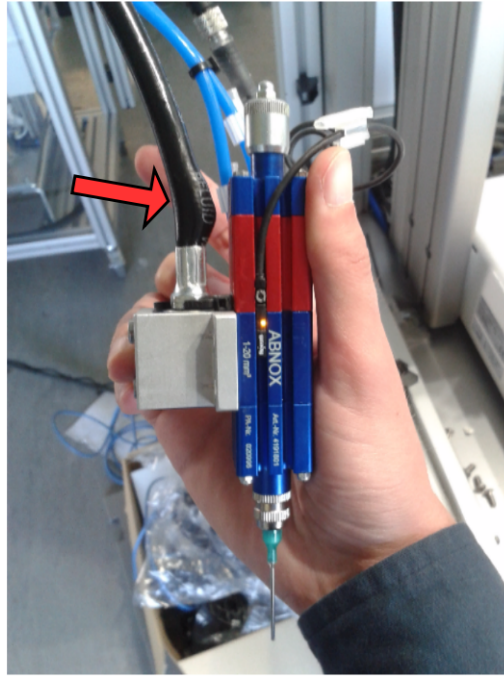


Figura 6.9: Problema ocorrido com a mangueira hidráulica.

demonstrou-se como um grande problema, pois após a configuração manual dos pontos um ajuste na inclinação torna os pontos inválidos. Isto acontece devido à existência do eixo R, que dependendo do ângulo a que se encontra, os valores de x e y são diferentes. Para tal, testou-se qual o melhor ângulo e programou-se todos os pontos, sendo que qualquer ajuste na inclinação necessita de uma completa reprogramação dos pontos de deposição. O erro mais crítico cometido durante o projeto foi a não consideração da rotina realizada pelo robô após emergência, pois como foi projetado a válvula embate no robô. Inicialmente, e sendo a primeira vez que o grupo de trabalho usa robôs de 4 eixos, assumiu-se que a sequência de movimentos realizada pelo robô após emergência pudesse ser definida, contudo isso não se verificou. A rotina do robô para achar o zero de referência dele após emergência, inicia-se com o eixo dos z, seguindo-se o R e posteriormente x e y. O facto de ser inicialmente o eixo Z provoca uma colisão da válvula com o robô quando a ferramenta se encontra com a parte de trás dela virada para a frente da máquina. Este problema foi corrigido com a fabricação de um componente com dimensões superiores, eliminando assim a colisão. De seguida, apresenta-se uma análise de funcionamento ao equipamento onde se aborda questões relacionadas com o desempenho dele em funcionamento.

6.3 Análise de funcionamento

Após se concluir o equipamento, é necessário realizar testes para verificar o funcionamento do mesmo. Com estes testes pretende-se verificar se se conseguiu alcançar o resultado pretendido e

se as especificações definidas pelo cliente foram superadas.

6.3.1 Tempo de ciclo

Como se mencionou anteriormente, a trajetória a seguir pode ser definida automaticamente pelo robô, assumindo-se como sendo a mais curta e supostamente mais rápida. Contudo, nos primeiros testes com esta configuração, verificou-se que o tempo de ciclo de cada equipamento rondava os noventa segundos, sendo assim superior aos 20 segundos de tempo de ciclo para o conjunto dos dois equipamentos. Por análise dos movimentos observou-se que a constante rotação do eixo z torna o processo mais moroso, e com visto a tentar reduzir o tempo de ciclo decidiu-se definir uma trajetória em que se deposita o *grease* nas nervuras com o mesmo ângulo de aproximação e só posteriormente se muda esse ângulo. Como só existe seis diferentes ângulos de aproximação, a aplicação desta trajetória foi facilitada e consegue-se reduzir o tempo de ciclo para cerca de 40 segundos cada equipamento. Com este valor, está-se no limite do tempo de ciclo pretendido pelo cliente de 20 segundos para o conjunto.

6.3.2 Eficiência da deposição de *grease*

Após algum tempo de testes verificou-se que existia pontos que tinha mais *grease* que outros. Isso ficou claramente visível quando se depositou sobre alumínio como se encontra na figura 6.10. Nesta sucessão de pontos identifica-se claramente cinco pontos que tem uma quantidade de *grease* inferior aos outros. Com o contínuo funcionamento do equipamento chegou-se a verificar situações de deposição em falso, isto é, ordem para depositar e nenhum material foi depositado. Após análise cuidadosa do equipamento, verificou-se ser um problema da válvula de deposição de *grease*, devido à passagem de ar da câmara de controlo de abertura para o canal onde se encontra o *grease*. Este problema causa o aparecimento de bolhas de ar no *grease* que chega à agulha, causando assim variações na quantidade de *grease* depositada. Após se inquirir o fornecedor da *ABNOX* sobre o problema, o mesmo aconselhou a substituição dos vedantes por uns novos. Para além disso, reduziu-se a pressão de ar do controlo de abertura para reduzir as fugas existentes. Com a substituição dos vedantes e redução de pressão, o problema elimina-se por completo durante alguns dias de funcionamento, voltando posteriormente à mesma situação. Pressupõe-se que este problema será resolvido com as novas válvulas de deposição a ser enviadas pelo fornecedor, esperando-se que com esse novo modelo estes problemas de fiabilidade e repetibilidade sejam eliminados.

A partir da figura 6.10, é possível calcular a eficiência de deposição do equipamento. Na tabela 6.1 encontram-se os valores dos pontos conforme e não conforme para a amostra de 74 pontos presente na figura 6.10. O cálculo da eficácia foi obtido da seguinte forma:

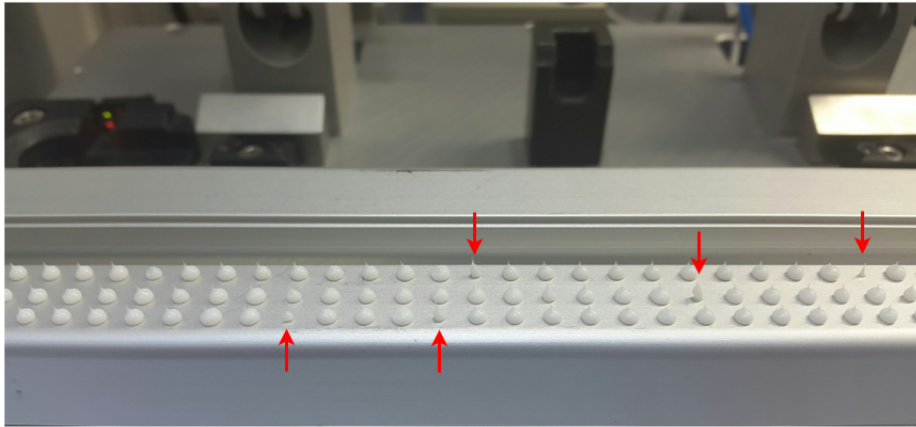


Figura 6.10: Problema ocorrido com a válvula de deposição.

$$\text{Eficácia} = \frac{\text{Pontos conforme}}{\text{Número da amostra}} \times 100\% \quad (6.1)$$

Tabela 6.1: Valores dos pontos conforme e não conforme usados no cálculo da eficiência de deposição para a amostra de 74 pontos.

