



Aplicação da Robótica Colaborativa a processos industriais de Injeção polimérica

Francisco Lino

UMinho | 2021

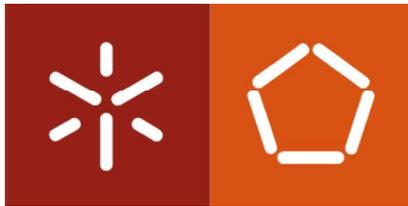


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Francisco Alberto Pereira Lino

**Aplicação da Robótica Colaborativa a
processos industriais de Injeção
polimérica**

Dezembro de 2021



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Francisco Alberto Pereira Lino

**Aplicação da Robótica Colaborativa a
processos industriais de Injeção polimérica**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor António Alberto Caetano Monteiro
Professor Doutor Sérgio Paulo Carvalho Monteiro

Dezembro de 2021

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações

CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à empresa Simoldes Plásticos SA, pela oportunidade de desenvolver um projeto tão motivador, proporcionando-me todas as condições para colocar os meus conhecimentos em prática.

Ao orientador da Simoldes Plásticos, Engenheiro Manuel Baptista da Silva, pela confiança depositada em mim e nas minhas capacidades, apoiando-me em todos os aspetos relacionados com a adaptação ao mundo industrial.

Ao meu orientador da Universidade do Minho, Professor Doutor António Alberto Caetano Monteiro e coorientador Professor Doutor Sérgio Paulo Carvalho Monteiro, por me darem todo o suporte necessário para a escrita desta dissertação e pela prontidão e disponibilidade que tiveram ao longo dos últimos meses.

A todos os colaboradores da Simoldes Plásticos que partilharam comigo os seus conhecimentos, e que me fizeram sentir acolhido numa nova etapa da minha vida.

À minha família e amigos que foram o maior suporte nos momentos mais complicados do meu percurso como estudante.

À Alexandra por ser a minha melhor amiga e companheira de vida, que me dá sempre os seus conselhos sábios e otimistas, acreditando sempre em mim.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

A automatização de sistemas tem sido um dos maiores focos das empresas, não só para melhorarem a eficiência e rendimento geral dos processos de fabrico, mas também para cortar os custos de produção e aumentar a competitividade no mercado. Com esta finalidade, a presente dissertação aborda o projeto e aplicação da robótica colaborativa num processo de fabrico de painéis de porta de automóveis, para a Simoldes Plásticos SA, líder europeia no fabrico de moldes e o maior produtor nacional de peças de injeção polimérica para automóveis.

Com o intuito de se eliminarem os desperdícios temporais na mão de obra do processo de fabrico, foi desenvolvido um sistema autónomo de paletização, que permitiu a melhoria do processo. Neste documento são descritos os procedimentos realizados para desenvolver esse novo sistema, com recurso a robôs colaborativos, sistemas pneumáticos, estruturas metálicas e câmaras de visão computacional. Com a automatização do processo optimizou-se a mão de obra diretamente associada ao fabrico dos painéis em 50 %. Também com as alterações projetadas, reduziram-se os custos associados à mão de obra direta em 33 %, melhorando ao mesmo tempo o controlo e qualidade geral das peças produzidas.

De maneira a perceber o impacto monetário do investimento realizado para automatizar um processo de fabrico desta natureza, foi elaborada uma análise financeira onde se examinaram os custos das propostas de melhoria e o tempo de retorno do investimento.

Por fim, são expostos os resultados obtidos da aplicação do processo na fábrica de Oliveira de Azeméis, presente sede da Simoldes, bem como as possíveis sugestões de melhoria, para dar seguimento à automatização total do processo de fabrico.

PALAVRAS-CHAVE

Automação, Injeção Polimérica, Paletização, Robótica Colaborativa, Visão Computacional

ABSTRACT

Thanks to the great industrial revolution of the present days, systems automation has become one of the companies' main focuses, not only for efficiency and general yield improvement but also to reduce production costs and enhance market competitiveness. For this purpose, the dissertation project relies on collaborative robotics application in a production process of car's door panels, developed in Simoldes Plásticos SA, the European leader in injection molding tools. With the aim of cutting labor time waste, it was developed an autonomous palletization system for the production process. Therefore, the procedures selected to develop this new palletization system took advantage of collaborative robots, as well as pneumatic systems, metal structures and computer vision. The results obtained from the implementation of this new system directly enhanced the labor associated with the process by 50 %. Furthermore, it was also possible to reduce costs by 33 %, improving both control and quality of the produced plastic parts. A financial analysis was also developed in order to be aware of the investment necessary for the the system implementation. Finally, the results obtained with this project are depicted at the end of this dissertation, as well as the suggestions for further work and improvement.

KEYWORDS

Automation; Polymeric Injection; Palletization; Collaborative Robotics; Computational Image Processing

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vi
Índice	vii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xiii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xiv
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento do tema e motivação	1
1.2 Objetivos do trabalho	1
1.3 Apresentação da empresa	2
1.4 Conteúdo e organização da dissertação	5
2. Estado de Arte	7
2.1 Tecnologias da Indústria 4.0	7
2.1.1 Grandes dados (“Big Data”)	8
2.1.2 Simulações	9
2.1.3 Computação em Nuvem (“Cloud Computing”)	10
2.1.4 Internet das coisas (“IoT – Internet of things”)	10
2.1.5 Manufatura aditiva	10
2.1.6 Realidade Aumentada (“AR – Augmented Reality”)	10
2.1.7 Robôs Autónomos	11
2.2 Robôs Colaborativos	11
2.2.1 Segurança e normalização	14
2.3 Projeto Mecatrónico	16
2.3.1 Contextualização do termo “Mecatrónica”	16
2.3.2 Estrutura de sistemas mecatrónicos	18
2.3.3 Metodologia de desenvolvimento da mecatrónica	19
2.4 Visão Por Computador	25

3.	Projeto de Paletização de Peças	27
3.1	Fase 1 - Estado do processo pré-automatização	29
3.1.1	Análise de processo produtivo	29
3.1.2	Espaço de trabalho	34
3.1.3	Tempos e cadências	35
3.1.4	Layout da fábrica	36
3.2	Fase 2 - Propostas de solução	37
3.2.1	Robô colaborativo	40
3.2.2	Controlador e Quadro elétrico.....	42
3.2.3	Sistema Pneumático	47
3.2.4	Manipulador.....	54
3.2.5	Base para robô	59
3.2.6	Estante de peças	66
3.2.7	Sistema de rotação de Estrutura de Paletização.....	73
3.2.8	Câmara de visão artificial	76
3.2.9	Mudança de posição de máquinas	79
3.2.10	Segurança de funcionamento.....	83
3.3	Análise Financeira	87
3.3.1	Custos totais.....	87
3.3.2	Gastos por operador.....	88
4.	Apresentação e Análise de Resultados	91
4.1	Construção da base do robô.....	91
4.2	Construção da estante e do sistema rotativo	92
4.3	Construção do suporte para Câmara de Visão.....	93
4.4	Integração final de todos os sistemas	95
5.	Conclusões	99
6.	Propostas de trabalho futuro	101
7.	Referências Bibliográficas.....	103
	Apêndice 1	106
	Anexo 1	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Logotipo Grupo Simoldes.....	Erro! Marcador não definido.
Figura 2 - Logotipo Simoldes Plásticos.....	2
Figura 3 - Fábricas da Simoldes Plásticos: a) Simoldes Plásticos Oliveira de Azeméis (Sede); b) Simoldes Plásticos Marrocos; c) Simoldes Plásticos República Checa	3
Figura 4 – Alguns dos componentes interiores do automóvel produzidos na Simoldes.....	4
Figura 5 - Alguns dos componentes exteriores do automóvel produzidos na Simoldes	4
Figura 6 – As quatro grandes revoluções Industriais [1].....	7
Figura 7 - Volume de dados/informação criados globalmente desde 2010 e previsão para os próximos quatro anos	9
Figura 8 – Sistemas mecatrónicos de soldadura produzidos pela Yaskawa [18]	16
Figura 9 - Estrutura básica de um sistema mecatrónico.....	18
Figura 10 - Exemplo de uma estrutura hierárquica de um de um sistema mecatrónico complexo	19
Figura 11 – Ciclo de resolução de problemas	20
Figura 12 - Modelo em V como macro ciclo.....	21
Figura 13 - Modelo em V para sistemas com diversos macro ciclos	23
Figura 14 - atividades presentes na projeção do sistema.....	24
Figura 15 - a) Modelação CAD do painel de porta traseiro esquerdo b) Modelação CAD do painel de porta dianteiro esquerdo	27
Figura 16 - Ciclo de fabrico de um painel de porta.....	28
Figura 17 - Robô cartesiano utilizado na Simoldes Plásticos.....	29
Figura 18 - Moinho de gitos.....	30
Figura 19 - Sensor fotoelétrico para verificação de peças incompletas.....	31
Figura 20 - Contentor para peças incompletas e peças não validadas	31
Figura 21- Zona crítica da grelha de som.....	32
Figura 22 - Tipos principais de defeitos que surgem nas peças: a) grelha incompleta devido a falta de material b) excesso de material na grelha.....	33
Figura 23 - Contentor com alvéolos para armazenamento e transporte dos painéis de porta.....	33
Figura 24 - Elevador para empilhamento de contentores.....	34
Figura 25 - Espaço de trabalho inicial	35

Figura 26 - Percentagem temporal de ocupação de um operador no processo de fabrico dos painéis de porta	36
Figura 27 - Planta da nave da SP com representação do circuito do comboio logístico e disposição das máquinas utilizadas para o fabrico dos painéis de porta	37
Figura 28 - Comparação do perfil de trabalho tradicional com o perfil de trabalho após implementação de sistema de paletização	38
Figura 29 - Esboço demonstrativo do tipo de estrutura para paletização de painéis	39
Figura 30 - Etapas para o processo com empilhamento de peças	39
Figura 31 - Robô colaborativo Kassow KR1805.....	40
Figura 32 - Controlador do robô colaborativo e respetiva legenda de botões e ligações	42
Figura 33 - Interface de ecrã tátil para programação do braço robótico	43
Figura 34 - Comunicações existentes entre o controlador e os sistemas periféricos	43
Figura 35 - Quadro elétrico e respetiva legenda de componentes (em conformidade com a Tabela 3).47	
Figura 36 – Componentes de entrada para controlo e limpeza do ar comprimido.....	51
Figura 37 - Sistema de criação de vácuo	52
Figura 38 - Sistema de baixa pressão utilizado para variar pressões de ar	53
Figura 39 - Principais componentes do circuito pneumático do robô	53
Figura 40 - Manipulador com ventosas de sucção do robô cartesiano	54
Figura 41 - Painel de porta traseiro: a) lado visível b) lado técnico.....	55
Figura 42 - Painel traseiro e frontal sobrepostos. O círculo vermelho corresponde a uma zona que não pode ser obstruída, e as zonas verdes correspondem aos locais comuns às duas peças que podem ser estudados para realizar a pega da peça.....	56
Figura 43 - 3 zonas escolhidas para o estudo de pega na peça	56
Figura 44 – Esboço da geometria do manipulador para o robô	57
Figura 45 - Locais específicos do painel de porta traseiro onde a ventosa irá estabelecer contacto com a peça.....	57
Figura 46 - Ventosas de sucção utilizadas para o manipulador do robô colaborativo	58
Figura 47 - Manipulador completo projetado para o robô	58
Figura 48 - Base de robô fixa.....	59
Figura 49 - montagem do quadro elétrico e vista explodida da sua montagem na base do robô.....	60
Figura 50 - Suporte do controlador em formato de gancho.....	61
Figura 51 - Chapas de cobertura da base para proteger e esconder cablagens.....	61

Figura 52 - Modelação do robô com controlador, componentes pneumáticos e quadro elétrico.....	62
Figura 53 - Robô na posição mais afastada	63
Figura 54 - Cargas remotas dos centros de gravidade dos componentes em estudo	64
Figura 55 - Resultados da simulação de análise de elementos finitos	66
Figura 56 - Localização dos pontos para os pinos de paletização da estante.....	68
Figura 57 - Sobreposição das peças para validação de pontos de suporte	68
Figura 58 - Empilhamento desejado para os painéis de porta frontais	69
Figura 59 - Modelo de estante para paletização dos painéis.....	70
Figura 60 - Distâncias entre pino da estrutura e centro de gravidade do painel frontal	71
Figura 61 - Diagrama de corpo livre dos pinos de suporte.....	71
Figura 62 - Resultados obtidos da análise estrutural da estante de paletização.....	72
Figura 63 - Barras de reforço dos pinos da estante	73
Figura 64 - Equipamento dimensionado por fornecedor para rotação de estante	74
Figura 65 - Vista em corte do sistema de rotação	75
Figura 66 - Câmara de visão artificial industrial.....	76
Figura 67 - Estrutura de suporte da câmara de visão: a) vista da estrutura total b) vista explodida dos componentes de fixação e ajuste da câmara c) componentes de ajuste e suporte da câmara montados	78
Figura 68 – Ilustração das conexões existentes na câmara industrial	79
Figura 69 - Nova disposição de máquinas na fábrica	80
Figura 70 - Funcionamento de dois robôs de máquinas distintas com apenas uma câmara de análise.....	81
Figura 71 - Vista aérea da nova proposta de espaço de trabalho com dois robôs colaborativos	82
Figura 72 - Sensores laser de segurança para monitorizar zonas de proximidade dos robôs [32].....	84
Figura 73 - Zonas de vigilância dos sensores de segurança.....	85
Figura 74 - Arco de proteção contra colisão	85
Figura 75 - Detalhes da construção da base para o robô: a) base do robô b) ganhos para suporte do controlador c) controlador e quadro elétrico colocados na base d) sistema pneumático.....	91
Figura 76 - Fases de construção do manipulador.....	92
Figura 77 - Estrutura de paletização	92
Figura 78 - Sistema de rotação.....	93
Figura 79 - Software de análise da grelha do painel de porta.....	94
Figura 80 - Estrutura de suporte da câmara de visão	94

Figura 81 – Desmontagem de máquinas e mudança de localização para formar novo espaço de trabalho	95
Figura 82 - Colocação do primeiro robô e estante com sistema de rotação.....	95
Figura 83 – Robô a realizar a paletização a) pega da peça no robô cartesiano b) análise da grelha pela câmara de visão c) colocação da peça na estrutura	96
Figura 84 - Resultado final da percentagem temporal da alocação de tempo do operador nas diferentes tarefas do processo de fabrico dos painéis de porta.....	97

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução dos braços robóticos industriais.....	13
Tabela 2 - Especificações técnicas do robô colaborativo Kassow KR1805.....	41
Tabela 3 - Componentes utilizados no quadro elétrico.....	44
Tabela 4 - Componentes do sistema pneumático.....	48
Tabela 5 - Características do material selecionado para a estrutura da base	63
Tabela 6 - Coordenadas dos centros de gravidade das cargas remotas aplicadas na base do robô	64
Tabela 7 - Características da malha para o modelo da estrutura	65
Tabela 8 - Materiais utilizados na estante metálica.....	72
Tabela 9 - Ligações efetuadas no conector de 6 pinos	79
Tabela 10 - Sinalização luminosa de estado do robô e sistema rotativo	86
Tabela 11 - Possíveis estados luminosos do indicador do robô.....	86
Tabela 12 - Custos considerados para cálculo de operações.....	87
Tabela 13 - Custos associados ao fabrico dos componentes de automatização do processo dos painéis	88
Tabela 14 - Custos anuais por operador	88

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

CHR	Colaboração Homem - Robô
CS	Coeficiente de segurança
HG	Hand Guiding
IoT	Internet of Things
MOD	Mão de Obra Direta
PFL	Power and Force Limiting
SMS	Safety-rated Monitored Stop
SSM	Speed and Separation Monitoring
SP	Simoldes Plásticos
VDI	Verein Deutcher Ingenieure
VW	Volkswagen

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema e motivação

Esta dissertação foi desenvolvida no âmbito do Mestrado de Engenharia Mecânica em sistemas Mecatrónicos da Universidade do Minho. Todo o trabalho foi realizado em ambiente empresarial, entre os meses de janeiro e novembro de 2021, no departamento de Engenharia de Processo da *Simoldes Plásticos S.A.* Esta empresa multinacional dedica-se ao fabrico de peças poliméricas injetadas para a indústria automóvel e está situada em Oliveira de Azeméis. O projeto realizado ao longo destes meses consistiu na automatização de um processo industrial de injeção com recurso à robótica colaborativa e visão computacional.

Com toda a competitividade industrial da atualidade, todas as empresas que pretendem destacar-se e evoluir no mercado têm de inovar e investir na melhoria continua dos seus processos. A transformação digital pela qual todas as indústrias se deparam tem crescido a um ritmo muito elevado, daí o surgimento do conceito de quarta revolução industrial (Indústria 4.0). Nesta, os sistemas estão cada vez mais interligados entre si e com as pessoas, sendo que a perspetiva de sucesso de cada empresa está relacionada com a capacidade de adaptação e resposta a todas estas mudanças. Devido ao facto do hardware e software disponível no mercado estar cada vez mais modernizado, bem como aos seus custos de implementação se terem tornado mais acessíveis, a *Simoldes Plásticos* lançou o desafio de tentar aplicar alguns destes conceitos num processo já existente nas suas instalações.

Tendo em conta todos estes fatores, é certamente muito vantajoso para a empresa apostar num projeto deste tipo que pode trazer benefícios não só para a *Simoldes*, mas para todas as indústrias que com ela trabalham a curto e longo prazo.

A mencionada nova era industrial é de grande interesse pessoal e motivou o desenvolvimento desta dissertação, permitindo aliar o percurso académico percorrido e conceitos teóricos às necessidades da empresa que são uma realidade.

1.2 Objetivos do trabalho

Qualquer alteração que se faça num processo industrial, por mais pequena que seja, pode ter uma grande influência em diversos fatores. Como tal, com este trabalho era pretendido reconfigurar totalmente um processo industrial para serem avaliados os impactos e mais valias do uso de novas tecnologias na produção, assim como o seu impacto global no desempenho da fábrica.

Pretende-se com esta dissertação, não só realizar o estudo da melhor utilização dos robôs colaborativos e câmaras de visão por computador num processo de injeção polimérica, como também terminar o estágio curricular com os robôs e sistemas estudados aplicados em funcionamento na fábrica.

Com a aplicação da robótica colaborativa e de sistemas de visão computacional, era esperado conseguir no final do projeto:

1. Otimizar a mão de obra direta na produção
2. Melhorar a qualidade e o controlo das peças
3. Otimizar o espaço de trabalho
4. Aumentar a segurança e ergonomia

1.3 Apresentação da empresa

O *Grupo Simoldes* nasceu em 1959 e destinava-se ao mercado interno de produção de moldes para a injeção de brinquedos e eletrodomésticos. Começou a exportar os seus produtos em 1961, passando a dedicar-se ao fabrico de moldes de injeção para o setor automóvel em 1968. Embora a década de 70 seja caracterizada como uma altura de forte recessão económica nacional, foi nesta altura que a empresa *Simoldes* realizou um enorme investimento em equipamento e funcionários qualificados, conseguindo corresponder à alta procura existente no mercado de moldes de injeção. Graças a isso, o grupo empresarial definiu a indústria automóvel como o seu principal setor de clientes até aos dias de hoje.

No início dos anos 80, com o aparecimento das instalações fabris da Renault em Portugal, o Grupo optou por começar a injetar peças poliméricas, uma vez que já possuía parte do mercado de fabrico dos moldes dessas peças, bem como das relações criadas com os clientes de destino do produto. Foi então que surgiu a *Simoldes Plásticos* em Oliveira de Azeméis, a primeira fábrica do grupo dedicada exclusivamente à injeção de plásticos, e local onde se realizou o trabalho apresentado nesta dissertação.



Figura 1 - Logotipo Simoldes Plásticos

Atualmente, a *Simoldes* divergiu as suas vertentes criando duas divisões industriais: uma de Plásticos e outra de Aços. O grupo já conta com um total de 24 fábricas, sendo que a divisão de Plásticos está atualmente presente em Espanha, França, Brasil, Polónia, República Checa e Marrocos (Figura 2).

Os seus principais clientes são o grupo *Volkswagen* (detentor das marcas *Audi*, *Porsche* e *Seat*) e o grupo *PSA* (que integra a *Peugeot*, *Citroen* e *Opel*). Para além das anteriormente mencionadas, o *Grupo Simoldes* também realiza projetos para outras marcas como a *Renault*, *Volvo*, *Honda*, *Toyota*, entre outras.



Figura 2 - Fábricas da Simoldes Plásticos: a) Simoldes Plásticos Oliveira de Azeméis (Sede); b) Simoldes Plásticos Marrocos; c) Simoldes Plásticos República Checa

O sucesso deste grupo empresarial deve-se muito à sinergia dos seus recursos, aliado ao facto de conseguir produzir os seus próprios moldes onde posteriormente se faz a injeção das peças. O domínio de ambos os ramos (moldes e injeção) garantem um modelo de negócio sem intervenientes na produção do produto final, fator que é também interessante para os clientes. Com esta boa relação, existe maior possibilidade de introduzir inovações no desenvolvimento de produto, bem como uma maior capacidade de colaboração com os próprios clientes. Este tipo de desempenho é reconhecido pelo mercado, daí a elevada participação em projetos com grandes empresas de renome no ramo automóvel.

Alguns dos componentes de automóveis produzidos pela *Simoldes* podem ser consultados nas Figura 3 e Figura 4.

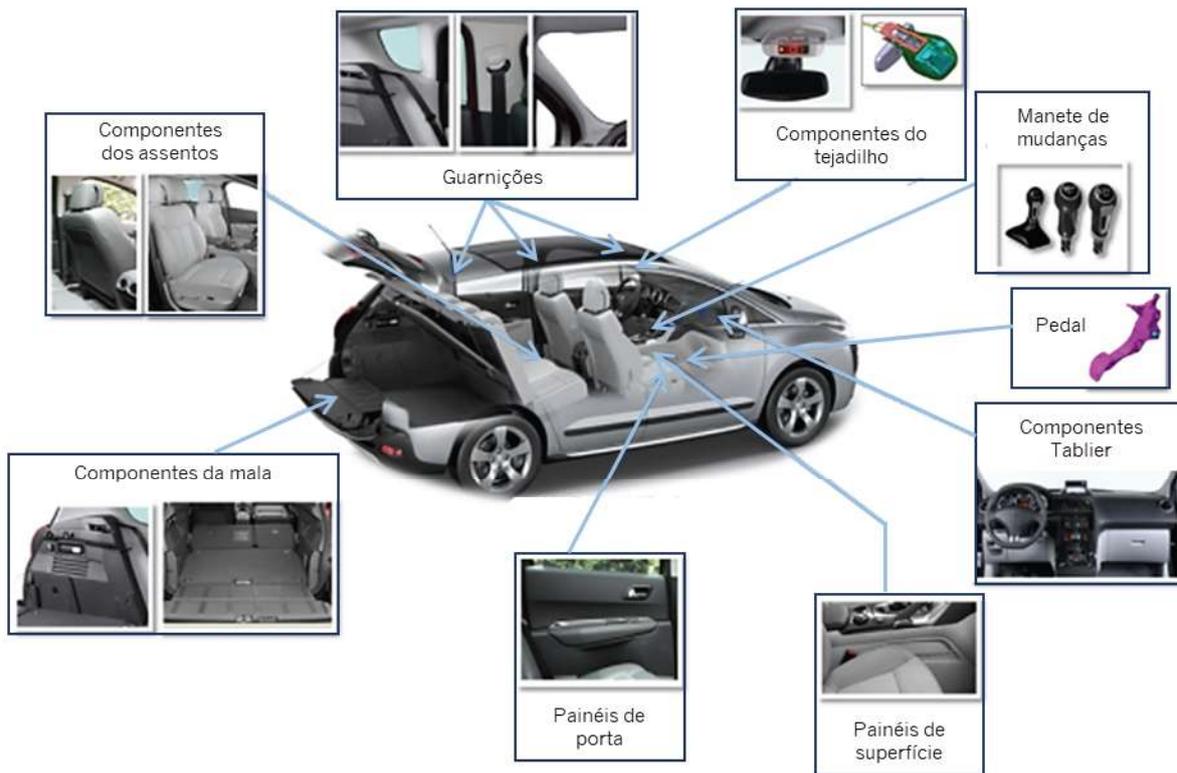


Figura 3 – Alguns dos componentes interiores do automóvel produzidos na Simoldes

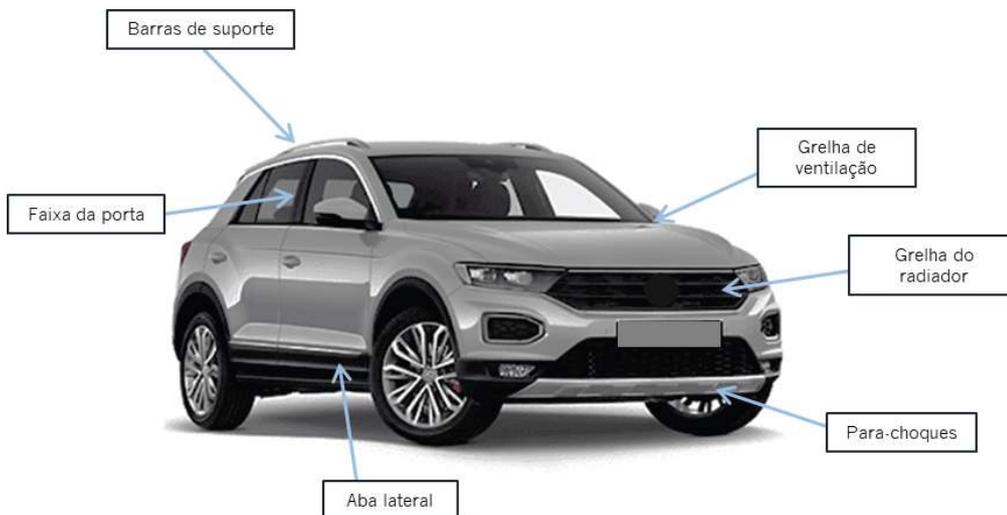


Figura 4 - Alguns dos componentes exteriores do automóvel produzidos na Simoldes

O Grupo Simoldes tem a capacidade de fornecer o seu produto diretamente aos grandes construtores mundiais, sendo que a empresa Simoldes Plásticos é considerada a sede da direção central do grupo. Esta empresa está organizada nos seguintes departamentos: direção de fábrica, departamento financeiro, recursos humanos, engenharia de produto, engenharia de processo, logística, manutenção, qualidade e engenharia de produção.

Esta dissertação foi desenvolvida dentro do departamento de engenharia de processo, que é responsável por todas as otimizações e melhorias relacionadas com os processos produtivos, bem como

todos os aspetos relativos à melhoria continua da fábrica. Os principais objetivos do departamento passam pela otimização de processos, de maneira a reduzir os desperdícios de recursos e, ao mesmo tempo, rentabilizar os tempos e espaços de trabalho bem como aumentar o valor acrescentado das linhas de produção da fábrica.

1.4 Conteúdo e organização da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em quatro partes. No capítulo 1 é realizado um enquadramento do tema, apresentada a empresa onde foi realizado o trabalho, bem como estabelecidos os objetivos do trabalho.

No segundo capítulo são abordados alguns conceitos teóricos relacionados com o tema da dissertação, no estado de arte. Seguidamente, no terceiro capítulo, é exposto o processo de fabrico tradicional pré-automatização. Nesta fase é analisado o processo produtivo, o espaço de trabalho, as cadências de produção e a localização dos equipamentos, antes de se efetuarem alterações, e onde também são identificados os principais problemas associados a estes métodos tradicionais. De seguida, depois de levantados os problemas, apresentam-se as propostas de melhoria para o processo e é efetuado um dimensionamento de componentes, bem como uma especificação de equipamentos. Depois de elaboradas todas as propostas de solução, faz-se uma breve análise financeira da implementação do projeto na fábrica, de maneira a perceber se o investimento é compensatório e, se sim, qual tempo de retorno do investimento estimado.

No quarto capítulo, são executadas as propostas de melhoria aplicadas na fábrica e é analisado o estado do processo pós-automatização, onde são expostos os resultados provenientes das alterações efetuadas.

Por fim, nos capítulos cinco e seis, expõem-se as conclusões da dissertação, bem como as propostas de trabalho futuro para o projeto estudado.

2. ESTADO DE ARTE

Neste capítulo é realizada uma fundamentação teórica de alguns conceitos importantes para a boa contextualização da temática do projeto. Ao longo desta secção é realizado um enquadramento histórico da evolução da indústria até aos dias de hoje, sendo também descritas metodologias de desenvolvimento de sistemas.

2.1 Tecnologias da Indústria 4.0

Atualmente, a digitalização, automação e constante evolução dos processos de manufatura são a maior necessidade das indústrias. Os processos industriais têm sofrido mudanças drásticas na maneira como operam, passando de produções em massa para produções personalizadas, com base nas necessidades do cliente. Também o rápido avanço nas tecnologias de manufatura ajuda no aumento da produtividade. O termo Indústria 4.0 sugere uma quarta revolução industrial, caracterizada por um nível de controlo elevado no que toca à cadeia de valor do ciclo de vida dos produtos, tendo como principal objetivo atender às necessidades dos clientes de forma cada vez mais individualizada.

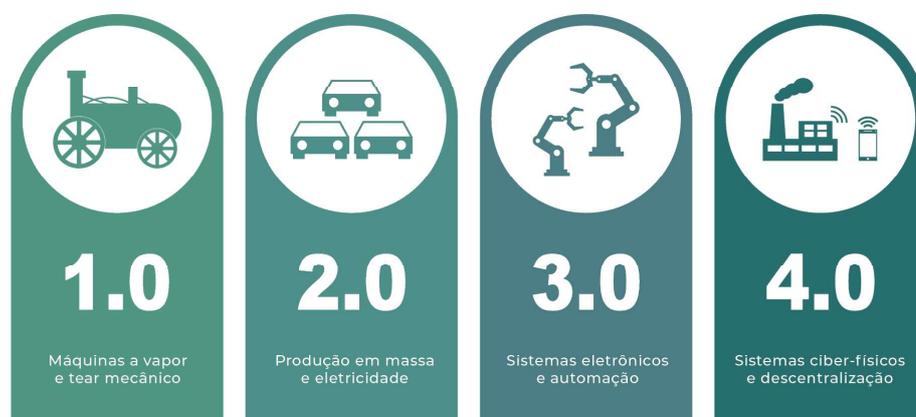


Figura 5 – As quatro grandes revoluções Industriais [1]

A primeira revolução industrial aconteceu entre o final do século 18 e início do século 19, onde ocorreu uma transição do trabalho manual com o uso de animais de carga, para o trabalho com máquinas a vapor e máquinas movidas a água. Também o tipo de ferramentas usadas sofreu uma grande atualização.

A segunda revolução industrial emergiu na década de 1870, até meados do século 20, e foi então que surgiu a produção em massa, com o uso de energia elétrica para alimentação de máquinas. Para

além do surgimento da eletricidade, o ferro foi um material emergente nesta revolução, onde surgiram conceitos como as “linhas de montagem”, como forma de melhorar a produtividade das fábricas.

A terceira revolução, que começou por volta da década de 60, ficou marcada pelo aparecimento de cada vez mais componentes eletrônicos, até ao eventual aparecimento dos computadores. A mudança de carácter analógico para uma vertente mais digital caracterizou esta revolução, e o aparecimento de mais tecnologia permitiu uma evolução de sistemas de automação industrial.

Por fim, a quarta revolução industrial tem emergido nas últimas décadas, colocando a digitalização num patamar ainda mais elevado. Nesta revolução destaca-se o uso da Internet Industrial, com recurso a ferramentas e conceitos como a Internet das Coisas, Manufatura Inteligente e Manufatura em Rede, entre outras, de forma a conseguir obter produções em tempo real. Com isto, todos os departamentos de uma indústria conseguem interligar-se, podendo servir-se de dados atualizados de outras áreas, bem como colaborar com clientes e fornecedores com muito mais fluidez. Isto faz aumentar a produtividade e fomenta um crescimento muito mais acelerado das indústrias. O caminho da Indústria 4.0 aponta para um futuro onde as fábricas serão mais “inteligentes” e conseguirão ser mais seguras, flexíveis, versáteis e colaborativas [2].

Existem alguns conceitos diretamente relacionados com a Indústria 4.0 e que definem os principais sistemas de trabalho desta revolução industrial, que passarão a ser descritos nos próximos subcapítulos.

2.1.1 Grandes dados (“Big Data”)

De acordo com Sagioglu S. et al. [3], este conceito trata-se da quantidade massiva de dados recolhidos e com a crescente dificuldade de armazenamento e manipulação desses mesmos dados. Uma vez que os computadores têm vindo a aumentar tanto a sua capacidade de processamento como de potência, e as redes de comunicação estarem cada vez mais rápidas e fiáveis, a quantidade de informação que se consegue extrair dos sistemas aumentou de forma exponencial. Até ao ano de 2003, foram criados no total cerca de 5 exabytes (10^{18} bytes) de dados. Passados 10 anos, esse valor era atingido em apenas 2 dias. Na Figura 6 podemos ver um gráfico com a evolução desta informação nos últimos anos, bem como uma previsão para os próximos anos [4].

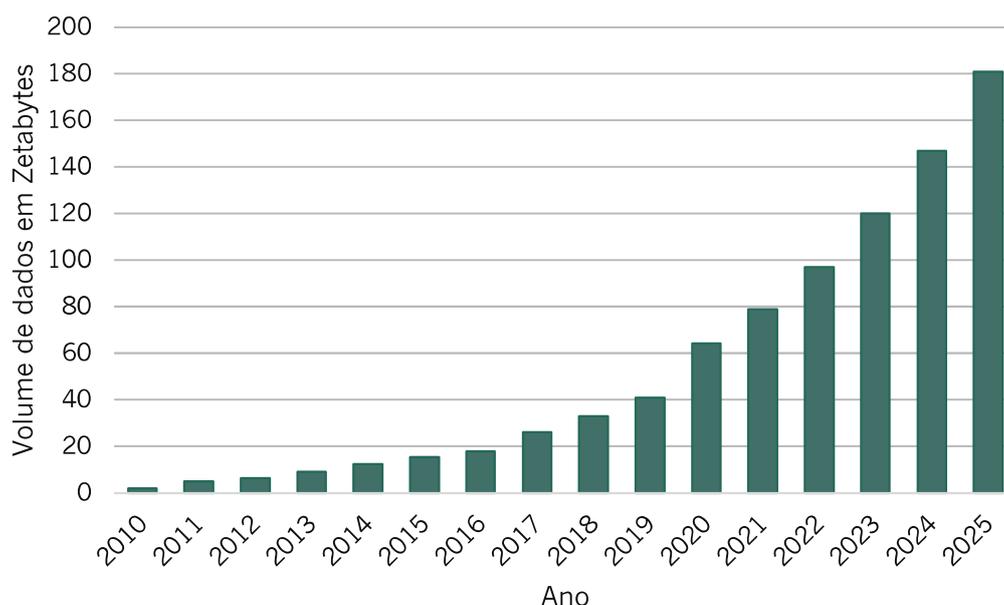


Figura 6 - Volume de dados/informação criados globalmente desde 2010 e previsão para os próximos quatro anos

Esta informação pode ser proveniente de emails, vídeos, imagens, pesquisas, dados de sensores, telemóveis, computadores, entre outros. A sua necessidade de armazenamento e tratamento é essencial de maneira a ser possível obter informações úteis que possam ser posteriormente utilizadas.

Dada a sua ordem de grandeza, sistemas tradicionais não são capazes de lidar com tanta informação, sendo então necessária a forte capacidade de processamento da computação atual. Por outro lado, a gestão destes dados equaliza a energia consumida com a qualidade de produção, permitindo uma melhor tomada de decisões e uma leitura de cenários muito mais detalhada.

2.1.2 Simulações

As simulações na Indústria 4.0 tratam-se do conjunto de técnicas que se baseiam numa modelação computacional para representar parte de um processo ou a sua totalidade. Com esta modelação torna-se possível elaborar previsões de acontecimentos com base nas informações armazenadas e tratadas nos Grandes Dados. Com esses dados recolhidos, podem fazer-se simulações para testar diferentes cenários de ações aplicadas num sistema, evitar erros, antecipar possíveis riscos e tomar decisões mais eficazes na otimização de processos. A analítica avançada das simulações distingue-se dos modelos de tratamento de dados tradicionais por se focar na previsão de comportamentos futuros ao invés de analisar apenas informações históricas.

Este tipo de simulações pode ser feito dentro de vários formatos, sendo os desenhos tridimensionais assistidos por computador (3D CAD – em Inglês “Computer Assisted Design”) uma vertente muito utilizada pelas indústrias para efetuar as simulações aos modelos já referenciados. Desde o teste de

aerodinâmica de um corpo, até ao estudo da injeção e fluxo de um polímero na cavidade de um molde, o potencial das simulações no estudo de um produto, sistema ou processo é enorme [2].

2.1.3 Computação em Nuvem (“Cloud Computing”)

Neste tipo de sistemas, o armazenamento de dados é feito em servidores conectados à internet. Isto permite que os dados estejam disponíveis a qualquer altura, em qualquer parte do mundo, por qualquer pessoa com permissão para os aceder, desde que exista uma ligação à internet. Isto permite uma partilha instantânea de dados entre diversos dispositivos, e pode ser aplicada às trocas de informação existentes entre oficinas e gabinetes de gestão [2].

2.1.4 Internet das coisas (“IoT – Internet of things”)

Este conceito provém da intercomunicação existente entre equipamentos, máquinas, sensores, transportes, e tudo aquilo que sirva de fonte de informação para uma rede integrada. A IoT é muito utilizada não só nas indústrias, mas também ao nível pessoal, como por exemplo na domótica ou em dispositivos vestíveis (em inglês “wearables”). Este conceito permite uma interação entre diferentes equipamentos, criando assim um “ecossistema” tecnológico que beneficia as trocas de informações [2].

2.1.5 Manufatura aditiva

A manufatura aditiva, segundo a associação americana de testes e materiais (“American Society for Testing and Materials”), trata-se de um processo de junção de materiais para criar um objeto tridimensional. Esta junção ou adição, é normalmente feita em camadas e a sua maior utilização deu-se com o surgimento das impressoras 3D, máquinas estas que se tornaram banais e com preços cada vez mais apelativos para a maioria das indústrias. A facilidade com que se conseguem produzir peças muito complexas com recurso apenas a uma modelação CAD, a custos reduzidos, tornam esta tecnologia extremamente útil, não só para prototipagens rápidas, como também para o fabrico de componentes. Atualmente, para além dos comuns polímeros utilizados para este tipo de processo (como o caso do ABS ou do PLA) já se conseguem utilizar metais, ou até mesmo cimentos e massas como matérias-primas de impressão. A manufatura aditiva tem um grande potencial de crescimento e de evolução, e é cada vez mais a opção de escolha para o fabrico de determinadas peças nas indústrias [2], [5].

2.1.6 Realidade Aumentada (“AR – Augmented Reality”)

A Realidade Aumentada é um dos conceitos mais complexos da quarta revolução industrial, mas também um dos mais promissores. O termo refere-se à capacidade de interação entre sistemas em

tempo real, misturando elementos virtuais com o ambiente real circundante. Com este tipo de tecnologia, torna-se possível substituir elementos reais por elementos gerados e renderizados por computadores. Desde testes arquitetónicos e de planeamento de espaços, até à realização de instruções digitais na manufatura industrial, a realidade aumentada tem um potencial de utilidade extraordinário [2].

2.1.7 Robôs Autónomos

Por fim, na base da manufatura industrial inserida na quarta revolução industrial, encontram-se os robôs autónomos. Este tipo de dispositivos tem vindo a melhorar a sua interação com outros robôs de dia para dia, bem como a interação com o ser humano. Desde então, tarefas perigosas e fatídicas têm sido realizadas por equipamentos deste tipo. A versatilidade, flexibilidade, segurança e precisão dos robôs autónomos são fatores necessários na manufatura industrial da atualidade, e a sua utilização tem vindo a aumentar drasticamente, ao passo que o seu custo de produção e instalação tem vindo a diminuir [2].

2.2 Robôs Colaborativos

Com a evolução da manufatura industrial nas últimas décadas, e com o surgimento da Indústria 4.0, existiu sempre o objetivo de conseguir aproximar o homem da máquina, com o menor risco possível. Foi então que começaram a surgir os robôs colaborativos, comumente designados por cobots. Este termo surgiu por volta de 1999 com a junção das palavras “colaborative” e “robot”, tendo sido adotada para designar a vertente de robôs que cooperam com o ser humano [6].

O principal objetivo deste tipo de robôs é poder trabalhar lado a lado com os operários sem que isso seja um risco para a pessoa. A automatização deste tipo de robôs apresenta uma enorme versatilidade, e permite um aumento da produtividade pelo facto de poder ser integrada com outros trabalhos realizados por pessoas.

Existem diversos pontos distintos que diferenciam um cobot de um robô industrial tradicional, sendo um deles a facilidade de programação, assim como a interface amigável, que permitem criar programas em poucos minutos. A sua instalação também é projetada para que seja o mais simples e rápida possível. A versatilidade dos robôs colaborativos está associada a uma maior probabilidade de mudança de lugar/tarefa do robô com uma maior frequência, o que requer que este apresente uma rápida montagem e desmontagem. Para além disso, sempre que não se pretenda ter o robô em funcionamento, a leveza e a estrutura compacta que este tipo de robôs apresenta torna-se extremamente vantajosa para arrumação. Também não são necessárias jaulas de proteção nos espaços de trabalho onde atuam, diminuindo assim o espaço ocupado.

Por outro lado, os cobots apresentam uma desvantagem em relação aos robôs autônomos tradicionais, que é a sua menor velocidade de funcionamento. Uma vez que os robôs colaborativos operam junto de pessoas, é necessário reduzir a velocidade das suas juntas, por motivos de segurança.

Atualmente, existe uma preocupação extremamente elevada por parte das indústrias devido ao risco de lesões, e com o trabalho fatídico que algumas tarefas de fábrica possam provocar nos operários. Segundo a *Universal Robots*, uma das maiores empresas a nível mundial de fabrico de robôs colaborativos, mais de 80% dos robôs aplicados operam lado a lado com pessoas, sem serem necessárias barreiras de segurança. Isto porque os robôs são submetidos a diversos testes e certificações que garantem que não existe um risco acrescido no manuseamento deste tipo de equipamentos no mesmo espaço de trabalho dos operadores [6].

Existem inúmeros tipos de operações às quais podemos aplicar a robótica colaborativa, que podem substituir o ser humano na realização de tarefas repetitivas, tarefas não ergonómicas como manipulação de cargas ou aplicação de forças, operações de baixo valor acrescentado que não requerem a intervenção do homem, ou até mesmo tarefas de precisão e exatidão por longos períodos de tempo.

Os robôs colaborativos podem ser usados para realizar soldaduras, para dar suporte a máquinas (por exemplo máquinas CNC, tornos ou fresadoras), para embalagem e paletização, manipulação de cargas, aplicação de colas ou até mesmo em pinturas de superfícies [6].

Desta forma, podemos considerar que as principais vantagens do uso de robôs colaborativos na automatização industrial estão diretamente ligadas com a redução dos riscos e lesões de operadores, bem como a redução de espaços de trabalho e flexibilidade de utilização.

Uma vez que o mercado dos robôs colaborativos tem vindo a crescer de forma exponencial nas indústrias mundiais, as opções de escolha e modelos de equipamentos tem vindo a crescer também. Atualmente, as maiores marcas de robótica do mundo como por exemplo a *Yaskawa*, *Fanuc* ou *ABB* já têm a sua própria versão colaborativa dos seus robôs [7].

Na Tabela 1, podemos ver a evolução dos robôs, desde o seu surgimento até aos dias de hoje, bem como as suas características principais.

Tabela 1 - Evolução dos braços robóticos industriais

Ilustração	Designação	Descrição
 A photograph of the Unimate industrial robot arm, which is a large, white, hydraulic manipulator with a black base. The name 'UNIMATION, INC.' is visible on the upper arm section.	Unimate Unimation 1961	Primeiro Robô industrial. Este manipulador hidráulico patentado em 1954 e instalado pela primeira vez em 1961 nas instalações da General Motors de Nova Jérсия, o Unimate impulsionou a indústria da robótica industrial. Este robô possuía 6 graus de liberdade, e tendo em conta a inflação, nos dias de hoje custaria cerca de 200 000 €. Dada a sua construção em ferro e alumínio, o seu peso rondava os 1 580 kg [8].
 A photograph of the IRB 6 ASEA robot arm, which is a smaller, orange, articulated arm mounted on a base. The name 'ASEA' is visible on the upper arm section.	IRB 6 ASEA 1973	Primeiro robô produzido em massa com um microprocessador integrado que permitia programação e controlo de movimentos. A ASEA acabou por se fundir com a Brown, Boveri & Cie., dando origem à ABB, considerada a maior fabricante de robôs industriais do mundo [9].
 A photograph of the SCARA Hiroshi Makino robot arm, which is a white, articulated arm with a vertical column and a horizontal arm. The name 'SCARA' is visible on the horizontal arm section.	SCARA Hiroshi Makino 1978	Os robôs SCARA - Braço Robótico de Montagem de Conformidade Seletiva ("Selective Compliance Assembly Robot Arm" em Inglês) - trouxeram para o mercado dos robôs industriais uma nova disposição e dinâmica de trabalho. Este tipo de robôs tem articulações paralelas o que lhes confere rotação em dois ou três eixos verticais, mas rigidez na direção horizontal, daí a "conformidade seletiva". Possuem uma precisão muito elevada, e velocidades de trabalho bastante superiores às dos robôs de braços articulados convencionais. Os primeiros protótipos foram criados na universidade de Yamanashi pelo professor Hiroshi Makino no final da década de 70 [10].
 A photograph of the PUMA Unimation robot arm, which is a white, articulated arm with a black base. The name 'UNIMATE' is visible on the upper arm section.	PUMA Unimation 1979	A designação PUMA provém de "máquina universal programável para montagem" (em inglês "Programmable Universal Machine for Assembly"), e a semelhança com um braço humano tornou-o um dos robôs mais populares da sua geração, sendo mesmo considerado um modelo de referência para muitos dos robôs que o sucederam [8].

Ilustração	Designação	Descrição
	UR 5 Universal Robots 2008	O UR 5 foi criado pela Universal Robots (UR), uma empresa fundada em 2005 na Dinamarca. A Universal Robots foi uma das primeiras empresas a focar-se inteiramente no mercado de robôs colaborativos, com capacidades de trabalho junto a trabalhadores sem necessidade de jaulas de proteção. Tudo isto graças aos seus sensores de binário nos motores que imobilizam o robô sempre que é detetado um impacto. Atualmente a UR é um dos maiores fabricantes de robôs colaborativos, e a sua gama bastante abrangente tem servido como base de comparação para outras marcas tal como aconteceu com o PUMA da Unimation [11].
	YuMi ABB 2015	O YuMi da ABB foi o primeiro robô com dois braços manipuladores a ser fabricado. Este robô consegue desta forma apresentar um total de 14 graus de liberdade, o que lhe confere uma flexibilidade muito elevada no que toca a manipulação de objetos. Todos os materiais dos braços do robô são moles, suaves, e sem qualquer aresta que não danifiquem objetos ou constituam um perigo para o seu ambiente circundante [12].

2.2.1 Segurança e normalização

A colaboração Homem-Robô (CHR) tem uma importância enorme no que toca a fábricas inteligentes, uma vez que permitem um ambiente muito versátil e flexibilidade na alocação de recursos. As barreiras físicas que separam os robôs industriais tradicionais dos operadores, são removidas quando se pretende aplicar CHR, o que provoca preocupações ao nível da segurança das operações. Para que a CHR possa existir e evoluir nas fábricas das empresas, surgem normas e legislações internacionais para conseguir regular os processos onde se colocam máquinas com finalidade colaborativa com humanos. No que toca a normas de segurança de máquinas industriais, está no topo hierárquico de legislação a ISO 10218-1 e ISO 10218-2 [13], [14].

Estas normas abordam os conceitos básicos, princípios de conceção e requisitos que se apliquem a máquinas industriais, nomeadamente no setor dos robôs. Dado que apenas se faz referência aos robôs colaborativos na ISO 10218-2 (secção 5.11 e Anexo G), devido à complexidade do tema, surgiram as

especificações técnicas ISO/TS 15066, que suplementam as ISO 10218 no que toca à CHR especificamente para robôs colaborativos [15]. Segundo estas especificações, a CHR prevista estabelece distinções entre quatro modos de operação para estes equipamentos [16], [17].

