



**Tiago José Vergas  
Morgado**

**Desenvolvimento e projeto mecânico de  
equipamentos para a indústria**





**Tiago José Vergas  
Morgado**

## **Desenvolvimento e projeto mecânico de equipamentos para a indústria**

Relatório de Estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizado sob orientação científica de António Manuel Godinho Completo, Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.



**O júri / The jury**

Presidente / President

**Prof. Doutor Rui António da Silva Moreira**

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

**Prof. Doutor António Manuel Godinho Completo**

Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro (orientador)

**Doutora Ana Sofia dos Santos Conceição**

Técnica Especialista da Renault Cacia, Sa (arguente)



**Agradecimentos /  
Acknowledgements**

Um agradecimento especial à minha família por toda a ajuda e apoio.  
Ao meu orientador, Professor António Completo, pela sua orientação e ajuda.  
Ao Engenheiro Alain Manata e Abílio Borges pelos ensinamentos e apoio  
prestado, bem como a todos os restantes elementos da Atena - Automação  
Industrial.  
A todos os outros que de alguma forma contribuíram para este trajeto.





**Palavras-chave**

Projeto mecânico; Dimensionamento estrutural; Equipamento industrial; Normas e diretivas.

**Resumo**

O presente relatório de estágio foi desenvolvido no âmbito do estágio curricular realizado na empresa Atena - Automação Industrial Lda. Este estágio curricular desenvolveu-se no departamento de projeto mecânico da empresa, sendo os trabalhos aqui apresentados parte integral ou parcial de equipamentos industriais desenvolvidos pela empresa, quer para clientes externos quer para uso interno. Numa fase inicial abordou-se as metodologias aplicadas ao correto planeamento e desenvolvimento de um projeto mecânico aplicado a equipamentos industriais. Na etapa seguinte compilou-se informação relativa às normas regulatórias e de segurança necessárias à obtenção da marcação CE em equipamentos industriais por forma a estes poderem ser comercializados no espaço económico europeu. Abordou-se também o tema relativo à rastreabilidade de componentes para integração em equipamentos industriais assim como as questões de ergonomia do posto de trabalho para estes tipos de equipamentos. Após as tarefas preparatórias descritas anteriormente iniciou-se o desenvolvimento de projetos mecânicos de equipamentos destinados à indústria, todos eles com características distintas por forma a que o estágio abrangesse competências e tarefas distintas. Desenvolveram-se três casos de estudo que se encontram descritos no presente relatório, seguindo a metodologia aplicada na empresa em todos eles, desde uma fase inicial onde se avaliou os requisitos dos clientes, passando depois pela modelação e dimensionamento dos componentes e sistemas, e por fim a realização da documentação técnica associada aos equipamentos. O primeiro caso de estudo consistiu no desenvolvimento de sistemas que integram um equipamento de controlo de qualidade de um componente para a indústria automóvel. No segundo caso de estudo desenvolveu-se uma máquina de gravação de componentes mecânicos a laser. O último caso de estudo consistiu no desenvolvimento do conceito, e de sistemas e componentes de uma máquina de limpeza de chão de fábrica com condução autónoma. A multiplicidade dos trabalhos desenvolvidos revelou-se fundamental para alargar os conhecimentos na área do projeto mecânico e melhor compreender os seus desafios.



**Keywords**

Machine design; Structural design and analysis; Industrial equipment; Machinery directives.

**Abstract**

The present internship report was developed within the curricular internship made in the Atena – Automação Industrial Lda company. This curricular internship was developed in the mechanical project department of the company, being the works here presented integral or partial part of industrial equipment's developed by the company, for external clients or for internal usage. At an initial stage it was approached the practices applied in the correct planning and development of a mechanical project applied to industrial equipment's. In the following stage the information referring to the regulatory and security norms necessary to get the CE mark was compiled, in order that the industrial equipment's could be commercialized in the European economic region. It was also approached thematises as the traceability of the components that integrate the industrial equipment's and the equipment's workstation ergonomic aspects as well. After the preparatory tasks described before it was started the development of mechanical projects of equipment's intended to the industry, all of them with different characteristics with the intention of approaching a wide range of skills and tasks during the internship. Three case studies were developed and are described in the present report. The working methodology of the company was followed in all the three cases, since an early stage were the customer needs were evaluated, followed by the design and dimensioning of the parts and systems, and the execution of the technical documentation related to the equipment's. The first case study consists of developing systems that integrate a quality control machine for the automotive industry. In the second case study was developed a laser marking machine for application in mechanical parts. In the last case study was developed the concept and functional systems of an industrial floor cleaning machine, with autonomous drive. The variety of the works developed has proven to be crucial to extend the knowledge in the mechanical project field and to improve the understanding of its challenges.



# Índice

<b>1</b>	<b>Enquadramento</b>	<b>1</b>
1.1	Introdução . . . . .	1
1.2	Objetivos . . . . .	1
1.3	Organização . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Projeto de equipamentos industriais</b>	<b>3</b>
2.1	Introdução . . . . .	3
2.2	Princípios gerais e organização do projeto . . . . .	4
2.3	Identificação dos requisitos dos clientes . . . . .	7
2.4	Estabelecer as especificações técnicas objetivo . . . . .	10
2.5	Princípios do desenho para fabrico e montagem de componentes mecânicos	14
2.6	Aspetos diferenciadores . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Diretiva máquinas, ergonomia e marcação CE em equipamentos industriais</b>	<b>21</b>
3.1	Diretiva máquinas . . . . .	21
3.1.1	Normas de segurança . . . . .	22
3.1.2	Análise de riscos . . . . .	23
3.1.2.1	Avaliação de riscos . . . . .	23
3.1.2.2	Processo de minimização de riscos . . . . .	25
3.1.2.2.1	Implementação de medidas no projeto para a redução de riscos . . . . .	25
3.1.2.2.2	Implementação de sistemas de segurança . . . . .	27
3.1.2.2.3	Informações ao usuário . . . . .	36
3.2	Requisitos de ergonomia e postura no posto de trabalho . . . . .	36
3.3	Marcação CE . . . . .	38
<b>4</b>	<b>Casos de estudo</b>	<b>41</b>
4.1	Introdução . . . . .	41
4.2	Caso de estudo 1 - Máquina de controlo de qualidade . . . . .	41
4.2.1	Introdução . . . . .	41
4.2.2	Projeto mecânico . . . . .	43
4.2.3	Documentação técnica . . . . .	56
4.3	Caso de estudo 2 - Máquina de marcação a laser . . . . .	58
4.3.1	Introdução . . . . .	58
4.3.2	Projeto mecânico . . . . .	59
4.3.3	Projeto de automação . . . . .	67

4.3.4	Documentação técnica . . . . .	67
4.4	Caso de estudo 3 - Máquina de limpeza autónoma . . . . .	68
4.4.1	Introdução . . . . .	68
4.4.2	Projeto mecânico . . . . .	69
4.4.3	Documentação técnica . . . . .	81
<b>5</b>	<b>Conclusões e trabalhos futuros</b>	<b>83</b>
5.1	Conclusões . . . . .	83
5.2	Trabalhos futuros . . . . .	84
<b>Anexos</b>		<b>89</b>
<b>Anexo A</b>	<b>Documentação técnica - Caso de estudo 1</b>	<b>91</b>
<b>Anexo B</b>	<b>Documentação técnica - Caso de estudo 2</b>	<b>107</b>
<b>Anexo C</b>	<b>Documentação técnica - Caso de estudo 3</b>	<b>127</b>

# Lista de Tabelas

2.1	Visão geral das tarefas a desenvolver pelas áreas da empresa ao longo do desenvolvimento do projeto. Adaptado de [1]. . . . .	6
2.2	Matriz de sequência para o projeto de um redutor. Retirado de [1]. . . . .	7
2.3	Elementos do contrato de projeto industrial. Retirado de [1]. . . . .	8
2.4	Matriz de conversão para o projeto exemplo de uma bomba de óleo. Retirado de [1]. . . . .	9
2.5	Diagrama de <i>Mudge</i> para uma bomba de óleo automível. Retirado de [1].	10
2.6	Conversão dos requisitos em especificações técnicas. Retirado de [1]. . . . .	11
2.7	Valores marginais e ideais para as especificações de uma bomba de óleo automível. Retirado de [1]. . . . .	13
2.8	Interpretação da matriz de QFD. Retirado de [1]. . . . .	13
2.9	Estimação de custos de produção. Retirado de [1]. . . . .	15
3.1	Categorização de sistemas de comando associados à segurança. Adaptado de [4]. . . . .	34
4.1	Valores dos parâmetros necessários para o dimensionamento da ligação aparafusada do suporte do atuador do posto de desbloqueio. . . . .	46
4.2	Valores dos parâmetros e resultados do dimensionamento, e respetiva seleção do atuador do posto de desbloqueio. [10] . . . . .	52
4.3	Valores dos parâmetros e resultados do dimensionamento, e respetiva seleção do atuador do posto de controlo. [11] . . . . .	54
4.4	Valores dos parâmetros e resultados do dimensionamento, e respetiva seleção do atuador do posto de gravação. [12] . . . . .	54
4.5	Valores dos parâmetros e resultados do dimensionamento, e respetiva seleção do atuador do posto de estanqueidade. [11] [14] [15] . . . . .	56
4.6	Matriz de conversão das necessidades em requisitos dos clientes. . . . .	59
4.7	Diagrama de <i>Mudge</i> para o projeto da máquina de marcação a laser. . . . .	59
4.8	Parâmetros e resultados do dimensionamento dos motores das escovas. . . . .	75
4.9	Parâmetros e resultados da força necessária à movimentação da máquina. [1] . . . . .	79
4.10	Resultados do dimensionamento do sistema de locomoção. . . . .	79





# Lista de Figuras

2.1	Atividades básicas de um projeto. . . . .	4
2.2	Etapas do desenvolvimento do conceito do produto. . . . .	6
2.3	Diagrama de <i>Gantt</i> para o projeto de um redutor. Adaptado de [1]. . . . .	8
2.4	Processo de tradução das necessidades dos clientes em parâmetros concretos do projeto, através do método de <i>Kano</i> . . . . .	10
2.5	Atribuição de critérios mensuráveis aos requisitos dos clientes. . . . .	11
2.6	Matriz QFD. . . . .	12
2.7	Processo de desenho para fabrico. Retirado de [1]. . . . .	14
2.8	Evolução dos custos de produção, em função do volume de componentes e do processo de fabrico. Adaptado de [1]. . . . .	16
2.9	Redesenho dos componentes para agilizar a montagem. Adaptado de [1]. . . . .	17
2.10	Exemplos de tipos de codificação utilizadas em rastreabilidade. . . . .	18
3.1	Produtos abrangidos pela diretiva 2006/42/CE. . . . .	22
3.2	Processo de apreciação de riscos. Adaptado de [4]. . . . .	24
3.3	Medidas mecânicas para evitar cisalhamentos e aprisionamentos, respetivamente. Adaptado de [4]. . . . .	25
3.4	Código de cores e respetivos componentes de comando e sinalização. Adaptado de [4]. . . . .	27
3.5	Processo de aplicação de medidas de proteção técnicas. Adaptado de [4]. . . . .	28
3.6	Gráfico de riscos para calcular o nível de desempenho requerido (ISO 13849-1). Adaptado de [4]. . . . .	29
3.7	Equipamentos de proteção. Adaptado de [4]. . . . .	31
3.8	Exemplos de montagem incorreta de equipamentos de proteção eletrossensitivos. Retirado de [4]. . . . .	31
3.9	Dimensionamento de um equipamento de proteção eletrossensitivos. Retirado de [4]. . . . .	32
3.10	Cálculo simplificado do nível de desempenho. Adaptado de [4]. . . . .	33
3.11	Cálculo do nível de desempenho através da probabilidade de falha por hora. Adaptado de [4]. . . . .	33
3.12	Cálculo do nível de desempenho através do processo detalhado. Retirado de [4]. . . . .	35
3.13	Postura no posto de trabalho. Adaptado de [7]. . . . .	37
3.14	Movimentos no posto de trabalho. Adaptado de [7]. . . . .	38
3.15	Processo de marcação CE. . . . .	39
3.16	Marca de conformidade CE. [2]. . . . .	39

4.1	Componente a ser controlado pela máquina. . . . .	41
4.2	Furos a realizar o controlo dimensional ou de obstrução. . . . .	42
4.3	Localização da marcação Datamatrix. . . . .	42
4.4	Zonas de tamponamento para o controlo de estanqueidade. . . . .	43
4.5	Garras de aperto da peça. . . . .	44
4.6	Posto de carga e descarga da peça. . . . .	45
4.7	Diagrama de forças nas ligações aparafusadas do posto de desbloqueio. . .	47
4.8	Modo de regulação de caudal nos atuadores. . . . .	50
4.9	Modo de regulação de caudal, com prevenção de queda nos atuadores. Adaptado de [9]. . . . .	51
4.10	Diagramas de forças nos atuadores. . . . .	53
4.11	Válvula de eliminação de pressão residual e bloqueio de posição mecânico. Retirado de [13]. . . . .	55
4.12	Exemplo de cotagem de furos para facilitar o fabrico. . . . .	57
4.13	Cotagem de acordo com os ciclos fixos do centro de maquinagem. Adap- tado de [16]. . . . .	58
4.14	Equipamento de marcação original. Retirado de [17]. . . . .	58
4.15	Matriz QFD. . . . .	60
4.16	Resultados da matriz de qualidade (QFD). . . . .	61
4.17	Módulo portátil montado por defeito na máquina. . . . .	61
4.18	Módulo preparado para gravar peças de forma portátil. . . . .	62
4.19	Componentes de ligação às chapas adicionais e à estrutura da máquina. . .	63
4.20	Mecanismos de aperto da peça. . . . .	63
4.21	Módulo preparado para gravar peças de forma portátil. . . . .	65
4.22	Medidas a adotar em diferentes tipos de postos de trabalho. . . . .	66
4.23	Mecanismos de ajuste da posição do ecrã, teclado e rato. . . . .	67
4.24	Equipamentos de segurança utilizados. . . . .	68
4.25	Esboço da organização dos sistemas na máquina, em vista lateral. . . . .	69
4.26	Conceito da geometria e construção do chassi. . . . .	70
4.27	Implementação dos <i>scanners</i> na máquina. . . . .	70
4.28	Sistema de limpeza dianteiro. . . . .	71
4.29	Condições e resultados das simulações numéricas efetuadas ao componente de ligação entre o sistema de limpeza dianteiro e o respetivo atuador. . . .	72
4.30	Evolução do suporte superior do atuador dianteiro. . . . .	73
4.31	Condições e resultados das simulações numéricas efetuadas ao componente de ligação entre o atuador dianteiro e o chassi. . . . .	73
4.32	Distribuição da força ao longo da escova de limpeza dianteira e posição da força equivalente. . . . .	74
4.33	Primeiro modo de vibração do componente de ligação entre o atuador dianteiro e o chassi. . . . .	75
4.34	Sistema de limpeza traseiro. . . . .	76
4.35	Condições e resultados das simulações numéricas efetuadas ao componente de ligação entre o atuador traseiro e o respetivo sistema de limpeza. . . .	76
4.36	Condições e resultados das simulações numéricas efetuadas ao componente de ligação entre o atuador traseiro e o chassi. . . . .	77
4.37	Diagrama de forças a considerar no dimensionamento do sistema de loco- moção. . . . .	78

4.38	Esquema funcional do sistema de filtração. . . . .	80
4.39	Reservatório de água suja. . . . .	81
4.40	Aspeto geral da máquina. . . . .	81





# Capítulo 1

## Enquadramento

### 1.1 Introdução

O presente estágio curricular foi concretizado com o intuito de obter o grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Universidade de Aveiro. Para o efeito desenvolveram-se atividades de projeto no departamento de projeto mecânico da empresa Atena-Automação Industrial, Lda. Esta empresa tem por base a conceção de equipamentos para diversos ramos da indústria, desde máquinas individuais até linhas de montagem completas. Neste relatório são descritos os trabalhos realizados durante o estágio curricular, bem como os principais trabalhos de pesquisa para a concretização do mesmo.

### 1.2 Objetivos

Realizou-se este trabalho com o intuito de aprofundar os conhecimentos na área do projeto mecânico, com ênfase na área industrial, tendo-se também em simultâneo o objetivo de adquirir mais conhecimento sobre a interligação entre a componente do projeto de automação e mecânico. Por forma a ir ao encontro desses objetivos foram realizados trabalhos para diversas áreas da indústria e foram abordados diversos aspetos do projeto mecânico, sendo estes sempre realizados com um contacto próximo com o departamento de projeto elétrico e de automação.

### 1.3 Organização

O documento está organizado em cinco capítulos distintos, sendo o presente capítulo o primeiro, onde se faz uma abordagem geral ao relatório de estágio. De seguida, no capítulo 2 são abordados os aspetos relativos ao desenvolvimento de projetos mecânicos, desde a comunicação e interpretação das necessidades dos clientes, a boas práticas para organizar o trabalho e questões relacionadas com o desenho, produção, montagem e manutenção de equipamentos. Por sua vez no capítulo 3 foram abordadas as diretivas e normas que os equipamentos industriais devem respeitar, sendo alguns dos procedimentos mais relevantes também abordados, nomeadamente o processo de avaliação e minimização dos riscos associados ao funcionamento da máquina. Neste capítulo foi também dada atenção às questões da ergonomia e antropometria, uma vez que a interface homem-máquina é bastante frequente em equipamentos industriais e representa um

dos maiores potenciais para acidentes. Para terminar este capítulo, foram analisados os procedimentos para obter a certificação CE. No capítulo 4 foram descritos os trabalhos que foram efetuados. De maneira a clarificar a exposição do texto organizou-se a informação sobre a forma de três casos de estudos. O primeiro caso de estudo consistiu no desenvolvimento de sistemas que integravam uma máquina de controlo de qualidade de um componente da indústria automóvel. O segundo caso de estudo aborda o desenvolvimento de uma máquina de gravação de peças com uma marcação a laser. O último caso de estudo consistiu no desenvolvimento do conceito, e de sistemas e componentes de uma máquina de limpeza de chão de fábrica com condução autónoma. Por fim, no capítulo 5 encontram-se as conclusões que se retiraram do trabalho desenvolvido, bem como os trabalhos a desenvolver no futuro para melhorar o mesmo. No final de todos os capítulos estão os anexos, que estão divididos em três partes distintas. Cada uma dessas partes contém a documentação técnica respetiva a cada caso de estudo.

## Capítulo 2

# Projeto de equipamentos industriais

### 2.1 Introdução

Um projeto consiste num conjunto de atividades desde um ponto inicial até a um estado final, seguindo metas previamente estabelecidas e utilizando um conjunto de recursos sempre limitado. [1]

No projeto de produtos/equipamentos o objetivo é um produto definível, que é regra geral especificado em termos de custo, qualidade e prazo. [1]

Cada projeto é singular, mesmo que derive de outro semelhante, e acarreta sempre um fator de incerteza e risco diretamente ligado à complexidade do produto, uma vez que estes são planeados antes de serem executados. [1]

Outro fator que está sempre presente no desenvolvimento de um projeto é o aparecimento de dificuldades que obrigam a alterar o que estava inicialmente planeado, pelo que se revela fundamental uma estrutura organizacional competente e capaz de prever essas mesmas dificuldades, possibilitando a sua solução sem comprometer os objetivos iniciais do projeto. [1]

Para além dos lucros ou do estabelecimento de negócios com outras empresas, há que ter em conta também as competências a nível de conhecimento, tecnologias, processos de fabrico, entre outros, que são adquiridas quer pelos trabalhadores quer pela empresa durante o projeto, aquando da decisão da sua realização.

Existem diferentes tipos de projeto:

#### Projetos radicais:

São projetos que incluem significativas modificações em relação aos produtos e conceitos já existentes, podendo originar uma nova categoria de produtos, com recurso a novas tecnologias e materiais.

#### Projetos de próxima geração:

Consistem em projetos que representam um novo sistema de soluções para os clientes, mas que a nível de tecnologia e materiais não apresentam nenhuma novidade.

#### Projetos derivados:

São projetos que dão origem a produtos que são derivados, híbridos ou com pequenas modificações relativamente a produtos já existentes. Surgem regra geral devido a motivos



de redução de custo, ligeiras alterações funcionais ou implementação de melhorias.

No projeto de produtos com carácter industrial os seguintes aspetos têm uma relevância ainda mais significativa, devido à complexidade, tamanho e dependência do produto em questão para o funcionamento de outros equipamentos:

- **Interface homem-máquina:** As interfaces humanas do produto devem ser seguras, intuitivas e fáceis de manejar;
- **Manutenção:** Os produtos devem ser projetados para que a sua manutenção seja simples e pouco demorada. Devem também fazer-se acompanhar do plano de manutenção;
- **Custo:** Devido à quantidade de peças e ao seu tamanho, é necessário que os produtos e processos produtivos sejam projetados de forma mais otimizada, evitando assim custos exorbitantes.

Tendo em conta as informações expostas, apresentam-se nas secções seguintes os princípios e os aspetos a ter em conta para a realização de um correto projeto a nível mecânico e industrial.

## 2.2 Princípios gerais e organização do projeto

As atividades básicas de um projeto seguem o ciclo iterativo ilustrado na Figura 2.1.

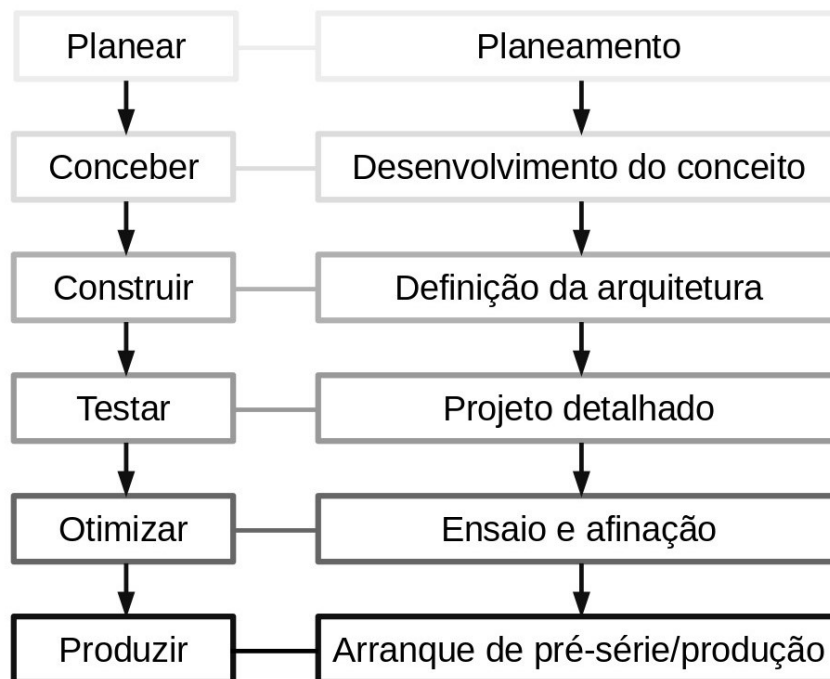


Figura 2.1: Atividades básicas de um projeto.

Durante este processo iterativo é frequente ocorrer várias alterações até que se encontre um bom compromisso entre os objetivos funcionais e o custo. Contudo, a maior parte das decisões associadas às funcionalidades, processos de fabrico e de validação, e

tecnologias empregues são tomadas no início do processo (planeamento), onde o grau de incerteza é maior, e correspondem a cerca de 85% do custo final do produto. Deste modo, os pontos expostos de seguida são de uma importância extrema, visto que a qualidade da informação é a principal ferramenta para minimizar essas incertezas, evitando que no decorrer do projeto se comprometam os compromissos assumidos inicialmente, quer a nível de custo, prazos ou funcionalidades do produto.

Assim sendo, é necessário manipular e gerir informação com o intuito de:

- Identificar o estado atual e antecipar as ações da concorrência;
- Cumprir com as políticas regulatórias e normativas associadas ao tipo de produto em questão;
- Identificar possíveis conflitos com questões relacionadas com patentes;
- Identificar os requisitos técnicos que o produto deve assegurar em termos funcionais, legais e de homologação;
- Analisar as restrições em termos de tecnologia para o desenvolvimento, processos produtivos e capacidade dos fornecedores;
- Respeitar todos os requisitos, considerando todos os ciclos de vida do produto e os diferentes tipos de clientes que o produto pode ter ao longo da sua vida;
- Identificar as competências técnicas e humanas necessárias para concretizar o produto.

Outro fator de extrema relevância para levar o projeto a bom porto é a correta comunicação, colaboração e partilha de ideias entre as diferentes áreas da empresa, uma vez que cada uma delas tem perspetivas e competências diferentes sobre o produto e tudo o que o envolve.

De um grosso modo, as áreas da empresa envolvidas no projeto de um produto, bem como as suas funções ao longo do mesmo são apresentadas na Tabela 2.1.

O projeto de produtos de sistemas ou órgãos mecânicos, de uma forma genérica, desenvolve-se nos seis passos ilustrados anteriormente na Figura 2.1, que na teoria se executam de forma sequencial. No entanto, no decorrer de um projeto o mais comum é que diversas dessas atividades se desenvolvam ao mesmo tempo, o que se designa por engenharia simultânea.

A atividade de desenvolvimento do conceito é exceção à regra uma vez que reúne por si só diversas subatividades de uma importância extrema para a definição final do produto, pelo que não se avança para as fases seguintes sem que esta esteja finalizada.

Devido à sua relevância, os passos do desenvolvimento do conceito encontram-se descritos de seguida e ilustrados na Figura 2.2, sendo os mais relevantes abordados também nos subcapítulos seguintes. Tal como está representado na Figura 2.2 estas etapas desenvolvem-se par-a-par com a produção e testes de protótipos, bem como de análises económicas e da concorrência.

**Identificar as necessidades dos clientes:** Fazer um levantamento das necessidades dos clientes.

**Estabelecer as especificações objetivo:** Identificar as funções que o produto deve assegurar para satisfazer as necessidades dos clientes.

**Gerar conceitos para o produto:** Explorar e idealizar vários conceitos que satisfazem as suas funções e os clientes.

**Selecionar os conceitos do produto:** Fazer uma seleção dos conceitos mais promissores, descartando os restantes.

**Testar os conceitos selecionados:** Fazer testes de modo a verificar se os conceitos cumprem os requisitos dos clientes.

**Definir especificações finais:** Definir parâmetros mensuráveis (métricos) que estabeleçam um compromisso entre as limitações do conceito e a performance esperada pelo cliente.

Tabela 2.1: Visão geral das tarefas a desenvolver pelas áreas da empresa ao longo do desenvolvimento do projeto. Adaptado de [1].

Planeamento	Desenvolvimento do conceito	Definição da arquitetura	Projeto detalhado	Ensaio e melhoramentos	Arranque de pré-série
<i>Marketing</i>					
- Articular oportunidades do mercado - Definir segmento do mercado	- Identificar o perfil de utilizadores - Identificar a concorrência - Recolher necessidades dos clientes	- Desenvolver um plano para as opções de produto e família de produtos	- Desenvolver o plano de <i>marketing</i>	- Desenvolver a promoção e o lançamento	- Colocar a pré-série em clientes chave
<i>Engenharia</i>					
- Plataforma do produto - Novas tecnologias	- Estudar a viabilidade do conceito - Desenvolver o <i>design</i> industrial do conceito - Construir e testar protótipos	- Gerar arquiteturas alternativas para o produto - Definir os sistemas mais significativos e as suas interfaces - Refinar o <i>design</i> industrial	- Definir o modelo geométrico - Escolher os materiais - Definir tolerâncias e acabamentos - Elaborar a documentação de controlo	- Testar a resistência, fiabilidade e performance - Obter certificados regulamentares	- Avaliar a pré-série
<i>Produção</i>					
- Identificar limitações - Estabelecer uma cadeia de produção	- Estimar o custo de produção - Avaliar a executabilidade da produção	- Identificar os fornecedores principais - Fazer estudos de fabrico <i>vs</i> compra - Definir o sistema de montagem final	- Definir os processos de fabrico - Desenhar ferramentas - Definir subcontratação, se necessário - Definir processo de garantia de qualidade	- Estabelecer o contacto com os fornecedores - Aprumar os processos de fabrico e montagem	- Iniciar a produção
<i>Outros</i>					
- Demonstração de executabilidade - Garantir financiamento - Alocar recursos	- Análise financeira - Investigar possíveis ilegalidades ou oportunidades relacionadas com patentes	- Análise financeira de fabrico <i>vs</i> compra		- Formar os operadores - Detalhar o processo de garantia de qualidade	

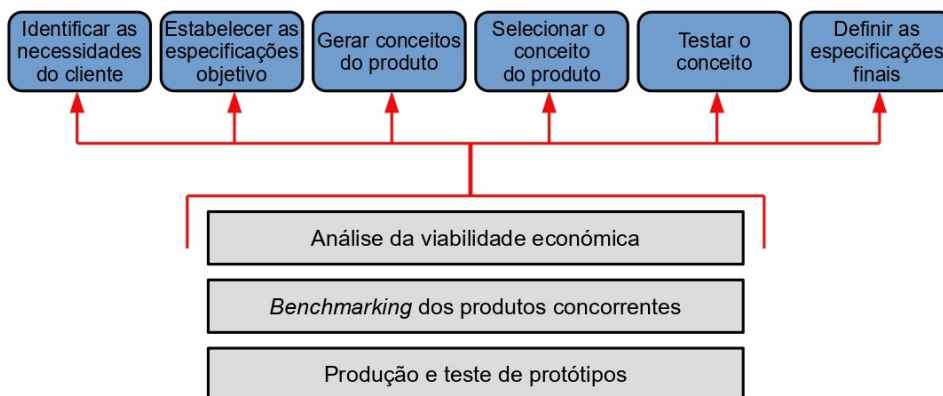


Figura 2.2: Etapas do desenvolvimento do conceito do produto.

Após se ter definido o conceito para o produto o caminho a seguir é mais claro. Por forma a organizar e coordenar o trabalho entre as diversas equipas e departamentos deve ser feita uma listagem das tarefas a desempenhar, identificando também a dependência das tarefas em relação a outras.

Como auxílio, regra geral recorre-se a uma matriz de sequência, como se encontra na Tabela 2.2 a título de exemplo para o projeto de um redutor. Nesta matriz é atribuída uma linha e uma coluna correspondente a cada tarefa, sendo a dependência da tarefa (na linha) em relação às restantes (nas colunas) assinalada com um "x", por exemplo.

Tabela 2.2: Matriz de sequência para o projeto de um redutor. Retirado de [1].

Tarefa		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Iniciar a produção do redutor	0								x		x		x	
Desenhar o redutor	1				x			x						
Produção do redutor	2		x											
Definição das especificações técnicas	3													
Comprar os equipamentos para a montagem	4						x					x	x	
Estabelecimento do programa de ensaios	5		x		x			x						
Geração e seleção do conceito	6				x									
Fabricar os moldes do cárter	7													x
Ensaaiar o redutor	8		x	x			x							
Certificar o redutor	9						x		x					
Conceber o sistema de produção do redutor	10		x		x			x		x			x	x
Conceber as ferramentas para a montagem	11											x		x
Desenhar os moldes para o cárter	12				x			x		x		x	x	

Após se ter definido as tarefas a desempenhar as equipas devem fazer uma estimativa do esforço necessário para executar cada tarefa, valor que regra geral se expressa em pessoas/tempo. Combinando a sequência das tarefas a desempenhar que resulta da matriz de sequência com a duração atribuída a cada tarefa obtém-se a sequência de tarefas, que combinadas requerem o mínimo tempo possível para o desenvolvimento do projeto, denominada de caminho crítico do projeto.

Para produtos de cariz mecânico o planeamento das tarefas é feito com base no diagrama de *Gantt*, a partir do qual se pode acompanhar o estado do projeto ao longo do tempo, comparando o estado atual do projeto (a verde) com o percurso ótimo (a vermelho), como se representa na Figura 2.3, para o mesmo projeto exemplo utilizado na matriz de sequência.

Para além de organizarem e planearem os trabalhos, a informação do planeamento é compilada com os resultados da fase de desenvolvimento do conceito num documento denominado de contracto de projeto industrial. Este documento é utilizado nas empresas para formalizar um acordo entre a equipa de projeto, representada pelo chefe de projeto, e a direção da empresa em termos de objetivos do projeto e recursos envolvidos nos mesmos.

Os elementos que tipicamente constituem este documento estão indicados na Tabela 2.3.

## 2.3 Identificação dos requisitos dos clientes

A qualidade em termos de negócio está associada à satisfação das necessidades dos clientes/consumidores. Assim sendo, o primeiro passo para definir o conceito do produto

é escutar a voz do cliente (VOC - *Voice Of the Costumer*). Esta tarefa à primeira vista parece simples, contudo a realidade é que as informações transmitidas pelos clientes raramente são algo explícito ou concreto, pelo que é necessário traduzir as necessidades dos clientes em requisitos do cliente. Para além disso devem ser seleccionadas as necessidades fulcrais, e eliminadas as redundantes.

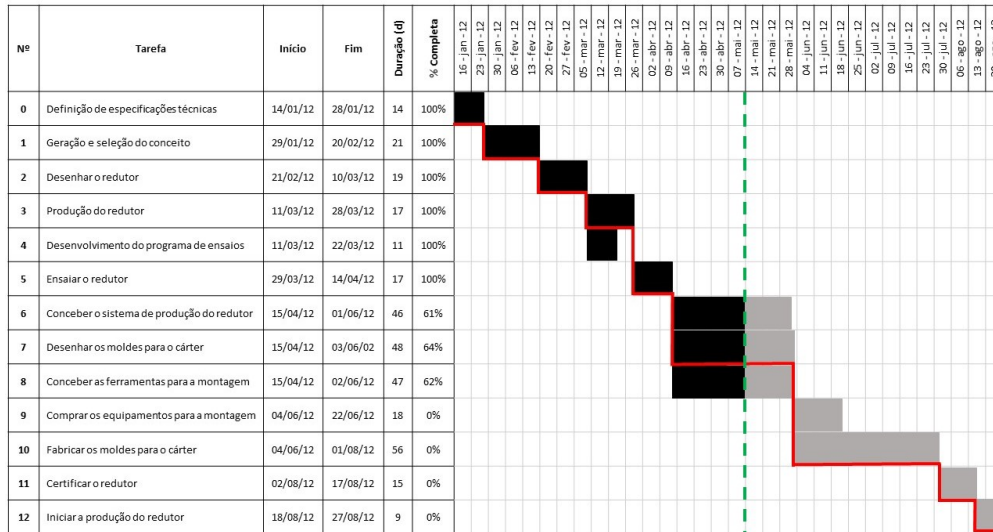


Figura 2.3: Diagrama de *Gantt* para o projeto de um redutor. Adaptado de [1].

Tabela 2.3: Elementos do contrato de projeto industrial. Retirado de [1].

Item	Número aproximado de páginas
Missão	1
Lista de necessidades dos clientes	2
Análise competitiva	2
Especificações técnicas do produto	3
Modelos-Desenhos de conceito do produto	3
Relatório dos testes de conceito	3
Estimativa de vendas	5
Análise económica	2
Plano do projeto	3
Lista de tarefas	2
Organigrama da equipa de projeto	1
Planificação (Diagrama de <i>Gantt</i> )	1
Orçamento	1
Riscos do projeto	1
Indicadores de medida da performance do projeto	1

Para esta conversão é útil utilizar uma matriz de conversão, como se encontra na Tabela 2.4 para o projeto exemplo de uma bomba de óleo para um automóvel, onde as

duas últimas colunas se destinam à priorização e hierarquização, que serão descritas de seguida.

O caso dos projetos de máquinas e equipamentos em geral passa um pouco ao lado destas tarefas uma vez que os clientes por norma especificam os requisitos tecnicamente.

Tabela 2.4: Matriz de conversão para o projeto exemplo de uma bomba de óleo. Retirado de [1].

Nº	Expressão da necessidade original	Contexto	Requisito cliente	Hierarquização	
				Mudge	Kano
A	Ser económico	Eficiência	Redução de consumo de combustível		
B	Poluir pouco	Ambiente	Redução da emissão de CO <sub>2</sub>		
C	Motor mais leve	Eficiência	Baixo peso		
D	Apenas enviar o óleo necessário à lubrificação do motor a cada instante	Eficiência	Adaptar o caudal às necessidades do motor		
E	Fazer pouco barulho	Conforto	Reduzida vibração		
F	Manter a correta pressão de óleo	Segurança	Controlo da pressão de segurança		
G	Não gripar o motor	Fiabilidade	Não avariar		
H	Ser fácil de substituir	Conforto	Procedimento de montagem breve		
I	Baixar os custos de manutenção	Custo	Baixo custo de manutenção		
J	Ser económico em caso de substituição	Custo	Preço reduzido		

Dos diversos requisitos estipulados para o produto, uns são naturalmente mais relevantes que outros. Para fazer a distinção entre eles recorre-se ao método de *Kano* para agrupar os requisitos em três grupos, consoante a prioridade que deve ser dada a cada um para alcançar a maior qualidade do produto possível.

O diagrama de *Kano* distingue os requisitos em óbvios-obrigatórios (O), esperados-linear (L) e atrativos-estimulantes (E). Os requisitos óbvios-obrigatórios (O) são obrigatórios no produto, e o cliente não se manifesta acerca dos mesmos porque assume que a sua presença no produto está implícita. A sua ausência causa insatisfação no cliente, mas um desempenho superior deste requisito não aumenta a satisfação do cliente. Os requisitos esperados-linear (L) são os requisitos que os clientes manifestam, logo quanto maior for a performance desse requisito maior será a satisfação do cliente. Por fim os requisitos atrativos-estimulantes (E) são requisitos que não são pedidos pelos clientes, mas que de facto acrescentam valor ao produto e cuja presença surpreende pela positiva o cliente, pelo que um bom desempenho destes requisitos aumenta bastante a satisfação dos clientes.

O diagrama de *Kano* para o projeto exemplo está representado na Figura 2.4.

Por sua vez o diagrama de *Mudge* faz uma comparação aos pares de cada requisito com os restantes, estabelecendo uma hierarquia dentro dos grupos. A hierarquia é feita consoante uma pontuação que resulta da resposta às seguintes perguntas:

- Qual requisito é mais importante para o sucesso do produto;
- Quanto mais importante é este requisito.

Na Tabela 2.5 encontra-se um exemplo do diagrama de *Mudge* para o projeto de uma bomba de óleo.

Para rematar esta fase do projeto os requisitos devem ser convertidos em critérios mensuráveis, como se representa na Figura 2.5, para alguns dos requisitos do projeto exemplo.

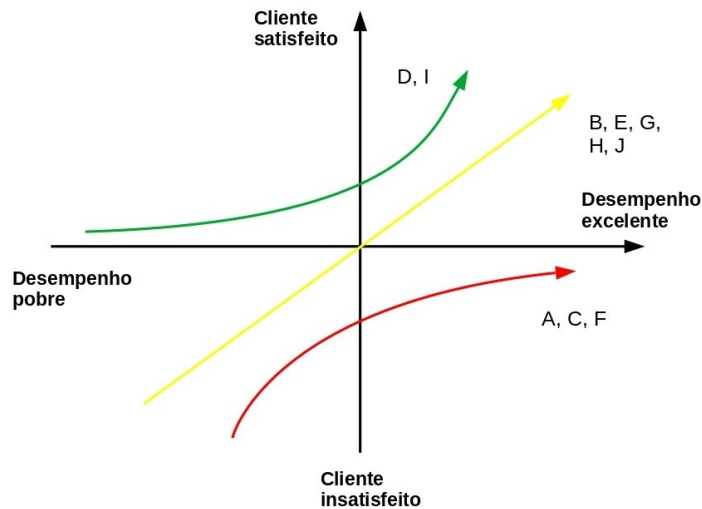


Figura 2.4: Processo de tradução das necessidades dos clientes em parâmetros concretos do projeto, através do método de *Kano*.

Tabela 2.5: Diagrama de *Mudge* para uma bomba de óleo automóvel. Retirado de [1].

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Total	%	Importância (1-5)
A	A 2	A 0	A 1	A 2	A 3	A 2	A 3	A 3	A 3	19	19	5
	B	C 1	D 1	E 2	B 3	B 2	B 3	B 3	B 3	14	14	3
		C	D 1	E 2	B 3	B 2	B 3	B 3	B 3	13	13	3
			D	D 0	D 3	D 1	D 3	D 3	D 3	15	15	4
				E	E 3	E 1	E 3	E 3	E 3	17	17	5
					F	G 3	H 2	F 1	F 2	3	3	1
						G	G 2	G 2	G 3	10	10	2
							H	H 2	H 1	7	7	2
								I	I 2	2	2	1
									J	0	0	1
0 - Igualmente												
1 - Ligeiramente superior												
2 - Medianamente superior												
3 - Muito mais importante												

## 2.4 Estabelecer as especificações técnicas objetivo

Após se ter identificado os requisitos dos clientes, é agora necessário estabelecer as especificações técnicas que devem constar no produto para responder a esses requisitos.

Para realizar uma análise global da qualidade do produto, tendo ao mesmo tempo em

conta os Requisitos dos Clientes, as Especificações Técnicas, o *Benchmarking*, a Dificuldade para alcançar as metas das especificações técnicas e tomar uma decisão final sobre os valores dessas metas, é necessário utilizar uma ferramenta que permita aglutinar toda a informação e relacioná-la, para que a equipa de projeto possa tomar as corretas decisões com uma base científica e técnica estruturada, identificando as principais limitações e oportunidades de melhoria do produto a desenvolver. [1]

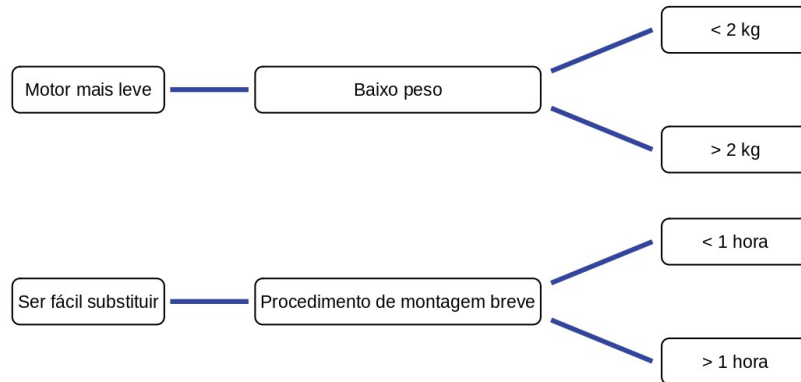


Figura 2.5: Atribuição de critérios mensuráveis aos requisitos dos clientes.

Regra geral, recorre-se à matriz QFD para realizar esta análise, uma vez que é uma ferramenta de engenharia que permite um tratamento simultâneo e estruturado de toda a informação relacionada com o projeto. Esta matriz contempla diversos parâmetros e desenvolve-se em várias fases, como se mostra na Figura 2.6, e permite diminuir o número de alterações no decorrer do projeto.

O preenchimento de todos os parâmetros da matriz exige algumas tarefas adicionais. A primeira delas consiste em atribuir as especificações técnicas ao produto, bem como as suas respetivas unidades. Esta tarefa para o projeto exemplo encontra-se na Tabela 2.6.

Tabela 2.6: Conversão dos requisitos em especificações técnicas. Retirado de [1].

	Requisito do cliente	Elementos	Especificação técnica	Unidades
<b>A</b>	Redução do consumo de combustível	Eficiência	Potência de acionamento da bomba	W
<b>B</b>	Redução da emissão de CO <sub>2</sub>	Ambiente/Normas	Nível de emissão de CO <sub>2</sub>	g/Km
<b>C</b>	Baixo peso	Peso	Massa	g
<b>D</b>	Adaptar o caudal às necessidades do motor	Eficiência	Intervalo de caudal variável	L/min
<b>E</b>	Ruído reduzido	Conforto	Frequência de vibração	Hz
<b>F</b>	Controlo de pressão	Segurança	Intervalo de pressão de funcionamento	Bar
<b>G</b>	Não avariar	Vida em serviço	Desgaste após 300h de ensaio	g
<b>H</b>	Procedimento de montagem breve	Tamanho	Tempo para montagem	s
<b>I</b>	Baixo custo de manutenção	Manutenção	Nº de Km entre mudanças de óleo	Km
<b>J</b>	Preço reduzido	Preço	Preço	Euros

De seguida é necessário estabelecer as metas para o valor de cada uma das especificações. Para chegar a esses valores o mais comum é fazer uma análise dos produtos da concorrência. Há que ter em conta que os valores ambicionados estão sempre condicionados pelas restrições de contrato, legislação, etc. e também pelo facto de existirem especificações técnicas que se relacionam entre si de forma contrária, ou seja, para melhorar um aspeto outro fica prejudicado, pelo que os projetistas devem estabelecer valores



objetivo que resultem no melhor combinado possível.

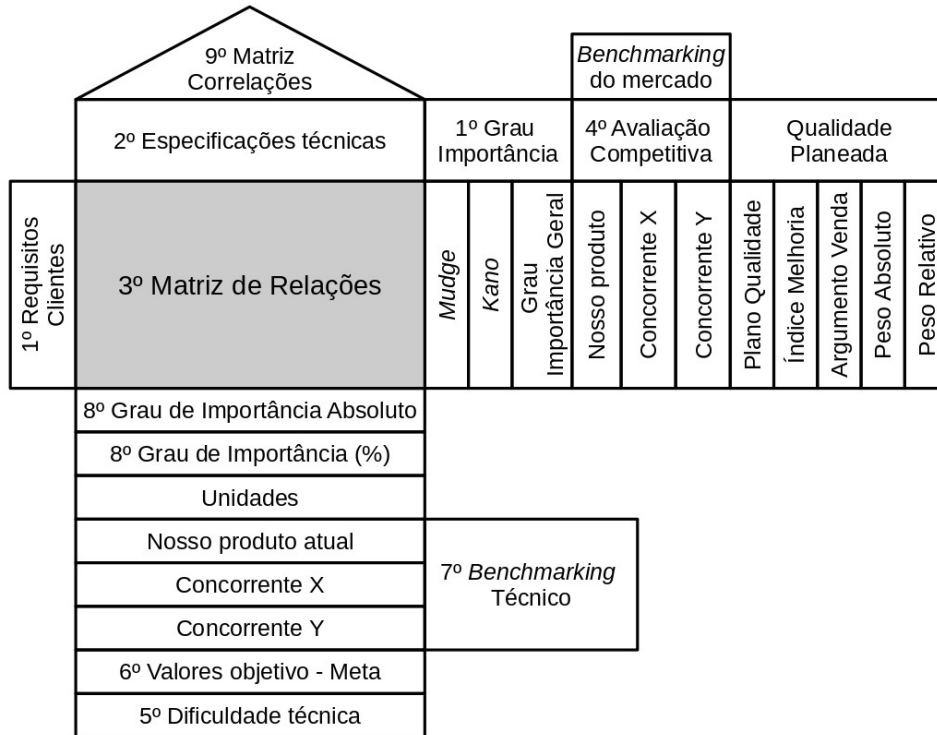


Figura 2.6: Matriz QFD.

Tendo estes aspetos em mente fica claro que é muito difícil desenvolver um produto que atinja os valores ótimos em todas as suas especificações. Assim sendo, devem-se estabelecer quais são os valores ideais e marginais para cada especificação técnica, como está exemplificado na Tabela 2.7. Os valores ideais representam o que a equipa pretende atingir, enquanto que o valor marginal está associado às condições mínimas de viabilidade comercial. O produto deve então ser projetado para que o combinado das suas especificações resulte no melhor produto possível, respeitando o seu intervalo admissível de valores.

O preenchimento dos restantes parâmetros da matriz estão descritos na bibliografia. No final de preencher todos os campos da matriz de qualidade (QFD) vem o principal e também mais desafiante passo, que se trata de interpretar os dados que resultam da matriz. A Tabela 2.8 contempla os diversos significados dos possíveis resultados da matriz.

Com base nestas informações os projetistas entram num processo iterativo onde devem fazer as alterações necessárias e depois reavaliar os resultados. Como foi visto anteriormente em muitos dos casos a otimização de uma especificação técnica implica uma redução de performance noutra, pelo que a situação ideal é impossível de atingir, sendo este ciclo iterativo terminado quando se chegar a um bom compromisso entre especificações técnicas.

Tabela 2.7: Valores marginais e ideais para as especificações de uma bomba de óleo automóvel. Retirado de [1].

Requisito do cliente	Especificação técnica	Unidades	Valor marginal	Valor ideal
<b>A</b>	Potência de acionamento da bomba	W	<700	>600
<b>B</b>	Nível de emissão de CO <sub>2</sub>	g/Km	<105	>100
<b>C</b>	Massa	g	<2,5	>2
<b>D</b>	Intervalo de caudal variável	L/min	10 - 80	15 - 85
<b>E</b>	Frequência de vibração	Hz	<10	>8
<b>F</b>	Intervalo de pressão de funcionamento	Bar	2 - 7	1,5 - 7
<b>G</b>	Desgaste após 300h de ensaio	g	<0,8	>0,7
<b>H</b>	Tempo para montagem	s	<2400	>2000
<b>I</b>	Nº de Km entre mudanças de óleo	Km	>30000	<35000
<b>J</b>	Preço	Euros	<150	>125

Tabela 2.8: Interpretação da matriz de QFD. Retirado de [1].

Evidência	Diagnóstico	Observações
Linha vazia na Matriz de Relações	Desejo do consumidor não satisfeito (faltam especificações)	Se a Importância é 5 é uma situação grave. Se a Importância é 1 é necessário comparar com a concorrência
Coluna vazia na Matriz de Relações	Sobredimensionamento	Pode existir uma satisfação exagerada da especificação, mas que não é utilizada pelo utilizador. Pode ter sido esquecido um requisito do consumidor
Pontos críticos	Abaixo da concorrência na Avaliação Competitiva de mercado e abaixo da concorrência na Avaliação Técnica e forte ou média relação	Se a Importância do requisito do utilizador for elevada (4 ou 5) é urgente melhorar
Pontos de conflito	Abaixo da concorrência na Avaliação Competitiva e acima da concorrência na Avaliação Técnica e forte ou média relação	Pode existir uma satisfação exagerada da especificação, mas que não é utilizada pelo utilizador
Área de oportunidade	Posição competitiva de mercado fraca, quer para o produto em análise, quer para o(s) produto(s) concorrente(s)	Se o requisito do utilizador tem uma importância 5 e o produto em análise é melhor, então essa característica deve ser utilizada como argumento de marketing
Indispensável melhorar	Posição competitiva de mercado do produto em análise fraca e do produto concorrente forte	Se o requisito do utilizador tem uma importância elevada (4 ou 5) trata-se de uma situação grave, que é urgente melhorar
Esforço de engenharia inconsequente	Especificações onde produto em análise está abaixo do produto concorrente e a importância da especificação é elevada	É necessário comparar a posição na Avaliação Técnica e de Mercado nos requisitos do utilizador relacionados com a especificação técnica
Dificuldade de alterar o projeto	Dificuldade Técnica elevada (4 ou 5)	Devem seguir-se caminhos alternativos através da Matriz de Correlações

## 2.5 Princípios do desenho para fabrico e montagem de componentes mecânicos

Depois de se terem determinado as especificações técnicas, e o conceito de produto que vai mais ao encontro das mesmas, é necessário fazer a ligação entre essas características e o projeto detalhado do produto. Por este motivo é comum o projeto ser direcionado, "*Design for X*", através de uma metodologia onde o "*X*" pode ser um aspeto de qualidade, mas também um aspeto ambiental ou de fabrico. Devido ao impacto significativo no custo do produto, o desenho para fabrico (DFM - *Design For Manufacturing*) regra geral prevalece sobre os restantes, mesmo que por vezes traga um acréscimo de dificuldade à ligação referida anteriormente.

As decisões acerca do fabrico surgem em maior número na fase de desenho de definição, onde os custos são mais precisos, e seguem o ciclo iterativo ilustrado na Figura 2.7.

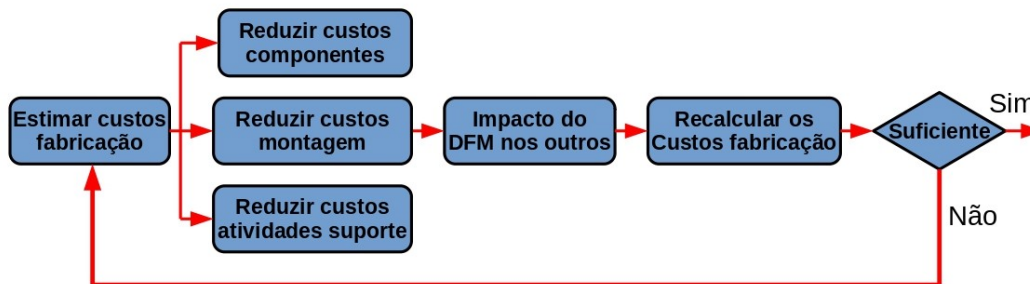


Figura 2.7: Processo de desenho para fabrico. Retirado de [1].

O ciclo tem por base o custo, cuja estimativa deve incluir os seguintes tipos de custo: **Custos dos componentes** - Custos de todos os componentes, que podem ser estandarizados, fabricados na própria empresa ou subcontratados;

**Custos de montagem** - Inclui os custos do trabalho e dos equipamentos e ferramentas necessárias à montagem;

**Despesas gerais** - Todos os restantes custos que se dividem em:

- Custos de suporte: Custos que podem ser repartidos por vários produtos e incluem qualidade, transporte, compras, logística, manutenção, instalações, etc.;
- Custos indiretos: São custos que não estão diretamente ligados ao produto, mas que são necessários para o negócio funcionar, nomeadamente gestão de salários, manutenção de edifícios, etc..

Para simplificar e organizar o trabalho, os custos devem ser calculados através de uma lista que combina a lista de peças com a informação dos custos associados ao fabrico de cada peça. A Tabela 2.9 exemplifica a estimativa dos custos de produção.

O desenho para fabrico decorre até se alcançar um custo de fabrico que permita que o custo final do produto cumpra as metas estipuladas. Para reduzir os custos de fabrico

existe um conjunto de estratégias a adotar, designadas de regras de projeto, e que se apresentam de seguida:

Tabela 2.9: Estimação de custos de produção. Retirado de [1].

Componentes	Materiais	Processo (Máquinas + mão-de-obra)	Montagem (mão-de-obra)	Total custos variáveis	Ferramentas moldes	Vida ferramenta (nº peças)	Custo unitário fixo	Custo total
<b>Coletor escape</b>								
Fundição	12	23		35				
Maquinagem		43		43	1400	100000	0,014	35,014
<b>Tubo EGR</b>	2		5	7				7
<b>Conjunto PCV</b>								
Válvula	5		3	8				8
Tampa	12	25	2	39	500	10000	0,005	39,005
Parafusos (3x)	14		3	17				17
<b>Despesas gerais</b>	2	4	2	8	0,5			8,5
<b>TOTAL (Euros)</b>	47	95	15	157			0,019	157,019

### Compreender as limitações do processo e os direcionadores de custo

Alguns componentes podem ser dispendiosos apenas por terem especificações com um custo elevado associado, para além das estritamente necessárias. Imagine-se por exemplo um componente em aço com uma caixa interior, cujos raios de canto não têm qualquer funcionalidade. Se for especificado um raio muito pequeno este apenas será possível de realizar através de um processo de eletroerosão, que é bastante dispendioso, encarecendo desnecessariamente a peça. Outro caso, que é dos mais comuns, é a especificação de tolerâncias e acabamentos com uma qualidade superior ao necessário para o correto desempenho da peça.

Posto isto, os engenheiros devem estar cientes das limitações e dos intervalos de operação de cada processo produtivo, para garantir que os componentes podem ser produzidos com processos e tecnologias adequadas às especificações realmente necessárias.

Quando estão envolvidos processos mais complexos é comum e boa prática que os engenheiros trabalhem em conjunto com os operadores/conhecedores dos processos produtivos, com o intuito de redesenhar o componente para reduzir o seu custo de produção.

Uma opção para evitar os trabalhos enunciados anteriormente é adotar uma estratégia de "*Black Box*", frequentemente utilizada na indústria automóvel, onde a equipa não desenha o componente, apenas especifica as funcionalidades que este deve ter, deixando o resto ao critério do fornecedor de modo a que este produza o componente com o custo minimizado. Esta estratégia parece simples, mas há que ter em conta que para a adotar é necessário existir uma extrema definição das funções, interfaces e interações do componente.

### Redesenhar componentes para eliminar passos do processo

Deve ser analisada a possibilidade de fazer um *redesign* no produto que resulte na redução ou simplificação dos passos envolvidos no processo produtivo. Passar de uma peça oriunda de um processo de fundição e sujeita a maquinação, para conformação de chapa ou injeção de plástico, é um exemplo de redução de etapas e simplificação de processos de fabrico com um impacto significativo no custo final do produto.

### Escolha do processo economicamente mais adequado ao volume a produzir

Os custos de fabrico seguem um modelo de economia de escala, ou seja, o custo de fabricação diminui com o aumento do volume a produzir.

Para além disso, alguns dos processos de fabrico não são economicamente viáveis quando as quantidades a produzir são pequenas, devido aos custos fixos que acarretam.

Posto isto, o processo produtivo deve ser escolhido em função do volume de componentes a produzir, através de gráficos como a Figura 2.8, por exemplo.