Tipo de deposição	Número de pontos	Eficiência do equipamento
Conforme	69	~ 93 %
Não Conforme	5	

Pela análise da tabela 6.1, pode-se concluir que o equipamento tem aproximadamente uma eficiência de 93 %, sendo este resultado obtido de uma amostra de 74 pontos. Para a não rejeição do produto o operador verifica os pontos com menor quantidade e coloca *grease* com pistola manual.

Capítulo 7

Conclusão

7.1 Conclusão

A primeira parte desta dissertação foi dedicada ao projeto e aos fatores que o condicionam, tendo-se aprofundado o seu enquadramento, com o desenrolar do texto, ao projeto em engenharia. A metodologia de projeto apresentada fornece um guia, ou algoritmo, bastante abrangente mas não limita a sua personalização por quem o pretenda aplicar. Nenhuma metodologia de projeto deve ser tida como universal, mas cada processo do projeto deve estar bem definido, de modo a que não existam ambiguidades na sua interpretação. A metodologia de projeto de nada vale se não existir também um vasto conjunto de domínios de conhecimentos relativos ao projeto para a manufatura e montagem que imperativamente devem estar devidamente estudados e assimilados. Estes conhecimentos permitem à equipa de projeto optar por soluções mais eficazes e eficientes no que toca à seleção de componentes e à sua geometria. Deve-se também ter conhecimento da Diretiva Máquina, sendo o conhecimento desta matéria imprescindível. Os dispostos presentes na Diretiva pretendem confiar à equipa de projeto um conjunto de ferramentas que permite identificar e avaliar todas as zonas de perigo da máquina e com base nessa avaliação tomar as devidas providências para eliminar ou reduzir o risco e, nas situações em que não seja possível eliminar por completo o risco, selecionar e aplicar sistemas de proteção e, se necessário, informar sobre os riscos remanescentes, assegurando assim que as medidas aplicadas estão a cumprir a sua função. Da mesma forma, a ergonomia apresenta-se como um fator importante no projeto de equipamentos, uma vez, que alturas e posições ergonómicas devem ser respeitadas para proporcionar ao operador posições de trabalho confortáveis. O projeto de um equipamento, com aplicação das temáticas abordadas inicialmente, revelou-se um desafio aliciente. O desenvolvimento do sistema de visão para realizar a inspeção da ferramenta de dispensação foi um grande desafio, contudo os resultados demonstram que o sistema de visão apresenta bastante precisão de medição, característica fundamental para qualquer sistema de medição. Relativamente ao resultado final, os erros de projeto podiam ter sido evitados, nomeadamente os problemas relaciona-

dos com o tubo hidráulico e com o embate em situação de emergência. Porém, a falta de fiabilidade devido à válvula de deposição demonstram que, apesar de fornecedores garantirem que o equipamento *off-the-shelf* tem determinada característica, nem sempre ela se verifica e o que se julgou nunca ser um problema, por vezes é a origem de todos.

7.2 Trabalhos futuros

Analisando o resultado final deste trabalho, pode-se concluir que existe pontos de melhoria e que se poderia implementar outros sistemas no equipamento com o intuito de melhorar o seu desempenho. De modo a melhorar a eficiência de deposição, poder-se-ia experimentar diferentes válvulas de deposição de fornecedores diferentes com o intuito de se avaliar qual a que apresenta melhor fiabilidade. Após esta avaliação, poder-se-ia selecionar a válvula com melhor desempenho e posteriormente desenvolver toda a ferramenta onde a válvula é acoplada. Assim, teria-se conhecimento da fiabilidade da válvula numa fase mais inicial do projeto, em vez de no final do mesmo.

O equipamento concebido tem um funcionamento com controlo em malha aberta, ou seja, coloca-se a válvula na posição de deposição, dá-se ordem para depositar e assume-se que o material ficou depositado. De forma a verificar a deposição, poder-se-ia desenvolver um sistema de visão que iria inspecionar o produto após a deposição de todos os pontos, e caso verificasse um ponto com pouco material ou mesmo sem material poderia ordenar ao robô para repetir aquele ponto ou conjunto de pontos. Com um sistema destes os problemas de repetibilidade, eficiência e fiabilidade seriam eliminados, passando o controlo a ser do tipo malha fechada. Contudo, este novo sistema aumentaria o custo do equipamento, porém, aumentaria significativamente o valor comercial do mesmo uma vez que o equipamento ficaria dotado de um sistema de controlo de qualidade interno.

Referências

- [1] V.-F. P. und Mechatronik, “VDI 2206 “Design methodology for mechatronic systems”,” tech. rep., German work association, 2004.
- [2] N. Cross, *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*. John Wiley e Sons Ltd, 2008.
- [3] G. Pahl and W. Beitz, *Engineering Design*. Springer, 2008.
- [4] G. E. . Dieter and L. C. . Schmidt, *Engineering Design*. McGraw-Hill International Edition, 2011.
- [5] J. Woodark, *Computing Shape*. Butterworths Press, 1986.
- [6] G. Boothroy, P. Dewhurst, and W. Knight, *Product Design for Manufacture and Assembly*. Rhode Island, 1999.
- [7] S. S. Intelligence, “Guidelines -Safe Machinery, Six steps to a safe machine,” tech. rep., SICK, 2008.
- [8] B. R. AG, “Ergonomics Guidebook for Manual Production Systems,” tech. rep., BOSCH, 2013.
- [9] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*. Addison-Wesley, 2002.
- [10] R. Haralick and L. Shapiro, *Image Segmentation Techniques*. CVGIP, 1985.
- [11] M. Sonka and V. Hlavac, *Image Processing, Analysis and Machine Vision*. Thomson Learning, 2008.
- [12] E. Dougherty and R. Lotufo, *Hands-on Morphological Image Processing*. SPIE Press, 2003.
- [13] C. González and R. Zeleng, *Metrología*. McGrawHill, 1995.
- [14] A. Bewoor and V. A. Kulkarni, *Metrology and measurement*. Tata McGraw-Hill Education, 2009.