1. Paragem monitorizada com classificação de segurança (SMS – “Safety-rated Monitored Stop”)
– Este modo de operação apenas permite movimentos do robô no caso do operador se encontrar fora do espaço de trabalho colaborativo. Sempre que este entra na zona colaborativa o robô para o seu movimento.
2. Monitorização de velocidade e separação (SSM – “Speed and Separation Monitoring”)- Neste modo de operação, existe uma evolução em relação ao SMS e a entrada na zona colaborativa já é permitida. Quando esta entrada acontece, o robô abranda a sua velocidade de forma dinâmica com base na distância do operador ao robô. Quanto mais próximo este estiver, mais lento será o movimento do robô. Quando a distância entre o robô e o operador atinge um valor mínimo estipulado, dá-se a paragem total do robô.
3. Manipulação manual do robô (HG – “Hand Guiding”) – No caso do modo de guiamento manual, existe o contacto entre a mão do operador e o robô. Assim, o operador pode guiar os movimentos do braço robótico com a sua própria mão dentro da zona colaborativa.
4. Limitação de força e potência (PFL – “Power and force limiting”) – Este modo permite a completa partilha do espaço entre o robô e o operador ao lidar com contactos indesejados que possam surgir entre ambos. Para que isto seja possível, o robô proporciona segurança ao limitar a força e potência em determinado valor, que se encontra abaixo dos valores estabelecidos para um contacto de risco. Existem medidas passivas para reduzir este risco, como por exemplo arestas arredondadas e maiores áreas de contacto, e medidas ativas, como usar sensores de torque ou eixos de movimento limitados.

2.3 Projeto Mecatrónico

Nos dias de hoje, a inovação de produtos tem sido alvo de um crescimento muito elevado a todos os níveis da indústria, e cada vez mais pretende-se preencher o melhor possível os requisitos de qualidade e desempenho desses produtos, com o mínimo de custos possíveis.

Todo este desenvolvimento exige uma combinação de diferentes áreas e setores, que se complementam e que possuem bastantes conceitos específicos na base do seu estudo. Desta forma, com as vantagens de um aumento enorme de possibilidades de soluções e uma maior abrangência de produtos, surgiu a “Mecatrónica”, termo utilizado para descrever todo o tipo de sistemas que provêm da simbiose interdisciplinar das áreas da mecânica e da eletrónica.

Ambas as áreas referidas possuem conceitos muito específicos e distintos, que tornam o desenvolvimento de sistemas mecatrónicos bastante complexo. É essencial que seja estabelecida uma boa comunicação e sincronização entre as duas disciplinas, de maneira a que o desenvolvimento do produto fique mais otimizado possível.

Uma das mais completas formas de estabelecer a comunicação necessária para o desenvolvimento de sistemas mecatrónicos, foi proposto pela comissão *Verein Deutscher Ingenieure* (Associação de Engenheiros Alemães): a diretriz VDI 2206.

2.3.1 Contextualização do termo “Mecatrónica”

O termo “Mecatrónica” surgiu em 1969 pelo presidente da fabricante japonesa de servomotores, controladores e unidades de motor Yaskawa (Figura 7), *Ko Kikuchi*. O termo foi utilizado para designar o aperfeiçoamento eletrónico de componentes mecânicos, que mais tarde se adaptou, e passou a incorporar conceitos relacionados com microeletrónica.

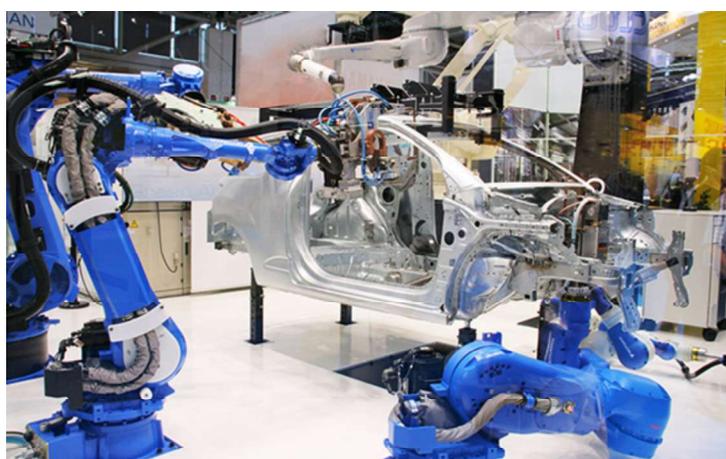


Figura 7 – Sistemas mecatrónicos de soldadura produzidos pela Yaskawa [18]

Segundo a diretiva VDI 2206, devido ao constante e rápido desenvolvimento da área da mecatrónica e da expansão tecnológica que se vive atualmente, ainda não se adotou uma definição padrão para este termo, mas passarão a ser citados alguns dos mais utilizadas nos dias de hoje, que têm vindo a ser adaptados: [19]

"Mechatronics is an interdisciplinary field of engineering sciences which is based on the classic disciplines of mechanical engineering, electrical engineering and information technology. A typical mechatronic system records signals, processes them and outputs signals which it converts for example into forces and movements."

Schweitzer, 1989

"[Mechatronics is] ... the synergetic integration of mechanical engineering with electronic and intelligent computer control in the design and manufacturing of industrial products and processes."

Harashima, Tomizuka and Fukuda, 1996

"[Mechatronics needs] ... a synergetic cross-fertilization between the different engineering disciplines involved: mechanical engineering, control engineering, microelectronics and computer science. This is exactly what mechatronics is aiming at; it is a concurrent-engineering view on the machine design. "

Van Brussel, 1996

Por fim, a definição utilizada na comunidade de engenharia alemã é a seguinte:

"Mechatronics is an interdisciplinary field in which the following disciplines interact mechanical systems and systems coupled with them, electronic systems, information technology. The mechanical system is dominant here with regard to the functions. Synergetic effects are aimed for, comprising more than the mere addition of the disciplines."

Isermann, 1999

Como se pode reparar, a definição de mecatrónica tem vindo a sofrer várias alterações. Enquanto que em 1989 surgia como um conceito novo e pouco falado, é atualmente um termo presente no vocabulário de qualquer engenheiro. Nesta simples constatação podemos ver a importância destes sistemas no mundo atual.

2.3.2 Estrutura de sistemas mecatrónicos

Estrutura básica

A estrutura básica dos sistemas mecatrónicos é geralmente constituída por algum tipo de parte física, seja ela mecânica, eletromecânica, hidráulica, pneumática ou combinações das mesmas, que poderão ter integrados sensores, atuadores, ou qualquer tipo de processamento de informações.

Geralmente, os sistemas físicos abordados são criados de maneira a que possam ser hierarquizados e estruturados. Desta forma, os sensores são utilizados para receber informações para o sistema, fornecendo depois as variáveis de entrada que serão posteriormente processadas. Depois do processamento das variáveis e de se serem verificadas as alterações necessárias, estabelecem-se as variáveis de saída, que são processadas e executadas posteriormente pelos atuadores. Todo este processo levado a cabo por sistemas mecatrónicos, provoca passagem de um estado para outro, de forma sequencial. Esta relação existente entre os diversos componentes pode ser representada com fluxos de energia, material e informação, tal como podemos confirmar na Figura 8.

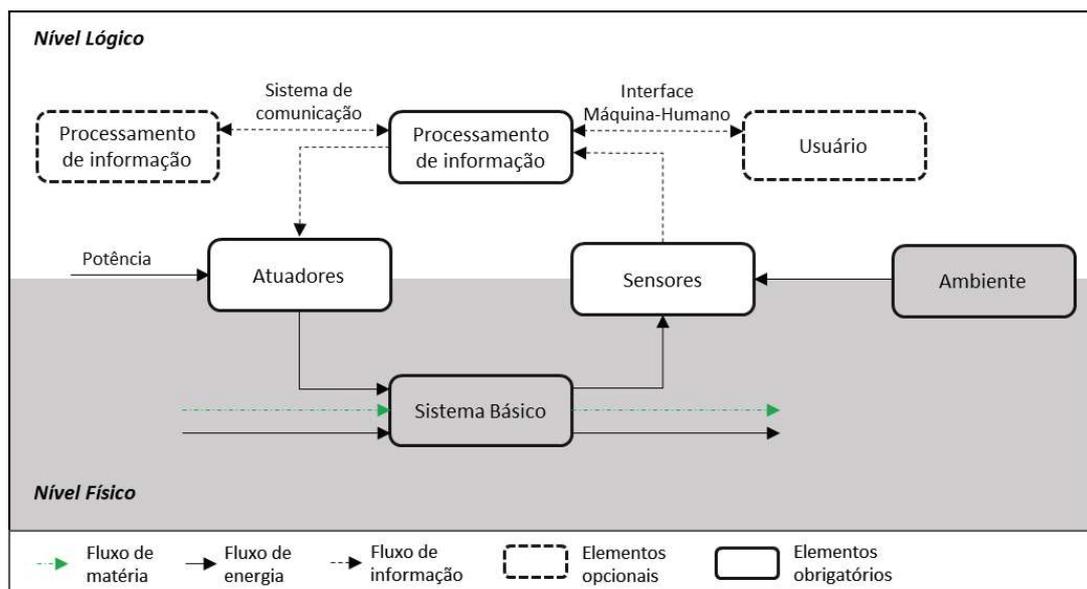


Figura 8 - Estrutura básica de um sistema mecatrónico

Fonte: adaptado de VDI 2206 [19]

Modularização e hierarquização

Nos sistemas mecatrónicos em geral, existe a integração de diversos elementos e componentes que, quando relacionados, desempenham uma função desejada e a estes elementos denominamos de módulos mecatrónicos. Deve-se, portanto, recorrer ao princípio de hierarquização, uma vez que os módulos referidos representam diferentes funções que não devem ser integradas não só num plano. A estrutura básica referenciada anteriormente é considerada um módulo básico.

Quando é feita a junção de vários módulos básicos, é criado um sistema de maior ordem que desempenha tarefas adicionais. Estas tarefas são realizadas com suporte adicional de sensores e processamento de informações. No caso de existirem tarefas adicionais que precisem de ser consideradas, é necessário criar níveis hierárquicos superiores que irão fazer a ligação da informação dos módulos básicos e dos módulos já existentes.

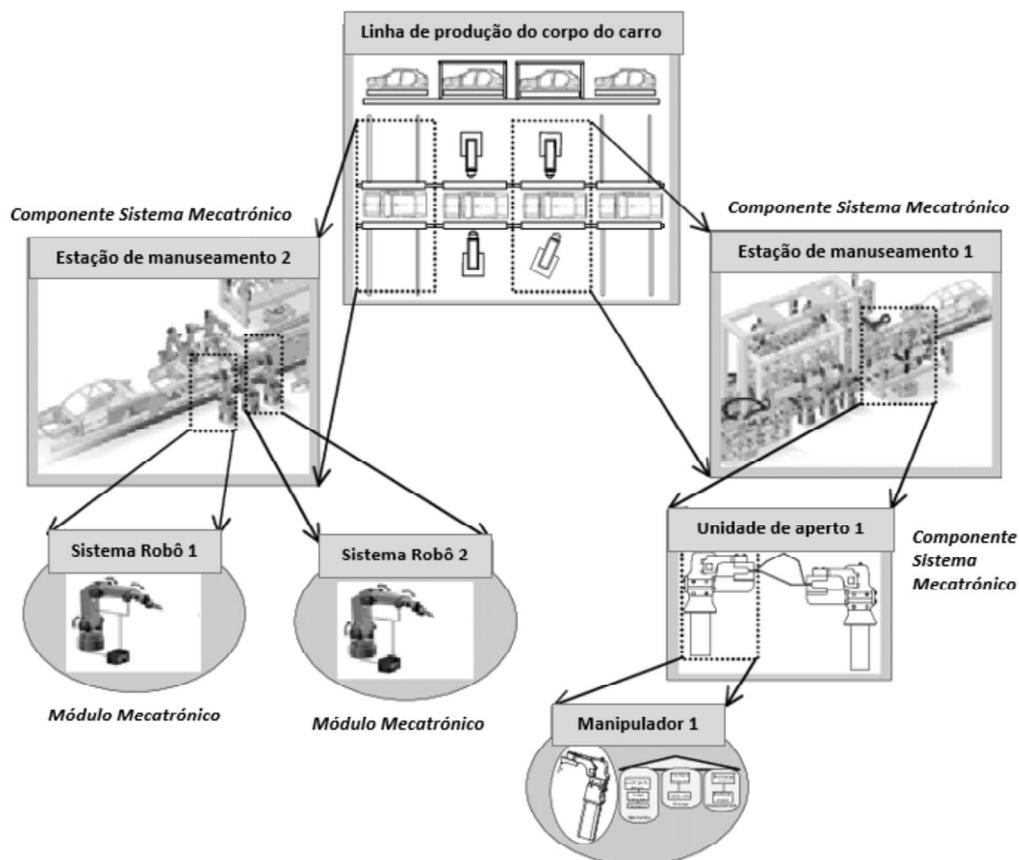


Figura 9 - Exemplo de uma estrutura hierárquica de um de um sistema mecatrónico complexo

Fonte: adaptado de VDI 2206 [19]

2.3.3 Metodologia de desenvolvimento da mecatrónica

Da mesma forma que é possível chegar a um destino por diferentes estradas e combinações, pode dizer-se que não existe um modelo ótimo e universal de processo a seguir por um projetista no desenvolvimento de um produto. Embora não exista um modelo ótimo, a norma VDI 2206 permite ao projetista seguir um modelo processual flexível que tem como bases os seguintes elementos:

- Ciclo geral de resolução de problemas;
- Modelo em V;
- Módulos de processo predefinidos para lidar com etapas recorrentes de trabalho no desenvolvimento de sistemas mecatrónicos.

Ciclo de resolução de problemas

O ciclo de resolução de problemas é baseado no estado atual do produto (de maneira que se possam fazer alterações que o melhorem nos aspetos a considerar) ou então no estado desejado para o produto (desenvolvendo coisas que consideradas revolucionárias e não existentes no mercado). Na Figura 10, pode ver-se um diagrama de síntese destes conceitos.

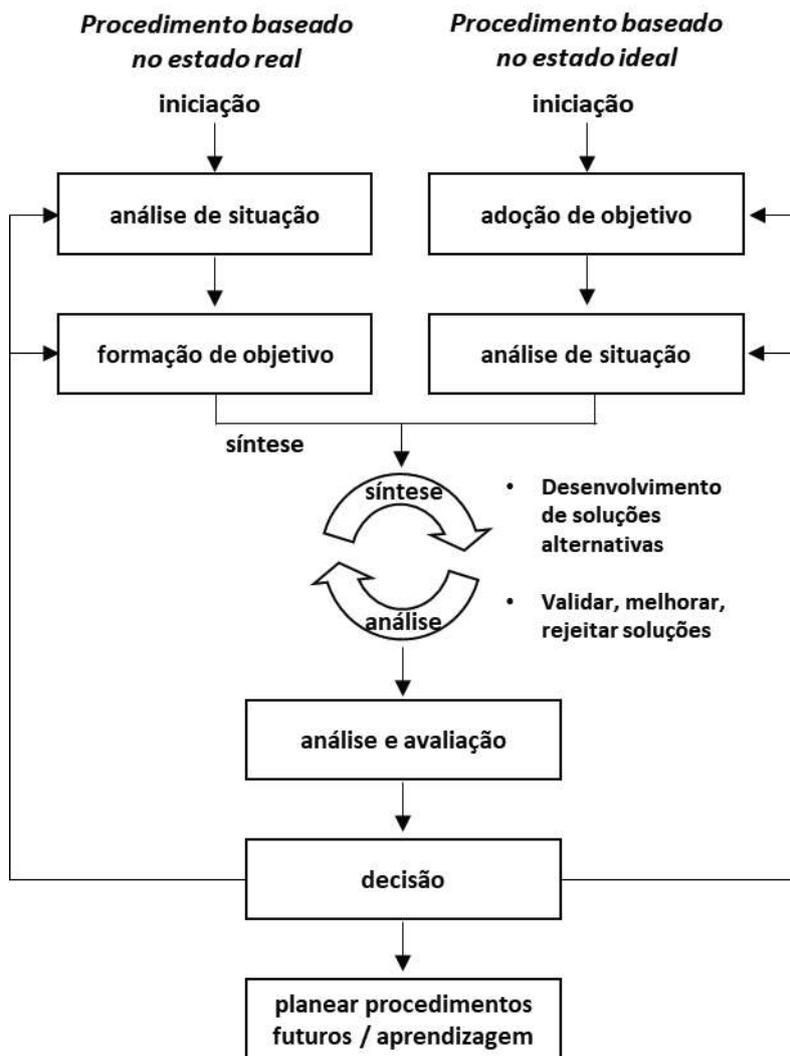


Figura 10 – Ciclo de resolução de problemas

Fonte: adaptado de VDI 2206 [19]

No início dá-se a análise da situação, que será depois seguida pela formação do objetivo (com base no estado real), onde por outro lado ocorre a determinação de um objetivo, com posterior análise desse mesmo objetivo (com base no estado desejado ou ideal). Depois disto vem a parte de síntese, onde são desenvolvidas alternativas de solução, e são analisadas, verificadas e comprovadas soluções.

No caso dos métodos de solução criativos e na procura de ideias, existem diversos pontos de vista a ter em consideração para ser possível fazer uma troca de ideias e que têm uma influência muito grande na procura de soluções, como é o caso do estado mental do projetista e o carácter neurológico do ser humano. Quando é iniciado um processo intelectual intenso deve-se relaxar totalmente no final, por uma simples razão: por vezes, devido ao subconsciente humano trabalhar de forma não controlável e permanente, pode desencadear um “acordar no dia seguinte” não só com uma solução, mas também com um princípio de solução bem delineado de forma inconsciente. Esta é uma característica importante e fascinante na maneira como a mente progride para o objetivo delineado.

Também a reformulação total do problema pode ter muita influência na maneira como conseguimos atingir uma solução. Voltar a colocar as questões, como por exemplo “Quais são verdadeiramente os nossos objetivos?” ou “o que é pretendido de todo o processo em estudo?”, podem mudar completamente a perspetiva do problema e evidentemente da solução procurada.

Modelo em V como um macro-ciclo

O modelo em V trata-se de um procedimento utilizado na conceção de sistemas mecatrónicos que foi adotado da engenharia de *software* e adaptado para os conceitos inerentes à projeção desses sistemas. Podemos ver a representação típica do modelo em V com um macro-ciclo na

Figura 11.

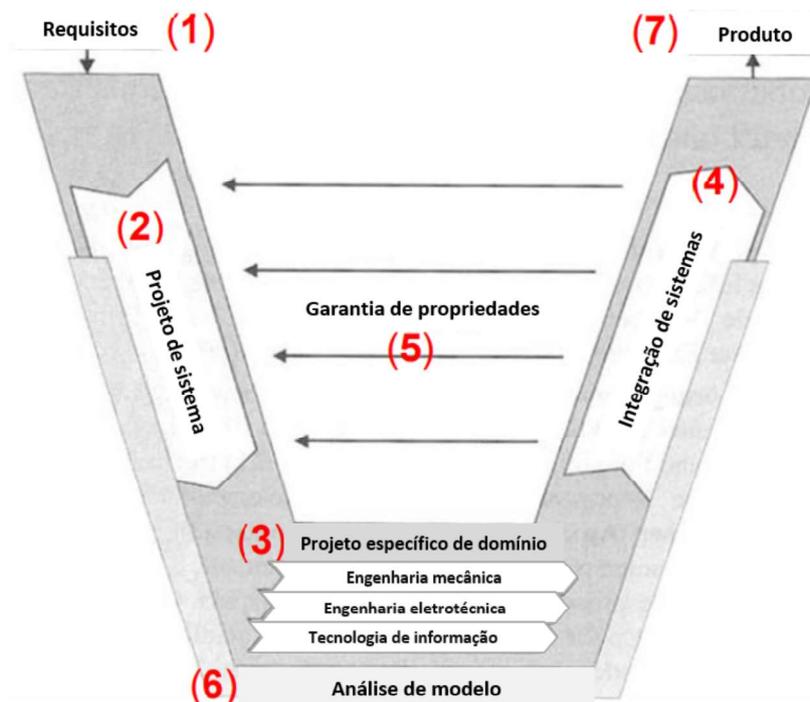


Figura 11 - Modelo em V como macro ciclo

Fonte: adaptado de VDI 2206 [19]

Na primeira etapa do modelo em V (1), são transformadas as necessidades dos clientes em requisitos para o desenvolvimento do projeto, deixando desde logo mais claro qual o objetivo principal do mesmo. Na etapa (2), pretende-se descrever as principais funções físicas e lógicas do sistema, utilizando soluções geralmente conhecidas. Na fase (3) o conceito aceite e os limites estabelecidos constituem a base para o design específico do domínio. Na fase ascendente do modelo em V encontra-se já a etapa (4), onde são integrados todos os domínios individuais formando um sistema global. Durante o processo de desenvolvimento, o conceito do produto é verificado em relação aos requisitos impostos como podemos verificar na etapa (5).

A etapa (6) é caracterizada por englobar as fases 3, 4 e 5, uma vez que nesta se faz a modelação e análise dos modelos com o auxílio de ferramentas e simulações auxiliadas por computador. A última etapa é a (7), que representa o modelo conceptual final do produto.

Embora a

Figura 11 apresente o modelo em V como um macro ciclo, os sistemas mecatrónicos mais complexos não são produzidos com auxílio de um, mas de vários macro ciclos de forma contínua como se pode verificar na Figura 12.

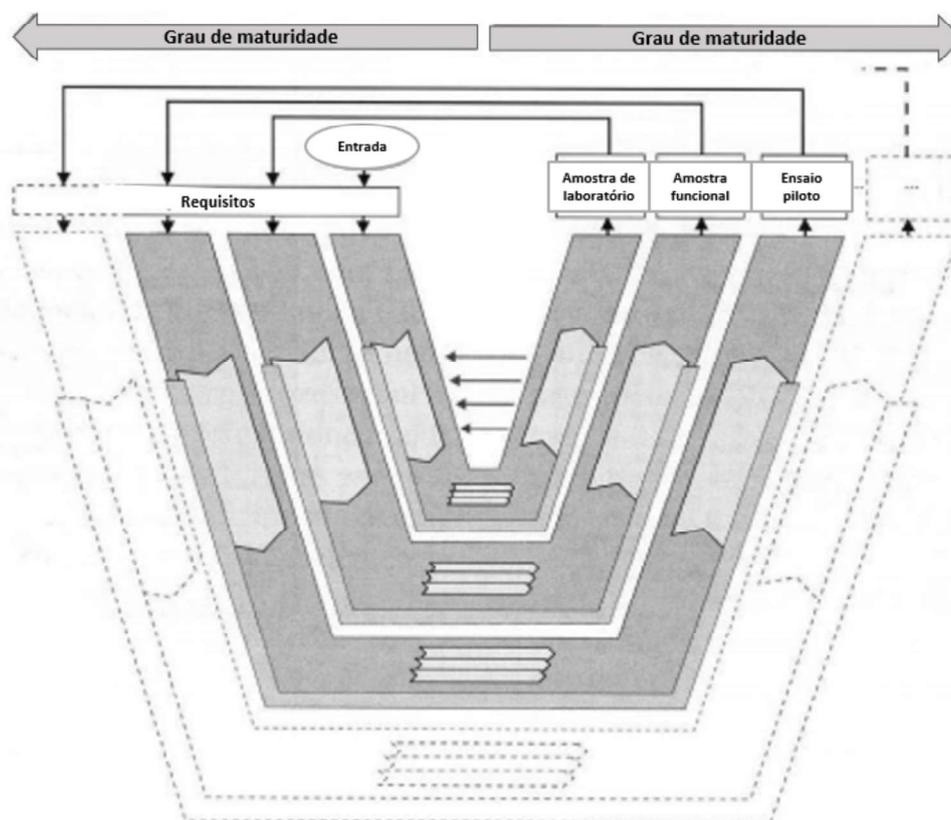


Figura 12 - Modelo em V para sistemas com diversos macro ciclos

Fonte: adaptado de VDI 2206 [19]

O grau de maturidade dos macro ciclos presentes neste modelo aumenta à medida que avançamos do centro para a periferia. Neste caso apresentado na figura, no primeiro ciclo o produto é por exemplo especificado funcionalmente, e são feitos dimensionamentos não muito precisos e os primeiros princípios de solução são selecionados, dando origem ao denominado modelo laboratorial.

À medida que vamos aumentando a maturidade e passamos para o segundo ciclo, os dimensionamentos são feitos novamente de uma forma mais rigorosa, e dão-se as simulações do comportamento criando desta forma o modelo funcional.

Dependendo da complexidade do sistema e do progresso feito, podem ser necessários mais ciclos para que se possa finalizar o produto e iniciar a sua produção em massa.

Módulos de processo para etapas de trabalho recorrentes

Quando iniciamos o projeto de sistemas mecatrónicos com base na metodologia em V, algumas das etapas mais recorrentes do processo de desenvolvimento do produto podem tornar-se módulos de processo parcialmente pré-definidos, descrevendo de forma mais concreta algumas dessas etapas. De maneira a perceber-se melhor as etapas de projeto do sistema, será explicado em que princípios este módulo consiste.

Projeto do sistema

Quando é iniciado o projeto do sistema, devem-se evitar as ideias apresentadas na lista de requisitos, isto para que existam menos hipóteses de estes elementos influenciem ou restrinjam o processo de procura de solução. Este conceito pode ser visto na Figura 13. Neste caso o objetivo passa por se desenvolver os aspetos essenciais para a elaboração da solução, cortando-se por exemplo a lista de requisitos.

Depois disto segue-se a fase de configuração da estrutura da função. A função geral é derivada da especificação e representa a função alvo para o comportamento do sistema nas suas condições operacionais. Estas condições formam os “inputs” do sistema enquanto o comportamento desejado para o sistema constitui os “outputs” do mesmo.

Na maior parte dos casos, as tarefas que se pretendem resolver são bastante complexas, e é então necessário dividir-se a função geral em subfunções mais simples, todas elas conectadas através de fluxos

de material, energia e informação. Esta divisão vai formar a estrutura da função que irá descrever o comportamento do sistema.

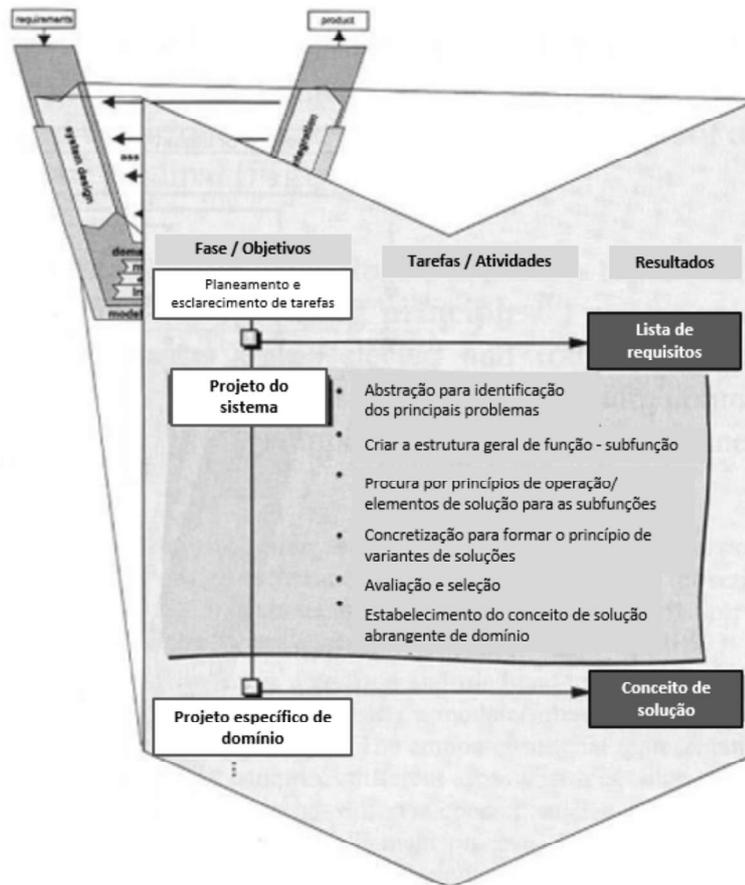


Figura 13 - atividades presentes na projeção do sistema

Fonte: adaptado de VDI 2206 [19]

Depois destes procedimentos, é necessário procurar os princípios de solução para executar subfunções. A procura e atribuição são processos iterativos, têm em conta as funções que são benéficas e perturbadoras, sendo repetido até que todas as subfunções sejam cumpridas por princípios de solução.

Para finalizar este processo, chegamos ao passo de concretização de formação de variantes de solução. As ideias elaboradas para uma solução usualmente não são concretas o suficiente para definir um conceito final, e devem ser considerados agora cálculos, modelos, análises para que o projeto possa prosseguir nesta fase. Também os princípios operacionais e os elementos de solução são concretizados com base na informação obtida até que se identifiquem as variáveis de solução. Por fim, são submetidas a uma avaliação final com base em critérios técnicos e comerciais onde o resultado do módulo do projeto do sistema é um conceito de solução nos vários domínios [19].

2.4 Visão Por Computador

A visão por computador tem sido um recurso cada vez mais utilizado na indústria, dado ser uma tecnologia fiável, e que consegue em muitas situações substituir o olho humano em análises óticas. A visão artificial usa computadores ou outros dispositivos eletrónicos para analisar imagens e reconhecer objetos relevantes numa determinada aplicação.

Atualmente, as indústrias utilizam o processamento de imagem para realizar algumas das seguintes tarefas:

- Inspeção de objetos/posições
- Análise dimensional
- Contagem de objetos
- Identificação de objetos
- Detecção facial
- Vigilância eletrónica

O processamento de imagem consiste no trabalho de transformação realizado numa imagem, para que se consiga reconhecer, analisar e perceber esta imagem, com finalidade de poderem tomar-se decisões programadas em função dos resultados obtidos.

Atualmente existem inúmeras aplicações do processamento de imagem, mas a maioria recai sobre dois grupos principais:

- Interpretação humana – Este tipo de processamento é realizado de forma a melhorar a qualidade de dados que uma imagem possui, para que esta possa ser analisada por um ser humano. Exemplos disso são as imagens satélite para previsões meteorológicas, ou imagens utilizadas na medicina, geologia ou física.
- Perceção de um computador – Este tipo de processamento processa os dados de uma imagem para serem automaticamente percebidos por uma máquina. Exemplos deste tipo de processamento são o reconhecimento ótico de caracteres ou inspeções visuais numa linha de produção industrial.

O processamento de imagem baseia-se em imensas definições fundamentais, mas apenas se vai fazer referência às mais úteis para a realização desta dissertação.

- Pixel:
 - Unidade mínima de uma imagem

- Pode possuir diferentes formatos, não sendo necessariamente quadrado.
- As suas dimensões dependem do local onde está a ser mostrado
- Níveis de cinzentos:
 - Os níveis de cinzentos representam o valor de intensidade de um pixel numa imagem monocromática
 - A escala de cinzentos é a lista de todos os cinzentos possíveis que podem existir numa imagem monocromática
 - Usualmente utilizam-se 256 níveis de cinzentos numa imagem, podendo este valor depender (16, 8 ou até 2)
 - Numa imagem monocromática o preto assume o valor de 0 e o branco o valor de 255

Para ser possível processar imagens monocromáticas, recorre-se a uma sequência de operações lógicas que fazem alterações na imagem fonte, e vão sendo feitas alterações incrementais nesta imagem. Quando se fazem as operações de uma determinada ordem lógica, conseguem obter-se resultados desejados para serem manipulados da forma mais benéfica para um projeto [20].

3. PROJETO DE PALETIZAÇÃO DE PEÇAS

Um dos maiores e principais clientes da Simoldes Plásticos é o *Grupo Volkswagen* (que passará a ser designado por VW). Este grupo empresarial possui marcas de carros (para além da própria *Volkswagen*) tais como *Audi*, *Seat*, *Porsche* e *Bugatti*. O projeto alvo de estudo desta dissertação foi o processo de fabrico de painéis de porta traseiros e dianteiros de um automóvel para a VW, peças estas ilustradas na Figura 14. O veículo ao qual se destinam as peças está no mercado desde 2017, e são produzidas inteiramente na divisão da Simoldes Plásticos (SP) de Oliveira de Azeméis.



Figura 14 - a) Modelação CAD do painel de porta traseiro esquerdo b) Modelação CAD do painel de porta dianteiro esquerdo

Os painéis de porta são peças poliméricas que, como o próprio nome sugere, se encontram a revestir a parte interior das portas de um carro, com cerca de 1,5 kg. Atualmente, são fabricados quatro modelos de peças diferentes, correspondentes às peças das portas frontais e das portas traseiras (ambos os modelos com versão esquerda e direita). Uma porta completamente montada é composta por mais peças do que apenas o painel, como exemplo os apoios de braço ou os embelezadores. Embora estas peças extra possam ser fabricados na SP, não serão abordados nesta dissertação, sendo apenas alvo de estudo o processo de fabrico do painel.

A produção do painel é realizada sem qualquer paragem, isto é, sete dias por semana em três turnos diários. No estado inicial do projeto, estão alocadas três máquinas da fábrica para os moldes em causa, sendo que em cada uma das máquinas encontra-se um operador por turno. Assim, existem no total nove operadores a trabalhar diariamente nos painéis de porta.

Os principais objetivos da SP para a automatização do processo de fabrico dos painéis de porta passam pela otimização de mão de obra direta (MOD) utilizada. Este processo tem associado um elevado

desperdício de MOD, que será descrito no subcapítulo 3.1.3, e a eliminação deste desperdício permite otimizar as capacidades e tarefas de cada operador.

Um dos grandes focos da SP nos últimos anos tem sido o controlo e melhoria de qualidade das peças produzidas. Melhorar esse controlo num processo garante menores desperdícios, uma maior eficiência e menos queixas de clientes. Por isso, no desafio proposto, conseguir aumentar o controlo de qualidade das peças com a implementação de uma solução de automatização era o maior objetivo.

Outro dos requisitos impostos pela fábrica para a realização deste projeto está relacionado com a flexibilidade das operações, ou seja, é necessário que se possa voltar ao método de produção tradicional se algum imprevisto acontecer (para que seja possível conseguir produzir enquanto se efetuam arranjos/substituições).

Ciclo de fabrico de um painel

O ciclo de fabrico de um painel de porta é composto por diversas fases, estando as principais explícitas na Figura 15.

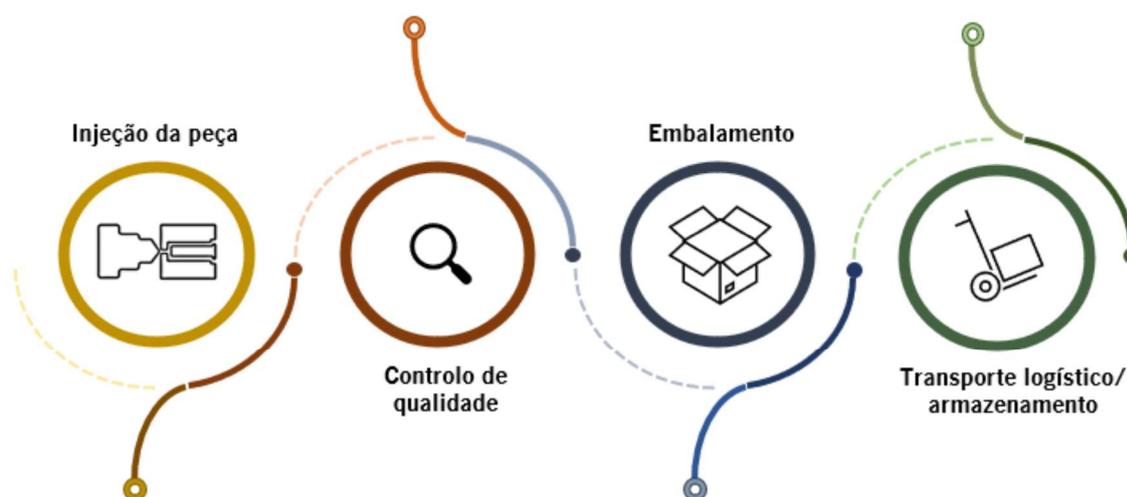


Figura 15 - Ciclo de fabrico de um painel de porta

O estudo realizado de automatização desta dissertação irá apenas incidir nas duas fases intermédias. A fase de injeção já se encontra num elevado nível de automatização, dado que não é necessária nenhuma intervenção humana no funcionamento normal da máquina (apenas para arranques e paragens, mudanças de molde e avarias).

Quanto à última fase - transporte e armazenamento das peças - existe uma elevada quantidade de interdependências de processos, bem como uma grande complexidade transcendente a todo o complexo fabril, que impedem um estudo isolado de processo, sendo necessária uma análise global da logística

da SP. Torna-se então muito importante não provocar, nesta fase de estudo, mudanças nas embalagens das peças, assim como na maneira como estas são recolhidas e armazenadas.

Tendo os objetivos pretendidos bem definidos, tal como as limitações e restrições ao estudo recolhidas, pode passar-se à análise do processo atualmente existente. Nos próximos capítulos é realizada este estudo, bem como a apresentação de propostas de solução para a automatização do processo, terminando com o estado final após aplicação das melhorias.

Assim, a metodologia de investigação do problema baseia-se em 3 fases distintas: estado do sistema pré-automatização, propostas de solução e estado do sistema pós-automatização. Estas propostas de melhoria e protótipos iniciais serão colocadas em prova de conceito numa máquina de injeção. Uma vez validada a prova de conceito, poder-se-á adotar os mesmos princípios para a/as outra(s) máquinas.

3.1 Fase 1 - Estado do processo pré-automatização

3.1.1 Análise de processo produtivo

O ciclo de produção de cada uma das peças começa com a abertura do molde após a injeção. Quando o molde abre, um robô que se encontra posicionado no topo da máquina retira a peça do interior da cavidade moldante. Estes robôs são do tipo cartesiano (também conhecidos como robôs retilíneos), por terem uma configuração retangular. O movimento linear das suas juntas prismáticas dá-se ao longo das três coordenadas X, Y e Z. Estes robôs para além de retirarem a peça do molde e de a colocarem num tapete rolante, efetuam algumas tarefas com a peça antes de a soltarem, seguidamente explicadas. Podemos verificar, na Figura 16, um robô deste tipo a ser utilizado na SP:



Figura 16 - Robô cartesiano utilizado na Simoldes Plásticos

O primeiro ponto de paragem do robô serve para realizar a largada dos gitos, termo este que designa as pequenas partes de polímero localizadas ao longo da peça, correspondentes à solidificação do polímero nos canais de enchimento da cavidade moldante. Sendo que estes pedaços de plástico excedente não fazem parte da peça, são pegados por pinças especiais localizadas no manipulador do robô e largadas no moinho de gitos. Este moinho, representado na Figura 17, tem a função de voltar a reduzir estes desperdícios a pequenas esferas com a granulometria semelhante à da matéria-prima que alimenta a máquina de injeção. Este granulado pode ser reaproveitado e utilizado para a injeção de novas peças. Por isso, através de um tubo, todo o produto é sugado para o interior da tremonha da máquina e mistura-se com a matéria-prima virgem.



Figura 17 - Moinho de gitos

O segundo ponto de paragem do robô serve para realizar uma pré-análise a pontos específicos da peça com um sensor fotoelétrico. Este tipo de sensores (Figura 18), verificam a existência de material nas extremidades críticas da peça (1 no caso dos painéis) e conseguem identificar quais as peças consideradas incompletas. Estas peças incompletas surgem quando a injeção realizada não preenche toda a cavidade moldante. Isto provoca peças defeituosas que são excluídas pelo robô, antes sequer de chegarem ao controlo de qualidade efetuado pelo operador.



Figura 18 - Sensor fotoelétrico para verificação de peças incompletas

Existe um contentor denominado de “contentor de incompletos”, que serve para o robô colocar todas as peças que tenham sido reprovadas pelo sensor, contentor este que está representado na Figura 19.



Figura 19 - Contentor para peças incompletas e peças não validadas

Após terem sido efetuados estes procedimentos, a peça passa a ser largada numa extremidade de um tapete rolante. Na extremidade oposta, encontra-se um operador que ativa a movimentação do tapete à medida que as peças vão sendo colocadas no seu cimo. É de salientar que é possível estarem três peças em simultâneo no tapete, correspondentes a três ciclos consecutivos de injeções. Este tapete serve, por conseguinte, para entregar as peças ao operador de uma forma mais cómoda e segura, com a possibilidade de haver variações no seu ritmo de trabalho, sem que essas variações prejudiquem o tempo de ciclo da máquina. Posto isto, no caso do operador se atrasar numa análise, o tapete tem sempre a capacidade de acumular mais uma peça extra sem que ocorram paragens do robô e, em último caso, consequentes paragens da máquina de injeção.

Uma vez entregues as peças ao operador, este tem a função de analisar a qualidade de injeção, detetar possíveis defeitos, e certificar-se que a peça se encontra nas condições ótimas para ser embalada.

Existe uma zona de especial atenção que é mais suscetível a falhas de injeção, e essa zona é a grelha de coluna de som. Esta zona, identificada na Figura 20, devido ao detalhe e dimensões reduzidas dos orifícios passantes da peça, tem tendência para sair do molde defeituosa.



Figura 20- Zona crítica da grelha de som

Os principais defeitos que ocorrem nestas zonas são partes da grelha incompletas (Figura 21 a), ou zonas com os orifícios tapados (Figura 21 b). As zonas com a grelha incompleta ocorrem sempre que o material injetado não chega a certas partes da cavidade moldante. Vários fatores podem causar este tipo de erros, mas os principais parâmetros de injeção associados a peças incompletas são a pressão e temperatura de injeção. Sempre que um destes parâmetros é baixo demais, a peça corre o risco de sair incompleta da máquina. Por outro lado, as peças com os orifícios tapados surgem quando um dos parâmetros referidos se encontram em níveis demasiado elevados, provocando uma diminuição na viscosidade do polímero.

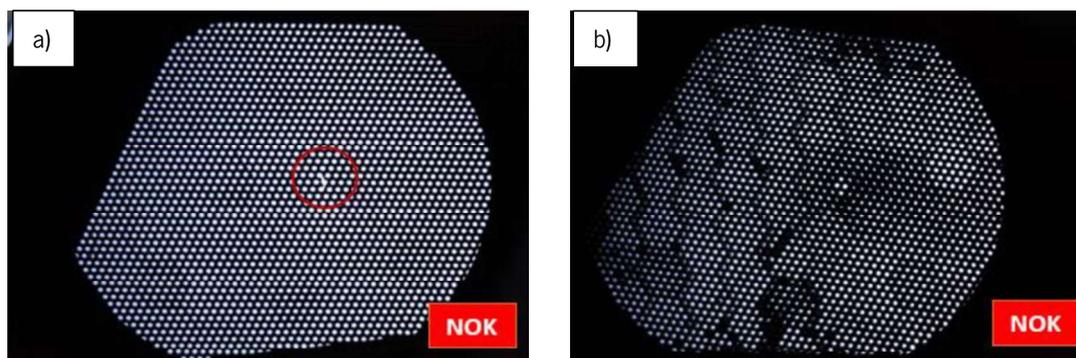


Figura 21 - Tipos principais de defeitos que surgem nas peças: a) grelha incompleta devido a falta de material b) excesso de material na grelha

Por fim, o operador tem a função de colocar as peças validadas no interior de contentores com alvéolos, demonstrados na Figura 22. Estes contentores têm uma capacidade para 12 peças, e são manipulados por um outro operador encarregue do transporte e armazenamento dos diversos processos de fabrico de uma zona da fábrica. Este operador recorre a um comboio logístico para efetuar este transporte.



Figura 22 - Contentor com alvéolos para armazenamento e transporte dos painéis de porta

A cada passagem do comboio logístico pelo posto de trabalho, os contentores com peças prontas (Figura 22) são carregados no comboio, sendo que os contentores vazios são deixados, para que a linha de produção não pare. A análise logística da fábrica determinou que o tempo entre cada paragem do comboio corresponde ao tempo necessário para se encherem dois contentores. Assim, tendo em conta o espaço disponível de apenas uma carruagem para este posto de trabalho, é necessário empilhar dois contentores finalizados, um em cima do outro. Desta forma, ocupa-se apenas uma carruagem do comboio, mas transportam-se duas caixas a cada passagem. Para se realizar esta operação, recorre-se a um elevador de paletes, como podemos ver na Figura 23.



Figura 23 - Elevador para empilhamento de contentores.

3.1.2 Espaço de trabalho

O espaço de trabalho dedicado à produção dos painéis de porta tem a disposição apresentada na Figura 24. As máquinas de injeção cujos moldes de painéis de porta estão alocados, têm dimensões que ocupam todo o espaço entre dois corredores. É nestes corredores que se encontram a circular os comboios logísticos, por isso, toda a zona de tratamento e análise da peça encontra-se paralela à máquina de injeção.

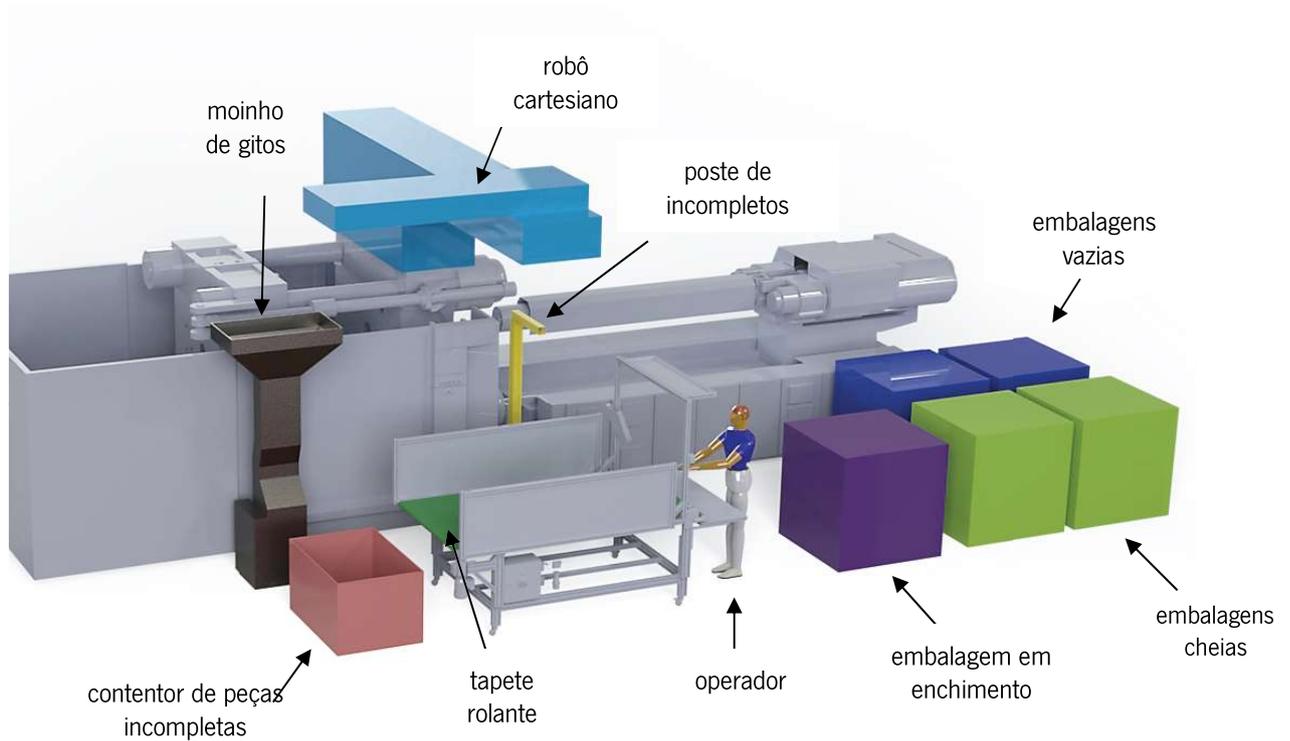


Figura 24 - Espaço de trabalho inicial

Para o desenvolvimento de soluções de automatização para os processos de fabrico, é necessário ter em conta alguns aspetos importantes, tais como:

- Alcance do robô cartesiano;
- Fácil acesso aos controlos da máquina de injeção;
- Espaço de circulação do operador;
- Ergonomia das operações;
- Zona de entrada de contentores;
- Zona de saída de contentores.

3.1.3 Tempos e cadências

Quando se analisa o processo de produção de um painel de porta, identificam-se com facilidade vários desperdícios que tornam o processo pouco eficiente. Tendo em conta o tempo de ciclo de cada peça, apenas em 31% do tempo é que existe mão de obra direta do operador na peça, sendo o resto desperdício. Esta mão de obra considera o tempo que é dedicado à análise da peça, marcação de zonas da peça que levam indexadores e para a colocação de etiquetas com informação do operador que validou

a peça (nº de operador, data e hora), e finalmente o embalagem. Os restantes 69% são desperdiçados em tempo de espera de novas peças no tapete rolante.