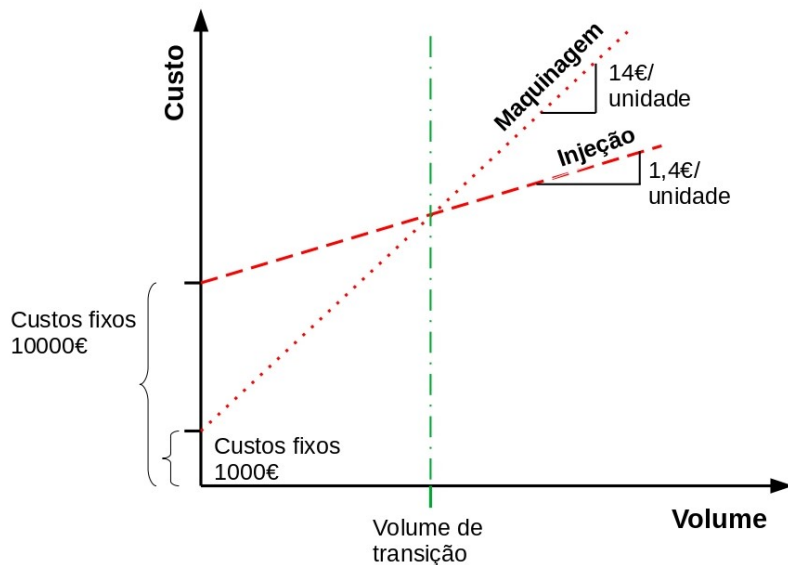


Figura 2.8: Evolução dos custos de produção, em função do volume de componentes e do processo de fabrico. Adaptado de [1].

### Estandarização dos componentes e processos

Os componentes estandardizados são produzidos em grandes volumes, o que permite às empresas que os fabricam apostar em equipamentos e tecnologias que melhoram a qualidade do produto, mantendo um custo do produto baixo em simultâneo, o que vai ao encontro do que foi visto no ponto anterior.

Alguns destes componentes seguem normas internacionais, como é o caso da maioria dos órgãos de máquinas, ou podem ser estandardizados dentro das próprias organizações, como é comum na indústria automóvel.

Para além do aspeto de manufatura a utilização de componentes normalizados é vantajosa em termos de manutenção/avaria devido à facilidade de acesso a esses componentes.

### Desenho para a montagem (DFA - *Design for assembly*)

Após a manufatura ou aquisição dos componentes é necessário montá-los para conceber o produto final.

O DFA é considerado uma subárea do DFM, que envolve os custos associados às operações de montagem. Para alguns produtos esta operação é pouco relevante, mas noutros representa uma parcela considerável do custo final do produto, principalmente se forem necessários equipamentos adicionais para auxiliar na montagem.

Posto isto, os engenheiros devem ter sempre em mente a forma como os componentes vão ser montados, bem como os meios disponíveis para a sua montagem, quando estão a realizar o projeto.

As medidas a aplicar nesse sentido devem ser analisadas caso a caso, consoante o componente e projeto, contudo apresenta-se de seguida uma série de medidas que se podem adotar de forma genérica. Na Figura 2.9 estão exemplos de redesenho dos componentes para implementar estas medidas.

- A peça deve ser inserida segundo o eixo Z, a partir do topo. Desta forma o conjunto não necessita de ser invertido;
- A peça auto alinha-se no conjunto quando é inserida;
- A peça não precisa de ferramentas para a sua montagem, e pode ser montada apenas com uma mão;
- A peça é montada apenas com movimento linear, por exemplo com um pino em vez de um parafuso;
- A peça fica imediatamente segura após a sua introdução.

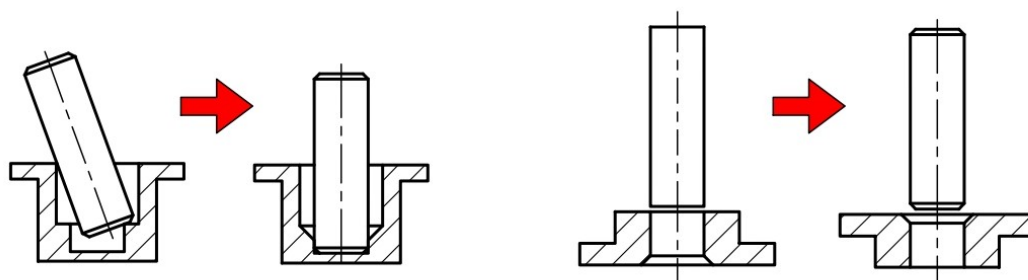


Figura 2.9: Redesenho dos componentes para agilizar a montagem. Adaptado de [1].

## 2.6 Aspectos diferenciadores

Nos projetos de máquinas industriais existem alguns aspetos que não são fulcrais e por vezes não são sequer tidos em conta, mas que são importantes para o sucesso do projeto atual, de projetos futuros e da própria organização. Posto isto, apresentam-se de seguida alguns conceitos e aspetos a ter em atenção aquando da realização dos projetos.

### Rastreabilidade de componentes mecânicos para integração em equipamentos industriais

Em 2005 foi criada a norma ISO 9001 direcionada à melhoria contínua das empresas de modo a manterem a sua competitividade. Esta norma dita uma série de medidas

a serem adotadas nas organizações, sendo algumas delas relacionadas com a secção de projeto.

De todas as medidas a implementar segundo a norma, ainda que algumas delas já sejam tidas em conta na maioria das organizações atualmente, existe ainda uma série delas que são esquecidas pelas organizações, apesar dos possíveis ganhos associados.

Alguns dos aspetos com maior potencial de melhoria no que diz respeito ao projeto mecânico são a rastreabilidade dos componentes, contemplando o registo de todas as suas informações desde o material e respetivo fornecedor, aos processos e equipamentos envolvidos no seu fabrico, até às informações relativas à sua comercialização.

Deste modo é possível cruzar informações e tirar as devidas conclusões acerca do projeto. Por exemplo, para um determinado componente podem ser utilizados diversos tipos de manufatura. Com base no "feedback" dos clientes e através dessa monitorização, é possível determinar qual o tipo de manufatura com que o componente de cada cliente foi concebido e perceber qual delas gera mais satisfação.

Para além disso, caso seja detetada alguma anomalia na manufatura do produto posteriormente à sua conceção, os componentes com defeitos são facilmente identificados, quer estejam armazenados ou já se encontrem com os clientes.

Para tornar o processo de identificação dos componentes mais expedito podem ser utilizados alguns tipos de marcação codificada como se ilustra na Figura 2.10.

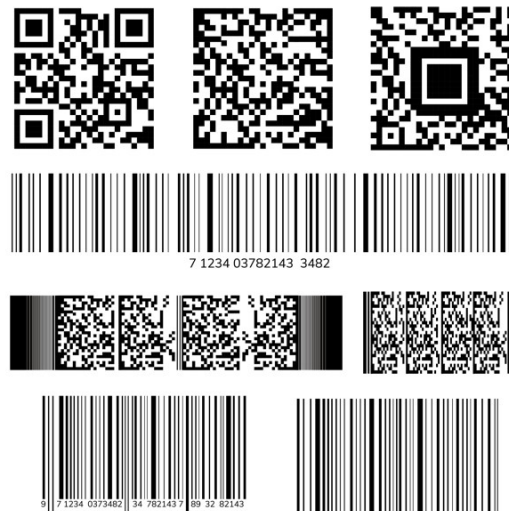


Figura 2.10: Exemplos de tipos de codificação utilizadas em rastreabilidade.

### Fabrico modular de máquinas industriais

É frequente na indústria que se repitam trabalhos ao longo do tempo, ainda que com algumas diferenças entre eles. Um caso onde este aspeto está bastante presente é na indústria automóvel. Imagine-se o seguinte caso:

O processo de fabrico de um cárter de uma caixa de velocidades é complementado por um processo de verificação dimensional e de estanqueidade, sendo colocada uma marcação no mesmo indicando a sua validação, caso esta se verifique.

Pensando que não vai haver nenhuma reinvenção dos cárteres, este tipo de compo-

nente e o seu processo de inspeção vai ser idêntico para as suas diversas variantes no futuro.

Tendo isto em mente, o projeto das máquinas que efetuam essas verificações devem ser feitos de maneira a que possam ser facilmente adaptados a outras versões dos componentes a avaliar. Para alcançar isto as máquinas devem ter uma construção modular, de modo a que se possam trocar apenas os grupos funcionais que dependem diretamente do componente. Para isso os outros módulos da máquina devem também estar preparados para ser possível fazer alguns ajustes para adaptar a máquina ao novo componente.

Desta forma, o projeto deste tipo de máquinas não terá de ser feito a partir do zero o que permite á empresa por um lado a redução de trabalho e por outro a prontidão de resposta aos clientes, aumentando a sua competitividade.

Num caso em que um componente antecessor já tenha chegado ao fim de produção pode-se até reutilizar alguns dos componentes das máquinas anteriores, que já não se encontram em funcionamento, reduzindo os custos e protegendo o ambiente.

### Manutenção de máquinas industriais

A manutenção é um aspeto crucial para a longevidade e correto funcionamento dos equipamentos, contudo é muitas das vezes feita de uma forma ou com uma periodicidade menos correta, muitas das vezes devido às paragens longas que as tarefas de manutenção obrigam.

São praticados maioritariamente dois tipos de manutenção:

Manutenção preditiva – Manutenção com base na condição, onde se avalia o estado de cada equipamento e, com base nisto, se decide se os mecânicos de manutenção devem intervir ou não. É possível fazer planos de manutenção conforme o nível de desgaste que os componentes apresentam.

Manutenção corretiva – Manutenção que é feita para resolver uma avaria que já aconteceu. Regra geral é uma manutenção que não é planeada e por isso leva a paragens inesperadas da máquina, pelo que a manutenção deve ser feita de forma urgente.

Tendo isto em mente, o projeto de máquinas, principalmente as industriais, devem ser feitos tendo em conta as intervenções de manutenção. A construção da máquina, no que diz respeito ao posicionamento e acesso aos componentes, deve ser feita tendo em mente a necessidade de substituição/reparação dos mesmos. Para além disso, os componentes devem ter uma desmontagem e montagem rápida, sendo para além disso possível trocar os componentes mantendo os restantes montados.

Na maioria dos casos é impossível aplicar isto a todos os componentes, pelo que deve ser feito um levantamento das possíveis falhas dos componentes, de modo a perceber quais são os mais suscetíveis a necessitarem de uma intervenção de manutenção e também quais são os que têm uma falha mais imprevisível, sendo este os que devem ser mais fáceis de se fazer uma manutenção corretiva.





## Capítulo 3

# Diretiva máquinas, ergonomia e marcação CE em equipamentos industriais

### 3.1 Diretiva máquinas

De modo a salvaguardar a integridade e segurança de todos os intervenientes e até mesmo dos bens, as entidades competentes tomam medidas para que as máquinas só possam ser colocadas no mercado ou iniciar as suas funções se cumprirem as regras estipuladas nas diretivas aplicáveis às mesmas. A transposição destas diretivas por cada país, e a sua respetiva publicação em diário da república constituem as leis a cumprir.

Esse conjunto de regras é comum a todos os produtos do mesmo grupo/género e as entidades que as ditam podem variar consoante o local onde estes vão ser comercializados ou utilizados.

A diretiva 2006/42/CE é um documento aprovado pelo parlamento europeu, e tendo em conta que as máquinas e equipamentos que foram desenvolvidos no decorrer do estágio curricular foram comercializados e utilizados na união europeia, foi esta a diretiva pela qual se regeu o trabalho. A gama de produtos abrangida por esta diretiva encontra-se ilustrada na Figura 3.1. Todos eles são descritos na diretiva, contudo como o presente trabalho incide sobre máquinas é pertinente esclarecer a diferença entre estas e quase-máquinas.

Segundo a diretiva uma máquina consiste num conjunto, equipado ou destinado a ser equipado com um sistema de acionamento diferente da força humana ou animal diretamente aplicada, composto por peças ou componentes ligados entre si, dos quais pelo menos um é móvel, reunidos de forma solidária com vista a uma aplicação definida, ao qual podem faltar apenas as conexões às fontes de energia/movimento ou os elementos de ligação ao local de utilização, e que para além disso podem apenas funcionar no estado em que se encontram quando montadas num veículo ou edifício. [2]

Por sua vez, uma quase-máquina é um sistema que quase constitui uma máquina, mas que por si só não executa uma determinada aplicação. Um único atuador ou robô industrial são exemplos de quase-máquinas. [2]

A maioria dos veículos não se encontra abrangida por esta diretiva, contudo as máquinas montadas neles sim, pelo que não foi necessário o recurso a outra diretiva para o

desenvolvimento de máquinas que envolvessem componentes do ramo automóvel.

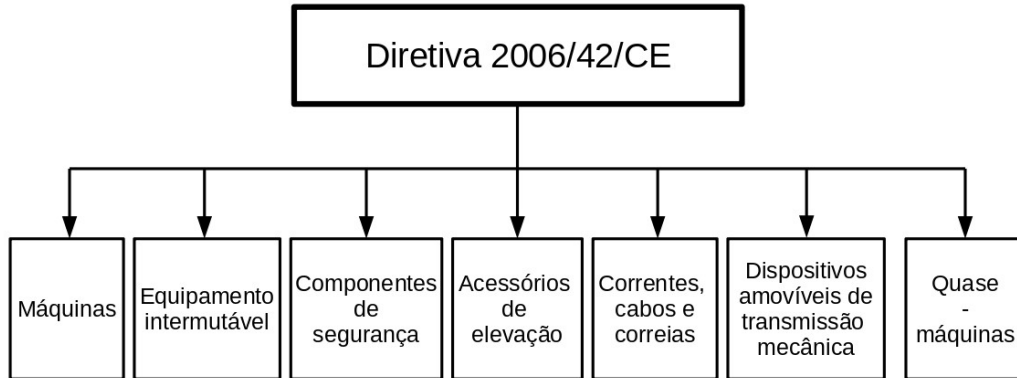


Figura 3.1: Produtos abrangidos pela diretiva 2006/42/CE.

### 3.1.1 Normas de segurança

Uma das componentes mais relevantes das diretivas diz respeito a questões de segurança associadas à máquina/produto e a tudo o que os envolve. Contudo, a diretiva anteriormente descrita define apenas os requisitos essenciais de saúde e de segurança de alcance geral, completados por uma série de requisitos mais específicos para certas categorias de máquinas. Deste modo, para que a máquina esteja em conformidade com os requisitos necessários, prevenindo também alguma má interpretação da diretiva, é desejável dispor de normas harmonizadas a nível comunitário no que se refere à prevenção dos riscos decorrentes da conceção e do fabrico das máquinas. O cumprimento destas normas não é obrigatório, contudo fazê-lo garante a presunção de conformidade, que significa que o fabricante seguiu o modo correto na aplicação de medidas de segurança. Essas normas são elaboradas por organismos de direito privado e deverão manter o estatuto de textos não vinculativos.

A norma internacional que diz respeito a condições de segurança e saúde em vigor é a ISO 12100:2010. Este documento é elaborado pela organização internacional responsável pela normalização, ISO (*International Standardization Organization*), e o seu conteúdo serve como ponto de partida para um conjunto de normas que pode ser dividido em três partes distintas.

- **Normas do tipo A:** Normas de segurança básicas que fornecem conceitos e princípios gerais que se enquadram no projeto de máquinas.
- **Normas do tipo B:** Normas que abordam aspetos ou dispositivos de segurança genéricos que se aplicam a um vasto leque de tipos de máquinas. Este tipo de norma subdivide-se em dois tipos:
  - **Normas do tipo B1:** Normas que abordam aspetos de segurança particulares como por exemplo distâncias de segurança, ruído, entre outros.
  - **Normas do tipo B2:** Normas dirigidas aos dispositivos de segurança, nomeadamente barreiras de segurança, dispositivos sensíveis à pressão, entre outros.

– **Normas do tipo C:** Normas de segurança associadas a requerimentos de segurança detalhados para uma máquina ou grupo de máquinas específico.

A norma ISO 12100:2010 é uma norma do tipo A. Caso exista alguma divergência entre normas, as normas do tipo B prevalecem sobre as normas do tipo A e as normas do tipo C prevalecem sobre ambas. [3]

O cumprimento de toda esta regulamentação para além de servir como pressuposto para o cumprimento dos requisitos impostos pelas entidades competentes é um auxílio para que os produtos funcionem sem apresentar perigos, o que é uma mais valia para os fabricantes, uma vez que é a estes que cabe garantir a responsabilidade pelos seus produtos. Os procedimentos gerais de segurança sugeridos pelas normas apresentam-se de seguida.

### 3.1.2 Análise de riscos

Ao projetar uma máquina devem ser analisados os eventuais riscos e, sempre que possível, ter previstas medidas destinadas a proteger os intervenientes dos perigos existentes. Para ajudar os fabricantes de máquinas nesta tarefa, as normas descrevem o processo de análise de riscos.

A análise de riscos consiste numa sequência de passos lógicos que permitem o levantamento e avaliação de riscos. Caso seja necessário, a análise é rematada por uma etapa de redução de riscos que se repete até que os riscos sejam devidamente atenuados. Este procedimento encontra-se indicado na norma ISO 12100 (Norma do tipo A) e encontra-se brevemente descrito de seguida, sendo a descrição complementada pela Figura 3.2.

#### 3.1.2.1 Avaliação de riscos

O primeiro trabalho a realizar no processo de análise de riscos é definir quais são as funcionalidades da máquina, ou os seus limites, dito de outra forma. Trata-se basicamente de fazer um levantamento de tudo o que está envolvido com a máquina e o seu funcionamento, sendo que os pontos principais em que este trabalho incide encontram-se também descritos na Figura 3.2.

Finalizada esta etapa segue-se o passo mais importante na análise dos riscos de uma máquina, que consiste na identificação sistemática dos perigos e previsão das situações/eventos potencialmente perigosos. Devem ser tidas em conta não só as situações de funcionamento normal da máquina, mas também todas as restantes fases da sua vida, nomeadamente as seguintes:

- Transporte e instalação;
- Colocação em funcionamento e configuração;
- Manutenção e limpeza;
- Desmontagem e colocação fora de serviço.

Após a identificação dos perigos, deve ser realizada uma estimativa de riscos para cada situação de perigo. O risco pode ser calculado através de *softwares* específicos para o efeito ou através da consulta de tabelas/gráficos, sendo a base deste cálculo a seguinte:

$$\text{Risco} = \text{Extensão do dano} \cdot \text{Probabilidade de ocorrência} \quad (3.1)$$

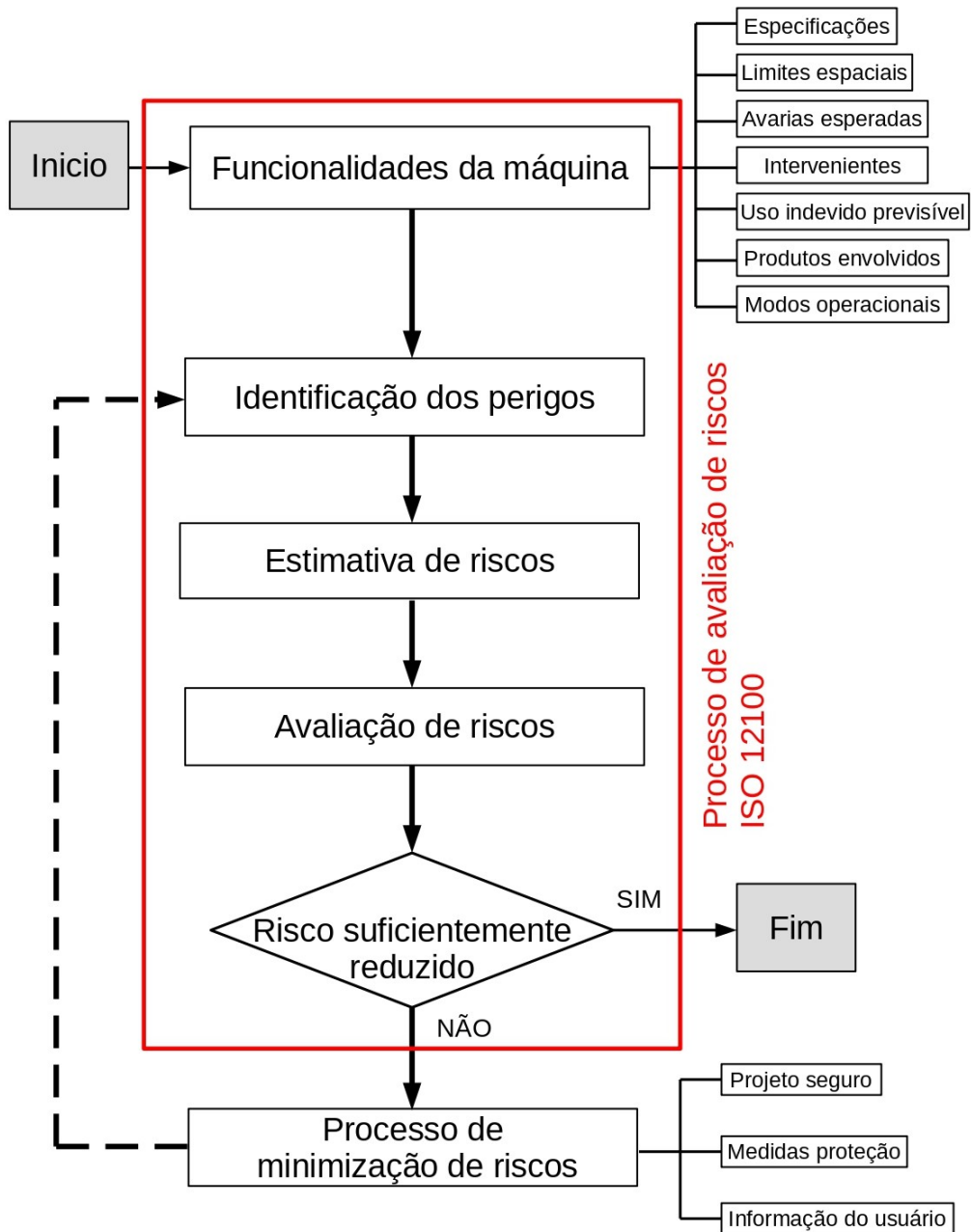


Figura 3.2: Processo de apreciação de riscos. Adaptado de [4].

Caso se verifique a existência de riscos de valor superior ao admissível é necessário proceder à redução dos mesmos.

Há que ter em mente que este processo tem de ser efetuado por várias pessoas em simultâneo de modo a obter resultados fidedignos, uma vez que cada um tem uma perceção diferente dos perigos, suas consequências, etc..

### 3.1.2.2 Processo de minimização de riscos

A minimização de riscos pode ser efetuada de três modos distintos. Inicialmente fazem-se as alterações possíveis ao projeto de forma a eliminar os riscos existentes. Caso não se consiga alterar o projeto de maneira a eliminar todos os riscos é necessário implementar medidas de proteção. Se ainda existirem riscos de valor superior ao admissível é necessário advertir os operadores acerca dos mesmos.

As etapas de minimização de riscos são descritas em detalhe de seguida.

#### 3.1.2.2.1 Implementação de medidas no projeto para a redução de riscos

Existe um conjunto de medidas que podem ser implementadas no projeto de modo a eliminar ou reduzir as situações de risco existentes sem se alterar drasticamente o projeto, até porque muitas das vezes isso não é possível.

Existem diferentes medidas para as diferentes áreas que podem estar presentes num projeto, pelo que se vai fazer um apanhado das medidas/melhorias mais significativas.

#### Construção mecânica

Começando pela raiz do projeto, aquando da sua construção mecânica à que ter em consideração a eliminação de arestas vivas e do acesso a componentes móveis, eliminando assim o perigo de cisalhamento/esmagamento.

Os componentes que se encontram na vizinhança de elementos móveis não devem permitir, e se possível devem até evitar o aprisionamento do operador.

Ambas as medidas estão ilustradas na Figura 3.3.

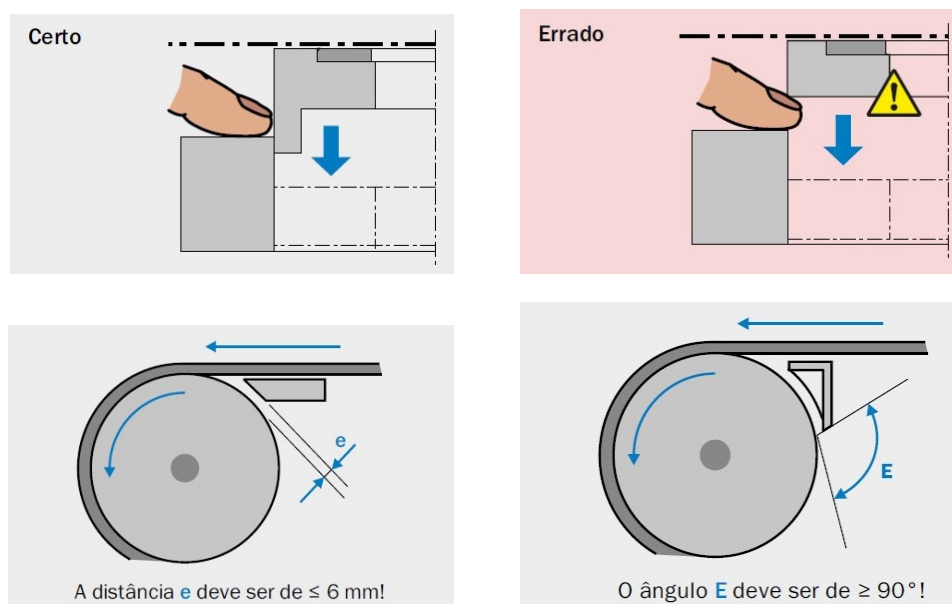


Figura 3.3: Medidas mecânicas para evitar cisalhamentos e aprisionamentos, respetivamente. Adaptado de [4].

A carga cinética deve ser reduzida tanto quanto possível, de modo a que a interação do operador com os componentes em movimento não traduza uma situação de perigo.

#### Imobilização

Todas as máquinas devem ser possíveis de imobilizar em casos de emergência, pelo que todas elas devem possuir comandos para o efeito, que se devem sobrepor aos comandos de colocação em funcionamento.

Existem várias categorias de paragem de emergência, sendo que uma paragem de categoria 0 corresponde a uma paragem descontrolada, onde apenas se desliga a energia de acionamento. As categorias de parada 1 e 2 distinguem-se pelo facto de na primeira se desligar a alimentação de energia de acionamento após a máquina estar num estado seguro e na segunda não se desligar a energia de alimentação.

Todas as máquinas devem ter pelo menos uma funcionalidade de categoria 0, sendo que funcionalidades de categoria superior podem ser necessárias para ir ao encontro dos requisitos funcionais da máquina ou das tecnologias de segurança.

#### Conceito de operação e conservação

De maneira a reduzir a exposição dos intervenientes a regiões de perigo recomenda-se:

- Uso de estações de carga e descarga;
- Efetuar afinações e manutenção num local seguro da máquina, ou fora desta;
- Uso de sinalética adequada e clara.

A sinalética deve seguir um código de cores que se aplica quer a componentes de comando, quer a sinalizadores luminosos. Assim, a probabilidade de o operador se equivocar ao pressionar um botão de comando é drasticamente reduzida, tal como o risco de este interagir com a máquina quando esta se encontra em situações que potenciam acidentes, uma vez que o sinal luminoso o alerta para tal. Tanto o código de cores como os componentes que os representam podem ser consultados na Figura 3.4.

#### Sistemas hidráulicos e pneumáticos

Visto que este tipo de sistemas tem como base de funcionamento a utilização da pressão dos fluídos para executar trabalho mecânico é pertinente utilizar proteções para o caso da pressão exceder a pressão máxima admissível do sistema ou dos componentes que o integram.

As eventuais fugas que possam existir no sistema não podem causar situações de perigo.

No caso de sistemas pneumáticos, a utilização de silenciadores não pode originar contrapressões ou qualquer outra situação prejudicial.

#### Risco de explosão

A proteção contra explosões é uma das áreas mais relevantes no que diz respeito à segurança, visto este ser um dos acidentes com consequências mais drásticas.

O grau de medidas de proteção necessário é definido de acordo com a probabilidade de ocorrer um ambiente potencialmente explosivo no local onde a máquina vai operar, sendo as atmosferas com perigo de explosão classificadas em zonas. Estas medidas são indicadas na Diretiva 1992/92/CE, Anexo I.

As diretivas ATEX indicam quais os equipamentos que podem ser utilizados em cada zona.

Significado geral das cores dos componentes de comando			Significado geral das cores das luzes indicadoras		
Cor	Significado	Explicação	Cor	Significado	Explicação
Branco Cinza Preto	Inespecífico	Inicialização de funções	Branco	Neutro	Utilizar em caso de dúvida quanto à aplicação de verde, vermelho, azul ou amarelo
Verde	Seguro	Acionar durante operação segura ou para estabelecer uma situação normal	Verde	Estado normal	
Vermelho	Emergência	Acionar em caso de estado potencialmente perigoso ou de emergência	Vermelho	Emergência	Estado potencialmente perigoso que exige uma intervenção imediata
Azul	Disposição	Acionar nos casos que exigem uma intervenção obrigatória	Azul	Obrigatório	Indicação de um estado que exige uma intervenção obrigatória por parte do operador
Amarelo	Anormal	Acionar em estado anormal	Amarelo	Anormal	Estado anormal, estado crítico iminente

Figura 3.4: Código de cores e respetivos componentes de comando e sinalização. Adaptado de [4].

### Equipamentos elétricos e compatibilidade eletromagnética

Aquando do projeto de uma máquina também são implementadas medidas de modo a eliminar os riscos associados a componentes elétricos e a distúrbios eletromagnéticos. Contudo, como o presente trabalho não incide sobre esta área do projeto e na empresa onde se realizou o estágio existe um departamento competente para efetuar o projeto elétrico, o conhecimento destas medidas foi apenas superficial.

Assim, qualquer decisão acerca do projeto que envolvesse componentes eletrónicos foi discutida com os responsáveis do projeto elétrico de modo a garantir a segurança e o correto funcionamento do projeto.

#### **3.1.2.2.2 Implementação de sistemas de segurança**

Mesmo tendo-se tomado medidas para minimizar os riscos, alguns deles encontram-se associados ao normal funcionamento da máquina pelo que estão sempre presentes.



Assim, para que destes riscos não resultem acidentes são implementadas medidas de proteção técnicas através de dispositivos de proteção fixos ou incorporadas no comando da máquina, sendo o último designado de segurança funcional.

O processo de implementação de medidas técnicas de proteção encontra-se descrito na Figura 3.5 e as suas etapas são descritas de seguida.

#### Determinação das funções de segurança

O primeiro passo a dar na implementação de medidas técnicas de proteção é a definição de funções de segurança associadas aos perigos que não foram eliminados durante o projeto.

Regra geral as funções de segurança incidem sobre as seguintes componentes do projeto:

- Acesso à máquina;
- Parada e partida;
- Retenção de partículas/substâncias;
- Monitorização e sinalização;
- Remoção ou troca de funções de segurança;
- Movimentação de materiais/componentes.

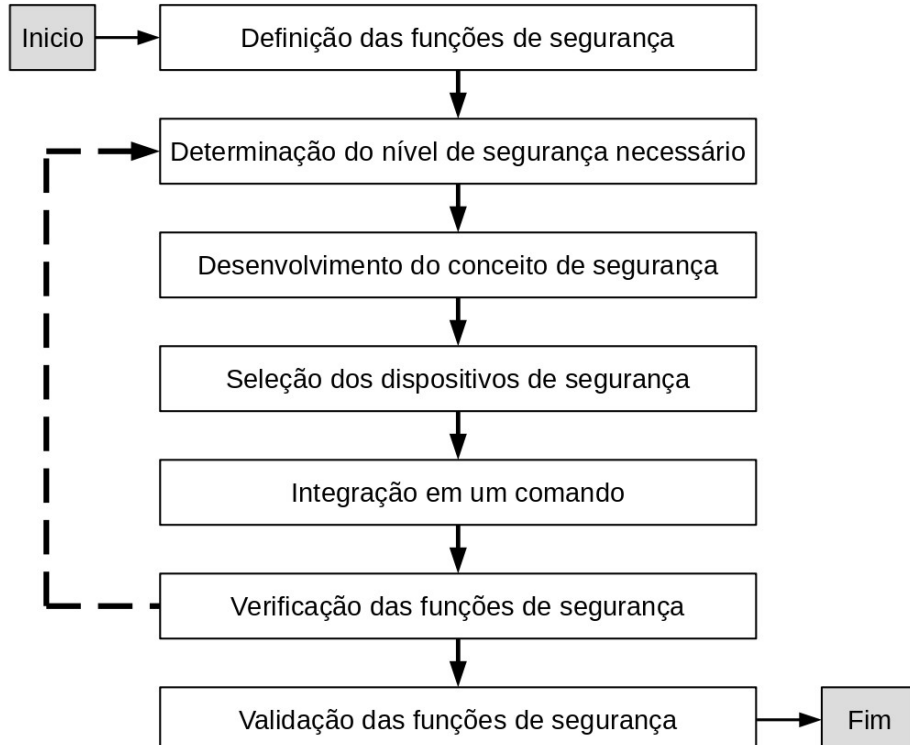


Figura 3.5: Processo de aplicação de medidas de proteção técnicas. Adaptado de [4].

### Determinação do nível de segurança

Após se terem definido quais as funções de segurança que deverão estar presentes na máquina é necessário definir o nível de segurança exigido para cada função. Este nível de segurança é definido de forma individual para cada risco e para cada fase da vida da máquina.

A aplicação das normas garante que os custos da implementação das medidas de segurança sejam razoáveis perante o risco identificado. Regra geral, as normas específicas de máquinas (Normas do tipo C) predefinem os níveis de segurança exigidos. Há que ter em atenção que na aplicação das normas se considera a máquina sem qualquer dispositivo de segurança.

A base destas normas são os seguintes parâmetros provenientes da avaliação de riscos, que combinados determinam o nível de segurança necessário.

- Gravidade do possível dano para a saúde;
- Frequência/duração da exposição ao perigo;
- Possibilidade de prevenção do perigo.

Existem duas normas que definem os requisitos para o projeto e implementação de componentes de segurança. A norma IEC 62061 aplica-se a sistemas elétricos/eletrônicos e a norma ISO 13849-1 pode-se aplicar na generalidade dos sistemas, pelo que foi esta última que se teve em conta.

Esta norma baseia-se num gráfico de riscos para determinar a magnitude do risco e por consequência o nível de desempenho requerido nas medidas de proteção (PLr - *required Performance Level*). Desta avaliação podem resultar cinco níveis de desempenho discretos, como se pode visualizar na Figura 3.6. [5]

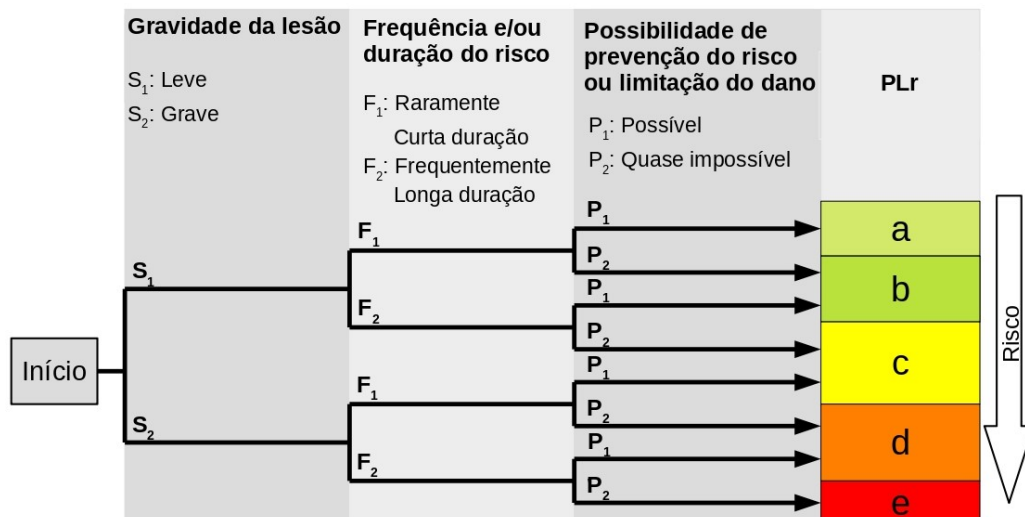


Figura 3.6: Gráfico de riscos para calcular o nível de desempenho requerido (ISO 13849-1). Adaptado de [4].

### Desenvolvimento do conceito de segurança

Como ponto de partida para determinar os equipamentos e proteções a implementar na máquina, deve ser feita uma distinção clara entre os componentes destinados a funções de segurança daqueles que efetuam tarefas puramente operacionais. Para além disso, é aconselhado fazer um levantamento dos fatores decisivos a ter em conta na componente da segurança do projeto, que regra geral consistem nos seguintes:

- Propriedades da máquina;
- Propriedades do meio ambiente;
- Aspectos humanos;
- Propriedades do projeto.

### Seleção dos dispositivos de segurança

Os dispositivos de segurança podem ser divididos em dois tipos, que são os equipamentos de proteção mecânica e os equipamentos de proteção eletrossensitivos (ESPE - *Electro-Sensitive Protective Equipment*).

Os dispositivos de proteção mecânica consistem em separações físicas que impedem ou evitam o acesso das diversas partes do corpo às zonas de perigo. Estes dispositivos podem ser móveis ou físicos e para além de impedir o acesso às zonas perigosas podem impedir ejeções de materiais para o exterior. A Figura 3.7 (a) ilustra uma grade de segurança mecânica, que é uma das soluções de proteção mecânica frequentes.

A utilização destes equipamentos deve cumprir alguns requisitos nomeadamente os seguintes:

- Não se deve restringir a visualização do processo de trabalho mais do que o estritamente necessário, caso a visualização do projeto seja necessária;
- Os equipamentos devem estar instalados firmemente;
- Os equipamentos devem ser fixados por sistemas que só possam ser abertos utilizando ferramentas ou devem estar intertravados como movimento perigoso;
- Os dispositivos não devem permanecer na posição de segurança depois de se soltarem os seus meios de fixação.

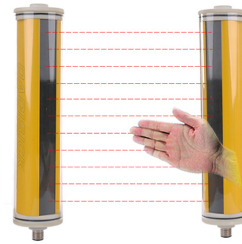
A distância de segurança necessária para proteções mecânicas é descrita na norma ISO 13857, conforme as aberturas de cada proteção.

Por sua vez, os equipamentos de proteção eletrossensitivos funcionam sem contacto. Neste caso a separação é temporal, ou seja, no intervalo de tempo em que alguém se encontra numa determinada zona a máquina não executa qualquer tarefa que possa resultar numa situação perigosa. Caso alguma tarefa desse tipo já se encontre em execução esta deve ser interrompida, sendo o tempo necessário a esta imobilização chamado de "tempo de parada/funcionamento por inércia". Devido a este tempo é necessário existir uma distância entre este dispositivo e a região de perigo. Na Figura 3.7 (b) está representada uma cortina de luz de segurança.

A utilização deste tipo de equipamento de proteção é preferível quando o operador tem de intervir regularmente na máquina, uma vez que assim não precisa de manipular um dispositivo de proteção mecânico nem de esperar pela abertura do mesmo, resultando em melhorias quer a nível de ergonomia do posto de trabalho quer a nível de produtividade.



(a) Equipamento de proteção mecânico.



(b) Equipamento de proteção eletrossensitivo.

Figura 3.7: Equipamentos de proteção. Adaptado de [4].

Contudo, estes dispositivos não podem ser aplicados quando se pretende proteger as pessoas de ejeções vindas da máquina, ou quando o tempo de parada é muito grande e obriga a utilizar distâncias mínimas incompatíveis com o projeto.

O cálculo da distância mínima de segurança para as diversas variantes de sistemas de proteção é descrito na norma ISO 13855 e é feito através da seguinte forma genérica:

$$S = K \cdot T + C \quad (3.2)$$

, onde  $S$  é a distância mínima,  $K$  é um parâmetro derivado dos dados de velocidade de aproximação,  $T$  é o tempo de parada e  $C$  representa a distância adicional de intrusão na área de perigo antes da deteção pelo dispositivo de proteção. [4][6]

Para além de assegurar que o dispositivo de proteção cumpre as distâncias requeridas para o seu correto funcionamento é também necessário assegurar que a sua montagem é feita de uma maneira que cobre todos os acessos possíveis à zona de perigo da máquina. A Figura 3.8 ilustra vários casos frequentes de montagens incorretas dos componentes de proteção, e que naturalmente devem ser evitadas.



Figura 3.8: Exemplos de montagem incorreta de equipamentos de proteção eletrossensitivos. Retirado de [4].

Para clarificar este processo encontra-se um exemplo do dimensionamento de um equipamento eletrossensitivo de proteção na Figura 3.9.

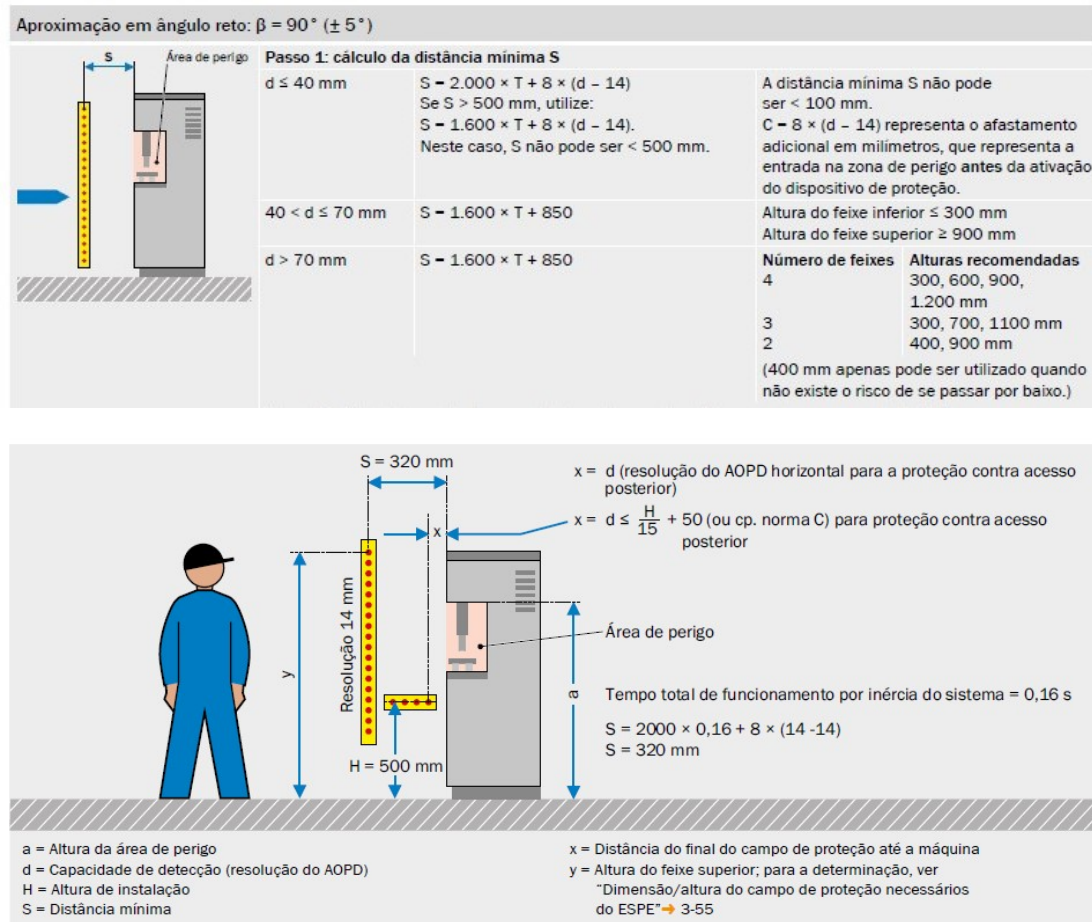


Figura 3.9: Dimensionamento de um equipamento de proteção eletrossensitivos. Retirado de [4].

### Integração em um comando

As funções e dispositivos de segurança, principalmente os equipamentos de proteção eletrossensitivos, detetores, etc., têm de ser integrados no comando da máquina para que esta possa agir de acordo com a informação que estes lhe passam. Contudo, como já foi referido anteriormente isto não vai ao encontro do presente trabalho pelo que não vai ser mais detalhado.

### Verificação das funções de segurança

O processo de verificação das funcionalidades de segurança pode ser dividido em verificação da execução mecânica e da segurança funcional.

Em relação ao primeiro caso, a verificação assenta principalmente sobre a separação ou o distanciamento entre os intervenientes e os pontos de perigo, e sobre a retenção de emissões e peças ejetadas, sendo ainda dada uma especial atenção à vertente ergonómica do projeto que será abordada mais à frente.

Na verificação da segurança funcional é calculado o nível de segurança real de acordo

com a norma que foi aplicada, por forma a averiguar se o nível de segurança necessário (PLr) é alcançado com as medidas de proteção implementadas.

A norma ISO 13849-1 estabelece dois procedimentos para determinar esse nível de desempenho, sendo um efetuado de forma simplificada e o outro de um modo mais detalhado.

Nos casos em que se tem informação sobre o nível de proteção dos subsistemas que em conjunto garantem as funções de segurança, que regra geral são fornecidas pelos seus fabricantes, é possível estimar de forma suficientemente precisa o nível de segurança total através da Figura 3.10 tendo apenas por base o nível de desempenho mais baixo presente no sistema e o número de subsistemas com este valor.

PL mais baixo de um subsistema	Quantidade de subsistemas com esse valor de PL	PL total máximo alcançável
a	> 3	-
	≤ 3	a
b	> 2	a
	≤ 2	b
c	> 2	b
	≤ 2	c
d	> 3	c
	≤ 3	d
e	> 3	d
	≤ 3	e

Figura 3.10: Cálculo simplificado do nível de desempenho. Adaptado de [4].

Em vez do valor de PL de cada subsistema os fabricantes podem fornecer o valor da probabilidade de ocorrer uma falha perigosa por hora (PFHd), a partir do qual se pode determinar o valor de PL de acordo com a Figura 3.11.

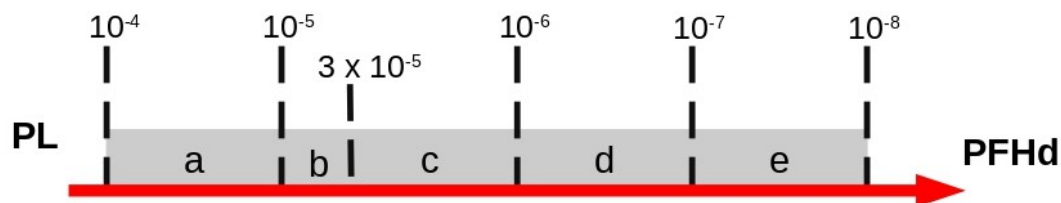


Figura 3.11: Cálculo do nível de desempenho através da probabilidade de falha por hora. Adaptado de [4].

No caso de não se saber nenhuma destas informações é necessário recorrer ao método de cálculo detalhado do nível de desempenho dos subsistemas. O cálculo em questão baseia-se nos seguintes parâmetros, que serão descritos de seguida:

- Comportamento da função de segurança sob condições de falha;
- Valores MTTFd de cada componente;
- Cobertura de diagnóstico;
- Falhas de causa comum.

Os sistemas de comando relacionados com a segurança são categorizados de acordo com o seu comportamento quando ocorrem falhas ou defeitos. Esta classificação encontra-se resumida na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Categorização de sistemas de comando associados à segurança. Adaptado de [4].

<b>Categoria</b>	<b>Comportamento do sistema</b>
B	- Uma falha pode originar a perda da função de segurança.
1	- Uma falha pode originar a perda da função de segurança, mas com menor probabilidade que na categoria B.
2	- Uma falha pode originar a perda da função de segurança, sendo que essa perda é detetada nas verificações.
3	- Quando ocorre um único erro a função de segurança é mantida. - Nem todos os defeitos podem ser detetados. - O acumular de erros não detetados pode originar a perda da função de segurança.
4	- Mesmo na presença de erros a função de segurança é mantida. - Os erros são detetados a tempo de comprometer a função de segurança.

Outro parâmetro a ter em conta é o tempo médio até ocorrer uma falha perigosa (MTTFd - *Mean Time To Failure dangerous*). O valor deste parâmetro é calculado através da expressão 3.3.

$$MTTFd = \frac{B_{10d}}{0,1 \cdot n_{op}} = \frac{B_{10d}}{0,1 \cdot d_{op} \cdot h_{op} \cdot C} \quad (3.3)$$

, onde  $n_{op}$  representa a frequência de utilização do equipamento por ano. Este valor pode ser calculado fazendo uma estimativa do número de utilizações por hora  $[C]$ , das horas de operação por dia  $[h_{op}]$  e dos dias úteis de funcionamento ao longo do ano  $[d_{op}]$ . Por sua vez,  $B_{10d}$  indica a quantidade de ciclos de utilização necessários até que 10% dos componentes falhem de forma a originarem situações perigosas. Este valor deve ser fornecido pelo fabricante.

De seguida é avaliada a capacidade de detetar falhas nos subsistemas, processo que se designa por cobertura de diagnóstico (DC - Diagnostic Cover). Para determinar o

valor deste parâmetro a norma ISO 13849-1 fornece no anexo E uma tabela com valores genéricos de DC de acordo com o tipo de equipamento e o modo de medição das falhas. A norma descreve também o modo de calcular o valor de DC para sistemas/subsistemas que possuam mais do que um meio de deteção de falhas.

Por fim é necessário avaliar se o sistema é suficientemente resistente a falhas que por si só podem fazer com que as funções desempenhadas por outros componentes falhem em simultaneamente, ainda que não tenha ocorrido uma falha nestes últimos. Este tipo de falhas é designado por falhas de causa comum (CCF - *Common Cause Failure*).

A norma considerada utiliza um método de pontos para quantificar a proteção do sistema contra as CCF, atribuindo uma pontuação a cada medida implementada de acordo com a sua importância. A partir de uma pontuação de 65 pontos considera-se que as medidas implementadas são suficientes. Este método encontra-se descrito no anexo F da norma ISO 13849-1.

Tendo-se reunido toda a informação acerca destes parâmetros é possível determinar o nível de desempenho do subsistema, recorrendo ao gráfico da Figura 3.12.

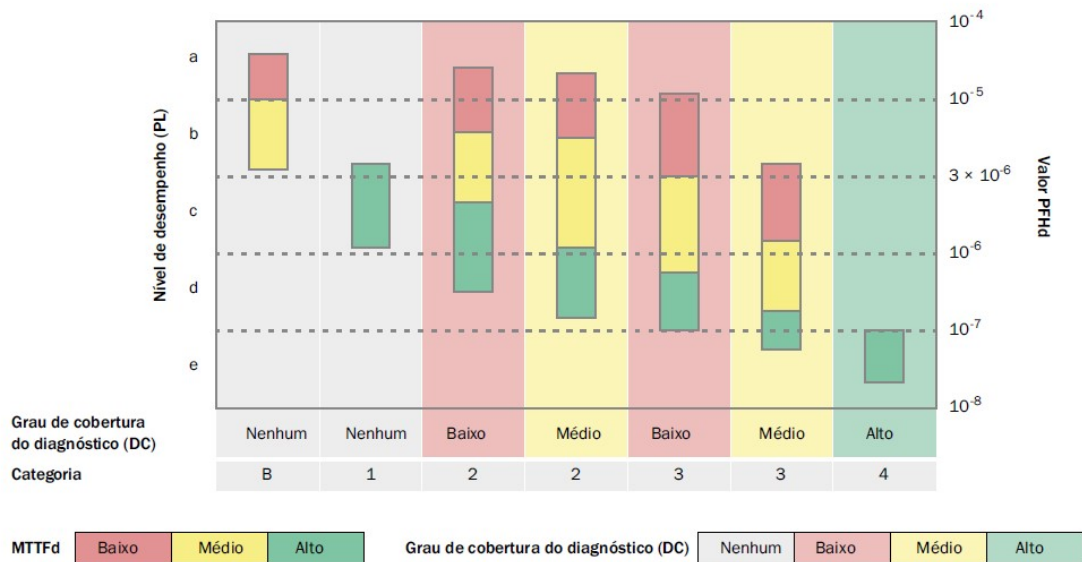


Figura 3.12: Cálculo do nível de desempenho através do processo detalhado. Retirado de [4].

Na prática o mais frequente é utilizar-se um *software* gratuito designado de SISTEMA para calcular o nível de desempenho do sistema, bem como para gerar relatórios que o comprovem.

### Validação das funções de segurança

Após a verificação, onde se avalia se as soluções foram implementadas de forma correta de acordo com as especificações é necessário avaliar se o objetivo principal de minimizar os riscos foi atingido.

Este processo tem como objetivo a verificação das especificações e da conformidade



de como os componentes envolvidos na segurança foram integrados na máquina. Este deve ser efetuado por pessoas que não estiveram envolvidas no projeto das partes de segurança e/ou comando relacionado com a segurança, tendo como referência a norma ISO 13849-2.

Os procedimentos tipicamente seguidos neste processo são os seguintes:

- Verificação técnica do posicionamento e eficácia dos dispositivos de proteção;
- Verificação prática da reação em caso de falhas em comparação com os resultados obtidos através de simulações;
- Validação das condições ambientais por intermédio de testes funcionais.

### 3.1.2.2.3 Informações ao usuário

Se nem as alterações efetuadas no projeto nem as proteções técnicas implementadas foram suficientes para reduzir os riscos até a um nível aceitável é necessário advertir os utilizadores e intervenientes da máquina acerca dos riscos residuais. Regra geral essa informação é transmitida dos seguintes modos:

- Dispositivos de alerta acústicos e visuais;
- Informações e avisos na máquina;
- Alertas no manual de operação;
- Formação para utilizar a máquina;
- Instruções para a utilização de equipamento de proteção individual.

## 3.2 Requisitos de ergonomia e postura no posto de trabalho

É sabido que os erros e acidentes no trabalho têm maior tendência a surgir quando o operador não se sente confortável/cómodo no posto de trabalho ou quando apresenta cansaço.

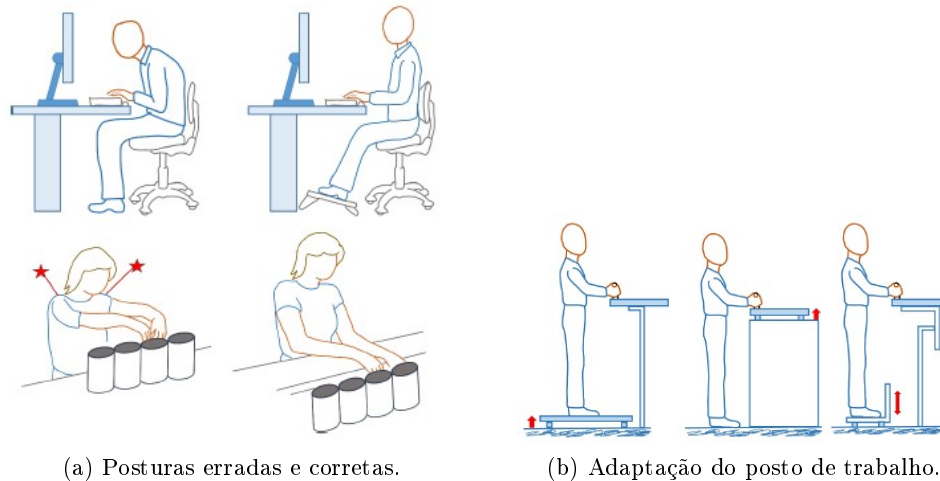
A ergonomia física promove a adequação entre o operador, a máquina e o ambiente físico de trabalho, colocando a vida humana em primeiro lugar e considerando a produtividade como um resultado e não como um objetivo primário. De modo a conseguir isto, a norma ISO 12100-2 recomenda uma série de medidas relativas a aspetos ergonómicos a implementar aquando do desenvolvimento do projeto de uma máquina, que se descrevem de seguida.

### Evitar posturas e movimentos desconfortáveis durante o uso da máquina:

O operador deve ter uma postura neutra, ou seja o seu corpo deve estar alinhado e balanceado, evitando-se ao máximo ter as articulações fora da posição neutra, tal como a coluna encurvada ou o punho em desvio, como se encontra ilustrado na Figura 3.13 (a). Para isso, os objetos, ferramentas e comandos de máquinas devem estar entre a linha dos ombros e a cintura por forma a que o operador execute o seu trabalho sem necessitar de elevar os braços acima da linha dos ombros ou curvar a coluna.

Uma vez que o posto de trabalho pode ser utilizado por operadores distintos e sobre os quais não se tem qualquer informação é necessário recorrer à ciência de medida do tamanho corporal, designada de antropometria, para dimensionar com correção o posto de trabalho, tendo também em conta o tipo de trabalho a realizar.

Regra geral utilizam-se percentis de forma a abranger a população comum de operadores, contudo o projeto do posto de trabalho deve contemplar componentes móveis de modo a permitir o ajuste a cada operador, como se representa na Figura 3.13 (b).



(a) Posturas erradas e corretas.

(b) Adaptação do posto de trabalho.

Figura 3.13: Postura no posto de trabalho. Adaptado de [7].

#### Evitar movimentos desconfortáveis e desgastantes durante o uso da máquina:

O posicionamento estático do corpo favorece a fadiga dos músculos por si só, pelo que se deve facilitar a movimentação de objetos e cargas pelo operador o máximo possível. O trabalhador deve ser capaz de realizar pausas e alongamentos antes, durante e/ou depois do trabalho, pelo que o seu ritmo de trabalho nunca deve estar associado a um ciclo de trabalho automático.

Quando o operador necessita de fazer uma força excessiva para desempenhar o seu trabalho o aparecimento de cansaço é mais propício, que se não for controlado pode ocasionar sobrecarga do operador e com o passar do tempo evoluir para distúrbios osteomusculares. Existem inúmeras situações em que a aplicação de força pelo operador é inevitável, porém de forma a tentar contrariar as consequência enumeradas atrás deve-se sempre que possível recorrer a sistemas mecanizados, utilizar equipamentos e ferramentas ergonómicas, com pegas, bom apoio para as mãos, etc. e com um bom braço de alavanca, como se representa na Figura 3.14 (a).