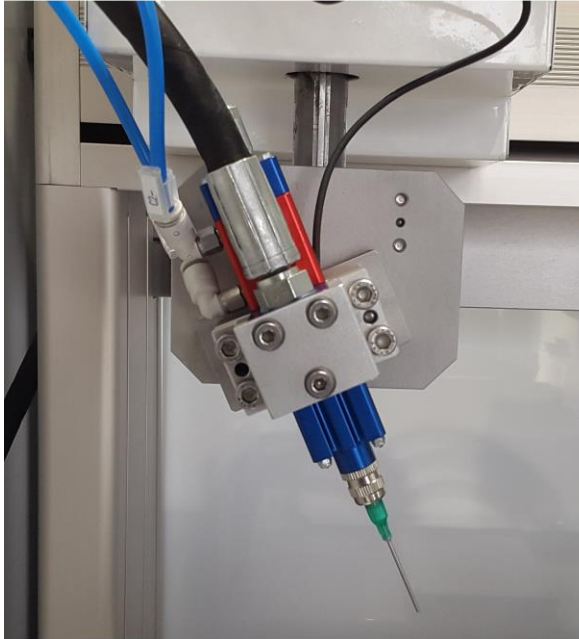
- [15] DYMAX, “Dymax - dispensing.” <https://www.dymax.com/index.php/dispensing>. Acedido em: 2015-03-15.
- [16] Nordson, “Nordson.” <http://www.nordson.com/pt-pt/pages/home.aspx>. Acedido em: 2015-03-17.
- [17] ABNOX, “Abnox - grease supply.” <http://www.abnox.com/htm/566/en/Grease-Supply.htm?Segment=16545>. Acedido em: 2015-03-15.
- [18] T. systems, “Home page.” <http://www.techconsystems.com/en/>. Acedido em: 2015-03-05.
- [19] ABNOX, “Abnox - metering technology.” <http://www.abnox.com/htm/658/en/Metering-Valves-C-Serie.htm?Productcategory=MeteringValvesC-Serie>. Acedido em: 2015-03-15.
- [20] Nptel, “Nptel - robotics configurations.” <http://nptel.ac.in/courses/112103174/module7/lec5/3.html>. Acedido em: 2015-03-18.
- [21] I. servoguides, “IK Series Catalog,” tech. rep., IAI, 2014.
- [22] I. servoguides, “IF Series Catalog,” tech. rep., IAI, 2014.
- [23] Staubli, “Robotic Catalog,” tech. rep., Staubli, 2013.
- [24] Raspberry, “Raspberry - pi2.” <https://www.raspberrypi.org/fresh-model-b-stock-in-production/>. Acedido em: 2015-04-05.
- [25] Anerswallin, “Anerswallin - lathe.” <http://www.anderswallin.net/2008/10/1949-schaublin-lathe/>. Acedido em: 2015-04-05.
- [26] Destaco, “Destaco - manual toggle clamps.” <http://www.destaco.com/horizontal-hold-down-clamps.html>. Acedido em: 2015-02-06.
- [27] I. Electronic, “Sensor Catalog,” tech. rep., IFM, 2014.
- [28] Harting, “Harting - connectors.” <https://b2b.harting.com/ebusiness/en/industrial-connectors-han/1100382>. Acedido em: 2015-02-06.
- [29] A. vision, “Smartcameras - Digital Industrial Cameras,” tech. rep., Allied Vision, 2015.
- [30] N. instruments, “National instruments - smartcameras.” <http://www.ni.com/vision/smartcamera/>. Accessed: 2015-05-12.

- [31] V. engineering, “Vision engineering.” <http://www.visioneng.com/products/digital-inspection/visionz2-full-hd-video-inspection>. Acedido em: 2015-02-08.
- [32] SMC, “SMC products Catalog,” tech. rep., SMC - pneumatics, 2014.
- [33] B. R. AG, “Elementos básicos de mecânica 13.0,” tech. rep., Bosch, 2013.
- [34] OMRON, “Omron - photoelectric sensors.” <https://www.ia.omron.com/products/family/409/>. Acedido em: 2015-05-16.
- [35] JANOME, “Janome - desktop robots.” http://www.janomeie.com/products/desktop_robot/index.html. Acedido em: 2015-05-18.
- [36] Faurecia, “Ergonomics memorandum,” tech. rep., Faurecia, 2011.
- [37] M. da Economia e da Inovação, “Decreto-Lei n.º 103/2008 de 24 de Junho,” tech. rep., Ministério da Economia e da Inovação, Junho 2008.

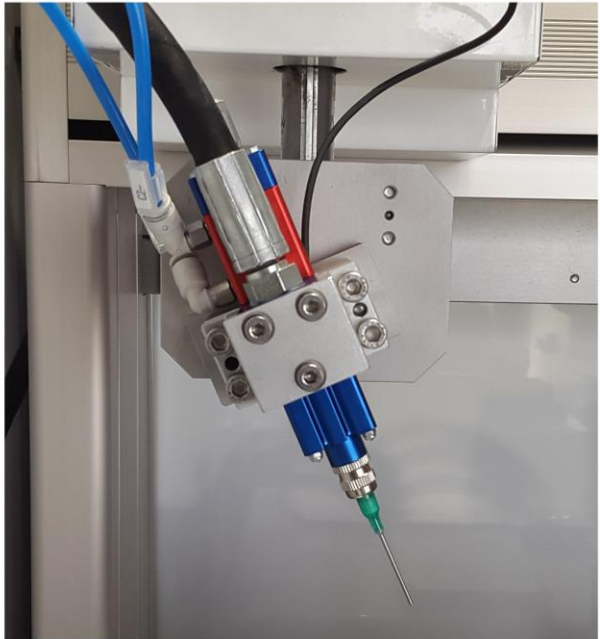
Apêndice A – Imagens utilizadas para o sistema de visão