Na Figura 25, podemos ver esquematizadas as percentagens temporais correspondentes a cada uma das tarefas do processo de fabrico do painel de porta.

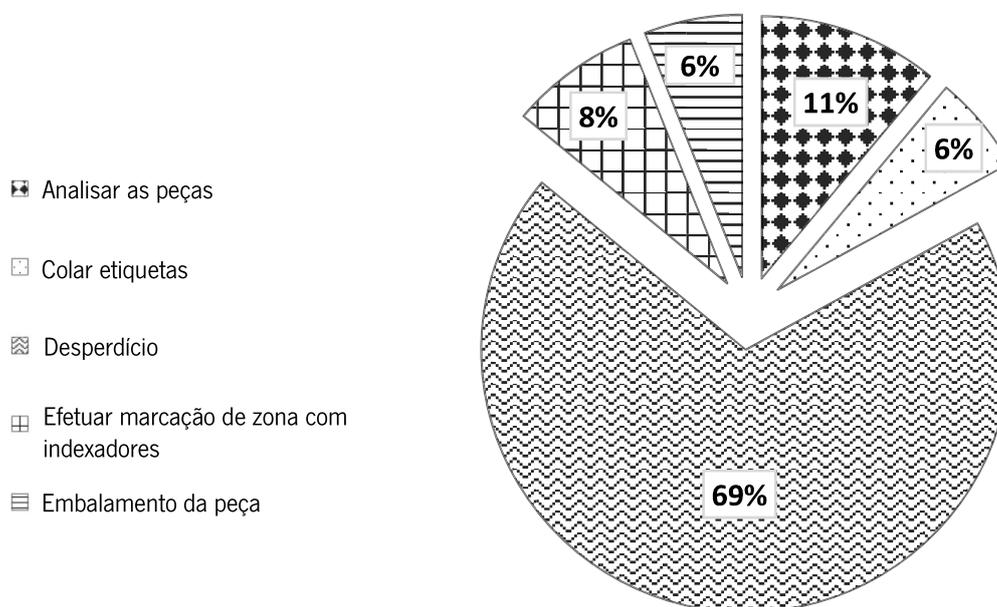


Figura 25 - Percentagem temporal de ocupação de um operador no processo de fabrico dos painéis de porta

Analisando o gráfico anterior, podemos facilmente reparar que a grande maioria do tempo útil de um operador está a ser desperdiçado. Com este desperdício estão associados custos elevados e uma eficiência muito baixa do processo. Este é um grave problema associado ao fabrico dos painéis de porta, e torna-se prioritário eliminar este desperdício.

3.1.4 Layout da fábrica

O número de máquinas necessárias para que sejam fabricados os painéis de porta é calculado com base na quantidade de carros a produzir num dia, e do tempo de ciclo que cada peça tem. Desta forma, tendo em conta que os quatro moldes podem trabalhar em qualquer máquina associada ao projeto, e que o processo de fabrico de todas elas é o mesmo, não é necessário ter uma máquina para cada um dos quatro moldes.

Na fábrica estão a ser utilizadas 3 máquinas para produzir os painéis de porta. Essas máquinas estão todas na mesma nave (designação para o pavilhão da fábrica), embora distanciadas umas das outras. Na Figura 26 encontra-se uma planta da nave em questão, bem como a posição das máquinas utilizadas para os painéis de porta.

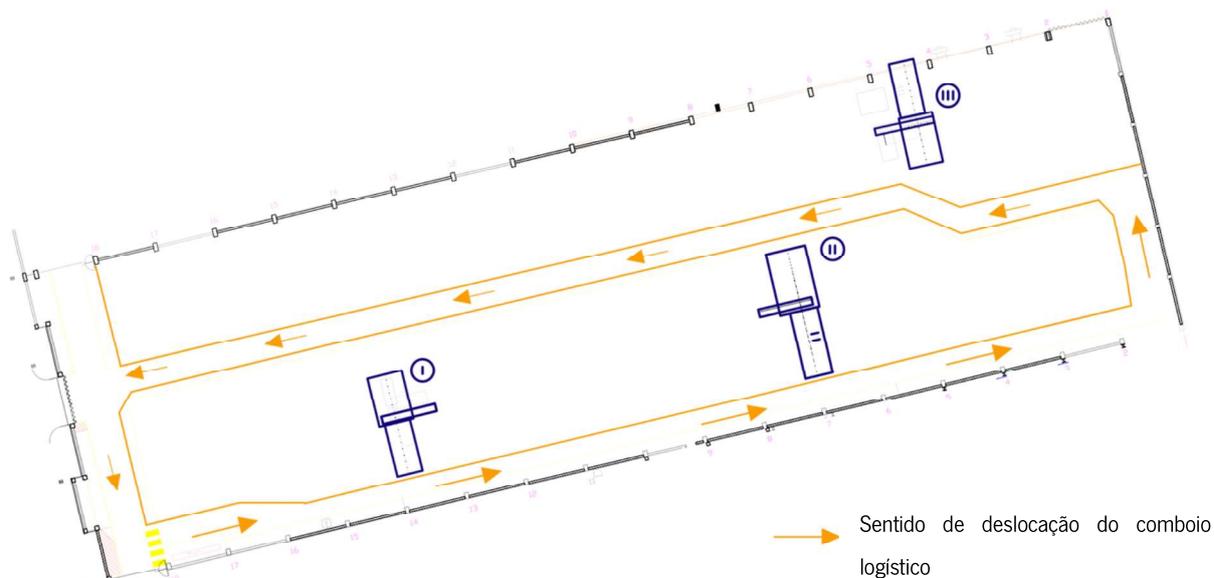


Figura 26 - Planta da nave da SP com representação do circuito do comboio logístico e disposição das máquinas utilizadas para o fabrico dos painéis de porta

3.2 Fase 2 - Propostas de solução

Depois de analisadas todas as características do espaço de trabalho e do processo de fabrico dos painéis de porta, surgiram três principais propostas de melhoria com a automatização. Estas propostas foram:

- Implementação de um robô colaborativo para realizar paletização de peças;
- Aplicação de uma câmara de visão para realizar análise e seleção de peças defeituosas;
- Mudança da localização das máquinas na planta da fábrica.

Atendendo às características do espaço de trabalho e às necessidades da fábrica, o tipo de automatização pensado para um processo como o dos painéis de porta, foi um processo de paletização de peças. A paletização é uma das grandes características chave dos robôs colaborativos (como foi explicado na secção 2.2), que conseguem de forma constante e precisa, realizar a mesma tarefa de empilhamento de peças vezes sem conta, sem qualquer interferência do ser humano.

Com a colocação de um robô a realizar a tarefa de paletização dos painéis, o operador não necessita de estar sistematicamente parado na frente do tapete em cada ciclo à espera de cada peça para prosseguir o seu trabalho. Desta forma, uma paletização automática elimina os “tempos mortos” de espera do operador num ciclo de injeção tradicional, ao permitir que o operador circule entre diversos espaços de trabalho. Todo o trabalho necessário realizar em cada peça por um operador, passa a ser realizado de uma vez só para todas as peças paletizadas.

A grande vantagem de se concentrar o trabalho e de realizar as tarefas de forma seguida é que estamos, da mesma forma, a agrupar os referidos “tempos mortos”. Posto isto, a fase indicada como “Desperdício” apresentada na Figura 25 passa a ser relativa ao ciclo de paletização, ao invés de estar associado ao ciclo de cada peça. Assim, alguns segundos por peça transformam-se em minutos por paletização que já permitem a utilização do tempo do operador para outras tarefas. O grande objetivo da aplicação de uma solução deste tipo trata-se de conseguir colocar um operador a realizar o trabalho de duas máquinas em simultâneo.

Na Figura 27 está representado um esquema com a comparação do processo em funcionamento a dois operadores em duas máquinas diferentes, com o funcionamento usando apenas um operador e uma solução de paletização. Este esquema é apenas um exemplo que considera a paletização de três peças. Para que uma aplicação deste tipo seja vantajosa, tem de ser realizada com o máximo de ciclos paletizados possível, de maneira a tornar o processo autónomo mais durável.

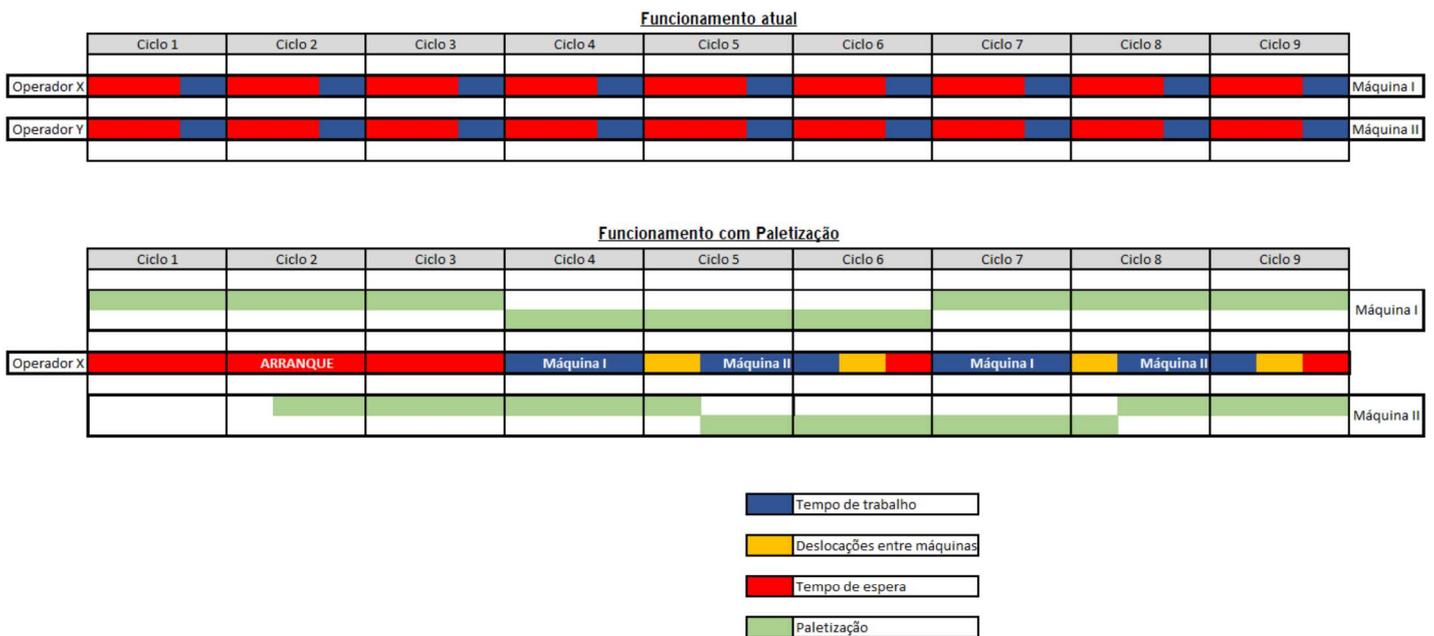


Figura 27 - Comparação do perfil de trabalho tradicional com o perfil de trabalho após implementação de sistema de paletização

Existem diversos meios de se realizar uma paletização e o acondicionamento de peças, mas o escolhido para este processo de fabrico foi do tipo “estante” com um sistema rotativo. Na Figura 28 podemos ver um esboço deste tipo de estrutura.



Figura 28 - Esboço demonstrativo do tipo de estrutura para paletização de painéis

O funcionamento de um sistema deste tipo é repartido em duas partes. Em primeiro lugar, um robô coloca peças penduradas num dos lados da estrutura e, quando completa a paletização nesse lado, a estrutura roda para que o robô consiga paletizar o lado vazio. Desta forma, todas as peças que se encontram paletizadas ficam disponíveis para que um operador (do lado oposto do robô) possa dar continuidade aos trabalhos necessários, sem que tenha de realizar pausas para esperar por peças. Na Figura 29 encontra-se uma representação esquemática do funcionamento desejado.

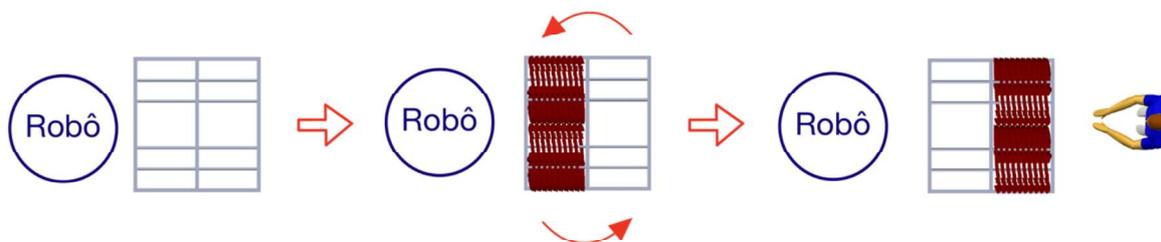


Figura 29 - Etapas para o processo com empilhamento de peças

Também de forma a auxiliar a tarefa de validação visual da peça - tarefa esta que exige uma elevada concentração e exigência visual por parte do operador- assim como reduzir o número de erros na validação e tolerâncias no fabrico dos painéis, estudou-se a aplicação de uma câmara de visão artificial industrial ao processo. Este tipo de câmaras têm sido a escolha prioritária das indústrias para operações de validação visual, dada a sua versatilidade e resultados precisos.

Por fim, a última das propostas de melhoria trata-se da mudança do local e orientação das máquinas de injeção. Tendo em mente que se pretende que um operador realize o trabalho de duas máquinas em simultâneo, não se tornam viáveis deslocações muito grandes sempre que é necessário

alternar de um espaço de trabalho para outro. Assim, uma das propostas de solução para a otimização do processo está associada à mudança de localização das máquinas na planta da fábrica.

Posto isto, os próximos subcapítulos irão abordar o estudo e projeto de todos os componentes necessários para a realização das melhorias apresentadas, sempre com especial atenção na segurança e bem-estar dos operadores, para se conseguir aumentar a eficiência e qualidade geral do produto final.

3.2.1 Robô colaborativo

Uma aposta da SP nos últimos tempos tem sido a aplicação de robôs colaborativos a processos industriais, dadas as elevadas vantagens da sua utilização face aos robôs autónomos industriais comuns já mencionadas nesta dissertação no capítulo 2.2. Assim, quando surgiu a oportunidade de otimizar a produção dos painéis de porta, a primeira proposta de solução a ser estudada foi a aplicação do robô colaborativo ao espaço de trabalho existente.

No caso do projeto dos painéis de porta, optou-se por utilizar um robô da marca *Kassow Robots*, como se pode ver na Figura 30. Algumas das principais características deste robô estão apresentadas na tabela abaixo.



Figura 30 - Robô colaborativo Kassow KR1805

Tabela 2 - Especificações técnicas do robô colaborativo Kassow KR1805

<i>Alcance</i>	1800 mm
<i>Carga suportada</i>	5 kg
<i>Graus de Liberdade</i>	7
<i>Repetibilidade</i>	+/- 0,1 mm
<i>Velocidade das juntas</i>	170/225 °/s
<i>Peso total</i>	38 kg
<i>Material</i>	Alumínio anodizado
<i>Temperaturas limite de operação</i>	0 °C aos 45 °C

Uma das razões para a escolha deste equipamento esteve relacionada com o alcance do seu braço, e consequentemente do seu maior espaço de trabalho quando comparado com os robôs da concorrência. O seu alcance é um aspeto essencial para que seja possível pegar nos painéis de porta do robô cartesiano da máquina de injeção, e manobrar as peças até todas as posições da estrutura de paletização. Também o facto de possuir 7 graus de liberdade confere a este robô uma elevada flexibilidade, tanto para a manipulação dos painéis de porta, como de qualquer outra peça que necessite de posições e trajetórias mais complexas.

O robô é constituído por mais do que o braço robótico e, de maneira a que se consigam controlar os motores das juntas, é necessário um controlador. Para além deste controlador, é necessário também um quadro elétrico onde se vão colocar todos os componentes elétricos (como a fonte de alimentação, relés de sinais e de segurança, disjuntores, etc.) requeridos para o funcionamento do sistema. No próximo subcapítulo encontra-se a descrição de todo o quadro elétrico e controlador.

3.2.2 Controlador e Quadro elétrico

Quando se pretende colocar um robô colaborativo a trabalhar num processo industrial que depende de outros equipamentos, é necessário que este comunique com estes sistemas de maneira a poderem atuar em sintonia. Também a programação do braço robótico tem de ser processada para que os motores das juntas possam mexer-se em conformidade para a realização das tarefas pretendidas, e é através do controlador que se consegue realizar todo este controlo. Na Figura 31 podemos ver o controlador do *Kassow*, e as respetivas legendas.

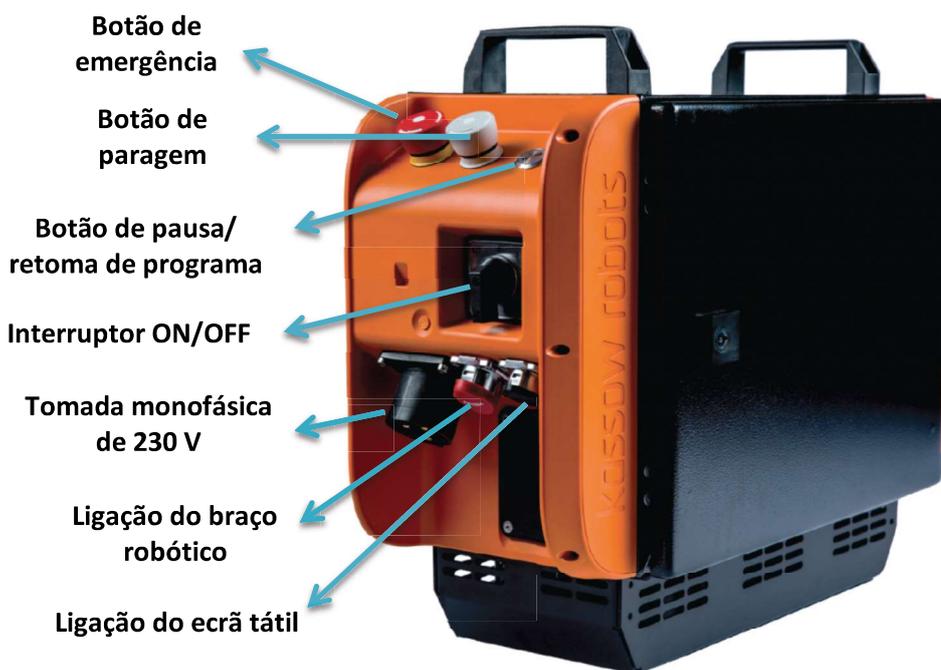


Figura 31 - Controlador do robô colaborativo e respetiva legenda de botões e ligações

Para se realizar a programação do braço robótico, utiliza-se uma interface com um ecrã tátil, no qual são mostradas diversas funções para se conseguir controlar o robô da forma pretendida. É apresentada de uma forma simplista e de fácil entendimento do utilizador toda a linha de código que se realizou. Na Figura 32 podemos ver esta interface.



Figura 32 - Interface de ecrã tátil para programação do braço robótico

Na produção dos painéis de porta deseja-se que exista uma interligação entre as máquinas de injeção e respetivos robôs cartesianos, a câmara de visão artificial, o sistema de rotação da estrutura metálica, com o controlador do robô colaborativo.



Figura 33 - Comunicações existentes entre o controlador e os sistemas periféricos

Para se alojar e proteger todos os componentes elétricos necessários para o funcionamento do robô e das respetivas comunicações apresentadas na Figura 33, foi necessário criar um quadro elétrico com todos os componentes apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 - Componentes utilizados no quadro elétrico

Componente	Imagem	Descrição
<p>1 - Conectores de 16 Pinos [21]</p>		<p>Os conectores servem para se fazer a ligação de comunicação entre o controlador e os diferentes sistemas periféricos. As ligações nos conectores são realizadas da seguinte forma:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pino 1 - Passagem de corrente • Pino 9 - Ligação à Terra • Pino 2 ao 8 - Inputs para o controlador • Pino 10 ao 16 – Outputs
<p>2 - Fonte de alimentação [22]</p>		<p>Este componente tem a função de converter a tensão elétrica de 230 V para 24 V, visto que os relés e componentes de comunicação funcionam com esta última tensão.</p>
<p>3 – Diferencial [23]</p>		<p>Dispositivo utilizado para proteger todo o circuito do quadro elétrico, sempre que a corrente ultrapassa o valor nominal (valor correspondente ao consumo do funcionamento normal do equipamento)</p>
<p>4 – Relés [24]</p>		<p>Os relés são interruptores eletromecânicos que abrem/fecham um circuito (circuito de carga) com base na corrente de um outro circuito separado (circuito de controle). A grande vantagem da utilização de relés é o isolamento dos dois circuitos mencionados, permitindo até que se usem tensões diferentes entre estes</p>

Componente	Imagem	Descrição
<p>5 – Disjuntores [25]</p>		<p>Os disjuntores são interruptores elétricos destinados a proteger os circuitos em situações anormais como o caso de picos de corrente ou de curto-circuito.</p>
<p>6 - Relé de segurança [26]</p>		<p>O relé de segurança, à semelhança dos relés normais, faz a separação de dois circuitos, mas tem a função de cortar a alimentação do quadro elétrico. Este é um caso de um relé que separa circuitos de tensões diferentes, a de controlo (24 V) e a de carga (230 V)</p>
<p>7 – Bornes [26]</p>		<p>Os bornes são os terminais numerados que se utilizam para realizar a ligação em segurança dos cabos elétricos.</p>
<p>8 – Filtro de interferências eletromagnéticas</p>		<p>Os filtros de interferências eletromagnéticas, ou filtros RFI (do inglês: “Radio Frequency Interference”) como o próprio nome indica, têm a função de mitigar os ruídos eletromagnéticos provocados pela corrente de motores, fontes de alimentação, e variados tipos de componentes elétricos. A filtragem das correntes indesejadas é feita através da sua frequência.</p>
<p>9 – Tomadas [27]</p>		<p>As tomadas utilizadas no quadro elétrico servem para se realizar a conexão das fichas monofásicas que se pretendem alimentar com os 230 V. No quadro elétrico do robô existem duas no total: uma para se fazer a alimentação do robô e outra extra para o caso de ser necessário ligar algum equipamento.</p>

Componente	Imagem	Descrição
<p>10 – Manipulo de corte geral [28]</p>		<p>Manipulo de corte de corrente do quadro elétrico. Encontra-se a realizar a alimentação do quadro elétrico, o que significa que sempre que acionado permite cortar o funcionamento de todos os componentes ligados ao quadro ou no seu interior.</p>
<p>11- LED de Alimentação</p>		<p>Este pequeno LED sinaliza a presença de corrente no interior do quadro. Esta luz facilita a visualização, não só para segurança como também para resolução de possíveis problemas.</p>
<p>12- Núcleo de Ferrite [29]</p>		<p>Os núcleos de ferrite são componentes magnéticos feitos de maioritariamente por óxido de ferro (ferrite). São considerados componentes elétricos passivos, dado que a sua função é bloquear ruídos de alta frequência que possam interferir com outros componentes. Estes componentes são normalmente utilizados em máquinas industriais para que os campos magnéticos, provocados pela passagem da corrente elétrica em cabos, não causem interferências noutros dispositivos.</p>

Para se alimentar todo o conjunto é necessário a presença de uma ficha monofásica de 230 V, visto que todos os sistemas periféricos existentes na fábrica funcionam com esta corrente por ser aquela disponível na rede dos postos de trabalho. Esta ficha encontra-se ligada ao diferencial para proteger o quadro elétrico e todos os componentes do circuito. Os disjuntores presentes no quadro elétrico servem para proteger as tomadas elétricas do quadro, e a fonte de alimentação. Estes disjuntores são projetados para cortar o circuito elétrico sempre que existem curto-circuitos ou picos de corrente, e funcionam para uma determinada corrente. No caso dos dois tipos de disjuntores utilizados, foi escolhido um disjuntor de 6 A para a fonte de alimentação, e dois disjuntores de 16 A para a tomadas do quadro elétrico.

Dado que se pretendem receber e enviar diversos sinais (sensores e atuadores) para a automatização do sistema, utilizam-se relés para efetuar este controlo em conjunto com o próprio controlador. Todas as ligações são realizadas a bornes por forma a se conseguir organizar as ligações e

ter os cabos ligados da forma mais segura possível. Também se for necessário refazer alguma ligação, torna-se mais fácil fazê-lo nos bornes.

Podemos ver o estado final do quadro elétrico depois de montado na Figura 34:

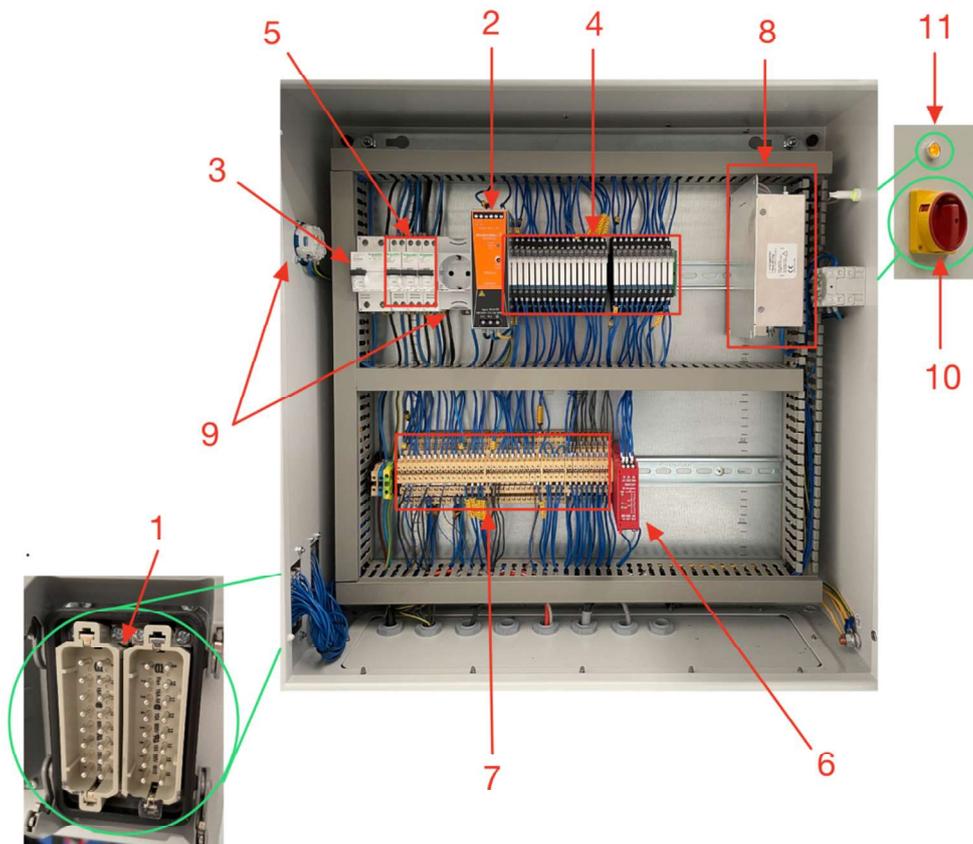


Figura 34 - Quadro elétrico e respetiva legenda de componentes (em conformidade com a Tabela 3)

3.2.3 Sistema Pneumático

Neste projeto pretendem-se utilizar os sistemas pneumáticos para as seguintes situações:

1. Manipulador do robô (sistema de sucção para pega de peças com ventosas – Subcapítulo 3.2.4)
2. Sistema de rotação da estrutura de paletização (Ar comprimido para movimentação de cilindros – Subcapítulo 3.2.7)

Para que se conseguisse alimentar estes dois sistemas, recorreu-se à rede de ar comprimido existente na fábrica. Todos os postos de trabalho possuem ligação a esta rede, que funciona a aproximadamente 6 bar. O sistema pneumático necessário é constituído por dois tipos de equipamentos: os equipamentos que tratam e controlam o ar comprimido, e os sistemas de criação e controlo de vácuo. Ambos os componentes se encontram interligados, mas o ar comprimido é utilizado para o sistema de

rotação da estrutura metálica, ao passo que o vácuo é utilizado para fazer a sucção da peça no manipulador. Na Tabela 4 estão apresentados os componentes utilizados no sistema pneumático.

Tabela 4 - Componentes do sistema pneumático

Nome	Imagem	Descrição
Válvula manual	 A manual valve component with a grey body and an orange top section, featuring a grey handle on top and two ports on the side.	Abre ou fecha o circuito de ar. É realizado o seu acionamento de forma manual
Regulador de Pressão com filtro	 A pressure regulator with filter component, consisting of a grey body with an orange top section and a grey handle on top, with two ports on the side.	O regulador de pressão tem a capacidade de limitar a passagem do ar num determinado valor de pressão. Este regulador para além desta função, possui um filtro que limpa impurezas que possam vir suspensas no ar
Manómetro	 An analog pressure gauge with a circular face, a needle, and a scale. The scale is marked in bar (0 to 10) and has the brand name 'METAL WORK' visible.	Dispositivo analógico que mostra o valor da pressão do ar no circuito

Nome	Imagem	Descrição
Sensor de pressão		Lê o valor da pressão e converte esse valor para um sinal digital lido pelo controlador.
Regulador de pressão simples		Possui a mesma função do regulador de pressão com filtro, mas não possui filtro de limpeza.
Electroválvula simples [30]		Permite abrir/fechar um circuito de ar através de um sinal elétrico. Pode ser normalmente aberta ou normalmente fechada.
Electroválvula direcional		Mesmas características da electroválvula simples, mas o facto de ser direcional dá-lhe a possibilidade de escolher, de entre dois circuitos, qual irá ser aberto/fechado.

Nome	Imagem	Descrição
Bomba de vácuo		Converte o ar comprimido em vácuo para ser utilizado em situações onde é necessária sucção.
Distribuidor de caudal		Distribui o ar comprimido de uma fonte por diferentes saídas
Acessórios de conexão rápida		Permitem realizar as ligações de forma simples entre o tubo e os componentes pneumáticos
Tubo [31]		Serve de condutor do ar. Possui 4 mm de espessura, e o seu material é poliuretano

Componentes Iniciais

Primeiramente, o ar comprimido da rede é ligado a três equipamentos que tratam de limpar o ar e de controlar o seu fluxo (abordados neste documento como componentes iniciais). O primeiro da série, é uma válvula manual para abertura e fecho da entrada de ar no sistema. Este é o primeiro componente do circuito para que, no caso de existir uma emergência, se possa bloquear a passagem de ar para todos os outros componentes do conjunto.

O segundo componente a surgir na sequência trata-se do regulador de pressão com filtro de ar. Este componente, como o próprio nome indica, filtra as impurezas ou pequenos detritos que possam vir suspensos no ar, e ao mesmo tempo limita a pressão do ar no valor pretendido. Desta forma protegem-se os equipamentos, e torna-se possível, de forma simples, efetuar a limpeza e manutenção do filtro. Possui um manómetro para que se consiga ver a pressão selecionada dentro do circuito.

De seguida o ar passa por um leitor de pressão. Este sensor tem a função de ler a pressão do ar para que o controlador saiba da ocorrência de uma possível anomalia. Se o valor do caudal for inferior ao estipulado, é executada uma ordem de paragem do robô e enviado um sinal para a interface para que se consiga detetar mais facilmente o problema.

Na Figura 35 podemos ver os três componentes iniciais e a respetiva deslocação do ar (representada pelas setas direccionais).

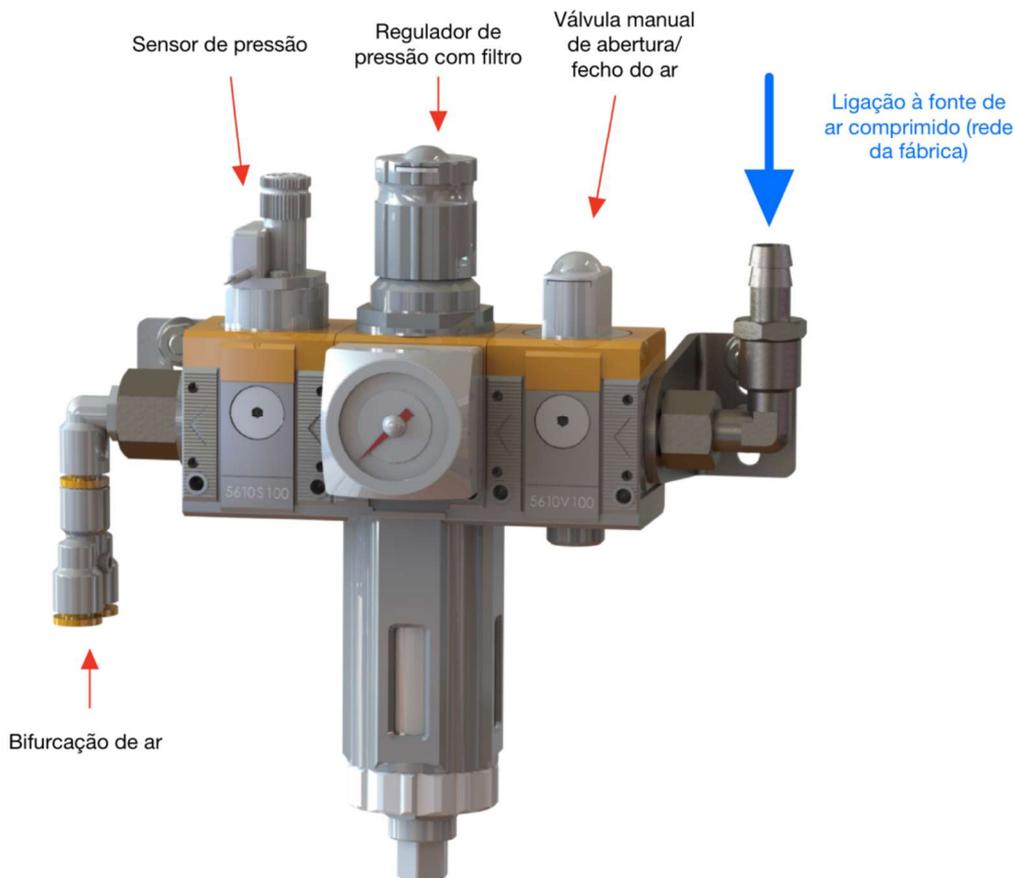


Figura 35 – Componentes de entrada para controlo e limpeza do ar comprimido

Produção de vácuo

No final da passagem pelos componentes iniciais, o ar é dividido por dois canais distintos. Um deles irá fazer a alimentação dos cilindros do sistema de rotação da estrutura metálica, ao passo que o segundo canal alimentará o circuito de criação de vácuo para as ventosas do manipulador do braço robótico.

Para se dar início à produção de vácuo, o ar proveniente dos componentes iniciais é submetido a uma electroválvula. Esta electroválvula é comandada pelo controlador do robô, e sempre que é necessário abrir ou fechar a passagem de ar, esta responde ao sinal dado. O seu estado é normalmente fechado para que, no caso de ocorrer uma quebra de corrente e a alimentação elétrica deixar de existir, ela se feche e bloqueie a passagem do ar. Esta electroválvula está ligada a um distribuidor de caudal,

que pode ser utilizado para se ligarem mais equipamentos se necessário, e este distribuidor, por sua vez, encontra-se conectado com a bomba de vácuo. A produção de vácuo é realizada através de uma bomba com venturi, que possui um vacuostato que indica qual a pressão existente no circuito.

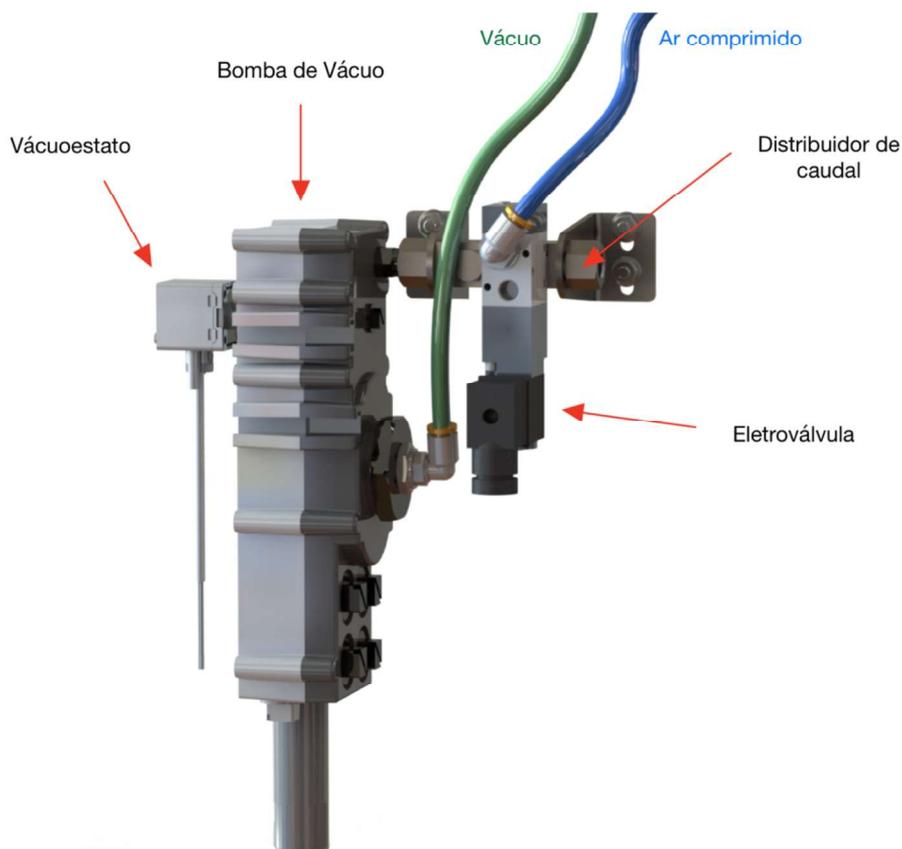


Figura 36 - Sistema de criação de vácuo

Sistema de rotação

Por fim, se considerarmos a segunda direção da bifurcação (ligação ao sistema de rotação), podemos reparar que o ar comprimido é novamente separado por dois canais. Ambos os canais encontram-se ligados a uma electroválvula, mas um desses canais submete o ar a um regulador de pressão extra. Isto irá permitir a utilização de duas pressões diferentes para o mesmo circuito de ar. Para clarificar, no caso de se necessitar de uma pressão de rede (proveniente dos componentes de entrada), a electroválvula abre a entrada do circuito sem regulador de pressão; se quisermos baixar a pressão, o controlador manda um sinal para a electroválvula trocar o canal de entrada, e o ar faz a passagem no regulador de pressão (que faz baixar a pressão). Isto é algo extremamente útil no funcionamento do sistema de rotação, que será explicado no subcapítulo 3.2.7.

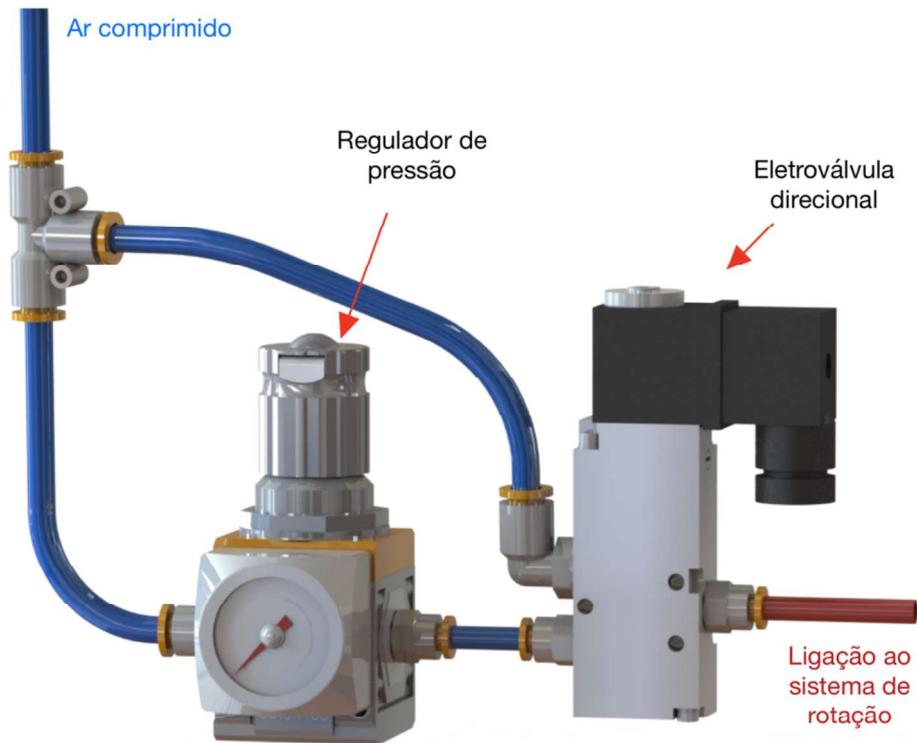


Figura 37 - Sistema de baixa pressão utilizado para variar pressões de ar

Na Figura 38 podemos ver todos os componentes mencionados, a sua montagem e o circuito de ar principal representado.

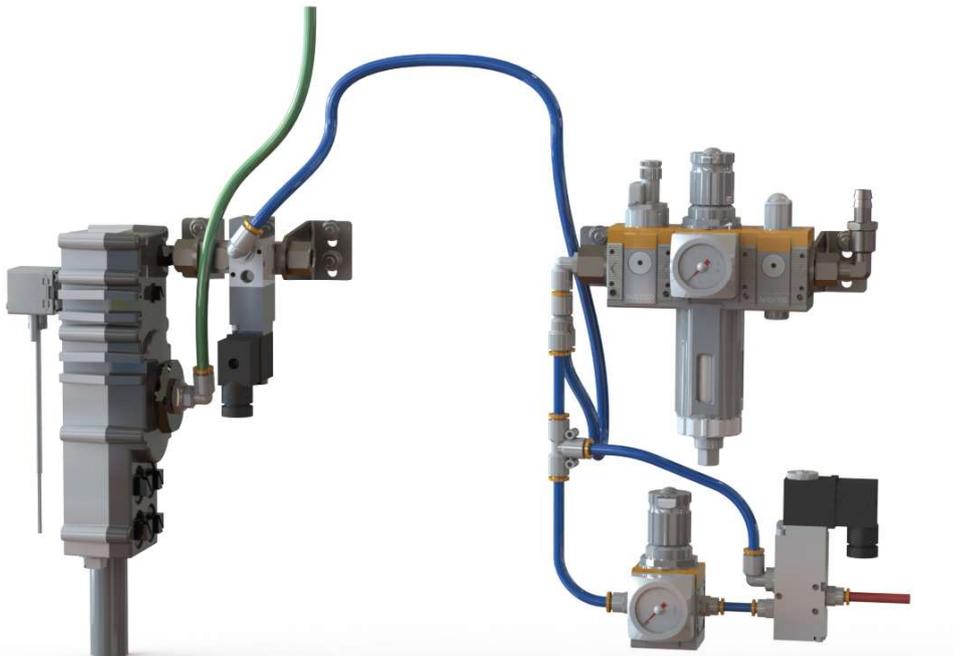


Figura 38 - Principais componentes do circuito pneumático do robô

3.2.4 Manipulador

O primeiro passo na projeção de um manipulador para o robô trata-se de decidir qual o tipo de pega que este irá realizar na peça. As possibilidades de pinças (elétricas ou pneumáticas) ou de, por exemplo, garras biônicas, foram rapidamente ignoradas dado que não são uma solução favorável para a geometria da peça. Desta forma, a melhor solução para este tipo de peças trata-se de manipuladores com ventosas de sucção. As superfícies dos painéis de porta, mesmo sendo texturadas, apresentam uma grande facilidade de aderência às ventosas de ar.

Também os robôs cartesianos montados no cimo das máquinas de injeção possuem todos eles manipuladores com ventosas de sucção, e atendendo a que existe uma divisão na própria fábrica dedicada ao fabrico de manipuladores deste tipo, tornou-se evidente qual seria a melhor opção para a escolha de manuseamento da peça.



Figura 39 - Manipulador com ventosas de sucção do robô cartesiano

O manipulador escolhido para o robô colaborativo é composto por 3 pontos de pega, uma vez que é o número mínimo de pontos necessários para formar um plano que permite limitar ao máximo rotações e instabilidade da peça. Na escolha do número de pontos para a pega da peça tiveram-se em atenção alguns aspetos. O peso da peça e a sua estabilidade são sempre o mais importante, sendo necessário manobrá-la sem que haja a probabilidade de ela cair por falta de suporte. Outro ponto estritamente necessário para que a flexibilidade de todos os postos de trabalho não se comprometa, é a utilização do mesmo manipulador para os dois tipos de peças, traseiros e frontais (que possuem dimensões e geometrias diferentes). Desta forma torna-se possível usar qualquer um dos moldes nos dois espaços de trabalho. Este requisito foi também o que definiu o método de estudo para a determinação de quais os pontos de pega da peça pelo manipulador.

Os painéis possuem dois lados distintos: o lado técnico e o lado visível. As peças quando saem do molde, são retiradas pelo robô cartesiano pelo lado visível. Dado que o robô colaborativo vai pegar na peça diretamente do robô cartesiano, o lado com o qual terá de lidar será o lado técnico (oposto ao do cartesiano). Este lado possui bastantes nervuras e irregularidades na sua geometria, o que aumenta a dificuldade de pega por parte das ventosas dos manipuladores.



Figura 40 - Painel de porta traseiro: a) lado visível b) lado técnico

Para descobrir os pontos de contacto entre a peça e as ventosas, sobreuseram-se os painéis frontais e traseiros e analisaram-se as zonas onde se pode realizar o contacto da ventosa com a peça. Desta zona exclui-se as grelhas de som, uma vez que, para além de terem orifícios (superfície não viável para contacto com as ventosas), vão ser locais de uma posterior análise realizada por uma câmara de visão computacional (subcapítulo 3.2.8), não podendo ficar obstruídas. Na Figura 41 podemos ver as peças sobrepostas e as áreas referidas:



Figura 41 - Pannel traseiro e frontal sobrepostos. O círculo vermelho corresponde a uma zona que não pode ser obstruída, e as zonas verdes correspondem aos locais comuns às duas peças que podem ser estudados para realizar a pega da peça.

Depois de se terem as peças sobrepostas, é necessário decidir três zonas para cada uma das três ventosas. De modo a se conseguir o máximo de estabilidade possível, convém ter estes três pontos o mais afastados possível, possibilitando assim um maior controlo dos braços do manipulador sobre a larga geometria da peça. Considera-se ainda que as peças esquerdas e direitas são simétricas, o que nos permite fazer o estudo apenas para um dos casos, desde que o manipulador seja simétrico também. Tendo estes aspetos em mente, facilmente se identificam quais as três zonas a ser estudadas, que estão representadas na Figura 42.

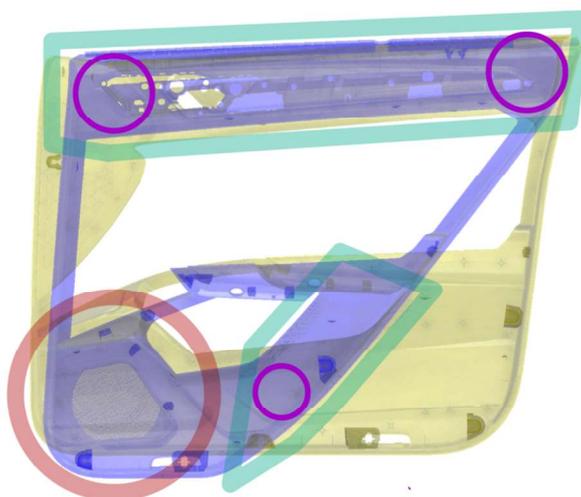


Figura 42 - 3 zonas escolhidas para o estudo de pega na peça

Com base nestas localizações aproximadas, criou-se um esboço da forma do manipulador capaz de alcançar estes pontos e que possuísse a geometria mais simples possível. Este modelo está representado na Figura 43.



Figura 43 – Esboço da geometria do manipulador para o robô

Essas três zonas foram escolhidas com base na sua superfície, que teria de ser o mais plana possível e sem saliências. Embora existissem outros lugares válidos para realizar o contacto com as ventosas do manipulador, escolheram-se as mostradas na Figura 44. Em virtude de se conseguir ter os pontos todos nas extremidades da peça, ambas as peças apresentam a melhor distribuição de peso possível pelos três pontos de pega.