Outro fator que pode ajudar a minimizar o desgaste do operador é minimizar a sua movimentação, colocando os objetos a movimentar mais perto do operador ou dispostos de uma forma mais correta, como se ilustra na Figura 3.14 (b).

#### Evitar ruído, vibrações e condições térmicas perigosas:

Ainda que o ruído e vibrações presentes na máquina não sejam incómodos para o operador estes podem causar lesões a longo prazo, tais como perdas de audição, desequilíbrios, entre outros. Para além disso, a presença destes elementos pode prejudicar a comunicação ou a perceção de determinados avisos, pelo que devem ser reduzidos ou tomadas medidas para os contrariar ao máximo.

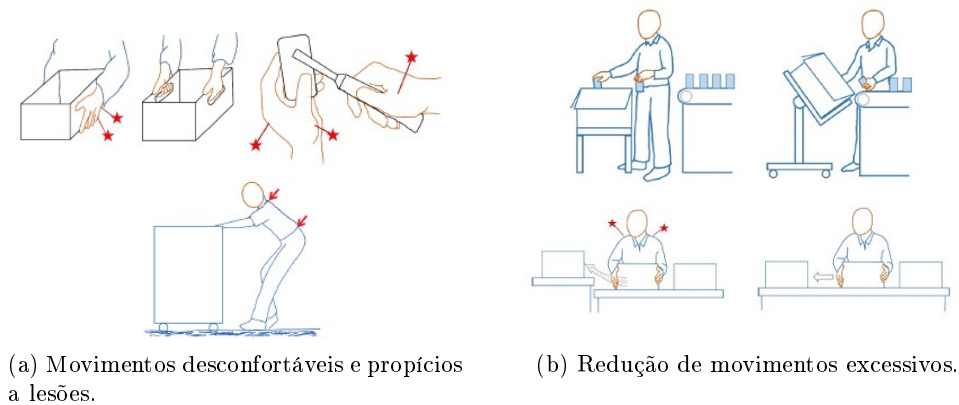


Figura 3.14: Movimentos no posto de trabalho. Adaptado de [7].

Em relação a condições térmicas desfavoráveis, para além dos perigos genéricos associados há que ter atenção o desconforto e cansaço, e as consequências que daí podem surgir.

Providenciar condições de iluminação adequadas no local de trabalho:

Uma iluminação deficiente para além de causar desconforto e fadiga afeta também a produtividade e a precisão dos trabalhadores, que pode ter consequências para a segurança dos mesmo pelo que as condições de iluminação se revelam de extremo interesse.

Projetar a máquina de acordo com a anatomia das partes do corpo humano que interagem com a máquina:

O projeto de componentes com os quais o operador vai interagir fisicamente devem ter em conta a anatomia da parte do corpo que vai realizar a interação e a função que vai ser desempenhada. Tendo como exemplo uma pega, esta deve ter uma forma que permita ao operador pegar com a mão de forma confortável e segura, reduzindo assim o desgaste e as lesões que daí podem surgir.

### 3.3 Marcação CE

Para que a máquina possa ser comercializada ou entrar em serviço esta necessita de ter a marcação CE por forma a garantir que esta vai de encontro aos requisitos impostos pelos organismos competentes, neste caso a União Europeia.

A sequência de passos para se obter a marcação CE após se ter efetuado o projeto da máquina está ilustrado na Figura 3.15.

Após se ter efetuado o projeto é necessário inicialmente verificar que este cumpre os requisitos essenciais de saúde e segurança (RESS) enunciados na diretiva 2006/42/CE. Caso isto não se verifique têm de se efetuar alterações no projeto nesse sentido.

A avaliação de conformidade pode ser feita através de um controlo interno realizado pelo fabricante, exceto para um leque de máquinas enunciado no anexo IV da diretiva em questão.

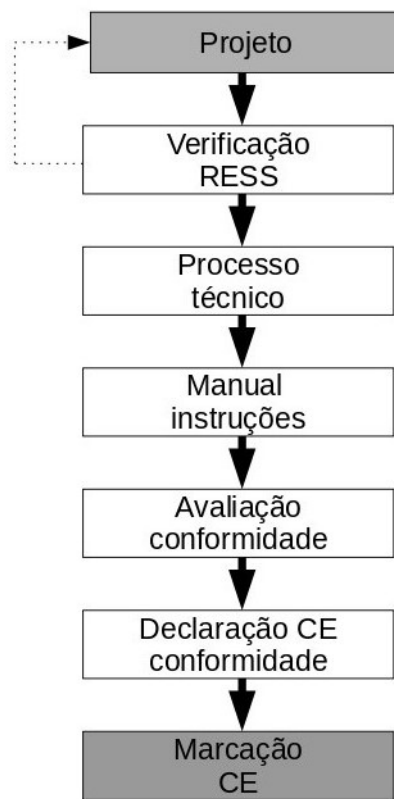


Figura 3.15: Processo de marcação CE.

A declaração CE de conformidade para uma máquina deve contemplar a informação relativa à empresa fabricante, ou de um mandatário seu, à pessoa autorizada a compilar o processo técnico, à máquina, ao organismo que efetuou o exame CE de tipo ou que aprovou a garantia de qualidade total, às normas e especificações técnicas utilizadas e à pessoa habilitada para redigir a própria declaração.

Caso se verifique a conformidade, as máquinas são distinguidas com a marcação CE. Esta marcação deve ser colocada na máquina num local bem visível, legível e indelével, geralmente na chapa de características e é constituída pelas letras C e E, como se representa na Figura 3.16.



Figura 3.16: Marca de conformidade CE. [2].

Esta marcação pode ser ampliada ou reduzida desde que a sua proporção se mantenha e que a sua dimensão vertical não seja inferior a 5 mm, com exceção para máquinas pequenas. Esta marcação deve ser colocada junto ao nome do fabricante da máquina ou do seu mandatário.

Uma vez que esta marcação representa a conformidade com uma diretiva da comunidade europeia o seu significado é válido em todos o seu espaço económico.

# Capítulo 4

## Casos de estudo

### 4.1 Introdução

No decorrer do estágio foram elaborados trabalhos em diversos projetos realizados pela empresa. Cada um desses projetos e os trabalhos neles desenvolvidos são apresentados de seguida sob a forma de casos de estudo, onde se descrevem em detalhe.

### 4.2 Caso de estudo 1 - Máquina de controlo de qualidade

#### 4.2.1 Introdução

O primeiro caso de estudo consistiu no desenvolvimento de algumas das áreas do projeto de uma máquina para controlo de qualidade de um componente automóvel, que era responsável pelas seguintes tarefas:

- Controlo dimensional;
- Controlo de estanqueidade;
- Marcação do componente com um código Datamatrix.

O componente a avaliar encontra-se ilustrado na Figura 4.1.

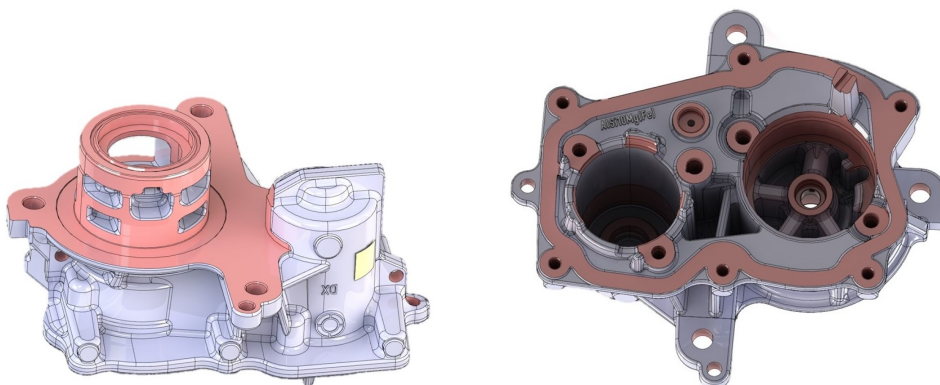


Figura 4.1: Componente a ser controlado pela máquina.

No que diz respeito ao controlo dimensional, o cliente pretendia que se verificasse

que o furo com 2 mm de diâmetro que se encontra ilustrado na Figura 4.2 (a) não se encontrava obstruído, e que se verificasse se os furos com diâmetro nominal de 5 mm e 13,5 mm, que se representam nas Figuras 4.2 (b) e (c), respeitavam as tolerâncias associadas.

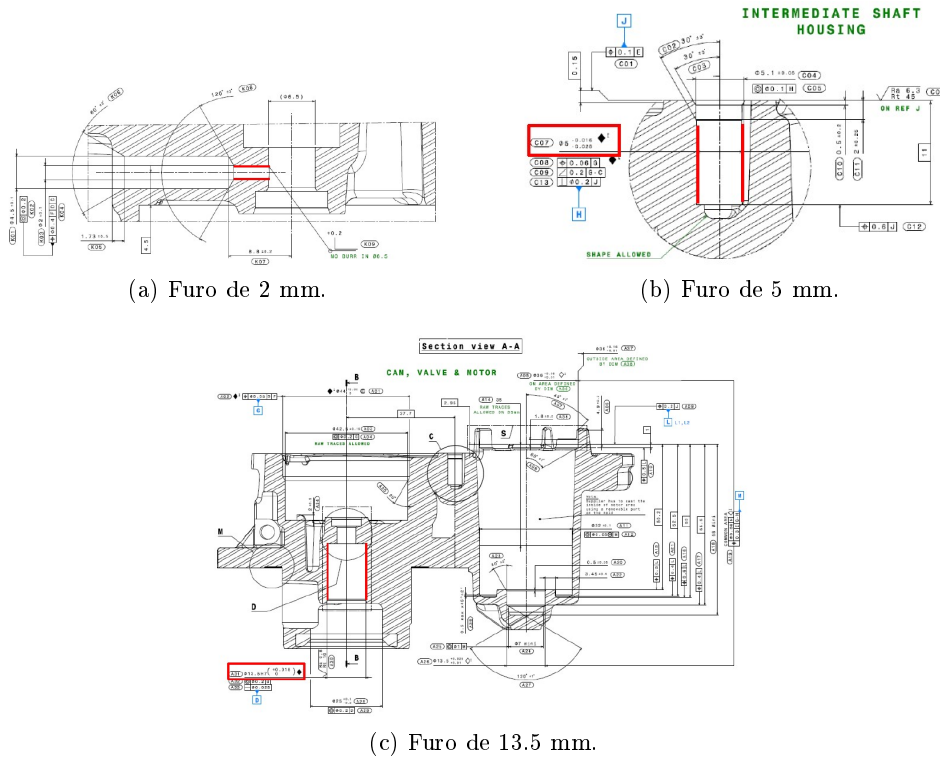


Figura 4.2: Furos a realizar o controlo dimensional ou de obstrução.

No que diz respeito à marcação com Datamatrix o cliente requereu que esta fosse feita na região assinalada na Figura 4.3 e indicou também a posição do laser em relação à peça, de modo a garantir uma correta gravação do código no componente.

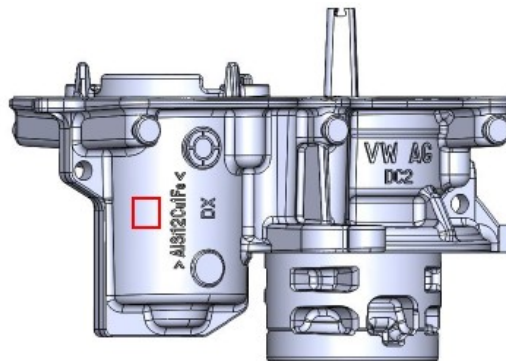


Figura 4.3: Localização da marcação Datamatrix.

Em relação à verificação da estanqueidade o cliente forneceu também o equipamento

para fazer essa avaliação, ficando apenas a cargo da equipa de projeto a conceção do restante sistema para trabalhar de acordo com esse equipamento. As regiões que são necessárias tamponar para a realização deste teste encontram-se ilustradas na Figura 4.4.

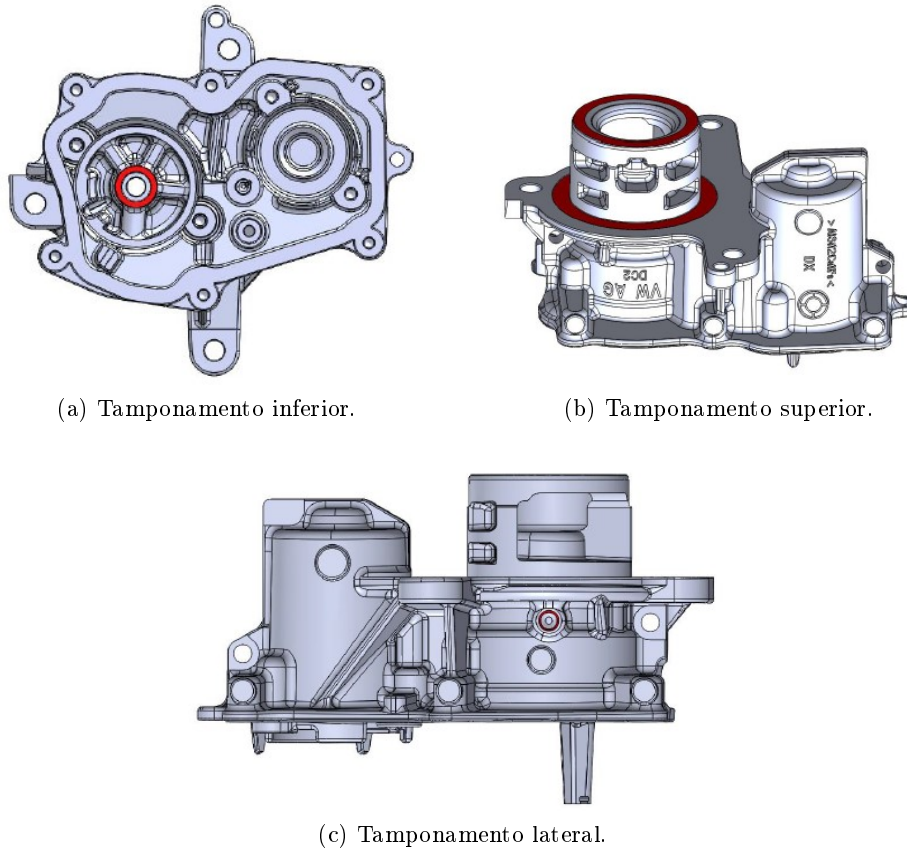


Figura 4.4: Zonas de tamponamento para o controlo de estanqueidade.

Deste modo, a máquina possui quatro postos de funcionamento sendo eles o posto de desbloqueio que é o posto onde os operadores carregam e descarregam as peças a avaliar, seguindo-se o posto de controlo dimensional, depois o posto de estanqueidade e por fim o posto de gravação com código Datamatrix.

Para além dos requisitos de funcionamento, o cliente indicou a intenção de revalidar alguns componentes de uma máquina que era sua propriedade e iria ser desmantelada. Entre estes componentes estavam as válvulas distribuidoras do sistema pneumático, os fechos de segurança das portas e as barreiras de segurança, bem como os respetivos relés.

#### 4.2.2 Projeto mecânico

Uma vez que esta máquina faz parte de um tipo de máquinas que é realizada frequentemente pela empresa, as etapas de desenvolvimento do conceito e suas associadas não foram realizadas, uma vez que já é conhecido qual o conceito e características que geram mais satisfação nos clientes, bem como os potenciais problemas, e por aí adiante.

Os componentes foram selecionados de acordo com as opções oferecidas pelos forne-



cedores da empresa onde se realizou o estágio, tendo-se utilizado componentes de outras marcas apenas quando era estritamente necessário.

As componentes do projeto mecânico que foram realizadas foram as seguintes e serão descritas de seguida:

- Posto de desbloqueio;
- Sistema pneumático.

#### Posto de desbloqueio

O posto de desbloqueio foi feito de maneira a que o operador apenas tivesse de descarregar e carregar os componentes na máquina, sendo o seu bloqueio/desbloqueio feito de forma automática. Para efetuar esta operação utilizaram-se duas garras que exercem carga contra a peça devido ao efeito de uma mola, como se ilustra na Figura 4.5. Projetaram-se os componentes para que a mola estivesse sempre comprimida em relação à sua posição natural, mesmo na posição onde está mais estendida, por forma a que as garras estivessem sempre em carga contra a peça. Por sua vez o desbloqueio é feito através de um atuador que eleva as garras em relação à peça.

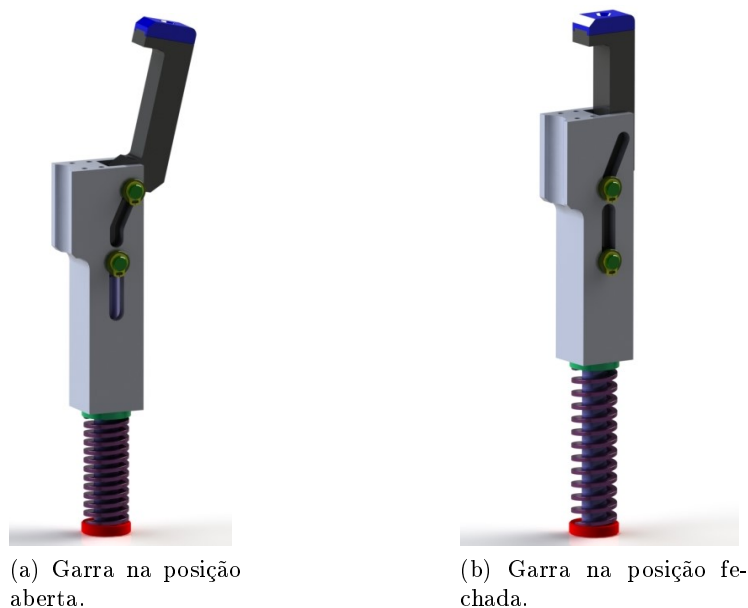


Figura 4.5: Garras de aperto da peça.

Estes componentes associados ao bloqueio das peças estão mecanicamente ligados ao gabarito que aloja a peça e percorre os vários postos da máquina, como é natural visto que a peça tem de estar sempre bloqueada, estando os componentes responsáveis pela abertura das garras acoplados às placas base da máquina, no local onde é feita a carga e descarga da peça, como se ilustra na Figura 4.6.

Estas ligações foram feitas com recurso a parafusos, sendo que a análise de esforços e os cálculos para a sua seleção encontram-se de seguida.

Optou-se por utilizar parafusos de cabeça cilíndrica de oco hexagonal (CHC), com

a cabeça alojada em caixas para minimizar o espaço ocupado. Tendo em conta que a classe de material mais baixa deste tipo de parafusos é 8.8 foi com esta classe que se iniciaram os cálculos. Para além disso considerou-se também que os parafusos a utilizar em primeira opção seriam M10 devido a uma questão de DFA (*Design for assembly*) e para aproveitar aspetos já existentes de outros projetos, o que no caso da ligação do atuador à sua placa de suporte (a verde na Figura 4.7) já está condicionado pelos furos roscados do próprio atuador.

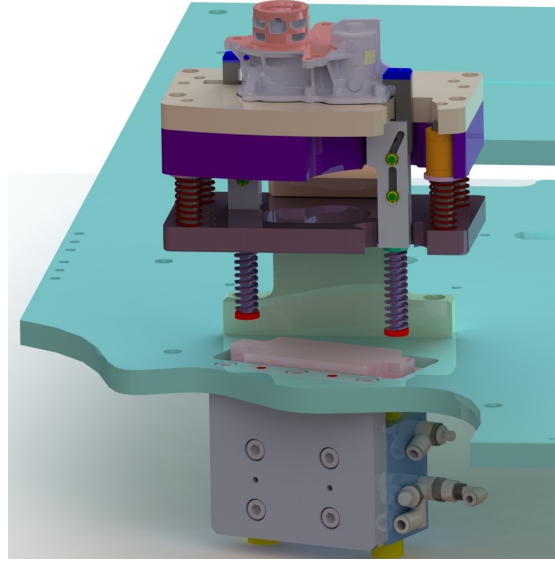


Figura 4.6: Posto de carga e descarga da peça.

Os quatro parafusos que ligam o atuador à placa de suporte são solicitados por esforços de corte, pelo que o seu dimensionamento é feito tendo em conta os aspetos e as equações seguintes.

Ora, para parafusos desta classe a carga máxima admissível na ligação é dada pela equação 4.1.

$$F_S = \frac{K_S \cdot \mu \cdot F_{P,C} \cdot n_b \cdot n_s}{\gamma_s} = \frac{K_S \cdot \mu \cdot 0,7 \cdot \sigma_o \cdot A_s \cdot n_b \cdot n_s}{\gamma_s} \quad (4.1)$$

, onde  $K_S$  e  $\mu$  são parâmetros relativos à ligação,  $\sigma_o$  é a tensão de rutura do parafuso,  $A_s$  é a área resistente do parafuso,  $n_b$  é o número de parafusos da ligação,  $n_s$  é o número de planos de escorregamento e  $\gamma_s$  é o coeficiente de segurança. [1] [8]

Considerando então quatro parafusos M10 ( $A_s=58 \text{ mm}^2$ ) com material de classe 8.8 ( $\sigma_o=800 \text{ MPa}$ ), furos normais, esforços predominantes ao corte e um coeficiente de segurança de 1,5 a carga máxima que a ligação consegue suportar ao corte é:

$$F_S = \frac{1 \cdot 0,3 \cdot 0,7 \cdot 800 \cdot 58 \cdot 4 \cdot 1}{1,5} = 25984 \text{ N} \quad (4.2)$$

A força aplicada na ligação corresponde à massa que é elevada pelo atuador, mais a sua própria massa e a carga que as molas aplicam no atuador como reação, tendo-se considerado o valor máximo deste último por corresponder ao cenário mais severo. Para

o cálculo utilizar-se-á as equações 4.3, 4.4 e 4.5, e os valores considerados encontram-se na Tabela 4.1.

$$F_{aplicada} = (F_{mola} + Peso) \cdot n_{garras} \quad (4.3)$$

$$F_{mola} = K_{mola} \cdot \Delta_{mola} \quad (4.4)$$

$$Peso = m_{suspensa} \cdot g \quad (4.5)$$

Tabela 4.1: Valores dos parâmetros necessários para o dimensionamento da ligação aparafusada do suporte do atuador do posto de desbloqueio.

Parâmetro	Valor	Unidade
$K_{mola}$	10,2	N/mm
$\Delta_{mola}$	33,1	mm
$m_{suspensa}$	8,37	kg
$g$	9,8	m/s <sup>2</sup>

A força aplicada tem um valor de 839,3 N que é inferior à força máxima admissível. Ainda para mais, foi considerado que toda a carga era suportada pelos parafusos, quando é o atrito entre os componentes que suporta a maioria, pelo que a ligação está validada com uma grande margem de segurança.

No que diz respeito aos parafusos que fazem a ligação de todos os componentes associados ao atuador à placa base da máquina (a vermelho na Figura 4.7), a análise foi feita considerando as forças de tração presentes nos mesmos. Uma vez que a distância entre o eixo dos parafusos e a linha de aplicação da força era desprezável não se consideraram quaisquer efeitos de flexão.

Desta forma fizeram-se as análises à separação dos componentes a ligar e à cedência do parafuso, com recurso às equações 4.6 e 4.7 respetivamente, tendo-se verificado o dimensionamento com o cálculo à fadiga uma vez que estes parafusos estão sujeitos a variações de carga cíclica devido ao bloqueio e desbloqueio da peça.

$$F \leq \frac{\eta_i \cdot A_s \cdot \sigma_o \cdot n_b}{(1 - C_b) \cdot \gamma_s} \quad (4.6)$$

$$F \leq \frac{(1 - \eta_i) \cdot A_s \cdot \sigma_o \cdot n_b}{C_b \cdot \gamma_s} \quad (4.7)$$

, onde  $\eta_i$  corresponde ao fator de pré-carga e  $C_b$  é um parâmetro relativo à rigidez da ligação, para os quais se assumem os valores de 0,9 e 0,2, respetivamente. [8]

Considerando três parafusos ao longo da placa a força máxima admissível na ligação é a menor das seguintes:

$$F \leq \frac{0,9 \cdot 58 \cdot 800 \cdot 3}{(1 - 0,2) \cdot 1,5} = 104400 \text{ N} \quad (4.8)$$

$$F \leq \frac{(1 - 0,9) \cdot 58 \cdot 800 \cdot 3}{0,2 \cdot 1,5} = 46400 \text{ N} \quad (4.9)$$

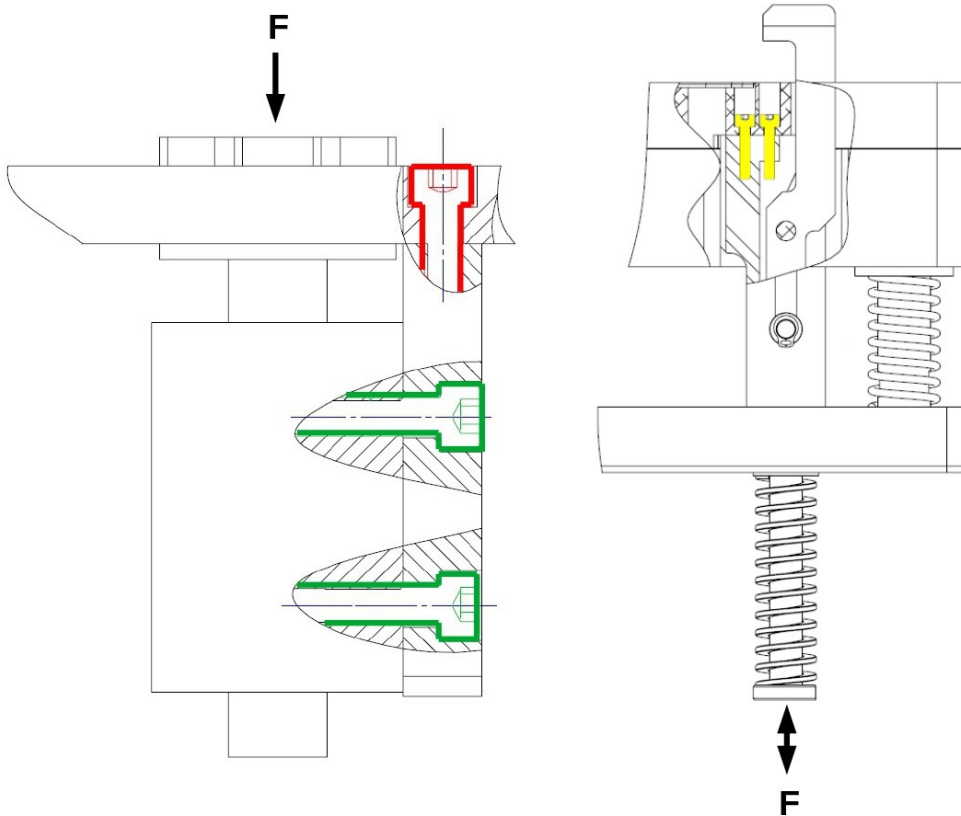


Figura 4.7: Diagrama de forças nas ligações aparafusadas do posto de desbloqueio.

A força aplicada nesta ligação é ligeiramente superior à considerada na ligação anterior uma vez que é também necessário considerar a massa da placa de ligação do atuador, cujo valor é de 2,44 kg, obtendo-se um valor para a força aplicada de 887,12 N. Mais uma vez a força aplicada é inferior à admissível pelo que a ligação está validada segundo estes critérios.

Para o cálculo à fadiga é necessário calcular a tensão máxima ( $\sigma_{max}$ ) e mínima ( $\sigma_{min}$ ) de modo a obter a amplitude de variação da tensão ( $\sigma_a$ ) e o seu valor médio ( $\sigma_m$ ), sendo isto feito com recurso às seguintes equações pela respetiva ordem. A força mínima corresponde apenas ao peso dos componentes suspensos quando o atuador não está em contacto com as garras, pelo que massa móvel do conjunto das garras não é considerado, o que resulta numa massa suspensa com valor de 7,26 kg.

$$\sigma_{max} = \eta_i \cdot \sigma_o + \frac{C_b \cdot \gamma_s \cdot F_{max}}{n_b \cdot A_s} = 0,9 \cdot 800 + \frac{0,9 \cdot 1,5 \cdot 887,12}{3 \cdot 58} = 721,53 \text{ MPa} \quad (4.10)$$

$$\sigma_{min} = \eta_i \cdot \sigma_o + \frac{C_b \cdot \gamma_s \cdot F_{min}}{n_b \cdot A_s} = 0,9 \cdot 800 + \frac{0,9 \cdot 1,5 \cdot 142,30}{3 \cdot 58} = 720,25 \text{ MPa} \quad (4.11)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \frac{721,53 - 720,25}{2} = 0,64 \text{ MPa} \quad (4.12)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = 720,89 \text{ MPa} \quad (4.13)$$

Segundo o critério de Gerber a seguinte condição deve ser verificada para que a ligação não ceda à fadiga: [1]

$$\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_e}\right) + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_o}\right)^2 < 1 \Leftrightarrow \left(\frac{0,64}{640}\right) + \left(\frac{720,89}{800}\right)^2 < 1 \Leftrightarrow 0,81 < 1 \quad (4.14)$$

As ligações relativas ao atuador estão então validadas segundo todos os critérios. As mesmas possuem um sobredimensionamento excessivo, contudo por se tratar de componentes cujo valor é pouco relevante no global da máquina é preferível fazê-lo por forma a ter parafusos comuns a vários postos da máquina, reduzindo assim o tempo de montagem.

Em relação à ligação aparafusada entre o corpo das garras e o gabarito de suporte da peça (a amarelo na Figura 4.7), os esforços foram também de tração e com cargas variáveis pelo que a análise sucedeu do mesmo modo do que para a ligação da placa de suporte do atuador. Neste caso a força exercida pela mola atua no sentido de comprimir a ligação aquando da abertura da garra e de a separar quando a garra está na posição de bloqueio. Deste modo o dimensionamento à separação e à cedência dos parafusos é feito tendo em conta o peso gerado pela massa suspensa, cujo valor é 0,210 kg, e a força da mola na posição de bloqueio, o que resulta numa força aplicada na ligação de 432,52 N.

Considerando quatro parafusos M4, a força aplicada não deve exceder os seguintes valores, o que se verifica estando o dimensionamento validado segundo esses critérios.

$$F \leq \frac{0,9 \cdot 5,03 \cdot 800 \cdot 4}{(1 - 0,2) \cdot 1,5} = 12072 \text{ N} \quad (4.15)$$

$$F \leq \frac{(1 - 0,9) \cdot 5,03 \cdot 800 \cdot 4}{0,2 \cdot 1,5} = 5365,33 \text{ N} \quad (4.16)$$

No que diz respeito à fadiga a força máxima é a força considerada nas análises anteriores, sendo a força mínima calculada através da diferença entre a força da mola na posição de abertura e o peso dos componentes suspensos.

Deste modo, as tensões necessárias ao cálculo assumem os seguintes valores:

$$\sigma_{max} = \eta_i \cdot \sigma_o + \frac{C_b \cdot \gamma_s \cdot F_{max}}{n_b \cdot A_s} = 0,9 \cdot 800 + \frac{0,9 \cdot 1,5 \cdot 432,516}{4 \cdot 5,03} = 726,45 \text{ MPa} \quad (4.17)$$

$$\sigma_{min} = \eta_i \cdot \sigma_o + \frac{C_b \cdot \gamma_s \cdot F_{min}}{n_b \cdot A_s} = 0,9 \cdot 800 + \frac{0,9 \cdot 1,5 \cdot (-671,124)}{4 \cdot 5,03} = 710 \text{ MPa} \quad (4.18)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \frac{726,45 - 710}{2} = 8,23 \text{ MPa} \quad (4.19)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = \frac{726,45 + 710}{2} = 718,23 \text{ MPa} \quad (4.20)$$

Recorrendo novamente ao critério de Gerber, verifica-se que a ligação não cede por fadiga, estando a mesma validada.

$$\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_e}\right) + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_o}\right)^2 < 1 \Leftrightarrow \left(\frac{8,23}{640}\right) + \left(\frac{718,23}{800}\right)^2 < 1 \Leftrightarrow 0,82 < 1 \quad (4.21)$$

Mais uma vez os parafusos estão sobredimensionados, mas como estes já são de uma dimensão reduzida optou-se por utilizar M4 de forma a ser comum a outras ligações. A escolha de colocar quatro parafusos deveu-se ao melhor alinhamento do componente que deste modo é obtido. Para além dos aspetos referidos como o projeto deriva de um anterior utilizou-se os mesmos tamanhos e número de parafusos, tendo-se apenas verificado se eram suficientes para suportar os esforços que lhes estão associados.

No que diz respeito aos furos o próprio *software* de desenho já segue as normas aquando da sua criação, tendo-se apenas ajustado o seu comprimento, dentro do admissível, para haver o maior número de parafusos iguais possível para facilitar o processo de montagem.

### Sistema pneumático

O projeto da componente pneumática da máquina passou numa fase inicial pela seleção do tipo de componentes a utilizar para obter o funcionamento desejado, seguindo-se o seu dimensionamento e por fim a seleção dos componentes em função dos resultados do dimensionamento.

Por forma a organizar a informação, o projeto do sistema pneumático vai ser analisado desde o fornecimento de ar, seguido da distribuição pelas diferentes linhas de pressão até chegar aos atuadores e equipamentos.

No que diz respeito às válvulas distribuidoras foram utilizadas válvulas de duas posições e cinco vias, atuadas por solenóide e pilotadas, para reutilizar essas mesmas válvulas como era intenção do cliente, salvo alguns casos especificados mais à frente.

Foram criadas cinco linhas de pressão, destinadas aos seguintes equipamentos:

- Ilha de válvulas 1;
- Ilha de válvulas 2;
- Sopros;
- Equipamento de estanqueidade;
- Tomadas de ar auxiliares (engates rápidos).

O fornecimento de ar comprimido foi complementado com uma unidade de tratamento de ar convencional, sendo que o ar destinado aos atuadores passa ainda por uma válvula de arranque progressivo para evitar instabilidades que são frequentes no arranque da máquina.

A seguir à unidade de tratamento de ar colocou-se também um reservatório de ar pressurizado, com capacidade suficiente para garantir que o sistema consegue funcionar até atingir um estado de segurança no caso da falta de ar.

Antes de analisar especificamente cada posto há que referir os aspetos comuns a todos eles.

De modo a ter um movimento controlado e suave, o caudal de todos os atuadores foi regulado. Para o efeito utilizaram-se válvulas de controlo de caudal (restritor+*bypass*), representadas na Figura 4.8 (a), montadas de forma a controlar o fluido de escape, sistema designado por *meter-out*, como se ilustra na Figura 4.8 (b).

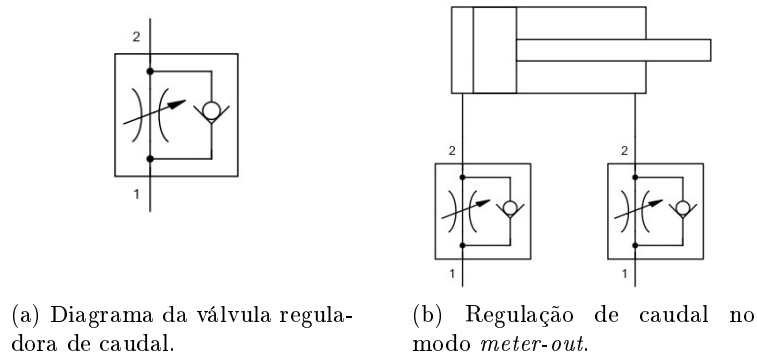


Figura 4.8: Modo de regulação de caudal nos atuadores.

O controlo foi feito deste modo devido à compressibilidade do ar, como se explica de seguida. Para que haja movimento no atuador, o ar começa a entrar no cilindro e a pressão vai aumentando gradualmente até gerar uma força suficiente para despoletar o movimento. Ora como o atrito estático é superior ao atrito dinâmico, a força requerida para mover o atuador quando este já se encontra em movimento é inferior à força necessária para o começar a mover. Desta forma o ar no cilindro expande, aumentando a velocidade do atuador. De seguida, como o atuador se moveu rápido demais o caudal de entrada não é suficiente para preencher a câmara, levando a que o atuador abrande ou pare. Este processo de movimento aos solavancos pode mesmo durar até ao fim do curso do atuador.

Tendo isto em conta, se o controlo do caudal for feito na entrada este problema vai ocorrer na mesma, mas se o caudal de escape for regulado, a expansão do ar devido à diminuição da resistência ao movimento não vai ocorrer uma vez que o caudal de saída está limitado, resultando num movimento constante e controlado do atuador.

Utilizaram-se silenciadores em todas as linhas de escape do sistema de modo a prevenir problemas de saúde nos intervenientes, bem como para evitar desconfortos no seu conforto no local de trabalho.

Para os atuadores onde era necessário implementar medidas de segurança para impedir a queda do atuador, no caso de ocorrer alguma falha, utilizou-se uma válvula reguladora de caudal com um *bypass* adicional pilotado, de modo a permitir o movimento do atuador no sentido da sua queda apenas quando a linha responsável por esse movimento tem pressão. Deste modo em caso de falta ou corte do ar a pressão da linha de pilotagem é nula, o que faz com que deixe de fazer resistência contra a mola da válvula de *bypass*, fechando-se esta como consequência. No caso de haver pressão na linha responsável pelo movimento descendente, a linha de pilotagem vai ter pressão, abrindo a válvula de *bypass* e permitindo o movimento desejado do atuador.

O diagrama da válvula e o seu modo de montagem estão representados na Figura 4.9 (a) e (b), respetivamente.

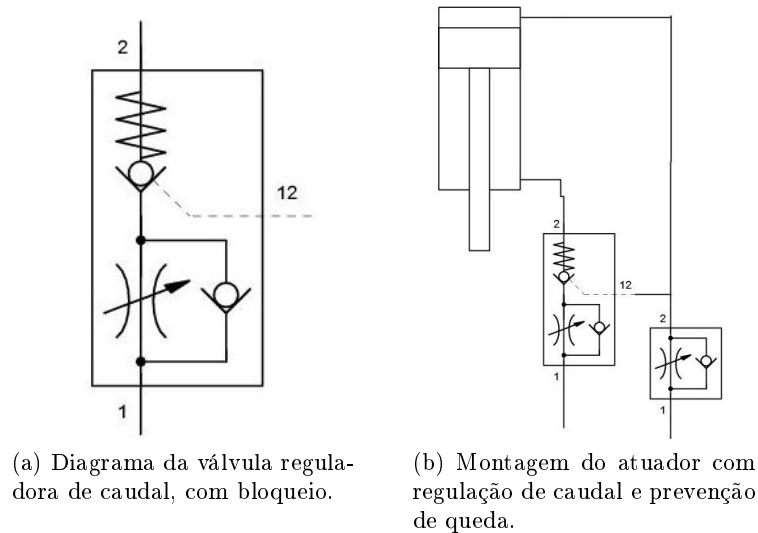


Figura 4.9: Modo de regulação de caudal, com prevenção de queda nos atuadores. Adaptado de [9].

Há que ter em atenção e seguir as informações do fabricante, que indica que este componente não é totalmente isento de fugas e por isso não deve ser usado para bloqueios contínuos do atuador. Assim sendo nunca se deve cortar a alimentação da máquina sem que os atuadores estejam na posição de repouso, informação que consta no manual de instruções da máquina, e no guia de manutenção.

No que diz respeito aos atuadores, na generalidade dos casos escolheu-se um tipo de atuador que facilitasse a montagem aos componentes do posto onde iriam trabalhar, seguindo-se o processo de dimensionamento em função dos esforços e do curso que lhes é requerido. No que diz respeito aos esforços, utilizaram-se as equações 4.22 e 4.23 para determinar a força que o atuador executa no seu movimento de avanço e de recuo, respetivamente. Uma vez que para o caudal com que as válvulas direcionais operam a queda de pressão através delas pode ser desprezada, considerou-se uma pressão de trabalho ( $P$ ) de 6 bar e uma eficiência dos atuadores de 95%.

$$F_{cilindro,avanço} = P \cdot A \cdot Eficiência = P \cdot \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4}\right) \cdot Eficiência \quad (4.22)$$

$$F_{cilindro,recuo} = P \cdot A \cdot Eficiência = P \cdot \left(\pi \cdot \frac{D^2 - d^2}{4}\right) \cdot Eficiência \quad (4.23)$$

Analisando agora cada posto da máquina individualmente, para o acionamento do desbloqueio da peça no posto de carga e descarga utilizou-se um cilindro do tipo MGP da marca SMC devido principalmente a dois fatores:



- Dimensão reduzida e versatilidade de montagem, o que facilita a conjugação deste componente com outros no mesmo espaço;
- Êmbolo com uma base retangular na extremidade, ideal quando se requer áreas de atuação superiores.

A força que o cilindro tem de executar neste posto corresponde à compressão da mola ( $F_{mola}$ ) e à elevação dos componentes que se movem no movimento de desbloqueio ( $Peso$ ), multiplicado pelo número de grampos ( $n_{grampos}$ ). Este valor é naturalmente afetado pelo coeficiente de segurança ( $\eta$ ), cujo valor mínimo se considerou 1,5 para todos os atuadores da máquina.

Deste modo, a força requerida ao cilindro é calculada através da equação 4.24, e a força exercida pelo cilindro é calculada através da equação 4.22 uma vez que é no seu movimento de avanço que executa o trabalho. Os valores utilizados e os resultados obtidos no dimensionamento encontram-se na Tabela 4.2.

$$F_{requerida,desbloqueio} = [(F_{mola} + Peso) \cdot n_{grampos}] \cdot \eta \quad (4.24)$$

Tabela 4.2: Valores dos parâmetros e resultados do dimensionamento, e respetiva seleção do atuador do posto de desbloqueio. [10]

Parâmetros				
$K_{mola}$ (N/mm)	$\delta_{mola}$ (mm)	$m_{suspensa}$ (kg)	$g$ (m/s <sup>2</sup> )	$n_{grampos}$
10,2	33,1	3,55	9,8	2
Força requerida (N)				
1117,23				
Resultados				
<b>D (mm)</b>	32		40	50
<b>F (N)</b>	458,42	716,28	1119,19	
Atuador selecionado				
MGPM 50-40Z (SMC)				

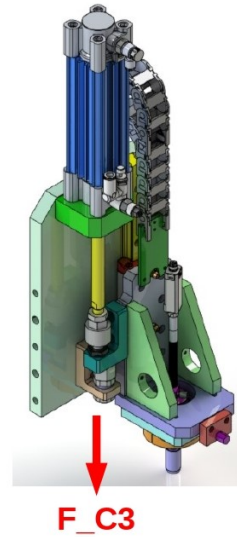
No posto de desbloqueio existem ainda dois sistemas de sopro, um responsável pela limpeza do gabarito e outro responsável pela limpeza da peça, sendo utilizada uma válvula de três vias e duas posições e retorno por mola para atuar cada um deles.

No que diz respeito ao posto de controlo dimensional são utilizados dois atuadores, um para efetuar o controlo de cada furo. Como a função é apenas verificar a dimensão do furo, o esforço requerido aos atuadores é apenas relacionado com a movimentação dos componentes necessários à operação, componentes estes que estão representados na Figura 4.10 (a) e (b).

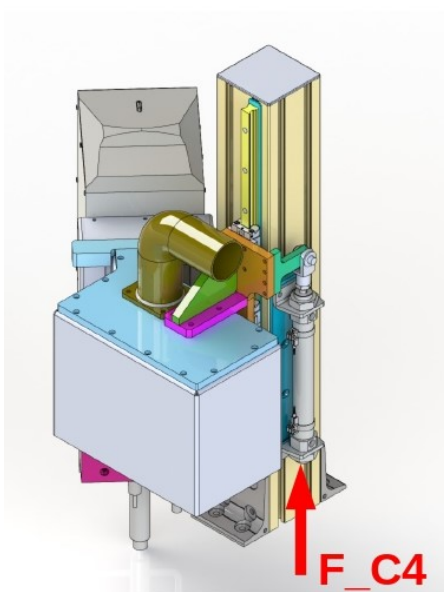
A única diferença no funcionamento dos atuadores é que para controlar o furo com 5 mm de diâmetro o cilindro encontra-se abaixo deste, logo a elevação dos componentes corresponde ao movimento de avanço do cilindro, enquanto que o inverso acontece para controlar o furo com 13,5 mm de diâmetro, onde a elevação dos componentes ocorre no movimento de recuo do cilindro. Deste modo, a força exercida pelo cilindro C2 e C3 é calculada através da equação 4.22 e 4.23, respetivamente.



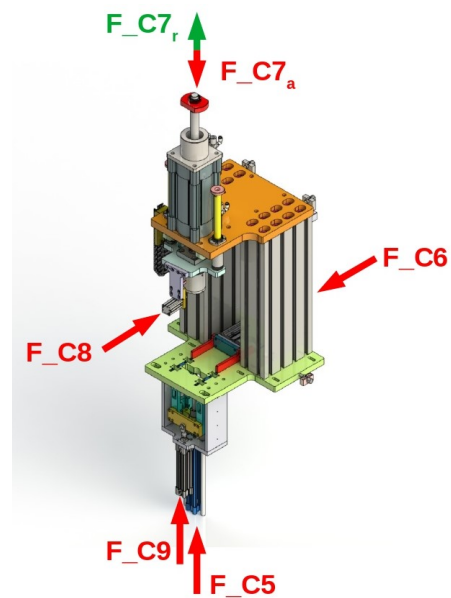
(a) Posto de controlo - Furo D5 mm.



(b) Posto de controlo - Furo D13,5 mm.



(c) Posto de gravação.



(d) Posto de estanqueidade.

Figura 4.10: Diagramas de forças nos atuadores.

A força requerida aos atuadores é calculada através da equação 4.5 e 4.25. Os valores utilizados nos cálculos e os respetivos resultados encontram-se na Tabela 4.3.

$$F_{requerida,controle} = Peso \cdot \eta \quad (4.25)$$

Tabela 4.3: Valores dos parâmetros e resultados do dimensionamento, e respetiva seleção do atuador do posto de controlo. [11]

Parâmetros		
$m_{suspensa,C2}$ (kg)	$m_{suspensa,C3}$ (kg)	$g$ (m/s <sup>2</sup> )
16,24	13,55	9,8
Força requerida (N)		
C2	C3	
238,73	199,19	
Resultados		
	C2	C3
D (mm)	32	32
d (mm)	12	12
F (N)	458,42	393,96
Atuador selecionado		
CP96SDB32-220C (SMC)		

Embora que os cilindros executem quase o dobro da força necessária, estes foram selecionados por ser a solução mais baixa do fabricante.

A componente de atuação do posto de gravação também tem apenas como função a movimentação de componentes, neste caso associados ao extrator de fumos e proteções do laser, representados na Figura 4.10 (c). Assim sendo, a força requerida ao atuador calcula-se do mesmo modo que para o posto de controlo.

Como a elevação dos componentes é feita no movimento de avanço do atuador a força exercida por este calcula-se através da equação 4.22. Os valores utilizados nos cálculos e os respetivos resultados encontram-se na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Valores dos parâmetros e resultados do dimensionamento, e respetiva seleção do atuador do posto de gravação. [12]

Parâmetros			
$m_{suspensa}$ (kg)	$g$ (m/s <sup>2</sup> )		
9,14	9,8		
Força requerida (N)			
268,72			
Resultados			
D (mm)	16	20	25
F (N)	114,61	179,07	279,80
Atuador selecionado			
CD85E25-140 MW (SMC)			

A válvula distribuidora do atuador do posto de marcação difere das restantes devido aos cuidados redobrados que é necessário ter quando se trabalha com equipamentos de laser. Assim sendo, utiliza-se uma válvula que garante a eliminação de qualquer pressão residual no sistema, o que garante que em instância alguma o laser deixa de ter proteção. O esquema dessa válvula encontra-se na Figura 4.11.

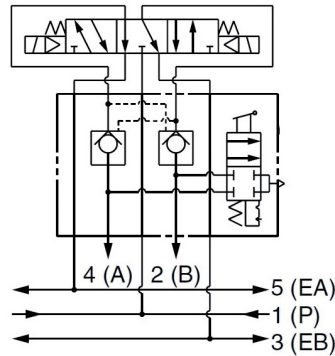


Figura 4.11: Válvula de eliminação de pressão residual e bloqueio de posição mecânico. Retirado de [13].

Por fim, em relação ao posto de estanqueidade há que ter em conta que para além do esforço necessário para mover os componentes é necessário suportar a força aplicada nos componentes de tamponamento devido à pressão do fluido utilizado para o teste da estanqueidade. Existem as três situações possíveis de combinação de esforços que se ilustram na Figura 4.10 (d).

Tendo isto em mente, o cilindro de tamponamento superior (C7) tem de garantir uma força suficiente para sustentar a pressão do teste no seu movimento de avanço e ser capaz de elevar os componentes móveis associados ao tamponamento no movimento de recuo. O cilindro de tamponamento do furo com 4,5 mm de diâmetro (C8) tem de suportar apenas a pressão do teste no seu movimento de avanço, uma vez que este tamponamento efetua-se com um movimento horizontal. Por sua vez, o cilindro de tamponamento inferior (C9) tem de suportar o combinado das forças de elevação dos componentes móveis e de sustentação da pressão do ensaio de estanqueidade. Por fim, o cilindro de reação vertical (C5) tem apenas de suportar o peso dos componentes.

As equações que permitem calcular a força devido à pressão e as forças requeridas em cada atuador encontram-se de seguida:

$$F_{suporte, pressão} = P \cdot A_{tampão} = P \cdot \pi \cdot \frac{D_{tampão}^2}{4} \quad (4.26)$$

$$F_{requerida (C7), recuo} = Peso \cdot \eta \quad (4.27)$$

$$F_{requerida (C7), avanço} = (F_{suporte, pressão} - Peso) \cdot \eta \quad (4.28)$$

$$F_{requerida (C5), avanço} = Peso \cdot \eta \quad (4.29)$$

$$F_{\text{requerida (C8), avanço}} = F_{\text{suporte, pressão}} \cdot \eta \quad (4.30)$$

$$F_{\text{requerida (C9), avanço}} = (F_{\text{suporte, pressão}} + \text{Peso}) \cdot \eta \quad (4.31)$$

Os valores utilizados nos cálculos e os respetivos resultados encontram-se na Tabela 4.5. A pressão de trabalho de equipamento de estanqueidade ( $P$ ) é de 6 bar.

Tabela 4.5: Valores dos parâmetros e resultados do dimensionamento, e respetiva seleção do atuador do posto de estanqueidade. [11] [14] [15]

Parâmetros					
$m_{\text{suspensa,C5}}$ (kg)	$m_{\text{suspensa,C7}}$ (kg)	$m_{\text{suspensa,C9}}$ (kg)	$D_{\text{tampão,C7}}$ (mm)	$D_{\text{tampão,C8}}$ (mm)	$D_{\text{tampão,C9}}$ (mm)
0,60	21,70	1,68	45,80	9	13,50
Força requerida (N)					
C5	C7, avanço		C7, recuo	C8	C9
17,55	1163,74		319	57,26	153,57
Resultados					
	C5	C7, avanço	C7, recuo	C8	C9
D (mm)	32	125	125	20	32
d (mm)	12	25	25	10	12
F (N)	458,42	6715,15	6715,15	179,07	458,42
Atuador selecionado					
	C5	C7		C8	C9
	CP96SDB32-125C	CP96SDB125-150W		CDQM820-40	CP96SDB32-240C

Para o cilindro de tamponamento lateral (C8), ainda que um cilindro com êmbolo mais pequeno fosse suficiente, para se conseguir o curso desejado foi necessário optar por um cilindro com êmbolo com 20 mm de diâmetro.

Para o cilindro de tamponamento inferior (C9) e para o atuador vertical da reação (C5) houve um sobredimensionamento significativo, justificado pelo facto de esta ser a opção mais baixa neste tipo de cilindros.

Também no cilindro de tamponamento superior (C7) se verifica um dimensionamento exagerado, contudo fez-se esta escolha uma vez que o cliente tinha intenção de reutilizar este componente. A força exercida no movimento de avanço e de recuo é igual uma vez que o cilindro tem haste dos dois lados.

No que diz respeito ao cilindro horizontal de reação (C6), os esforços devem-se ao atrito da movimentação dos componentes. Contudo, como se utilizam uns carris de PTFE esse atrito é desprezável pelo que se escolheu o atuador em função da forma e área de atuação desejada. Assim sendo, optou-se por um cilindro MGPM50-40Z.

### 4.2.3 Documentação técnica

No que diz respeito à documentação técnica foram realizados os esquemas de princípio e pneumático, e os desenhos de conjunto e de definição. Todos estes documentos encontram-se em anexo, sendo que em relação aos desenhos de definição apresentam-se maioritariamente os relativos ao posto de desbloqueio.

No que diz respeito ao esquema pneumático, a identificação dos detetores e dos solenóides das electroválvulas foi deixada por definir propositadamente, ficando a cargo

da equipa de projeto elétrico para que o façam da maneira que lhes seja mais útil para facilitar e organizar o trabalho.

Aquando da realização dos desenhos de conjunto e de definição adotaram-se técnicas de DFM e DFA. Em relação aos primeiros organizaram-se as listas de peças de modo a agrupar as submontagens, componentes a fabricar/subcontratar e componentes normalizados para que os operadores adquiram os componentes necessários de forma organizada.

No que diz respeito aos desenhos de definição estes foram feitos tendo em conta os processos produtivos previstos para cada componente, desde que isso não interferisse com a cotagem funcional ou de tolerâncias.

Por exemplo nas chapas base da máquina toda a informação acerca dos furos foi agrupada, sendo a sua posição exposta sob a forma de coordenadas em função de um ponto de origem. Ora como estes componentes vão ser produzidos num centro de maquinagem, o operador ao gerar o código para maquinar a peça já tem toda a informação relativa às posições, desde que utilize o ponto de origem das cotas como zero peça. Na Figura 4.12 encontra-se um excerto do desenho de definição de uma placa base da máquina, que se encontra em anexo, onde se exemplifica esta técnica.

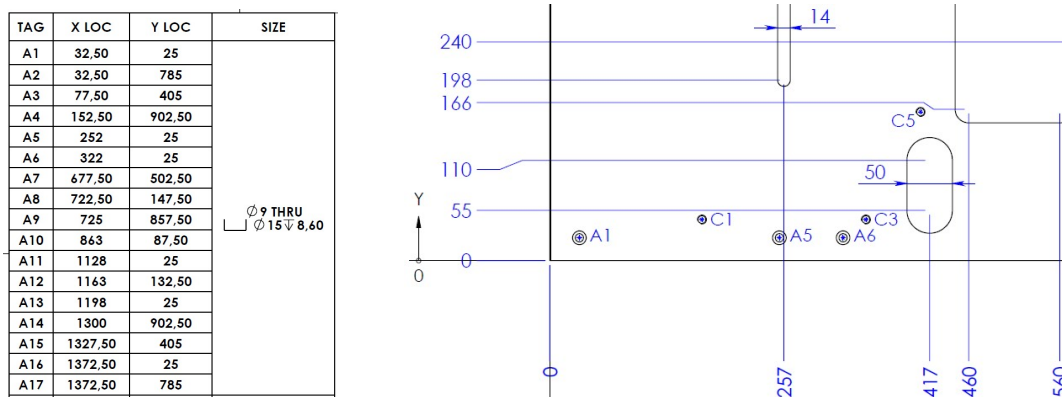


Figura 4.12: Exemplo de cotagem de furos para facilitar o fabrico.

Também no caso de furos sequencias foram colocadas as cotas de forma a fornecer a informação direta para utilizar os ciclos fixos disponibilizados pelos controlos numéricos para executar essas tarefas, como se exemplifica na Figura 4.13 onde se efetuou a cotagem de modo a fornecer os valores necessários à utilização de uma matriz de furos circulares.

Nestes desenhos foi ainda incluído um código de barras que estaria associado a uma codificação colocada no componente, de modo a implementar um sistema de rastreabilidade por forma a promover a melhoria continua.

A documentação técnica encontra-se em anexo, estando organizada pela seguinte ordem:

- Desenho de conjunto;
- Esquema de princípio;
- Esquema pneumático;
- Desenho de conjunto do posto de desbloqueio;
- Desenhos de definição do posto de desbloqueio;
- Desenho de definição da placa base utilizada como exemplo da cotagem de furos.

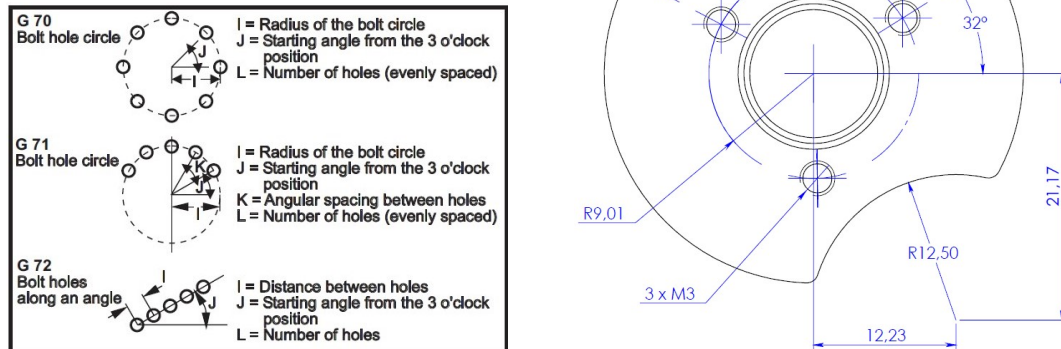


Figura 4.13: Cotagem de acordo com os ciclos fixos do centro de maquinagem. Adaptado de [16].