A.1 - Agulha Grande

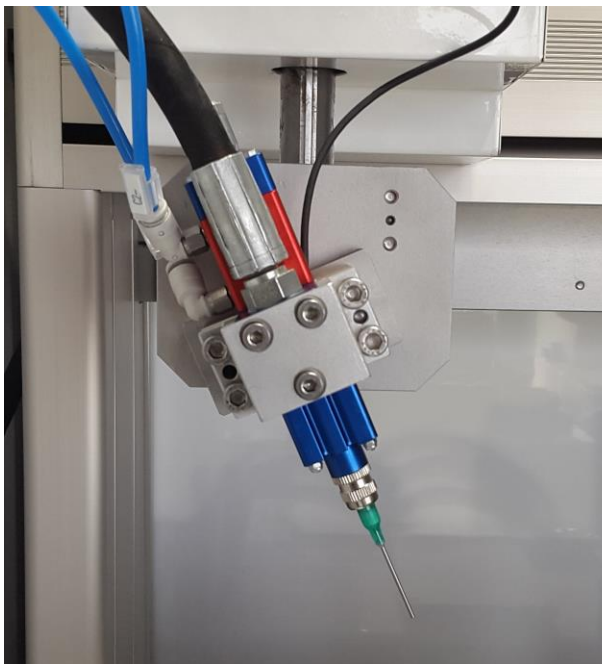
1



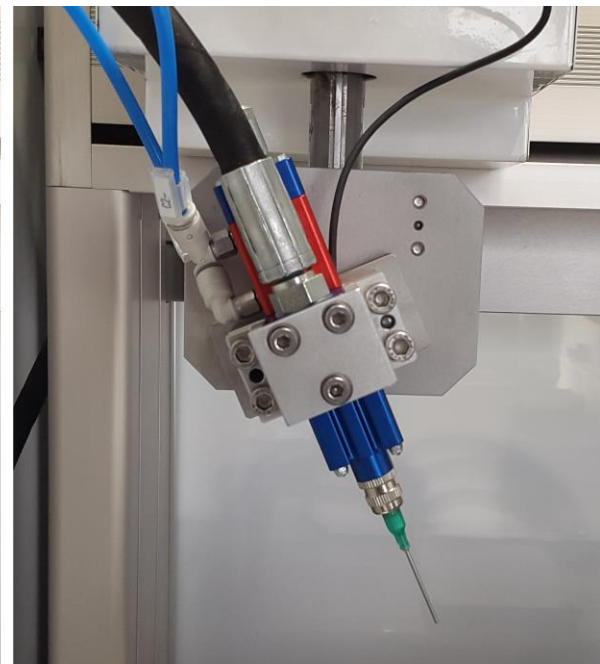
2



3

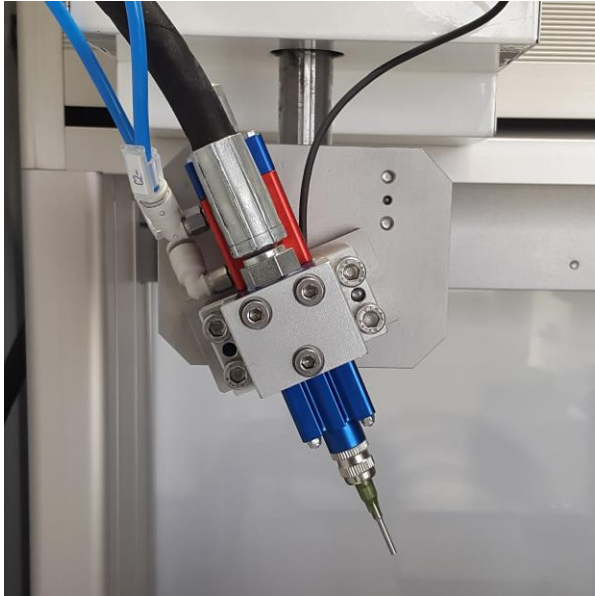


4

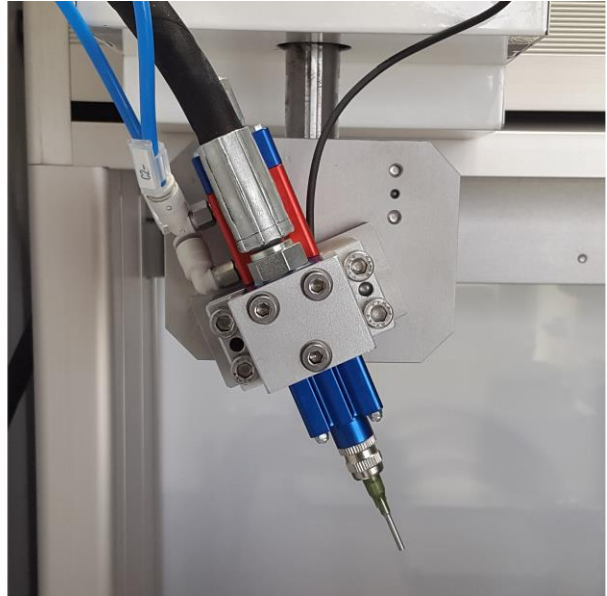