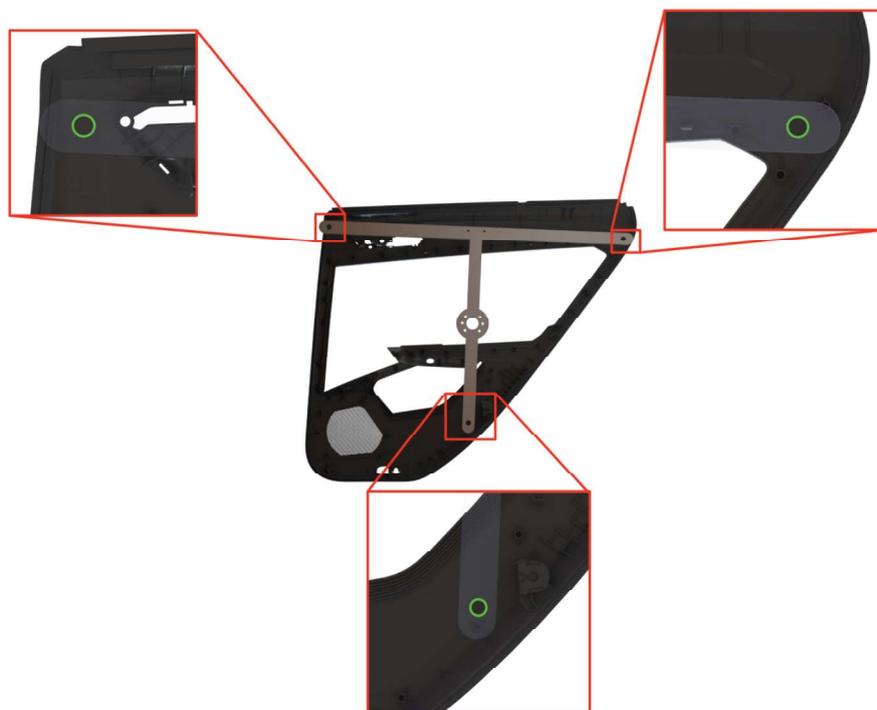


Figura 44 - Locais específicos do painel de porta traseiro onde a ventosa irá estabelecer contacto com a peça

No que toca às ventosas utilizadas para efetuar o contacto entre o manipulador e o painel de porta, escolheu-se um modelo normalizado específico para peças texturizadas da marca *FESTO*, apresentadas na Figura 45.



Figura 45 - Ventosas de sucção utilizadas para o manipulador do robô colaborativo

Tendo em conta que a geometria do manipulador é bastante aguçada, existe um risco acrescido para qualquer pessoa que se encontre perto do robô. Uma vez que este processo está a ser pensado para ser colaborativo, torna-se importantíssimo que se crie algum tipo de proteção para o caso do manipulador colidir com algo. Para minimizar este risco acrescentou-se uma espuma a toda a volta do manipulador, que elimina as arestas vivas e amortece qualquer tipo de colisões.

Podemos ver na Figura 46 o resultado da modelação protótipo do manipulador para os painéis de porta:



Figura 46 - Manipulador completo projetado para o robô

Dado que apenas um tubo alimenta o vácuo para três pontos distintos, utilizou-se um T para fazer a separação em dois canais distintos: um para a ventosa inferior, e outro para as duas ventosas

superiores. A separação para a ventosa superior esquerda e direita foi realizada com um distribuidor aparafusado à estrutura. A massa do conjunto é de cerca de 1,8 kg.

3.2.5 Base para robô

Para o fabrico de uma base para o robô, pensaram-se em diferentes propostas, tanto para fixação permanente como para fixação móvel. O facto de se terem pensado em diferentes soluções está relacionado com a intenção da SP em testar duas soluções no terreno para poder validar o conceito, não só para este processo em específico, mas também para todos os outros projetos de robôs colaborativos do mesmo gênero que possam vir a precisar de um dos dois tipos suporte. Concluiu-se que, devido às máquinas que produzem os painéis serem sempre as mesmas, e a mudança de posição do robô não ser uma possibilidade de curto prazo, o melhor seria avançar com um suporte de fixação permanente. Desta forma, evitam-se desvios de posição da base e aumenta-se a estabilidade geral da estrutura.

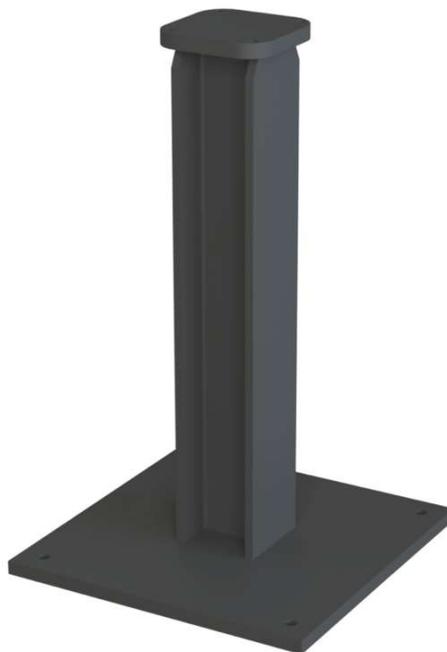


Figura 47 - Base de robô fixa

A estrutura deste suporte de fixação permanente ao chão da fábrica é apenas constituída por uma viga em H com duas chapas em cada extremidade. Uma (de maiores dimensões) que serve de base para se realizar a fixação ao chão, e outra segunda chapa colocada no extremo oposto (de menores dimensões) que serve para se aparafusar o robô a todo o resto da estrutura. Ambas as chapas referidas possuem as furações necessárias e estão soldadas à viga principal.

Como foi anteriormente referido, para além do robô colaborativo, esta base também necessita de suportar o quadro elétrico já produzido, o controlador do robô e todos os componentes pneumáticos.

Desta forma, fizeram-se umas adições ao esboço inicial de maneira a se conseguir alojar estes componentes. Para isso, colocou-se uma chapa com as mesmas dimensões de largura e altura das traseiras do quadro elétrico e aparafusou-se a chapa e o quadro. Também se utilizou esta chapa para se fixarem todos os componentes pneumáticos do sistema, sendo necessário realizar furações nos locais destinados aos parafusos. Podemos ver na Figura 48 a chapa bem como a base do robô com estas alterações aplicadas.



Figura 48 - montagem do quadro elétrico e vista explodida da sua montagem na base do robô

Para otimizar o espaço existente, optou-se por colocar o controlador no lado oposto ao quadro elétrico, mas desta vez recorreu-se a uma chapa com duas saliências que servem de “gancho” às traseiras do controlador. Na Figura 49 podemos ver estes suportes ilustrados.



Figura 49 - Suporte do controlador em formato de gancho

Dado que existem bastantes cabos a circular ao longo da viga, uma solução adotada (não só de proteção, como também de organização e estética) foi a adição de duas tampas nas laterais da viga, como se pode ver na Figura 50. Estas tampas são chapas quinadas, fixadas por três parafusos em cada um dos lados da viga.



Figura 50 - Chapas de cobertura da base para proteger e esconder cablagens

Recorrendo a uns pequenos suportes ligados na viga, é possível aparafusar tanto o quadro elétrico como o controlador à viga sem exceder as dimensões necessárias para a base. A Figura 51 mostra a

proposta de solução para o suporte fixo, já com o quadro elétrico, componentes pneumáticos e com o controlador do robô colocados:



Figura 51 - Modelação do robô com controlador, componentes pneumáticos e quadro elétrico

Análise de elementos finitos

Tendo a estrutura da base bem definida, realizou-se com recurso ao software *Solidworks* uma análise estática de elementos finitos a todo o sistema, de modo a perceber se a base está bem dimensionada para suportar todos os componentes.

O objetivo desta análise é perceber se o perfil da viga é o suficiente para suportar todos os componentes. Esta análise foi feita apenas na viga principal da base, de modo a se simplificarem os cálculos, examinando apenas o impacto do robô no ponto mais afastado (ponto crítico), e o impacto do peso do controlador e quadro elétrico no conjunto, aplicando cargas remotas na base. Na Tabela 5, podemos ver as principais informações relativas à simulação realizada, e ao material utilizado.

Tabela 5 - Características do material selecionado para a estrutura da base

Material	Aço S235 JR
Módulo de elasticidade	200 MPa
Coefficiente de Poisson	0,29
Densidade	7870 Kg/m ³
Tensão de cedência	325 MPa
Conexões na simulação	Fixas na zona de parafusos
Contactos estabelecidos	Entre base e chão
Valor da gravidade	9,81 m/s ²

Esta análise deve ser realizada para a posição em que o braço robótico está o mais afastado possível da base, posição esta que exerce o momento máximo sobre a base, ilustrada na Figura 52.



Figura 52 - Robô na posição mais afastada

Para se fazerem os cálculos, o primeiro passo foi descobrir as coordenadas dos centros de gravidade do robô, do controlador e do quadro elétrico, que constituem as principais cargas na base. Para se determinarem as coordenadas do braço robótico, tiveram-se em consideração o peso da peça e do manipulador. Na Tabela 6 podemos ver as coordenadas destes pontos relativas ao referencial presente no eixo da viga coincidente à face da chapa inferior (visível na Figura 53).

Tabela 6 - Coordenadas dos centros de gravidade das cargas remotas aplicadas na base do robô

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Controlador	0	-185	433
Quadro Elétrico	0	170	530
Robô + Manipulador + Peça	0	517	1237

Tendo o material definido e as coordenadas dos pontos onde serão aplicadas as cargas remotas na viga do suporte, ficam por definir as posições onde se vai fixar a estrutura. As zonas escolhidas foram quatro pontos correspondentes às posições dos parafusos da chapa inferior de contacto com o chão. Na Figura 53 podemos ver uma imagem da base do robô após se aplicarem as condições para efetuar a simulação.

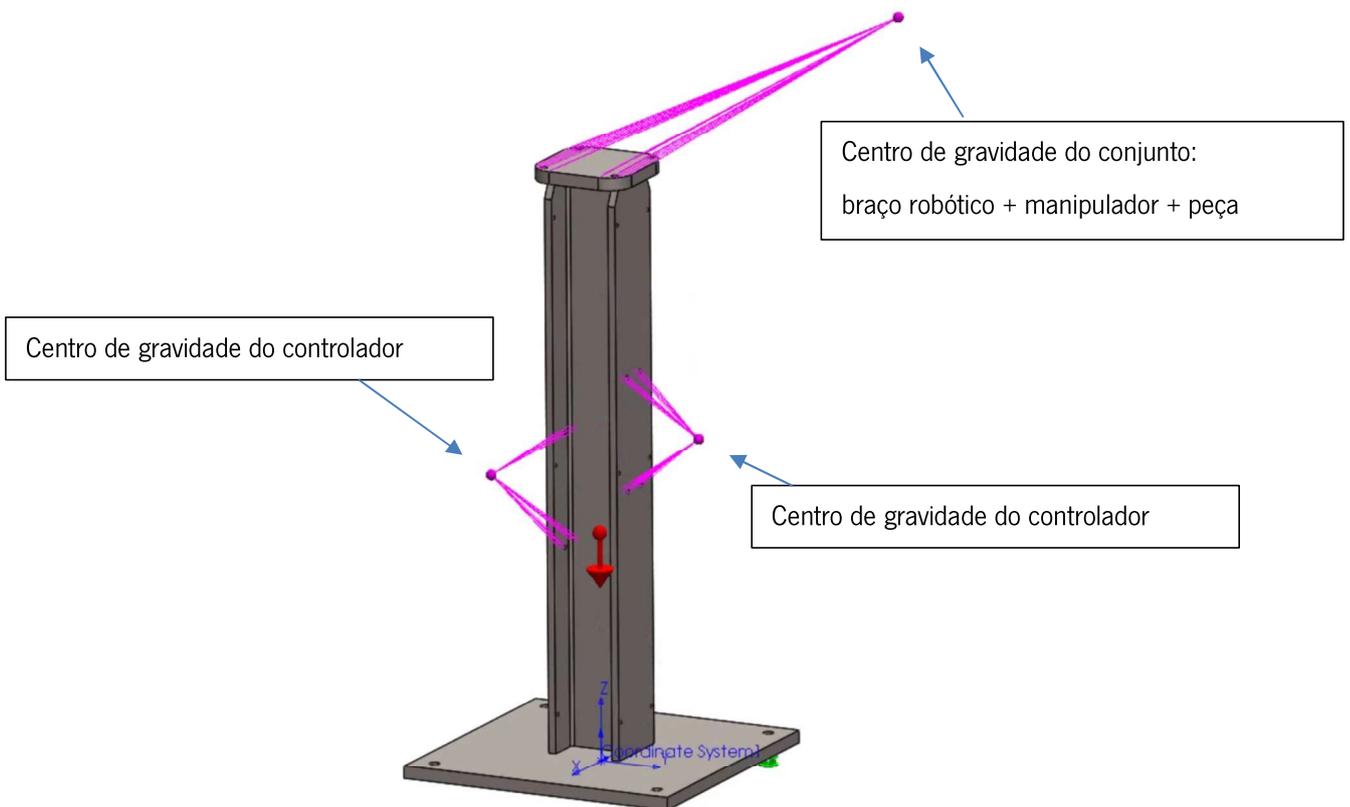


Figura 53 - Cargas remotas dos centros de gravidade dos componentes em estudo

Por fim, para se conseguir correr a simulação no software, passou-se à criação de uma malha para o modelo da estrutura, que possui as características apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Características da malha para o modelo da estrutura

Tipo de malha	Malha sólida
Qualidade da malha (avaliada pelo Software)	Elevada
Pontos Jacobianos	16 pontos jacobianos
Tamanho máximo dos elementos	21 mm
Tamanho mínimo dos elementos	4 mm
Número total de nós da malha	148982
Número total de elementos na malha	89824

Os estudos estáticos realizados no software *Solidworks* permitem analisar os seguintes parâmetros:

- Tensão máxima de Von Mises
- Deslocamento máximo
- Coeficiente de segurança

Os resultados obtidos estão representados na Figura 54

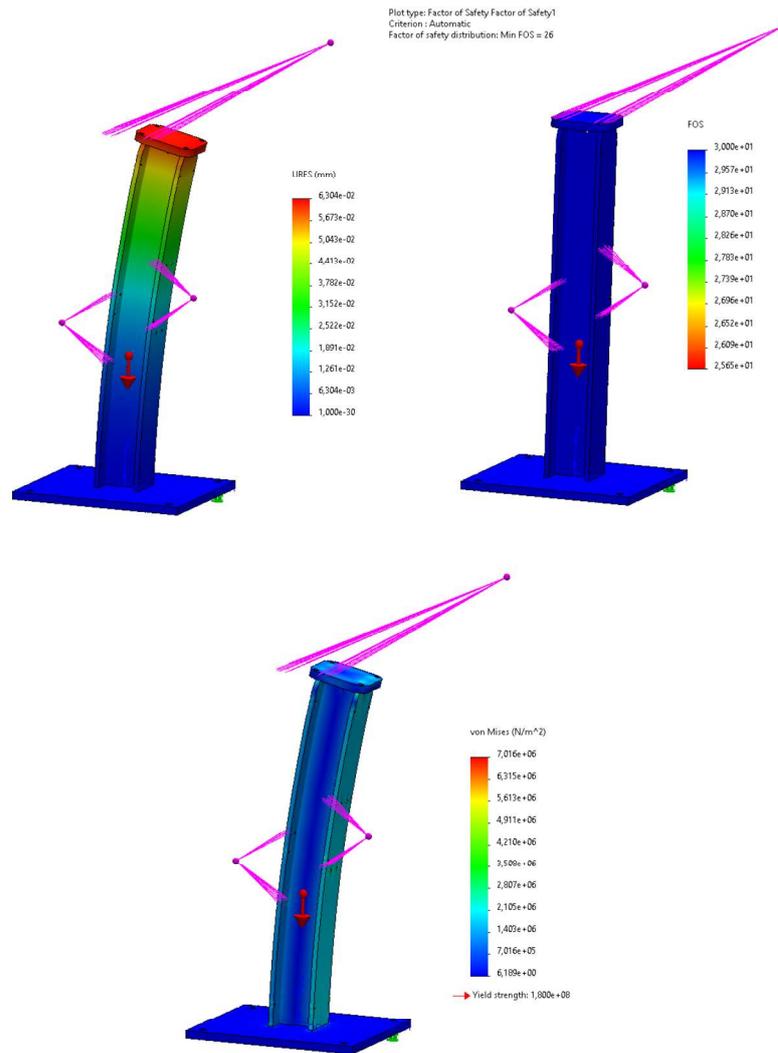


Figura 54 - Resultados da simulação de análise de elementos finitos

Como se pode ver nos diagramas, a base está bastante sobredimensionada para a sua tarefa, apresentando um coeficiente de segurança de 26. Também o seu deslocamento máximo no ponto em estudo, pode ser considerado nulo. Estes resultados eram esperados, uma vez que uma viga com as dimensões consideradas apresenta uma capacidade de resistir a cargas bastante mais elevadas.

3.2.6 Estante de peças

Para se conseguir realizar uma paletização, é necessária uma estrutura que consiga acomodar as peças que vão sendo produzidas, sem que estas se danifiquem. Para além disso, o acesso do operador deve ser o mais facilitado possível, e a estabilidade elevada.

Os principais pontos a ter em consideração no projeto de uma estrutura deste gênero são:

- Espaço ocupado
- Capacidade total de peças
- Simplicidade de construção
- Facilidade de remoção de peças pelo operador
- Facilidade de colocação de peças pelo robô
- Funcionamento para todas as versões de painéis

O requisito mais importante de todos os mencionados, é a capacidade de se paletizar as peças todas num só modelo de estante. Isto evita que se criem diferentes estruturas, e que se troque de estante, sempre que o molde da máquina é mudado. Tendo em conta que se pretendem ter as peças penduradas, começou-se por definir quais os pontos das peças onde se poderiam colocar suportes. Para definir estes pontos, colocaram-se as modelações das peças na vertical, visto que é uma posição mais vantajosa para a paletização, uma vez que diminui a largura do conjunto total, e conseqüentemente reduz o momento de inércia da estrutura em rotação. A análise, mais uma vez, foi apenas realizada com um modelo traseiro e um modelo dianteiro, dado que as peças esquerdas/direitas são simétricas e as soluções idênticas.

Após se terem colocado as peças na posição vertical, identificaram-se dois pontos com a mesma distância entre eles, que serviriam para a colocação dos pinos de suporte para os painéis. Esses pontos estão representados na Figura 55.



Figura 55 - Localização dos pontos para os pinos de paletização da estante

Para se confirmar de forma mais fiável nos pontos escolhidos, sobrepueram-se as duas peças para ver qual seria a posição de ambas as peças. Esta sobreposição vem validar a posição de paletização final, e pode ser vista na Figura 56:



Figura 56 - Sobreposição das peças para validação de pontos de suporte

O estudo desta estrutura começou por ser feito para um suporte de peças com três níveis de altura e com duas filas de empilhamento cada, como podemos ver na Figura 28. Assim, se cada fila suportasse 6 peças, teríamos então um total de 36 peças por cada lado do suporte.

Acontece que, neste tipo de configuração, o terceiro nível torna-se demasiado elevado para a média dos funcionários, e obriga a que estes elevem os braços acima da cabeça cada vez que pegam numa peça de um nível superior. Assim, passaram-se as peças do terceiro nível para os dois níveis inferiores, acomodando 10 peças por cada fila paletizada. Desta forma, conseguimos obter um total de 40 peças por cada lado da estrutura, como podemos ver na Figura 57.



Figura 57 - Empilhamento desejado para os painéis de porta frontais

Atendendo às coordenadas aproximadas dos pontos escolhidos, para realizar o empilhamento mostrado na figura, desenvolveu-se uma estrutura tubular, com tubos de perfil quadrado em aço com os suportes das peças feitos com tubos circulares no mesmo material. Os tubos quadrados utilizados possuem 40 x 40 mm de largura e os tubos circulares 20 mm de diâmetro, e o seu fabrico recorre apenas a corte e soldadura para realizar as uniões dos tubos. O resultado final pode ser visto na Figura 58.

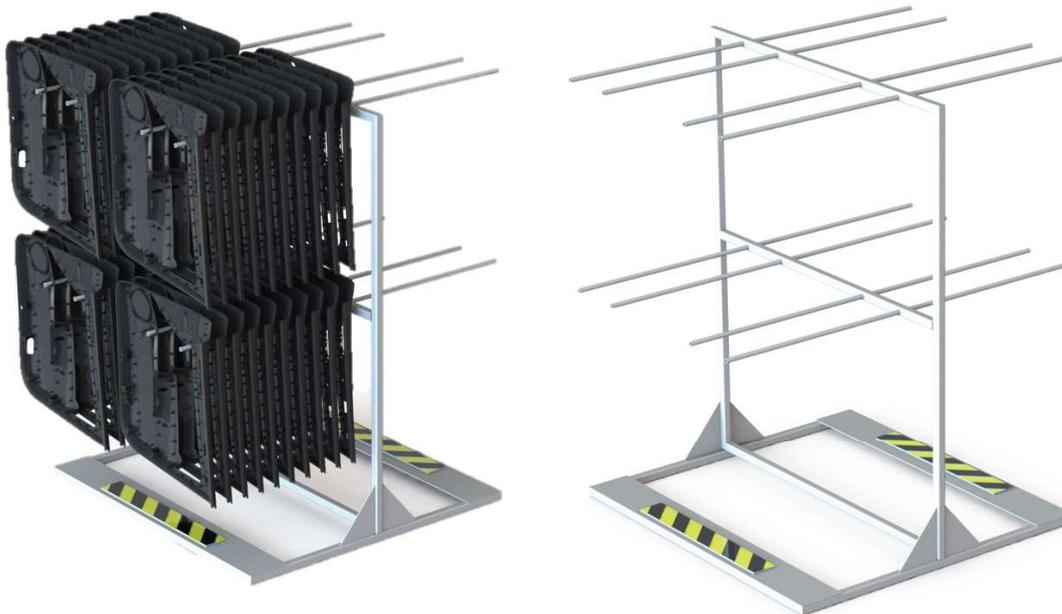


Figura 58 - Modelo de estante para paletização dos painéis

Análise de elementos finitos

De modo a se perceber se as dimensões escolhidas e desenhadas estão bem dimensionadas para suportar com todos os painéis, realizou-se uma análise de elementos finitos recorrendo ao programa *Solidworks*. Para selecionar as condições para análise, utilizou-se o caso dos painéis mais pesados, que correspondem ao pior cenário para suporte dos pinos. Os painéis mais pesados são os frontais, possuindo uma massa de aproximadamente 1,5 kg. Assim sendo, cada conjunto de dois pinos terá de conseguir suportar o peso de 10 painéis, que equivale a uma massa total de 15 kg.

De modo a determinar qual a carga que cada um destes pinos estará sujeita, é necessário primeiramente determinar as condições de fronteira e as reações nos apoios da peça. Utilizando o painel frontal direito para exemplificar o cálculo efetuado, veremos primeiramente quais as distâncias entre o centro de gravidade da peça e os pinos da estante. Estas distâncias estão representadas na Figura 59.

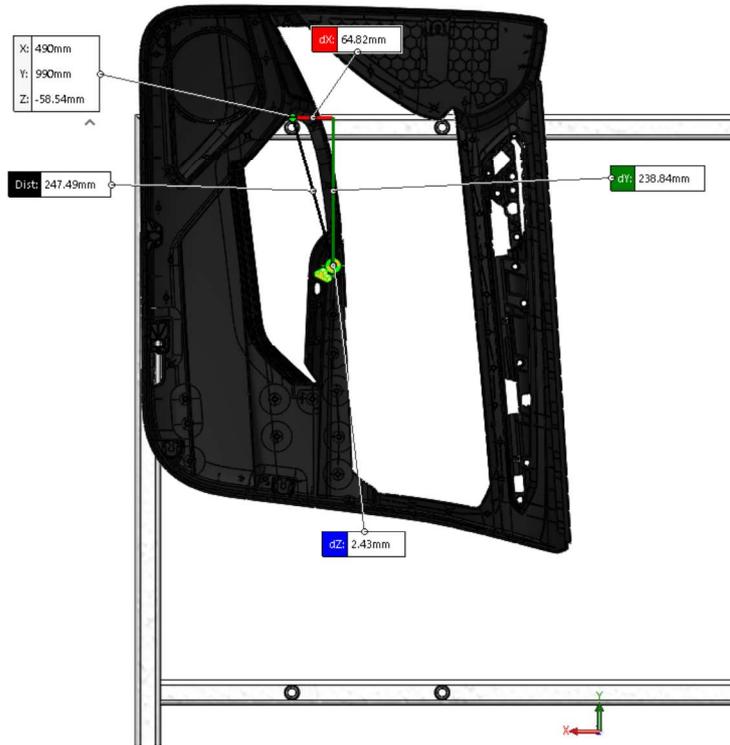


Figura 59 - Distâncias entre pino da estrutura e centro de gravidade do painel frontal

Com estas distâncias, sabendo a medida total entre os dois pinos, podemos facilmente desenhar um diagrama de corpo livre com a informação recolhida, ilustrado na Figura 60:

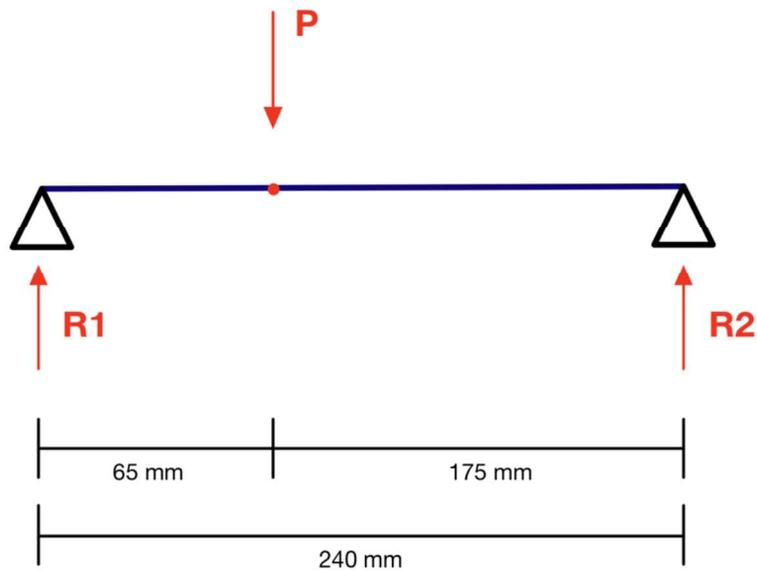


Figura 60 - Diagrama de corpo livre dos pinos de suporte

Considerando que a gravidade tem um valor de $9,81 \text{ m/s}^2$, o peso total é:

$$P = 1,5 \times 10 \times 9,81 = 147,2 \text{ N} \quad (1)$$

Assim sendo, podemos estabelecer o sistema de equações e calcular as reações nos apoios, da seguinte forma:

$$\begin{cases} \sum F_y = 0 \\ \sum M_{R1} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_1 + R_2 = P \\ R_2 \times 240 = P \times 65 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_1 = 188 \text{ N} \\ R_2 = 40 \text{ N} \end{cases} \quad (2)$$

O próximo passo é escolher as fixações para a análise, bem como realizar o malhamento da estrutura. As forças aplicadas nos pinos vão ser simuladas apenas para um dos lados da estrutura. O material utilizado para os testes e respetivas dimensões tubulares estão representadas na Tabela 8:

Tabela 8 - Materiais utilizados na estante metálica

Perfil	Material
Quadrado oco 40 x 40 mm ² (4 mm de espessura)	Aço S235JR
Circular oco 20 mm diâmetro (3 mm de espessura)	Aço S235JR
Chapa de 10 mm	Aço S235JR

Os resultados obtidos da análise estão mostrados na Figura 61:

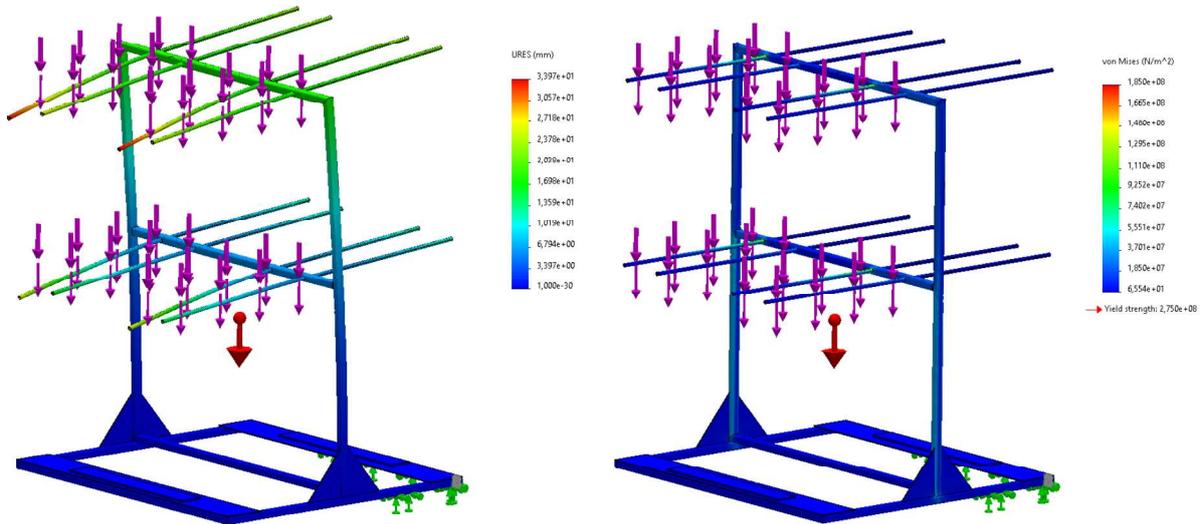


Figura 61 - Resultados obtidos da análise estrutural da estante de paletização

Após a análise dos resultados, é possível reparar que a estrutura está bem dimensionada, (obtendo um coeficiente de segurança de aproximadamente 3) e que os deslocamentos máximos dos pinos da estrutura alcançam cerca de 3,3 mm quando carregados. Embora não seja problemático, pensou-se

numa forma de reduzir este deslocamento. A solução consiste na adição de umas barras de chapa soldadas na parte inferior dos pinos como mostrado na Figura 62, de modo a reduzir o momento fletor provocado pelo carregamento dos painéis.

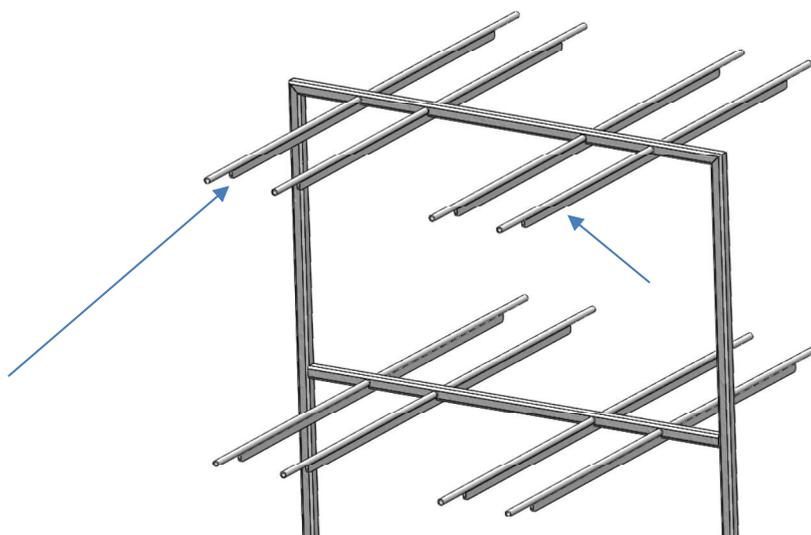


Figura 62 - Barras de reforço dos pinos da estante

3.2.7 Sistema de rotação de Estrutura de Paletização

A estante metálica para paletização de peças, para o funcionamento pretendido tem de rodar 180 graus de modo a permitir trocar os lados de paletização. Este procedimento de rotação da estrutura é essencial e tem de ser realizado de forma rápida, segura, e o mais precisa possível. O fator da precisão é fulcral, dado que o robô grava as coordenadas de cada um dos níveis de paletização, e estas coordenadas são fixas, não havendo nenhum tipo de câmara que consiga fazer a leitura da posição dos pinos. No caso de se alterarem as coordenadas destes pontos, a paletização deixa de ser possível.

Posto isto, assumiu-se que o sistema a ser projetado para realizar a rotação, deveria ser fixo ao chão da mesma forma que o robô, existindo desta forma uma conservação de posições relativas entre ambos os equipamentos.

Este equipamento de rotação foi desenvolvido em parceria com um fornecedor que apresentou uma solução à Simoldes, solução esta que será analisada neste capítulo e que pode ser vista na Figura 63.

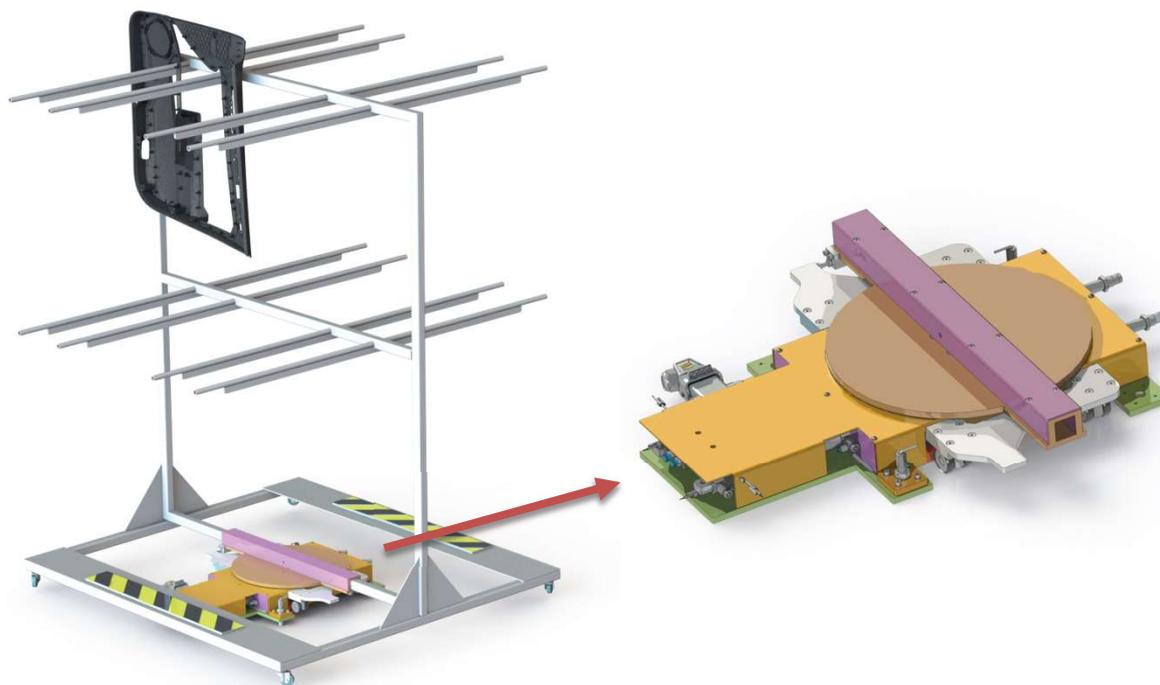


Figura 63 - Equipamento dimensionado por fornecedor para rotação de estante

A solução proposta pelo fornecedor, consiste num equipamento pneumático de roda dentada/cremalheira. Existem duas cremalheiras na mesma direção, mas a trabalhar em sentidos opostos, e ambas as cremalheiras se encontram engrenadas numa roda dentada posicionada entre elas. Estas cremalheiras são movimentadas com o uso de dois cilindros pneumáticos. O sistema pneumático necessário para operar estes dois cilindros, já foi descrito no subcapítulo 3.2.3, e todo o controlo é efetuado no controlador do robô.

Para que o movimento retilíneo das cremalheiras (convertido para movimento circular com a roda dentada) passe para a estrutura de paletização, existe uma barra aparafusada na parte inferior da estante, que se encontra fixada à roda dentada. A roda dentada, por sua vez, está ligada a um rolamento fixo a uma caixa metálica que aloja no seu interior os componentes. Esta caixa protege esses componentes, ao mesmo tempo que efetua a fixação ao chão de todo o conjunto. Na Figura 64 podemos ver uma vista em corte da modelação 3D deste sistema.

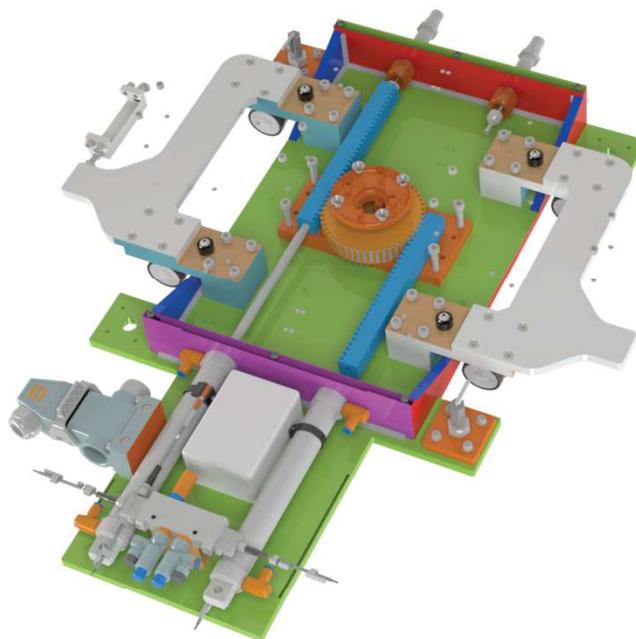


Figura 64 - Vista em corte do sistema de rotação

Este componente funciona com o auxílio de uma electroválvula presente no conjunto, que está encarregue de direccionar o ar para o cilindro suposto. Sempre que se quer rodar a estante, a electroválvula encaminha o ar para o cilindro que se encontra avançado, deixando de exercer qualquer força no cilindro recuado. A força do ar comprimido provoca o recuo do cilindro avançado, que faz a roda dentada girar, juntamente com a estante e o cilindro inativo, todos de forma solidária. É importante realçar que, durante a paletização, o ar comprimido está constantemente a desempenhar uma força no cilindro designado de modo a que a posição dos cilindros seja sempre avançado/recuado, e não existam posições intermédias. Caso se corte a fonte de ar comprimido, qualquer mínima força aplicada na estante provoca uma rotação parcial indesejada, que remove a estante da posição necessária à paletização. São extraídos dos cilindros os sinais de: avanço e recuo, através de sensores de fim de curso presentes nos cilindros.

No sistema de rotação é possível regular o caudal de ar que entra nas câmaras dos cilindros, utilizando reguladores de pressão, o que permite aumentar ou diminuir a força exercida nos pistões dos cilindros, e consequentemente variar a velocidade de rotação da estante. Este controlo é exequível de forma constante, isto é, não se consegue realizar a variação da velocidade dentro da ação de rotação.

Sempre que se dá o arranque da rotação, é necessária uma maior força para quebrar o momento de inércia da estante e acelerar o seu movimento. Depois de esta se encontrar a rodar, a aceleração pode ser mais baixa para que a sua velocidade não se torne demasiado elevada no final da rotação. Esta velocidade elevada no final da rotação é problemática na medida que, com a paragem mais ou menos

abrupta no final de curso dos cilindros, provoca um embate que se reflete depois em vibrações fortes nas peças. Para contornar esta limitação, uma maneira eficaz de se obter algum controlo sobre a velocidade ao longo da rotação da estante, utilizou-se um sistema de baixa pressão. Este sistema é constituído pelos componentes mostrados na Figura 37.

3.2.8 Câmara de visão artificial

Como foi anteriormente referido, um dos principais objetivos de melhoria para o processo de fabrico dos painéis de porta, é o controlo automático da qualidade da grelha de som das peças produzidas. Este controlo, efetuado de forma visual pelo operador até à data, está suscetível a erros humanos, que por vezes valida peças que possam estar defeituosas, ou vice-versa. Desta forma, pretende-se eliminar este passo e fazer uma pré-triagem de peças que possam estar com defeito, usando as capacidades da visão computacional e das câmaras industriais.



Figura 65 - Câmara de visão artificial industrial

A câmara industrial escolhida foi da marca *FLIR*, câmara esta que necessita de um computador onde se instala o software de interface e onde se realiza a programação da mesma.

O modo de funcionamento desejado para a câmara, é que realize uma validação a cada ciclo, antes do robô paletizar a peça na estrutura. Se a peça estiver isenta de defeitos, é considerada validada e um sinal é enviado para o controlador do robô para que este a paletize. No caso de a peça possuir algum defeito na grelha, o sinal enviado para o controlador do robô leva-o a rejeitar a peça, e de a colocar num contentor de rejeitados. Desta forma, o processo utiliza o braço robótico para manipular a peça, sem que seja necessário largar/agarrar a peça noutra ponto.

De modo a se conseguir realizar a análise em pleno ciclo, torna-se necessário projetar e dimensionar uma estrutura que consiga alojar a câmara bem como todos os componentes associados, necessários para o bom funcionamento do conjunto. Esta estrutura tem de obedecer a alguns requisitos para que se consigam obter os resultados desejados. Entre eles destacam-se os seguintes:

- A câmara deverá estar centrada com a grelha, e o mais perpendicular possível à sua superfície;

- Distância mínima entre a câmara e a peça de 900 mm;
- Possibilidade de ajuste da distância entre a câmara e a superfície da peça;
- Tem de existir o mínimo de variância possível na quantidade de luz que chega à lente da câmara, de modo a se conseguirem resultados consistentes;
- Necessário estar dentro do alcance do robô.

Na projeção de uma estrutura que garantisse todos estes requisitos, desenvolveu-se uma “caixa escura” com as dimensões necessárias para alojar a câmara, uma placa de luz e uma ranhura para entrar a grelha da peça. A placa de luz é posicionada junto da grelha, no lado oposto ao da câmara e, sempre que é efetuada uma captura de imagem, um pulso luminoso é disparado da placa para servir de contraluz na peça. Também se determinou que o acabamento do interior desta caixa deveria ser preto e baixo, de modo a absorver o máximo de reflexões possíveis do pulso de luz. Este tipo de solução assegura um ambiente luminoso controlado, tendo em conta que as condições são quase sempre as mesmas independentemente da hora do dia ou da exposição luminosa ambiente.

Uma vez que a distância mínima necessária para se efetuar a captura de imagem é elevada quando comparada com a largura da grelha, colocou-se a caixa numa posição vertical de maneira a aproveitar ao máximo o espaço de trabalho. Para além disso, dimensionou-se a estrutura para conseguir acomodar o computador bem como o ecrã no qual serão mostrados os resultados e estatísticas provenientes da análise realizada. Na Figura 66 podemos ver a modelação protótipo para a caixa.

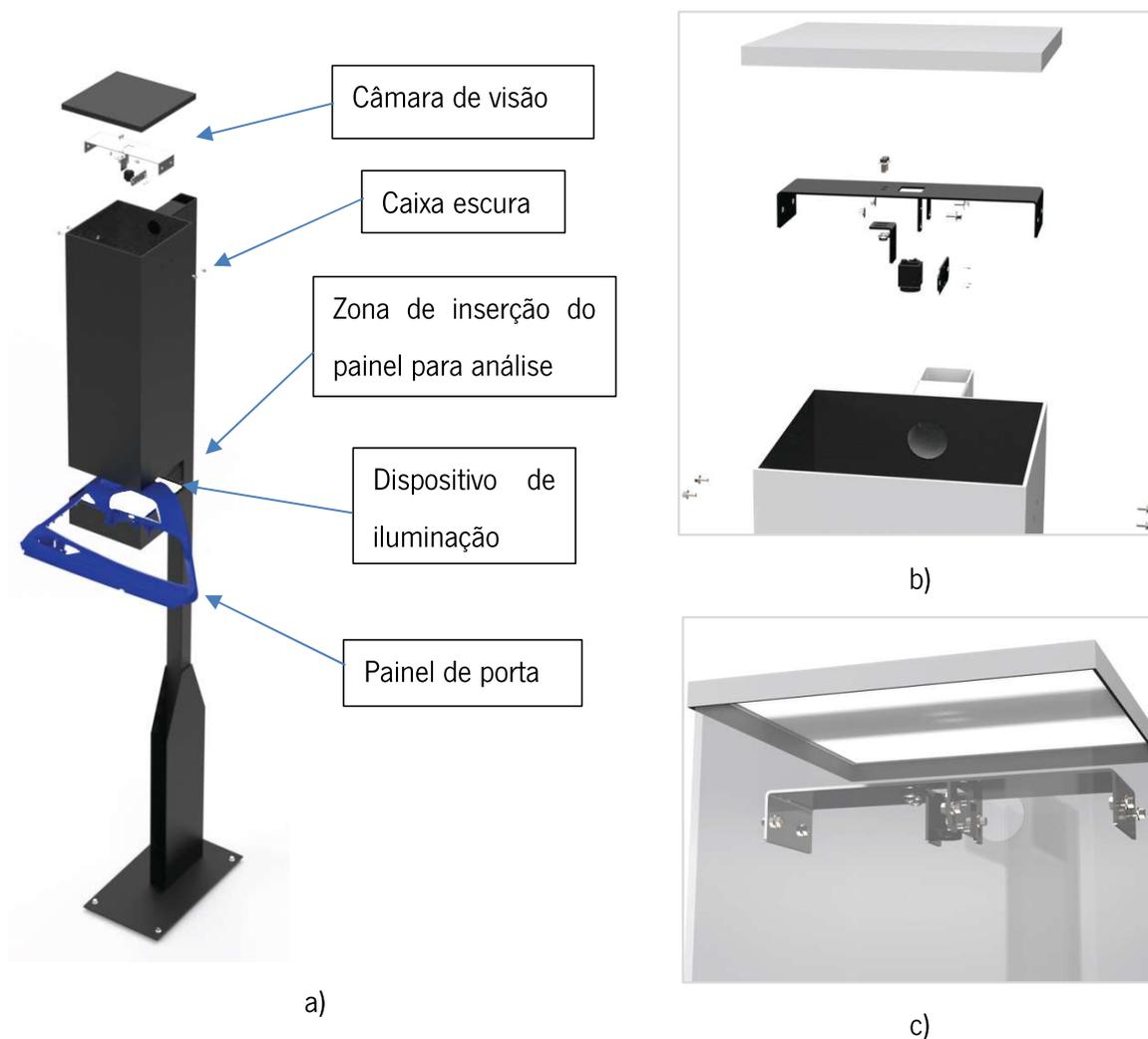


Figura 66 - Estrutura de suporte da câmara de visão: a) vista da estrutura total b) vista explodida dos componentes de fixação e ajuste da câmara c) componentes de ajuste e suporte da câmara montados

De modo a ser possível colocar a câmara a comunicar, não só com o controlador dos robôs, como também com o sistema de iluminação, utilizam-se dois tipos de ligações. A ligação com o aparelho de luz é realizada recorrendo a um cabo com conector de 8 pinos. O esquema desta ligação está disposto na Figura 67.

Tabela 9 - Ligações efetuadas no conector de 6 pinos

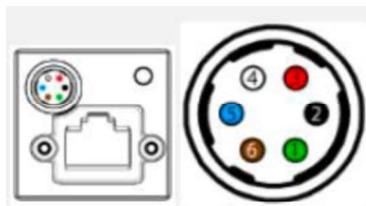


Figura 67 – Ilustração das conexões existentes na câmara industrial

Pino	Cor	Descrição
1	Verde	24 V
2	Preto	Não Ligado
3	Vermelho	Não Ligado
4	Branco	Sinal para Iluminação
5	Azul	Saída Terra
6	Castanho	0 V

3.2.9 Mudança de posição de máquinas

Um dos principais objetivos da automatização deste processo de fabrico, passa por se conseguir colocar um operador a realizar o trabalho de duas máquinas de injeção. Assim, enquanto um robô se encontra a paletizar as peças de uma máquina, o operador consegue deslocar-se para o espaço de trabalho de outra máquina e fazer a descarga de peças previamente paletizadas nessa máquina.

Para que este cenário seja ponderado, será necessário realizar algumas mudanças no que toca à localização das máquinas na fábrica. Como conseguimos reparar na Figura 26, as máquinas onde os moldes destas peças estão alocados encontram-se distantes umas das outras, o que dificulta o trabalho do operador e aumenta os tempos necessários entre cada ação. Se estes tempos excederem o limite de capacidade de paletização, a máquina corre o risco de ter de parar devido a falta de espaço para colocar os painéis.