## 4.3 Caso de estudo 2 - Máquina de marcação a laser

### 4.3.1 Introdução

A empresa onde se realizou o estágio pretendia implementar um sistema de rastreabilidade pelo que adquiriu um equipamento para marcar as peças com uma codificação Datamatrix. Contudo, o equipamento adquirido apenas permitia fazer essa gravação em peças com uma dimensão insuficiente para cobrir a totalidade das peças produzidas pela empresa pelo que se pretendia adaptar esse sistema de forma a que fosse possível fazer a gravação em peças de maiores dimensões, tendo como ponto de partida o sistema inicial, que se ilustra na Figura 4.14.



Figura 4.14: Equipamento de marcação original. Retirado de [17].

Resumindo, pretendia-se conceber um equipamento de marcação a laser com capacidade de fazer essa gravação em peças com dimensões que vão ao encontro das peças produzidas na empresa, utilizando alguns dos componentes do equipamento original caso fosse possível. Para além disso, o conjunto de gravação deve ser complementado com um

posto de trabalho para utilizar o computador, de modo a fazer a programação relativa à gravação.

### 4.3.2 Projeto mecânico

Para que o produto gerasse a maior satisfação possível junto dos seus utilizadores foi feito um estudo inicial por forma a entender as necessidades dos clientes e a partir daí gerar os conceitos para o produto, bem como um estudo de mercado para perceber se haveria alguma oportunidade de comercialização deste produto.

Como os utilizadores deste produto seriam os próprios funcionários da empresa, em especial na área da maquinaria, foi com estes que se efetuou o levantamento das necessidades, que posteriormente foram traduzidas em requisitos do cliente como se pode ver na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Matriz de conversão das necessidades em requisitos dos clientes.

Nº	Expressão da necessidade original	Requisito cliente	Hierarquização	
			<i>Mudge</i>	<i>Kano</i>
A	Gravar peças grandes	Gravar peças com dimensões elevadas	5	E
B	Ser rápido	Processo de carregar/descarregar e movimentar a peça rápido	4	L
C	Fácil de usar	Manuseamento simples e intuitivo	5	O
D	Poder deslocar-se	Ser portátil	3	O
E	Fazer pouco barulho	Reduzida vibração e ruído	1	O
F	Ocupar pouco espaço	Produto compacto	1	L
G	Manutenção barata	Baixo custo de manutenção	2	E

De seguida organizou-se os requisitos em obrigatórios (O), lineares/unidimensionais (L) e excelentes/atrativos (E), tendo-se recorrido ao método de *Kano* para o efeito. Por forma a estabelecer a hierarquia entre os requisitos utilizou-se o diagrama de *Mudge* que se encontra na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Diagrama de *Mudge* para o projeto da máquina de marcação a laser.

A	B	C	D	E	F	G	Total	%	Importância
A	A 2	C 1	A 2	A 3	A 3	A 2	12	31	5
	B	C 2	B 1	B 2	B 3	B 1	7	18	4
		C 2	C 2	C 3	C 3	C 2	13	33	5
0 - Iguamente			D 1	D 2	D 1		4	10	3
1 - Ligeiramente superior				E 1	F 1	G 1	0	0	1
2 - Medianamente superior					F 1	G 1	1	3	1
3 - Muito mais importante						G 1	2	5	2

Por forma a combinar a informação acerca das especificações que foram definidas para o projeto com a informação das características de qualidade da concorrência utilizou-se a matriz de qualidade (QFD), que se encontra ilustrada na Figura 4.15 e pode ser consultada com maior detalhe em anexo.

Em termos de concorrência foram analisados a máquina original adquirida pela empresa, TruMark 1000 da marca Trumpf, e o modelo L-Box da Sic Marking. [18]



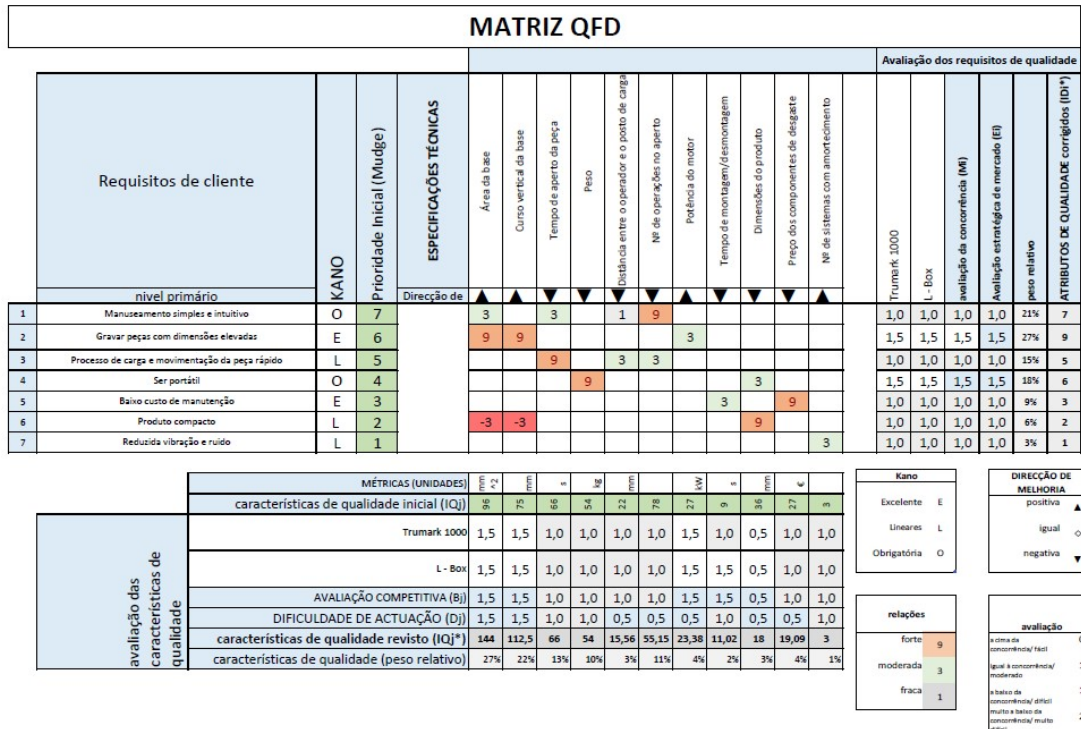


Figura 4.15: Matriz QFD.

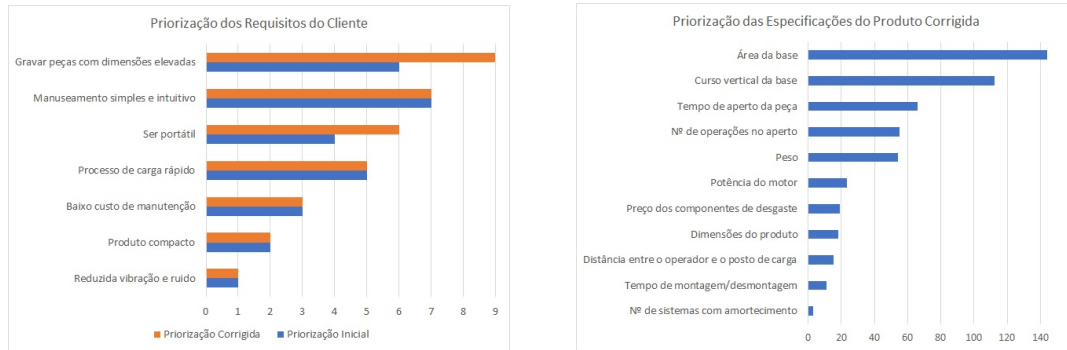
Os resultados obtidos com esta ferramenta estão expostos de seguida, onde se pode ver na Figura 4.16 (a) que a ordem da prioridade dos requisitos do cliente corrigida tendo em conta as dificuldades de implementação e as oportunidades de mercado está na sua generalidade de acordo com a ordem estipulada inicialmente. Contudo, considerando estes fatores a gravação de peças com uma dimensão significativa tornou-se no requisito mais relevante, tendo também o aspeto da portabilidade ultrapassado a rapidez do processo de montagem da máquina.

Na Figura 4.16 (b) encontra-se a hierarquia das especificações do produto, onde se verifica que ainda que influenciem negativamente alguns dos requisitos, as especificações do produto diretamente ligadas aos requisitos de maior relevância surgem em primeiro lugar.

Em resumo, da matriz de QFD retirou-se que os aspetos aos quais se deveria dar mais ênfase era a capacidade de gravar peças com dimensões consideravelmente superiores à concorrência, não ultrapassando muito as dimensões exteriores dessas máquinas. O aspeto da portabilidade merece também uma atenção especial.

Estando as metas definidas avançou-se para a o projeto das estruturas e sistemas funcionais da máquina em maior detalhe. No início do projeto era logo conhecida a limitação da distância entre a face onde se iria fazer a gravação e a lente do laser ter de ser de 160 mm, de modo a que a gravação fosse feita com a qualidade desejada.

No decorrer do projeto verificou-se que o aumento da área da base de aperto para permitir a gravação de peças com as dimensões desejadas comprometia significativamente as dimensões exteriores que se tinham como objetivo para a máquina.



(a) Priorização original e corrigida dos requisitos dos clientes.

(b) Priorização das especificações do produto corrigida.

Figura 4.16: Resultados da matriz de qualidade (QFD).

Deste modo, para conseguir cumprir com os dois objetivos criou-se um módulo portátil, que continha o laser de gravação, e que se ilustra na Figura 4.17. Este módulo está montado na máquina por defeito, sendo apenas movido quando é necessário fazer a marcação em peças com dimensões superiores à capacidade da máquina.

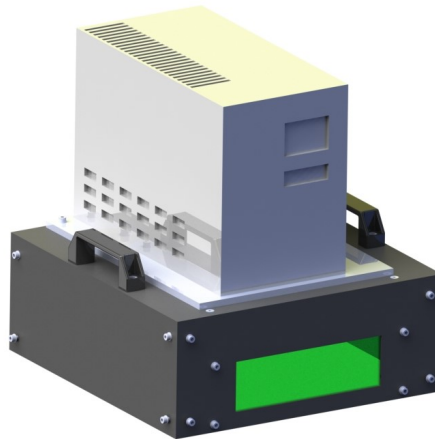


Figura 4.17: Módulo portátil montado por defeito na máquina.

Uma vez que as peças a gravar de maiores dimensões são chapas/placas na sua grande maioria não se coloca o problema do componente ter relevos que pudessem complicar a colocação do módulo sobre a peça, pelo que se teve apenas de se garantir a distância focal entre a face da peça e a lente, o que corresponde à distância entre a base inferior do módulo portátil e a lente.

Como se pretendia um módulo leve, para ser facilmente transportado à mão, a estrutura foi realizada em perfil de alumínio. Nesta estrutura é montada a unidade de laser, tendo-se adicionado uma proteção para a lente e as pegadas para o transporte. A estrutura é coberta por chapas aparafusadas existindo numa delas um vidro, com a devida proteção contra o laser, para que se consiga visualizar o interior.

Nos restantes casos, para que esta distância fosse sempre garantida independente-

mente da espessura da peça, a mesa de aperto da máquina deslocava-se na vertical, aspeto que é comum às máquinas analisadas anteriormente. Contudo, no decorrer do projeto verificou-se que para o sistema de ajuste da posição da face a gravar funcionasse da forma planeada, a base do módulo que estaria montada na máquina teria de estar a uma distância inferior à distância focal, para que a face a gravar ficasse um pouco abaixo da zona onde o módulo é montado, mantendo-se a distância focal entre esta e a lente.

Deste modo, sempre que se pretenda utilizar o módulo fora da máquina terão de ser adicionados quatro pés niveladores para garantir a altura desejada e chapas adicionais para cobrir essa região, como se ilustra na Figura 4.18.

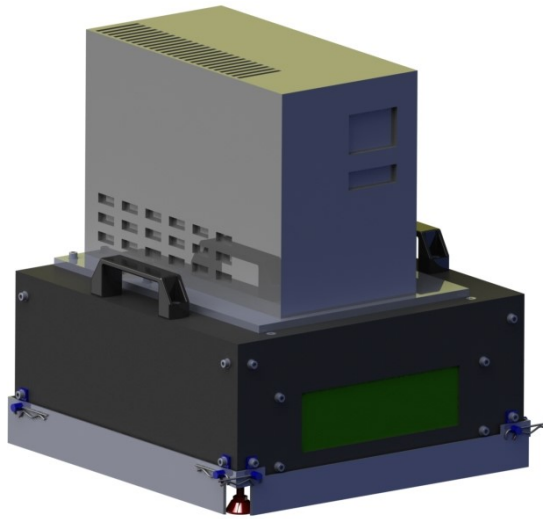


Figura 4.18: Módulo preparado para gravar peças de forma portátil.

Os pés niveladores já têm uma montagem simples e rápida por natureza, contudo era importante que o mesmo sucedesse na montagem das chapas adicionais e do próprio módulo na máquina, para o sucesso do conceito. Para tal projetou-se o componente que se ilustra a azul na Figura 4.19, que está sempre montado no módulo portátil e permite a fixação das chapas adicionais quando se utiliza na forma portátil e garante a fixação à estrutura quando o módulo está montado na máquina, em ambos os casos através de um pino. A peça que garante a ligação do módulo à estrutura da máquina, a verde na mesma figura, foi feita com um rasgo para que o módulo possa ser montado/desmontado sem que seja necessário remover o parafuso que liga esta peça à estrutura da máquina.

Em resumo, a máquina consiste numa estrutura onde são montados todos os sistemas e componentes. No topo da estrutura é montado o módulo do laser, estando o sistema funcional numa posição intermédia. Este último consiste numa mesa de aperto, do tipo *T-slot*, onde a peça é colocada pelo operador e é elevada até à posição ideal para a marcação em função da sua espessura. O seu aperto pode ser feito com recurso a vários mecanismos disponíveis no mercado para esse tipo de mesa, em função das dimensões e da geometria da peça, como se exemplifica na Figura 4.20.

Por forma a definir quais seriam as dimensões ideais da base de aperto da peça e do seu curso na vertical foi feito um estudo para determinar qual o intervalo de dimensões em que se encontrava a maioria das peças produzidas pela empresa.

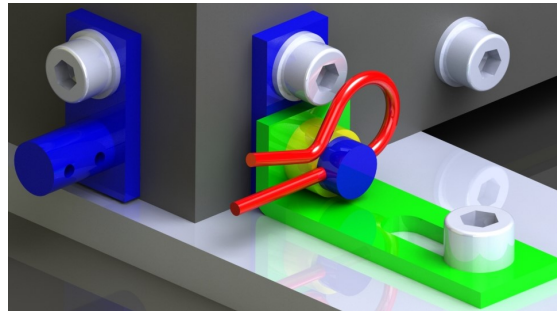


Figura 4.19: Componentes de ligação às chapas adicionais e à estrutura da máquina.



Figura 4.20: Mecanismos de aperto da peça.

Para colocar/retirar a peça da máquina o operador tem de abrir uma porta, que tem movimento na vertical, guiado lateralmente por carris. Esta porta é mantida fechada através de um fecho mecânico, mantendo-se na posição de abertura através de um batente mecânico entre a sua pega e a estrutura. À semelhança do módulo portátil esta porta também possui um vidro adequado para que se possa visualizar o interior da máquina durante o processo de gravação.

Em relação ao mecanismo do sistema funcional, como se pretende trabalhar com peças de dimensões superiores há que ter em conta que o peso das peças também vai aumentar e por consequência o esforço necessário para elevar a mesa de aperto da peça segue a mesma lógica, pelo que se utilizou um acionamento mecânico (motor + fuso) para o efeito, ao contrário do que acontece nas restantes máquinas analisadas.

Para assegurar um movimento correto da mesa foram utilizados veios de guiamento e casquilhos.

Para o dimensionamento do sistema de acionamento com fuso trapezoidal utilizaram-se as expressões 4.32, 4.33 e 4.34.

$$A_{suf} = \frac{F \cdot \eta_s}{P_{suf}} \quad (4.32)$$

, onde  $F$  é a força axial requerida,  $\eta_s$  é o coeficiente de segurança,  $A_{suf}$  e  $P_{suf}$  são a área superficial e a máxima pressão superficial da rosca, respetivamente. [19]

$$n = \frac{1000 \cdot s}{P} \quad (4.33)$$

, onde  $n$  é a velocidade de rotação do motor,  $s$  é a velocidade linear desejada e  $P$  é o passo da rosca. [19]

$$M_{ta} = \frac{F \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} \quad (4.34)$$

, onde  $M_{ta}$  é o binário requerido e  $\eta$  é a eficiência do sistema. [19]

O parâmetro de entrada para este dimensionamento é a força axial necessária para elevar a base, pelo que o seu valor se calcula através das equações 4.5 e 4.25.

O valor da massa utilizado no cálculo corresponde aos componentes móveis, tendo-se assumido que a peça a gravar ocupava o volume máximo disponível na máquina e o seu material era um aço corrente. Posto isto, utilizando uma pressão superficial admissível de 15 MPa e um coeficiente de segurança de 2, a força que terá de ser exercida no caso extremo é 2665,6 N, o que se traduz numa área superficial requerida de 177,71 mm<sup>2</sup>. Aquando da escolha dos componentes verificou-se que a área superficial era facilmente satisfeita, sendo a carga estática limite o fator crítico, tendo-se escolhido um fuso e respetiva porca com um diâmetro de 16 mm e um passo de 4 mm (Tr16x4). [20]

Considerando uma eficiência de 21% indicada pelo fabricante para os componentes acima referidos, o binário necessário é de 8,41 N.m. O motor escolhido suporta um torque estático de 12 N.m, e analisando a sua curva de binário conclui-se que se pode alcançar o binário desejado a uma velocidade de rotação de 125 rpm, o que permite realizar o curso da mesa de aperto em 30 segundos, o que não compromete o tempo de funcionamento desejado. [20] [21]

A ligação entre o motor e o fuso foi feita através de um acoplador e chavetas. O veio do motor já trazia a chaveta adequada pelo que foi apenas necessário verificar se a chaveta selecionada para ligar o fuso ao acoplador era suficiente para suportar os esforços exigidos.

Para o efeito foi feita a análise ao corte e ao esmagamento da chaveta, com base nas equações 4.35 e 4.36, respetivamente.

$$\tau_a = \frac{2 \cdot M_t}{L \cdot b \cdot d} \cdot 10^{-6} < 70MPa \quad (4.35)$$

$$\sigma_d = \frac{2 \cdot M_t}{L \cdot d \cdot (h - t_1)} \cdot 10^{-6} < 130MPa \quad (4.36)$$

, onde  $M_t$  é o momento torsor,  $L$  é o comprimento da chaveta,  $b$  é a largura da chaveta,  $h$  é a espessura da chaveta,  $d$  é o diâmetro do veio e  $t_1$  a profundidade do escotel do veio.

As dimensões da chaveta foram escolhidas de acordo com a norma ISO/R 773, em função do diâmetro do veio (12mm), ficando apenas por dimensionar o seu comprimento. Escolheu-se a chaveta com o menor comprimento possível, uma vez que esta estava sujeita a uma tensão de corte ( $\tau_a$ ) de 42,19 MPa e uma tensão de esmagamento ( $\sigma_d$ ) de 112,5 MPa, o que se encontra dentro dos limites. Assim, escolheu-se uma chaveta paralela B ISO/R 773 4x4x8 - St, tendo-se adicionado mais 10mm de comprimento ao acoplador por cada chaveta, como é recomendado. [1] [22]

Na lateral da máquina foi ainda adicionada uma estrutura de suporte para os componentes informáticos (ecrã, teclado, rato) para que o operador realizasse as tarefas da programação da marcação necessárias.

O espaço livre da máquina, especialmente entre a sua base inferior e o sistema funcional, foi pensado para ser utilizado como um armazém de produtos auxiliares ao processo de marcação.

A máquina tem o aspeto apresentado na Figura 4.21.

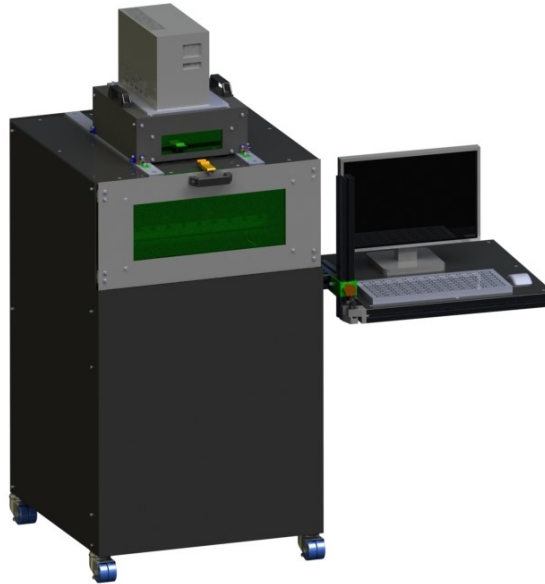


Figura 4.21: Módulo preparado para gravar peças de forma portátil.

Para além dos requisitos expostos anteriormente existem ainda requisitos associados à ergonomia e à segurança que têm de estar obrigatoriamente presentes na máquina.

Nesta máquina existem dois locais onde uma abordagem ao nível da ergonomia e antropometria era necessária, que são o local de carga/descarga da peça e o local onde se encontrava o equipamento informático (ecrã, teclado, etc.) para preparar a marcação da peça.

De maneira a que os equipamentos informáticos pudessem ser utilizados numa posição de trabalho sentada e de pé, a plataforma que os suporta foi feita de maneira a poder movimentar-se em altura de modo a alcançar as cotas ideais para os dois tipos de utilização. O curso de regulação em altura foi pensado para que para além dos valores de referência para a posição seja possível fazer pequenas adaptações consoante o utilizador.

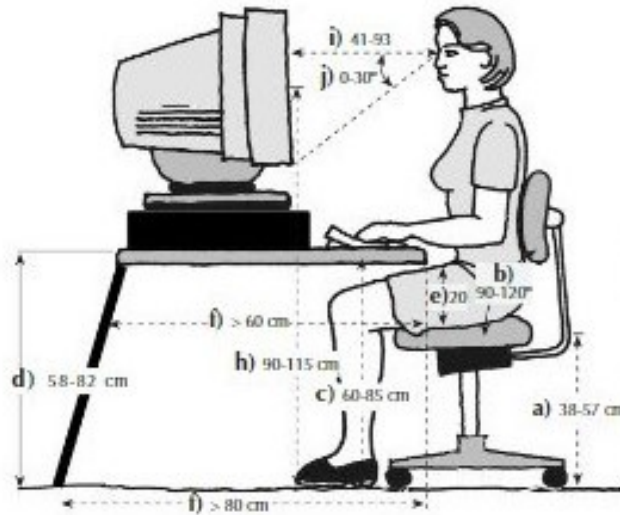
No que diz respeito ao posto de carga/descarga, a sua posição não é regulável pelo que as dimensões utilizadas no seu projeto tiveram como referência os valores encontrados na bibliografia para o tipo de operação desempenhada neste posto.

Algumas das dimensões a ter em conta, bem como os seus respetivos valores, encontram-se na Figura 4.22.

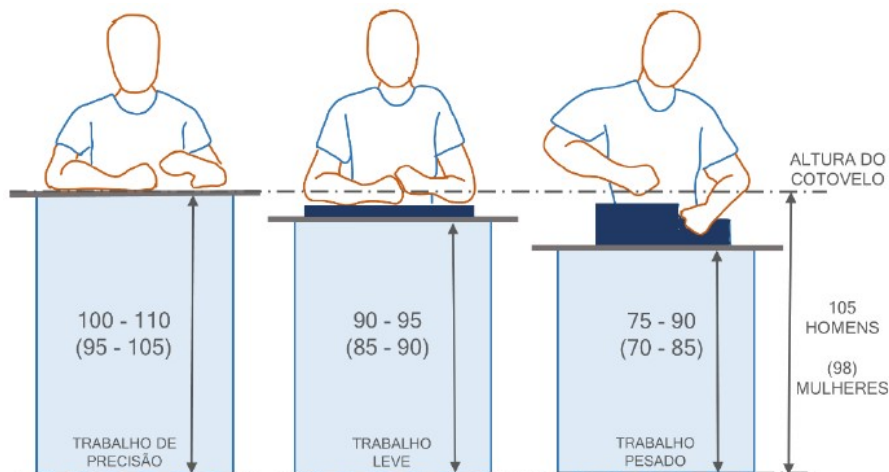
De maneira a cumprir a regulação em altura referida anteriormente utilizou-se o sistema ilustrado na Figura 4.23, sendo também possível fazer uma rotação da mesa de suporte do equipamento informático para facilitar a visualização do ecrã por parte do operador quando este se encontra junto ao posto de aperto, o que também se ilustra na mesma figura.

No que diz respeito aos requisitos de segurança foi feita uma análise dos riscos associ-

ados à máquina nas suas diferentes fases de vida (transporte, utilização e manutenção). Nos casos onde o risco obrigava ao uso de equipamentos de proteção, todos os cálculos associados ao nível de desempenho requerido e à verificação do seu cumprimento foi feito com recurso ao *software* SISTEMA.



(a) Medidas a adotar no projeto de postos de trabalho com computadores. Retirado de [23].



(b) Medidas a adotar no projeto de postos de trabalho na posição de pé. Retirado de [7].

Figura 4.22: Medidas a adotar em diferentes tipos de postos de trabalho.

Por fim, comparando o produto desenvolvido com as metas estabelecidas para o mesmo conclui-se que a grande generalidade delas foram alcançadas. Em especial no que diz respeito ao principal requisito que era a dimensão máxima da peça a gravar, a máquina permite gravar peças com a dimensão de 450x450x250mm, o que já é superior à concorrência analisada. Considerando que com o módulo portátil se consegue gravar peças de dimensões ainda superiores, o principal objetivo foi largamente alcançado. Ainda

que a máquina esteja equipada com rodízios que permitem a sua mobilização, o módulo portátil veio fortalecer bastante o aspeto da portabilidade o que também era desejado.

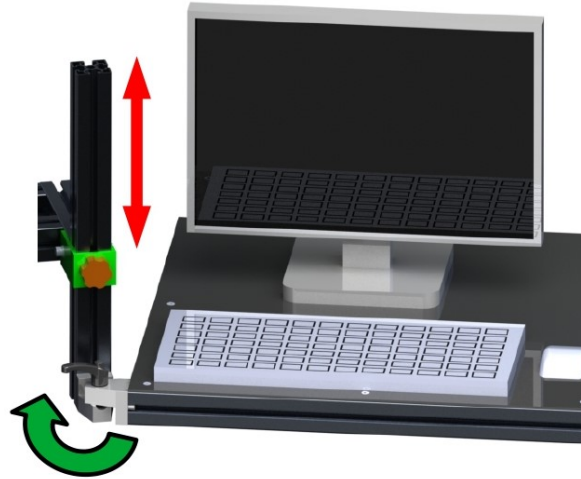


Figura 4.23: Mecanismos de ajuste da posição do ecrã, teclado e rato.

As dimensões exteriores excederam ligeiramente os produtos da concorrência, sendo em altura o aumento mais notório. Porém esta diferença entre a altura da máquina e o valor anunciado pelos fabricantes das outras máquinas analisadas não corresponde à realidade, uma vez que essas máquinas teriam de ser colocadas em cima de uma estrutura para poderem ser utilizadas de forma conveniente, pelo que este aspeto não é crítico.

### 4.3.3 Projeto de automação

Em relação à componente de automação do projeto foi apenas selecionado o tipo de componentes a utilizar para garantir as funções de segurança que se revelaram necessárias durante a avaliação de riscos.

Deste modo, para garantir que a máquina está nas condições de segurança quando a porta está aberta utilizaram-se os seguintes equipamentos:

- Fins de curso (Entrada);
- Relé (Lógica);
- Contactores (Saída).

Por sua vez, para o circuito de emergência utilizaram-se os seguintes equipamentos:

- Fins de curso (Entrada);
- Relé BFA (Entrada);
- Relé (Lógica);
- Contactores (Saída).

Na Figura 4.24 encontram-se alguns exemplos destes equipamentos.

### 4.3.4 Documentação técnica

No que diz respeito à documentação técnica deste caso de estudo encontram-se em anexo os seguintes documentos:



- Matriz de QFD;
- Desenhos de conjunto;
- Desenhos de definição dos componentes mais relevantes;
- Avaliação de riscos.

Em relação aos desenhos técnicos também foram tidos em conta os aspetos já mencionados no caso de estudo anterior.

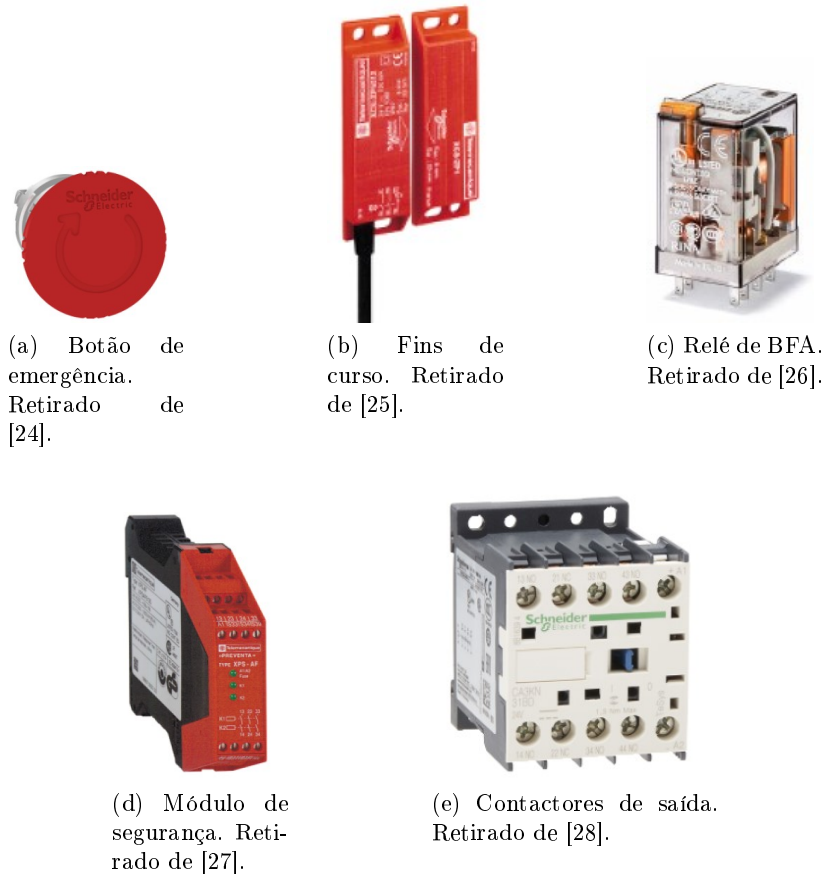


Figura 4.24: Equipamentos de segurança utilizados.

## 4.4 Caso de estudo 3 - Máquina de limpeza autónoma

### 4.4.1 Introdução

Este caso de estudo consiste no desenvolvimento e projeto de sistemas integrantes de uma máquina de limpeza de chão de fábrica. Os trabalhos abrangeram a área estrutural da máquina numa fase inicial, tendo-se abordado os seus sistemas funcionais de seguida e no final foram ainda feitos alguns melhoramentos a nível de aspeto e *design*. Para além dos sistemas associados às funções de limpeza e locomoção convencionais foi também necessário considerar sistemas relacionados com a locomoção autónoma e a reutilização da água de lavagem, que eram alguns dos requisitos para esta máquina.

Uma vez que esta máquina já tinha os seus requisitos e especificações numa fase avançada de definição na altura em que se integrou o projeto, esses aspetos não serão aqui abordados. O mesmo sucede com a avaliação de riscos e questões de segurança, uma vez que se decidiu fazer esse trabalho em conjunto com uma entidade competente.

O objetivo era o desenvolvimento de um protótipo/pré-série da máquina, contudo o projeto foi sempre feito de modo a que os sistemas e componentes pudessem ser adaptados para uma produção em série.

#### 4.4.2 Projeto mecânico

Como já foi referido os trabalhos iniciaram-se pela parte estrutural da máquina. Uma vez que já existem algumas variantes de máquinas com estas funções no mercado, o conceito da máquina foi influenciado pelas anteriores. Assim sendo, idealizou-se a máquina com um mecanismo de escovas na parte dianteira, os tanques de armazenamento de água e detergente, e as baterias numa região intermédia e um mecanismo de escovas e absorção de água na traseira da máquina, como se ilustra em esboço na Figura 4.25.

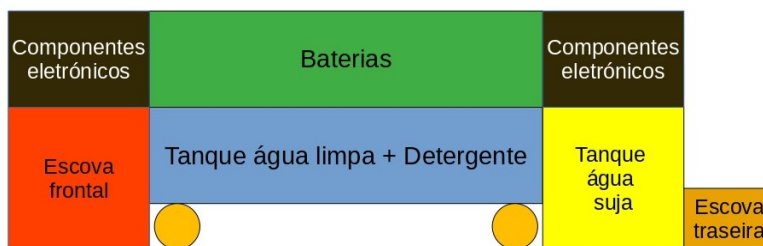


Figura 4.25: Esboço da organização dos sistemas na máquina, em vista lateral.

Numa fase inicial havia uma grande indefinição relativamente a sistemas e componentes que poderiam vir a ser necessários, bem como as suas dimensões, pelo que era imperativo que aquando do desenvolvimento do chassi e mesmo dos próprios conceitos se optasse por uma construção modular e que fosse facilmente adaptada/alterada sem comprometer as restantes. Tendo isto em mente, idealizou-se o chassi da forma representada na Figura 4.26, construído em tubo quadrado oco soldado. Qualquer alteração, dentro do mesmo conceito, que fosse necessária conseguiria ser implementada através da manipulação das dimensões dos perfis. Contudo, estas dimensões encontram-se limitadas pelas dimensões máximas que se tem como objetivo para a máquina e também pelo facto de que a estrutura não poder cobrir os sistemas de escovas completamente para não comprometer a limpeza junto a cantos e a paredes. Os cantos da estrutura e as chapas que cobrem a sua região interior tiveram de ser adaptadas como se verá de seguida.

Uma vez que a locomoção da máquina é feita de forma autónoma, para garantir a segurança das pessoas e equipamentos que partilham o mesmo espaço de trabalho que esta, é necessário utilizar *scanners* que identifiquem a presença de pessoas/objetos na região que a máquina vai percorrer. A utilização de um *scanner* com leitura de 360° revelou algumas dificuldades de implementar sem que nenhum componente obstruísse o feixe de deteção pelo que se optou por utilizar dois *scanners* com capacidade de deteção de 270° montados em cada extremidade da máquina de forma cruzada, como se ilustra na Figura 4.27 (a), por forma a fazer uma deteção completa em redor da máquina.

Para permitir um varrimento completo por parte dos *scanners*, as chapas inferiores da máquina adquiriram o formato ilustrado na Figura 4.27 (b), através de um processo de quinagem.

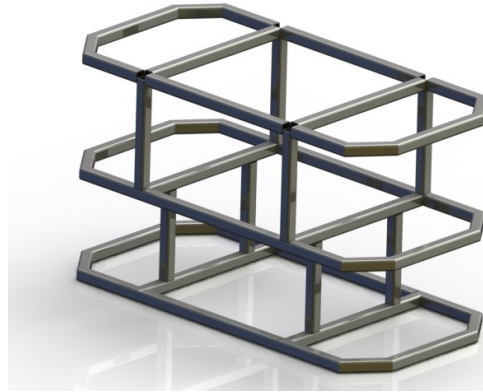
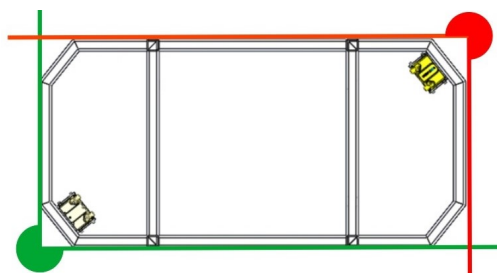
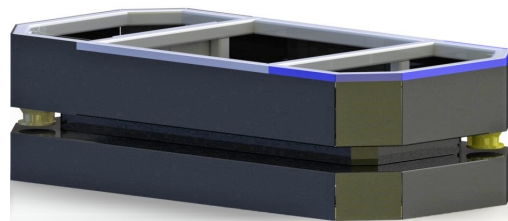


Figura 4.26: Conceito da geometria e construção do chassi.



(a) Área coberta pelos *scanners*.



(b) Alteração das chapas em função dos *scanners*.

Figura 4.27: Implementação dos *scanners* na máquina.

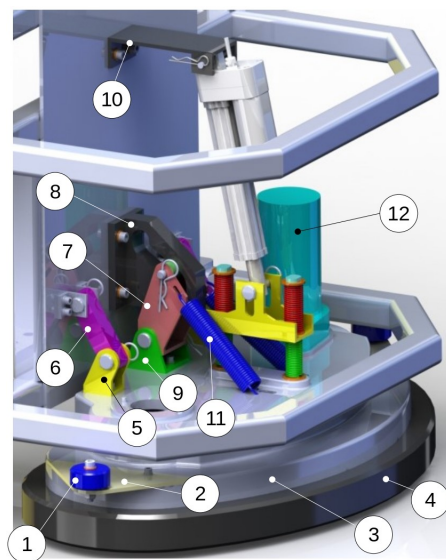
Abordando agora o projeto dos sistemas funcionais com mais ênfase, o sistema de limpeza dianteiro encontra-se ilustrado na Figura 4.28 e a sua função de limpeza é realizada através de duas escovas cujo movimento é acionado por motores elétricos (12). Estes componentes estão montados na base (3), que em conjunto com uma borracha (4) montada na sua parte inferior impedem que a água seja projetada para fora da região onde se está a fazer a limpeza. Neste mesmo componente estão também montados a grande maioria dos componentes responsáveis por efetuar a ligação entre o sistema de limpeza dianteiro e a estrutura da máquina. Nas laterais é ainda montada uma roda (1) que garante que a máquina ao limpar junto a uma parede, por exemplo, fica sempre a uma pequena distância da mesma e que o seu movimento não é afetado.

Um requisito que era comum aos dois sistemas de limpeza era a sua elevação em relação ao solo, por forma a possibilitar a limpeza e substituição das escovas. Uma vez que esta máquina era maioritariamente acionada através de energia elétrica, senão mesmo unicamente, escolheu-se um atuador linear elétrico (13) para realizar essa tarefa.

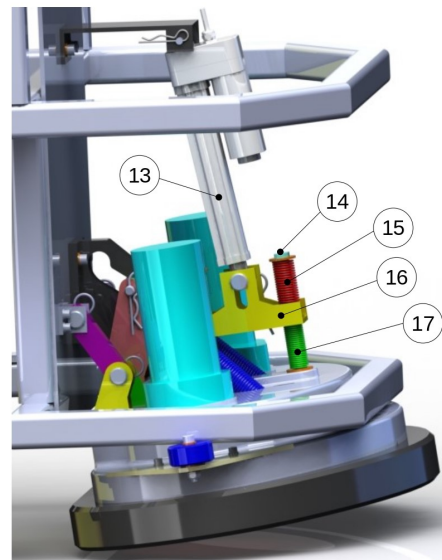
Para facilitar o acesso às escovas, projetou-se os componentes e o seu funcionamento para que a elevação do sistema de limpeza dianteiro fosse feito da forma que se ilustra na Figura 4.28 (b). Para além disso, também era necessário que o sistema permitisse este

tipo de movimento para poder fazer a transição para uma rampa, por exemplo.

Os braços (6) para além de eliminar o movimento lateral do sistema, garantem em conjunto com o rasgo da peça (8) a rotação desejada aconteça quando o atuador eleva a base. Para dimensionar o atuador foi tido em conta que o seu eixo não se encontra alinhado com a vertical, pelo que foi necessário fazer a projeção da força necessária para elevar os componentes móveis. O ângulo da projeção, o curso requerido e a massa dos componentes foram obtidos diretamente das ferramentas de CAD.



(a) Sistema funcional da escova dianteira.



(b) Sistema funcional da escova dianteira na posição de limpeza.

Figura 4.28: Sistema de limpeza dianteiro.

Para que as escovas estejam sempre a executar a carga desejada no solo implementou-se o sistema de molas que se ilustra na mesma imagem. O rasgo na peça (16) permite a movimentação da mesma sem que seja necessário mover o atuador, o que permite que as molas (15 e 17) se comprimam/estendam de acordo com a reação do solo, mantendo sempre a carga aplicada constante. Esta carga pode ser regulada através do veio que atravessa (14), cuja extremidade foi concebida para que este pudesse ser apertado com uma chave de bocas.

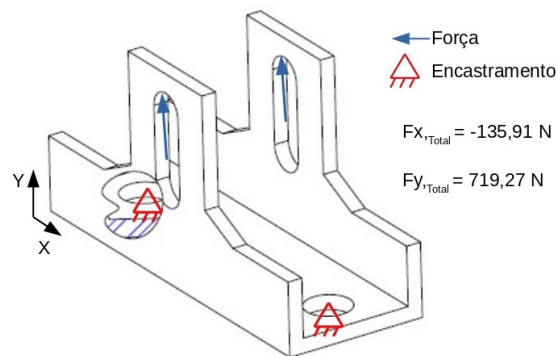
Por sua vez a mola (11) garante um ajuste suave da posição do sistema de limpeza quando ocorre alguma transição, como por exemplo a entrada/saída de uma rampa ou o início/paragem do movimento do atuador.

Numa abordagem inicial em que se pretende efetuar um protótipo/pré-série da máquina os componentes que garantem a ligação entre a estrutura e o sistema de limpeza dianteiro são conectados à base (3) através das peças (5 e 9). Contudo, caso se pretenda uma produção de máquinas em maior quantidade no futuro, o processo de fundição injetada revela-se uma boa solução e os componentes referidos, incluindo também o suporte para as rodas laterais (2), tornam-se num só. Na base (3) foi propositadamente deixado um espaço livre entre o local de montagem dos motores e o relevo central onde atuam as molas de regulação de carga, para que se possa colocar nesse local o fornecimento de

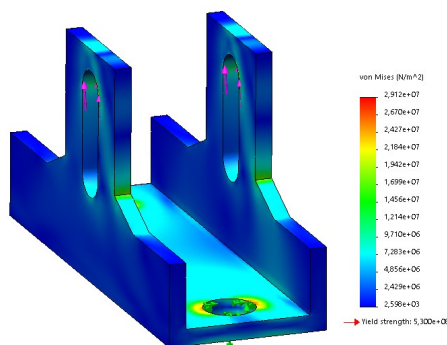
água e detergente à escovas, cujos detalhes ainda não são conhecidos.

Para se verificar que os componentes tinham robustez suficiente para suportar os esforços que lhes eram aplicados realizaram-se simulações numéricas de elementos finitos aos componentes mais solicitados.

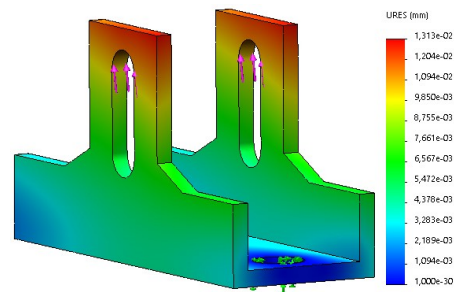
No componente onde o atuador exerce a força para elevar o sistema os valores quer de tensão de *von Mises* como do deslocamento foram satisfatórios. Esses valores tal como o local do componente onde ocorrem e as condições de carga e restrições utilizados na simulação encontram-se na Figura 4.29.



(a) Condições da simulação numérica.



(b) Resultados da tensão de *von Mises*.



(c) Resultados do deslocamento.

Figura 4.29: Condições e resultados das simulações numéricas efetuadas ao componente de ligação entre o sistema de limpeza dianteiro e o respetivo atuador.

No que diz respeito à ligação entre o atuador e a estrutura, ainda que as tensões no componente projetado inicialmente não ultrapassassem o valor de cedência, o deslocamento era bastante significativo (6,55 mm), pelo que foi necessário reforçar o mesmo.

Ao invés de entrar num processo iterativo onde se fazem alterações ao componente e de seguida se repetem as simulações até obter resultados satisfatórios, recorreu-se a uma ferramenta de otimização topológica (Fusion 360 Autodesk, São Rafael, Califórnia), onde para além da informação das restrições e cargas se estabelece quais as regiões do componente a manter e quais os objetivos que se pretendem obter em termos de tensões e deslocamentos, por exemplo, e o *software* devolve os locais onde se pode retirar massa.

Os resultados desta análise para o componente em questão encontram-se na Figura 4.30 (b). Ainda que se verifique que o material na região central não é estritamente

necessário este foi mantido para garantir maior resistência a possíveis cargas laterais. As Figuras 4.30 (a) e (c) representam o componente inicial e final, respetivamente.

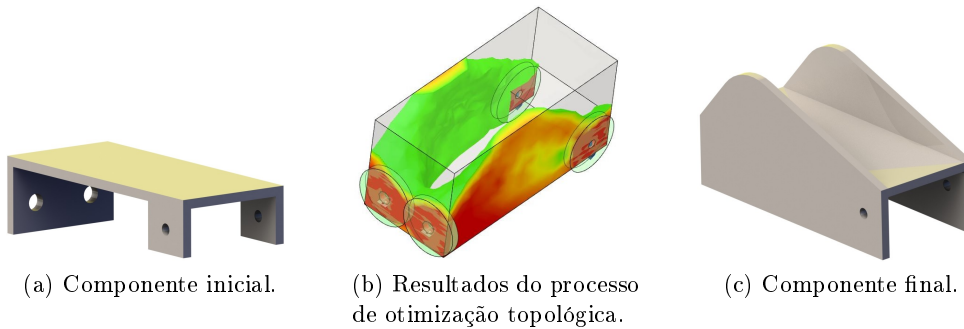


Figura 4.30: Evolução do suporte superior do atuador dianteiro.

Deste modo, o valor do deslocamento baixou para 0,239 mm, encontrando-se as condições de carga e as restrições utilizadas na simulação, bem como os resultados da tensão de *von Mises* e do deslocamento obtidos por simulação numérica nas Figuras 4.31 (a) e (b), respetivamente.

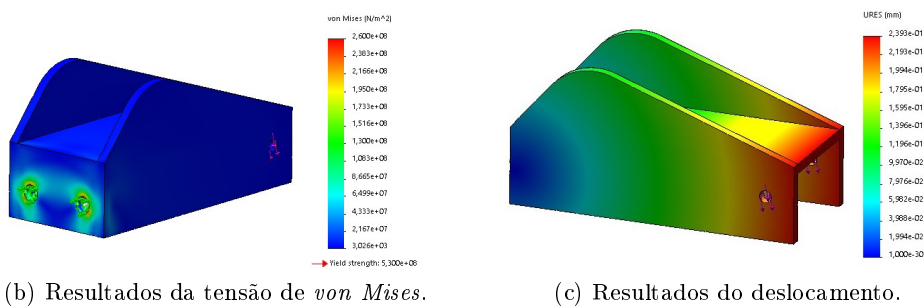
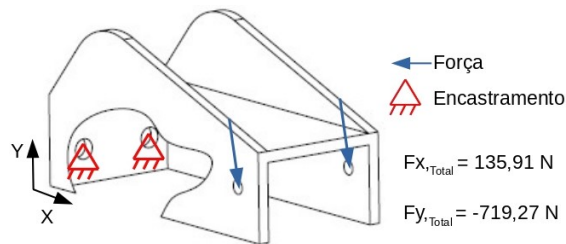


Figura 4.31: Condições e resultados das simulações numéricas efetuadas ao componente de ligação entre o atuador dianteiro e o chassi.

Para dimensionar os motores de acionamento das escovas realizou-se uma consulta de outras máquinas e equipamentos de limpeza, tendo-se verificado que para obter uma limpeza de qualidade as escovas dianteiras deveriam de exercer no solo uma força à volta dos 55 kgf. [29]

Recorrendo à equação 4.37 é possível calcular a força que é exercida na escova por atrito.

$$F_{atrito} = \mu \cdot F_N \quad (4.37)$$

, onde  $\mu$  é o coeficiente de atrito, para o qual se assumiu um valor de 0,4 e  $F_N$  é a força normal à superfície de contacto.

Uma vez que a força que atua na escova devido ao binário do motor tem a distribuição representada na Figura 4.32 calculou-se o valor do raio onde uma força concentrada equivalente gera o mesmo binário.

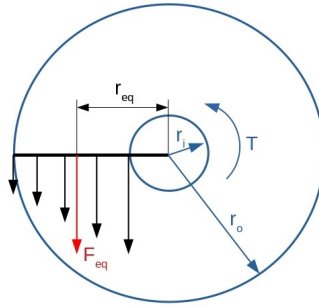


Figura 4.32: Distribuição da força ao longo da escova de limpeza dianteira e posição da força equivalente.

Com base nesta informação, o binário necessário para vencer o atrito calcula-se através da expressão 4.38.

$$T_{escova} = F_{atrito} \cdot r_{eq} \quad (4.38)$$

, onde  $r_{eq}$  é o valor do raio para o qual uma força concentrada equivalente à da distribuição representada geraria o mesmo binário.

No que diz respeito à velocidade de rotação das escovas utilizou-se os valores de referência fornecidos pelo fabricante das escovas.

Uma vez que os esforços ainda são consideráveis utilizou-se um motor com redutor integrado, calculando-se o torque e a velocidade de rotação do motor através das equações 4.39 e 4.40, respetivamente.

$$T_{motor,escovas} = \frac{T_{escova}}{u} \quad (4.39)$$

, onde  $u$  é a redução do motor.

$$n_{motor,escovas} = n_{escova} \cdot u \quad (4.40)$$

, onde  $n_{escova}$  é a velocidade de rotação das escovas.

Por fim, calculou-se a potência necessária do motor através da equação 4.41. Os valores utilizados nos cálculos e os respetivos resultados encontram-se na Tabela 4.8.

$$P_{motor,escovas} = \frac{T_{motor,escovas} \cdot n_{motor,escovas}}{9,5493} \quad (4.41)$$

Tabela 4.8: Parâmetros e resultados do dimensionamento dos motores das escovas.

Parâmetros de entrada				
$r_{eq}$	$n_{escova}$	$\mu_{escova}$	$F_N$	$u$
0,076851 m	350 rpm	0,4	539 N	12
Resultados				
$n_{Motor}$	$T_{Motor}$	$P_{Motor}$		
4200 rpm	1,38 Nm	607,9 W		

Uma vez que os motores trabalham num regime contínuo, foi feita uma análise aos modos naturais de vibração dos componentes do sistema de limpeza dianteiro para garantir que a frequência desse movimento não se aproximava das frequências naturais de vibração dos componentes.

A frequência natural mais baixa ocorre no componente onde se fez a otimização topológica e tem um valor de 377,4 Hz. Este modo de vibração encontra-se representado na Figura 4.33. Para que os motores provocassem uma excitação com uma frequência deste valor teriam que funcionar com uma velocidade de rotação de 22644 rpm. Este valor está bastante acima do que se espera para o caso descrito pelo que este fator não se revelou crítico.

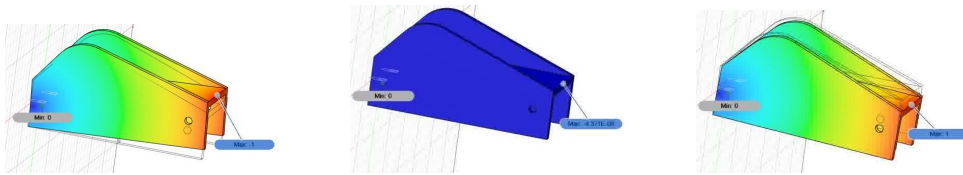


Figura 4.33: Primeiro modo de vibração do componente de ligação entre o atuador dianteiro e o chassis.

Abordando agora o sistema de limpeza traseiro, que se encontra representado na Figura 4.34, este foi feito mais largo que o dianteiro para garantir que este passa sobre toda a região coberta pelo sistema dianteiro, mesmo em caso de curva. Para que este sistema consiga descrever essas mesmas curvas, a sua ligação à estrutura da máquina tem liberdade de rotação ao percorrer o rasgo no componente a vermelho (7). Para que apenas a escova vá em contacto com o solo e sem fazer pressão sobre este, a própria estrutura tem uns rodízios montados (5). No centro da estrutura da escova (1) foi colocada a ligação à tubagem para recolha de água suja (9). Como já se tinha feito na escova dianteira colocou-se umas rodas (3) na lateral para permitir a passagem junto a uma parede sem a danificar e sem perturbar o movimento da máquina.

Tanto a escova (2) como a sua estrutura podem ser facilmente retirados desapertando manualmente o componente (4), após se ter elevado o sistema com recurso a um atuador elétrico (10) cujo dimensionamento sucedeu do mesmo modo que no sistema dianteiro.

Neste sistema foi também verificado se os componentes de ligação ao atuador tinham robustez suficiente para suportar as cargas a que estavam sujeitos. No componente que faz a ligação entre o atuador e o sistema de limpeza (6) os resultados foram satisfatórios e encontram-se na Figura 4.35, bem como as condições em que se efetuou a simulação.



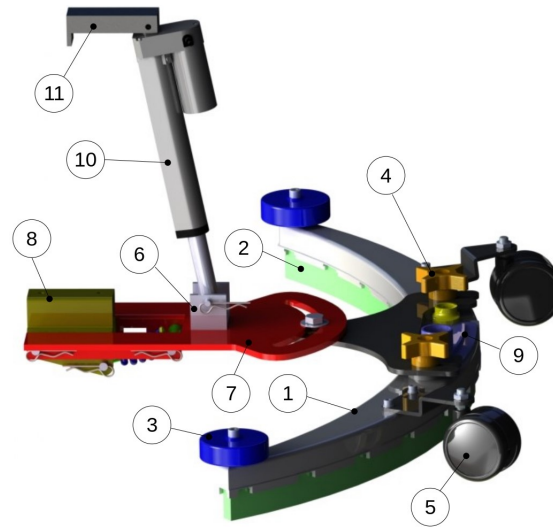
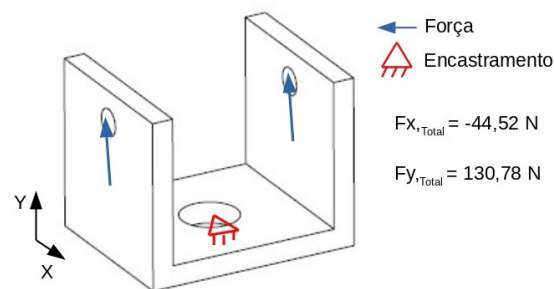
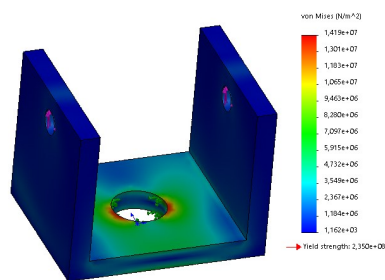


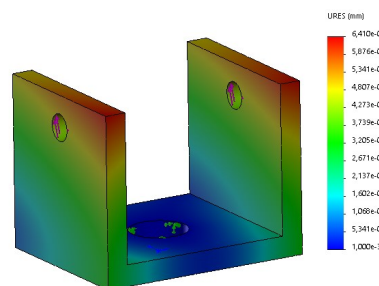
Figura 4.34: Sistema de limpeza traseiro.



(a) Condições da simulação numérica.



(b) Resultados da tensão de *von Mises*.



(c) Resultados do deslocamento.

Figura 4.35: Condições e resultados das simulações numéricas efetuadas ao componente de ligação entre o atuador traseiro e o respetivo sistema de limpeza.

No componente que faz a ligação entre o atuador e a estrutura da máquina (11) o deslocamento era um pouco superior ao que se desejava, o que era esperado uma vez que o componente tinha uma geometria semelhante ao componente que desempenha a mesma função no sistema dianteiro e teve que ser reforçado, ainda que neste caso a carga aplicada seja menor. Deste modo, o componente foi reforçado com base na informação

que se tinha obtido para a mesma situação no sistema de limpeza dianteiro, sendo os resultados obtidos de seguida satisfatórios, e que tal como as condições em que se realizou a simulação se ilustram na Figura 4.36.

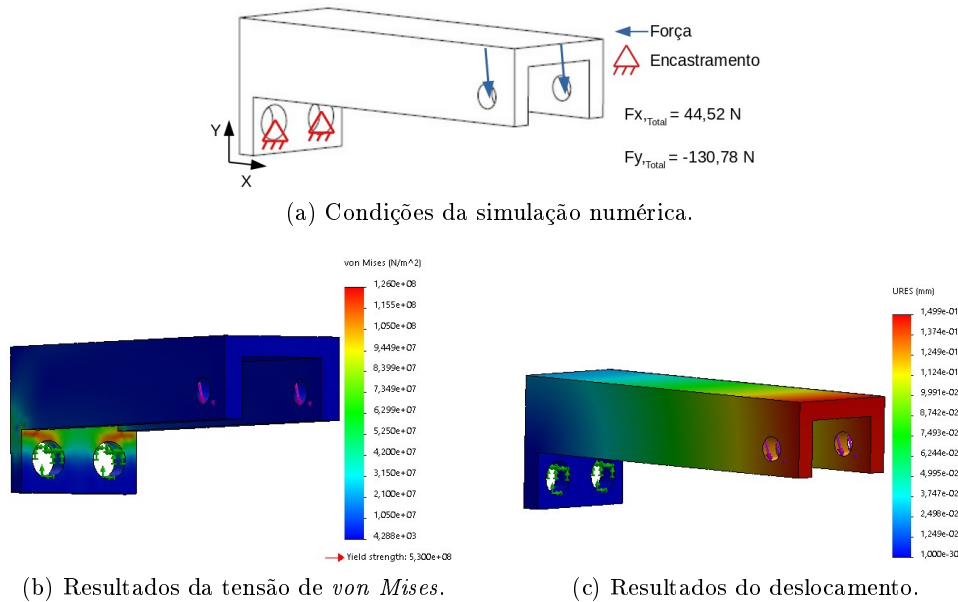


Figura 4.36: Condições e resultados das simulações numéricas efetuadas ao componente de ligação entre o atuador traseiro e o chassi.