A.2 - Agulha Pequena

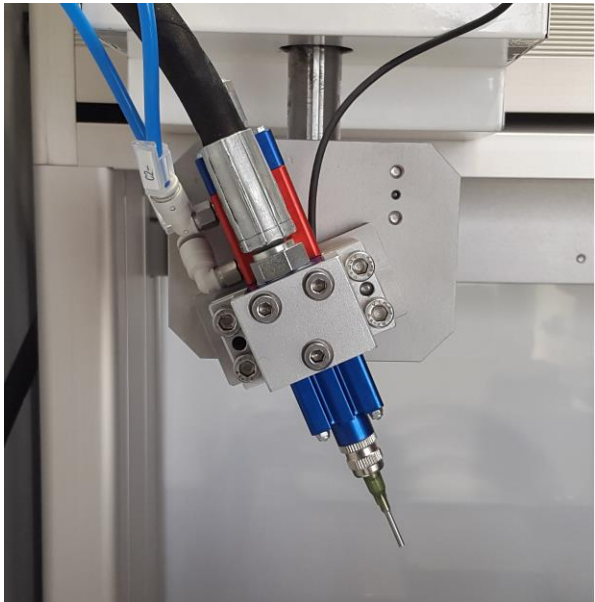
1



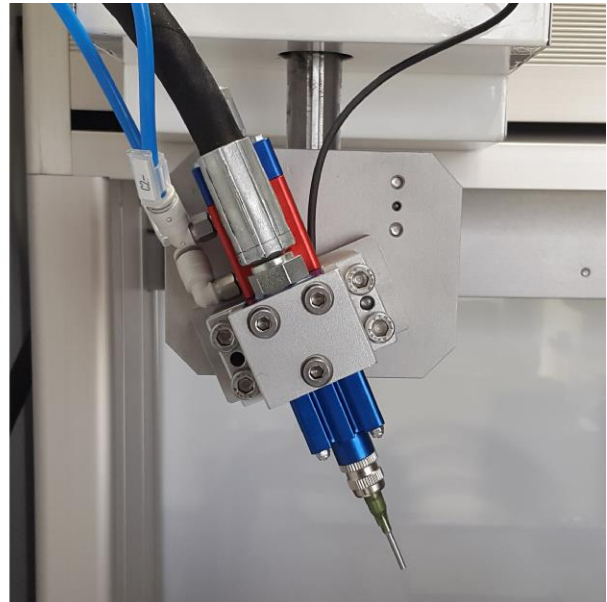
2



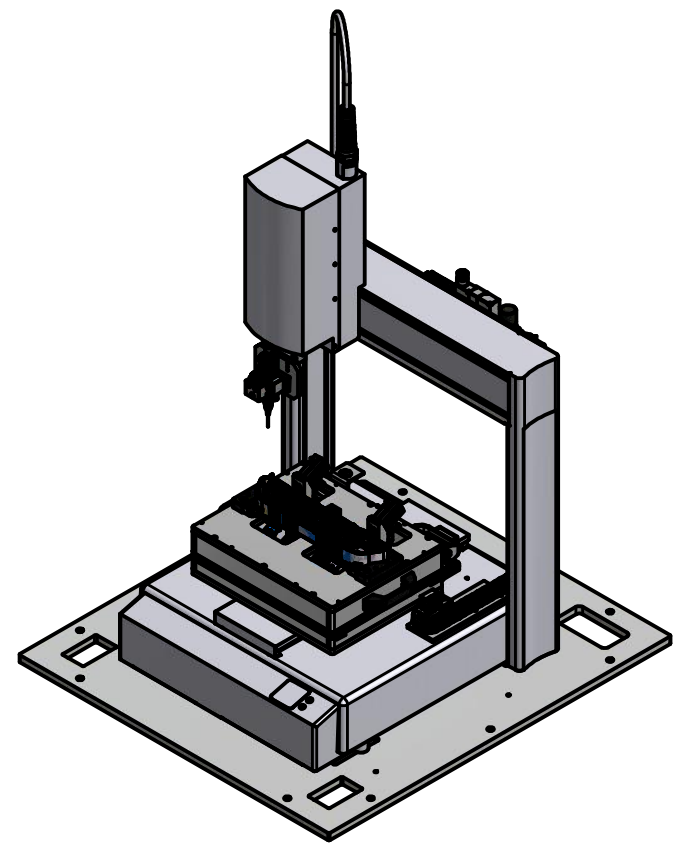
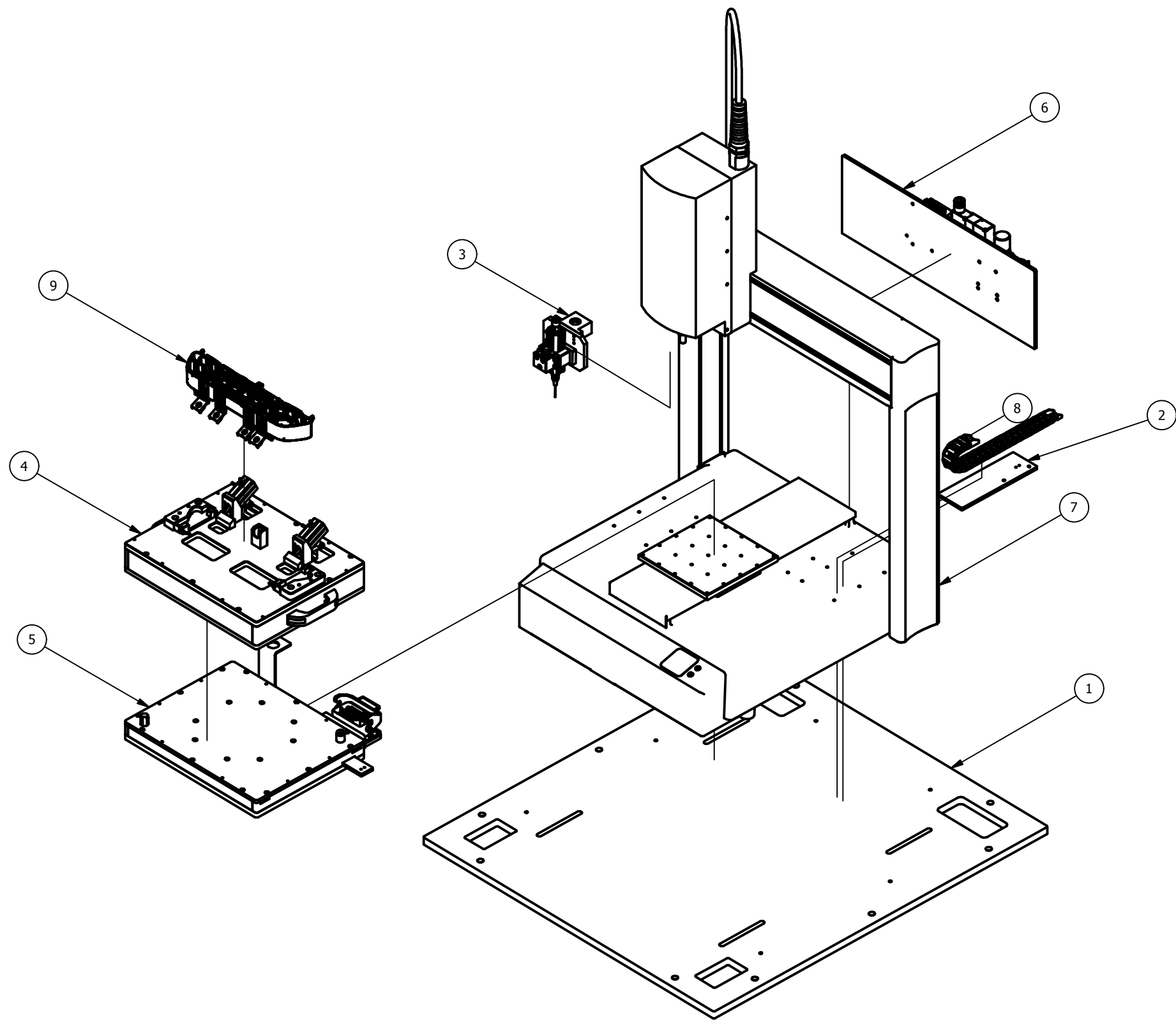
3