Posto isto, para se utilizar um operador em duas máquinas, a solução mais simples passa por colocar as duas máquinas em estudo, uma ao lado da outra. Para além de se fazer a translação da posição da máquina, uma outra necessidade é a mudança do sentido de trabalho do robô cartesiano. Este robô, que está encarregue de extrair as peças do molde da máquina, trabalhando para o sentido oposto ao da primeira máquina, permite criar uma zona central (entre ambas as máquinas) que possibilita a concentração de todos os equipamentos, sem mudanças de locais por parte do operador. Estas mudanças estão ilustradas na Figura 68:

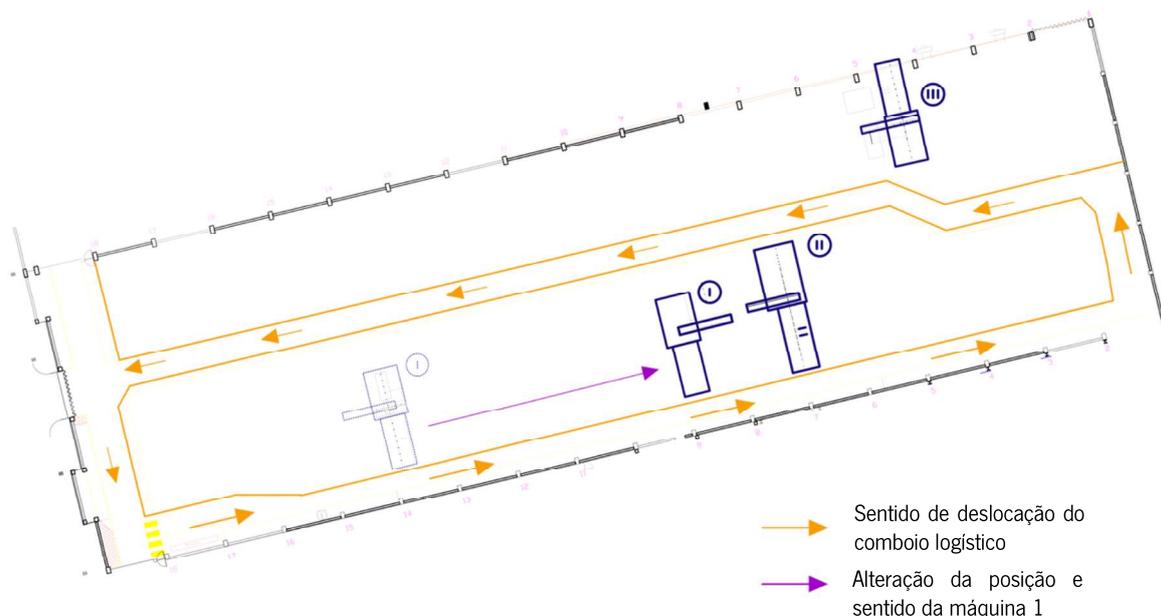


Figura 68 - Nova disposição de máquinas na fábrica

Outra grande vantagem da criação deste espaço central entre máquinas, é a utilização de apenas uma câmara de visão para os dois robôs. Uma vez que o tempo necessário para a análise da grelha de som é relativamente baixo, torna-se possível colocar apenas uma câmara numa posição central ao alcance dos dois robôs, a fazer a validação dos painéis. Dado que a câmara se liga aos controladores dos robôs, estes conseguem comunicar mutuamente para saber qual a ordem de entrada na caixa de validação. Os robôs têm também a capacidade de perceber quando é que a câmara se encontra “ocupada” aguardando pelo sinal de avanço dado pelo controlador.



Figura 69 - Funcionamento de dois robôs de máquinas distintas com apenas uma câmara de análise

Depois de se terem as modelações completas dos equipamentos que vão constituir as alterações ao processo de fabrico, podemos criar uma junção de todos esses elementos e elaborar um novo espaço de trabalho com medidas aproximadas para se testarem os posicionamentos reais. Esta modelação encontra-se na Figura 70.

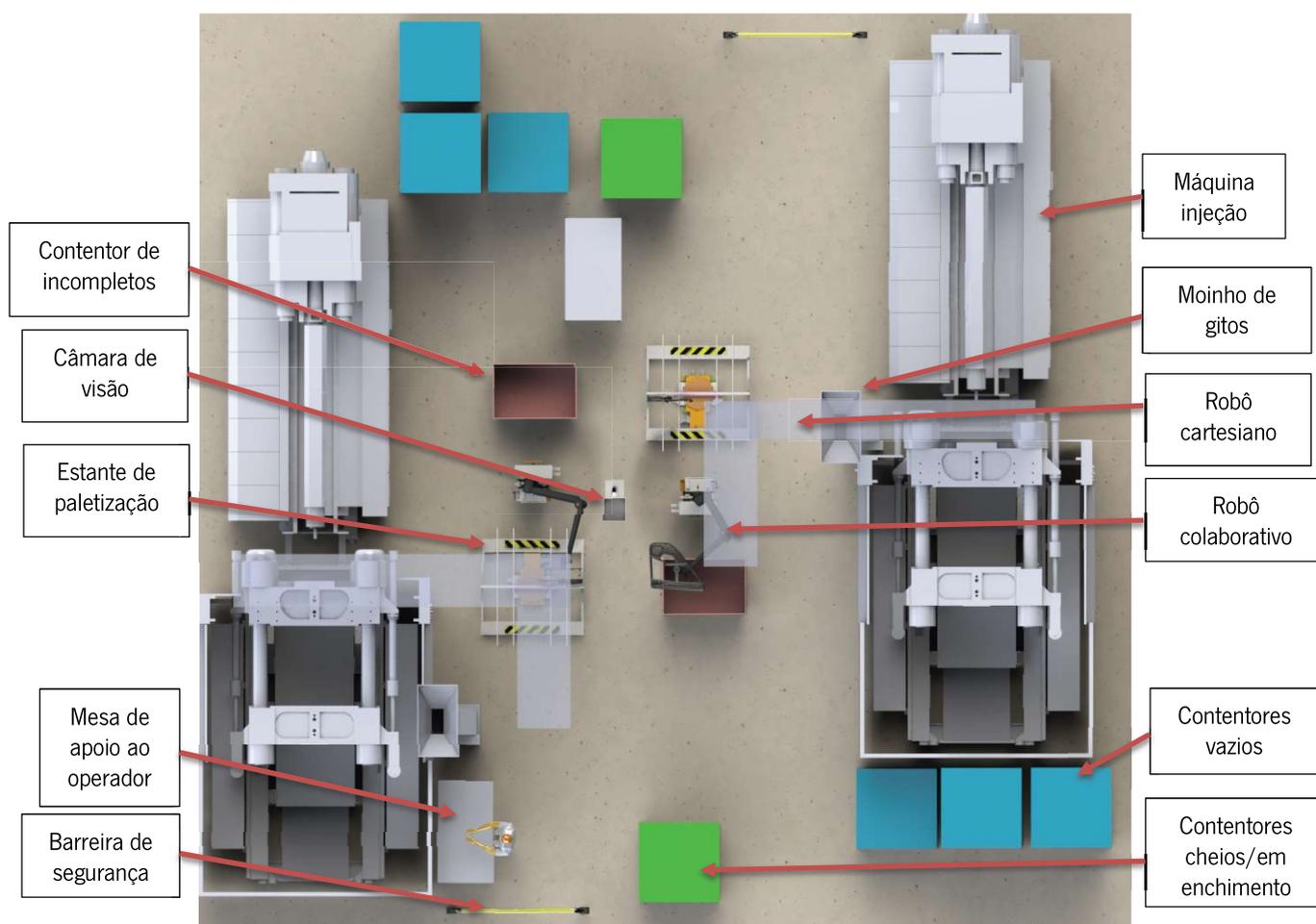


Figura 70 - Vista aérea da nova proposta de espaço de trabalho com dois robôs colaborativos

Neste novo espaço de trabalho estudado, os robôs trabalham cada um com a sua estrutura de paletização, mas apenas com uma câmara de validação de peças. Também se mantiveram os equipamentos presentes no funcionamento tradicional com a exceção do tapete rolante e do sensor de incompletos.

A razão para se eliminarem os tapetes rolantes torna-se óbvia, dado que foram substituídos pelos robôs e estruturas de paletização, mas no que toca à remoção do sensor de incompletos, a razão não é tão evidente. O sensor de incompletos, como foi previamente explicado, faz a verificação da existência de material nos cantos da peça, que são as zonas mais propícias à existência de falhas. Se a peça possuir material nesse local, significa que a injeção foi completa e, por isso, prossegue o ciclo de produção. No caso de não existir material nessa zona, a peça é rejeitada para o contentor de incompletos. A razão de se colocar um sensor de incompletos nos extremos das peças está relacionado com o facto do sequencial de injeção (aparelho que controla a abertura/fecho dos bicos de injeção no molde) dar primeiramente ordem de abertura aos bicos localizados no centro da peça, e só depois a abertura dos

bicos nas extremidades. Desta forma evitam-se faltas de material e defeitos na grelha de som (parte mais central da peça), que não pode ser controlada com um sensor de incompletos. Com a utilização de uma câmara de visão, torna-se possível realizar o controlo de qualidade da grelha de som, o que nos permite reavaliar os parâmetros de injeção no sequencial, e abrir os bicos no molde em ordens contrárias (primeiro as extremidades e só depois o centro da peça). Posto isto, as extremidades da peça passam a não precisar de controlo, e o sensor de incompletos pode ser removido do ciclo de injeção. Esta remoção liberta espaço de trabalho e diminui o tempo de ciclo de cada peça, uma vez que não é necessário realizar este passo.

Agora que as máquinas estão ao lado uma da outra, e o espaço de trabalho é apenas um, e o operador tem as condições necessárias para se movimentar entre postos de trabalho. Para isso, deixou-se um corredor propositado para se dar esta movimentação.

3.2.10 Segurança de funcionamento

Uma das maiores preocupações da Simoldes na melhoria de processos, é a segurança dos espaços de trabalho. Na segurança dos espaços, tem-se em atenção diferentes aspetos, para evitar que os operadores que trabalhem nestes processos de fabrico possam vir a sofrer qualquer tipo de lesão, e para que todos possam estar os mais salvaguardados possível na fábrica.

No caso do processo dos painéis de porta, para se conseguir assegurar a segurança dos operadores, instalaram-se alguns sistemas de segurança ativa e passiva. Estes métodos e sistemas passarão a ser descritos neste subcapítulo.

A primeira preocupação está na utilização do robô colaborativo em vez de um robô industrial tradicional. Como já foi explicado, estes robôs são colaborativos porque permitem trabalhar junto de pessoas, com paragem monitorizadas, velocidades controladas, e limitação de força dos seus motores. Estes sensores de força nos motores das juntas do robô, detetam quando existem obstruções ou embates no braço robótico. Sempre que isto acontece, o robô para imediatamente o seu funcionamento. Também as próprias geometrias dos diferentes membros do braço robótico tendem a ser arredondadas, evitando assim quinas ou arestas vivas que possam ser perigosas na colisão com outros objetos.

Seguidamente, para se evitarem as arestas vivas perigosas faladas anteriormente, no manipulador do robô, adicionou-se uma borracha espumosa de polietileno em toda a volta da sua superfície lateral. Esta borracha tem secção circular, e um diâmetro superior ao da espessura da chapa de alumínio do manipulador, de modo a fazer um rebordo extra nas laterais. Este aumento de área de contacto com a

superfície de embate, bem como a elasticidade da própria borracha, garantem uma segurança extra no funcionamento do processo.

Posto isto, passou-se à colocação de sensores de proximidade na base do robô. Os sensores escolhidos para virem a ser implementados neste espaço de trabalho são sensores do modelo *Sentinel* da empresa *Datalogic*, marca esta bastante prestigiada no mercado de sensores a nível mundial. Os sensores possuem dimensões bastante apelativas, devido à sua compactidade, e são bastante fáceis de instalar e programar. Podemos ver estes lasers na Figura 71, bem como o seu posicionamento na base projetada para o robô.



Figura 71 - Sensores laser de segurança para monitorizar zonas de proximidade dos robôs [32]

Estes sensores são lasers que conseguem mapear as proximidades do local a monitorizar, e sempre que existem obstruções ao laser na sua zona de vigilância (correspondentes a objetos que estão a aproximar-se dos espaços de trabalho dos robôs), atuam sobre a velocidade de funcionamento dos robôs. Tendo em conta o espaço de trabalho estudado, planeou-se a criação de duas zonas distintas de proximidade. Uma primeira zona delimita um espaço abrangente, a uma distância de baixo perigo, e uma segunda zona que abrange as proximidades do robô onde possa existir perigo de colisão. O definido para a ação do robô perante a deteção de objetos ou pessoas nas áreas descritas é a seguinte:

- Deteção na zona mais afastada (verde) – Robô reduz a sua velocidade de funcionamento sem existir paragem (permite o funcionamento do robô, mas reduz os riscos de danos possíveis)
- Deteção na zona de proximidade (vermelha) – Robô entra em paragem até que a zona esteja liberta

Na Figura 72 podemos ver estas zonas no espaço de trabalho previsto para o processo dos painéis de porta.

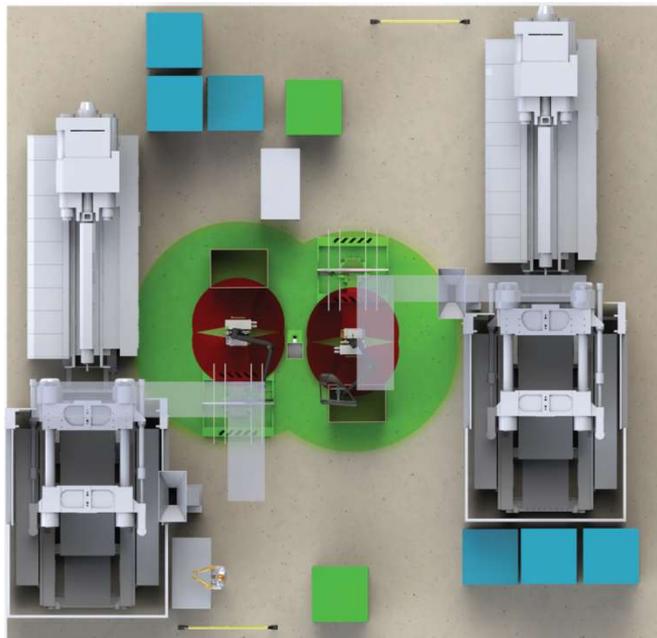


Figura 72 - Zonas de vigilância dos sensores de segurança

Tendo em atenção que o operador se encontra a trabalhar numa zona próxima de um corredor onde passam comboios e empilhadores, considerou-se a colocação de barreiras protetoras ao nível do solo para parar qualquer embate que possa provir desses veículos.



Figura 73 - Arco de proteção contra colisão

Sinalizações

Uma das coisas mais importantes no que toca a segurança preventiva, é a sinalização. No espaço de trabalho dos robôs decidiram-se colocar algumas sinalizações, sendo elas luminosas, sonoras ou sinais impressos.

A primeira sinalização luminosa que se projetou para o sistema, foi um “pirilampo” led, em cada uma das bases dos robôs. Colocou-se este pirilampo a uma altura facilmente detetável (por cima do quadro elétrico) para que, de qualquer parte, até mesmo à distância, se consiga ver qual a cor desta luz.

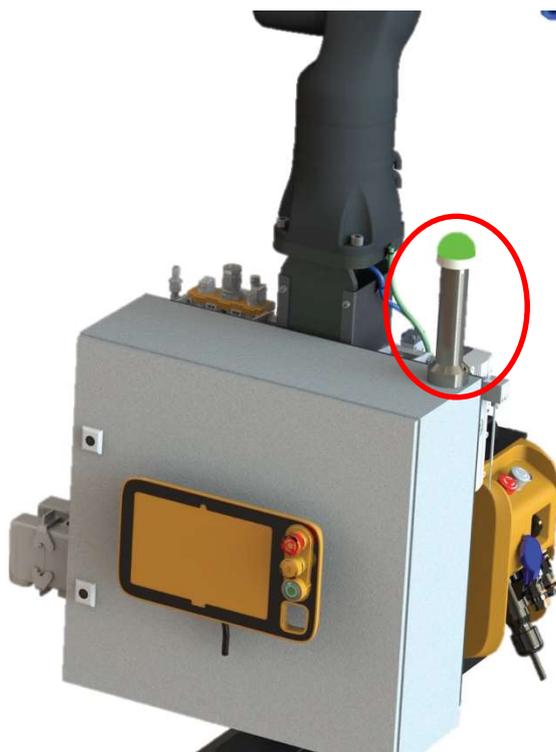


Tabela 10 - Sinalização luminosa de estado do robô e sistema rotativo

Estes indicadores luminosos têm a função de exibir os estados do robô. Estes estados estão representados possíveis, e a respetiva descrição, podem ser vistos na Tabela 11.

Tabela 11 - Possíveis estados luminosos do indicador do robô

Cor do indicador luminoso	Descrição de estado
Cor vermelha	Alarme, ou paragem (sempre que os lasers detetam objetos ou pessoas nas proximidades, a sinalização também passa a vermelho)
Cor verde	Robô em funcionamento normal
Cor amarela	Robô encontra-se a paletizar a última linha da estrutura metálica
Cor amarela intermitente (juntamente com aviso sonoro)	A estrutura metálica está a rodar

Uma vez que a estrutura metálica em rotação pode ser bastante perigosa no caso embater em algo, achou-se por bem pensar em mais algum tipo de sistema para salvaguardar ao máximo o operador. Chegou-se a uma solução comumente utilizada em sistemas industriais, quando se pretende afastar alguém de uma ação perigosa, que é o uso de uma botoneira de acionamento. Esta botoneira está

localizada numa zona segura, afastada da estrutura de paletização e, quando um dos lados se encontra cheio e pronto a realizar a rotação, é necessário que o operador prima continuamente esta botoneira até que a rotação se dê por completo.

Por fim, colocaram-se placas com faixas de sinalização amarelas e pretas nas extremidades do sistema de rotação, e decidiu-se delimitar as zonas de perigo acrescido com fitas no chão, com as mesmas faixas de sinalização.

3.3 Análise Financeira

Neste subcapítulo, pretende-se fazer uma breve análise de viabilidade financeira da implementação do projeto. Assim, com base nos resultados obtidos, a SP decide se pretende avançar com a automatização do projeto ou não. Para sabermos quais valores considerar para realização de operações, consultamos alguns fornecedores. É necessário ter em conta que todos os valores apresentados de custos de operação, bem como o orçamento do projeto são apenas uma estimativa e podem existir desvios da realidade.

3.3.1 Custos totais

De modo a se calcularem os custos aproximados de fabrico do projeto, consideraram-se os seguintes dados presentes na Tabela 12.

Tabela 12 - Custos considerados para cálculo de operações

Operações	Custo
Fresagem	20,00 €/h
Torneamento CNC	20,00 €/h
Eletroerosão	25,00 €/h
Corte laser	25,00 €/h
Quinagem	1 €/quinagem
Mão de obra	15 €/h

Na Tabela 13 podemos ver os custos estimados para o fabrico deste projeto.

Tabela 13 - Custos associados ao fabrico dos componentes de automatização do processo dos painéis

Orçamento	Custo
Fabricação de componentes	2 850,00 €
Aquisição de peças e dispositivos	71 260,00 €
Mão de obra	1 200 €
Total	75 310 €

3.3.2 Gastos por operador

Se examinarmos quais os benefícios monetários que a SP obtém de uma automatização de processo deste nível, percebemos que estão relacionados com a poupança em custos necessários para pagar aos operadores. Podemos ter uma noção destes valores, observando a Tabela 14.

Tabela 14 - Custos anuais por operador

	Custo mensal [€]	Custo anual [€]
Ordenado base SP	875,00	10 500,00
Encargos empresariais relacionados com os ordenados (23,75 %)	207,81	2 493,75
Subsídio de alimentação (6,5 €/dia num total de 22 dias mensais)	143,00	1 716,00
Seguro de acidentes de trabalho (1% do ordenado)	8,75	105,00
Custo total de operador por ano		14 814,75
Custo total de 3 operadores por ano		44 444,25

Com estes números em mente, torna-se possível calcular o tempo de retorno do investimento. Para isso, basta dividir o total investido pelo valor poupado anualmente em despesas de mão de obra, como podemos verificar:

$$n^{\circ} \text{ anos} = \frac{\textit{Investimento Realizado}}{\textit{Poupanças anuais}} = \frac{75\,310 \text{ €}}{44\,444,25 \text{ €}} = 1,78 \approx 1 \text{ ano e } 10 \text{ meses}$$

O tempo de retorno obtido é bastante baixo no que toca a investimentos industriais, o que se torna um forte indicador para realizar um investimento deste tipo, onde os projetos aos clientes podem durar vários anos (anos que o carro estiver no mercado). Após se ter o sistema a funcionar na totalidade, podemos assumir que passados 1 ano e 10 meses teremos uma poupança anual de aproximadamente 45 mil euros. Assim sendo, o parecer da SP foi positivo e avançou-se com o investimento.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Tendo todo o sistema de funcionamento analisado e todas as propostas de solução devidamente projetadas, passou-se ao fabrico e aplicação dessas mesmas soluções. Neste subcapítulo, irão apresentar-se os resultados do projeto, bem como algumas imagens de todos os sistemas projetados aplicados na fábrica da SP.

Como planeado, antes de se realizar a aplicação do novo processo, é necessário testar todos os componentes e verificar a sua fiabilidade e consistência. Uma vez que o sistema se encontra validado passa-se à sua aplicação no espaço de trabalho.

Os desenhos técnicos das peças fabricadas estão no Apêndice 1 , e as fichas técnicas de componentes instalados no Anexo 1.

4.1 Construção da base do robô

Depois de se ter o projeto dos componentes par a base do robô, iniciou-se o fabrico destes mesmo componentes. O primeiro componente a ser produzido foi a base, que está apresentada na Figura 74.



a)

b)

c)

d)

Figura 74 - Detalhes da construção da base para o robô: a) base do robô b) ganhos para suporte do controlador c) controlador e quadro elétrico colocados na base d) sistema pneumático

Em simultâneo com a construção da base, deu-se início à construção do manipulador do robô. Assim, quando todos estes elementos estivessem completos já se poderia começar a testar o robô e o manipulador. O manipulador construído está representado na Figura 75.



a)



b)

Figura 75 - Fases de construção do manipulador

4.2 Construção da estante e do sistema rotativo

Em paralelo com a construção da base do robô, deu-se início à construção das estantes para paletização das peças. Uma destas estruturas está mostrada na Figura 76.



Figura 76 - Estrutura de paletização

Uma vez que o sistema rotativo foi construído por um fornecedor, coube apenas à equipa técnica da Simoldes dar as devidas informações e condições para que este sistema pudesse ser desenvolvido. Embora não existisse direta influência na construção deste sistema, foi sempre mantido um contacto entre ambas as equipas e os testes de funcionamento foram sempre realizados nas instalações da SP. Podemos ver na Figura 77 alguns detalhes do sistema de rotação.

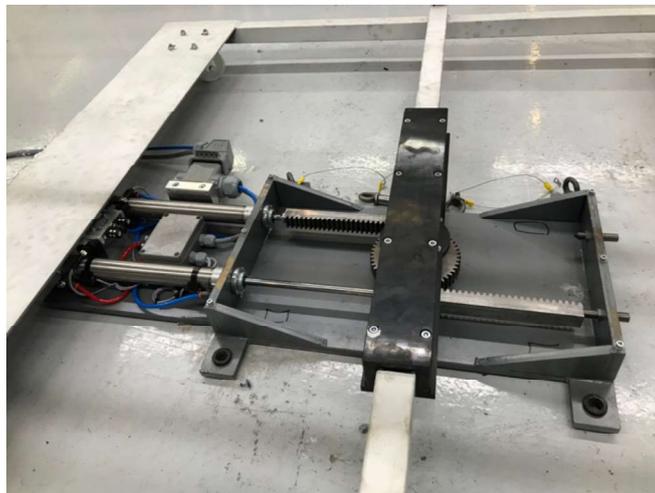


Figura 77 - Sistema de rotação

4.3 Construção do suporte para Câmara de Visão

O controlo efetuado pela câmara de visão, funciona contabilizando o número de orifícios presentes na grelha. A luz traseira à peça provoca uma iluminação forte nos orifícios que é recolhida pela lente da câmara. O resto da peça fica em penumbra, o que permite delimitar facilmente o contorno destes orifícios pelo contraste preto/branco. O software de processamento de imagem encarrega-se de fazer o levantamento de todos os contornos existentes no fotograma. Depois, basta calcular a área dos contornos existentes. Fazendo uma contagem do número destas áreas com valor inferior ao normal para um orifício, realiza-se a comparação do número total suposto e do número obtido. Caso os números sejam iguais significa que a peça está validada.

A deteção de peças incompletas (com orifícios demasiado grandes) é facilmente detetada uma vez que existirão contornos com uma área superior à normal. Quanto à deteção de peças com orifícios tapados, são excluídas dado que o número total de contornos obtidos será inferior ao número normal de referência.

O software permite ainda recolher todas as estatísticas de produção, como o número de peças total analisado, o número de peças rejeitadas, entre outras. Este software é licenciado pelo fornecedor da câmara, não sendo possível fazer alterações aos algoritmos pré-formatados na câmara. Podemos

ver na Figura 78 o ecrã do computador que está a processar a análise de imagens da grelha do painel.

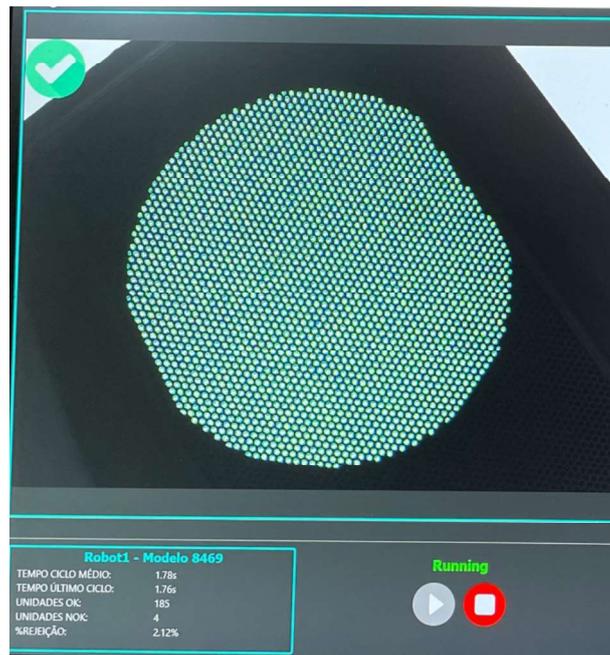


Figura 78 - Software de análise da grelha do painel de porta

Quanto à estrutura que suporta a câmara, podemos ver o seu estado final na Figura 79



Figura 79 - Estrutura de suporte da câmara de visão

4.4 Integração final de todos os sistemas

Finalmente, depois de se ter todos os subsistemas prontos e com o seu funcionamento validado, deu-se início ao plano de integração no espaço de trabalho da fábrica. Um dos primeiros passos para se iniciarem as melhorias de processo, trata-se da tarefa de mudança do local das máquinas de injeção na fábrica.

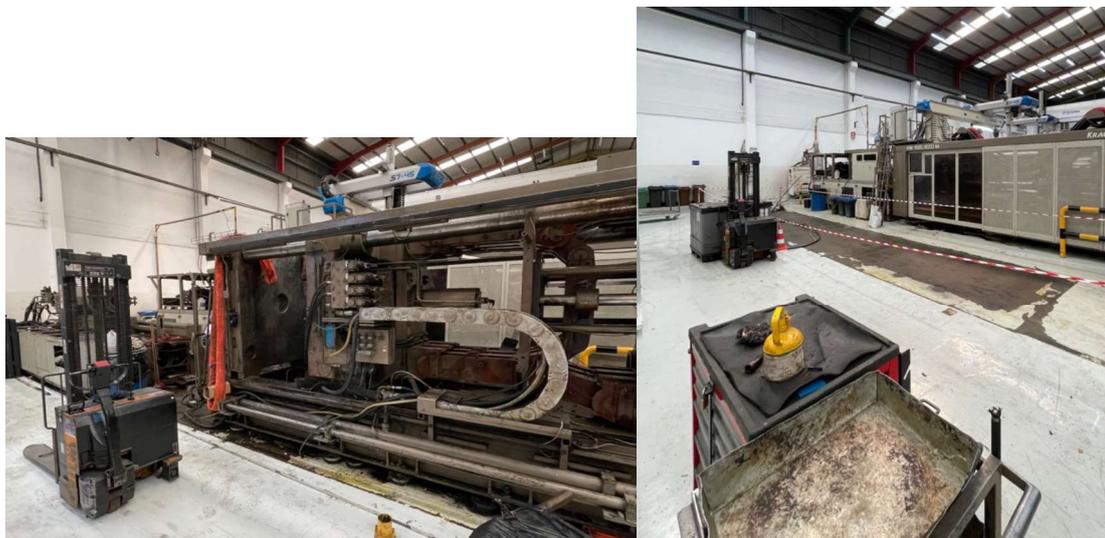


Figura 80 – Desmontagem de máquinas e mudança de localização para formar novo espaço de trabalho

Com as máquinas no lugar definido, deu-se início à montagem dos sistemas no espaço de trabalho. Na Figura 81 pé possível ver o processo de colocação dos equipamentos no local final.



Figura 81 - Colocação do primeiro robô e estante com sistema de rotação

Finalmente, na Figura 82 está apresentado o estado de funcionamento final do projeto.

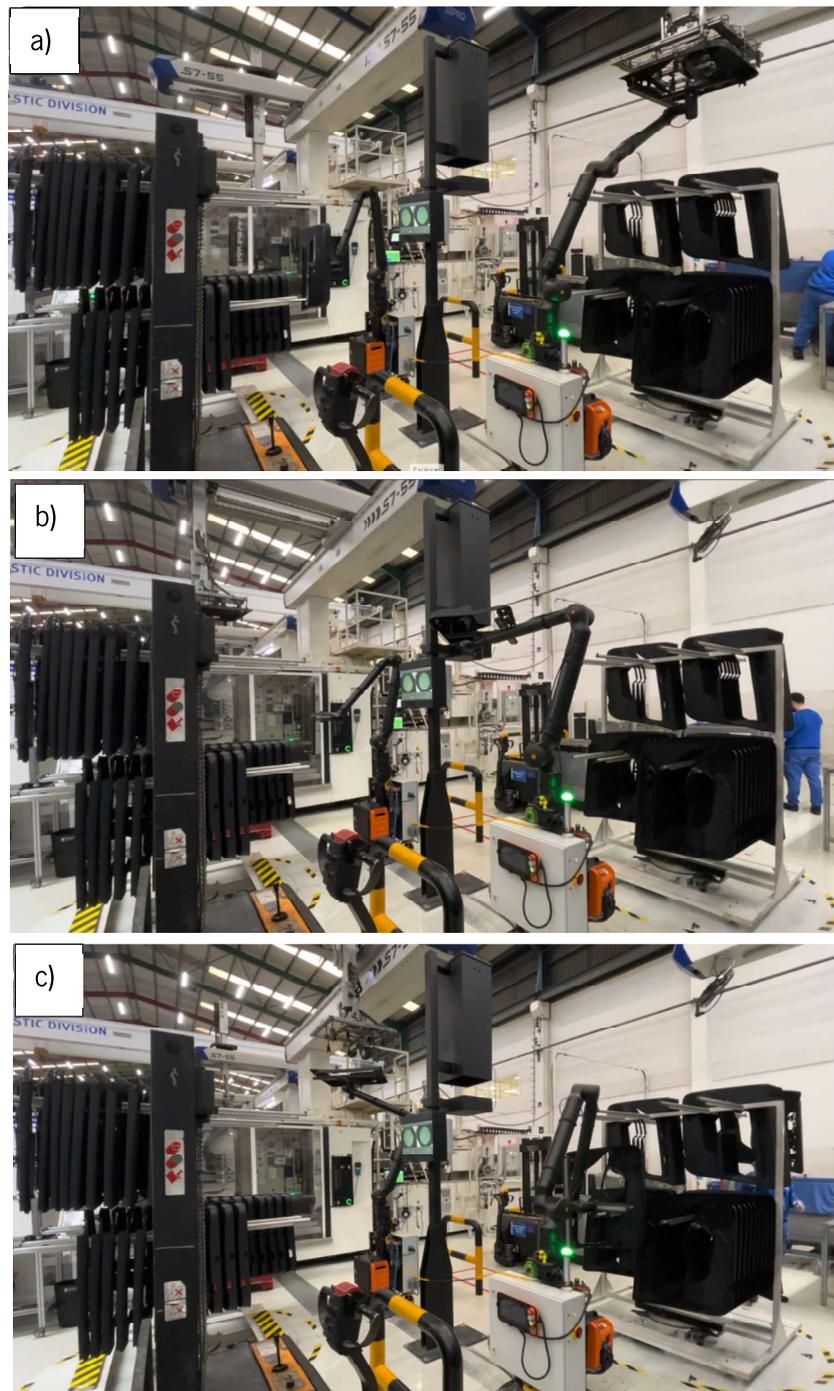


Figura 82 – Robô a realizar a paletização a) pega da peça no robô cartesiano b) análise da grelha pela câmara de visão c) colocação da peça na estrutura

Com estas melhorias aplicadas na fábrica, conseguiu-se colocar um operador a realizar a tarefa em duas máquinas em vez de apenas uma. Só isto representa uma enorme melhoria no que toca a eficiência de mão de obra, onde se consegue tirar o máximo de partido das capacidades dos colaboradores, sem que seja necessário exigir aumentos de velocidades ou diminuições de tempos de ciclo. Para se ter uma noção gráfica desta melhoria, podemos comparar a Figura 83, com a do funcionamento tradicional mostrado na Figura 25.

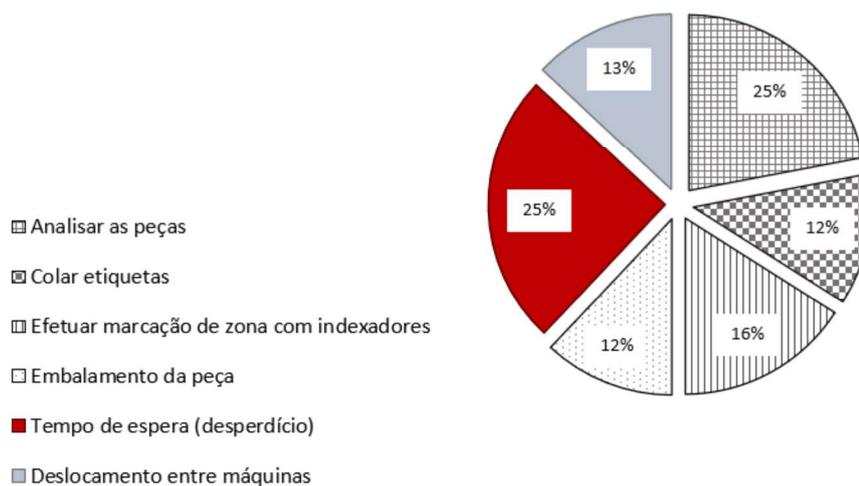


Figura 83 - Resultado final da percentagem temporal da alocação de tempo do operador nas diferentes tarefas do processo de fabrico dos painéis de porta

5. CONCLUSÕES

Na *Simoldes* e em todas as indústrias, existem sempre desperdícios associados aos processos de fabrico e às atividades nas fábricas. Também é certo que há sempre maneiras de melhorar a eficiência e reduzir estes desperdícios. Muitas vezes não são necessários sistemas muito complexos para fazer a diferença nestas situações.

No decorrer do desenvolvimento desta dissertação, chegou-se à conclusão que os espaços colaborativos possuem uma flexibilidade muito maior quando comparados com os espaços de trabalho tradicionais, onde existe a separação entre homem e robô. A própria área disponível das fábricas tem sido um recurso cada vez mais valorizado, e quando utilizamos espaços colaborativos, adquirimos para além da flexibilidade, uma grande poupança desse espaço. Embora os espaços colaborativos sejam extremamente benéficos nos fluxos de trabalho das empresas, não se pode tirar o foco da principal preocupação, que é o bem-estar e segurança dos trabalhadores. É por isto que continuam a surgir normas e legislações de maneira a assegurar os menores riscos possível para o ser humano.

A aplicação dos sistemas robóticos colaborativos a processos simples como o retratado nessa dissertação, permitem auxiliar as tarefas dos operadores, e ao mesmo tempo aproveitar ao máximo as capacidades de contribuição destes operadores, sem comprometer a sua segurança.

Com a aplicação do robô colaborativo, conseguiu-se uma otimização na mão de obra direta no processo de mais de 50 % ao alcançar a meta de colocar um operador a realizar o trabalho de duas máquinas de injeção. Isto representa um valor significativo de poupanças em mão de obra alocada ao processo, valor que ronda os 45 000 € anuais, que podem ser utilizados para melhorar outros processos na fábrica. Ao mesmo tempo, podem recolocar-se os operadores noutros processos onde é necessário um aumento de mão de obra. Todo o investimento realizado será recuperado num total de 1 ano e 10 meses, que se trata de um espaço de tempo aceitável para um projeto desta dimensão.

Também foi possível concluir que a utilização de câmaras de visão computacional para auxílio e controlo de qualidade das peças, tem uma estabilidade de funcionamento muito grande. Conseguiu-se melhorar de forma drástica a facilidade e rapidez de deteção de peças defeituosas no decorrer da produção. Isto tem um impacto direto na qualidade do produto final, diminuindo a quantidade de queixas que possam surgir de clientes, e respetivas consequências.

Considerando os principais objetivos deste trabalho apresentados na Introdução, todos eles foram cumpridos com sucesso.

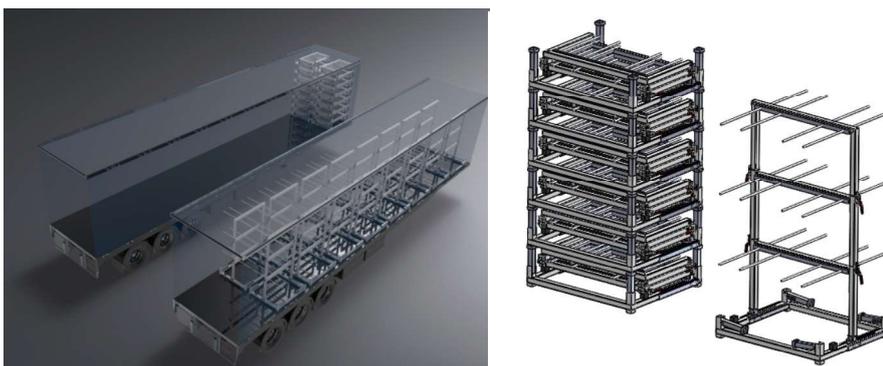
1. No que toca à otimização da mão de obra direta na produção, conseguiu-se através da diminuição dos tempos de espera- considerado desperdício- aumentar a eficiência dos operadores das máquinas.
2. Para se melhorar o controlo e qualidade das peças, instalou-se uma câmara de visão artificial que consegue, de forma rápida e fiável, complementar a tarefa de triagem de peças defeituosas efetuada pelos operadores.
3. Com a mudança do local e orientação das máquinas de injeção na fábrica, foi possível isolar uma zona destinada exclusivamente aos painéis de porta, o que facilitou em todos os aspetos a produção destas peças. Também a maneira como foram dispostos os sistemas projetados, dá como cumprido o objetivo de otimizar o espaço de trabalho.
4. Por fim, o último objetivo de aumentar a segurança e ergonomia do processo considera-se cumprido também. Para isto acontecer, foram implementadas as diversas soluções de segurança tais como os lasers de mapeamento, ou as barreiras protetoras no espaço de trabalho.

Fazendo uma retrospectiva ao trabalho desenvolvido ao longo dos últimos meses conclui-se que o desenvolvimento deste projeto foi um sucesso. O projeto serviu como um piloto na fábrica para se perceber quais os riscos e benefícios associados a estas soluções de robótica colaborativa e, uma vez que os resultados foram benéficos, já se iniciaram projetos semelhantes para outros processos de fabrico.

6. PROPOSTAS DE TRABALHO FUTURO

No final da automatização do processo de fabrico dos painéis de porta, encontraram-se muitos pontos de melhoria que o poderiam conduzir para um estado com maior grau de autonomia. Algumas das propostas a esse nível são:

- Eliminar uso de contentor para o transporte de peças - Numa fábrica eficiente, pretendem eliminar-se ao máximo movimentos e intervenções tanto nos processos como em toda a logística de peças- Dado que os painéis estão a ser paletizados numa estrutura, se essa estrutura pudesse ser enviada diretamente para linhas de montagem sem se necessitar de contentores, otimizava-se o processo de uma forma imensa. Para isso acontecer, seria necessário criar uma estrutura de paletização capaz de ser armazenada de forma empilhada, e que ao mesmo tempo fosse facilmente trocável no sistema de rotação de forma a tornar simples carregar e descarregar
- Projetar Rack desdobrável para logística inversa – Tendo em conta que o local de montagem dos painéis não se dá nas instalações da SP, poder enviar as peças diretamente na estrutura, mas uma vez descarregadas as peças, as estantes teriam de voltar à SP. É aí que entra a logística inversa que através de sistemas simples conseguem diminuir o volume de cada uma das estantes para ocupar o menor espaço possível quando não se encontram carregadas.



- AMR para transporte autónomo das estantes – Os AMR, do inglês “*Autonomous Mobile Robots*”, são robôs logísticos que conseguem transportar cargas, ou rebocar objetos de forma completamente autónoma. Isto seria uma aposta para alguns dos processos de

fabrico da SP, nos quais seria possível manipular as estantes com peças, sem qualquer intervenção do ser humano.

- *Etiquetas automáticas gravadas* – Para se conseguir eliminar a tarefa de colocação de etiquetas por parte do operador nas peças, uma proposta de melhoria seria o uso de um laser de gravação que conseguisse gravar essas informações diretamente na peça.

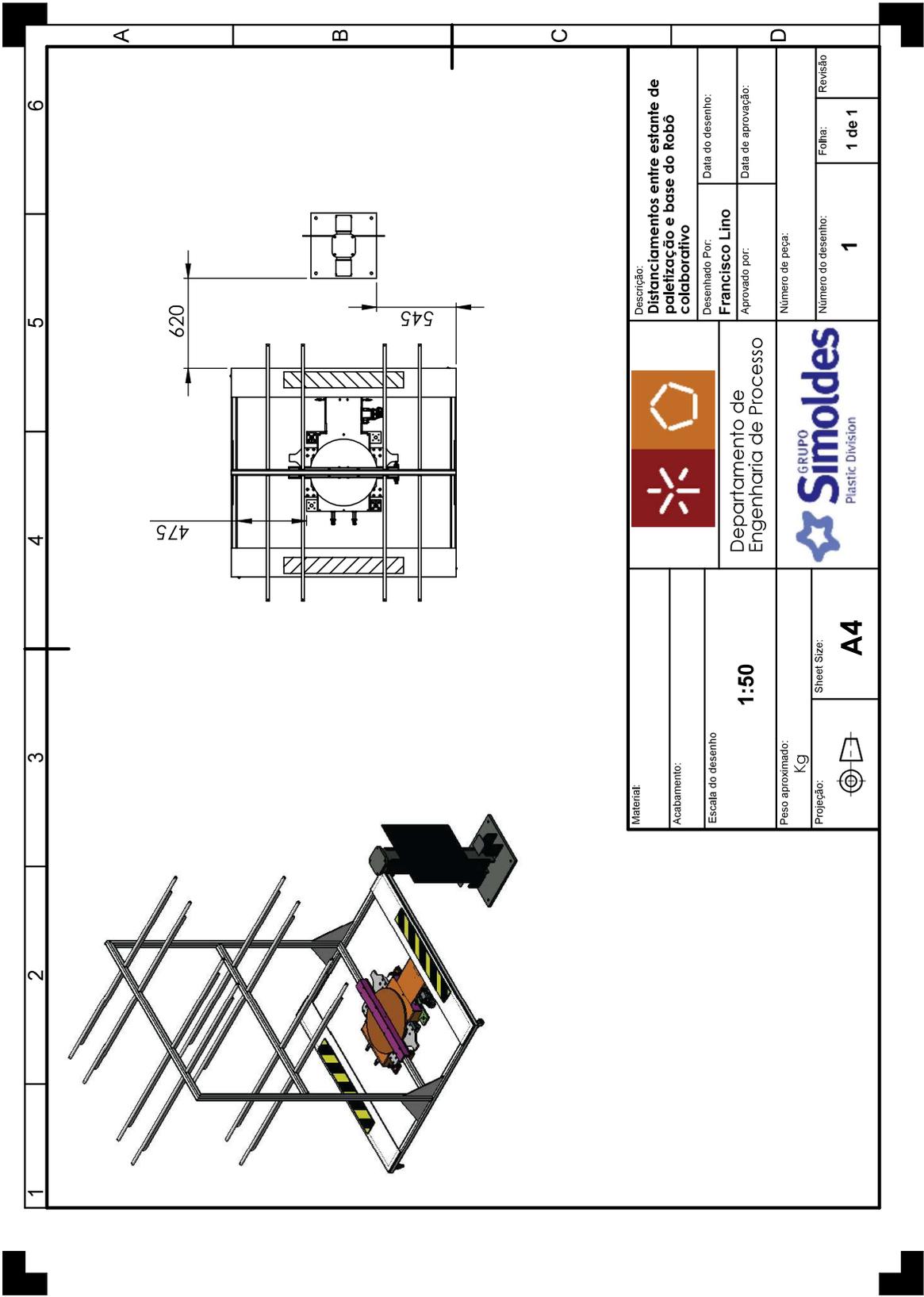
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bernardo de Azevedo e Souza, “Quarta Revolução Industrial,” 2019. <https://bernardodeazevedo.com/conteudos/advocacia-4-0-o-advogado-deve-mudar-o-que-faz/> (accessed Dec. 23, 2021).
- [2] S. Vaidya, P. Ambad, and S. Bhosle, “Industry 4.0 – A Glimpse,” *Procedia Manufacturing*, vol. 20, pp. 233–238, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>.
- [3] S. Sagioglu and D. Sinanc, “Big data: A review,” in *2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, 2013, pp. 42–47. doi: 10.1109/CTS.2013.6567202.
- [4] Arne Holst, “Amount of data created, consumed, and stored 2010-2025,” 2021. <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/> (accessed Dec. 23, 2021).
- [5] W. E. Frazier, “Metal Additive Manufacturing: A Review,” *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 23, no. 6, pp. 1917–1928, 2014, doi: 10.1007/s11665-014-0958-z.
- [6] Universal Robots, “Robótica colaborativa,” 2021. <https://www.universal-robots.com/pt/cobots-robots-colaborativos/> (accessed Dec. 19, 2021).
- [7] D. Marchall and N. Chambers, “The rise of the robot,” *Articles: EngineerIT*, South Africa, May 27, 2015. Accessed: Dec. 19, 2021. [Online]. Available: <https://www.ee.co.za/article/rise-robot.html>
- [8] IEEE, “Robots Your Guide To The World Of Robotics - Unimate,” 2021. <https://robots.ieee.org/robots/unimate/> (accessed Dec. 19, 2021).
- [9] Museum of Transport & Technology (MOTAT), “Industrial Robot [IRB6, Allmänna Svenska Elektriska Aktiefbolaget (ASEA)],” 2021. <https://collection.motat.nz/objects/104032/industrial-robot-irb6-allmanna-svenska-elektriska-aktiefbolaget-asea> (accessed Dec. 19, 2021).
- [10] EVS, “Who Invented the First SCARA Robot?” <https://www.evsint.com/who-invented-the-first-scara-robot/> (accessed Dec. 19, 2021).
- [11] IEEE, “Robots Your Guide To The World Of Robotics - UR,” 2021. <https://robots.ieee.org/robots/universal/> (accessed Dec. 19, 2021).
- [12] IEEE, “Robots Your Guide To The World Of Robotics - YuMi,” 2021. <https://robots.ieee.org/robots/yumi/> (accessed Dec. 19, 2021).
- [13] C. Faria *et al.*, “Safety Requirements for the Design of Collaborative Robotic Workstations in Europe – A Review,” in *Advances in Safety Management and Human Performance*, 2020, pp. 225–232.