No que diz respeito ao sistema de locomoção utilizou-se motorização frontal, sendo que na traseira se utilizaram rodízios. Uma vez que a locomoção iria ser feita de forma autónoma utilizou-se um motor para cada roda, para que se pudesse utilizar uma velocidade diferente em cada roda motriz e assim realizar as curvas. Optou-se por utilizar uma solução própria para veículos autónomos e que agrupa motor, redutor e roda num só.

Para o dimensionamento deste componente assumiu-se que o veículo se deslocava numa superfície com um desnível máximo de 2%. Para converter esse valor em graus utilizou-se a equação 4.42.

$$\theta = \arctan\left(\frac{\text{Desnível}(\%)}{100}\right) \quad (4.42)$$

Na Figura 4.37 encontra-se o diagrama de forças necessárias ao dimensionamento deste sistema. A força necessária para a deslocação corresponde à componente do peso paralela à superfície ( $P_x$ ), à resistência ao rolamento das rodas ( $F_a$ ) e ao atrito entre as escovas o solo ( $F_{lav}$ ).

Para calcular a componente do peso referida é utilizada a expressão 4.43.

$$P_x = P \cdot \text{sen}(\theta) \quad (4.43)$$

, onde  $P$  é o peso da máquina.

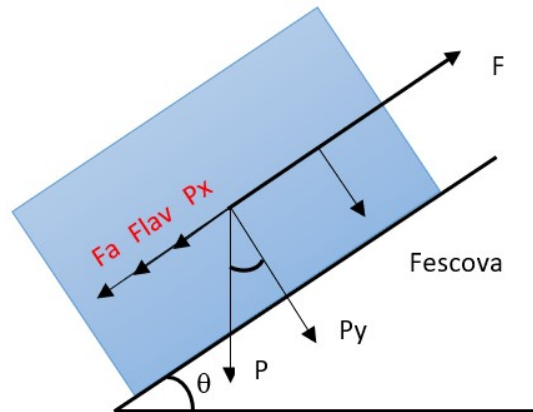


Figura 4.37: Diagrama de forças a considerar no dimensionamento do sistema de locomoção.

Para o cálculo da resistência ao rolamento das rodas utiliza-se a expressão 4.44. Uma vez que as rodas do sistema de limpeza traseiro têm uma contribuição mínima para suportar a massa da máquina estas foram desprezadas, bem como a resistência ao rolamento que ocorre nas mesmas. Deste modo, a força normal corresponde à componente do peso perpendicular ao solo ( $P_y$ ) suportada por cada roda. O coeficiente de resistência ao rolamento ( $\delta$ ) foi utilizado em função do material das rodas e do solo (Borracha/Betuminoso asfáltico).

$$F_a = \frac{\delta \cdot N}{R} \cdot n_{rodas} \quad (4.44)$$

, onde  $\delta$  é o coeficiente de resistência ao rolamento,  $N$  é a componente normal à superfície em cada roda,  $R$  é o raio das rodas motrizes e  $n_{rodas}$  é o número de rodas que suportam a massa da máquina.

Como foi visto anteriormente, as escovas dianteiras deveriam de exercer no solo uma força à volta dos 55 kgf ( $F_{escova}$ ). Uma vez que a escova traseira exerce um esforço mínimo no solo, o atrito entre este sistema e o solo foi desprezado. Para se obter o valor do atrito utilizou-se a expressão 4.45.

$$F_{lav} = \mu \cdot F_{escova} \quad (4.45)$$

, onde  $\mu$  é o coeficiente de atrito e  $F_{escova}$  é a força normal à superfície de contacto.

Deste modo a força necessária calcula-se através da equação 4.46, estando os parâmetros de entrada e os respetivos resultados na Tabela 4.9.

$$F = P_x + F_a + F_{lav} \quad (4.46)$$

De seguida calculou-se o binário requerida à saída de cada roda através da equação 4.47.

$$T_{Roda} = F \cdot \frac{D_{roda}}{2} \cdot \frac{1}{n_{rodas}} \quad (4.47)$$

, onde  $D_{roda}$  é o diâmetro da roda,  $n_{rodas}$  é o número de rodas motrizes.

Tabela 4.9: Parâmetros e resultados da força necessária à movimentação da máquina. [1]

Valores de entrada					
m	g	$\vartheta$	Fescovas	$\delta$	$\mu_{escovas}$
500 kg	9,8 m/s <sup>2</sup>	1,15 °	539,55 N	0,005 m	0,4
Parâmetros intermédios					
Px	Py	Fa	Flav		
98,08 N	4904,02 N	153,25 N	215,82 N		
Força requerida					
466,95 N					

Para calcular o binário necessário do motor, a sua velocidade de rotação e a sua potência recorreu-se às equações 4.48, 4.49 e 4.50, respetivamente.

$$T_{Motor} = T_{Roda} \cdot \frac{1}{u} \cdot \frac{1}{\eta} \quad (4.48)$$

, onde  $u$  é a relação de transmissão que é utilizada entre o motor e a roda e  $\eta$  é a eficiência do conjunto.

$$n_{Motor} = \frac{v}{\pi \cdot D_{roda}} \cdot 60 \cdot u \quad (4.49)$$

, onde  $v$  é a velocidade linear da máquina que se considerou de 1 m/s.

$$P_{Motor} = \frac{T_{Motor} \cdot n_{Motor}}{9,5493} \quad (4.50)$$

Comparando os valores requeridos com os que o sistema suporta, na Tabela 4.10, confirma-se a validação da escolha. Ainda que o torque de saída do sistema e a potência do motor estejam próximos do valor máximo admissível, como a máquina apenas funciona na inclinação máxima esporadicamente manteve-se a validação, tendo em mente a necessidade de nova validação na prática aquando da realização do protótipo.

Tabela 4.10: Resultados do dimensionamento do sistema de locomoção.

	$T_{Roda}$ (Nm)	$n_{Roda}$ (Entrada) (rpm)	$rpm_{Motor}$ (rpm)	$P_{Motor}$ (W)
<b>Valor requerido</b>	37,36	1909,86	1909,86	495,8
<b>Valor limite</b>	39,4	5968	3000	534

O posicionamento das rodas na máquina foi feito o mais próximo das extremidades possível, uma vez que como a máquina tem uma massa considerável e o seu centro de massa não é fácil de concentrar exatamente no centro da máquina, poderia existir o problema de a máquina tombar.

De seguida abordou-se o sistema de dispensação, recolha e tratamento de água. Para além das mais valias em termos ambientais que a reutilização da água traz, este aspeto

era uma necessidade de forma a garantir que a máquina tivesse água para funcionar durante oito horas de seguida, o que era um requisito, sem que os tanques tivessem uma dimensão exagerada.

Para conseguir alcançar este objetivo implementou-se um sistema de filtração na máquina, cujo esquema de funcionamento se encontra na Figura 4.38. Como esta máquina poderia ser utilizada em diferentes tipo de indústria, este sistema foi feito de maneira a poder tratar de águas com diferentes graus de sujidade. O primeiro estágio corresponde à passagem da água num pré-filtro para eliminar os resíduos de maiores dimensões. De seguida a água entra no tanque onde vai estar em decantação. Para que a água suja que entra no tanque não se misture com a água onde a sujidade já sedimentou colocou-se uma separação no meio do tanque que obriga a água a passar no fundo, ficando assim a água mais limpa sempre no topo do lado de saída. Nesta região é colocado um turbidímetro que comunica com uma unidade de controlo instalada na máquina. Caso a turbidez da água à saída da decantação tenha um valor admissível para ser utilizada de novo, esta passa diretamente para o tanque de água limpa. Caso isso não se verifique a água terá de passar por um filtro antes de entrar no tanque. Esta decisão é feita através da unidade de controlo, que compara os valores lidos com os valores programados, abrindo a electroválvula respetiva. como se ilustra no esquema.

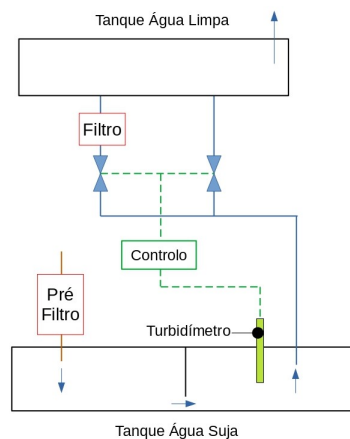


Figura 4.38: Esquema funcional do sistema de filtração.

Uma vez que havia a limitação de não se poder utilizar a totalidade da região central do espaço destinado aos tanques, na traseira da máquina, aproveitou-se esse facto para fazer a separação necessária no tanque de água suja. Deste modo, e como se pode ver na Figura 4.39, o tanque de água suja consiste basicamente me dois tanque individuais, com uma passagem entre eles na sua região inferior.

Todos os tanques têm acesso direto ao exterior da máquina para que possam ser cheios com facilidade. O mesmo sucede com o bujão que foi sempre colocado junto à lateral da máquina para facilitar o despejar dos tanques.

Os componentes necessários à filtração encontram-se agrupados na região acima do tanque de água suja, uma vez que permite facilmente a comunicação entre este e o tanque de água limpa como se pretende.

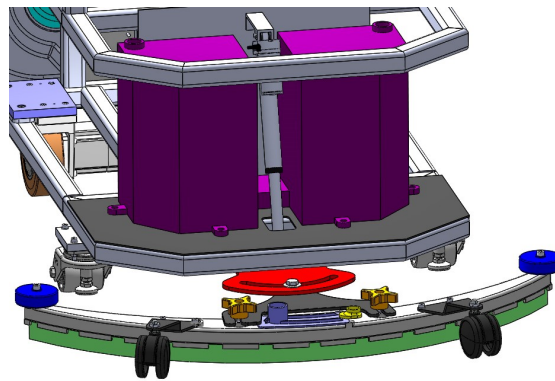
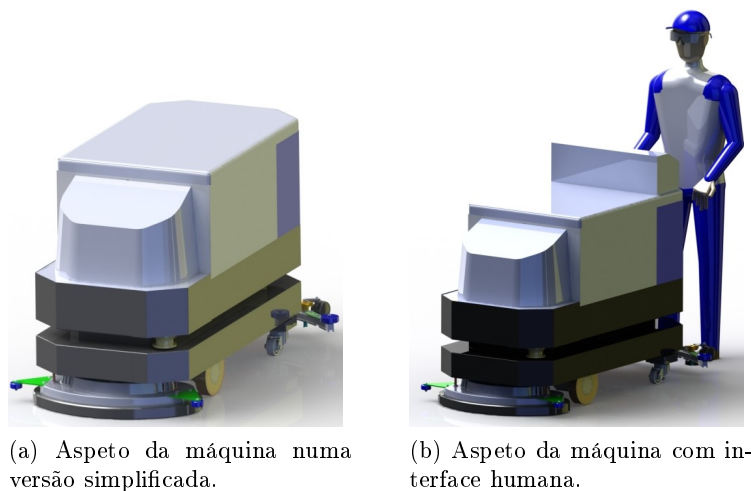


Figura 4.39: Reservatório de água suja.

Por fim, para dar um aspeto mais apelativo à máquina fizeram-se algumas alterações, nomeadamente na chapa frontal resultando no aspeto ilustrado na Figura 4.40 (a). Pensando também numa possível interface homem-máquina, para que a máquina possa ser comandada manualmente idealizou-se o módulo que se ilustra na Figura 4.40 (b).



(a) Aspeto da máquina numa versão simplificada.

(b) Aspeto da máquina com interface humana.

Figura 4.40: Aspeto geral da máquina.

#### 4.4.3 Documentação técnica

No que diz respeito à documentação técnica encontram-se em anexo os desenhos de conjunto da máquina e dos sistemas desenvolvidos, bem como os desenhos de definição dos componentes mais relevantes, onde foram utilizadas as técnicas enunciadas nos casos de estudo anteriores sempre que possível.



## Capítulo 5

# Conclusões e trabalhos futuros

### 5.1 Conclusões

Este trabalho permitiu adquirir conhecimentos na área do projeto mecânico e de automação como se tinha como objetivo. Para além disso, o estágio curricular permitiu ganhar uma perceção do modo de trabalho em contexto empresarial, o que se revelou algo bastante vantajoso uma vez que nem sempre se tem essa perceção quando se está num ambiente universitário. As metodologias de comunicação, organização de documentação, comunicação com clientes e fornecedores, e pesquisa de componentes no mercado são algumas tarefas que apenas são abordadas em contexto empresarial e o seu domínio é uma mais valia para agilizar o projeto, pelo que foi bastante útil adquirir as mesmas.

Ainda que se conhecesse a existência de normas e diretivas a cumprir, o seu conhecimento em maior detalhe, e a sua contextualização e aplicação durante os projetos foram um ponto bastante positivo neste trabalho.

Como já foi referido, em cada caso de estudo foram abordadas temáticas diferentes, quer ao nível das tarefas realizadas quer ao nível do tipo de projeto que se estava a realizar, pelo que naturalmente em cada um deles se puseram em prática e adquiriram diferentes conhecimentos.

O primeiro caso de estudo foi útil para aplicar conhecimentos de engenharia por forma a conferir o dimensionamento de projetos que se pretendem adaptar para uma nova máquina ou funcionalidade. Para além disso foram adquiridos conhecimentos ao nível de componentes e soluções a implementar em sistemas pneumáticos, bem como na elaboração de documentação técnica associada às máquinas.

O segundo caso de estudo teve interesse uma vez que abordou o processo de identificação das necessidades dos clientes e a sua tradução em especificações do produto, o que é algo preponderante para o sucesso do projeto. Para além disso, foram também considerados os aspetos ergonómicos e de segurança, que têm uma grande importância no projeto de equipamentos industriais, o que foi uma mais valia em termos de conhecimentos ganhos. Ainda que não se tenha feito todo o trabalho relativo às questões de segurança, até porque este é um trabalho que se deve fazer sempre em conjunto devido à subjetividade dos assuntos, foi feito todo o processo necessário de análise de riscos e questões de segurança.

Por fim, em relação ao último caso de estudo foram abordadas questões com maior foco na construção e dimensionamento de sistemas e componentes, e na avaliação dos potenciais problemas que poderão estar associados ao seu funcionamento, tendo-se ficado



a conhecer novas maneira de abordar e realizar as tarefas referidas. As melhorias implementadas ao nível do design foram também importantes para perceber a importância que um aspeto apelativo tem na aceitação de uma máquina ou componente por parte dos clientes.

## 5.2 Trabalhos futuros

No segundo caso de estudo identificaram-se alguns aspetos que poderiam vir a necessitar de ser melhorados. Deste modo, caso se verifique que os impactos provenientes da colocação e posicionamento da estrutura de marcação portátil sobre a peça são significativos, deverão ser implementados componentes que garantam o amortecimento dessa estrutura. O sistema de suporte e regulação do ecrã, teclado e rato poderá ser reforçado estruturalmente caso se verifique essa necessidade.

Em relação ao ultimo caso de estudo, era de bastante interesse fazer uma abordagem à construção do chassis da máquina com base em ferramentas de *generative design*, uma vez que esta ferramenta é a que permite obter geometrias mais otimizadas especialmente em componentes estruturais, ainda que seja necessário um pós-processamento e adequação da geometria por forma a que este componente seja exequível com os métodos de fabrico previstos/disponíveis.

# Bibliografia

- [1] Completo A, de Melo F Q. Introdução ao Projeto Mecânico. 1 ed. Porto: Publindústria, Edições Técnicas; 2017.
- [2] CELEX. Diretiva 2006/42/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de Maio de 2006. 1 ed. Jornal Oficial da União Europeia. Maio 2006.
- [3] ISO. ISO 12100:2010(en) Safety of machinery - General principles for design - Risk assessment and risk reduction. 1 ed. ISO; 2010.
- [4] Sick. Guia "Máquinas Seguras"[Revista em linha]. 2015 [Citado em 24 de fevereiro de 2020]. Disponível na Internet: [https://cdn.sick.com/media/docs/9/19/719/Special\\_information\\_Guide\\_for\\_Safe\\_Machinery\\_pt\\_IM0073719.PDF](https://cdn.sick.com/media/docs/9/19/719/Special_information_Guide_for_Safe_Machinery_pt_IM0073719.PDF)
- [5] ISO. ISO 13849-1:2015(en) Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 1: General principles for design. 1 ed. ISO; 2015.
- [6] ISO. ISO 13855:2010(en) Safety of machinery - Positioning of safeguards with respect to the human body. 1 ed. ISO; 2010.
- [7] Relvas C. Design & Engenharia: da ideia ao produto. 1 ed. Porto: Publindústria, Edições Técnicas; 2017.
- [8] British Standards Institution. Eurocode 3: Design of steel structures. 1 ed. Londres: BSI; 2006.
- [9] Orange Coast Pneumatics. ASP, Speed Controller with Pilot Check Valve. [Web page] Aveiro: SMC Pneumatics; 2020 [Atualizado em 2020, citado em 03 de Março de 2020]; Disponível em: <http://www.smc Pneumatics.com/pdfs/ASP.pdf>
- [10] SMC. Guide Cylinders (MG Series). [Web page] Aveiro: SMC; 2020 [Atualizado em 2020, citado em 06 de Março de 2020]; Disponível em: [http://ca01.smcworld.com/catalog/en/actuator/MGP-Z-E/6-2-2-p0423-0494-mgp\\_en/data/6-2-2-p0423-0494-mgp\\_en.pdf](http://ca01.smcworld.com/catalog/en/actuator/MGP-Z-E/6-2-2-p0423-0494-mgp_en/data/6-2-2-p0423-0494-mgp_en.pdf)
- [11] SMC. Standard Air Cylinders (Square Cover). [Web page] Aveiro: SMC; 2020 [Atualizado em 2020, citado em 06 de Março de 2020]; Disponível em: <http://ca01.smcworld.com/catalog/ISO/mpv/p-e10-2-isocy-p158-200/data/p-e10-2-isocy-p158-200.pdf>
- [12] SMC. ISO Cylinders. [Web page] Aveiro: SMC; 2020 [Atualizado em 2020, citado em 06 de Março de 2020]; Disponível em: <http://ca01.smcworld.com/catalog/ISO/mpv/p-e10-2-isocy-p004-124/data/p-e10-2-isocy-p004-124.pdf>

- [13] Orange Coast Pneumatics. SY3440-1GZ. [Web page] Aveiro: SMC Pneumatics; 2020 [Atualizado em 2020, citado em 03 de Março de 2020]; Disponível em: <https://www.smc Pneumatics.com/pdfs/SY.New.pdf>
- [14] SMC. Standard Air Cylinders (Square Cover. [Web page] Aveiro: SMC; 2020 [Atualizado em 2020, citado em 06 de Março de 2020]; Disponível em: <http://ca01.smcworld.com/catalog/ISO/mpv/p-e10-2a-isocy/data/p-e10-2a-isocy.pdf>
- [15] SMC. Compact Air Cylinders. [Web page] Aveiro: SMC; 2020 [Atualizado em 2020, citado em 06 de Março de 2020]; Disponível em: [http://ca01.smcworld.com/catalog/en/actuator/CQM-CDQM-E/6-2-1-p1005-1019-cqm\\_en/data/6-2-1-p1005-1019-cqm\\_en.pdf](http://ca01.smcworld.com/catalog/en/actuator/CQM-CDQM-E/6-2-1-p1005-1019-cqm_en/data/6-2-1-p1005-1019-cqm_en.pdf)
- [16] Haas. Mill Operator's Manual [Revista em linha]. 2009 [Citado em 24 de fevereiro de 2020]. Disponível na Internet: <https://www.haascnc.com/content/dam/haascnc/en/service/manual/operator/english---mill-operator's-manual---2009.pdf>
- [17] Trumpf. TruMark Station 1000. [Web page] Aveiro: Trumpf; 2020 [Atualizado em 2020, citado em 15 de Maio de 2020]; Disponível em: [https://www.trumpf.com/pt\\_PT/produtos/maquinas-sistemas/sistemas-de-marcacao/trumark-station-1000/](https://www.trumpf.com/pt_PT/produtos/maquinas-sistemas/sistemas-de-marcacao/trumark-station-1000/)
- [18] Sic-Marking. L-Box Laser system. [Web page] Aveiro: Sic-Marking; 2020 [Atualizado em 2020, citado em 15 de Maio de 2020]; Disponível em: <https://www.sic-marking.com/system/download/221>
- [19] Shinitzky Artzi Ltd. Trapezoidal. [Web page] Aveiro: Shinitzky Artzi Ltd; 2020 [Atualizado em 2020, citado em 18 de Maio de 2020]; Disponível em: [https://www.bearing.co.il/trapez-pdf/FLI\\_Bases\\_of\\_calculation\\_for\\_trapezoidal\\_screw.pdf](https://www.bearing.co.il/trapez-pdf/FLI_Bases_of_calculation_for_trapezoidal_screw.pdf)
- [20] Igus. Porca trapezoidal drylin® com flange, JFRM. [Web page] Aveiro: Igus; 2020 [Atualizado em 2020, citado em 19 de Maio de 2020]; Disponível em: <https://www.igus.pt/product/831>
- [21] Stepperonline. E Series Nema 34 Stepper Motor Bipolar 1.8deg 12.0 Nm(1699.68oz.in) 6.0A 86x86x151.5mm 4 Wires. [Web page] Aveiro: Stepperonline; 2020 [Atualizado em 2020, citado em 19 de Maio de 2020]; Disponível em: [https://www.omc-stepperonline.com/download/34HE59-6004S\\_Torque\\_Curve.pdf](https://www.omc-stepperonline.com/download/34HE59-6004S_Torque_Curve.pdf)
- [22] Simões Morais J. Desenho Técnico Básico - 3. 26 ed. Porto: Porto Editora, Lda; 2015.
- [23] Iida I. Ergonomia: Projeto e Produção. 2 ed. São Paulo: Edgar Blücher Ltda; 2005.
- [24] Schneider Electric. ZB4BS844. [Web page] Aveiro: Schneider Electric; 2020 [Atualizado em 2020, citado em 20 de Maio de 2020]; Disponível em: <https://www.se.com/pt/pt/product/ZB4BS844/cab-bot-cogum-verm-40mm-rod-p--desencr-c--encrav-brusc-p--aro-fix-met/>

- [25] Schneider Eletric. XCSDMP7002. [Web page] Aveiro: Schneider Eletric; 2020 [Atualizado em 2020, citado em 20 de Maio de 2020]; Disponível em: <https://www.se.com/pt/pt/product/XCSDMP7002/interr.-magn.-codif.-xcsdmp---plástico---1-nc-%2B-2-no%2C-no-escalonado---cabo-2-m/>
- [26] Finder. Series 55 - Relé industrial 7 - 10 A. [Web page] Aveiro: Finder; 2020 [Atualizado em 2020, citado em 20 de Maio de 2020]; Disponível em: <https://gfinder.findernet.com/public/attachments/55/PT/S55PT.pdf>
- [27] Schneider Eletric. XPSAF5130. [Web page] Aveiro: Schneider Eletric; 2020 [Atualizado em 2020, citado em 20 de Maio de 2020]; Disponível em: <https://www.se.com/pt/pt/product/XPSAF5130/módulo-xps-af-\T1\textendash-paragem-de-emergência--24-v-ca-cc/>
- [28] Schneider Eletric. CA3KN31BD. [Web page] Aveiro: Schneider Eletric; 2020 [Atualizado em 2020, citado em 20 de Maio de 2020]; Disponível em: <https://www.se.com/pt/pt/product/CA3KN31BD/contactor-auxiliar-tesys-ca3k---3na%2B1nf-24vcc/>
- [29] Tennant. T500 / T500e Walk-Behind Floor Scrubbers. [Web page] Aveiro: Tennant; 2020 [Atualizado em 2020, citado em 02 de Junho de 2020]; Disponível em: <https://www.tennantco.com/content/dam/tennant/tennantco/products/machines/scrubber%20walk-behinds/T500-T500e/t500e-machine-specs-en-noam.pdf>



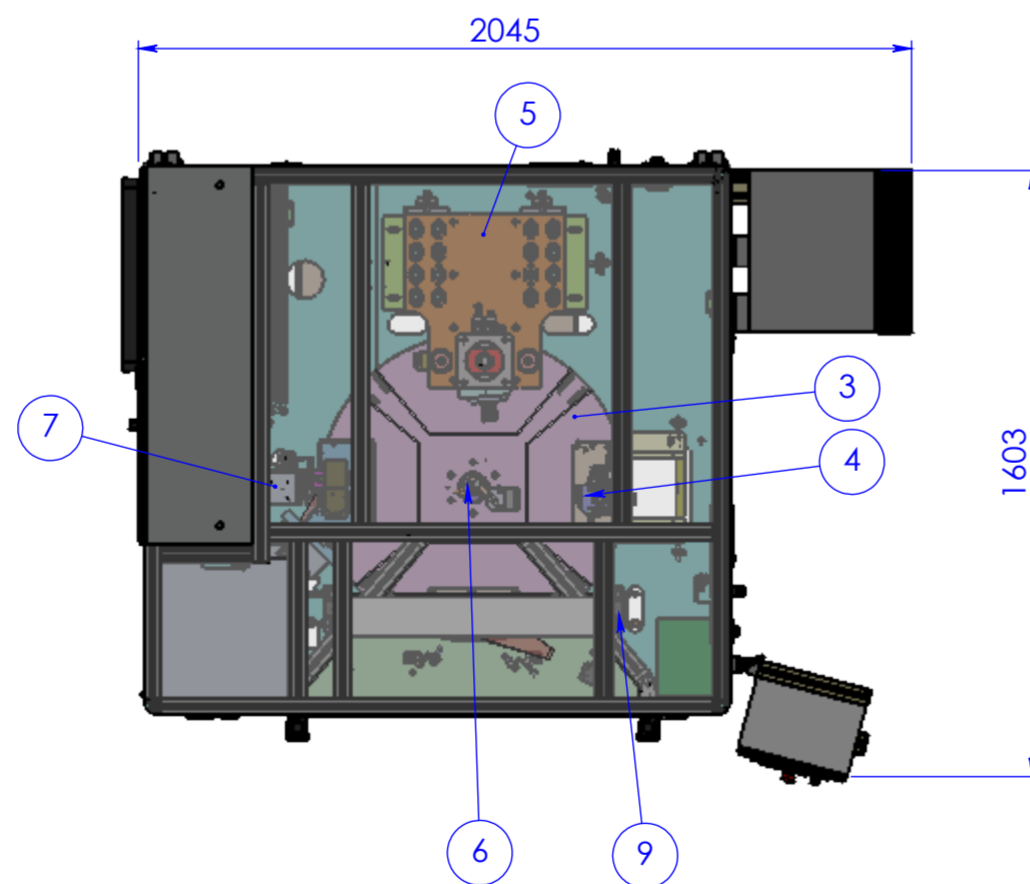
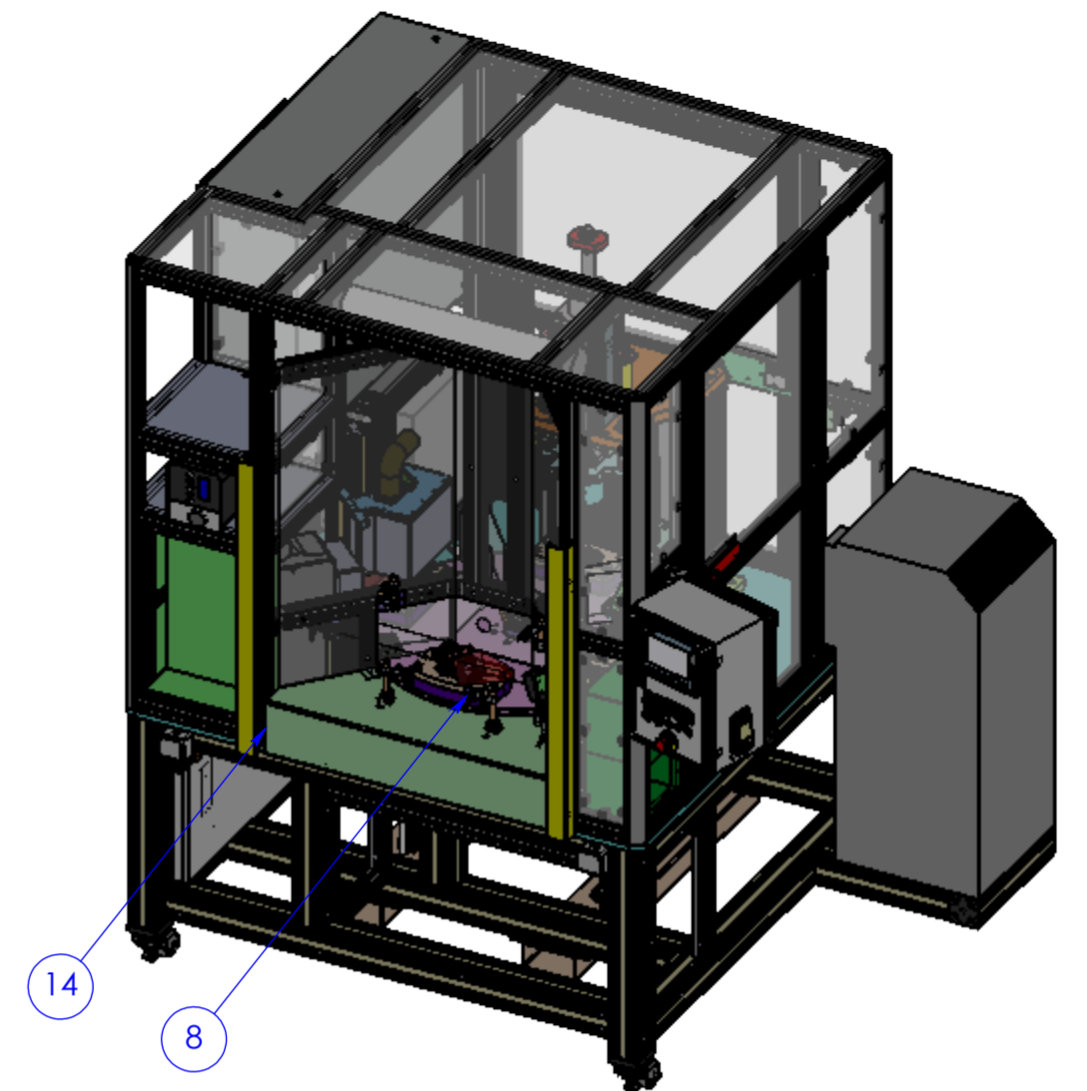
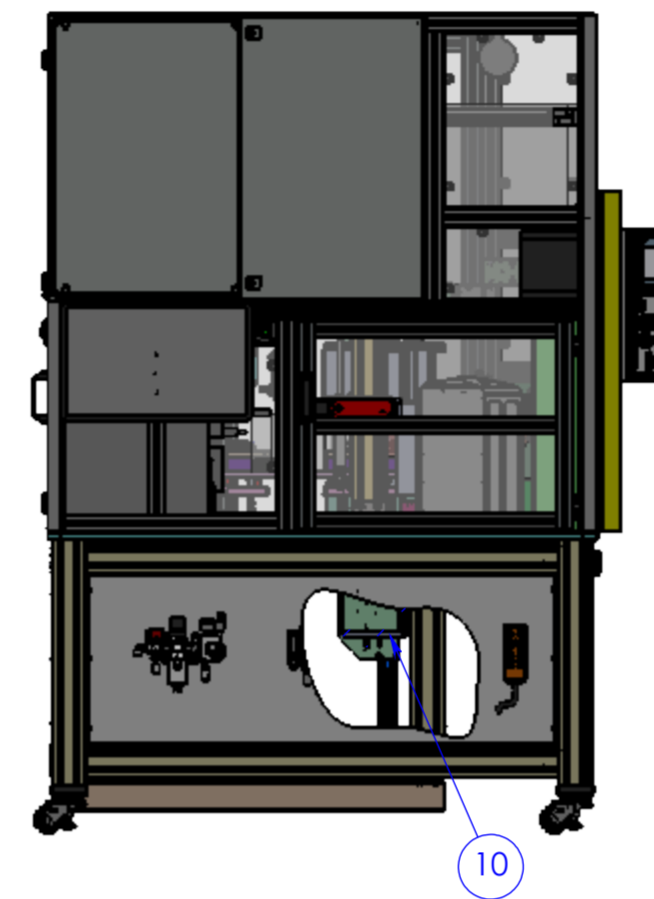
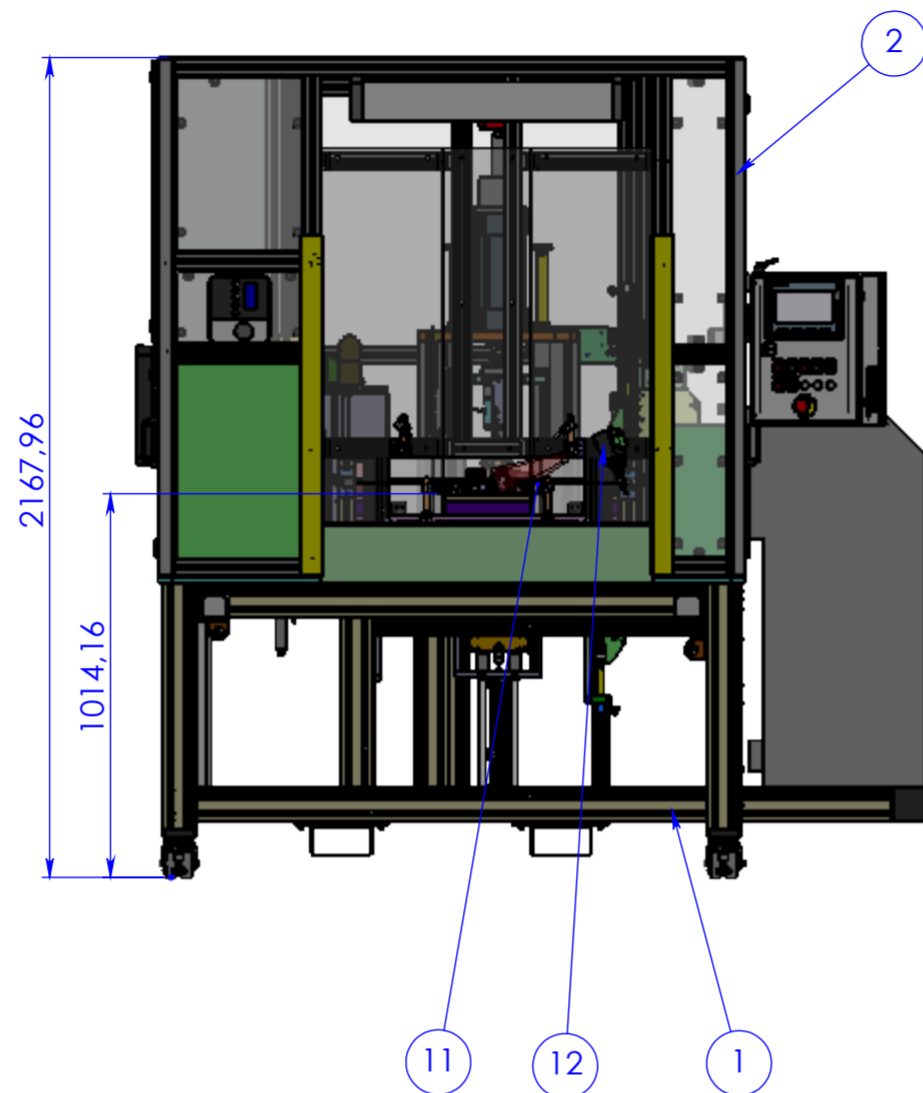
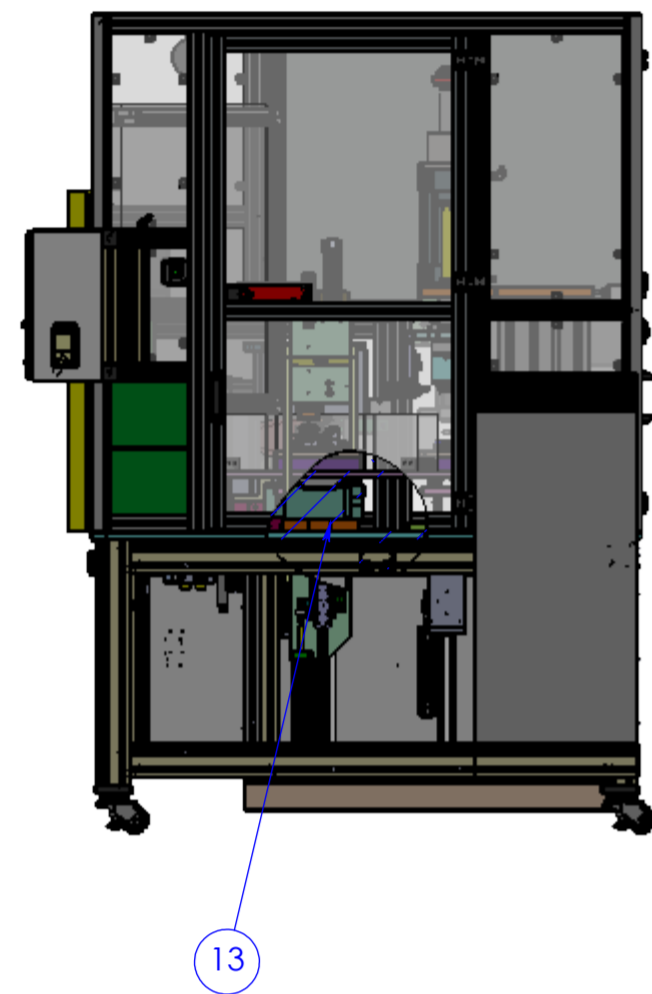
# Anexos



Anexo A

Documentação técnica - Caso de  
estudo 1





20	DIN 912 M6 x 16				2
19	DIN 912 M4 x 12				8
18	DIN 912 M6 x 12				4
17	DIN 912 M6 x 20				8
16	DIN 912 M6 x 25				6
15	DIN 912 M8 x 20				6
14	Placa Zona Operador	1096SON20 01 00 012			1
13	Placa Interface Mesa Rotativa	1096SON20 01 00 011			1
12	Montagem Leitor Datamatrix	1096SON20 01 12 001			1
11	Montagem Sopros Peça	1096SON20 01 11 001			2
10	PY Furo 2mm	1096SON20 01 10 001			1
9	Conjunto Detecção de Peça	1096SON20 01 09 001			1
8	Montagem posto de desbloqueio	0996SON18 01 01 002			1
7	Montagem Laser	1096SON20 01 07 001			1
6	Montagem sensor de visão - posto de estanqueidade	1096SON20 01 06 001			1
5	Posto estanqueidade 10604	1096SON20 01 05 001			1
4	Posto Controlo	1096SON20 01 04 001			1
3	Montagem Mesa Rotativa	1096SON20 01 03 001			1
2	Estrutura Superior 10604	1096SON20 01 02 001			1
1	Estrutura 10604	1096SON20 01 01 001			1
Item	Peça	Desenho	Referência	Fabricante	QTY.

Designação: 1096SON20 (Máquina 10604)

	Quebra arestas		Data	Rubrica	
	0,5 x 45°		26/02/2020	Tiago Morgado	
	Rugosidade Geral		Verificou		
	3,2		Exec.		
Tolerâncias Gerais					
ISO 2768 - mK					

Formato: A2	Nº Interno: <b>1096SON20 01 00 001</b>	Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material:	Escala
Última actualização /impressão	Tratamento:	1:20
Data: 15/02/2020	Acabamento:	1/1
	Projecto: Máq. estanqueidade e gravação peça 10604	



**!!! NOTA: Equipamento de estanqueidade Fortest fornecido pelo cliente !!!**

Illuminária de 700 mm  
(Fornecida pelo cliente)

Fortest M6990  
EV  
YV

Leitor Datamatrix  
SR1000 (Keyence)

Sopro gabarito  
EV  
YV

Monitor para Laser e Visão

Quadro elétrico

Porta c/  
encravamento de  
segurança  
XCSLE3737312  
(Schneider Eletrcic)  
Botoneira c/ 1 botão

**!!! NOTA: Os fechos de segurança das portas e respetivo relé vão ser aproveitados do projeto 0687SON13 e 0686SON13!!!**

Sopro peça  
EV  
YV

Extrator de fumo  
AD Oracle (Bofa)

Porta c/  
encravamento de  
segurança  
XCSLE3737312  
(Schneider Eletrcic)  
Botoneira c/ 1 botão

Posto de estanqueidade

Platine pneumática  
Arranque progressivo  
EV  
YV

Câmara de visão  
BOA-SPOT-SL 640x480 Mono;  
Ótica HR 3MP 25mm;  
Iluminação LED

Pressostato  
BQ

Barreiras fotoelétricas  
(YBB-30S4-0700-G012  
YBB-30R4-0700-G012  
Contrinex)

Resolução: 30 mm  
Comprimento: 700 mm

Posto de gravação

Porta c/  
encravamento de  
segurança  
XCSLE3737312  
(Schneider Eletrcic)  
Botoneira c/ 1 botão

**!!! NOTA: As barreiras de segurança e respetivo relé vão ser aproveitadas do projeto 0687SON13 !!!**

Conjunto de mesa rotativa

Posto de controlo

Quadro de comando

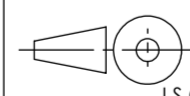

Posto de desbloqueio

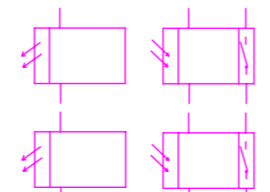
Detetor de presença/posição da peça

2x LLS-1181L-003(Receiver) / LLS-1181L-000 (Emitter) - (Contrinex)

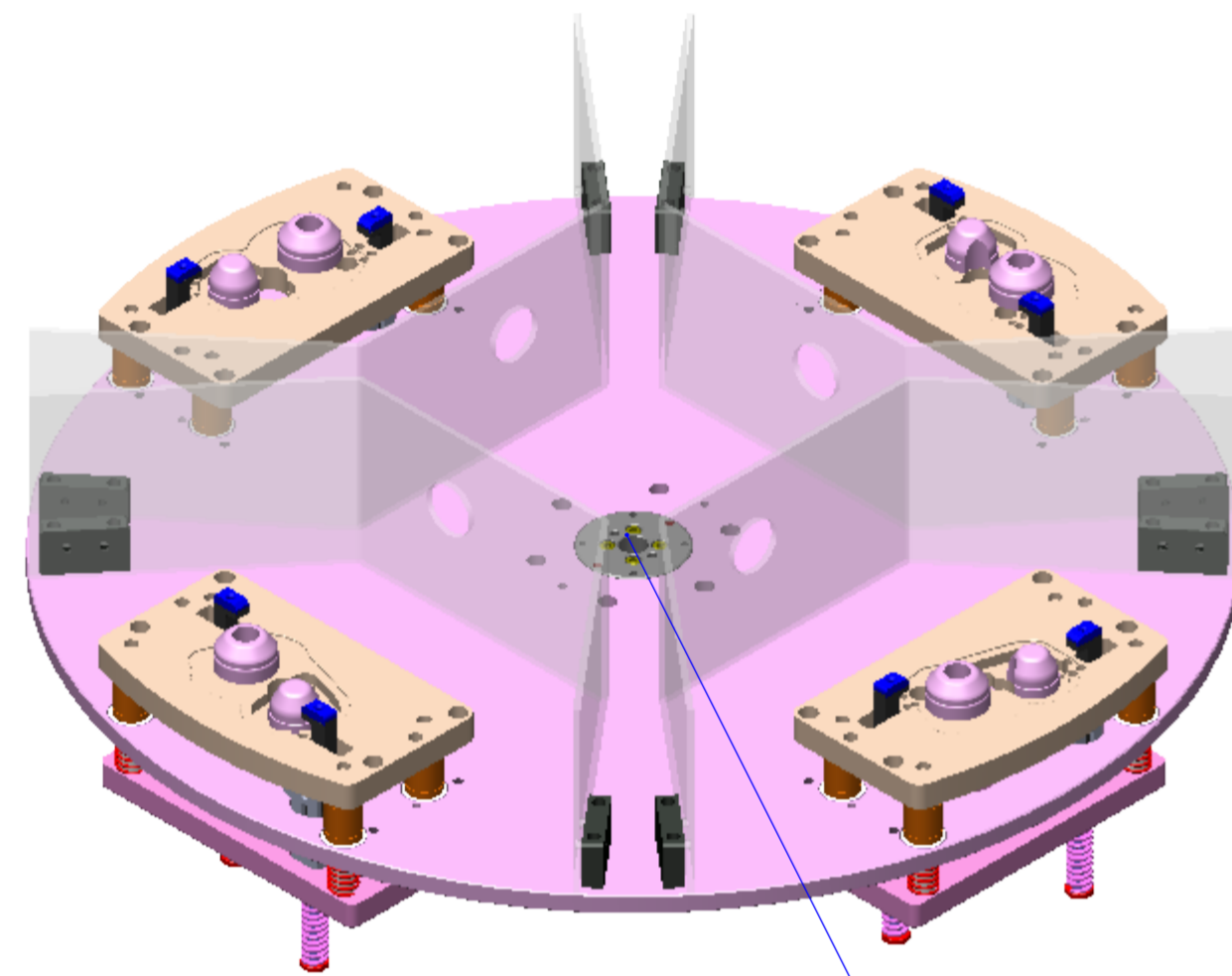
4x XSZB118 (Schneider Eletric)

Designação: 1096SON20 (Máquina 10604)

	Quebra arestas 0.5 x 45°	Data	Rubrica	 <p>Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106 atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt</p>
	Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	Rugosidade Geral 3.2	Desenhou 06/03/2020	
Formato: A2		Nº Interno: <b>1096SON20 99 00 001</b>		Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.		Material:		Escala 1:15
Última actualização /impressão Data: 18/02/2020		Acabamento:		
		Projecto: Máq. estanqueidade e gravação peça 10604		1/1



# Conjunto de mesa rotativa

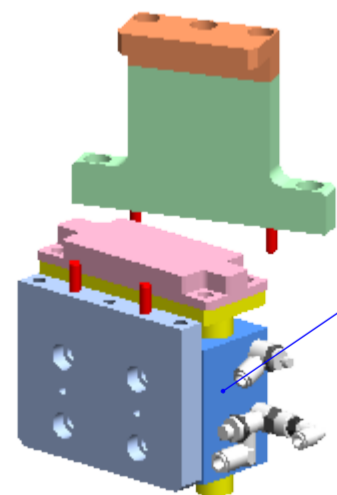


**!!! NOTA: Mesa rotativa fornecida pelo cliente!!!**

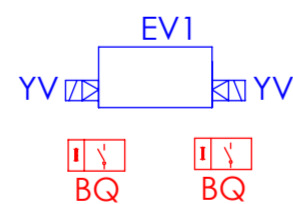
Mesa de rotação  
TC150T-4 [h] (Weiss)



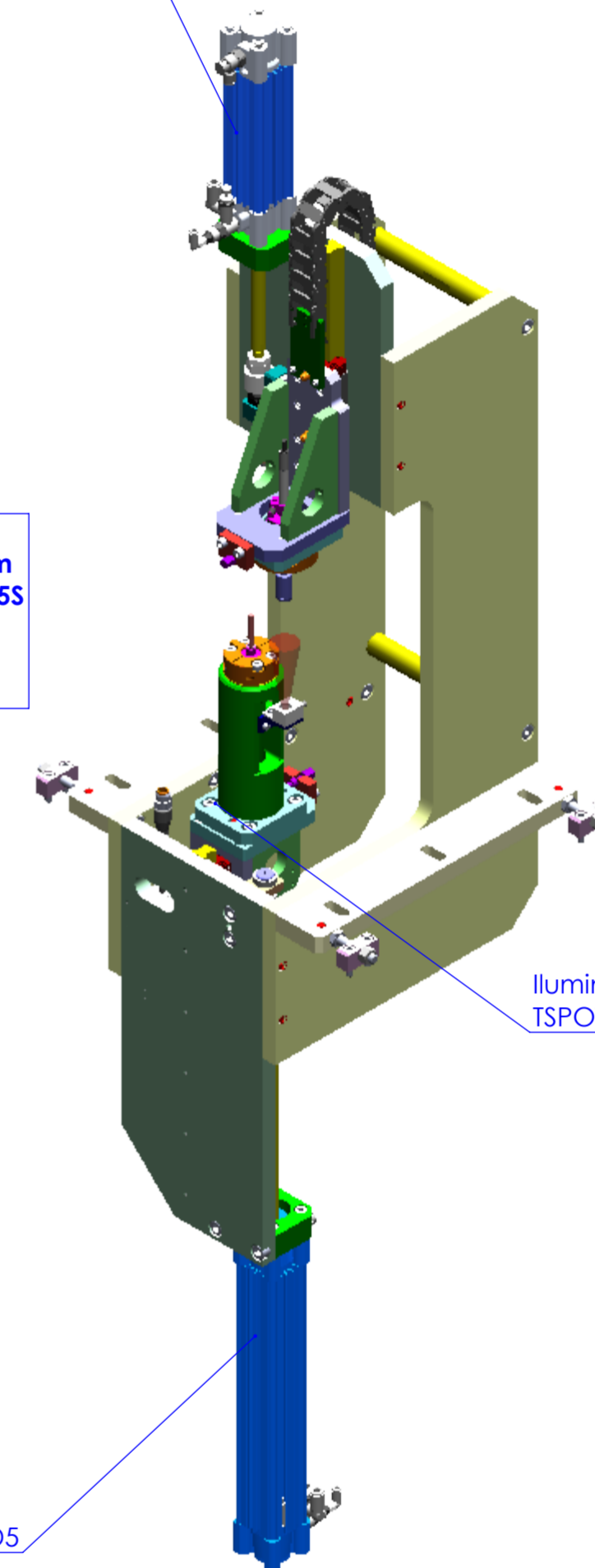
# Posto de desbloqueio



C1 Cilindro de desbloqueio de JIG  
MGPM50-40Z (SMC)

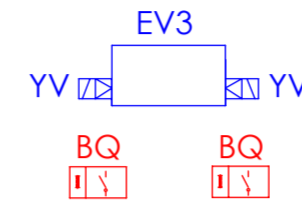


# Posto de controlo



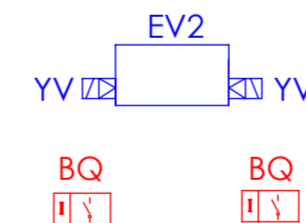
Iluminação  
TSPOT1-630-9

C3  
Cilindro de posicionamento Air-spindle D13,5  
CP96SDB32-100C (SMC)

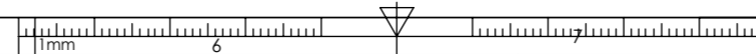


**NOTAS:**  
Posto de controlo de furos equipado com dois apalpadores da marca IBR ref. IMS-5S  
Ver restante material na proposta do fornecedor.

C2  
Cilindro de posicionamento Air-spindle D5  
CP96SDB32-220C (SMC)



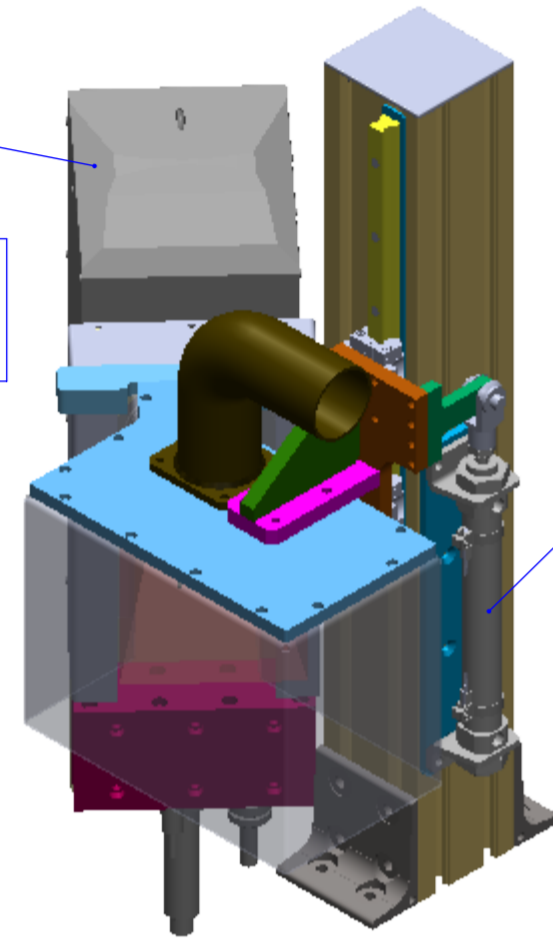
Designação: Montagem Mesa Rotativa				
 Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	 Rugosidade Geral 3.2	Quebra arestas 0.5 x 45° I.S.O	Data 06/03/2020	Rubrica Tiago Morgado
		Verificou		
Exec.				
Formato: A2	Nº Interno:	1096SON20 99 00 002		Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material:			Escala 1:5
	Tratamento:			
Última actualização /impressão Data: 18/02/2020	Acabamento:			1/1
	Projecto: Máq. estanqueidade e gravação peça 10604			



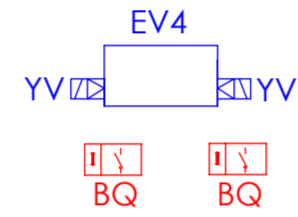
# Posto de gravação

Laser marcação  
(Keyence MD-X1500C (25W))

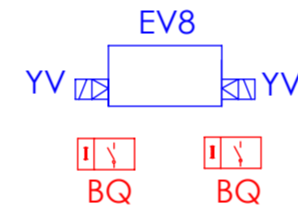
!!! NOTA: Equipamento de  
marcação Laser fornecido  
pelo cliente!!!