4



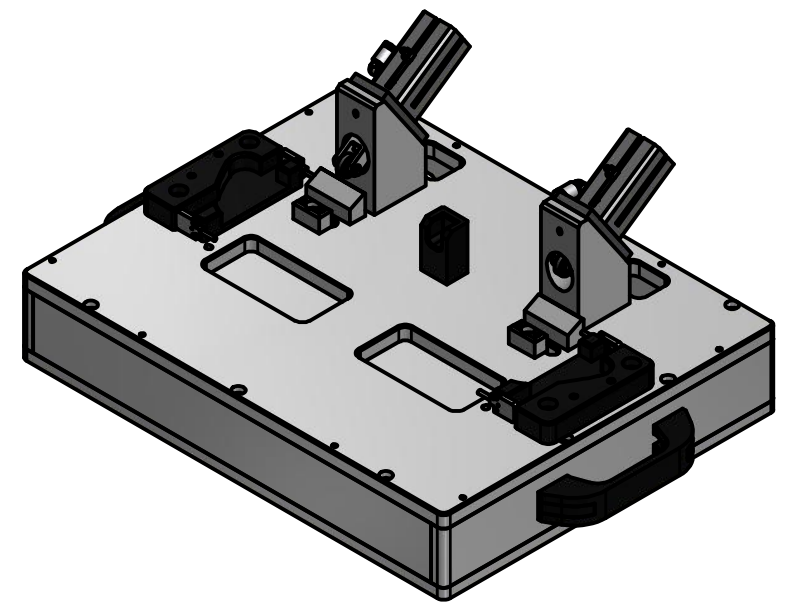
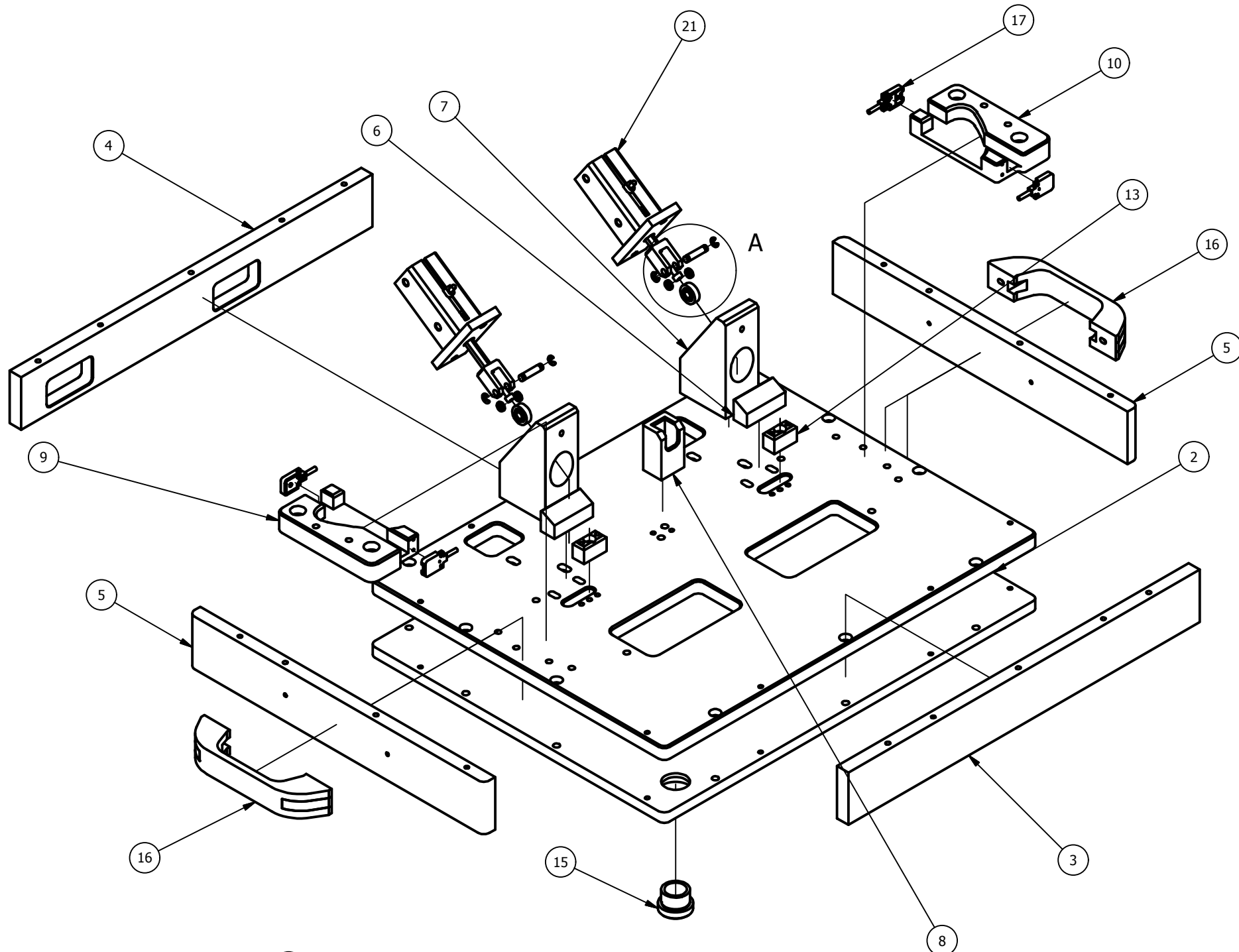
Apêndice B – Desenhos técnicos produzidos



Lista de Peças				
#	Componente	Qty	Desenho nº	Descrição
1	Tampo	1	BR000359.003.001	
2	Chapa_Calha	1	BR000359.003.002	
3	Ferramenta_Grease_1_valvula	1	BR000359.003.003	
4	JIG Superior Toyota	1	BR000359.003.004	
5	Jig Inferior_Toyota	1	BR000359.003.005	
6	Conjunto Pneumática	1	BR000359.003.006	
7	JR2304N(CE)	1	ND	JANOME
8	Z045_16_018_0_195_4	1	ND	IGUS
9	Produtos_Toyota	1	PRODUTO

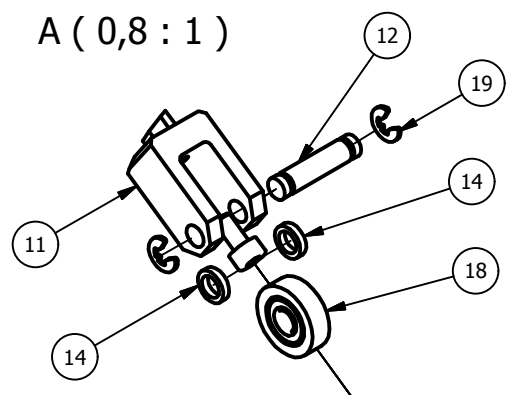
Desenhado por	Data	Componente		
FF	26-02-2015	BR000359 - Plano de trabalho		
Aprovado por	Data	Material	Desenho nº	
			BR000359.003 - Plano de trabalho	
Verificado por	Data	Tratamento	Versão	Quantidade
			0	2
Aprov. Fabrico	Data	Toleranciamento Geral	Folha	Projeção
		ISO 2768 - mH	1 / 1	☐ ⊕