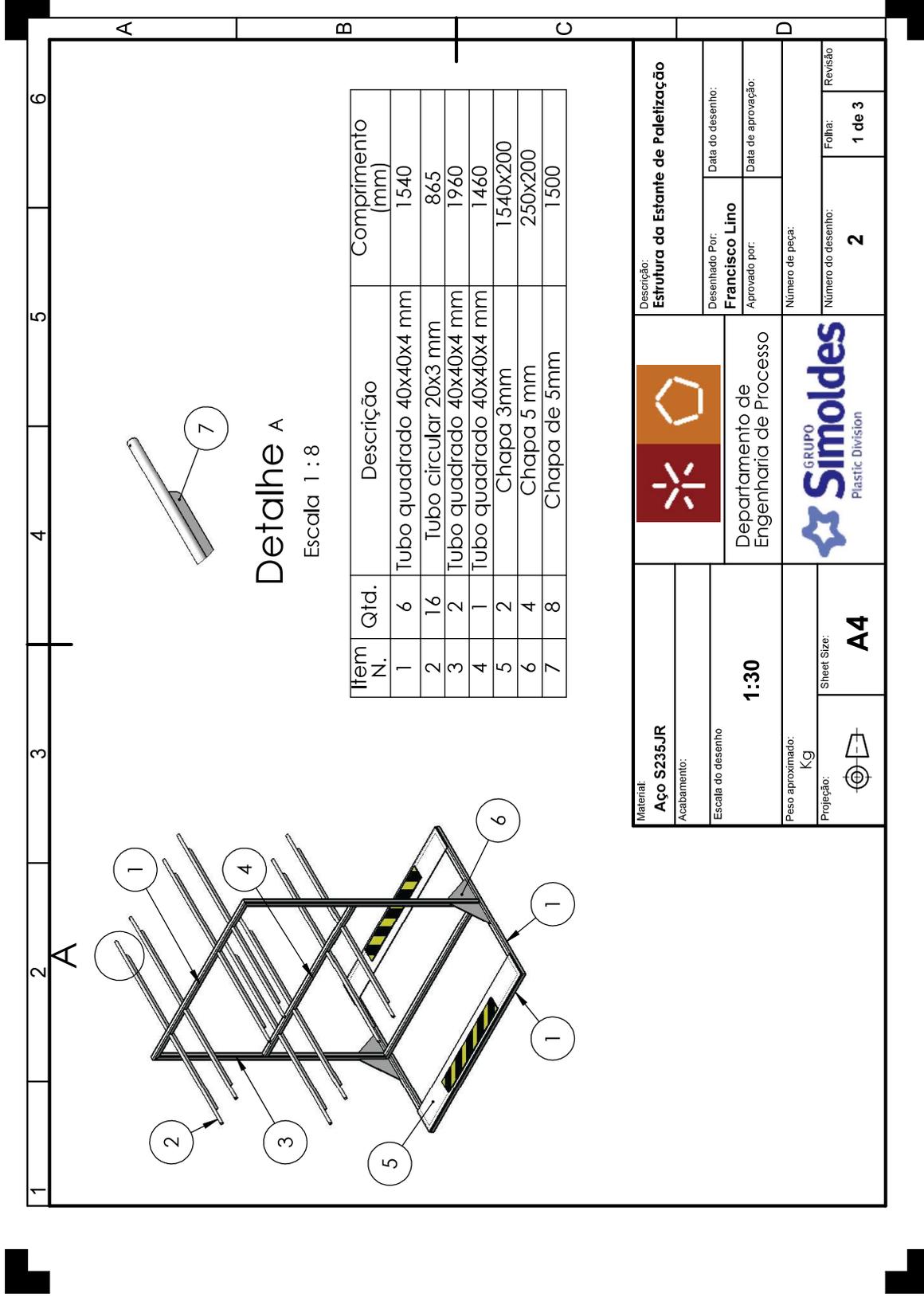
- [14] M. J. Rosenstrauch and J. Krüger, "Safe human-robot-collaboration-introduction and experiment using ISO/TS 15066," *2017 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)*, pp. 740–744, 2017.
- [15] S. Robla-Gómez, V. M. Becerra, J. R. Llata, E. González-Sarabia, C. Torre-Ferrero, and J. Pérez-Oria, "Working Together: A Review on Safe Human-Robot Collaboration in Industrial Environments," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 26754–26773, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2773127.
- [16] ISO/TC 299 Robotics, "ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices – Collaborative robots." 2016.
- [17] ISO201110218, "International Organization for Standardization: ISO 10218 Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 2: Robot systems and integration." 2011.
- [18] Yaskawa Global, "Product robotics - Robotics Evolves by Taking up New Challenges." 2021. Accessed: Dec. 29, 2021. [Online]. Available: https://www.yaskawa-global.com/wp-content/uploads/2014/10/product_robotics_0162.jpg
- [19] J. Gausemeier and S. Moehringer, "VDI 2206- A New Guideline for the Design of Mechatronic Systems," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 35, no. 2, pp. 785–790, 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)34035-1](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)34035-1).
- [20] Maria Petrou; Costas Petrou, *Image Processing: The Fundamentals, Second Edition Ltd. ISBN: 978-0-470-74586-1*, 2nd ed. John Wiley & Sons, 2010.
- [21] TME Electronic Components, "09330162616 HARTING." <https://www.tme.com/br/pt/details/09330162616/conectores-harting/harting/> (accessed Dec. 29, 2021).
- [22] Alibaba.com, "Weidmuller 24V PRO ECO 120W 24V 5A 1469480000 Weidmueller switch-mode power supply unit." https://www.alibaba.com/product-detail/Weidmuller-24V-PRO-ECO-120W-24V_62275754473.html (accessed Dec. 29, 2021).
- [23] rehabilitaweb.com, "Chave diferencial IID 2 pólos 40A 30mA A-SI Schneider elétrico." <https://pt.rehabilitaweb.com/interruptor-diferencial-de-2-polos-iid-40a-30ma-a-si-schneider-b2a27/> (accessed Dec. 29, 2021).
- [24] Casa dos Reles, "Rele de Interface Slim Schneider RSL1PVFU 1REV. 6A 115VAC/VCC." <https://www.lojacasadosreles.com.br/Rele-de-Interface-Slim-Schneider-RSL1PVFU-1REV-6A-115VAC-VCC/prod-4010072/> (accessed Dec. 29, 2021).

- [25] Schneider Electric, “Acti9 iC40N - Disjuntor - 1P+N - 16A - Curva C - 6000A (IEC 60898-1) - 10 kA (IEC 60947-2).” <https://www.se.com/pt/pt/product/A9P54616/acti9-ic40n-disjuntor-1p+n-16a-curva-c-6000a-iec-608981-10-ka-iec-609472/> (accessed Dec. 29, 2021).
- [26] HM Automação, “Borne Triplo Parafuso 2,5mm² Connectwell CTL2.5U.” <https://hmacomacao.ind.br/produto/borne-triplo-parafuso-25mm%C2%B2-connectwell-ctl2-5u/> (accessed Dec. 29, 2021).
- [27] Legrand, “004285 LEGRAND TOMADA 2P+T LAT. 16A 2’5MOD.” <https://www.electricalautomationnetwork.com/pt/legrand/004285-legrand-tomada-2pt-lat-16a-2-5mod> (accessed Dec. 29, 2021).
- [28] Strada, “Interruptor de Corte (Painel) C/ Manipulo 3P 40A MSW40P-3H.” <https://www.strada.pt/produto/interruptores-de-corte/interruptor-de-corte-painel-c-manipulo-3p-40a-msw40p-3h/12466/412> (accessed Dec. 29, 2021).
- [29] Direct Industry, “Núcleo de ferrita tipo OC.” <https://www.directindustry.com/pt/prod/epa-gmbh/product-30463-804667.html> (accessed Dec. 29, 2021).
- [30] Adajusa, “REGULADOR DE PRESSÃO 1/2 0-12 BAR TAMANHO 2 TECNOPOLÍMERO SYNTESI - METAL WORK.” <https://adajusa.pt/tamanho-12/regulador-de-pressao-12-0-12-barras-tamanho-2-tecnopolimero-metal-work.html> (accessed Dec. 29, 2021).
- [31] WSA Automação, “TUBO FLEXÍVEL pneumático De Diâmetro 6mm Externo por 4mm interno.” <http://www.wsa-automacao.com.br/?product=tubo-flexivel-pneumatico-de-diametro-6mm-externo-por-4mm-interno> (accessed Dec. 29, 2021).
- [32] DataLogic, “Enhanced Laser Sentinel.” <https://www.datalogic.com/prt/varejo-fabricação/segurança/enhanced-laser-sentinel-pd-829.html> (accessed Dec. 26, 2021).

APÊNDICE 1



Material:				Descrição: Distanciamentos entre estante de paletização e base do Robo colaborativo	
Acabamento:		Departamento de Engenharia de Processo		Desenhado Por: Francisco Lino	
Escala do desenho		1:50		Data do desenho: Data de aprovação:	
Peso aproximado: Kg				Número de peça:	
Projeção:		Sheet Size: A4		Número do desenho: 1	
				Folha: 1 de 1	
				Revisão	



Detalle A

Escala 1 : 8

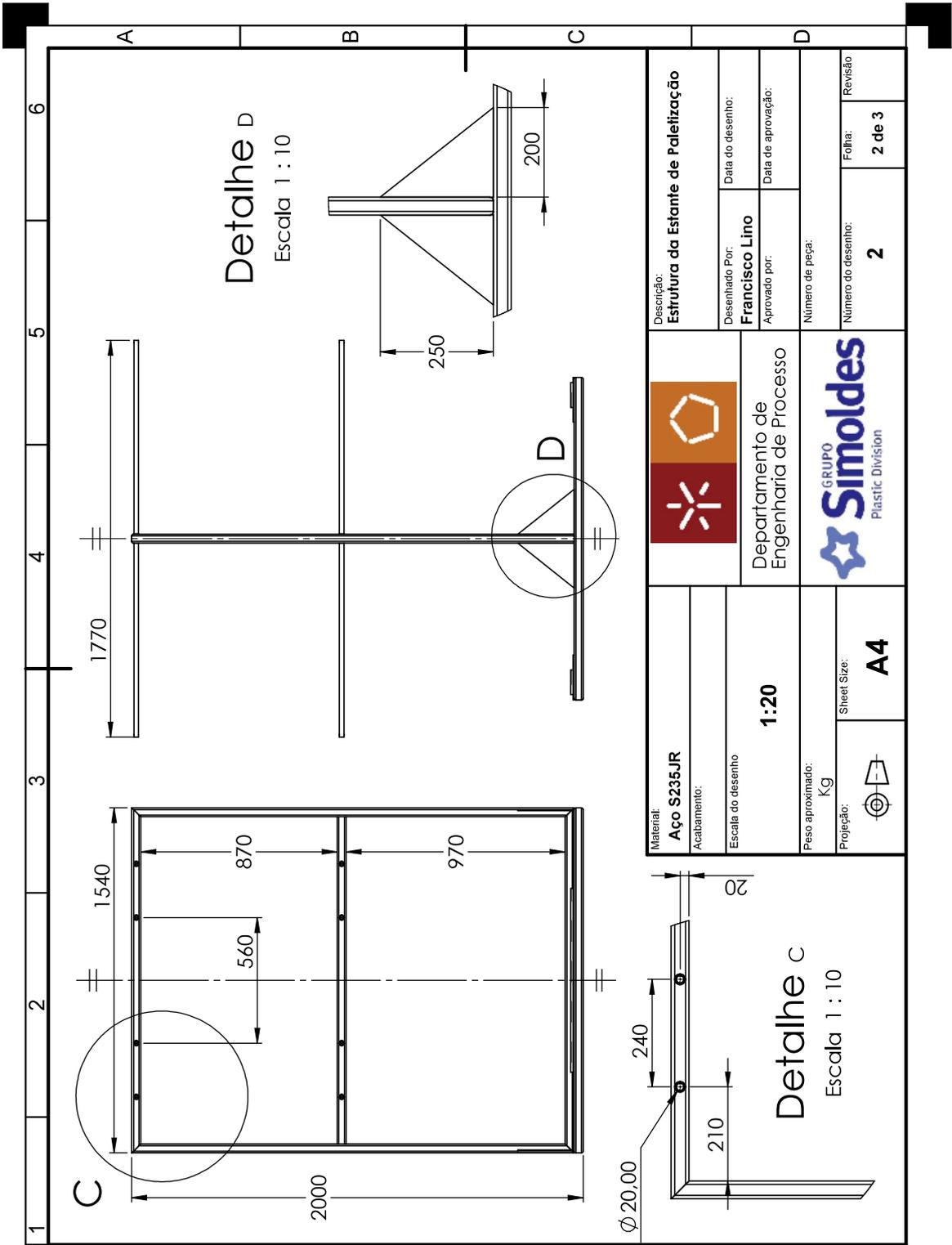
Item N.	Qty.	Descrição	Comprimento (mm)
1	6	Tubo quadrado 40x40x4 mm	1540
2	16	Tubo circular 20x3 mm	865
3	2	Tubo quadrado 40x40x4 mm	1960
4	1	Tubo quadrado 40x40x4 mm	1460
5	2	Chapa 3mm	1540x200
6	4	Chapa 5 mm	250x200
7	8	Chapa de 5mm	1500

Material: Aço S235JR		Descrição: Estrutura da Estante de Paletização	
Acabamento:		Desenhado Por: Francisco Lino	
Escala do desenho: 1:30		Data do desenho:	
Peso aproximado: Kg		Aprovado por:	
Projeção:		Data de aprovação:	
Sheet Size: A4		Número de peça:	
		Número do desenho: 2	
		Folha: 1 de 3	
		Revisão:	



Departamento de Engenharia de Processo



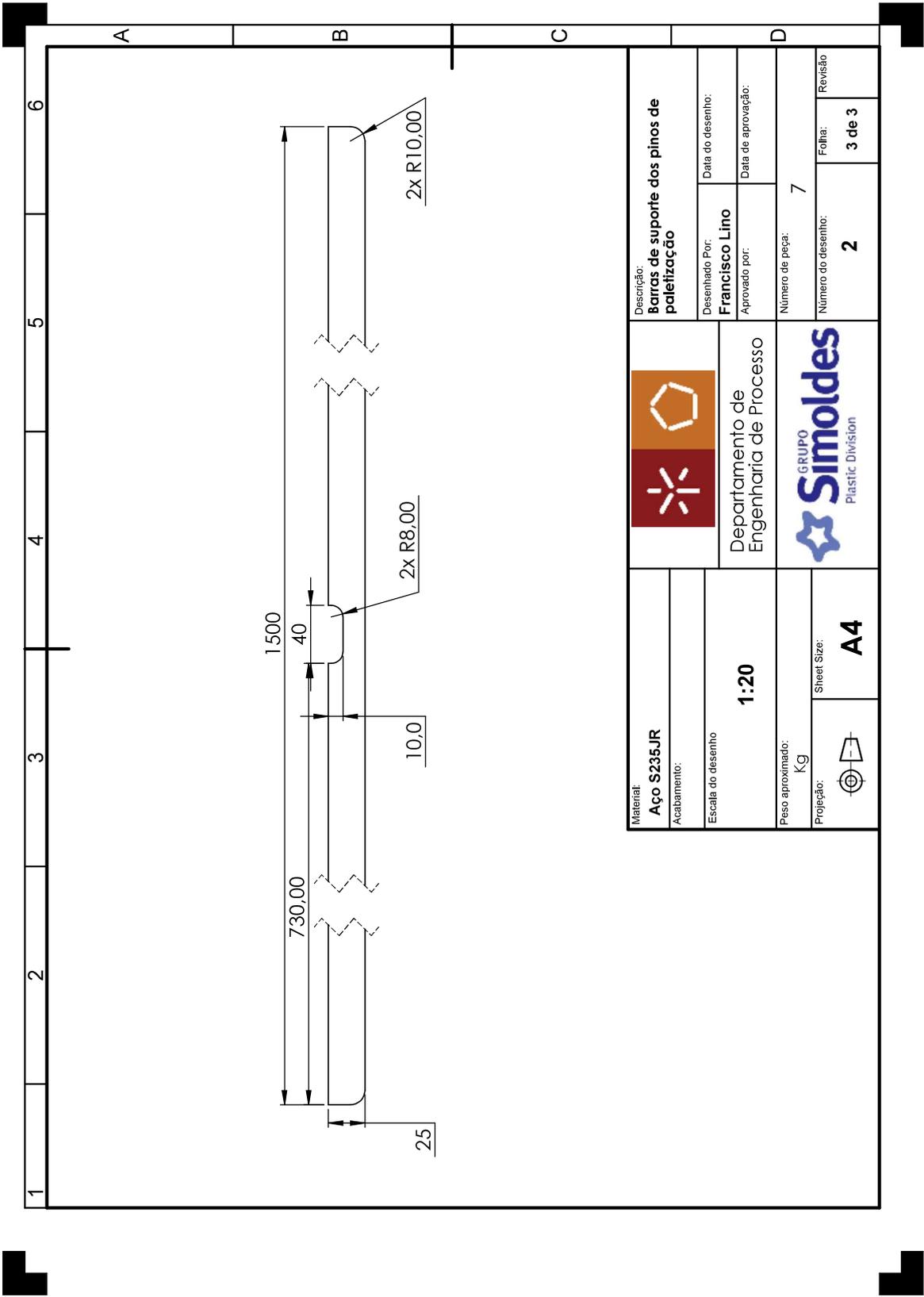


Detalhe D
Escala 1 : 10

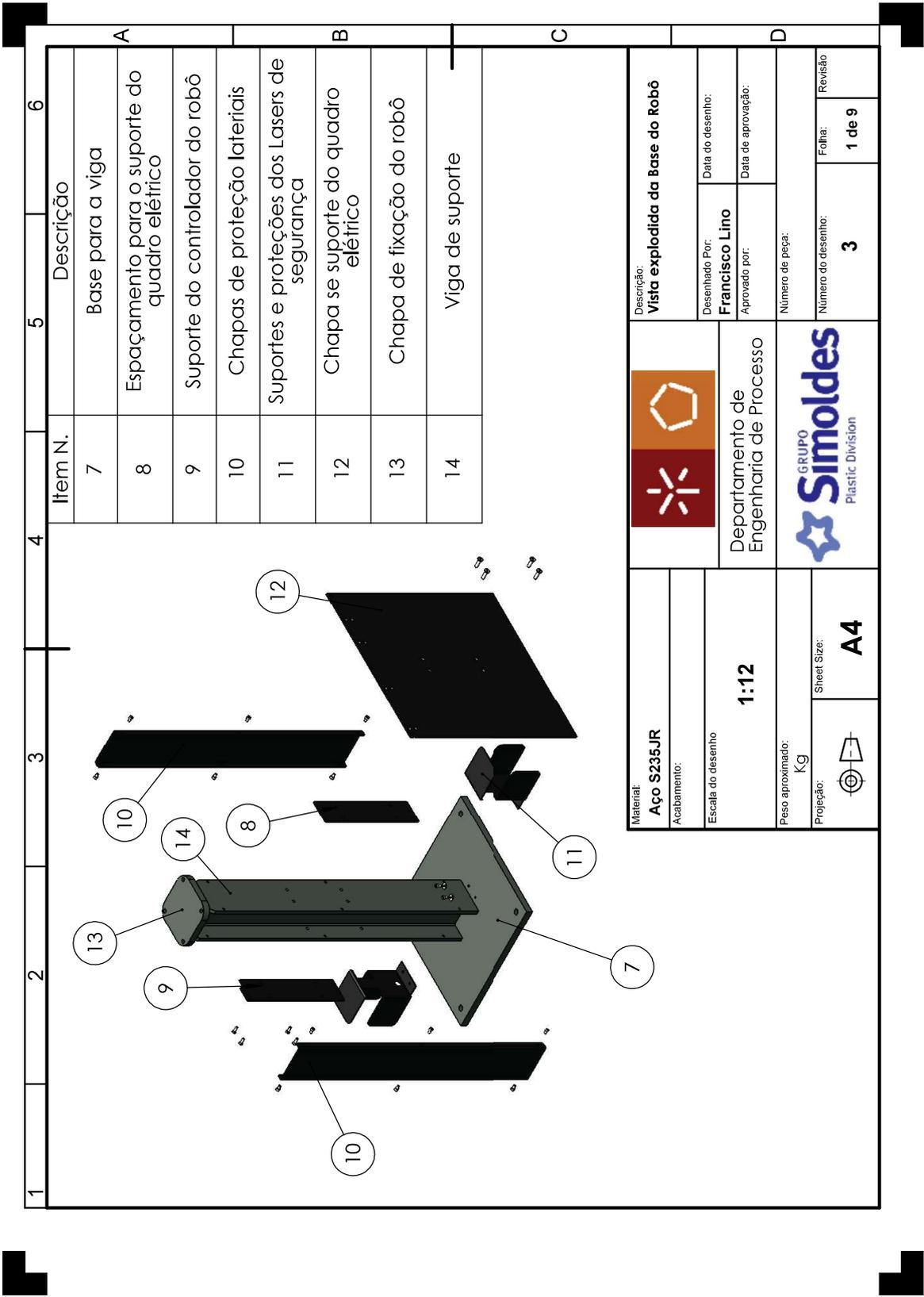
Detalhe C
Escala 1 : 10

Descrição: Estrutura da Estante de Paletização		Data do desenho: _____	
Desenhado Por: Francisco Lino		Data de aprovação: _____	
Aprovado por: _____		Número de peça: _____	
Material: Aço S235JR		Departamento de Engenharia de Processo	
Acabamento: _____		Escala do desenho: 1:20	
Escala do desenho: 1:20		Peso aproximado: Kg _____	
Projeto: 		Sheet Size: A4	
Número do desenho: 2		Folha: 2 de 3	
Revisão: _____		Revisão: _____	



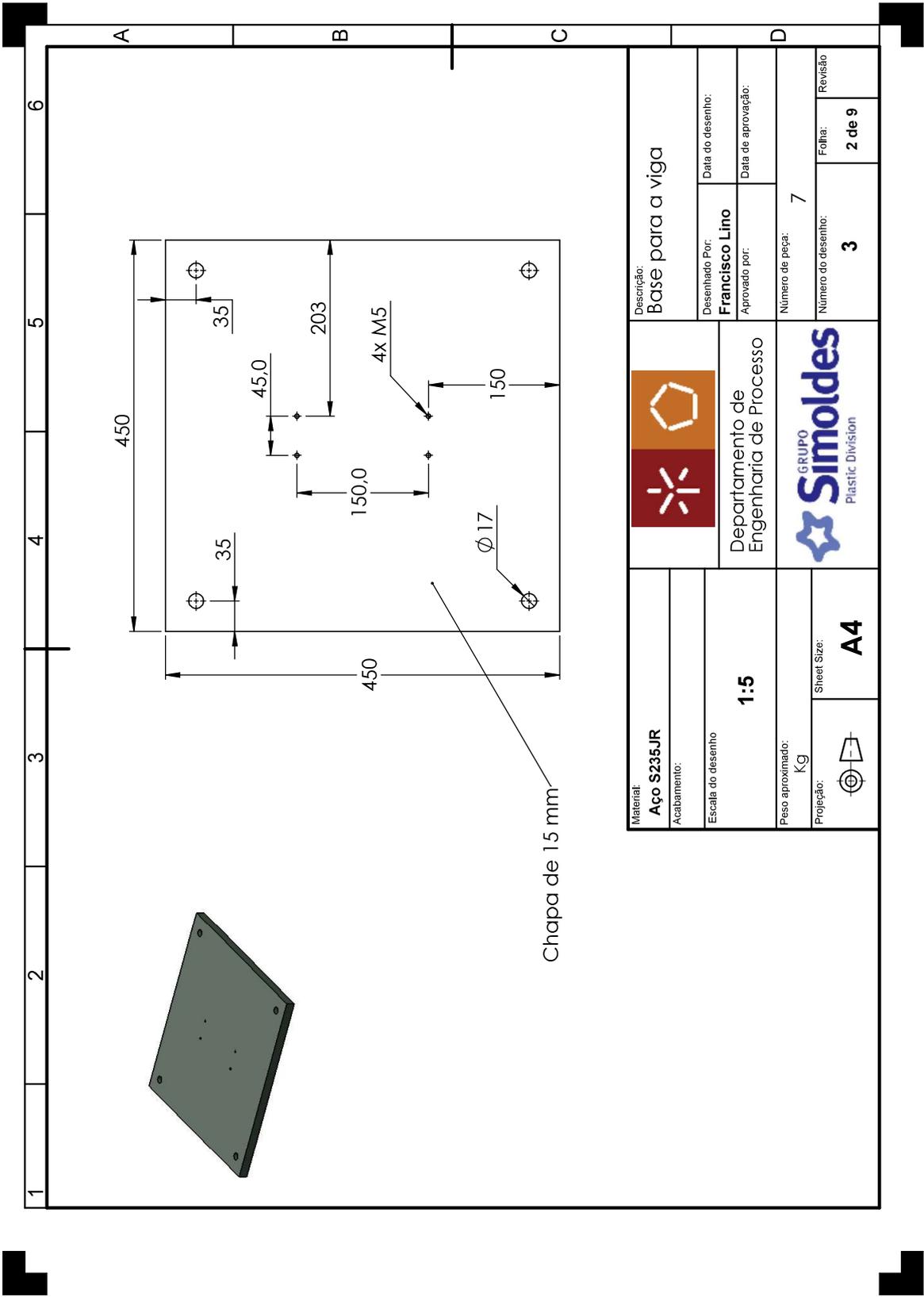


Material: Aço S235JR				Descrição: Barras de suporte dos pinos de paleteização	
Acabamento:				Desenhado Por: Francisco Lino	Data do desenho:
Escala do desenho 1:20		Departamento de Engenharia de Processo		Aprovado por:	Data de aprovação:
Peso aproximado: Kg		GRUPO Simoldes Plastic Division		Número de peça: 7	
Projeção: 		Sheet Size: A4	Número do desenho: 2	Folha: 3 de 3	Revisão



Item N.	Descrição
7	Base para a viga
8	Espaçamento para o suporte do quadro elétrico
9	Suporte do controlador do robô
10	Chapas de proteção laterais
11	Supportes e proteções dos Lasers de segurança
12	Chapa se suporte do quadro elétrico
13	Chapa de fixação do robô
14	Viga de suporte

Material: Aço S235JR		Descrição: Vista explodida da Base do Robô	
Acabamento:		Desenhado Por: Francisco Lino	Data do desenho:
Escala do desenho 1:12	Departamento de Engenharia de Processo	Aprovado por:	Data de aprovação:
Peso aproximado: Kg		Número de peça:	
Projeção: 		Número do desenho: 3	Folha: 1 de 9
	Sheet Size: A4		



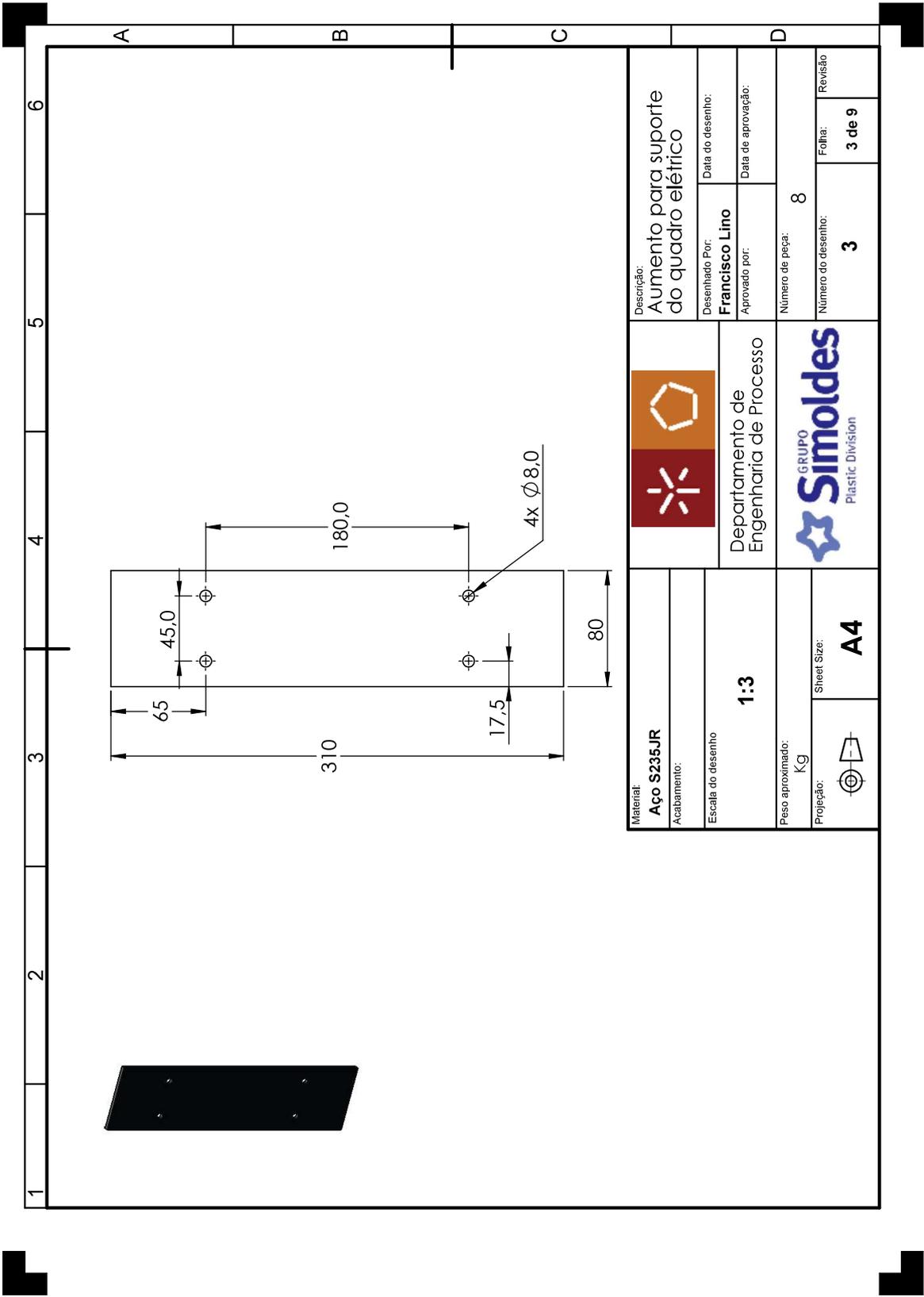
Chapa de 15 mm

Material: Aço S235JR		Descrição: Base para a viga	
Acabamento:		Desenhado Por: Francisco Lino	Data do desenho:
Escala do desenho 1:5		Aprovado por:	Data de aprovação:
Peso aproximado: Kg		Número de peça: 7	
Projeção: 		Número do desenho: 3	Folha: 2 de 9
Sheet Size: A4		Revisão	



Departamento de Engenharia de Processo





A B C D

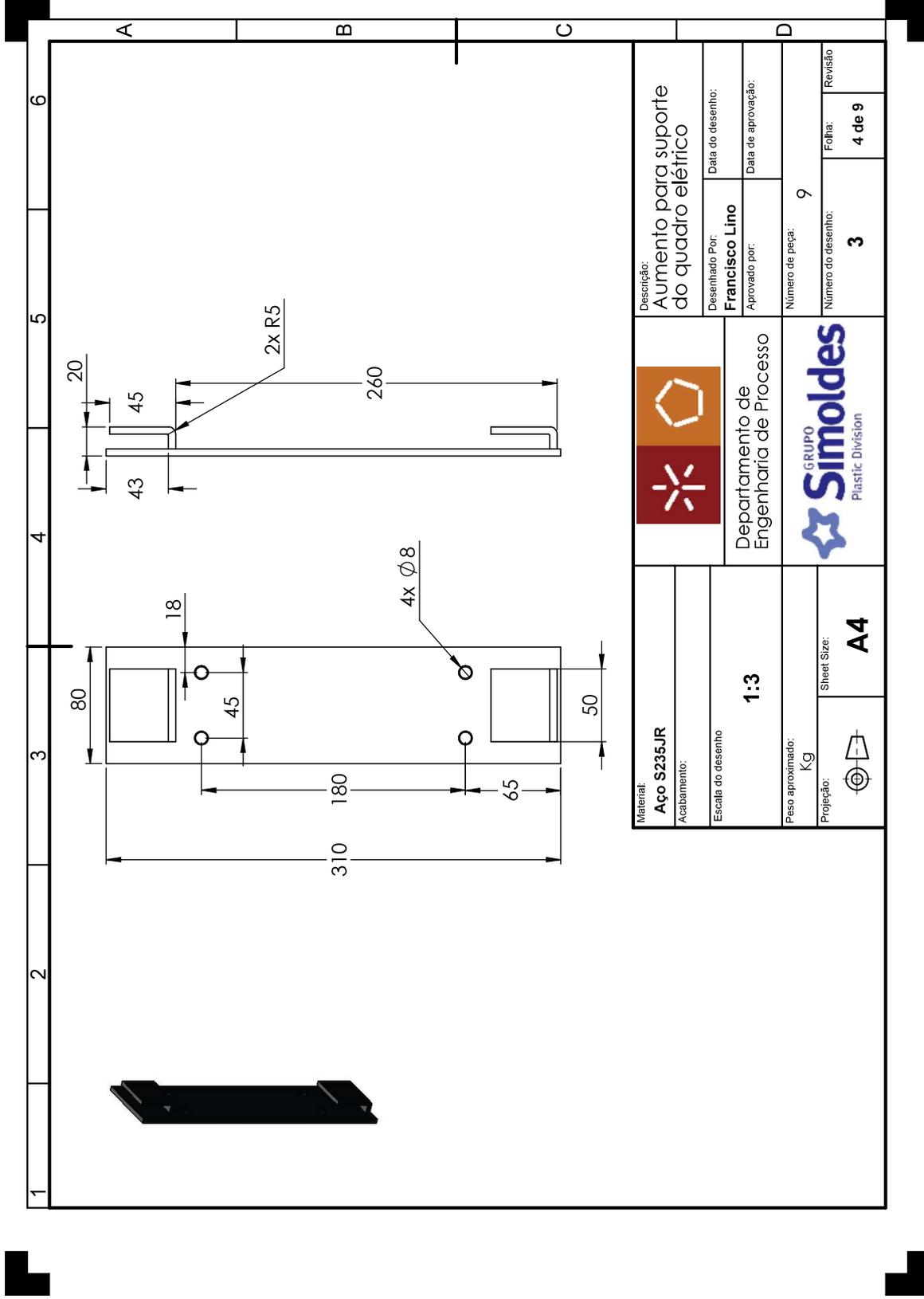
1 2 3 4 5 6

Material: Aço S235JR		Descrição: Aumento para suporte do quadro elétrico	
Acabamento:		Desenhado Por: Francisco Lino	
Escala do desenho 1:3		Data do desenho:	
Peso aproximado: Kg		Data de aprovação:	
Projeção: 		Número de peça: 8	
Sheet Size: A4		Número do desenho: 3	
		Folha: 3 de 9	
		Revisão	

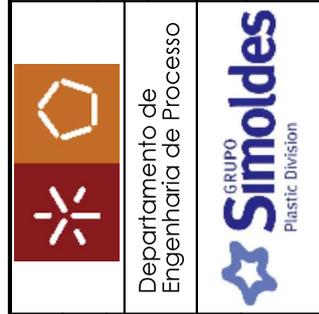


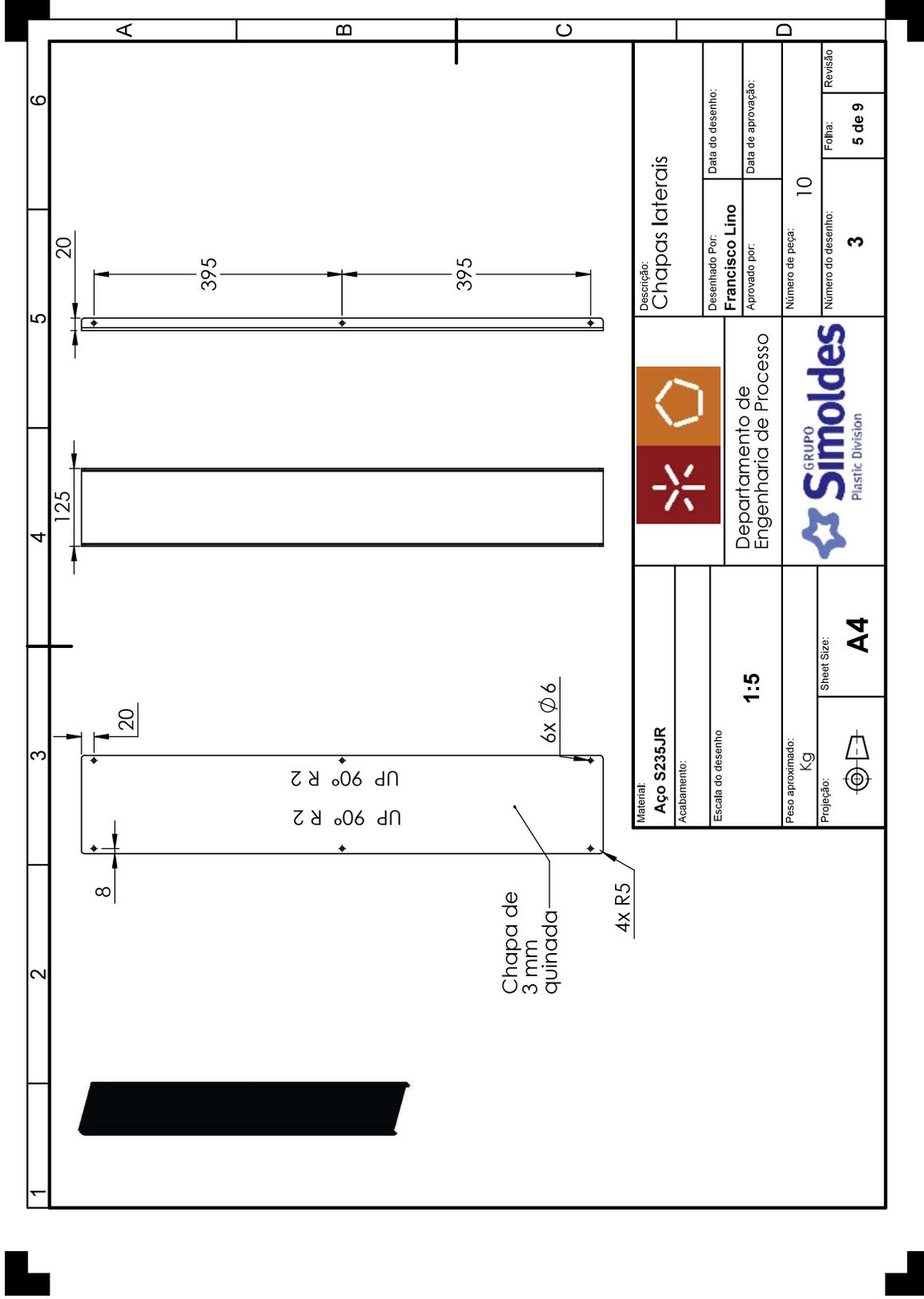
Departamento de Engenharia de Processo

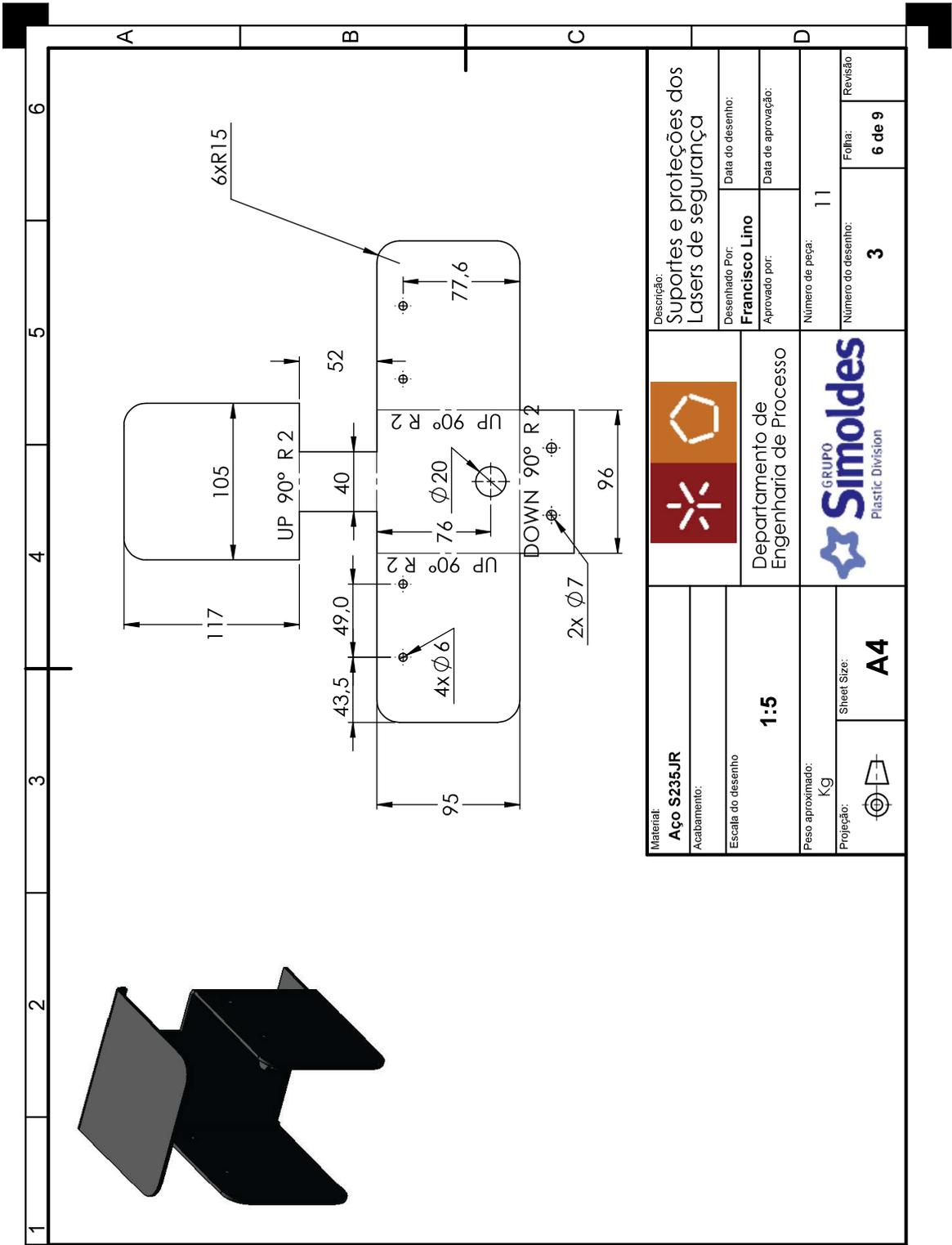
GRUPO **Simoldes**
Plastic Division



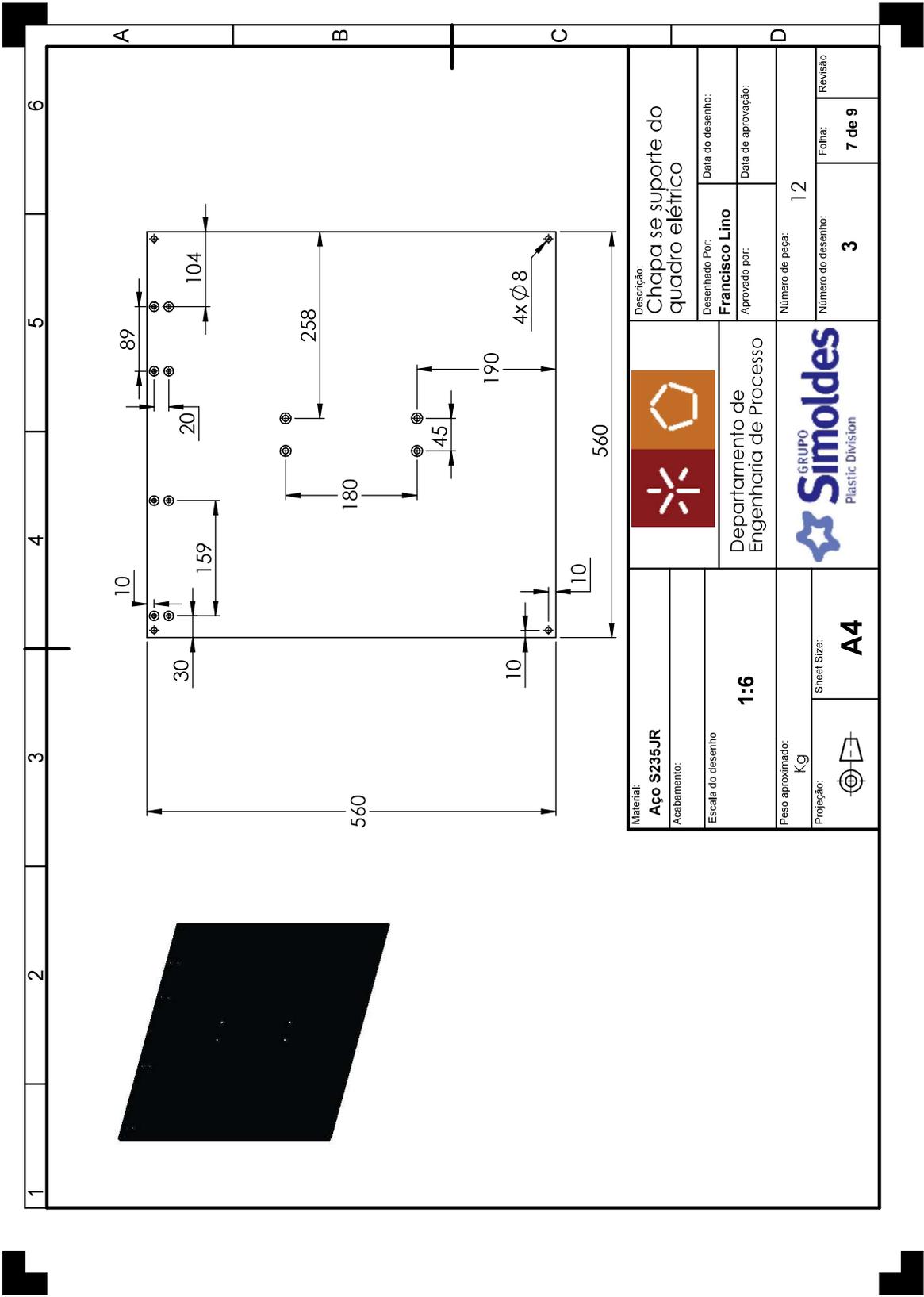
Material: Aço S235JR		Descrição: Aumento para suporte do quadro elétrico	
Acabamento:		Desenhado Por: Francisco Lino	
Escala do desenho 1:3		Data do desenho:	
Peso aproximado: Kg		Data de aprovação:	
Projeção: 		Número de peça: 9	
Sheet Size: A4		Número do desenho: 3	
		Folha: 4 de 9	
		Revisão	



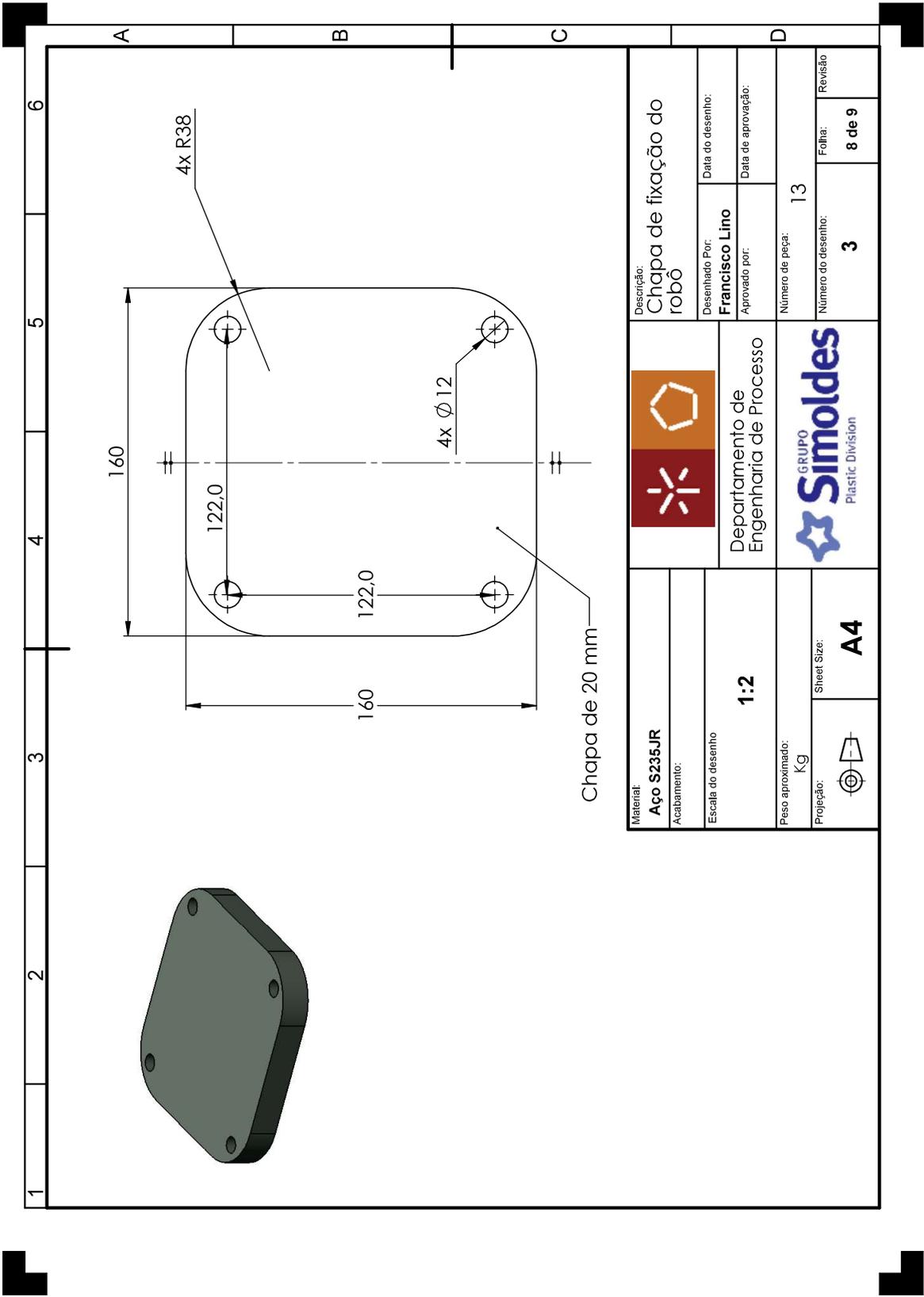




Material: Aço S235JR		Descrição: Supportes e proteções dos Lasers de segurança	
Acabamento:		Desenhado Por: Francisco Lino	
Escala do desenho 1:5		Data do desenho:	
Peso aproximado: Kg		Data de aprovação:	
Projeção: 		Número de peça: 11	
Sheet Size: A4		Número do desenho: 3	
		Folha: 6 de 9	
		Revisão	