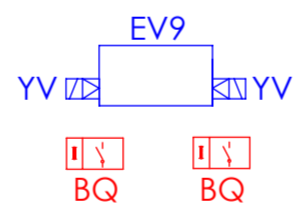
C4  
Cilindro de aproximação  
extrator de fumos  
CD85E25-140MW (SMC)



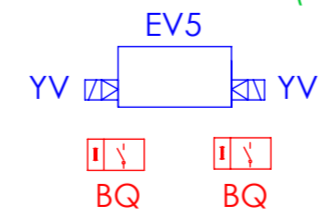
C8  
Cilindro de tamponamento Furo D4,5  
CDQMB20-40 (SMC)



C9  
Cilindro de tamponamento inferior  
CP96SDB32-125C (SMC)

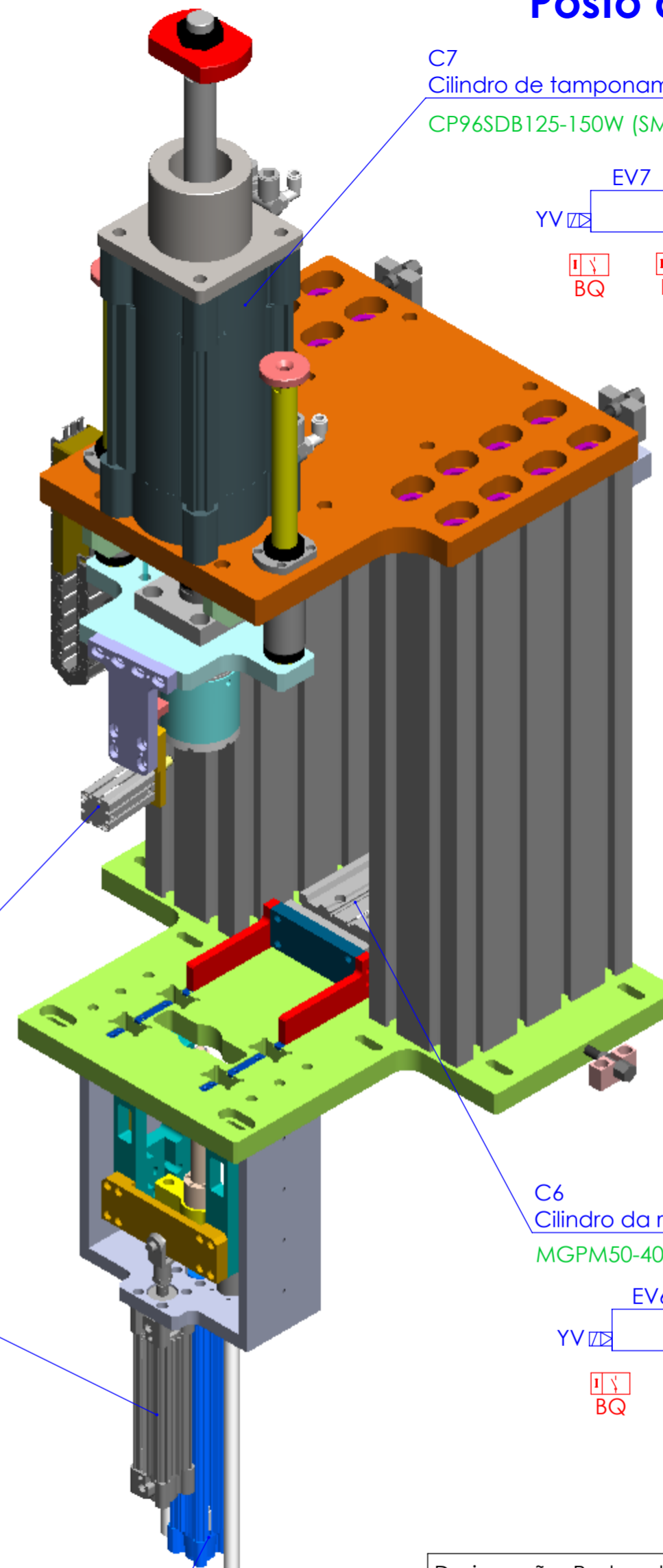
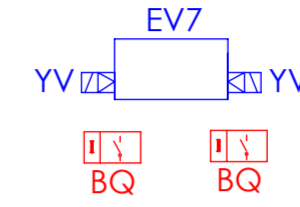


C5  
Cilindro de elevação reação  
CP96SDB32-240C (SMC)

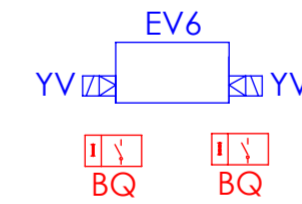


# Posto de estanqueidade

C7  
Cilindro de tamponamento superior  
CP96SDB125-150W (SMC)



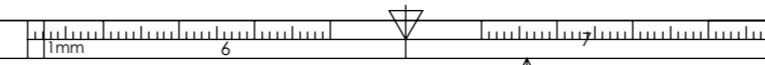
C6  
Cilindro da reação  
MGPM50-40Z (SMC)

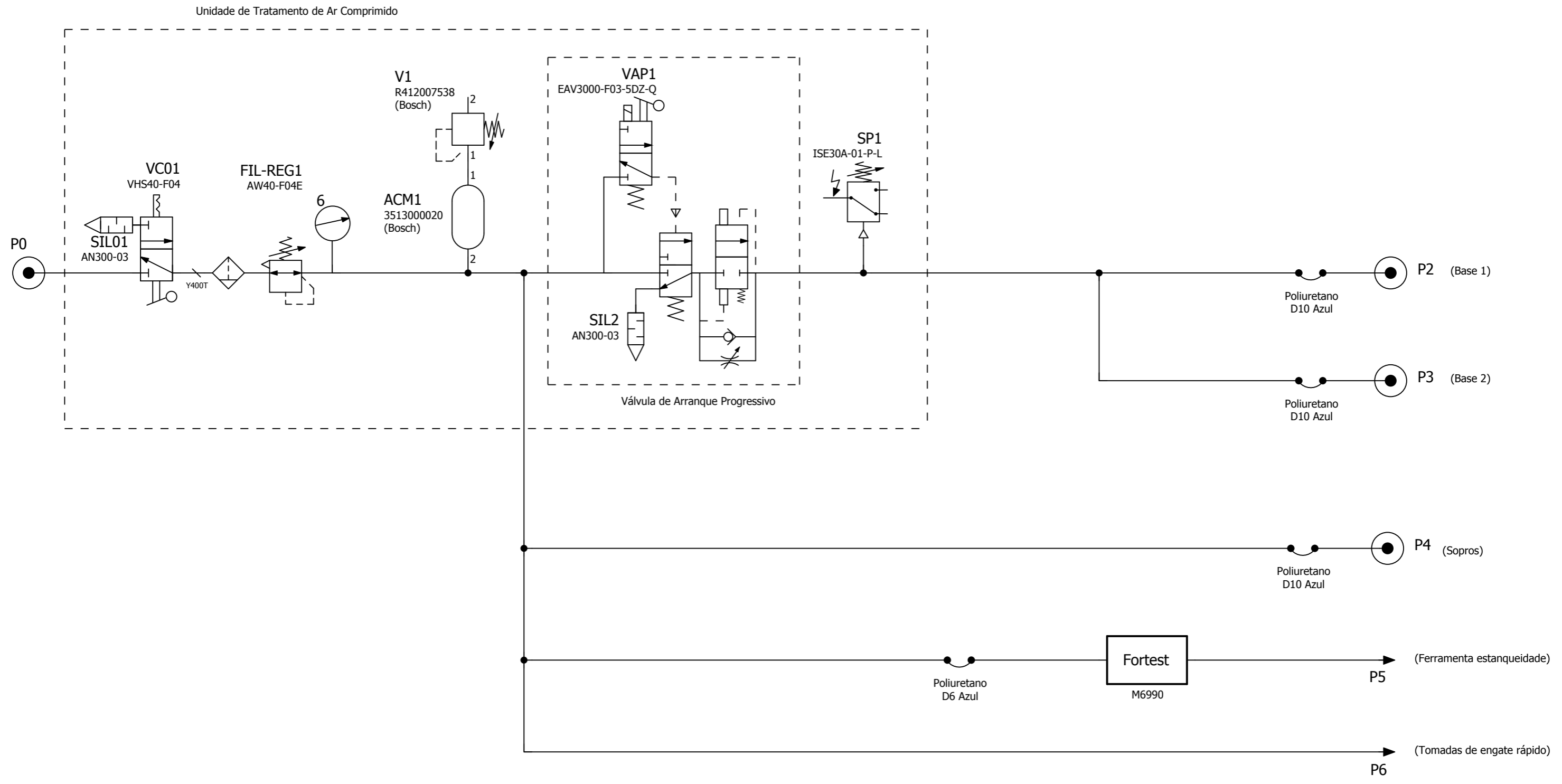


Designação: Posto estanqueidade 10604

	Quebra arestas I.S.O 0.5 x 45°	Desenhou	Data	Rubrica		Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106 atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt
		Verificou	06/03/2020	Tiago Morgado		
Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	Rugosidade Geral 3.2	Exec.				

Formato: A2	Nº Interno: <b>1096SON20 99 00 003</b>	Quant. 1
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material:	Escala 1:5
Última actualização /impressão Data: 18/02/2020	Tratamento:	1/1
	Acabamento: Projecto: Máq. estanqueidade e gravação peça 10604	

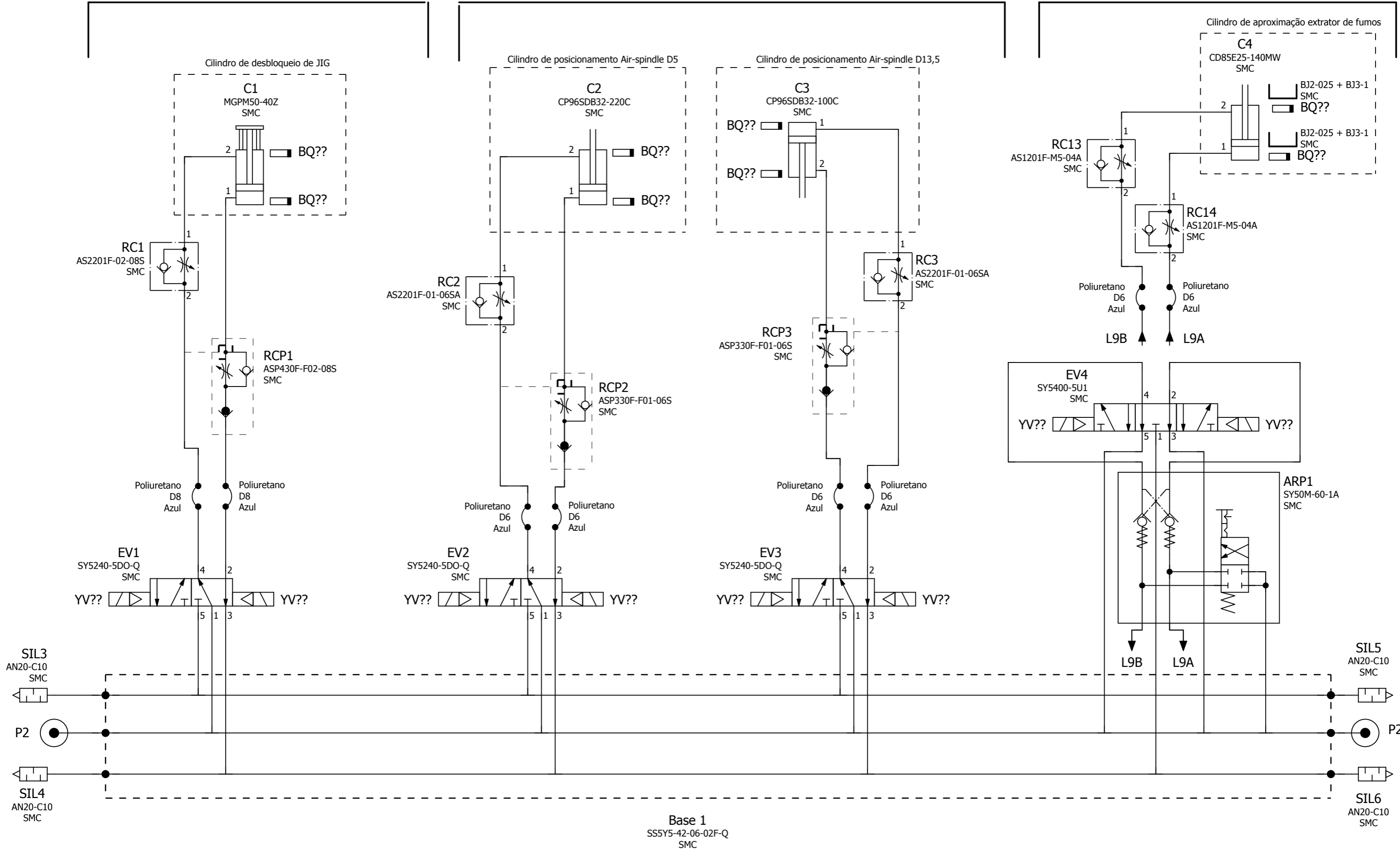




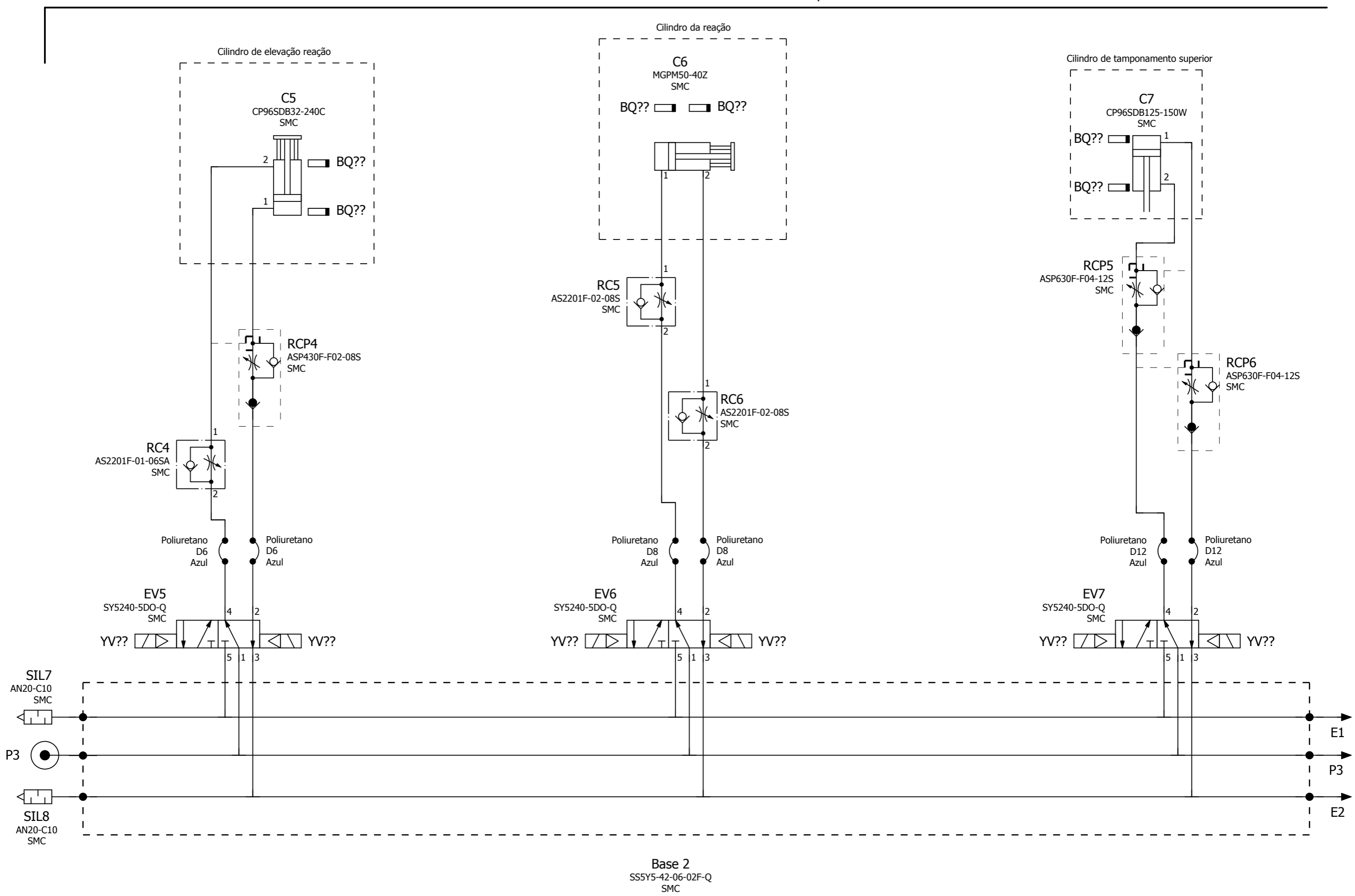
Posto de desbloqueio

Posto de controlo

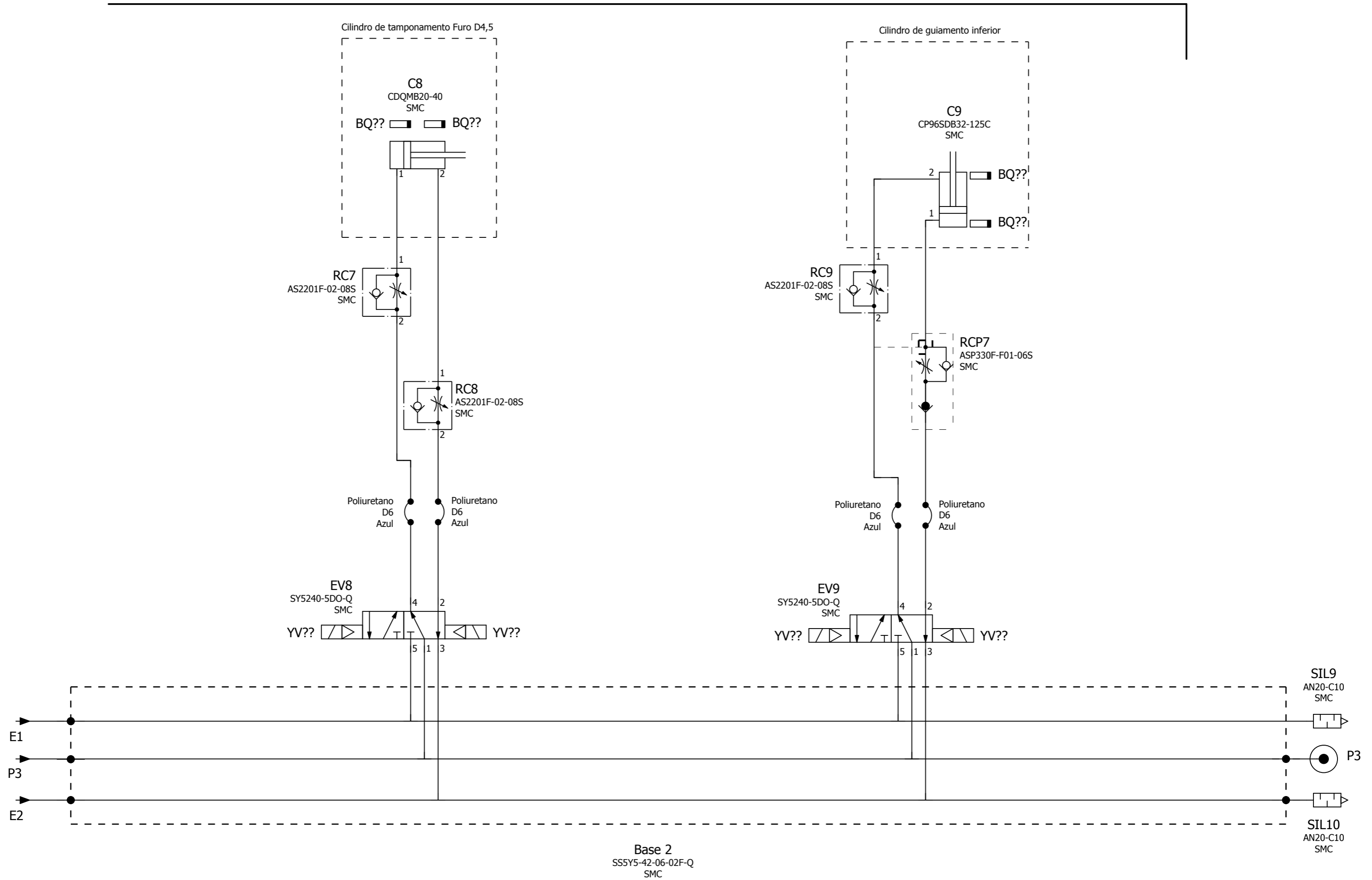
Posto de marcação



Posto de estanqueidade

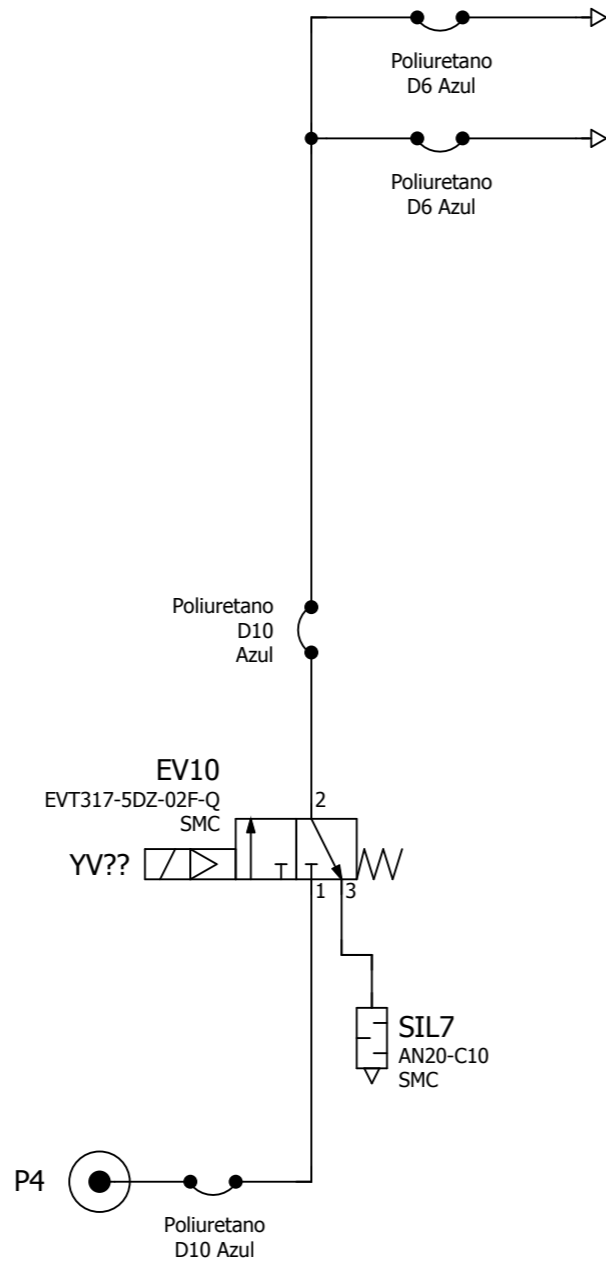


Posto de estanqueidade

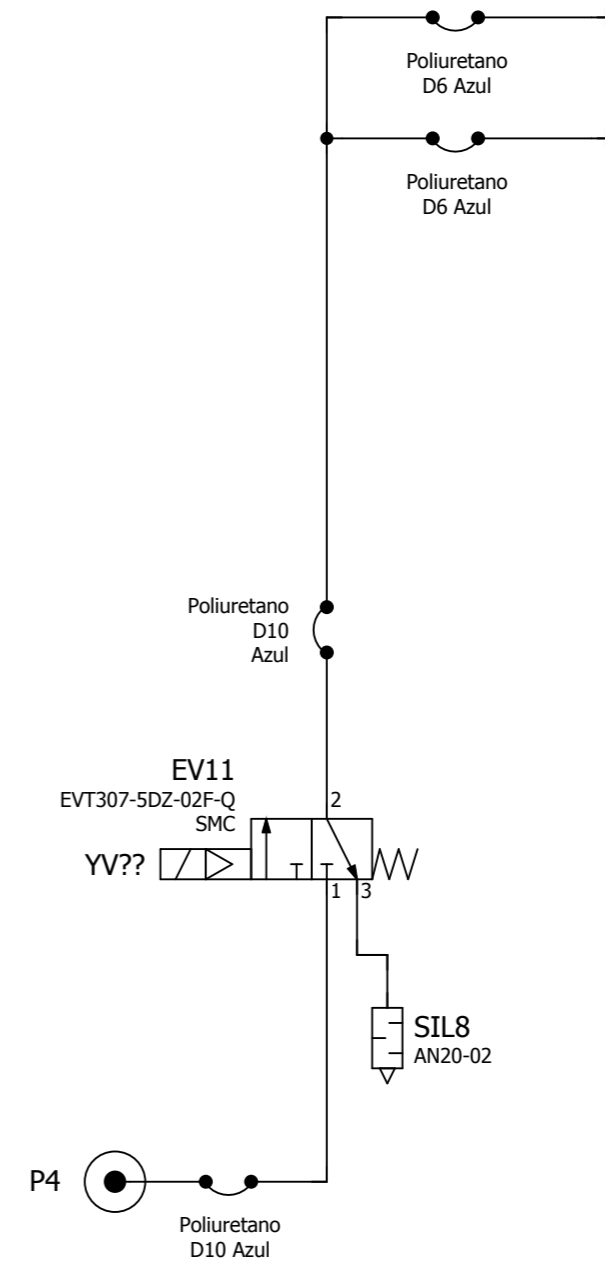


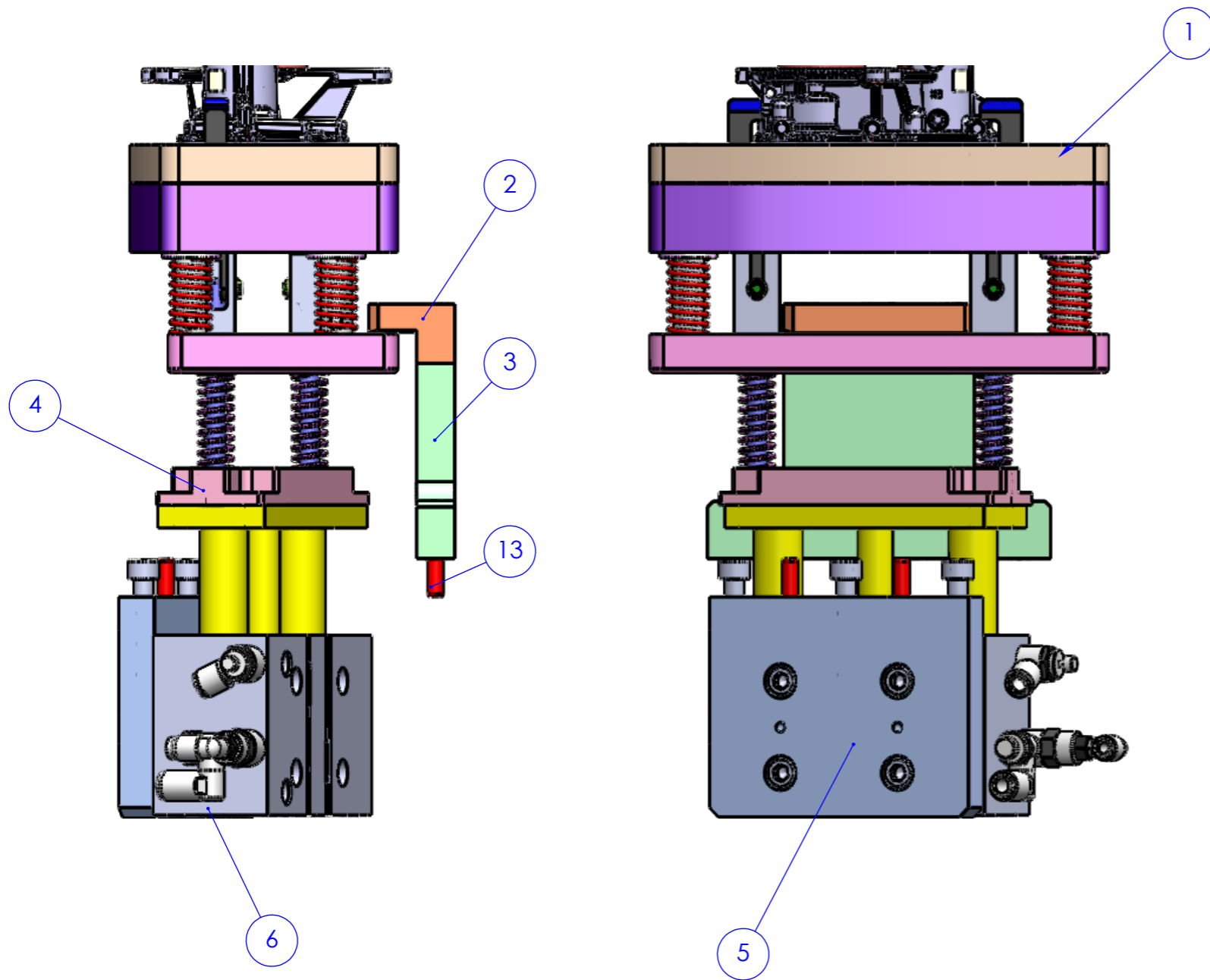


Sopro Peça



Sopro Gabarito



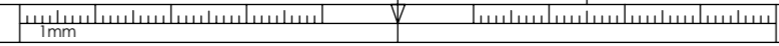


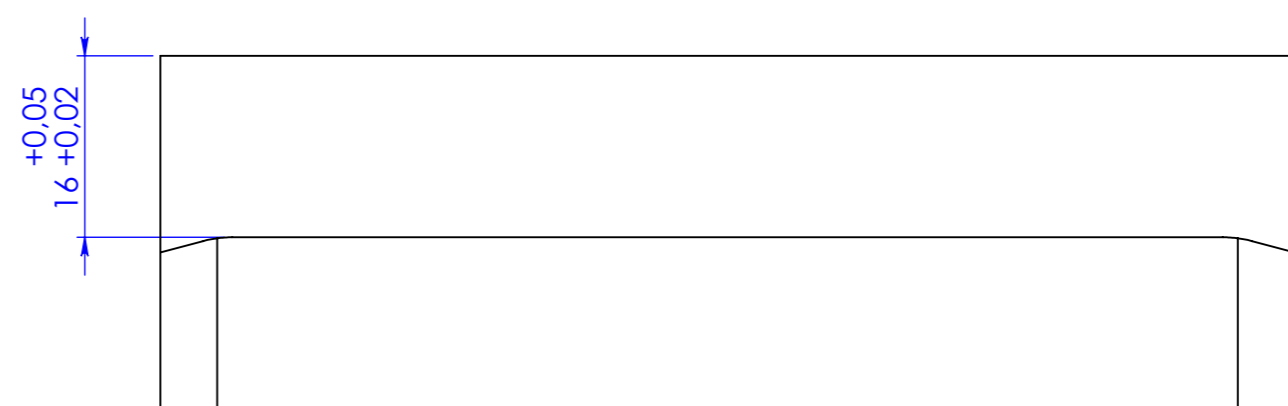
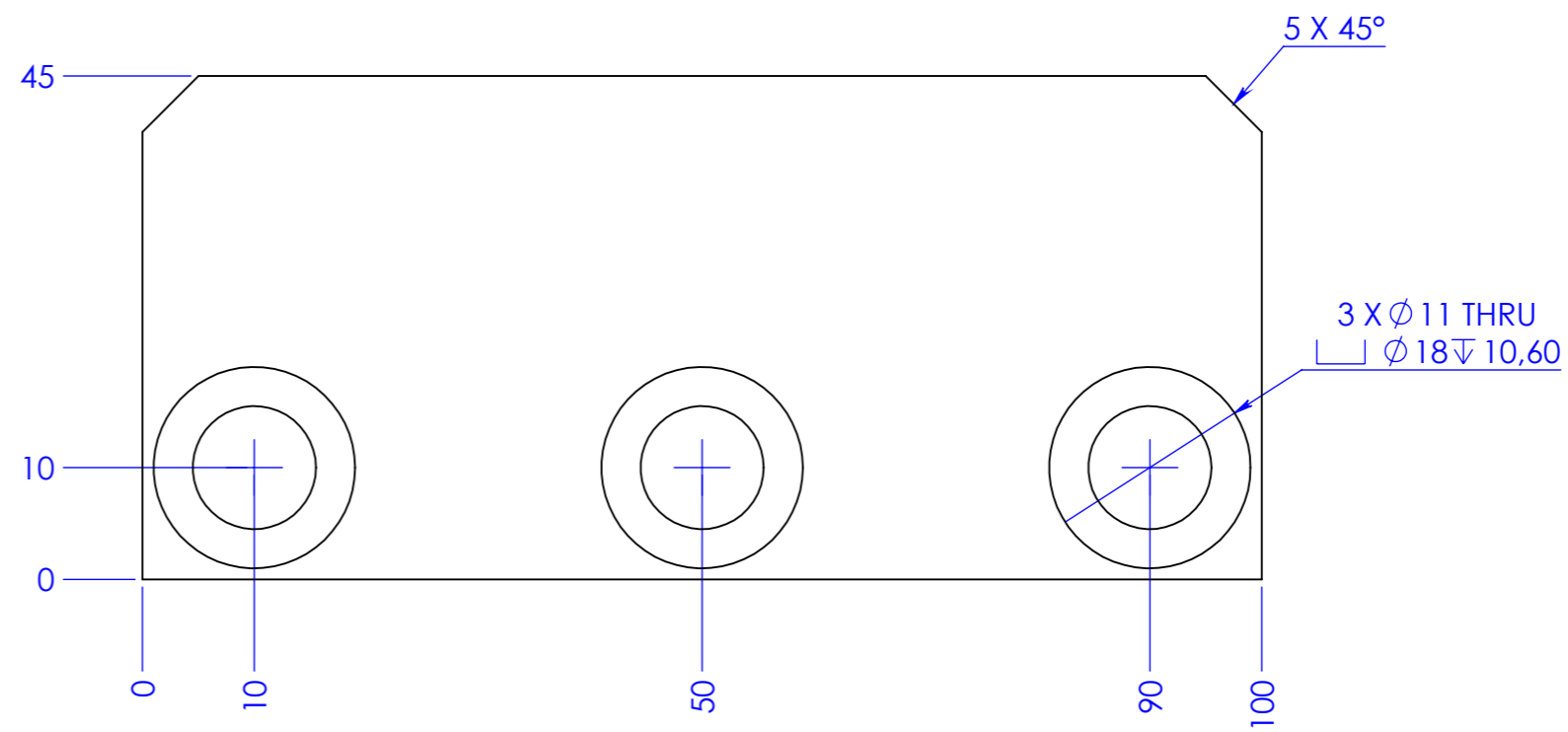
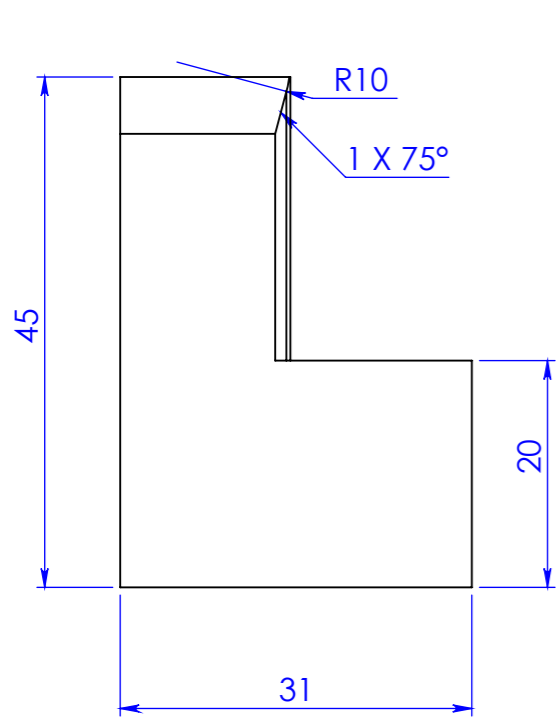
17	Placa Base Posto	1096SON20 01 01 012			1
16	din_en_iso_4762_m10x50				7
15	Cavilha ISO 8734 - 5 x 26 - A - St				-
14	ISO 8734 - 5 x 26 - A - St				-
13	Cavilha ISO 8734 - 8 x 40				4
12	DIN 912 M10 x 50 --- 32N				-
11	Cavilha ISO 8734 - 8 x 40 - A - St				-
10	DIN 912 M10 x 80 --- 32N				-
9	DIN 912 M10 x 40 --- 40N				-
8	DIN 912 M10 x 35 --- 35N				-
7	DIN 912 M10 x 16 --- 16N				-
6	Cilindro Pneum MGPM50-40Z		MGPM50-40Z	SMC	1
5	Placa suporte cilindro abertura palete	1096SON20 01 08 014			1
4	Batente abertura de palete	1096SON20 01 08 013			1
3	Espaçador reação topo	1096SON20 01 08 012			1
2	Reação abertura palete	1096SON20 01 08 011			1
1	Gabarito 10604	1096SON20 01 03 002			1
Item	Peça	Desenho	Referência	Fabricante	QTY.

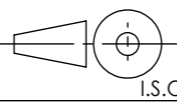
Designação: Montagem posto de desbloqueio

	Quebra arestas		Data	Rubrica	<p>Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro</p> <p>T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106</p> <p>atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt</p>
	0,5 x 45°	Desenhou	26/02/2020	Tiago Morgado	
Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	Rugosidade Geral 3,2	Verificou			
		Exec.			

Formato: A3	Nº Interno: 1096SON20 01 08 001	Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material:	Escala 1:3
	Tratamento:	
Última actualização /impressão Data: 15/02/2020	Acabamento:	1/1
	Projeto: Máq. estanquidade e gravação peça 10604	





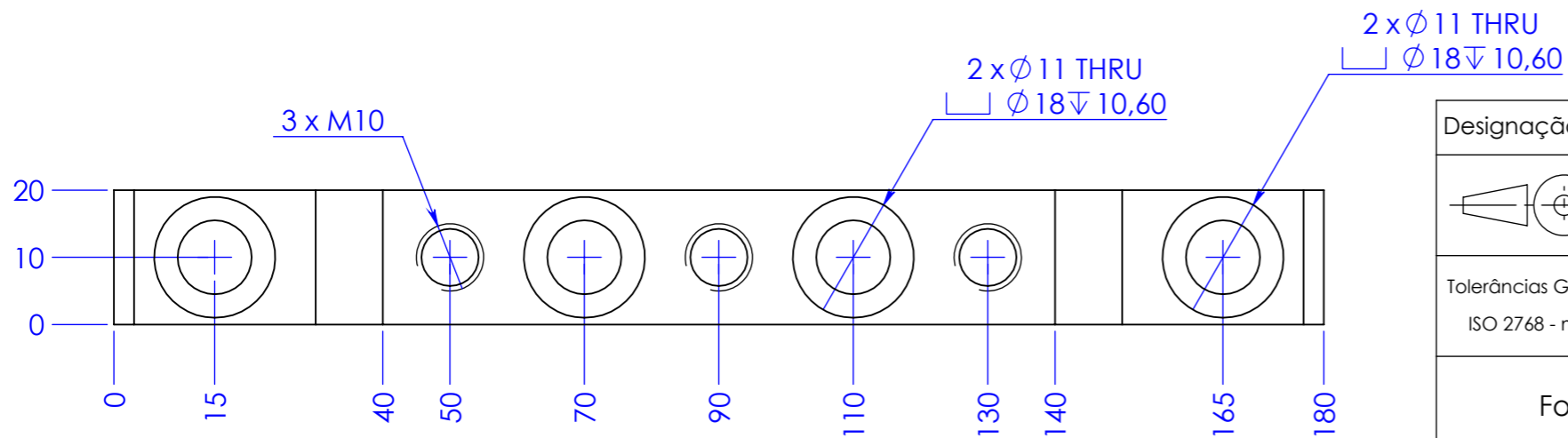
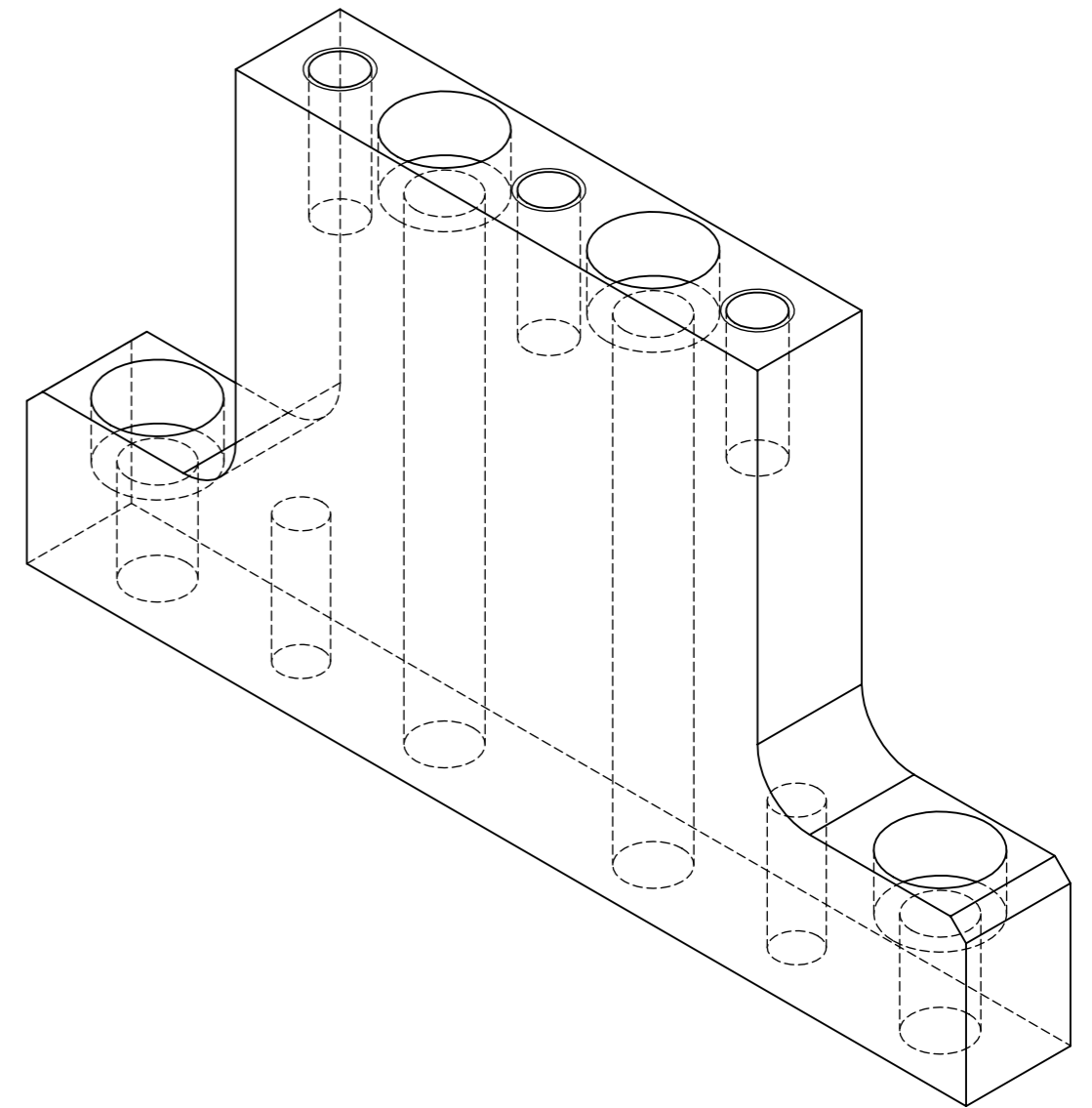
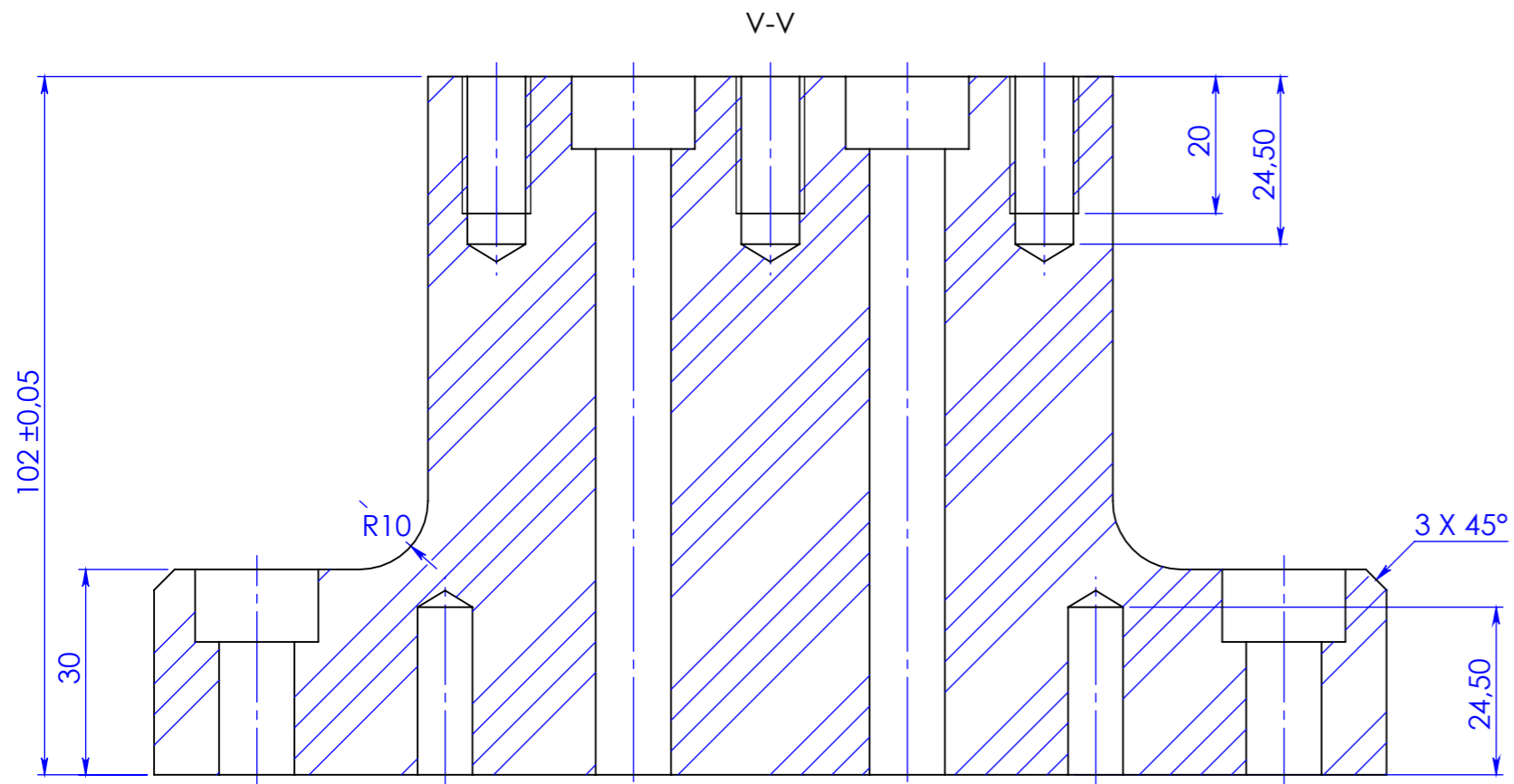
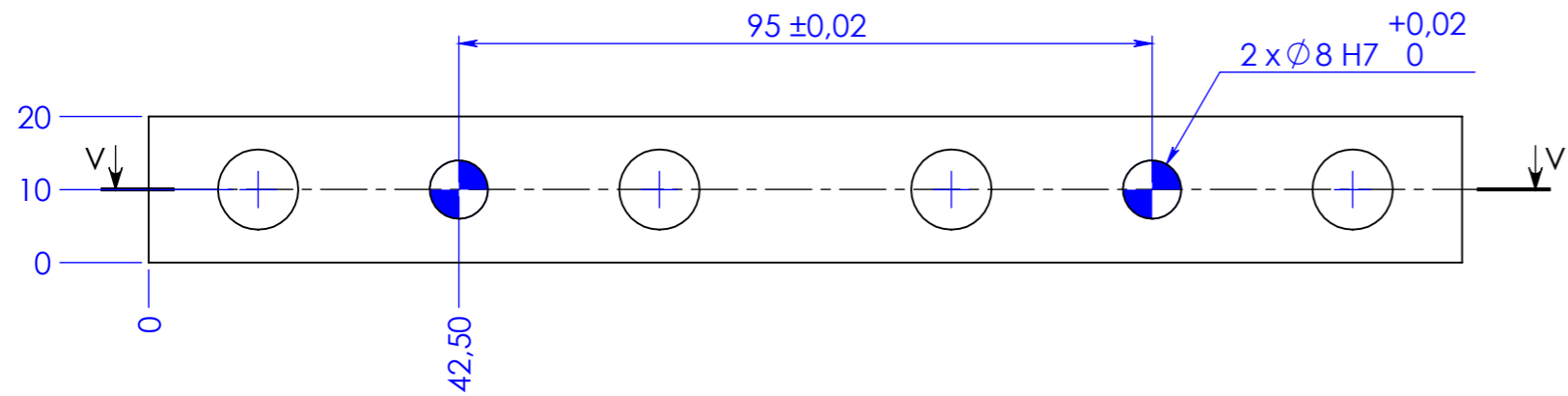
Designação: Reação abertura palete				
 I.S.O.	Quebra arestas		Data	Rubrica
	0,5 x 45°	Desenhou	27/02/2020	Tiago Morgado
Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	Rugosidade Geral	Verificou		
	3,2	Exec.		
Formato: A3		Nº Interno: 1096SON20 01 08 011		Quant. 1
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.		Material: 40CrMnMo7 (2311)		Escala 3:2
		Tratamento: Nitruração		
Última actualização /impressão Data: 15/02/2020		Acabamento:		1/1
		Projeto: Máq. estanquidade e gravação peça 10604		

Atena Automação Industrial, Lda  
Zona Industrial da Palhaça lote 11  
3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro

**Atena**  
Automação Industrial

T. +351 234 757 010  
F. +351 234 756 106  
atena@atena-ai.pt  
www.atena-ai.pt

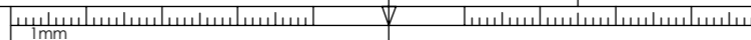


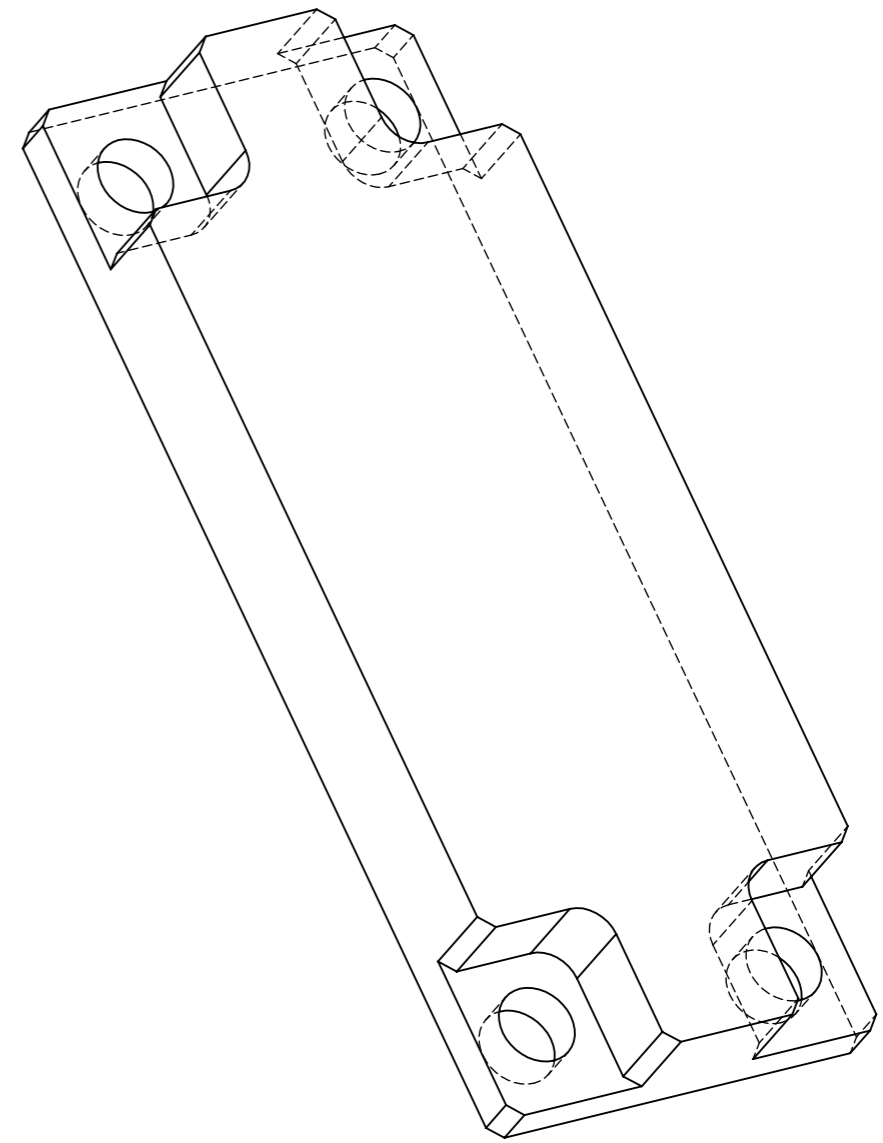
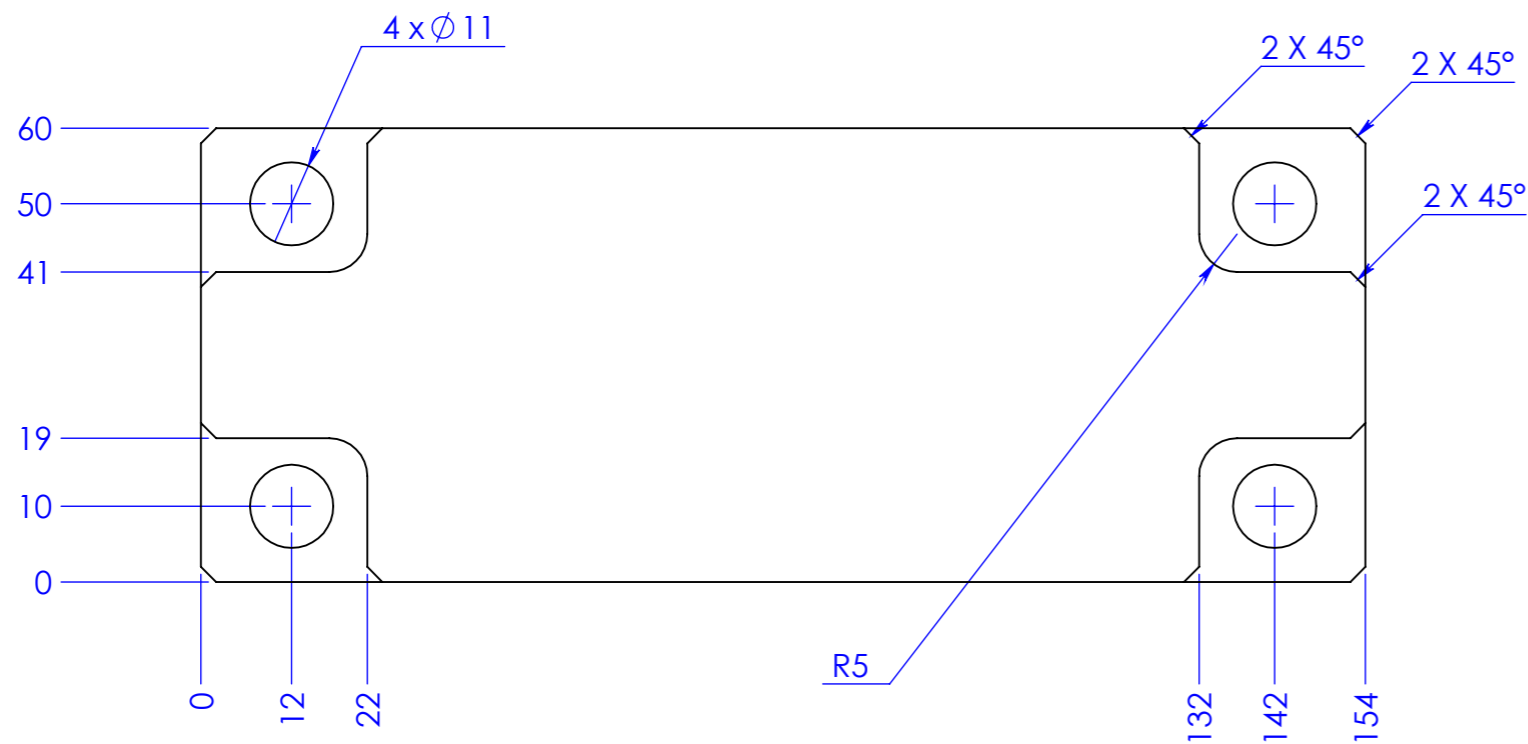
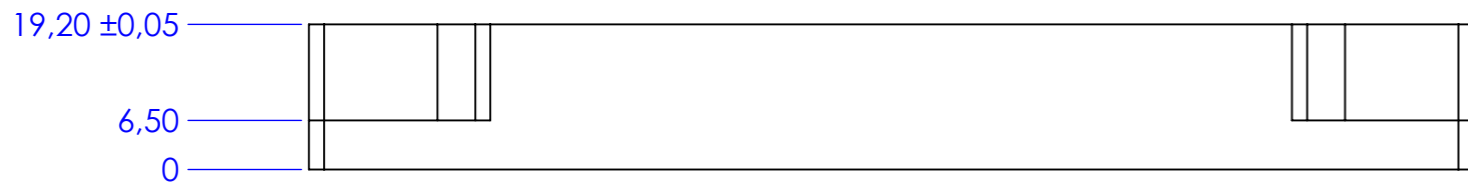


Designação: Espaçador reação topo

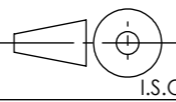

 I.S.O.	Quebra arestas		Data	Rubrica	 Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106 atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt
	0,5 x 45°	Desenhou	27/02/2020	Tiago Morgado	
Tolerâncias Gerais	Rugosidade Geral	Verificou			
ISO 2768 - mK	3,2	Exec.			

Formato: A3	Nº Interno: 1096SON20 01 08 012	Quant. 1
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material: C45E (F10)	Escala 1:1
	Tratamento: Oxidação a Negro	
Última actualização /impressão	Acabamento:	1/1
Data: 15/02/2020	Projeto: Máq. estanquidade e gravação peça 10604	





Designação: Batente abertura de palete

 I.S.O.	Quebra arestas		Data	Rubrica	 Atena Automação Industrial	Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106 atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt
	0,5 x 45°	Desenhou	27/02/2020	Tiago Morgado		
Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	Rugosidade Geral 3,2	Verificou				
		Exec.				

Formato: A3

Nº Interno: 1096SON20 01 08 013

Quant.  
1

Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.