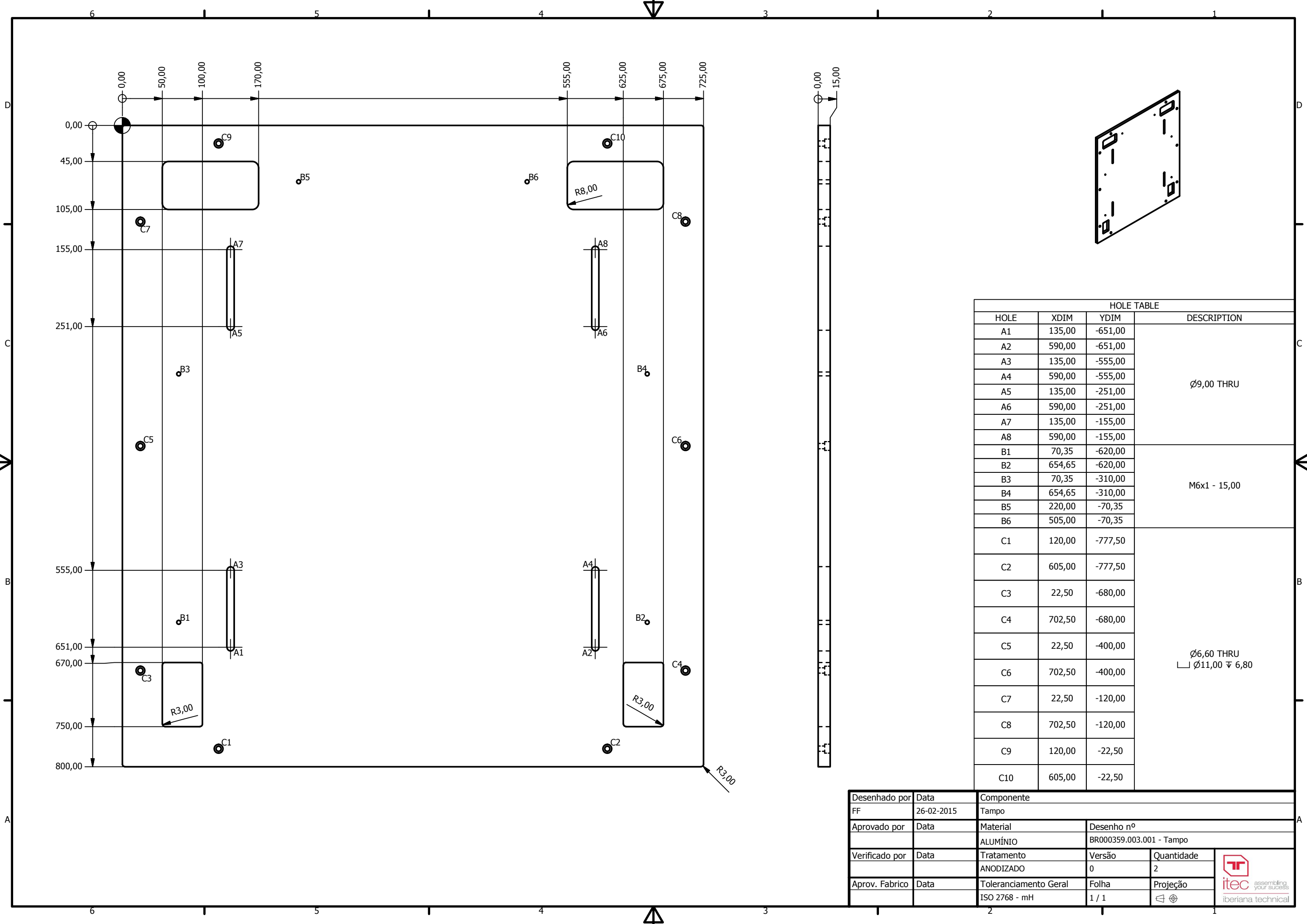




Lista de Peças				
#	Componente	Qtd	Desenho nº	Descrição
1	Jig Superior PT1	1	BR000359.003.004.001	
2	Jig Superior PT2	1	BR000359.003.004.002	
3	Jig Superior PT3	1	BR000359.003.004.003	
4	Jig Superior PT4	1	BR000359.003.004.004	
5	Jig Superior PT5	2	BR000359.003.004.005	
6	JIG Superior PT6	2	BR000359.003.004.006	
7	JIG Superior PT7	2	BR000359.003.004.007	
8	JIG Superior PT8	1	BR000359.003.004.008	
9	Jig_Toyota_PT1	1	BR000359.003.004.009	
10	Jig_Toyota_PT1_MIR	1	BR000359.003.004.010	
11	JIG_Superior PT9	2	BR000359.003.004.011	
12	JiG Superior PT10	2	BR000359.003.004.012	
13	JiG Superior PT11	2	BR000359.003.004.013	
14	JIG Superior PT12	4	BR000359.003.004.014	
15	jbhufp18_p14_00_l10_0_2_03	2	ND	MISUMI
16	Puxador_3842518738	2	ND	Bosch Rexroth
17	E3T_FT13	2	ND	OMRON
18	UMBB4-13	2		MISUMI
19	DIN 6799 - 2,3	4		Retaining Washer
20	ISO 4762 - M3 x 6	2		Hexagon Socket Head Cap Screw
21	CDQSKF12-25D-A93V(0_0_0)	2		SMC :Non-rotating Rod Type

Desenhado por	Data	Componente		
FF	26-02-2015	JIG Superior Toyota		
Aprovado por	Data	Material	Desenho nº	
			BR000359.003.004 - JIG Superior Toyota	
Verificado por	Data	Tratamento	Versão	Quantidade
			0	2
Aprov. Fabrico	Data	Toleranciamento Geral	Folha	Projeção
		ISO 2768 - mH	1 / 1	