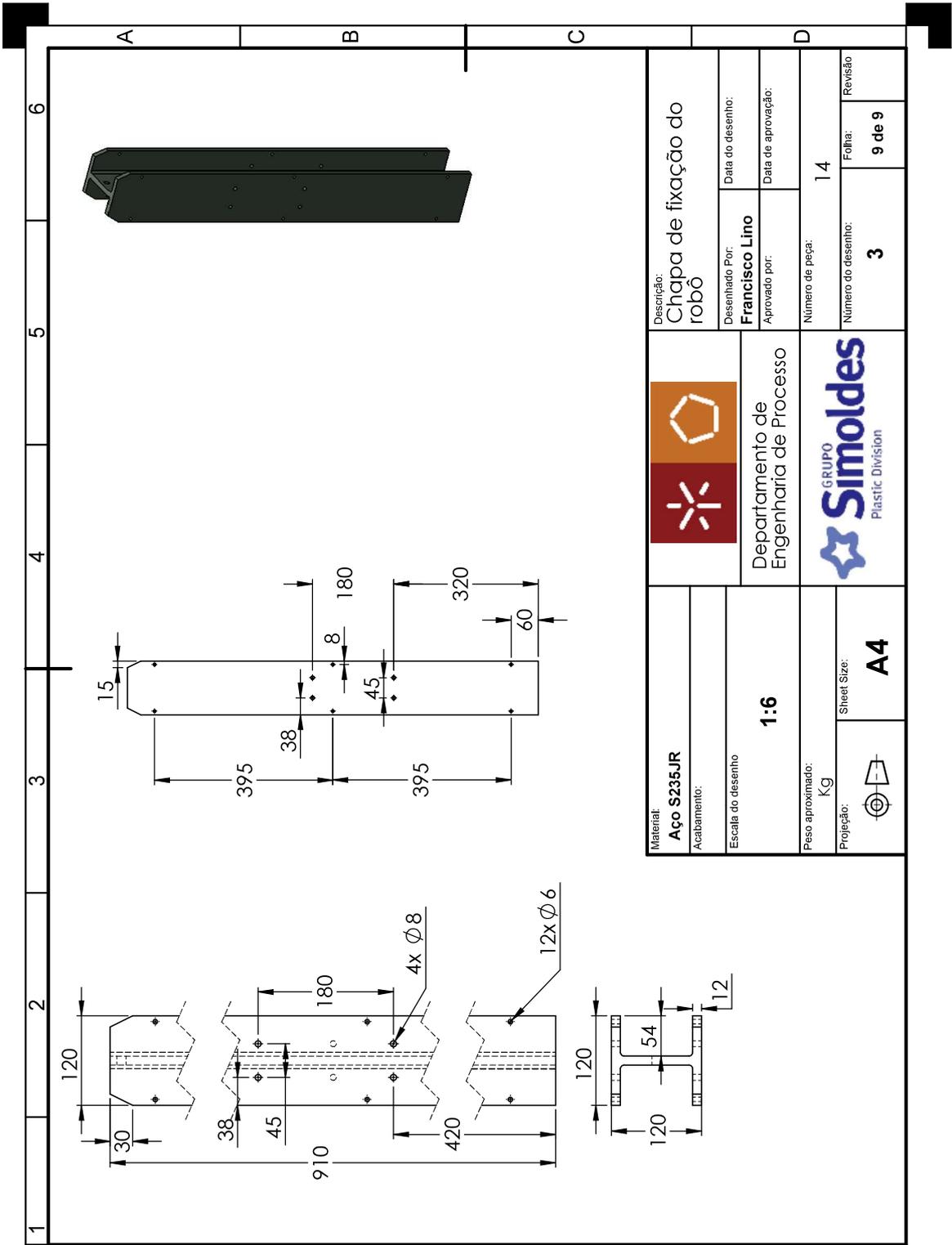


Material: Aço S235JR				Descrição: Chapa se suporte do quadro elétrico	
Acabamento:		Departamento de Engenharia de Processo		Desenhado Por: Francisco Lino	
Escala do desenho 1:6				Data do desenho:	
Peso aproximado: Kg		Número de peça: 12		Data de aprovação:	
Projeção: 		Sheet Size: A4		Número do desenho: 3	
				Folha: 7 de 9	
				Revisão	

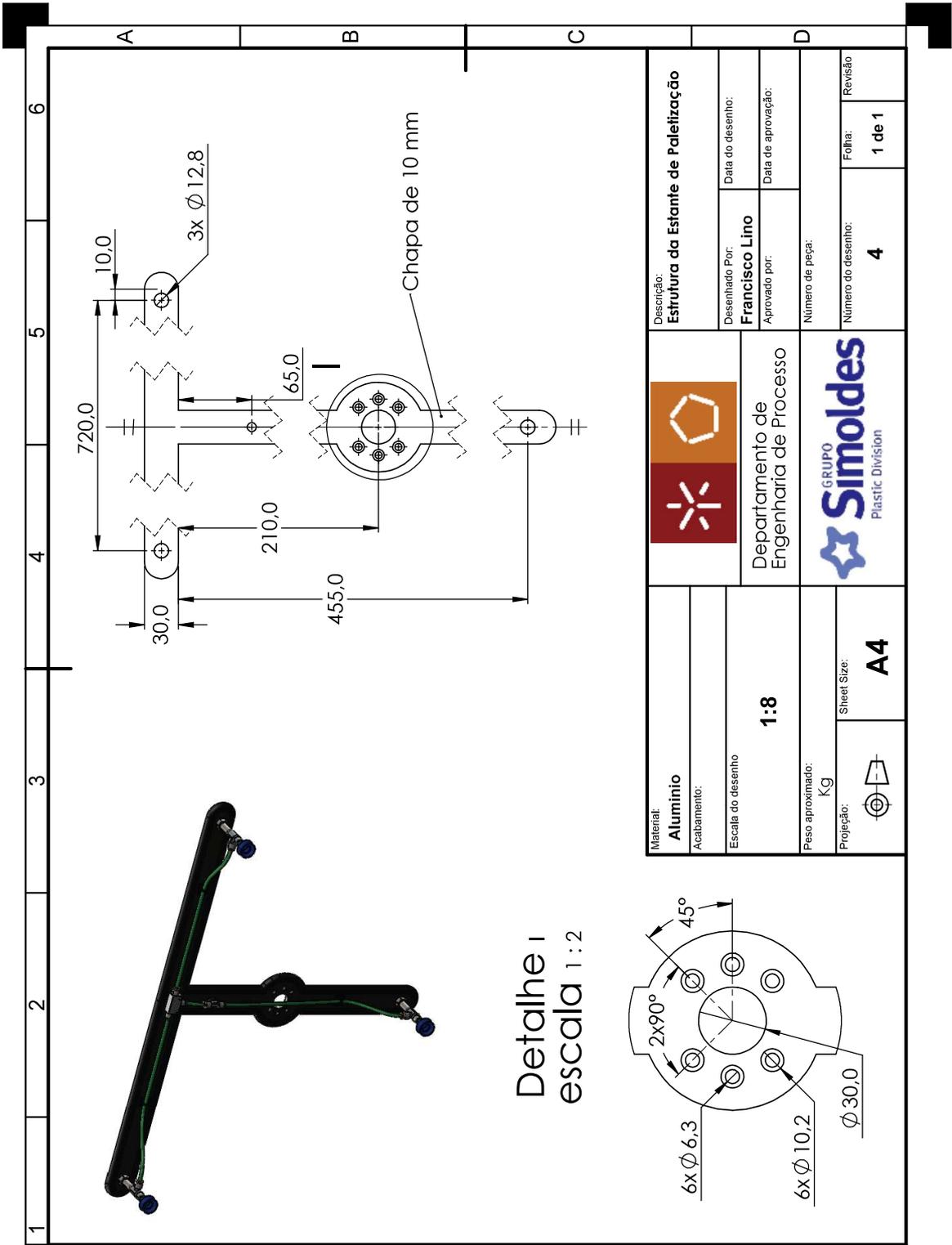


Chapa de 20 mm

Material: Aço S235JR		Descrição: Chapa de fixação do robô	
Acabamento:		Desenhado Por: Francisco Lino	
Escala do desenho 1:2		Data do desenho:	
Peso aproximado: Kg		Data de aprovação:	
Projeção: 		Número de peça: 13	
Sheet Size: A4		Número do desenho: 3	
 GRUPO Simoldes Plastic Division		Folha: 8 de 9	
		Revisão	



Material: Aço S235JR				Descrição: Chapa de fixação do robô	
Acabamento:		Departamento de Engenharia de Processo		Desenhado Por: Francisco Lino	
Escala do desenho		1:6		Data do desenho: Data de aprovação:	
Peso aproximado: Kg		Projeção: 		Número de peça: 14	
Sheet Size: A4		Número do desenho: 3		Folha: 9 de 9	
				Revisão	



1 2 3 4 5 6

A

B

C

D

Detalle I
escala 1:2

Material: Aluminio	Acabamento:	Escala do desenho: 1:8	Peso aproximado: Kg	Projeção: 	Sheet Size: A4	 GRUPO Simoldes Plastic Division	Descrição: Estrutura da Estante de Paletização
							Desenhado Por: Francisco Lino
							Data de aprovação:
							Número de peça:
							Número do desenho: 4
							Folha: 1 de 1
							Revisão

ANEXO 1



EU DECLARATION OF CONFORMITY
UE DICHIARAZIONE DI CONFORMITA'
UE DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD
UE DÉCLARATION DE CONFORMITÉ
EU KONFORMITÄTSERKLÄRUNG
EU CONFORMITEITSVERKLARING
EU FÖRSÄKRAN OM ÖVERENSSTÄMMELSE

EC-338_2

Pag. 1 of 1



Apparatus / Apparat / Aparato / Appareil / Gerätetyp / Apparaatmodel / Apparatmodell

**SLS SENTINEL; SAFETY LASER SCANNER
ELECTRO-SENSITIVE PROTECTIVE EQUIPMENT
(TYPE 3 ESPE)**

and all its models / e tutti i suoi modelli / y todos sus modelos / et tous ses modèles / und seine modelle / en al haar modellen / och alla sina modeller

Manufacturer / Produttore / Fabricante / Fabricant / Hersteller / Fabrikant / Tillverkaren

Datalogic S.r.l.
Via S.Vitalino 13 - 40012 Lippo di Reno - Bologna ITALY

This declaration of conformity is issued under the sole responsibility of the manufacturer / La presente dichiarazione di conformità è rilasciata sotto la responsabilità esclusiva del fabbricante / La presente declaración de conformidad se expide bajo la exclusiva responsabilidad del fabricante / La présente déclaration de conformité est établie sous la seule responsabilité du fabricant / Die alleinige Verantwortung für die Ausstellung dieser Konformitätserklärung trägt der Hersteller / Deze conformiteitsverklaring wordt verstrekt onder volledige verantwoordelijkheid van de fabrikant / Denna försäkran om överensstämmelse utfärdas på tillverkarens eget ansvar.

The object of the declaration described above is in conformity with the relevant Union harmonization legislation: / L'oggetto della dichiarazione di cui sopra è conforme alla pertinente normativa di armonizzazione dell'Unione: / El objeto de la declaración descrita anteriormente es conforme con la legislación de armonización pertinente de la Unión: / L'objet de la déclaration décrit ci-dessus est conforme à la législation d'harmonisation de l'Union applicable: / Der oben beschriebene Gegenstand der Erklärung erfüllt die einschlägigen Harmonisierungsrechtsvorschriften der Union: / Het hierboven beschreven voorwerp is in overeenstemming de desbetreffende harmonisatiewetgeving van de Unie: / Föremålet för försäkran ovan överensstämmer med den relevanta harmoniserade unionslagstiftningen:

**2014/30/EU EMC Directive
2006/42/EC Machinery Directive
2011/65/EU and 2015/863/EU RoHS Directive**

References to the relevant harmonised standards: / Riferimento alle pertinenti norme armonizzate: / Referencias a las normas armonizadas: / Références des normes harmonisées: / Angabe der einschlägigen harmonisierten Normen: / Vermelding van de toegepaste relevante geharmoniseerde normen: / Hänvisningar till de relevanta harmoniserade standarder:

EN61496-1:2013, AC:2015	SAFETY OF MACHINERY - ELECTRO-SENSITIVE PROTECTIVE EQUIPMENT PART 1: GENERAL REQUIREMENTS AND TESTS
EN 61496-3: 2008	SAFETY OF MACHINERY - ELECTRO-SENSITIVE PROTECTIVE EQUIPMENT - PART 3: PARTICULAR REQUIREMENTS FOR ACTIVE OPTO-ELECTRONIC PROTECTIVE DEVICES RESPONSIVE TO DIFFUSE REFLECTION (AOPDDR)
EN 61508-1/2/3/4: 2010	FUNCTIONAL SAFETY OF ELECTRICAL/ELECTRONIC/PROGRAMMABLE ELECTRONIC SAFETY-RELATED SYSTEMS
EN ISO13849-1:2015	SAFETY OF MACHINERY -- SAFETY-RELATED PARTS OF CONTROL SYSTEMS -- PART 1: GENERAL PRINCIPLES FOR DESIGN
EN 62061: 2005, A2:2015	SAFETY OF MACHINERY -- FUNCTIONAL SAFETY OF SAFETY-RELATED ELECTRICAL, ELECTRONIC AND PROGRAMMABLE ELECTRONIC CONTROL SYSTEMS
EN 50178:1997	ELECTRONIC EQUIPMENT FOR USE IN POWER INSTALLATIONS
EN 61000-6-2: 2005	ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) PART 6-2: GENERIC STANDARDS - IMMUNITY FOR INDUSTRIAL ENVIRONMENTS
EN 55022 (CLASS A ITE): 2010	LIMITS AND METHODS OF MEASUREMENTS OF RADIO DISTURBANCE OF INFORMATION TECHNOLOGY EQUIPMENT
EN 60825-1:2014 (CLASS 1)	SAFETY OF LASER PRODUCTS -- PART 1: EQUIPMENT CLASSIFICATION AND REQUIREMENTS
EN 50581:2012	TECHNICAL DOCUMENTATION FOR THE ASSESSMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC PRODUCTS WITH RESPECT TO THE RESTRICTION OF HAZARDOUS SUBSTANCES

Conformity has been certified by the following Notified/Competent Body (identification No. 0123): TÜV SÜD Rail GmbH, Ridlerstrasse, 65 – D80339 München. TÜV Certificate No. Z10 18 06 70800 070. EC-Type Examination Certificate No. M6A 18 06 70800 071

Lippo di Calderara di Reno, March 13, 2019

Ruggero Cacioppo
Product Quality Leader

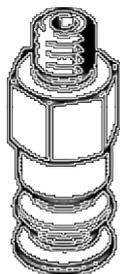
Ruggero Cacioppo



suction cup VASB-8-M5-PUR-B

Part number: 1395637

FESTO



Data sheet

Feature	Value
Suction cup height compensator	3.3 mm
Nominal size	2 mm
suction cup diameter	8 mm
suction cup volume	0.163 cm ³
Effective suction diameter	7.1 mm
Position of connection	on top
Assembly position	Any
Suction cup shape	Round, bellows 1.5 conv
Operating pressure	-0.95 ... 0 bar
Nominal operating pressure	-0.7 bar
Operating medium	Atmospheric air based on ISO 8573-1:2010 [7:-:-]
Corrosion resistance classification CRC	2 - Moderate corrosion stress
Ambient temperature	-20 ... 60 °C
Retention force at nominal operating pressure	2.8 N
Product weight	4 g
Mounting type	Via vacuum port
Vacuum connection	M5
Colour	blue
Shore hardness	60 +/- 5
Material of threaded plug	Brass
Materials note	Conforms to RoHS
Material suction cup	PUR



eCATALOGsolutions



BIM catalogs.net



PARTsolutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet ▶

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog ▶

Learn How to Create Your BIM Product Catalog ▶

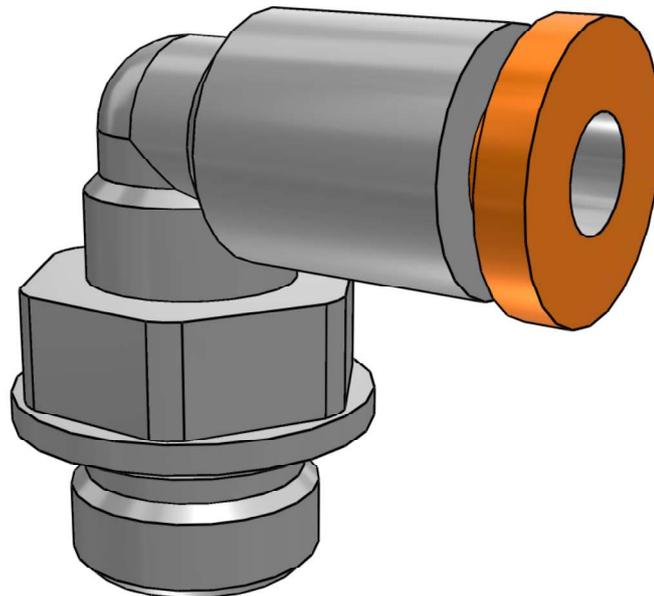
Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing ▶

2L34002



3D View

To activate the interactive 3D view, you must trust this document (see hint on the top) in Adobe Acrobat and click on the question mark.



Zoom

Moves you toward or away from objects in the scene when you drag vertically. You can also zoom with the hand tool by holding down Shift as you drag.



Pan

Moves the model vertically and horizontally only. You can also pan with the hand tool: Ctrl-drag.



Rotate

Turns 3D objects around relative to the screen. How the objects move depends on the starting view, where you start dragging and the direction in which you drag.

3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

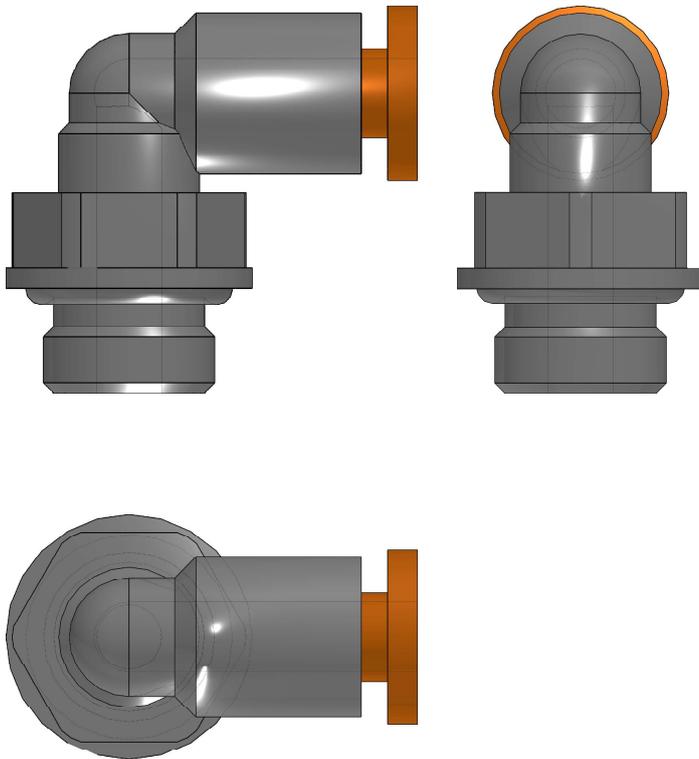
Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

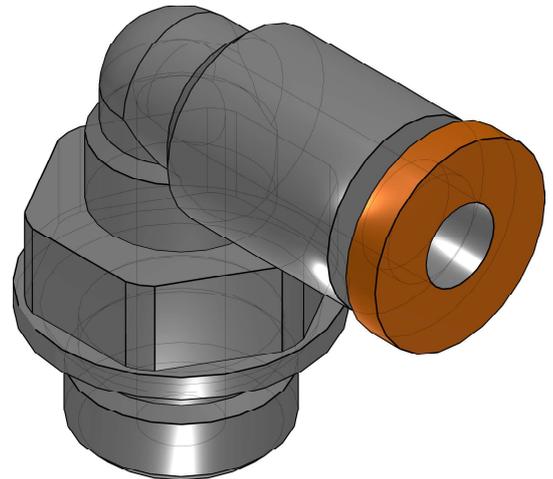
2L34002



2D derivation



ISO View



3D PDF DATASHEET



eCATALOGsolutions



BIM catalogs.net



PARTsolutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet



Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog



Learn How to Create Your BIM Product Catalog



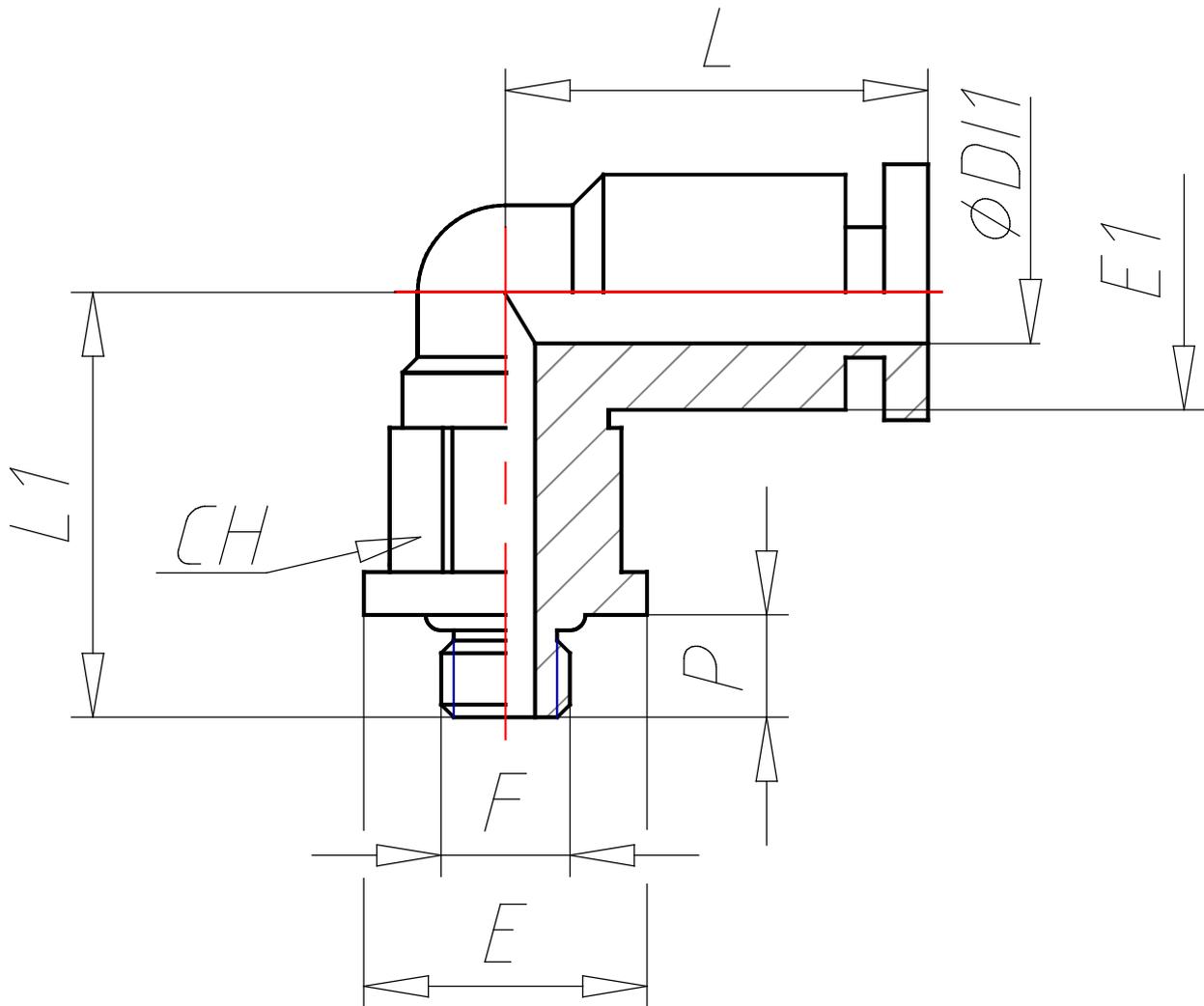
Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing



2L34002



Technical drawings



3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

2L34002



Technical Data

CODE (Code)	2L34002
REF (Description)	RL34
DI1 (Ø Diameter / mm)	4
F (/ mm)	1/8
CH (/ mm)	12
P (/ mm)	6
L (/ mm)	16,4
L1 (/ mm)	17,2
E (/ mm)	14
E1 (/ mm)	9,2
INFO (Catalogue)	Catalogue

3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

2L34002



Bill of Materials

N°	Description	Amount
1.1	2L34002	1

3D PDF DATASHEET



eCATALOGsolutions



BIM catalogs.net



PARTsolutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet



Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog



Learn How to Create Your BIM Product Catalog



Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing

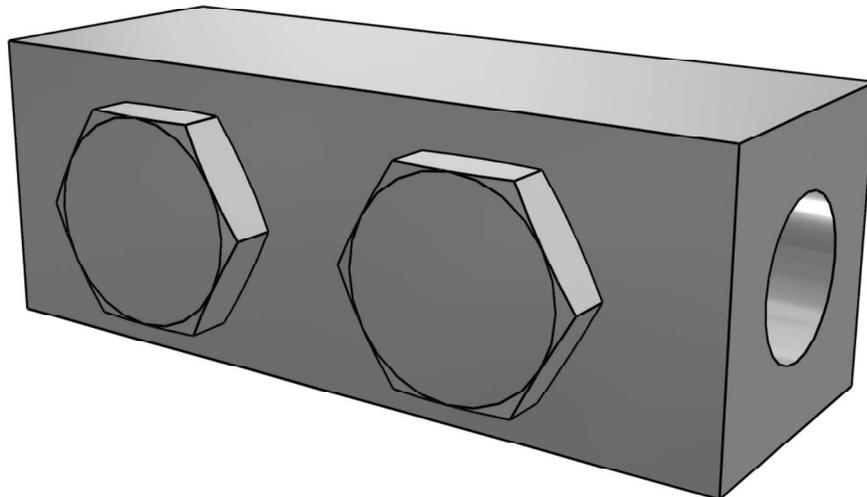


0221000200



3D View

To activate the interactive 3D view, you must trust this document (see hint on the top) in Adobe Acrobat and click on the question mark.



Zoom

Moves you toward or away from objects in the scene when you drag vertically. You can also zoom with the hand tool by holding down Shift as you drag.



Pan

Moves the model vertically and horizontally only. You can also pan with the hand tool: Ctrl-drag.



Rotate

Turns 3D objects around relative to the screen. How the objects move depends on the starting view, where you start dragging and the direction in which you drag.

3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet ▶

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog ▶

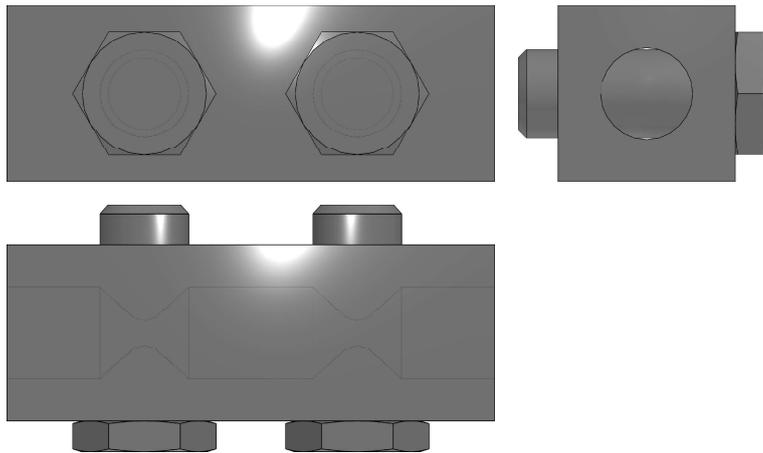
Learn How to Create Your BIM Product Catalog ▶

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing ▶

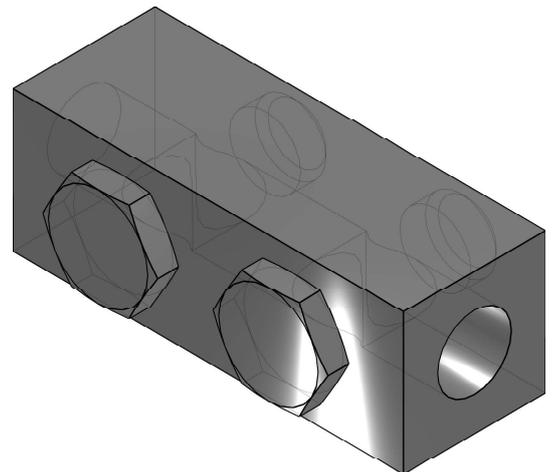
0221000200



2D derivation



ISO View



3D PDF DATASHEET



Create Your Individual 3D PDF Datasheet ▶

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog ▶

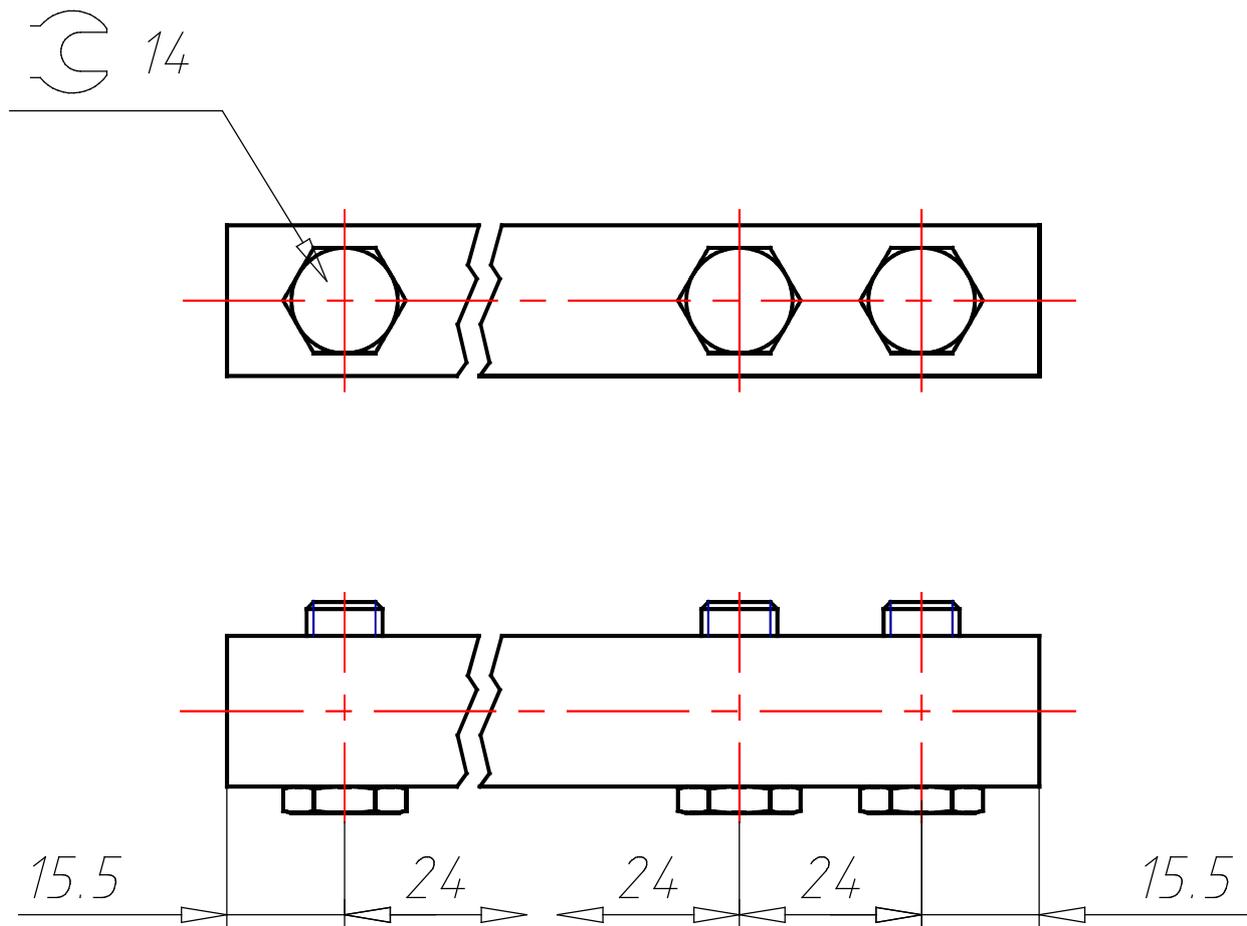
Learn How to Create Your BIM Product Catalog ▶

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing ▶

0221000200



Technical drawings



3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

0221000200



Technical Data

CODE (Code)	0221000200
AB (Abbrev.)	CSA-18-02
POS (Number of positions)	2
WG (Weight / g)	70

3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

0221000200



Bill of Materials

N°	Description	Amount
1.1	0221000200	1

3D PDF DATASHEET



eCATALOGsolutions



BIM catalogs.net



PARTsolutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet ▶

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog ▶

Learn How to Create Your BIM Product Catalog ▶

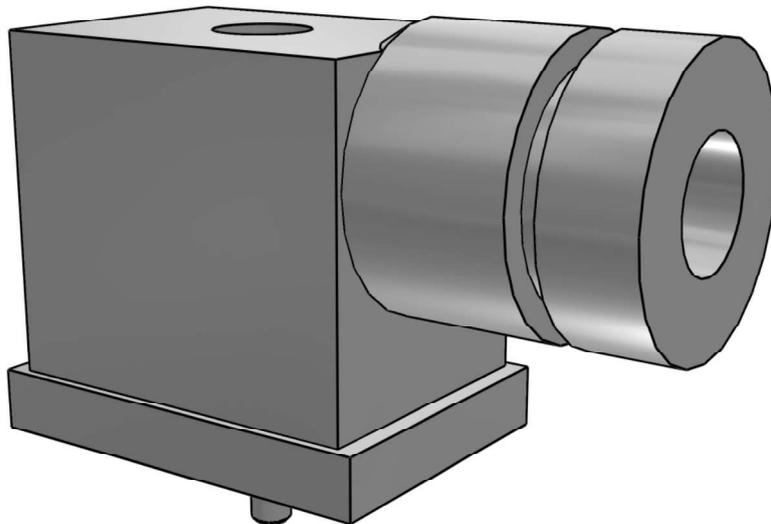
Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing ▶

W0970510015



3D View

To activate the interactive 3D view, you must trust this document (see hint on the top) in Adobe Acrobat and click on the question mark.



Zoom

Moves you toward or away from objects in the scene when you drag vertically. You can also zoom with the hand tool by holding down Shift as you drag.



Pan

Moves the model vertically and horizontally only. You can also pan with the hand tool: Ctrl-drag.



Rotate

Turns 3D objects around relative to the screen. How the objects move depends on the starting view, where you start dragging and the direction in which you drag.

3D PDF DATASHEET



eCATALOGsolutions



BIM catalogs.net



PARTsolutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet



Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog



Learn How to Create Your BIM Product Catalog



Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing

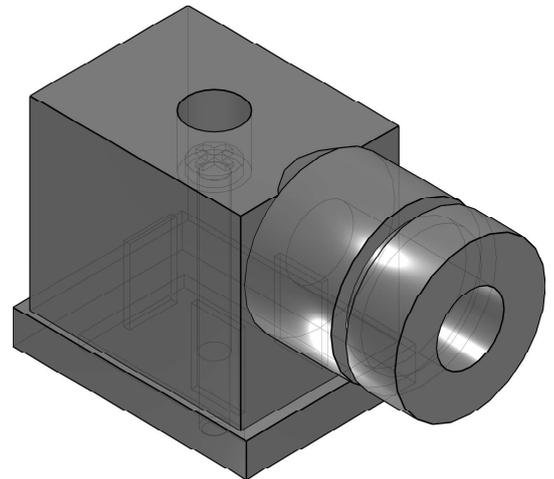
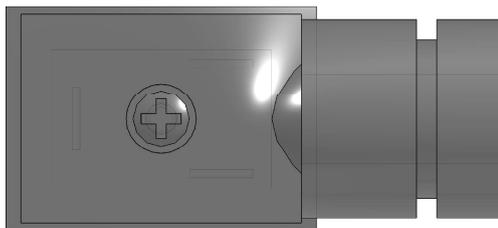
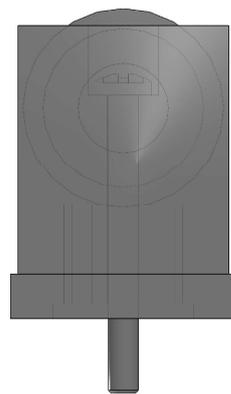
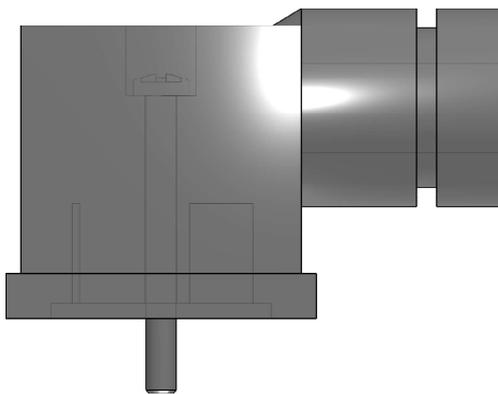


W0970510015



2D derivation

ISO View



3D PDF DATASHEET



eCATALOGsolutions



BIM catalogs.net



PARTsolutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog

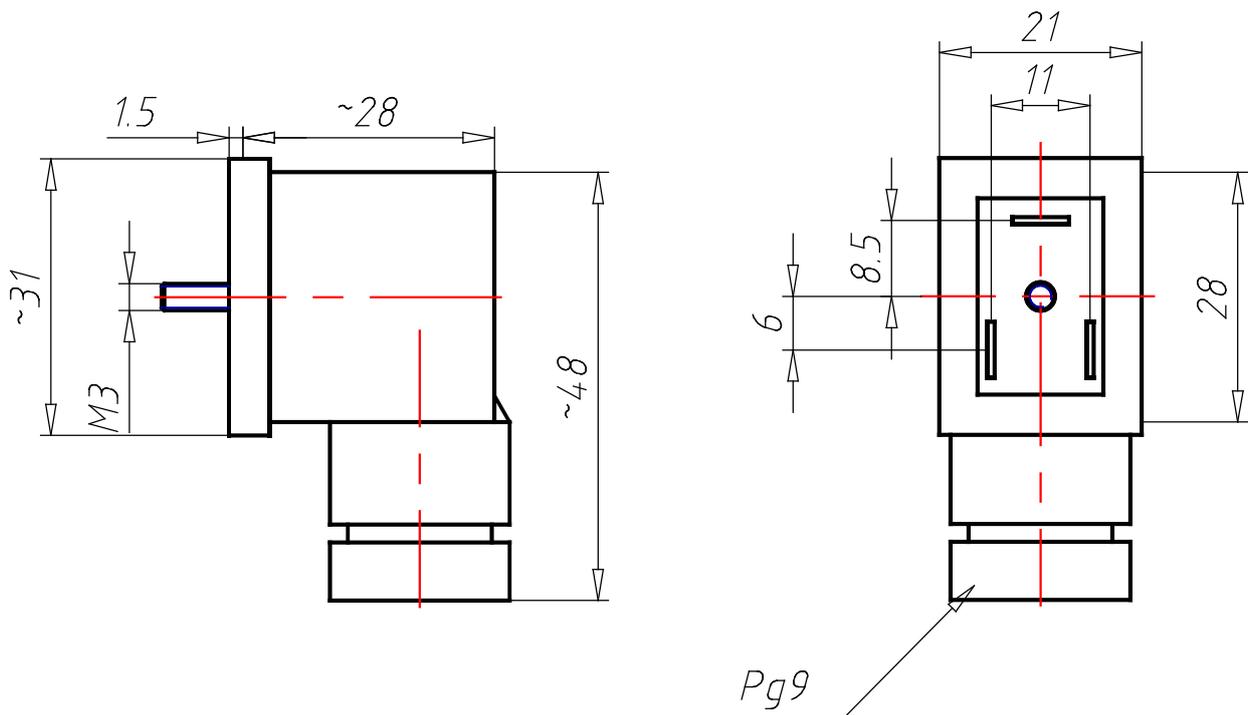
Learn How to Create Your BIM Product Catalog

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing

W0970510015



Technical drawings



3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

W0970510015



Technical Data

CODE (Code)	W0970510015
CL (Colour)	Transparent
CA (Ø Cable)	PG9
TY (Type)	LED + VDR 24V

3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

W0970510015



Bill of Materials

N°	Description	Amount
1.1	W0970510015	1

3D PDF DATASHEET



eCATALOGsolutions



BIM catalogs.net



PARTsolutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet ▶

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog ▶

Learn How to Create Your BIM Product Catalog ▶

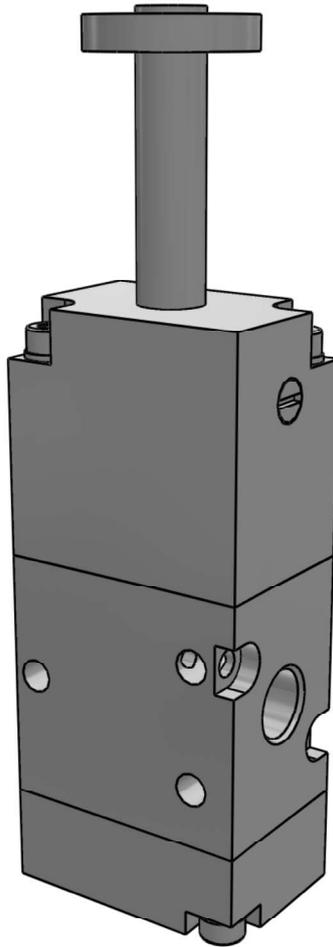
Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing ▶

7010020200



3D View

To activate the interactive 3D view, you must trust this document (see hint on the top) in Adobe Acrobat and click on the question mark.



Zoom

Moves you toward or away from objects in the scene when you drag vertically. You can also zoom with the hand tool by holding down Shift as you drag.



Pan

Moves the model vertically and horizontally only. You can also pan with the hand tool: Ctrl-drag.



Rotate

Turns 3D objects around relative to the screen. How the objects move depends on the starting view, where you start dragging and the direction in which you drag.

3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

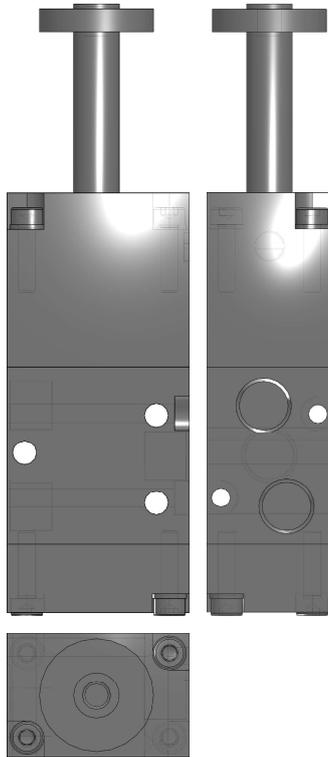
Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

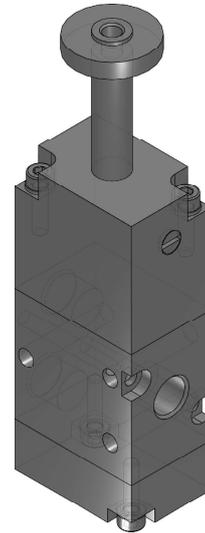
7010020200



2D derivation



ISO View





eCATALOGsolutions



BIM catalogs.net



PARTsolutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog

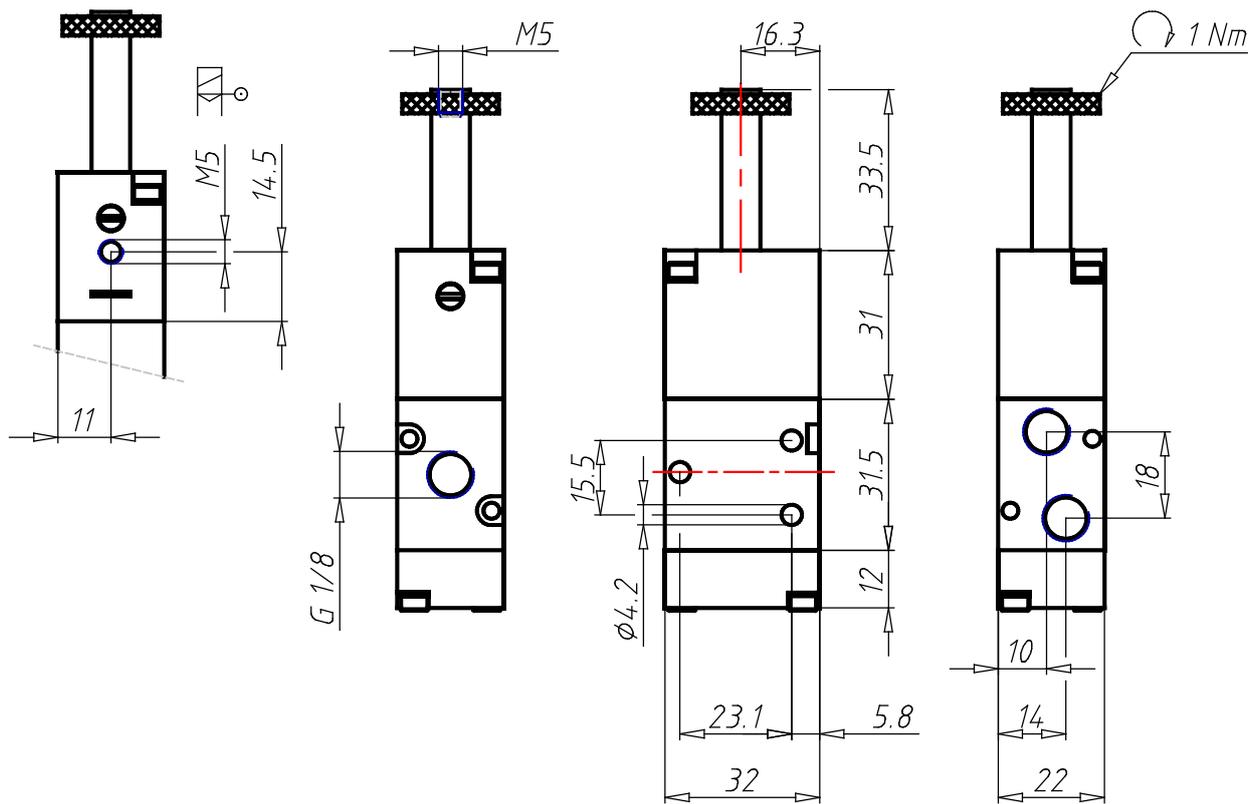
Learn How to Create Your BIM Product Catalog

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing

7010020200



Technical drawings



3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

7010020200



Technical Data

AB (Abbrev.)	SOV 23 SOS NC
CODE (Code)	7010020200
FA (Family)	Solenoid / pneumatic
DIM (Port)	1/8"
FU (Function)	3/2
OP (Operators 14)	Solenoid
RES (Resetting 12)	mechanical spring
FD (Further details)	normally closed
WG (Weight / g)	100

3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

7010020200



Bill of Materials

N°	Description	Amount
1	7010020200	1



Create Your Individual 3D PDF Datasheet



Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog



Learn How to Create Your BIM Product Catalog



Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing

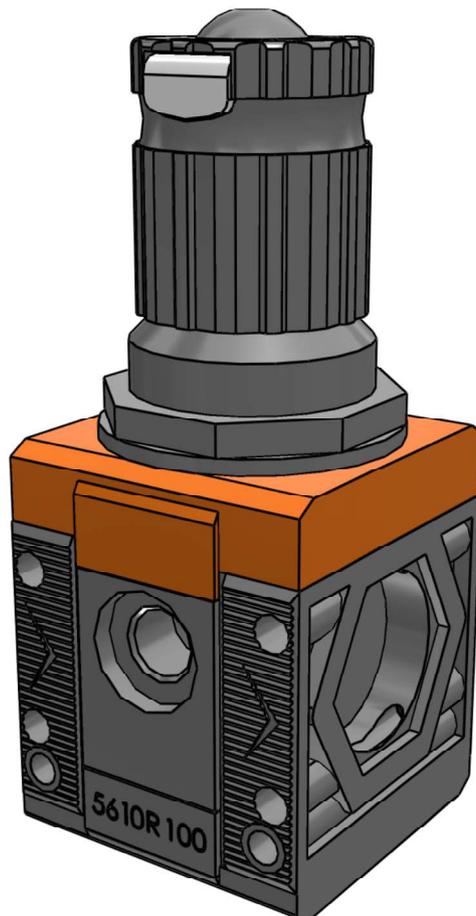


5610R100



3D View

To activate the interactive 3D view, you must trust this document (see hint on the top) in Adobe Acrobat and click on the question mark.