Material: 40CrMnMo7 (2311)

Escala  
1:1

Tratamento: Nitruração

Última actualização /impressão  
Data: 15/02/2020

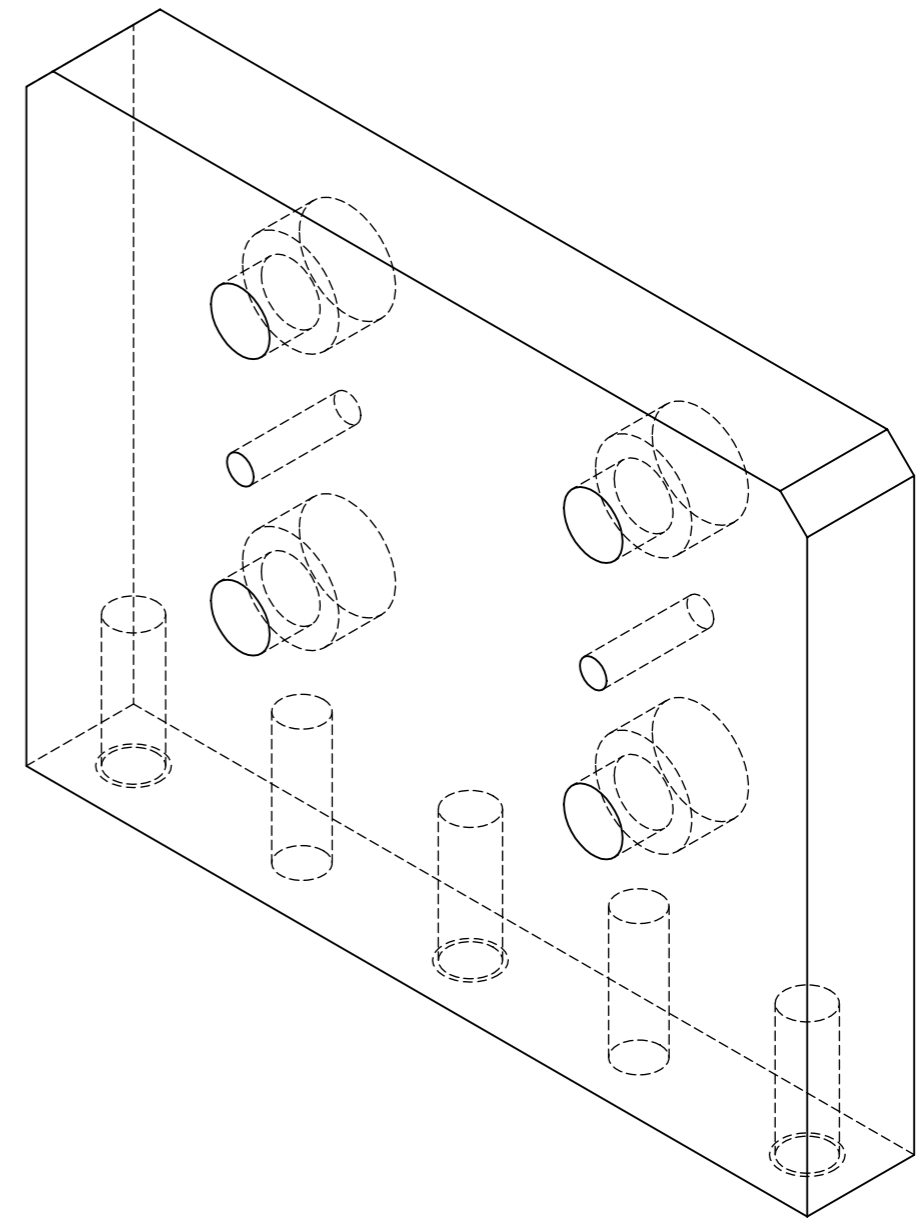
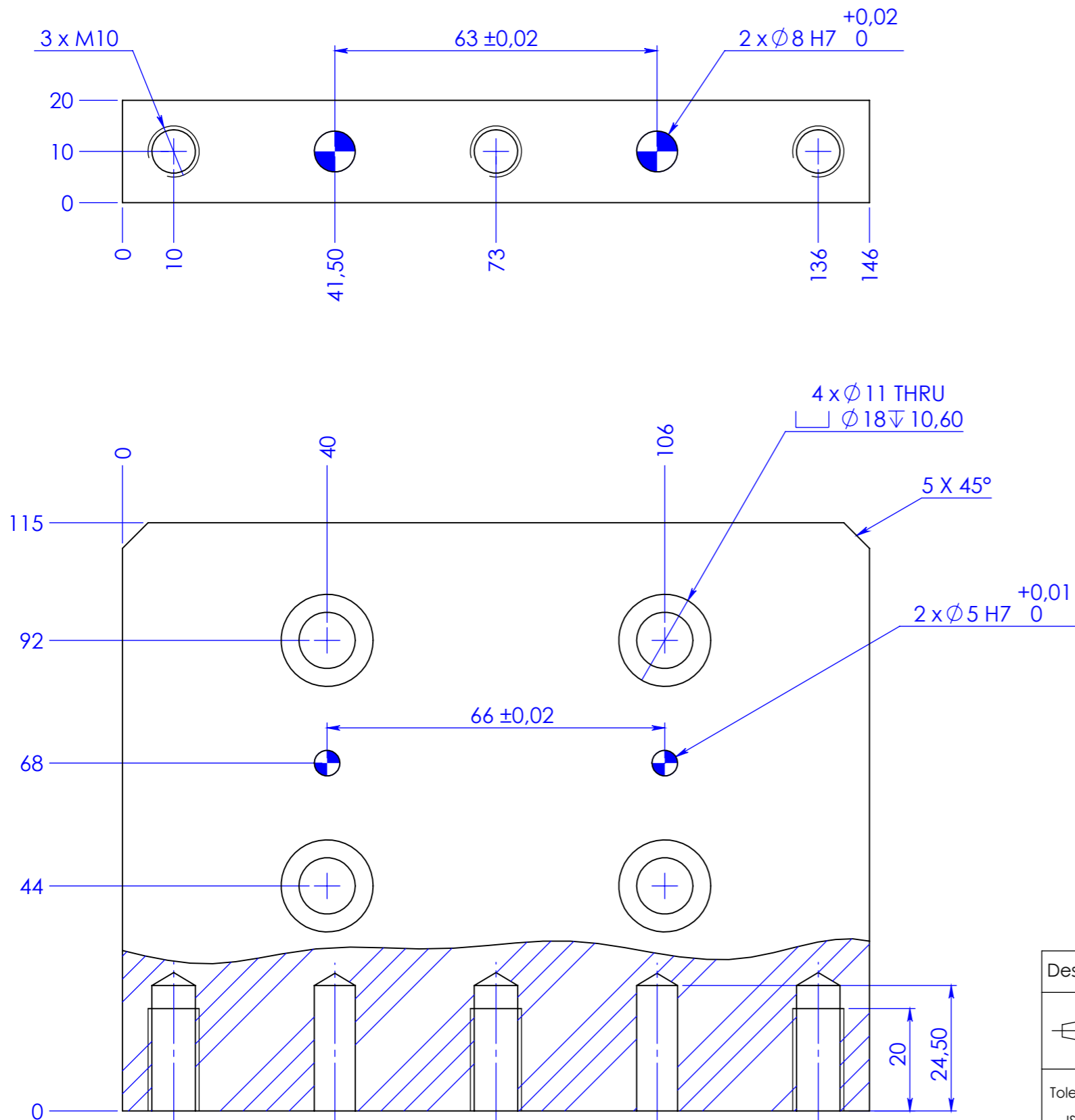
Acabamento:

Projeto: Máq. estanquedidade e gravação peça 10604

1/1



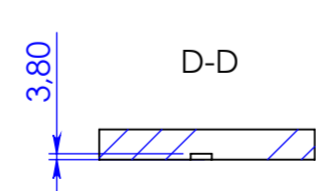
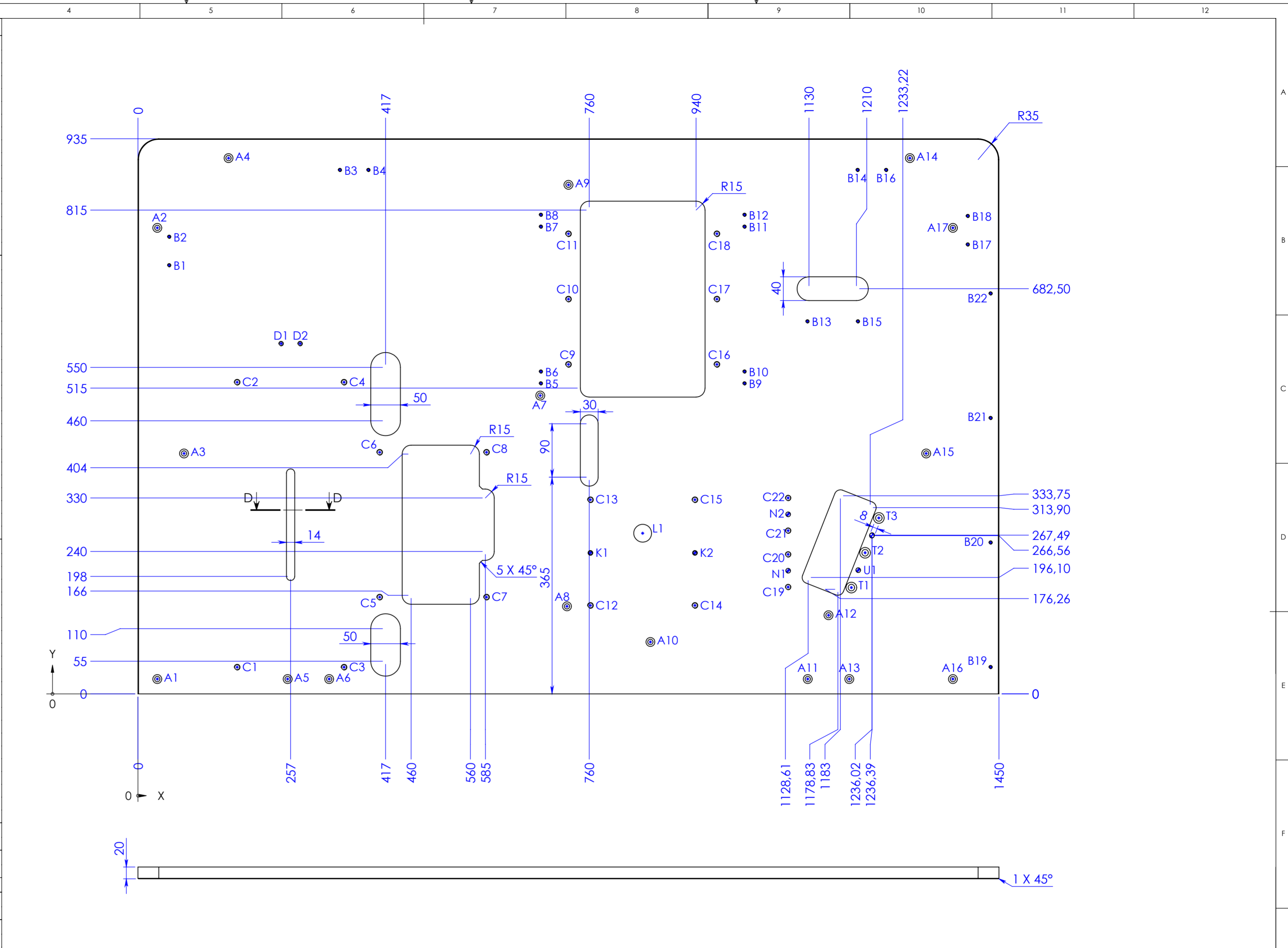
1mm



Designação: Placa suporte cilindro abertura palete				Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro	
I.S.O.	Quebra arestas 0,5 x 45°	Desenhou	Data 27/02/2020	Rubrica Tiago Morgado	
	Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	Rugosidade Geral 3,2	Verificou		
		Exec.			 Automação Industrial T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106 atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt
Formato: A3		Nº Interno: 1096SON20 01 08 014		Quant. 1	
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.		Material: C45E (F10)		Escala 1:1	
		Tratamento: Zincagem			
Última actualização /impressão Data: 15/02/2020		Acabamento: Projeto: Máq. estanquidade e gravação peça 10604		1/1	



TAG	X LOC	Y LOC	SIZE
A1	32,50	25	
A2	32,50	785	
A3	77,50	405	
A4	152,50	902,50	
A5	252	25	
A6	322	25	
A7	677,50	502,50	
A8	722,50	147,50	
A9	725	857,50	
A10	863	87,50	
A11	1128	25	
A12	1163	132,50	
A13	1198	25	
A14	1300	902,50	
A15	1327,50	405	
A16	1372,50	25	
A17	1372,50	785	
B1	52,50	722	
B2	52,50	770	
B3	340	882,50	
B4	388	882,50	
B5	678,50	523	
B6	678,50	543	
B7	678,50	787	
B8	678,50	807	
B9	1021,50	523	
B10	1021,50	543	
B11	1021,50	787	
B12	1021,50	807	
B13	1127,50	627,50	
B14	1212	882,50	
B15	1212,50	627,50	
B16	1260	882,50	
B17	1397,50	757	
B18	1397,50	805	
B19	1436	45,25	
B20	1436	255	
B21	1436	464,75	
B22	1436	674,50	
C1	167	45	
C2	167	525	
C3	347	45	
C4	347	525	
C5	407	163	
C6	407	407	
C7	587	163	
C8	587	407	
C9	725	555	
C10	725	665	
C11	725	775	
C12	762	149	
C13	762	327	
C14	938	149	
C15	938	327	
C16	975	555	
C17	975	665	
C18	975	775	
C19	1095	180	
C20	1095	235	
C21	1095	275	
C22	1095	330	
D1	241	590	
D2	273	590	
K1	762	237,50	
K2	938	237,50	
L1	850	270,63	
N1	1095	207,50	
N2	1095	302,50	
T1	1201,47	179,14	
T2	1224,63	237,73	
T3	1247,78	296,32	
U1	1213,05	208,43	



Designação: Placa Base Posto			
	Quebra arestas 0,5 x 45° I.S.O.	Data 27/02/2020	Rubrica Tiago Morgado
Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	Rugosidade Geral 3,2/√	Verificou	
Formato: A2		Nº Interno: <b>1096SON20 01 01 012</b>	
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.		Material: C45E (F10)	Escala 1:5
Última actualização /impressão Data: 15/02/2020		Acabamento:	1/1
		Projecto: Máq. estanquidade e gravação peça 10604	



Atena Automação Industrial, Lda  
Zona Industrial da Palhaça lote 11  
3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro  
T. +351 234 757 010  
F. +351 234 756 106  
atena@atena-ai.pt  
www.atena-ai.pt

## Anexo B

# Documentação técnica - Caso de estudo 2



# MATRIZ QFD

Requisitos de cliente				ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS										Avaliação dos requisitos de qualidade								
nível primário		KANO	Prioridade Inicial (Mudge)	Direcção de	Área da base	Curso vertical da base	Tempo de aperto da peça	Peso	Distância entre o operador e o posto de carga	Nº de operações no aperto	Potência do motor	Tempo de montagem/desmontagem	Dimensões do produto	Preço dos componentes de desgaste	Nº de sistemas com amortecimento	Trumark 1000	L - Box	avaliação da concorrência (Mi)	Avaliação estratégica de mercado (Ei)	peso relativo	ATRIBUTOS DE QUALIDADE corrigidos (IDI*)	
1	Manuseamento simples e intuitivo	O	7	▲	3		3		1	9							1,0	1,0	1,0	1,0	21%	7
2	Gravar peças com dimensões elevadas	E	6	▲	9	9					3						1,5	1,5	1,5	1,5	27%	9
3	Processo de carga e movimentação da peça rápido	L	5	▼			9		3	3							1,0	1,0	1,0	1,0	15%	5
4	Ser portátil	O	4	▼				9					3				1,5	1,5	1,5	1,5	18%	6
5	Baixo custo de manutenção	E	3	▼								3		9			1,0	1,0	1,0	1,0	9%	3
6	Produto compacto	L	2	▲	-3	-3							9				1,0	1,0	1,0	1,0	6%	2
7	Reduzida vibração e ruído	L	1	▲											3		1,0	1,0	1,0	1,0	3%	1

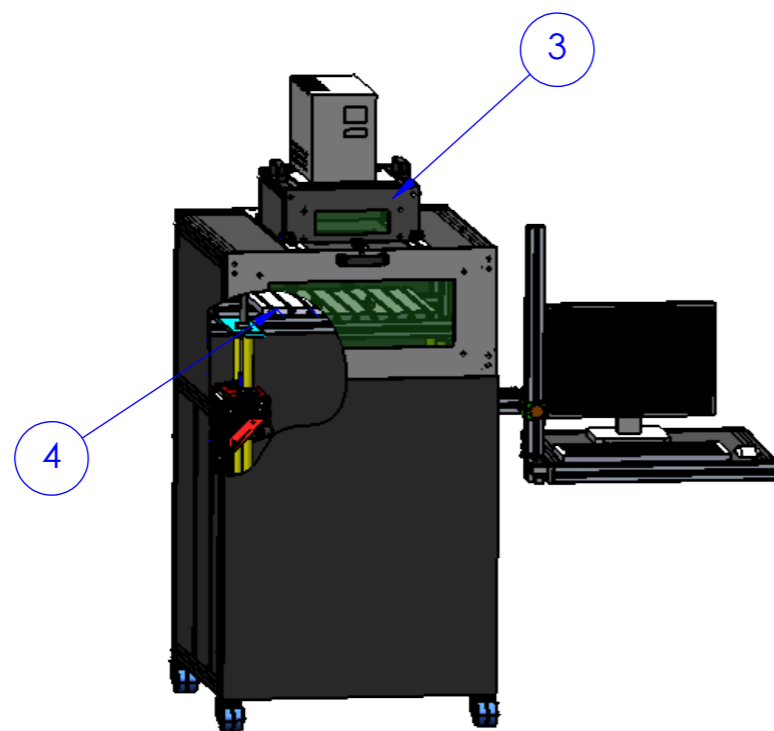
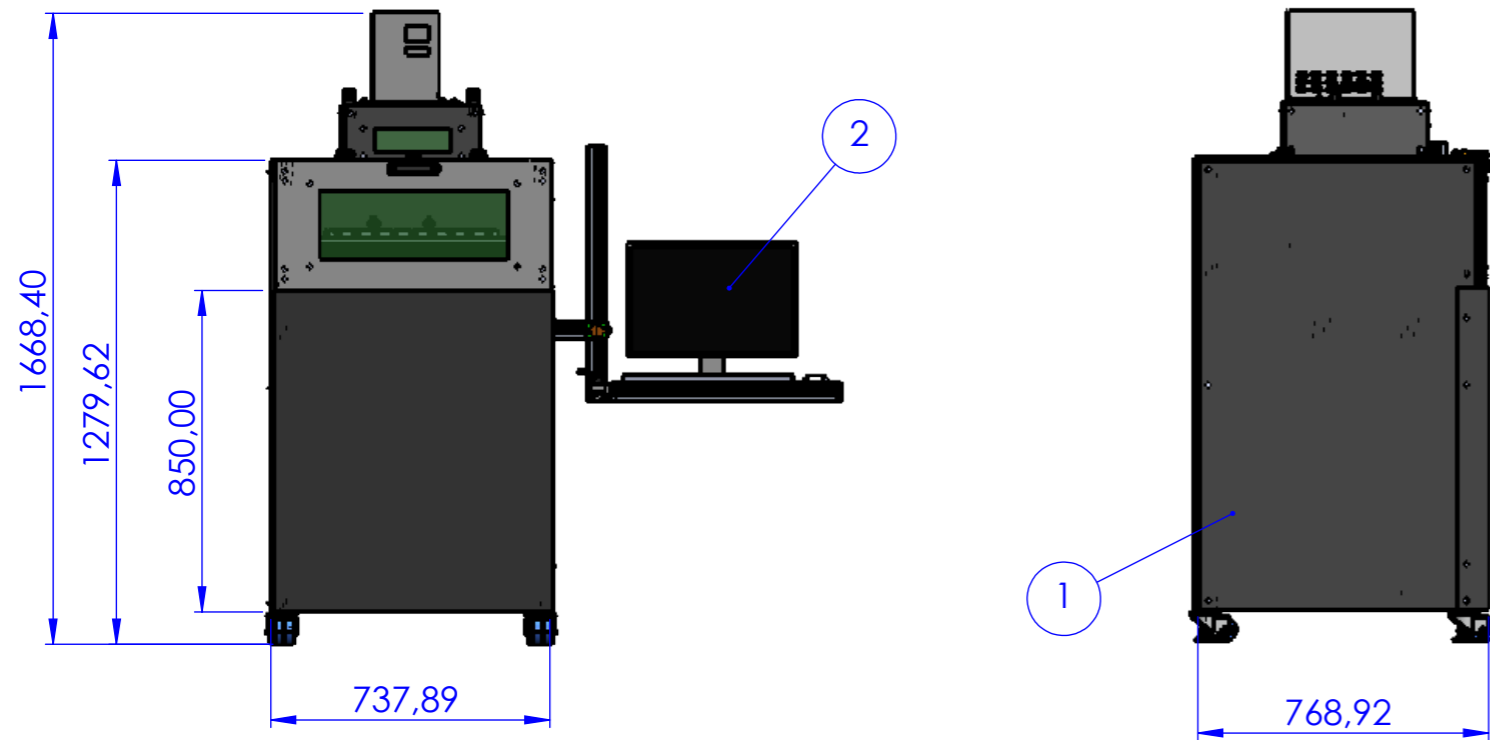
avaliação das características de qualidade	MÉTRICAS (UNIDADES)	mm <sup>2</sup>	mm	s	kg	mm		kW	s	mm	€	
	características de qualidade inicial (IQj)	96	75	66	54	22	78	27	9	36	27	3
	Trumark 1000	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	0,5	1,0	1,0
	L - Box	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	0,5	1,0	1,0
	AVALIAÇÃO COMPETITIVA (Bj)	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	0,5	1,0	1,0
	DIFICULDADE DE ACTUAÇÃO (Dj)	1,5	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	1,0
	características de qualidade revisto (IQj*)	144	112,5	66	54	15,56	55,15	23,38	11,02	18	19,09	3
	características de qualidade (peso relativo)	27%	22%	13%	10%	3%	11%	4%	2%	3%	4%	1%

Kano	
Excelente	E
Lineares	L
Obrigatória	O

DIRECÇÃO DE MELHORIA	
positiva	▲
igual	◇
negativa	▼

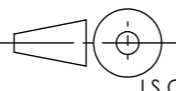
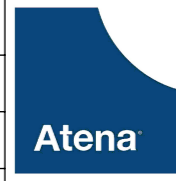
relações	
forte	9
moderada	3
fraca	1

avaliação	
a cima da concorrência/ fácil	0,5
igual à concorrência/ moderado	1,0
a baixo da concorrência/ difícil	1,5
muito a baixo da concorrência/ muito difícil	2,0



4	Sistema_Funcional	9005ATN20 01 04 001			1
3	Montagem_Laser_Fixo	9005ATN20 01 03 001			1
2	Estrutura_Ecra	9005ATN20 01 02 001			1
1	Estrutura_Baixo	9005ATN20 01 01 001			1
Item	Peça	Desenho	Referência	Fabricante	QTY.

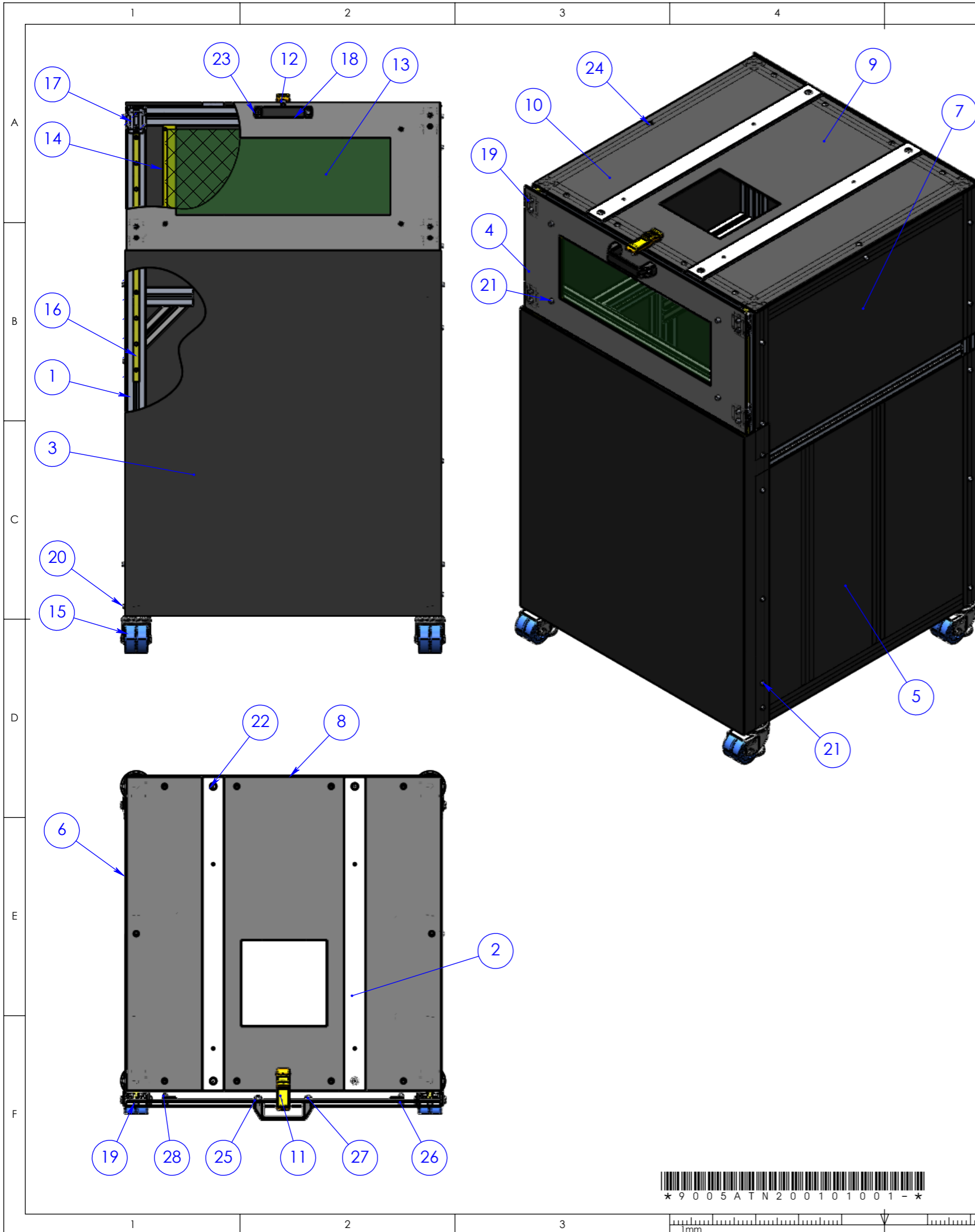
Designação: Máquina Laser

 I.S.O	Quebra arestas		Data	Rubrica	 Atena Automação Industrial	Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro  T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106  atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt
	0,5 x 45°	Desenhou	01/06/2020	Tiago Morgado		
Tolerâncias Gerais	Rugosidade Geral	Verificou				
ISO 2768 - mK	3,2	Exec.				

Formato: A3	Nº Interno: 9005ATN20 01 00 001	Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material:	Escala
	Tratamento:	
Última actualização /impressão	Acabamento:	1/1
Data: 02/03/2020	Projeto: Máquina de gravação laser	



1mm

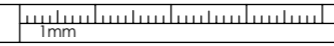


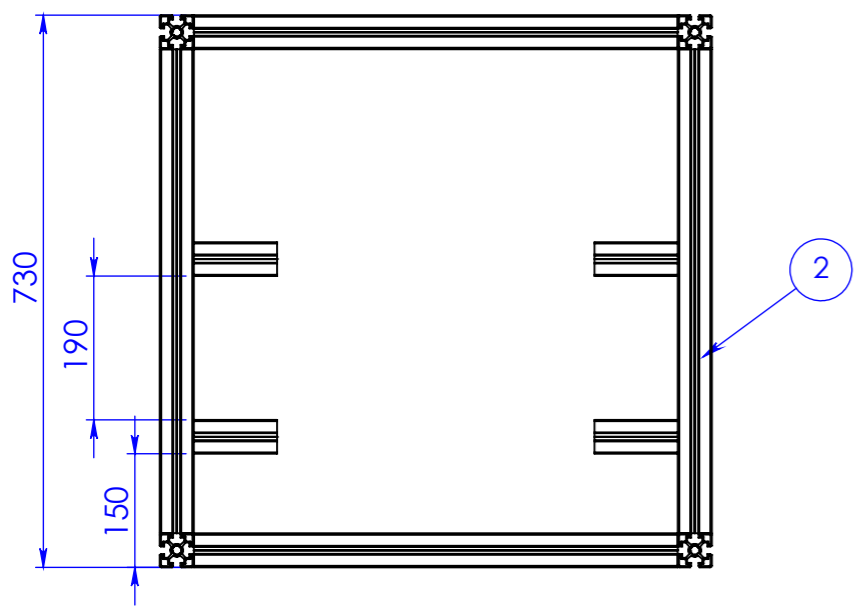
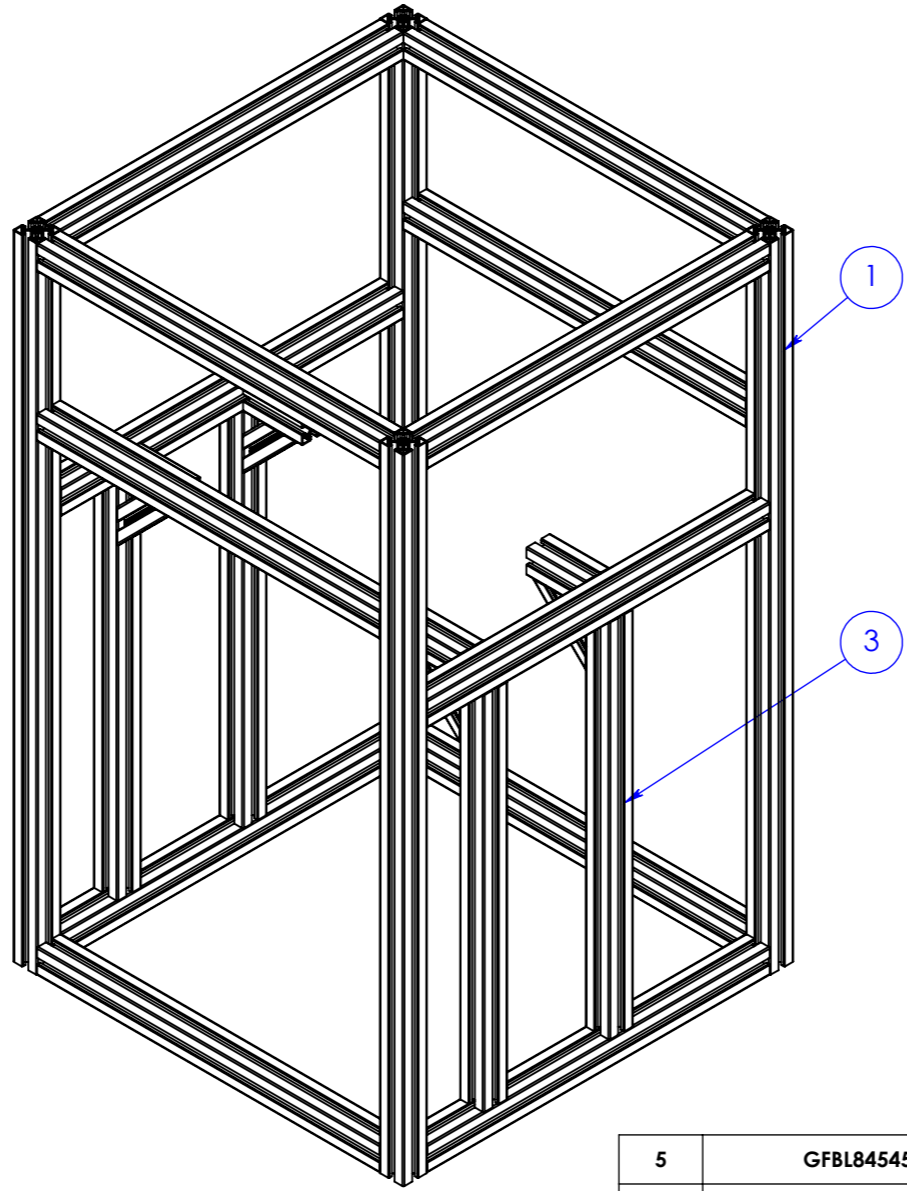
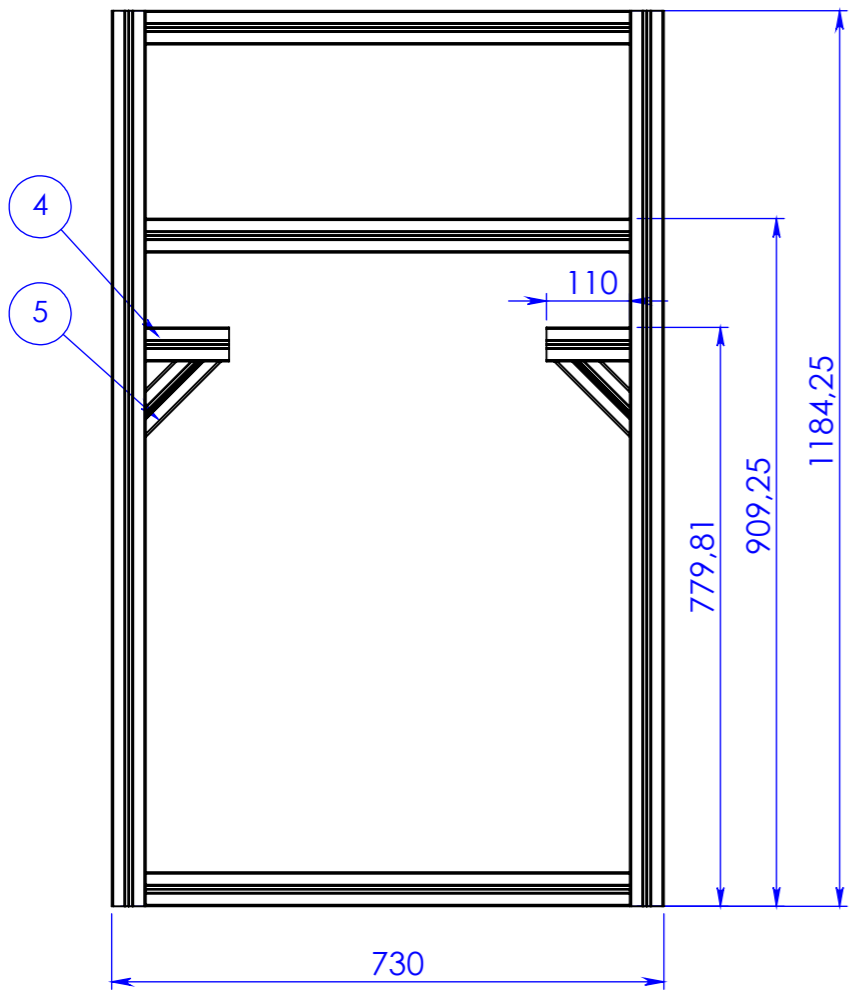
28	nut_iso_4032-m5-8				5
27	nut_iso_4034-m8-5				2
26	din_en_iso_7091-5				38
25	din_en_iso_7091-8				2
24	din_en_iso_10642_m5x16				10
23	din_en_iso_4762_m8x20				2
22	din_en_iso_4762_m8x12				4
21	din_en_iso_4762_m5x20				8
20	din_en_iso_4762_m5x16				19
19	din_en_iso_4762_m5x8				8
18	Tirador Poliamida 136		5621	FASTEN	1
17	KWD_015_FNS_CS		KWD_015_FNS_CS	Bosch	4
16	R160510332 Alimentador Rasthulse		R160510431, L=116mm, T=28mm	Bosch Rexroth	2
15	Montagem_Rodizio				4
14	Aperto_Vidro				2
13	Vidro_Porta				1
12	L_Trinco				1
11	Fecho				1
10	Chapa_Topo_Lateral				2
9	Chapa_Topo_Central				1
8	Chapa_Traseira				1
7	Chapa_Lateral_2				1
6	Chapa_Lateral				1
5	Chapa_Lateral_3				1
4	Chapa_Movel_Frontal				1
3	Chapa_Frontal_Fixa				1
2	Barra_Suporte_Laser				2
1	Estrutura_Perfil	9005ATN20 01 01 002			4
Item	Peça	Desenho	Referência	Fabricante	QTY.

Designação: Estrutura\_Baixo

	Quebra arestas		Data	Rubrica	<p>Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro</p> <p>T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106</p> <p>atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt</p>
	0,5 x 45°	Desenhou	01/06/2020	Tiago Morgado	
Tolerâncias Gerais	Rugosidade Geral	Verificou			
ISO 2768 - mK	3,2	Exec.			

Formato: A3	Nº Interno: 9005ATN20 01 01 001	Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material:	Escala
	Tratamento:	
Última actualização /impressão	Acabamento:	1/1
Data: 02/03/2020	Projeto: Máquina de gravação laser	



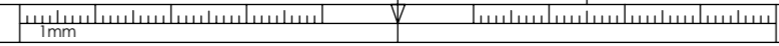


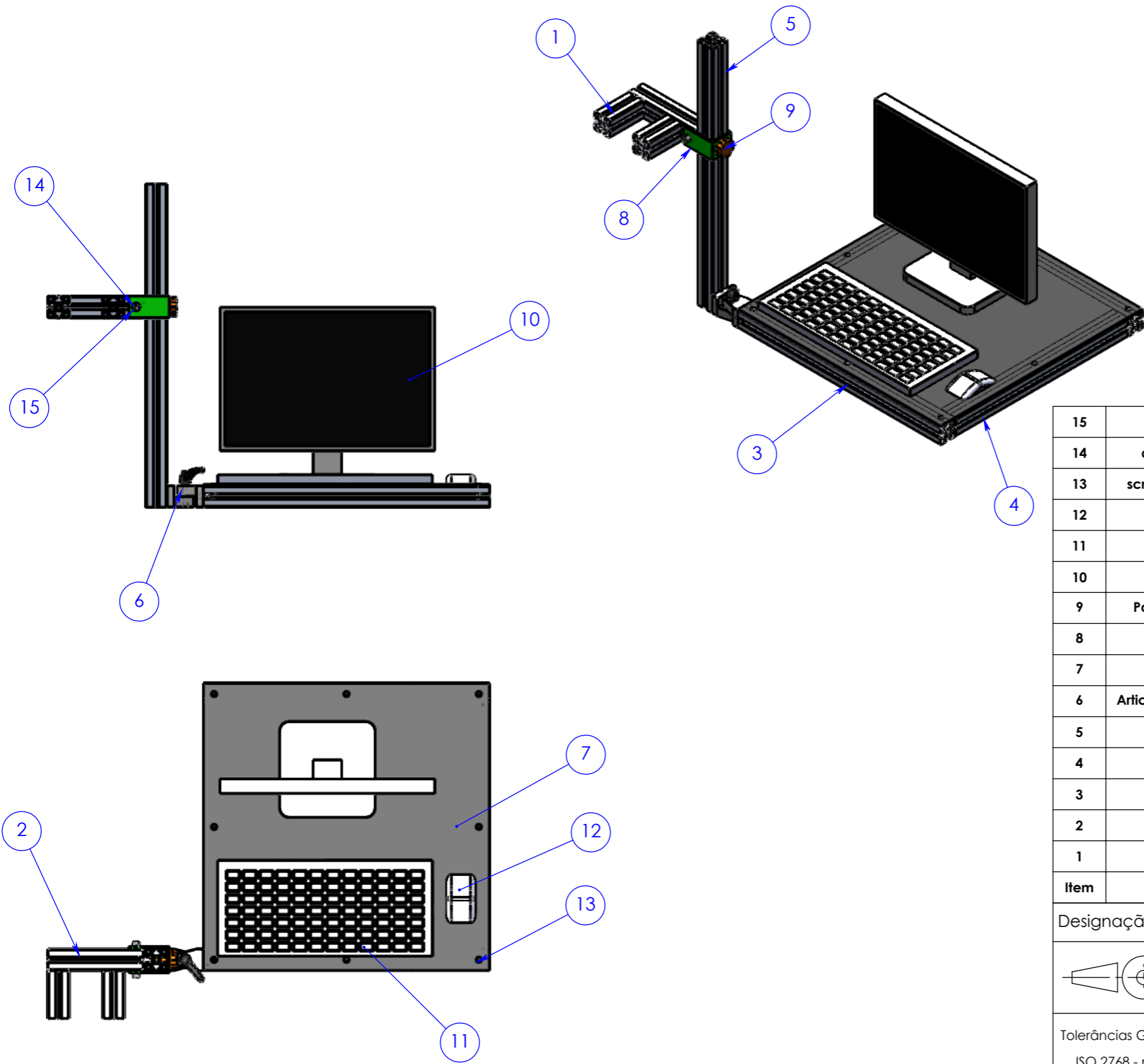
Item	Peça	Desenho	Referência	Fabricante	QTY.
5	GFB184545_100				1
4	Perfil Básico 45x45_Suporte_Motor			Fasten	4
3	Perfil Básico 45x45_5			Fasten	4
2	Perfil Básico 45x45_Topo_910			Fasten	12
1	Perfil Básico 45x45_Vertical			Fasten	4

Designação: Estrutura\_Perfil

	Quebra arestas		Data	Rubrica	<p>Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro</p> <p>T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106</p> <p>atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt</p>
	0,5 x 45°	Desenhou	01/06/2020	Tiago Morgado	
Tolerâncias Gerais	Rugosidade Geral	Verificou			
ISO 2768 - mK	3,2	Exec.			

Formato: A3	Nº Interno: 9005ATN20 01 01 002	Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material:	Escala
	Tratamento:	
Última actualização /impressão	Acabamento:	1/1
Data: 02/03/2020	Projeto: Máquina de gravação laser	



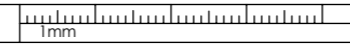


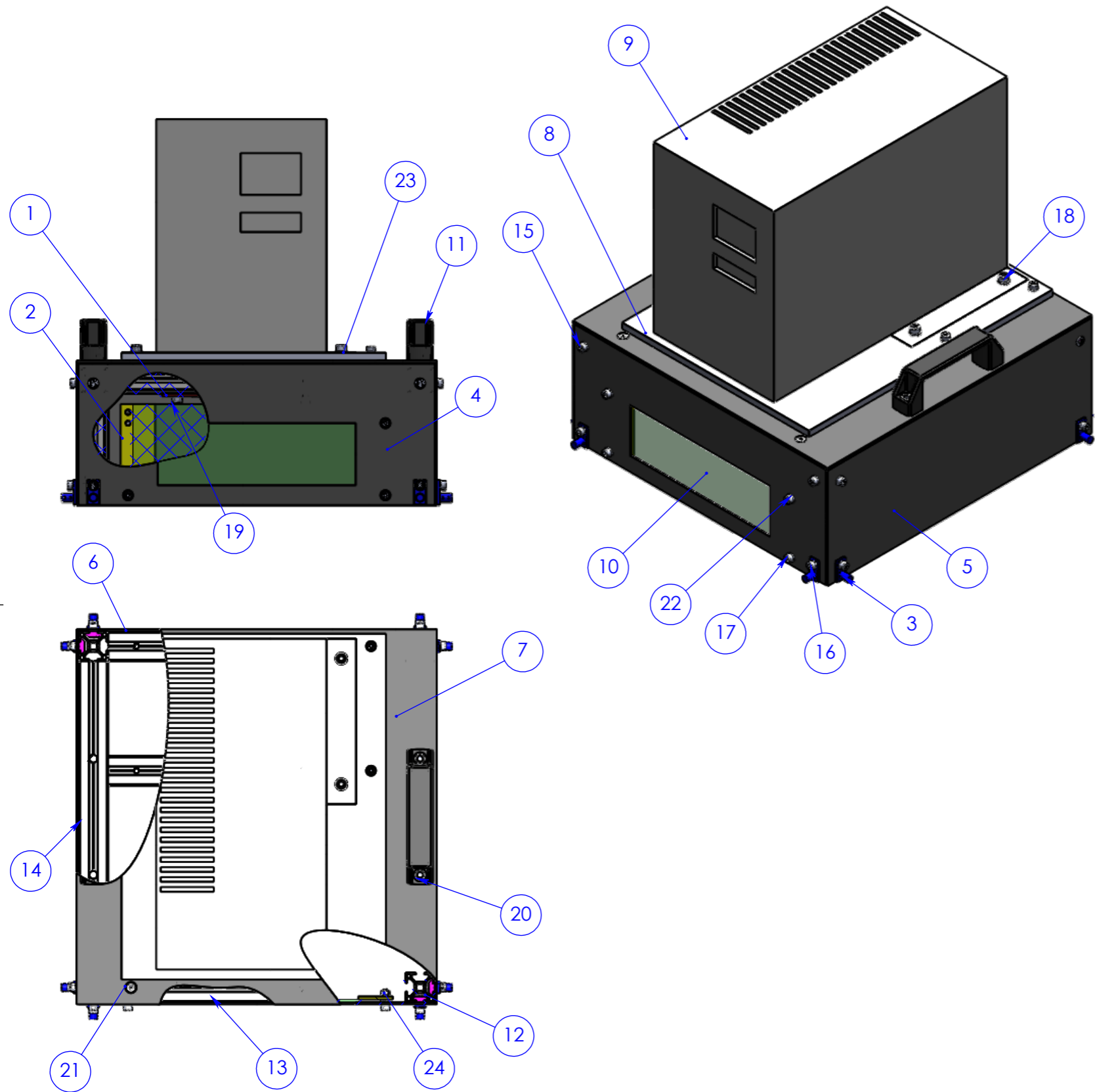
15	din_en_iso_7091-8				2
14	din_en_iso_4762_m8x20				2
13	screw_iso_10642-m5x16-8_8				8
12	Rato				1
11	Teclado				1
10	Ecra				1
9	Parafuso_Ajustador_Altura				1
8	Ajustador_Altura				1
7	Chapa_Base_Ecra				1
6	Articulação Regulável 45x45 AI			Fasten	1
5	Perfil Básico 45x45_5			Fasten	1
4	Perfil Básico 45x45_4			Fasten	2
3	Perfil Básico 45x45_3			Fasten	2
2	Perfil Básico 45x45_2			Fasten	1
1	Perfil Básico 45x45_1			Fasten	2
Item	Peça	Desenho	Referência	Fabricante	QTY.

Designação: Estrutura\_Ecra

	Quebra arestas		Data	Rubrica		Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro  T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106  atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt
	0,5 x 45°	Desenhou	01/06/2020	Tiago Morgado		
	Tolerâncias Gerais	Rugosidade Geral	Verificou			
	ISO 2768 - mK	3,2	Exec.			

Formato: A3	Nº Interno: 9005ATN20 01 02 001	Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material:	Escala
	Tratamento:	
Última actualização /impressão	Acabamento:	1/1
Data: 02/03/2020	Projeto: Máquina de gravação laser	



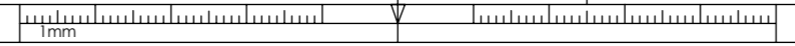


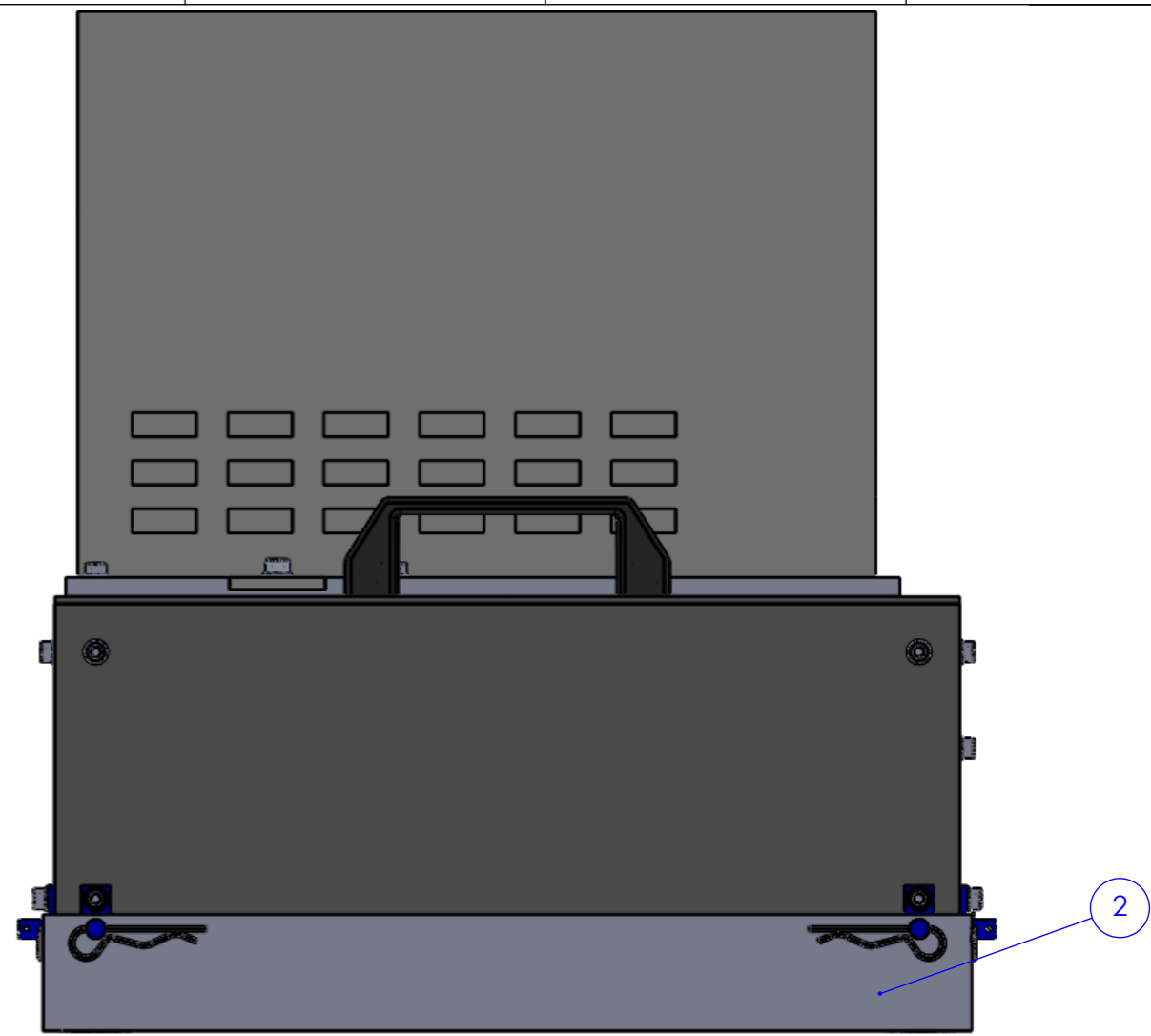
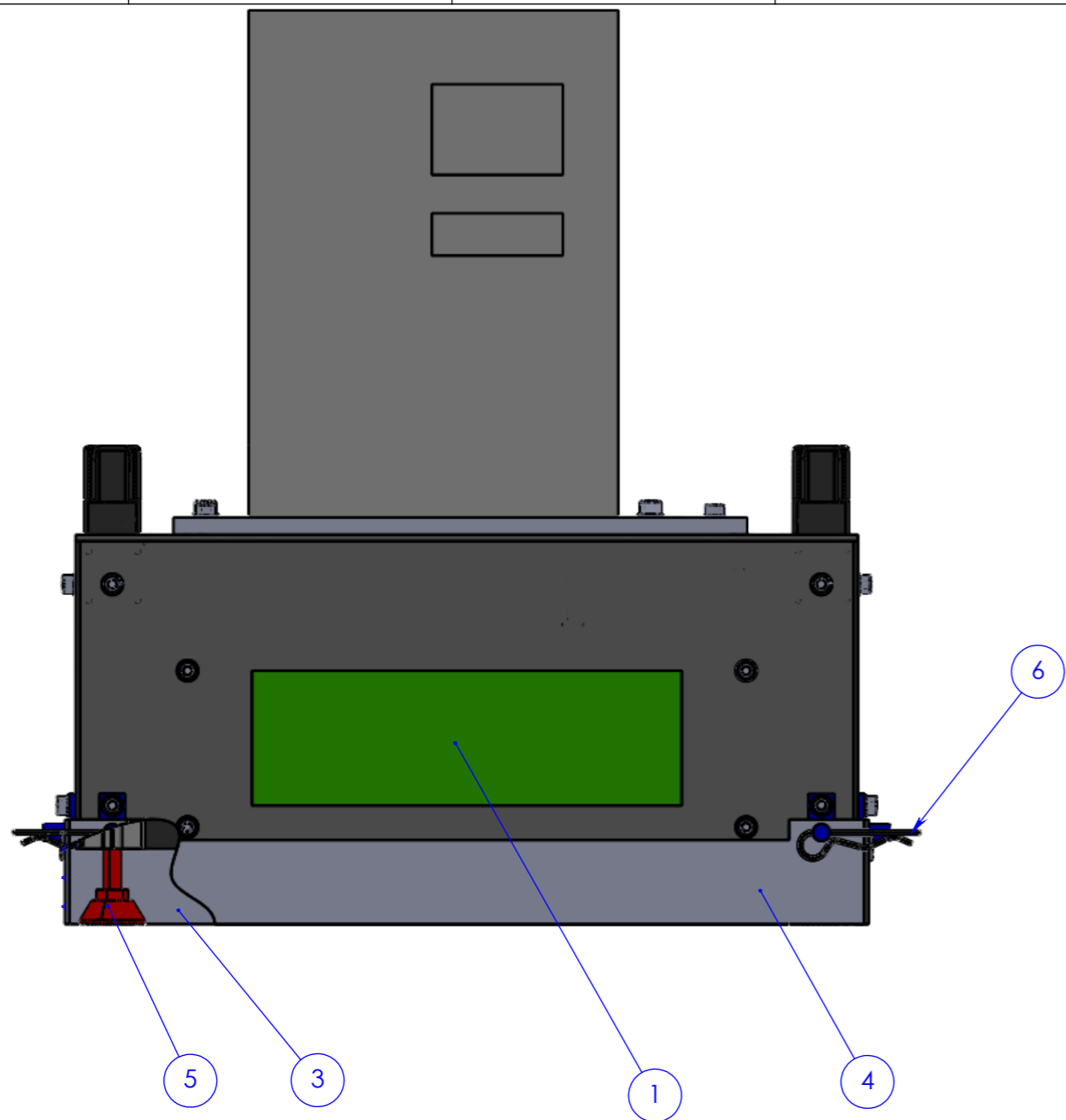
24	nut_iso_4032-m5-8				4
23	din_en_iso_7091-6				3
22	din_en_iso_7091-5				28
21	screw_iso_10642-m5x16-8_8				2
20	din_en_iso_4762_m8x20				4
19	din_en_iso_4762_m6x16				4
18	din_en_iso_4762_m6x10				3
17	din_en_iso_4762_m5x16				8
16	din_en_iso_4762_m5x12				8
15	din_en_iso_4762_m5x8				9
14	Perfil Básico 30x30x360			Fasten	2
13	Perfil Básico 30x30x280			Fasten	3
12	Perfil Básico 30x30x173			Fasten	4
11	Tirador Poliamida 136			FASTEN	2
10	Vidro				1
9	Laser				1
8	Base_Laser				1
7	Chapa_Topo_Laser				1
6	Chapa_Tras_Laser				1
5	Chapa_Lateral_Laser				2
4	Chapa_Frente_Laser				1
3	Suporte_Chapas_Portateis				8
2	Placa_Aperto_Vidro				2
1	Protecao_Laser				1
Item	Peça	Desenho	Referência	Fabricante	QTY.

Designação: Montagem\_Laser\_Fixo

	Quebra arestas		Data	Rubrica		Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro  T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106  atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt
	0,5 x 45°	Desenhou	01/06/2020	Tiago Morgado		
	Tolerâncias Gerais	Rugosidade Geral	Verificou			
	ISO 2768 - mK	3,2	Exec.			

Formato: A3	Nº Interno: 9005ATN20 01 03 001	Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material:	Escala
	Tratamento:	
Última actualização /impressão	Acabamento:	1/1
Data: 02/03/2020	Projeto:	



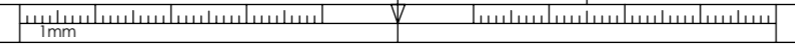


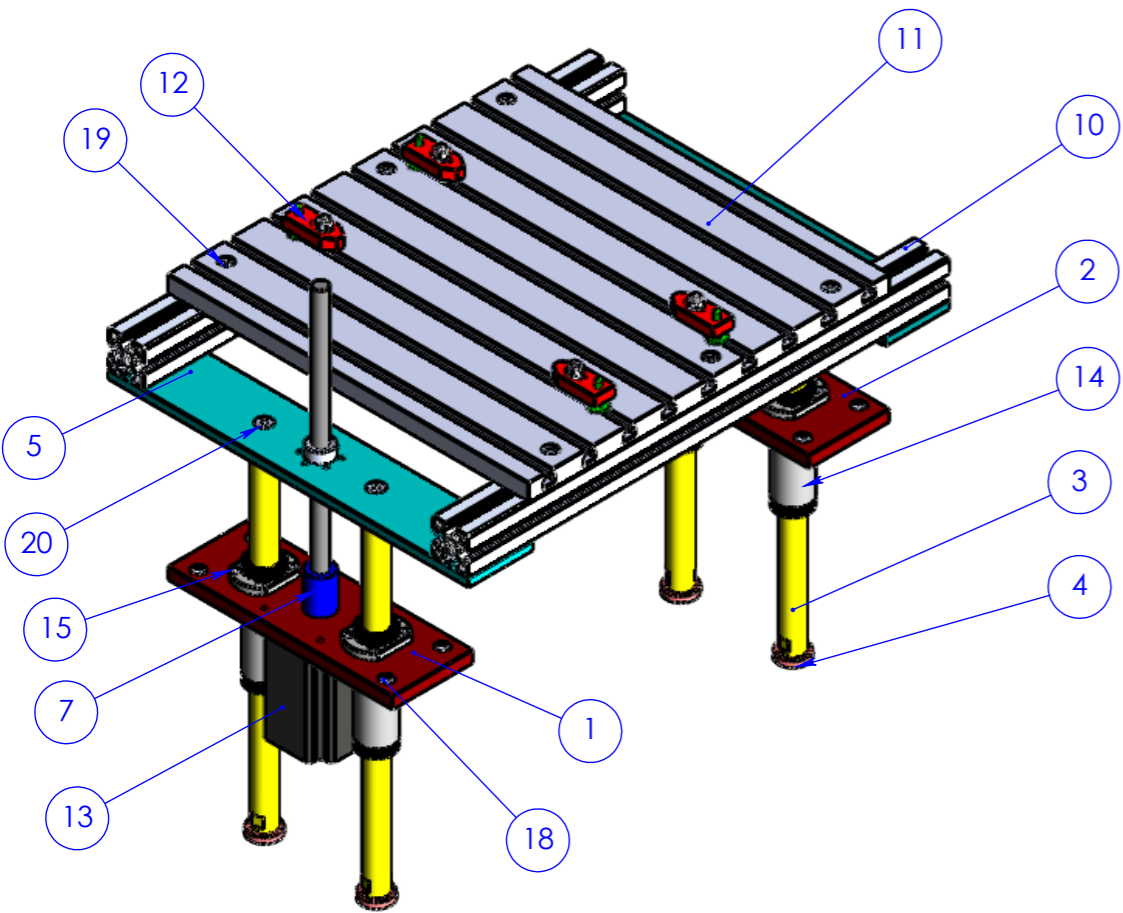
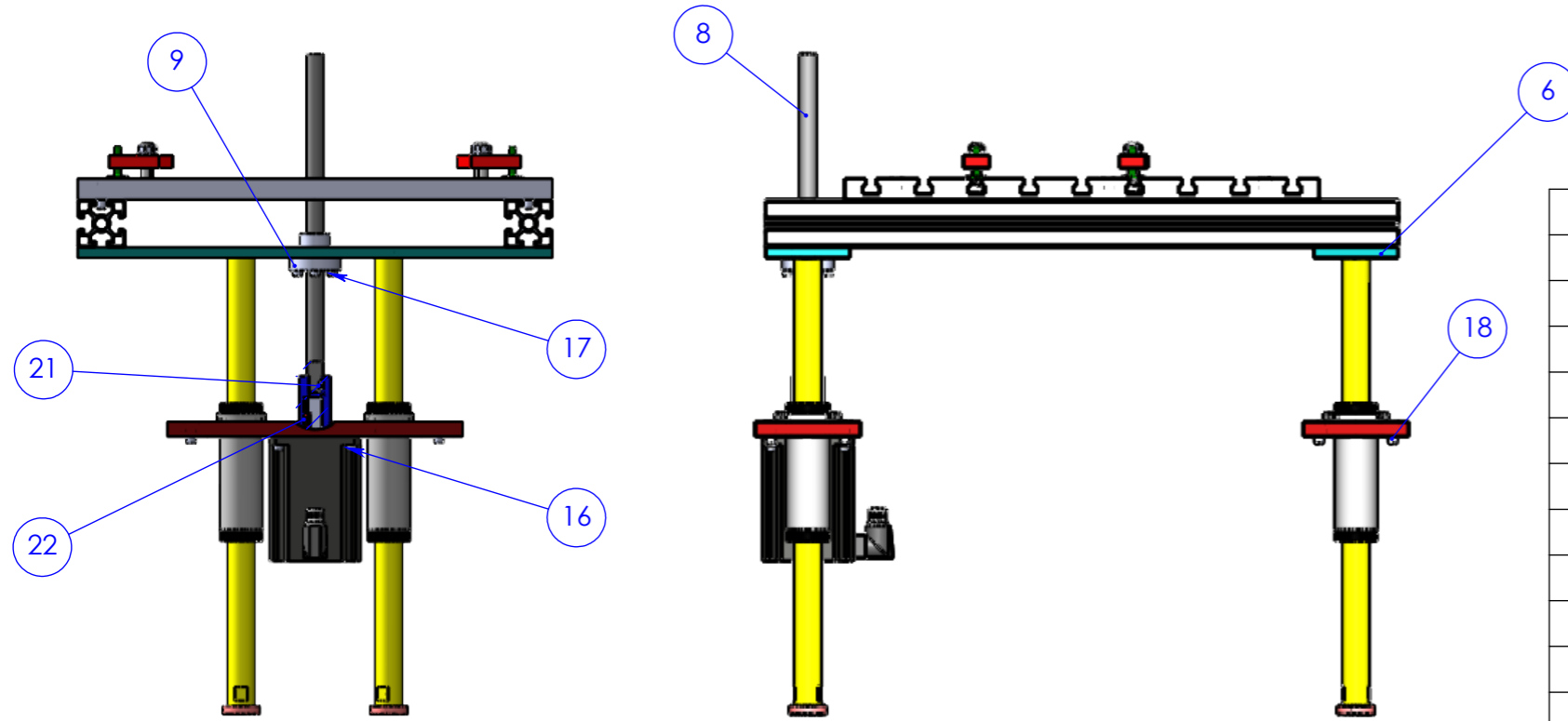
6	Pino		3_K1137_11200		8
5	Pé_Nivelador		27795_3008X040		4
4	Chapa_Portatil_Frontal				1
3	Chapa_Portatil_Traseira				1
2	Chapa_Portatil_Lateral				2
1	Montagem_Laser_Fixo	9005ATN20 01 03 001			1
Item	Peça	Desenho	Referência	Fabricante	QTY.