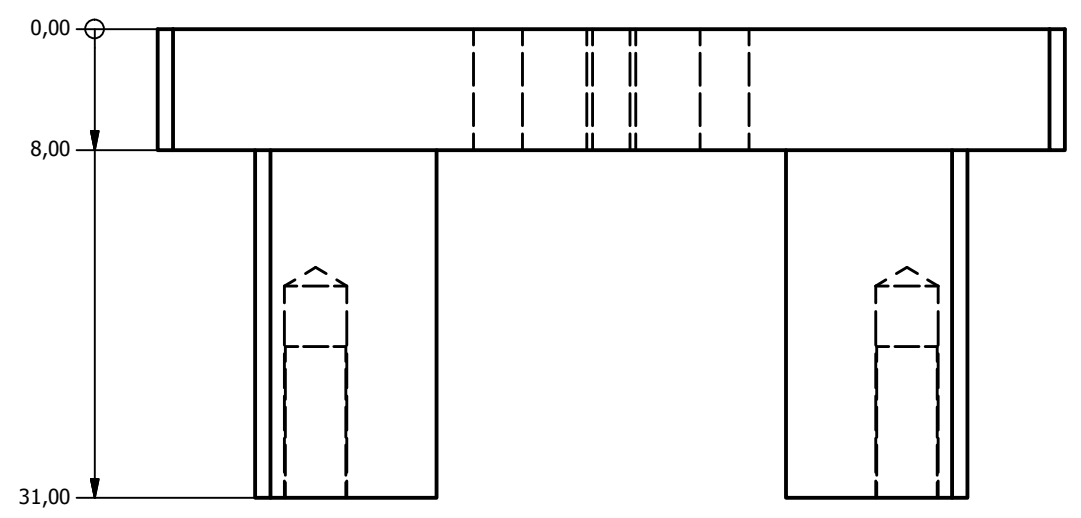
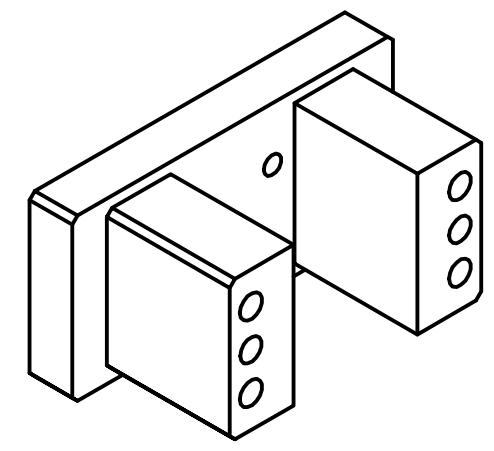
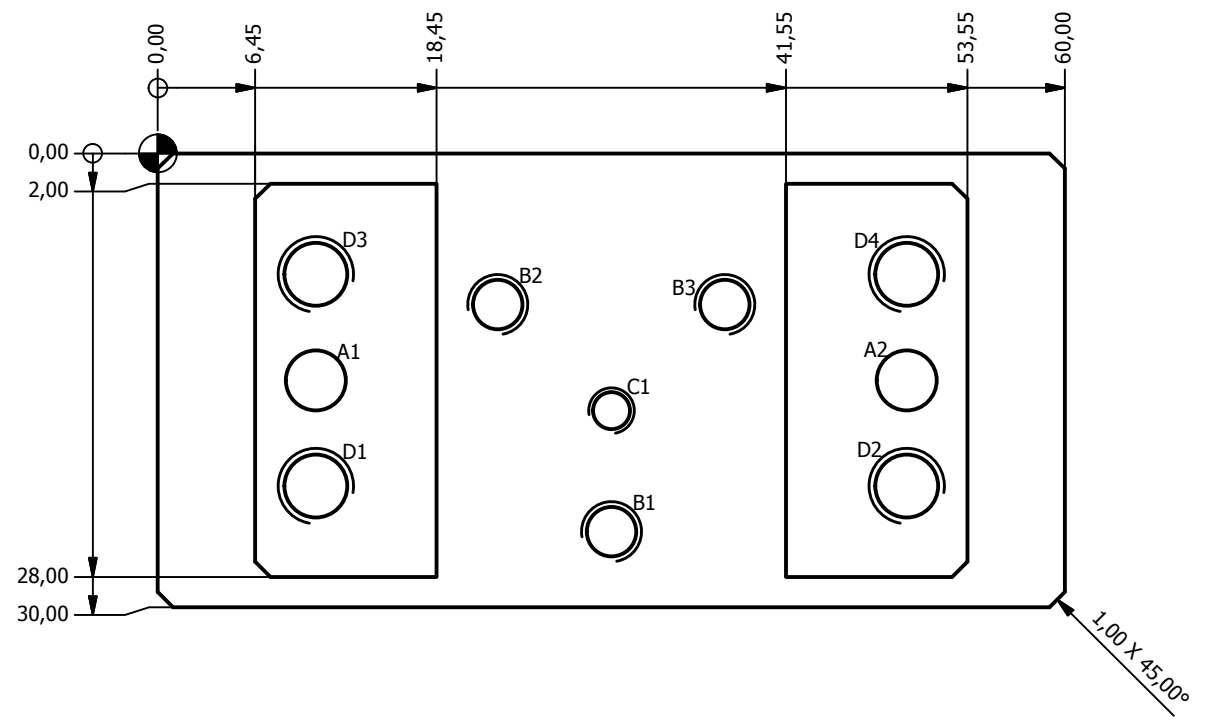




HOLE TABLE			
HOLE	XDIM	YDIM	DESCRIPTION
A1	135,00	-651,00	Ø9,00 THRU
A2	590,00	-651,00	
A3	135,00	-555,00	
A4	590,00	-555,00	
A5	135,00	-251,00	
A6	590,00	-251,00	
A7	135,00	-155,00	
A8	590,00	-155,00	
B1	70,35	-620,00	M6x1 - 15,00
B2	654,65	-620,00	
B3	70,35	-310,00	
B4	654,65	-310,00	
B5	220,00	-70,35	
B6	505,00	-70,35	
C1	120,00	-777,50	Ø6,60 THRU └─┘ Ø11,00 ▽ 6,80
C2	605,00	-777,50	
C3	22,50	-680,00	
C4	702,50	-680,00	
C5	22,50	-400,00	
C6	702,50	-400,00	
C7	22,50	-120,00	
C8	702,50	-120,00	
C9	120,00	-22,50	
C10	605,00	-22,50	

Desenhado por	Data	Componente		
FF	26-02-2015	Tampo		
Aprovado por	Data	Material	Desenho nº	
		ALUMÍNIO	BR000359.003.001 - Tampo	
Verificado por	Data	Tratamento	Versão	Quantidade
		ANODIZADO	0	2
Aprov. Fabrico	Data	Toleranciamento Geral	Folha	Projeção
		ISO 2768 - mH	1 / 1	☐ ⊕





HOLE TABLE			
HOLE	XDIM	YDIM	DESCRIPTION
A1	10,45	-15,00	Ø4,00 -10,00 DEEP H7
A2	49,55	-15,00	
B1	30,00	-25,00	M4x0.7 - 8,00
B2	22,50	-10,00	
B3	37,50	-10,00	
C1	30,00	-17,00	M3x0.5 - 8,00
D1	10,45	-22,00	M5x0.8 - 14,00
D2	49,55	-22,00	
D3	10,45	-8,00	
D4	49,55	-8,00	

Desenhado por	Data	Componente		
FF	10-03-2015	Ferramenta_Grease_PT4		
Aprovado por	Data	Material	Desenho nº	
		ALUMÍNIO	BR000359.003.003.004 - Ferramenta_Grease_PT4	
Verificado por	Data	Tratamento	Versão	Quantidade
		ANODIZADO	0	2
Aprov. Fabrico	Data	Toleranciamento Geral	Folha	Projeção
		ISO 2768 - mH	1 / 1	☐ ⊕