Zoom

Moves you toward or away from objects in the scene when you drag vertically. You can also zoom with the hand tool by holding down Shift as you drag.



Pan

Moves the model vertically and horizontally only. You can also pan with the hand tool: Ctrl-drag.



Rotate

Turns 3D objects around relative to the screen. How the objects move depends on the starting view, where you start dragging and the direction in which you drag.

3D PDF DATASHEET



eCATALOGsolutions



BIM catalogs.net



PARTsolutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet



Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog



Learn How to Create Your BIM Product Catalog



Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing



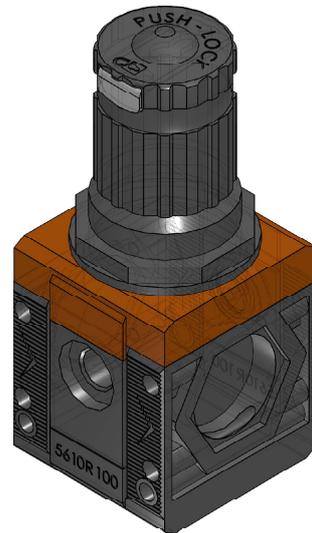
5610R100



2D derivation



ISO View





eCATALOGsolutions



BIM catalogs.net



PARTsolutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog

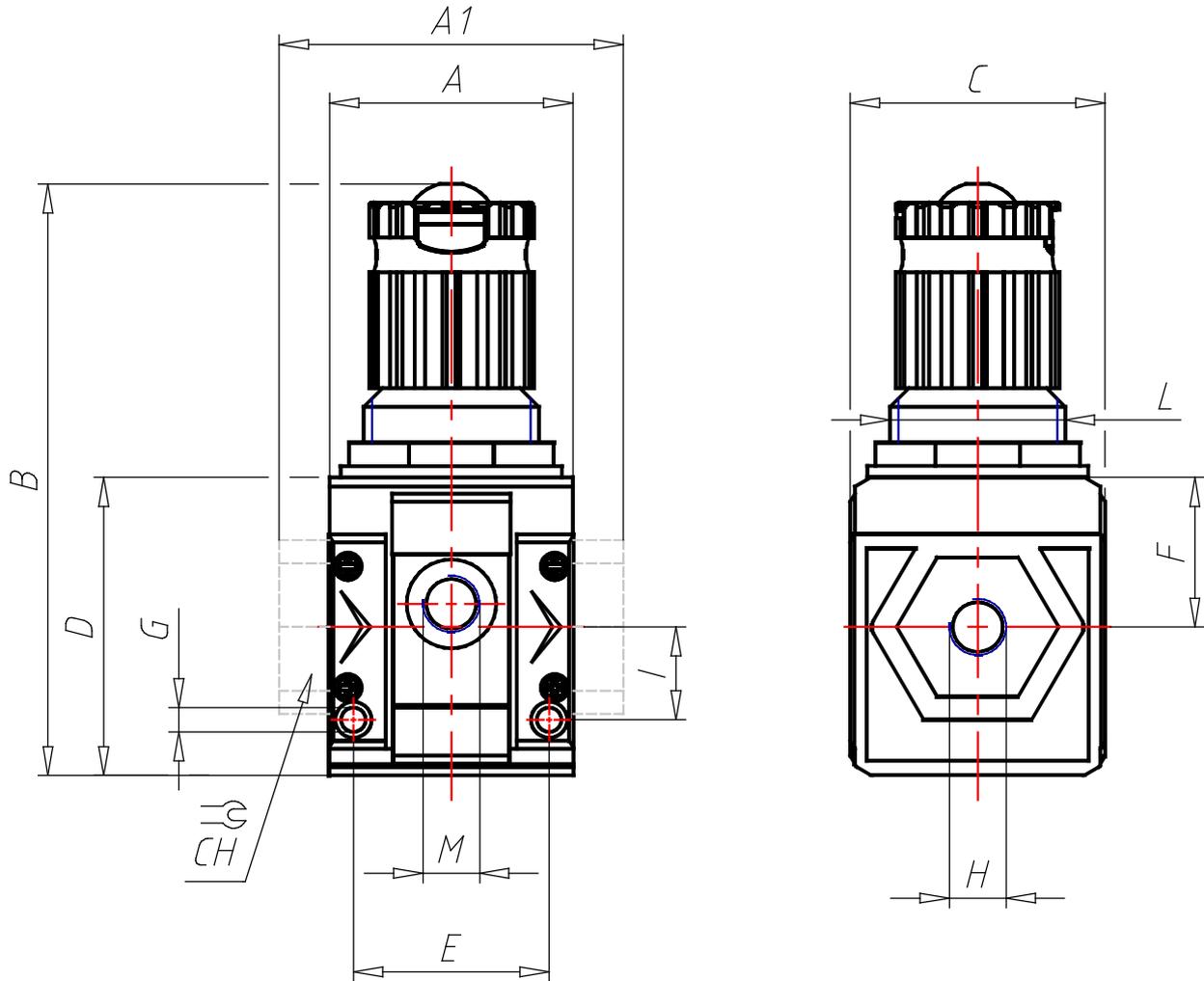
Learn How to Create Your BIM Product Catalog

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing

5610R100



Technical drawings



3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

5610R100



Technical Data

CODE (Code)	5610R100
DC (Description)	REG SY1 02 WITHOUT BUSHINGS
SERIES (Series)	Syntesi
SIZE (Size)	Size 1
IN (Threaded INPUT connection)	Without bushing
EL (Element)	Pressure regulator
SR (Setting range)	0 - 2 bar
OUT (Threaded OUTPUT connection)	Without bushing
A (/ mm)	41.8
A1 ()	-
B (/ mm)	102
C (/ mm)	44
CH ()	-
D (/ mm)	51.5
E (/ mm)	33.5
F (/ mm)	25.8
G (Hole for screw)	M4
I (/ mm)	16
L (Thread)	M30x1,5
M (no.2 Additional ports)	1/8"

3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

5610R100



Bill of Materials

N°	Description	Amount
1	5610R100	1

3D PDF DATASHEET



eCATALOGsolutions



BIM catalogs.net



PARTsolutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet ▶

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog ▶

Learn How to Create Your BIM Product Catalog ▶

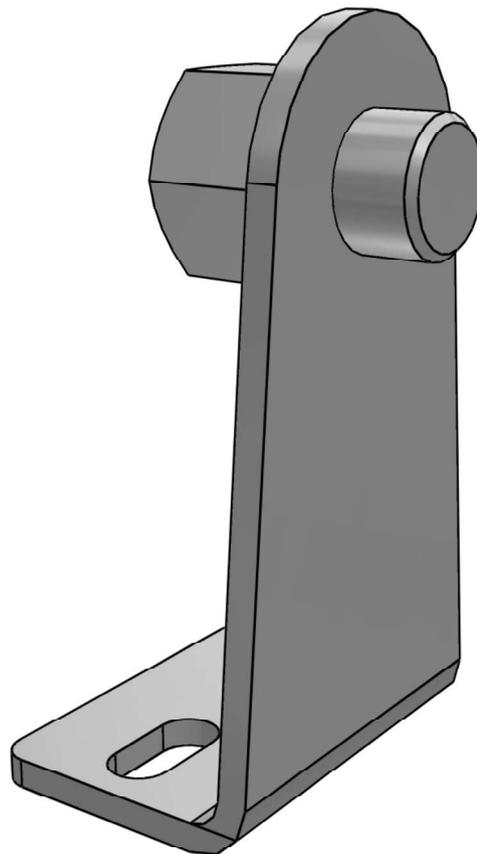
Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing ▶

0221000191



3D View

To activate the interactive 3D view, you must trust this document (see hint on the top) in Adobe Acrobat and click on the question mark.



Zoom

Moves you toward or away from objects in the scene when you drag vertically. You can also zoom with the hand tool by holding down Shift as you drag.



Pan

Moves the model vertically and horizontally only. You can also pan with the hand tool: Ctrl-drag.



Rotate

Turns 3D objects around relative to the screen. How the objects move depends on the starting view, where you start dragging and the direction in which you drag.

3D PDF DATASHEET



eCATALOGsolutions



BIM catalogs.net



PARTsolutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet



Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog



Learn How to Create Your BIM Product Catalog



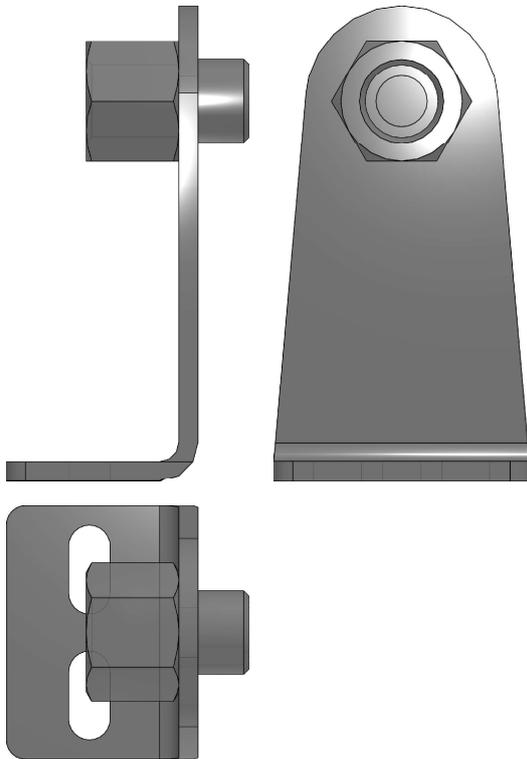
Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing



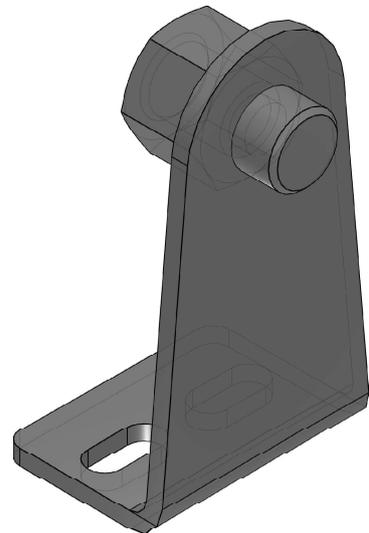
0221000191



2D derivation



ISO View



3D PDF DATASHEET



Create Your Individual 3D PDF Datasheet ▶

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog ▶

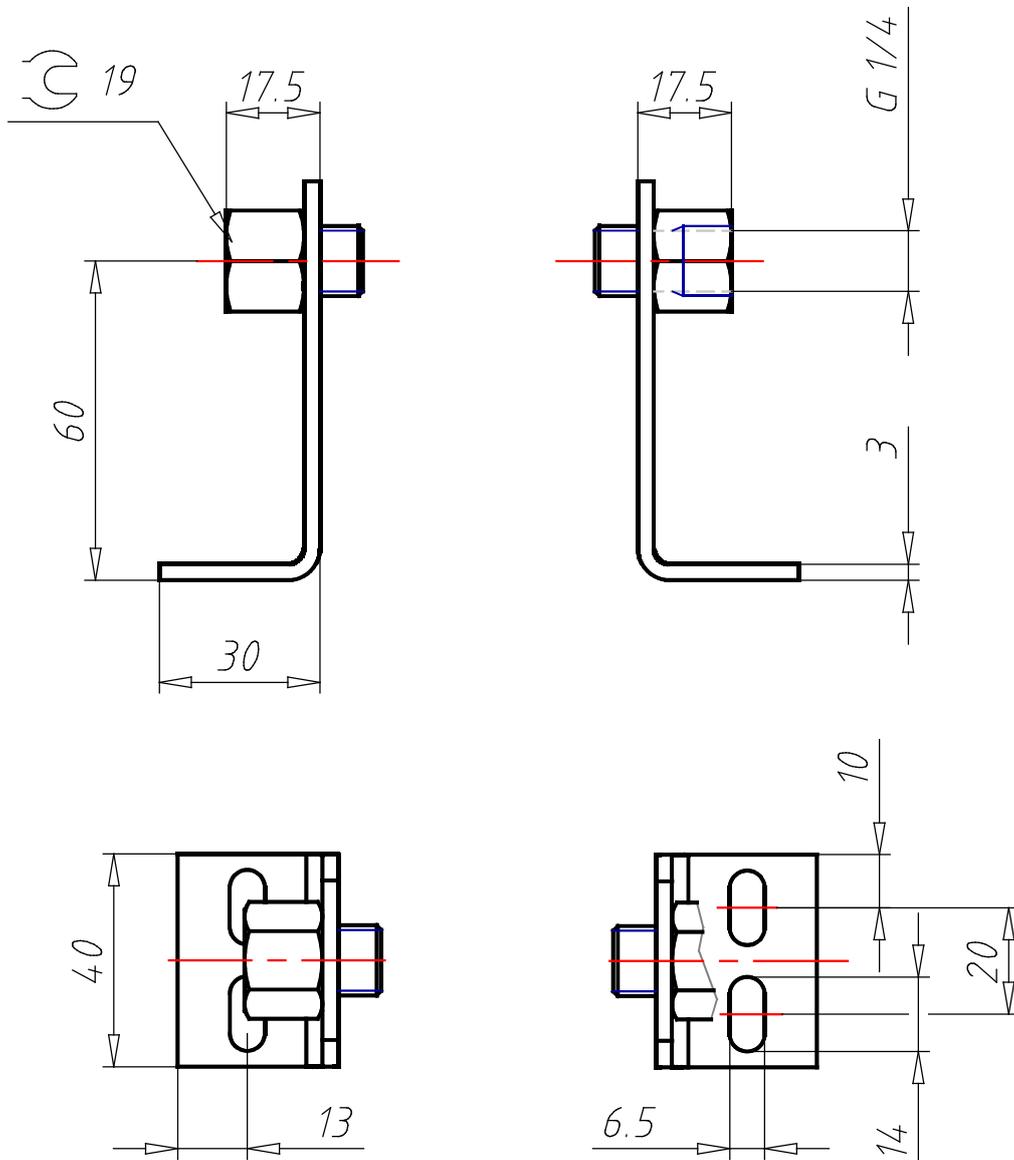
Learn How to Create Your BIM Product Catalog ▶

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing ▶

0221000191



Technical drawings



3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

0221000191



Technical Data

CODE (Code)	0221000191
DC (Description)	CSA-18-OC
WG (Weight / g)	242

3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

0221000191



Bill of Materials

N°	Description	Amount
1.1	0221000191	1

3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet ▶

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog ▶

Learn How to Create Your BIM Product Catalog ▶

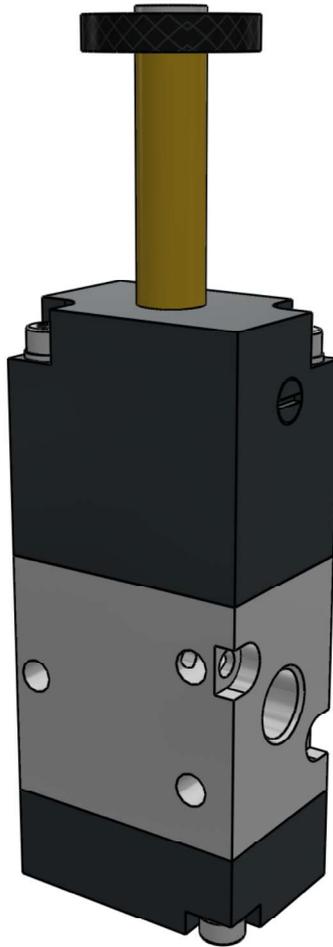
Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing ▶

ELPN 1/8 3/2 MON NC



3D View

To activate the interactive 3D view, you must trust this document (see hint on the top) in Adobe Acrobat and click on the question mark.



Zoom

Moves you toward or away from objects in the scene when you drag vertically. You can also zoom with the hand tool by holding down Shift as you drag.



Pan

Moves the model vertically and horizontally only. You can also pan with the hand tool: Ctrl-drag.



Rotate

Turns 3D objects around relative to the screen. How the objects move depends on the starting view, where you start dragging and the direction in which you drag.

3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

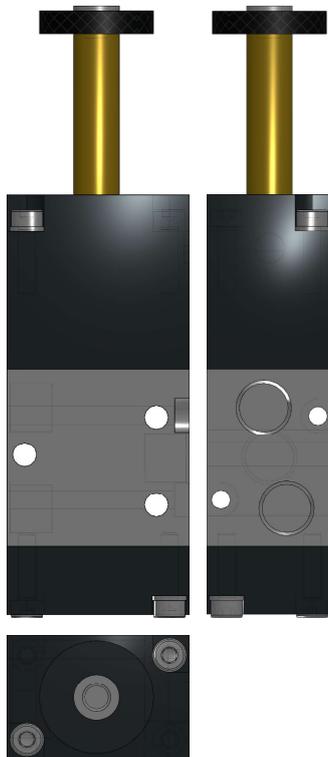
Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

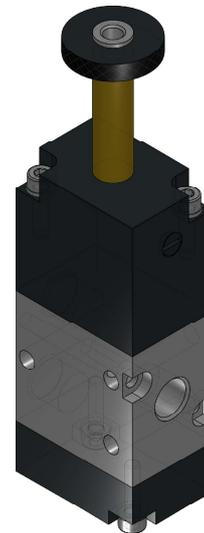
ELPN 1/8 3/2 MON NC



2D derivation



ISO View



3D PDF DATASHEET



eCATALOGsolutions



BIM catalogs.net



PARTsolutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog

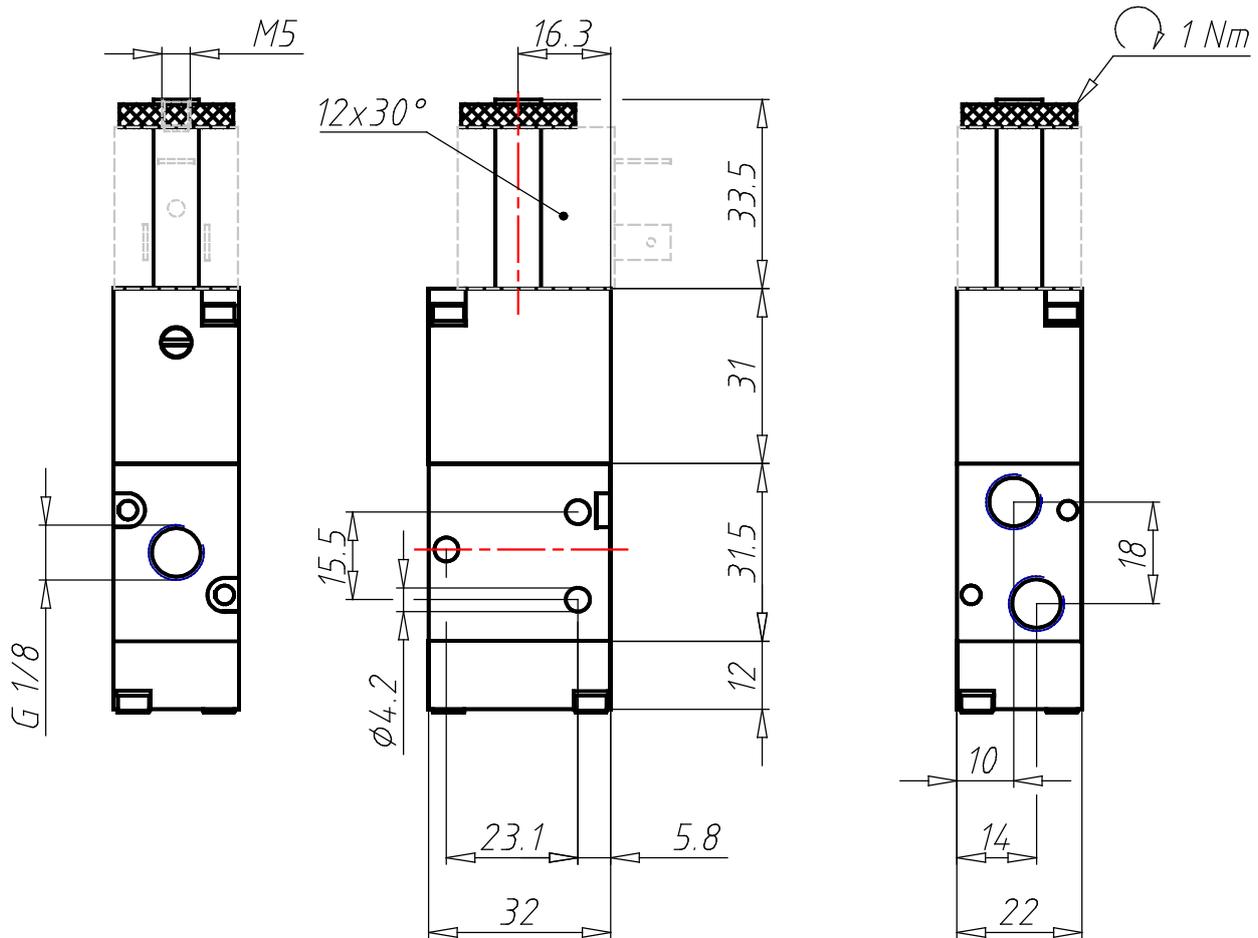
Learn How to Create Your BIM Product Catalog

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing

ELPN 1/8 3/2 MON NC



Technical drawings



3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

ELPN 1/8 3/2 MON NC



Technical Data

CODE (Code)	7090020200
AB (Abbreviation)	ELPN 1/8 3/2 MON NC
DIM (Dimension)	1/8
FU (Function)	3/2
RES (Resetting)	monostable
FD (Further details)	normally closed

3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

ELPN 1/8 3/2 MON NC



Bill of Materials

N°	Description	Amount
1	ELPN 1/8 3/2 MON NC	1



Create Your Individual 3D PDF Datasheet



Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog



Learn How to Create Your BIM Product Catalog



Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing

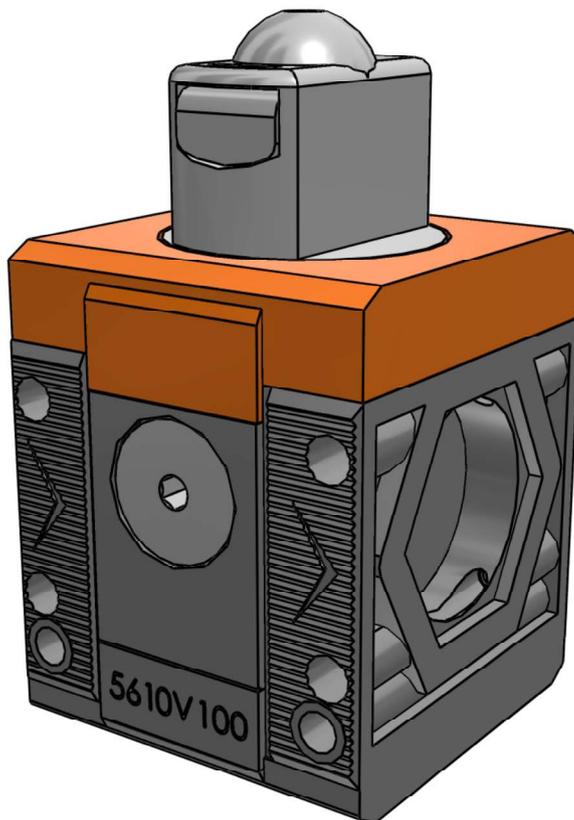


5610V100



3D View

To activate the interactive 3D view, you must trust this document (see hint on the top) in Adobe Acrobat and click on the question mark.



Zoom

Moves you toward or away from objects in the scene when you drag vertically. You can also zoom with the hand tool by holding down Shift as you drag.



Pan

Moves the model vertically and horizontally only. You can also pan with the hand tool: Ctrl-drag.



Rotate

Turns 3D objects around relative to the screen. How the objects move depends on the starting view, where you start dragging and the direction in which you drag.

3D PDF DATASHEET



eCATALOGsolutions



BIM catalogs.net



PARTsolutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet



Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog



Learn How to Create Your BIM Product Catalog



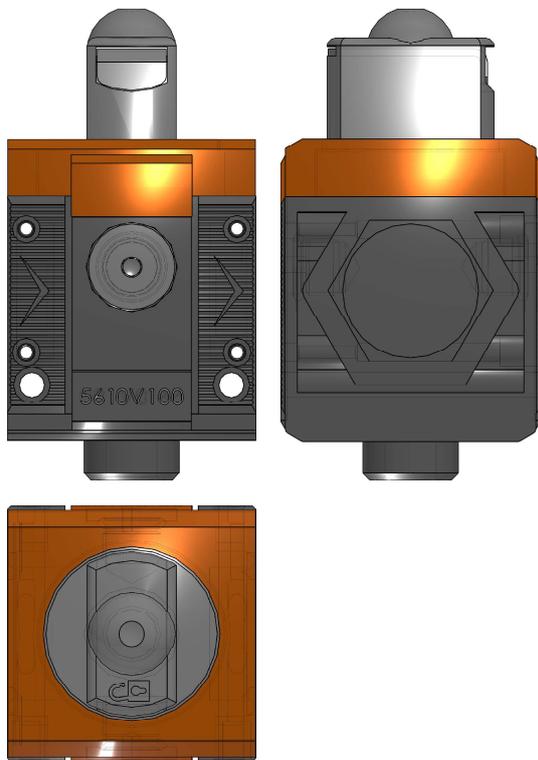
Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing



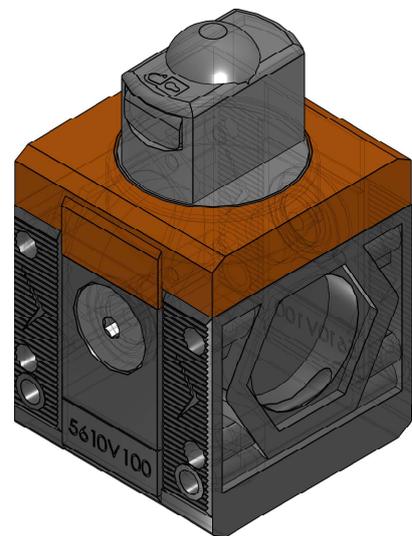
5610V100



2D derivation



ISO View





eCATALOGsolutions



BIM catalogs.net



PARTsolutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog

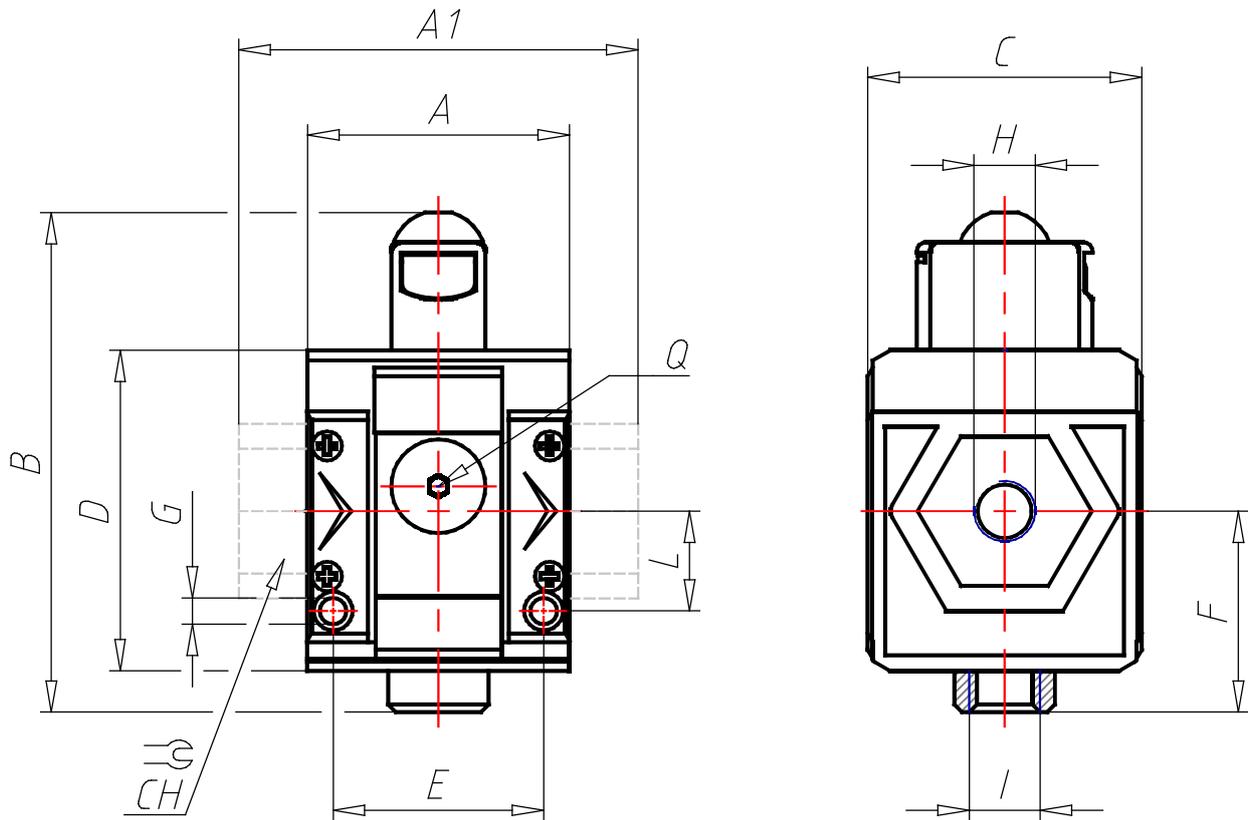
Learn How to Create Your BIM Product Catalog

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing

5610V100



Technical drawings



3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

5610V100



Technical Data

CODE (Code)	5610V100
DC (Description)	V3V SY1 MANUAL WITHOUT BUSHINGS
SERIES (Series)	Syntesi
SIZE (Size)	Size 1
IN (Threaded INPUT connection)	Without bushing
EL (Element)	Shut-off valve
TYPE (Valve type)	Manual with \varnothing 3.5 hole for padlocks
OUT (Threaded OUTPUT connection)	Without bushing
A (/ mm)	41.8
A1 ()	-
A2 ()	-
B ()	80
C (/ mm)	44
CH ()	-
D (/ mm)	51.5
E (/ mm)	33.5
F (/ mm)	32.2
G (Hole for screw)	M4
I (Exhaust)	1/8"
L (/ mm)	16
O (Pilot)	-
Q (no.2 Additional ports)	1/8"
ASV (Pilot)	-

3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

5610V100



Bill of Materials

N°	Description	Amount
1	5610V100	1

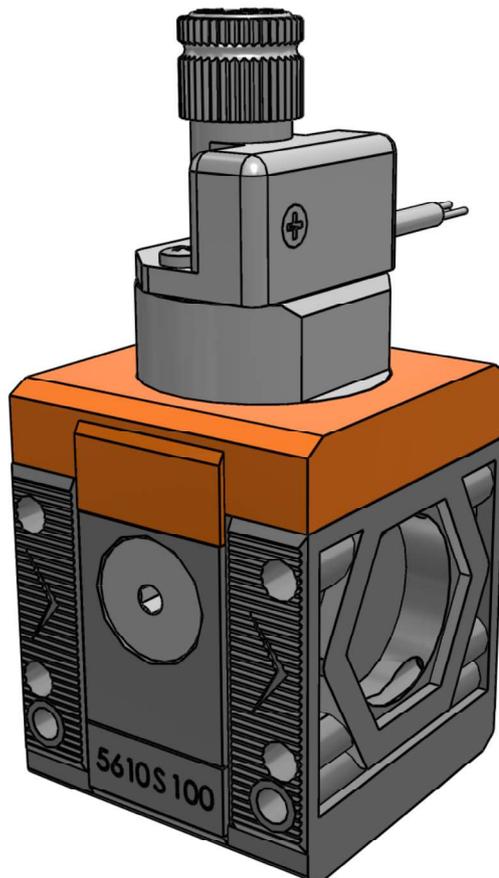


5610S100



3D View

To activate the interactive 3D view, you must trust this document (see hint on the top) in Adobe Acrobat and click on the question mark.



Zoom

Moves you toward or away from objects in the scene when you drag vertically. You can also zoom with the hand tool by holding down Shift as you drag.



Pan

Moves the model vertically and horizontally only. You can also pan with the hand tool: Ctrl-drag.



Rotate

Turns 3D objects around relative to the screen. How the objects move depends on the starting view, where you start dragging and the direction in which you drag.

3D PDF DATASHEET



eCATALOGsolutions



BIM catalogs.net



PARTsolutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet



Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog



Learn How to Create Your BIM Product Catalog



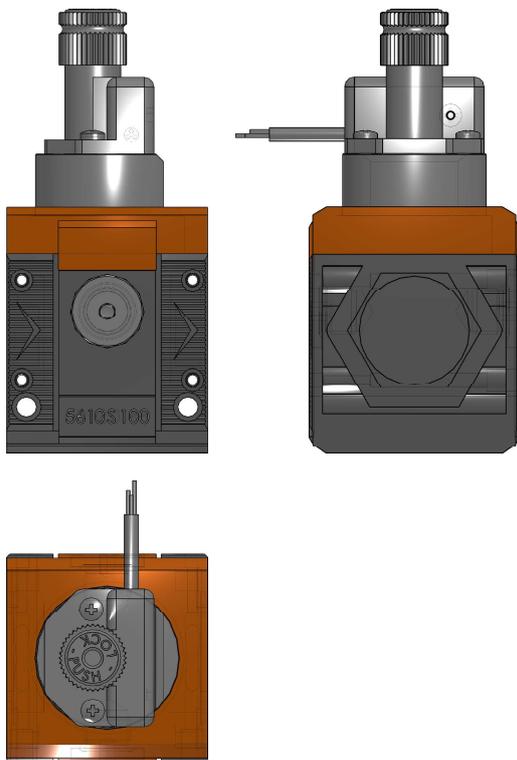
Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing



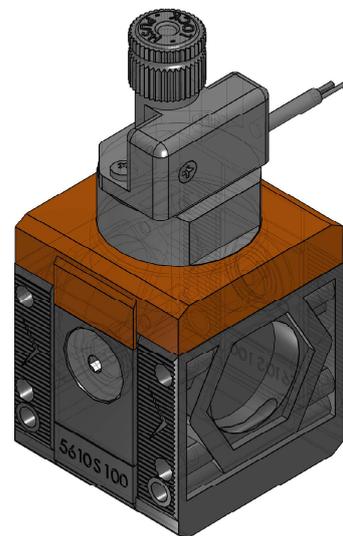
5610S100



2D derivation



ISO View



3D PDF DATASHEET



eCATALOGsolutions



BIM catalogs.net



PARTsolutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog

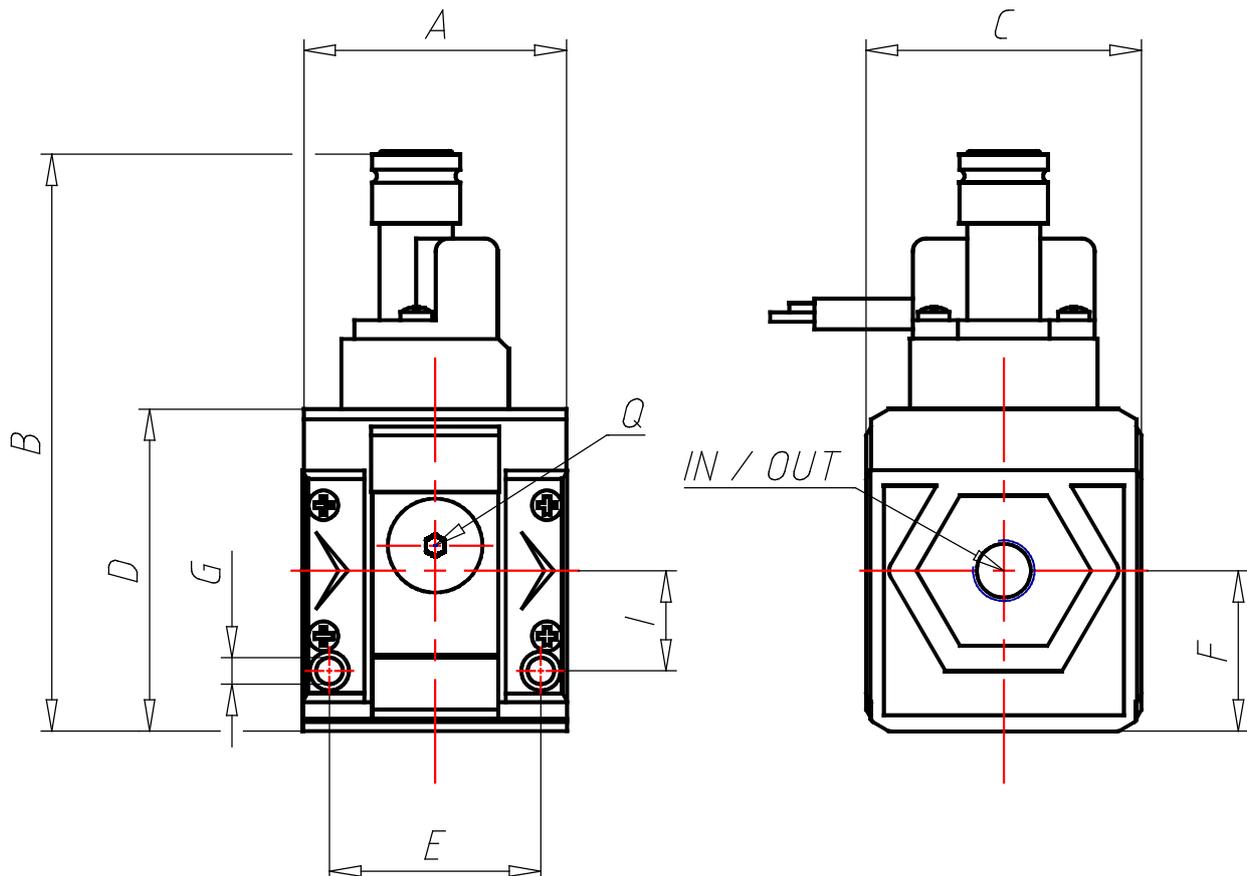
Learn How to Create Your BIM Product Catalog

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing

5610S100



Technical drawings



3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet ▶

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog ▶

Learn How to Create Your BIM Product Catalog ▶

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing ▶

5610S100



Technical Data

CODE (Code)	5610S100
DC (Description)	PRESSURE SWITCH 2 m CABLE SY1 WITHOUT BUSHINGS
SERIES (Series)	Syntesi
SIZE (Size)	Size 1
IN (Threaded INPUT connection)	Without bushing
EL (Element)	Pressure switch
TYPE (Type)	2 m Cable
OUT (Threaded OUTPUT connection)	Without bushing
A (/ mm)	41.8
A1 ()	-
B (/ mm)	93
C (/ mm)	44
CH ()	-
D (/ mm)	51.5
E (/ mm)	33.5
F (/ mm)	25.6
G (Hole for screw)	M4
I (/ mm)	16
Q (no.2 Additional ports)	1/8"

3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

5610S100



Bill of Materials

N°	Description	Amount
1	5610S100	1



Create Your Individual 3D PDF Datasheet



Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog



Learn How to Create Your BIM Product Catalog



Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing

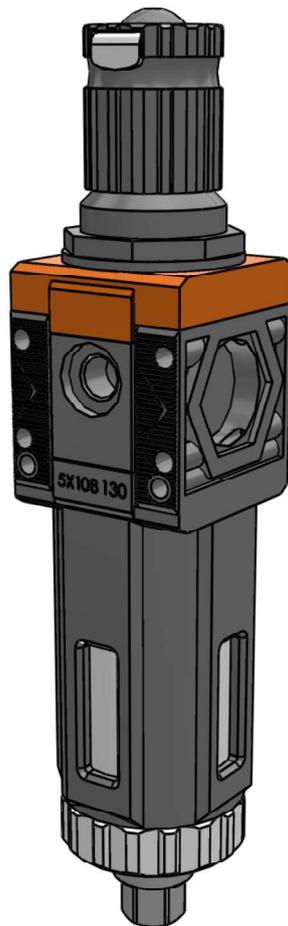


5X10B130



3D View

To activate the interactive 3D view, you must trust this document (see hint on the top) in Adobe Acrobat and click on the question mark.



Zoom

Moves you toward or away from objects in the scene when you drag vertically. You can also zoom with the hand tool by holding down Shift as you drag.



Pan

Moves the model vertically and horizontally only. You can also pan with the hand tool: Ctrl-drag.



Rotate

Turns 3D objects around relative to the screen. How the objects move depends on the starting view, where you start dragging and the direction in which you drag.

3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

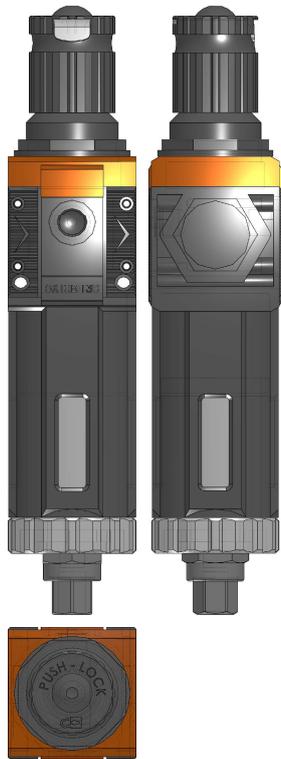
Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

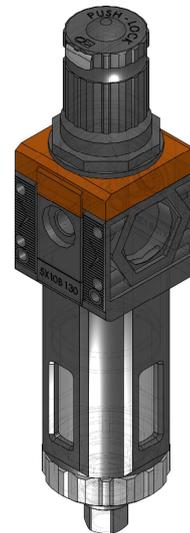
5X10B130



2D derivation



ISO View





eCATALOGsolutions



BIM catalogs.net



PARTsolutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog

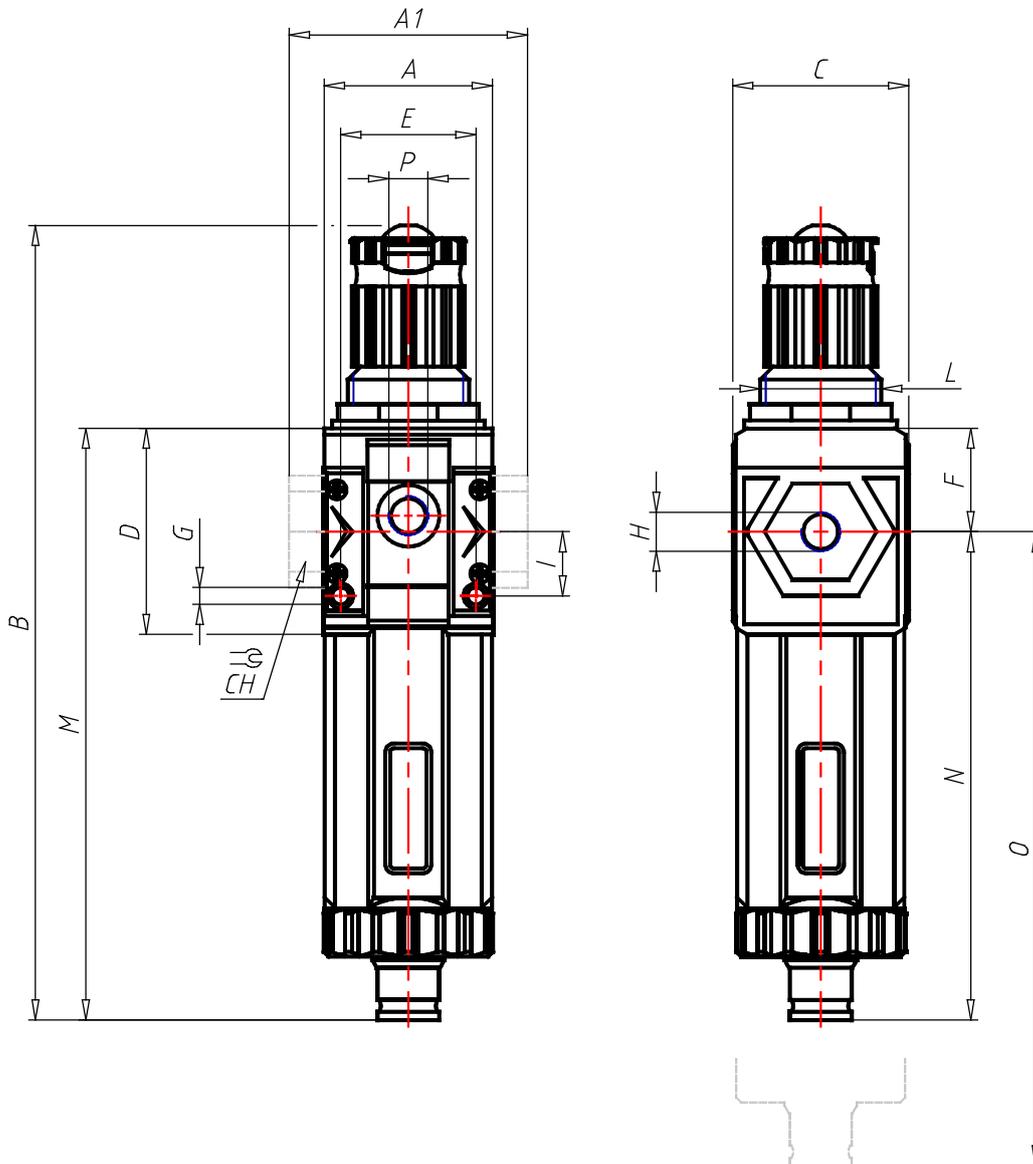
Learn How to Create Your BIM Product Catalog

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing

5X10B130



Technical drawings



3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet ▶

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog ▶

Learn How to Create Your BIM Product Catalog ▶

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing ▶

5X10B130



Technical Data

CODE (Code)	5X10B130
DC (Description)	FR SY1 50 012 RA WITHOUT BUSHINGS
SERIES (Series)	Syntesi
SIZE (Size)	Size 1
IN (Threaded INPUT connection)	Without bushing
EL (Element)	Filter-regulator
FDR (Degree of filtration type of condensate drain and setting range)	5 µm SAC, 0 - 4 bar
OUT (Threaded OUTPUT connection)	Without bushing
A (/ mm)	41,8
A1 ()	-
B (/ mm)	202
C (/ mm)	44
CH ()	-
D (/ mm)	51,5
E (/ mm)	33,5
F (/ mm)	25,8
G (Hole for screw)	M4
I (/ mm)	16
L (Thread)	M30x1,5
M (/ mm)	152
N (/ mm)	126,2
O (/ mm)	206
P (no.2 Additional ports)	1/8"

3D PDF DATASHEET



 eCATALOG solutions



 BIM catalogs.net



 PART solutions



Create Your Individual 3D PDF Datasheet 

Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog 

Learn How to Create Your BIM Product Catalog 

Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing 

5X10B130



Bill of Materials

N°	Description	Amount
1	5X10B130	1