Designação: Montagem\_Laser\_Portatil

 I.S.O	Quebra arestas		Data	Rubrica	 Automação Industrial	Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro  T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106  atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt
	0,5 x 45°	Desenhou	01/06/2020	Tiago Morgado		
Tolerâncias Gerais	Rugosidade Geral	Verificou				
ISO 2768 - mK	3,2	Exec.				

Formato: A3	Nº Interno: 9005ATN20 01 03 002	Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material:	Escala
	Tratamento:	
Última actualização /impressão Data: 02/03/2020	Acabamento:	1/1
	Projeto:	





22	ISO/R 773 5x5x15_Type_B				1
21	ISO/R 773 4x4x8_Type_B				1
20	din_en_iso_10642_m8x20				8
19	din_en_iso_4762_m8x20				6
18	din_en_iso_4762_m8x12				8
17	din_en_iso_4762_m5x20				6
16	din_en_iso_4762_m5x16				4
15	din_en_iso_4762_m5x12				16
14	Casquilhos		LHFCW-MX25	Misumi	4
13	Motor_Eletrico				1
12	Sistema_Aperto				4
11	Mesa_Aperto				1
10	Perfil Básico 45x45_Funcional_910			Fasten	2
9	Porca_JFRM_TR16x4				1
8	Fuso				1
7	Acoplador	9005ATN20 01 04 017			1
6	Suporte_Mesa_Dir	9005ATN20 01 04 016			1
5	Suporte_Mesa	9005ATN20 01 04 015			1
4	Batente_Guias	9005ATN20 01 04 014			4
3	Guia_Laser	9005ATN20 01 04 013			4
2	Base_Motor_Dir	9005ATN20 01 04 012			1
1	Base_Motor	9005ATN20 01 04 011			1
Item	Peça	Desenho	Referência	Fabricante	QTY.

Designação: Sistema\_Funcional

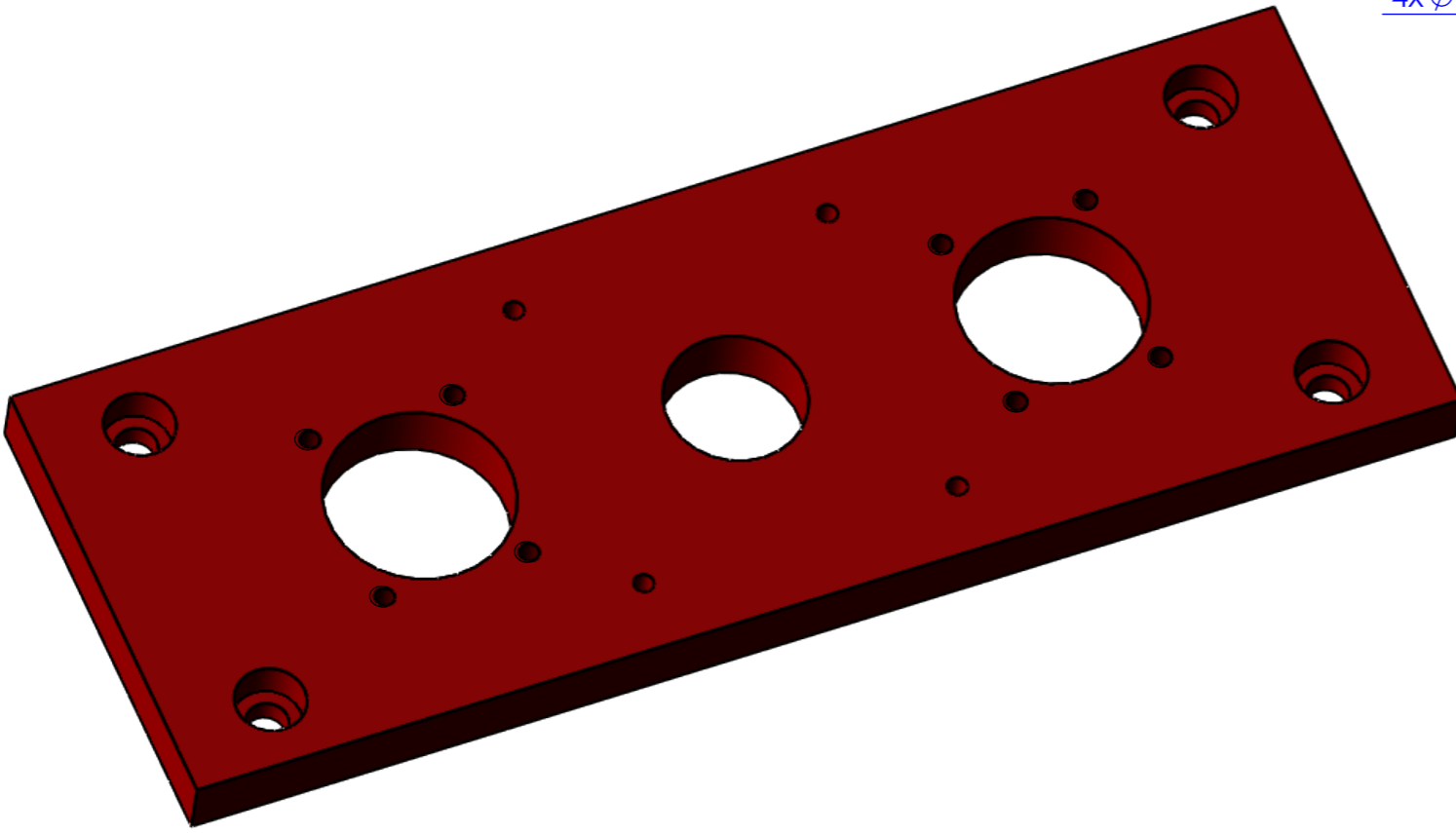
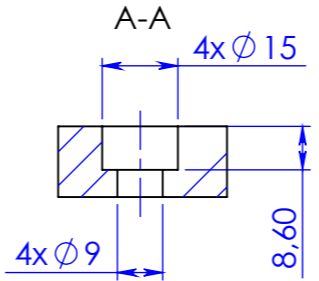
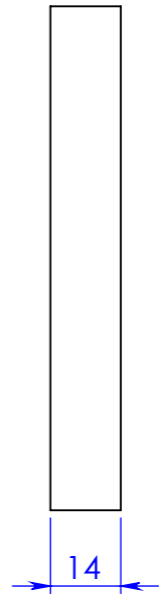
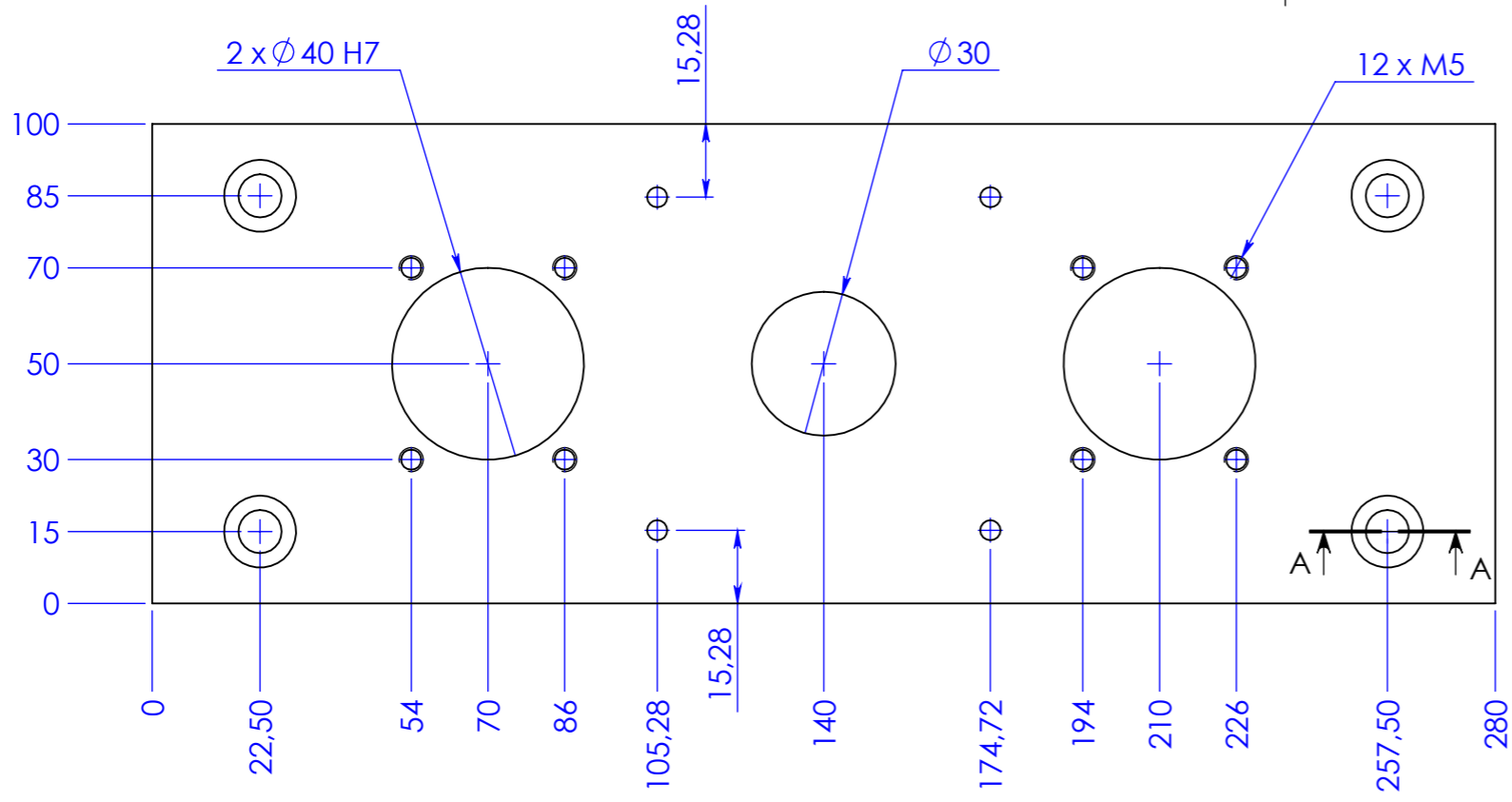
	Quebra arestas		Data	Rubrica	<p>Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro</p> <p>T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106</p> <p>atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt</p>
	0,5 x 45°	Desenhou	01/06/2020	Tiago Morgado	
	Tolerâncias Gerais	Verificou			
	ISO 2768 - mK	Rugosidade Geral	Exec.		
	3,2				

Formato: A3	Nº Interno: 9005ATN20 01 04 001	Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material:	Escala
	Tratamento:	
Última actualização /impressão	Acabamento:	1/1
Data: 28/02/2020	Projeto: Máquina de gravação laser	



1mm



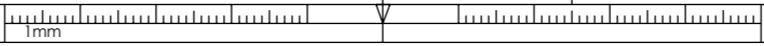


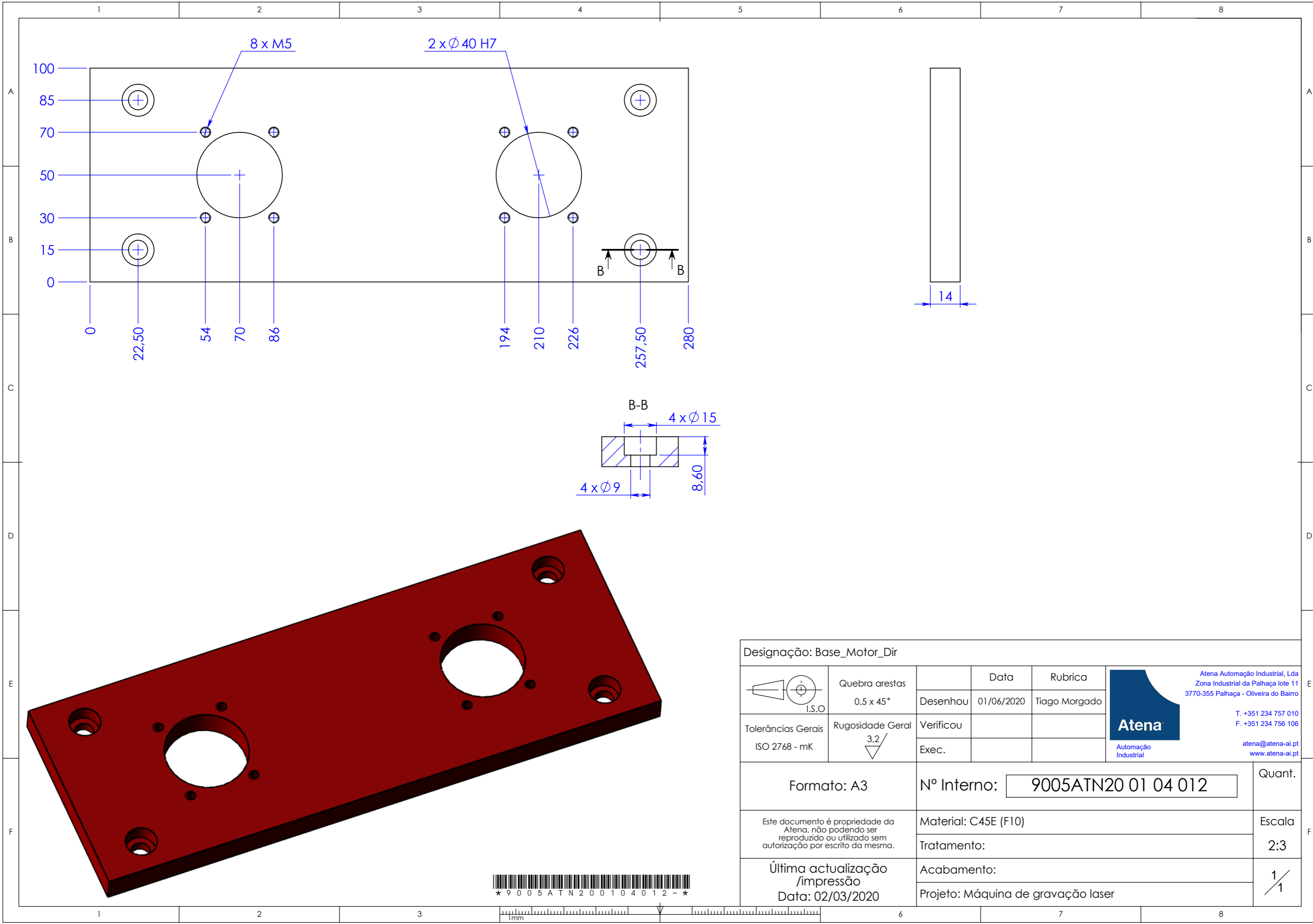
Designação: Base_Motor				
 I.S.O.	Quebra arestas		Data	Rubrica
	0.5 x 45°	Desenhou	01/06/2020	Tiago Morgado
Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	Rugosidade Geral 3,2	Verificou		
		Exec.		
Formato: A3		Nº Interno: 9005ATN20 01 04 011		Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.		Material: C45E (F10)		Escala
		Tratamento:		2:3
Última actualização /impressão Data: 02/03/2020		Acabamento:		1/1
		Projeto: Máquina de gravação laser		

Atena Automação Industrial, Lda  
Zona Industrial da Palhaça lote 11  
3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro

**Atena**  
Automação Industrial

T. +351 234 757 010  
F. +351 234 756 106  
atena@atena-ai.pt  
www.atena-ai.pt





Designação: Base_Motor_Dir				
 I.S.O.	Quebra arestas		Data	Rubrica
	0.5 x 45°	Desenhou	01/06/2020	Tiago Morgado
Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	Rugosidade Geral 3,2	Verificou		
		Exec.		
Formato: A3		Nº Interno: 9005ATN20 01 04 012		Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.		Material: C45E (F10)		Escala
		Tratamento:		2:3
Última actualização /impressão Data: 02/03/2020		Acabamento:		1/1
		Projeto: Máquina de gravação laser		

Atena Automação Industrial, Lda  
Zona Industrial da Palhaça lote 11  
3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro

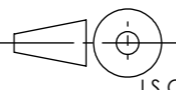
**Atena**  
Automação Industrial

T. +351 234 757 010  
F. +351 234 756 106  
atena@atena-ai.pt  
www.atena-ai.pt





Designação: Guia\_Laser

 I.S.O	Quebra arestas		Data	Rubrica	 Atena Automação Industrial	Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro  T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106  atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt
	0,5 x 45°	Desenhou	01/06/2020	Tiago Morgado		
Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	Rugosidade Geral 3,2	Verificou				
		Exec.				

Formato: A3

Nº Interno: 9005ATN20 01 04 013

Quant.

Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.

Material: Veio Temperado e calibrado

Escala

Tratamento:

2:3

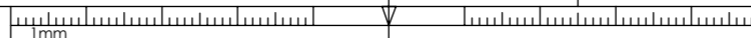
Última actualização /impressão

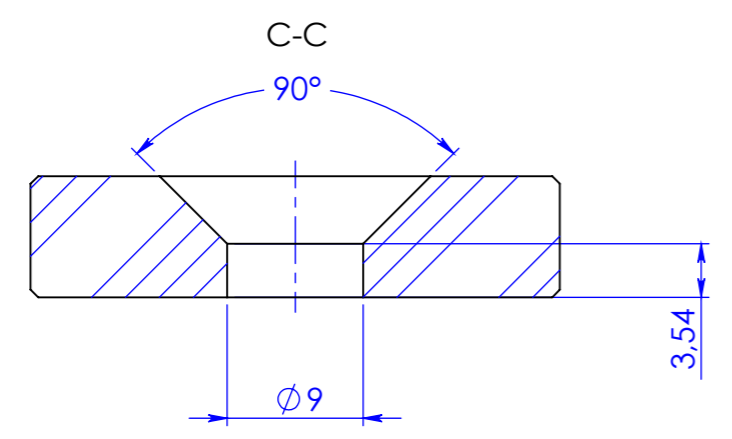
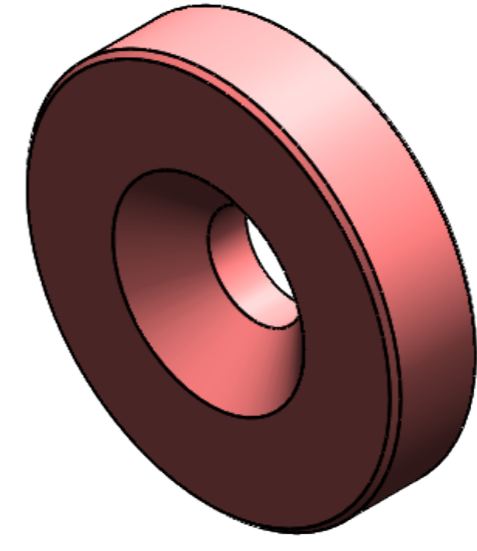
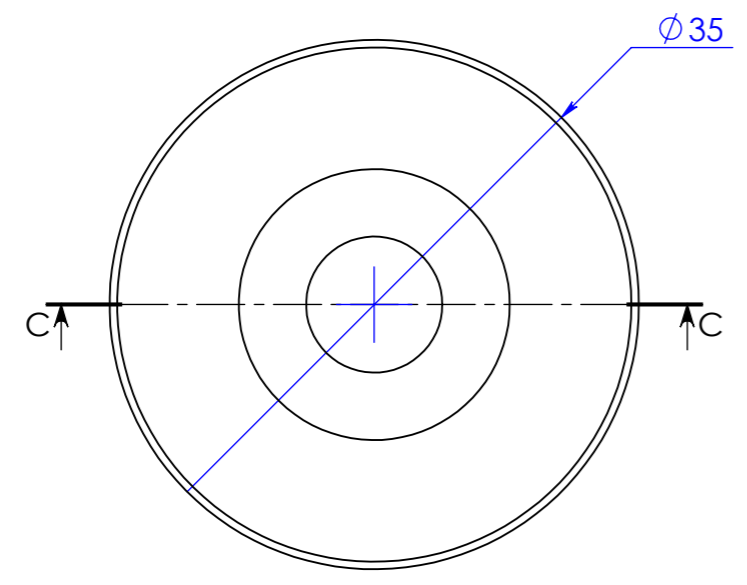
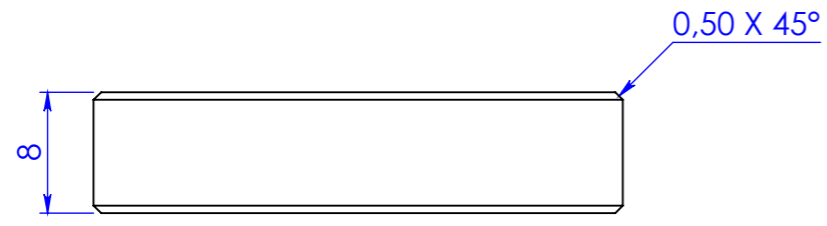
Acabamento:

1/1

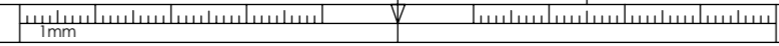
Data: 02/03/2020

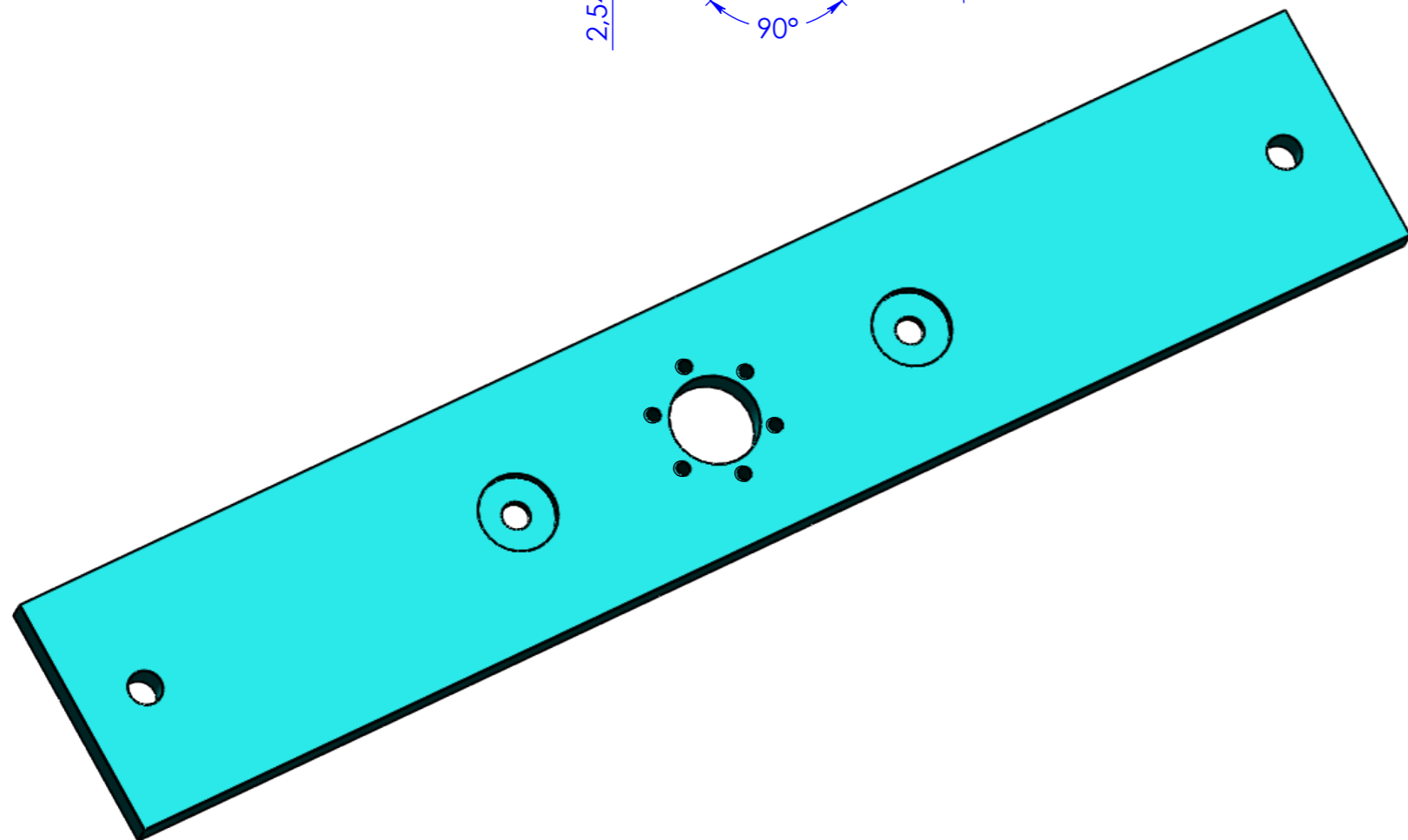
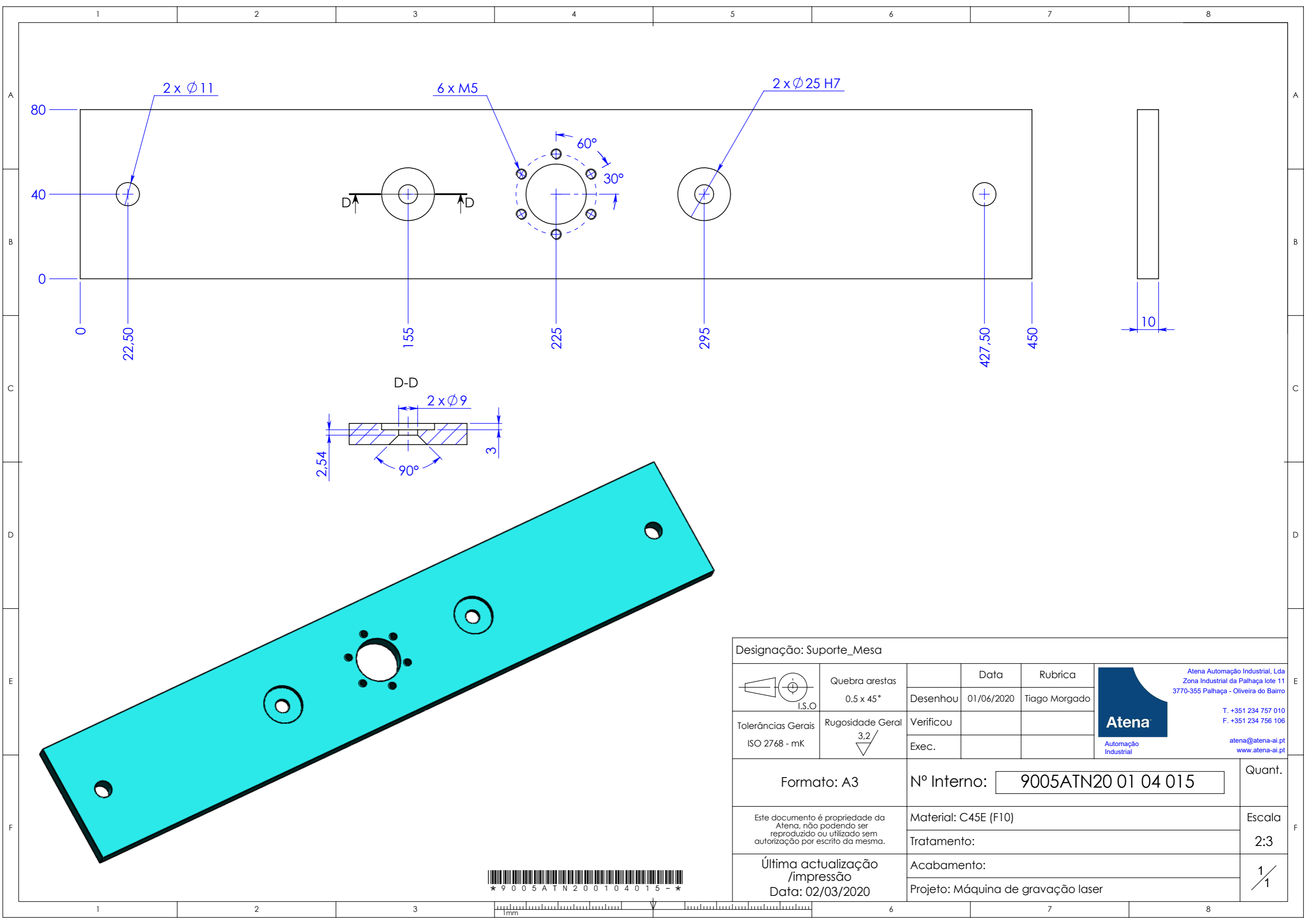
Projeto: Máquina de gravação laser





Designação: Batente_Guias				Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro	
 Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	 Rugosidade Geral 3,2	Quebra arestas 0,5 x 45°	Data 01/06/2020	Rubrica Tiago Morgado	 Automação Industrial T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106 atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt
		Desenhou	Verificou	Exec.	
Formato: A3	Nº Interno: 9005ATN20 01 04 014			Quant.	
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material: C45E (F10)			Escala 2:1	
	Tratamento:				
Última actualização /impressão Data: 02/03/2020	Acabamento: Projeto: Máquina de gravação laser			1/1	



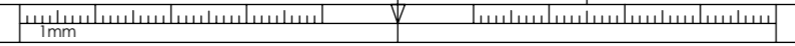


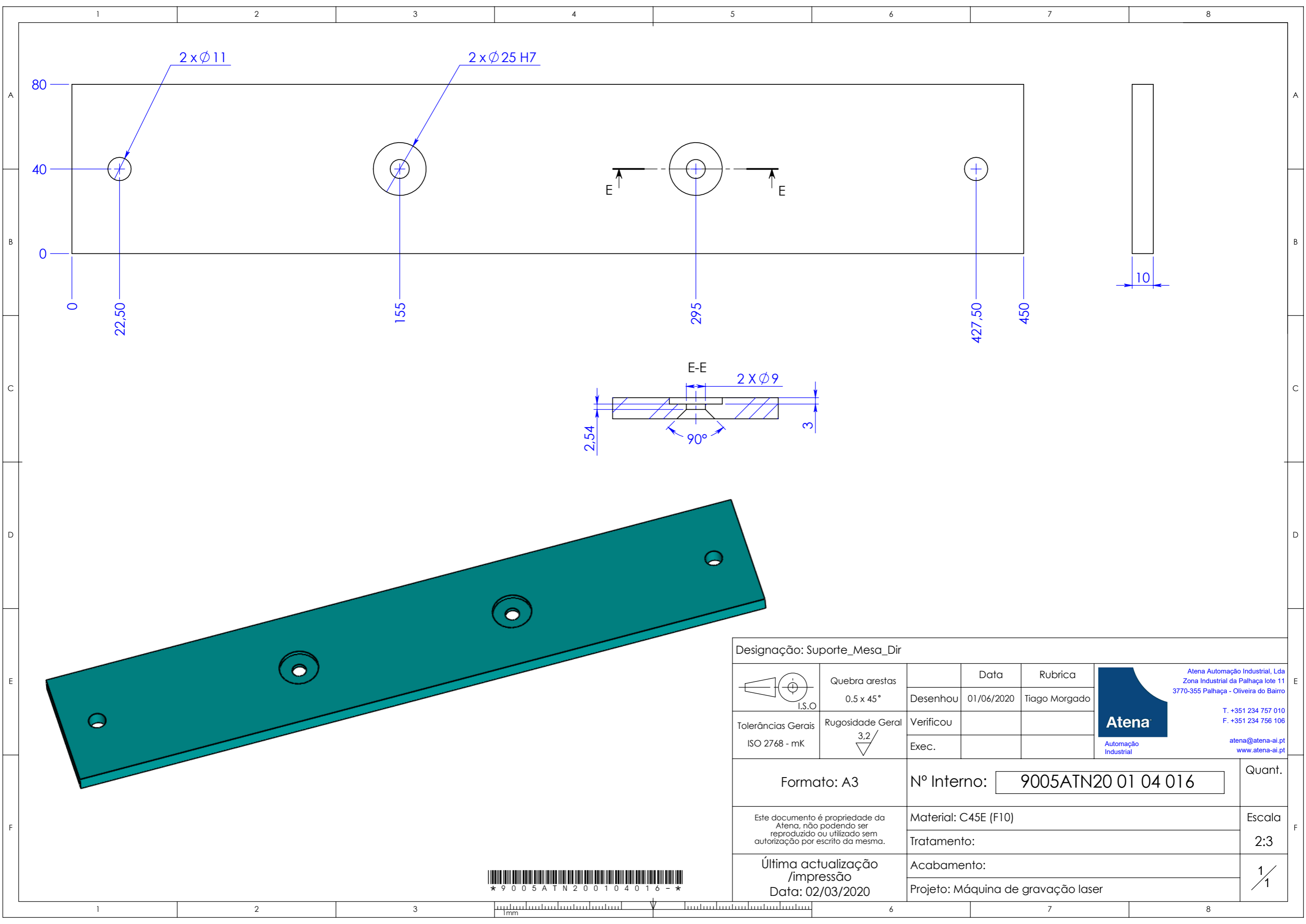
Designação: Suporte_Mesa				
	Quebra arestas		Data	Rubrica
	0,5 x 45°	Desenhou	01/06/2020	Tiago Morgado
Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	Rugosidade Geral 3,2	Verificou		
		Exec.		
		Nº Interno: 9005ATN20 01 04 015		Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.		Material: C45E (F10)		Escala 2:3
		Tratamento:		
Última actualização /impressão Data: 02/03/2020		Acabamento:		1/1
		Projeto: Máquina de gravação laser		

Atena Automação Industrial, Lda  
Zona Industrial da Palhaça lote 11  
3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro

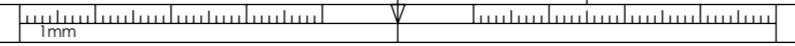
**Atena**  
Automação Industrial

T. +351 234 757 010  
F. +351 234 756 106  
atena@atena-ai.pt  
www.atena-ai.pt

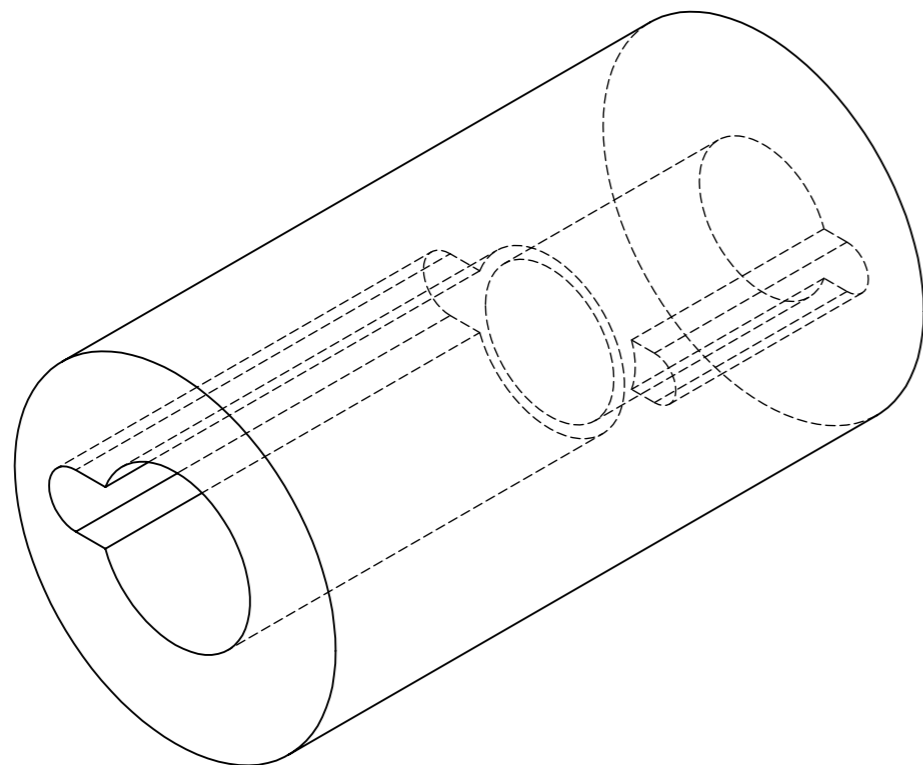
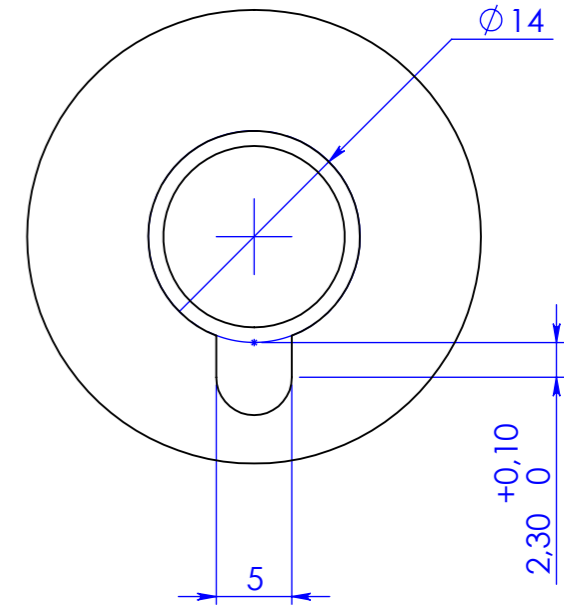
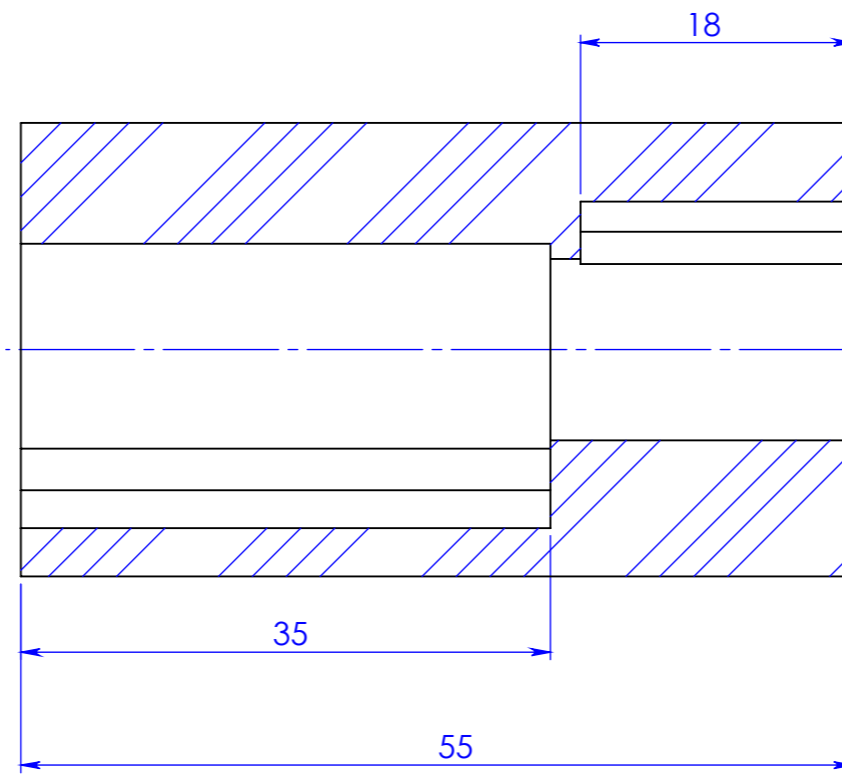
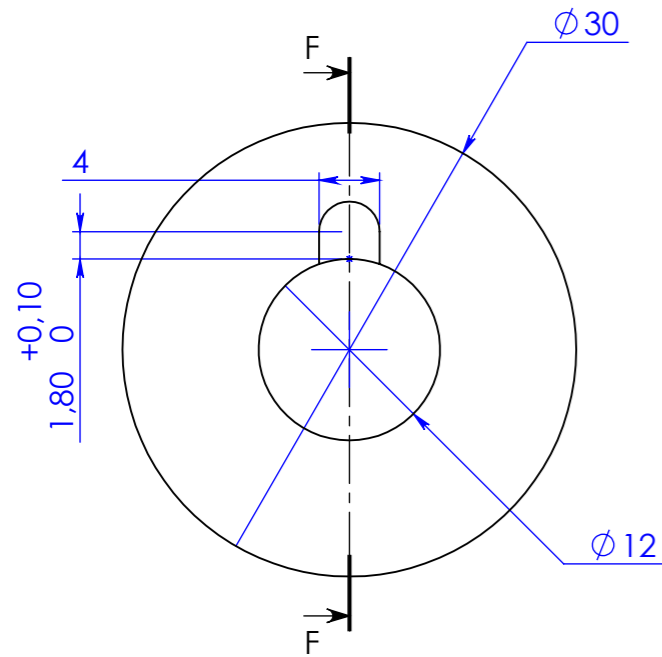




Designação: Suporte_Mesa_Dir				Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro	
	Quebra arestas 0.5 x 45°	Desenhou	Data 01/06/2020	Rubrica Tiago Morgado	 Automação Industrial <a href="mailto:atena@atena-ai.pt">atena@atena-ai.pt</a> <a href="http://www.atena-ai.pt">www.atena-ai.pt</a>
	Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	Rugosidade Geral 3,2	Verificou	Exec.	
Formato: A3		Nº Interno: 9005ATN20 01 04 016		Quant.	
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.		Material: C45E (F10)		Escala	
		Tratamento:		2:3	
Última actualização /impressão Data: 02/03/2020		Acabamento:		1/1	
		Projeto: Máquina de gravação laser			



F-F



Designação: Acoplador

 I.S.O.	Quebra arestas		Data	Rubrica	 <p>Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro</p> <p>T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106</p> <p>atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt</p>
	0.5 x 45°	Desenhou	01/06/2020	Tiago Morgado	
Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	Rugosidade Geral 3.2	Verificou			
		Exec.			
Formato: A3	Nº Interno: 9005ATN20 01 04 017			Quant.	
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material: C45E (F10)			Escala	2:1
	Tratamento:				
Última actualização /impressão Data: 02/03/2020	Acabamento:			1/1	
	Projeto: Máquina de gravação laser				



1mm



# AVALIAÇÃO DE RISCOS DE MÁQUINAS

Nº	Document o de Referência	Condição Perigosa / Tarefa	Risco associado			Estimativa do Risco					Identificação das medidas de prevenção			Reavaliação do risco					Risco Controlado?	
			Tipo	Fonte	Consequência	PO	FE	S	NP	Risco	Prevenção	Proteção	Medidas	PO	FE	S	NP	Risco	Sim	Não
1	9005ATN20 01 00 001	Carga	Mecânico	Queda da máquina	Esmagamento	2	5	15	2	300	Transporte do equipamento em palette, uso de correias de aperto para imobilização do posto, instruções para transporte			0,03	5	15	2	4,95	X	
2	9005ATN20 01 00 001	Levantamento	Mecânico	Queda da máquina	Esmagamento	2	5	15	2	300	Transporte do equipamento em palette, uso de correias de aperto para imobilização do posto, instruções para transporte			0,03	5	15	2	4,95	X	
3	9005ATN20 01 00 001	Embalamento	Mecânico	Projeção de objectos durante o transporte	Choque ou impacto	2	5	3	1	30	Correta instalação do filme e bloqueio dos sistemas moveis			0,03	5	3	1	0,495	X	
4	9005ATN20 01 00 001	Transporte	Mecânico	Queda da máquina	Esmagamento	10	5	15	12	9000	Indicação da correta fixação da máquina devidamente condicionadas			0,03	5	15	12	29,7	X	
5	9005ATN20 01 00 001	Descarga	Mecânico	Queda da máquina	Esmagamento	5	5	15	12	4500	Indicação dos pontos de inserção dos garfos, movimentação de carga o mais baixo possível, velocidade reduzida, garfos horizontais, formação para conduzir empilhadores			0,03	5	15	12	29,7	X	





# AVALIAÇÃO DE RISCOS DE MÁQUINAS

Item	Documento de Referência	Condição Perigosa / Tarefa	Risco associado			Estimativa do Risco					Identificação das medidas de prevenção			Reavaliação do risco					Risco Controlado?		
			Tipo	Fonte	Consequência	PO	FE	S	NP	Risco	Prevenção	Protecção	Medidas	PO	FE	S	NP	Risco	Sim	Não	
1	9005ATN20 01 04 001	Colocação da peça na base de aperto	Mecânico	Motor de acionamento do fuso	Esmagamento	8	0,5	3	1	12	Instalação de fins de curso na porta de acesso para impedir o funcionamento do motor que aciona o movimento da base de aperto.				0,03	5	3	1	0,495	X	
2	9005ATN20 01 04 001	Colocação da peça na base de aperto	Mecânico	Elementos fixos de ergonomia	Corte ou cisalhamento	8	5	0,5	1	20	Remoção de todas as arestas vivas na area de trabalho do operador				2	5	0,1	1	1	X	
3	9005ATN20 01 04 001	Colocação da peça na base de aperto (Perigo de contacto com laser)	Mecânico	Radiação óptica (infravermelho, visível e ultravioleta), incluído o laser	Queimadura; Dano aos olhos e à pele; Efeitos na capacidade reprodutiva; Mutação genética;	10	5	8	1	400	Colocação de porta com fim de curso de segurança; Colocação de protecção frontal ao laser.				0,03	5	8	1	1,32	X	
4	9005ATN20 01 03 001	Transporte do módulo de gravação portátil (Perigo de contacto com laser)	Mecânico	Radiação óptica (infravermelho, visível e ultravioleta), incluído o laser	Queimadura; Dano aos olhos e à pele; Efeitos na capacidade reprodutiva; Mutação genética;	10	5	8	1	400	Colocação de porta com fim de curso de segurança; Colocação de protecção frontal ao laser.				0,03	5	8	1	1,32	X	
5	Ver Esquema Eléctrico	Circuito eléctrico	Perigos eléctricos	Curto-circuito	Choque	10	5	15	2	1500	Colocação de Disjuntores de protecção eléctrica. Projeto de acordo com a EN 60204:2008				0,03	5	15	2	4,95	X	
6	Ver Esquema Eléctrico	Eletrocussão	Perigos eléctricos	Contacto direto/indireto	Choque	10	5	15	2	1500	Colocação de Diferencial para tomadas interior/exterior ao quadro eléctrico, ligação do equipamento à terra. Projeto de acordo com a EN 60204:2008				0,03	5	15	2	4,95	X	
7	Ver Esquema Eléctrico	Falha geral	Vários	Vários	Vários	1	5	15	2	150	Colocação de paragem de emergência (Botão paragem de emergência) . Projeto de acordo com a EN ISO 13850:2008				0,03	5	15	2	4,95	X	



# AVALIAÇÃO DE RISCOS DE MÁQUINAS

Item	Documento de Referência	Condição Perigosa / Tarefa	Risco associado			Estimativa do Risco					Identificação das medidas de prevenção			Reavaliação do risco					Risco Controlado?		
			Tipo	Fonte	Consequência	PO	FE	S	NP	Risco	Prevenção	Proteção	Medidas	PO	FE	S	NP	Risco	Sim	Não	
1	9005ATN20 01 04 001	Substituição dos componentes de acionamento da elevação da placa de aperto da peça.	Mecânico	Sistema motor, fuso, porca.	Esmagamento; Corte e cisalhamento	2	5	3	1	30	Colocar inicialmente a mesa de aperto da peça na posição de repouso				0,03	5	3	1	0,45	X	

## II. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DE RISCOS

PO (Probabilidade de Ocorrência)		
0,03	Quase impossível	Apenas em circunstâncias extremas
1	Muito improvável	Embora concebível
1,5	Improvável	Mas pode ocorrer
2	Possível	Mas pouco comum
5	Casual	Pode acontecer
8	Provável	Não é inesperado
10	Bastante provável	Esperado
15	Certo	Sem dúvida

FE (Frequência de Exposição)	
0,5	Anual
1	Mensal
1,5	Semanal
2,5	Diário
4	Horário
5	Constantemente

R	Risco
0-5	Negligenciável
5-50	Pouco Significativo
50-500	Elevado
> 500	Inaceitável
R = PO x FE x G x NP	

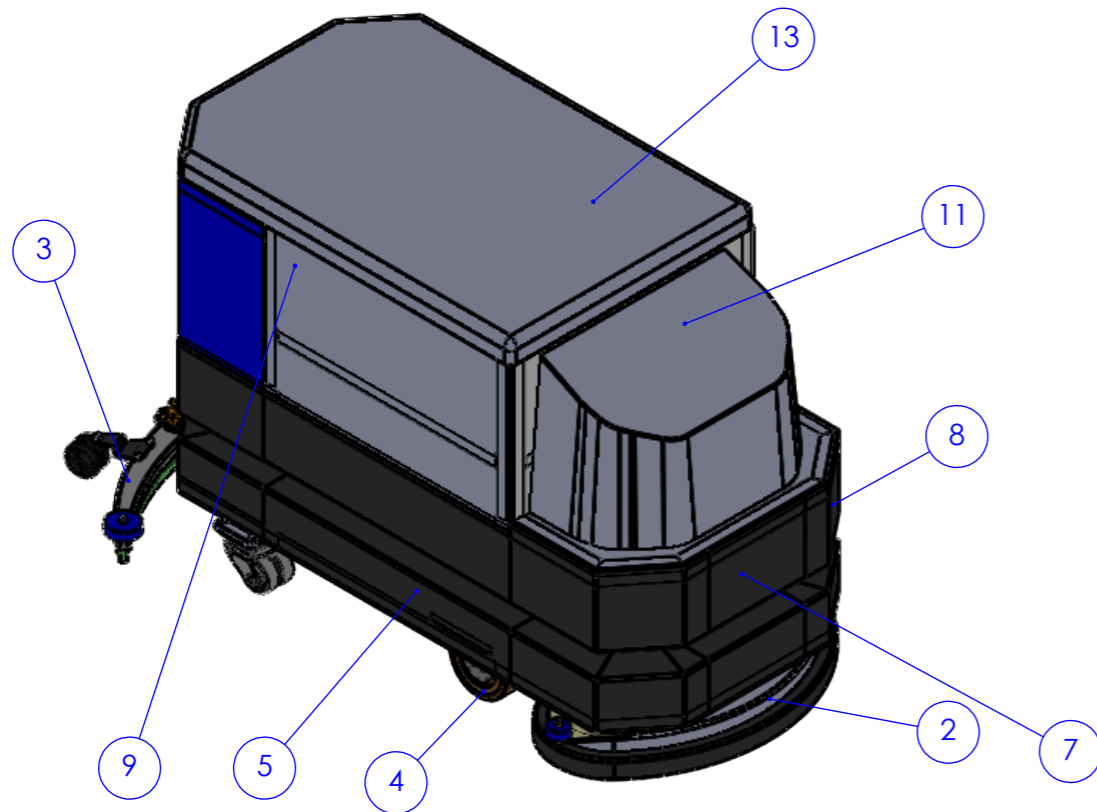
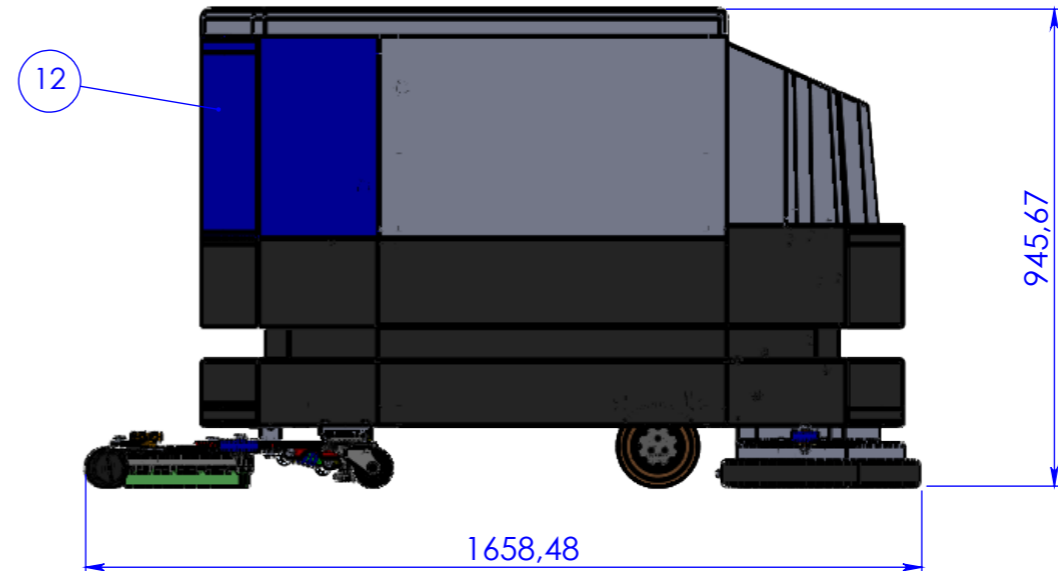
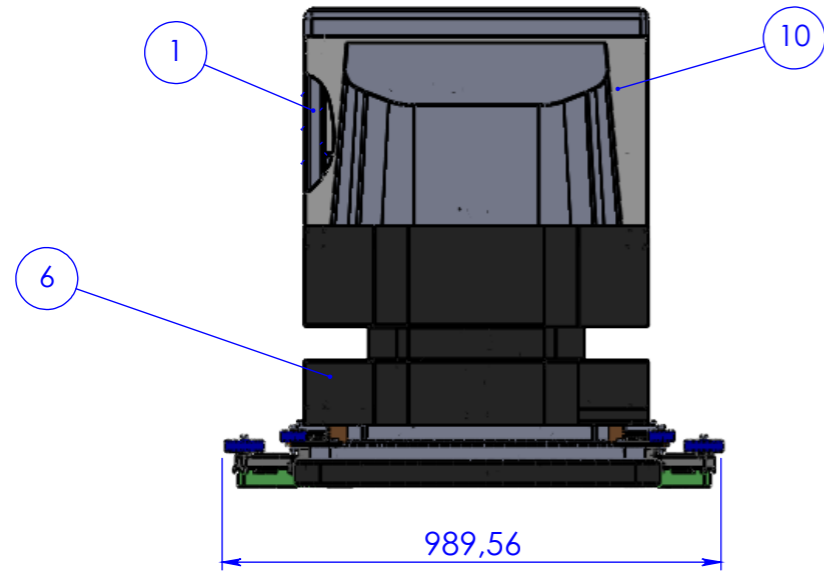
S (Severidade)	
0,1	Arranhão, irritação, leve mal-estar
0,5	Corte, queimadura
3	Quebra ou lesão de membros (temporário), perda de visão (temporário), perturbação psicológica ou funcional
8	Perda de membro(s), capacidade visual ou auditiva (permanente)
15	Morte

NP (N.º de Pessoas Expostas)	
1	1-2 pessoas
2	3-7 pessoas
4	8-15 pessoas
8	16-50 pessoas
12	+ 50 pessoas



## Anexo C

# Documentação técnica - Caso de estudo 3



13	Tampa	9001ATN19 01 00 019			1
12	Chapa_Tras	9001ATN19 01 00 018			1
11	Chapa_Frente	9001ATN19 01 00 017			1
10	Chapa_Divisao_Frente	9001ATN19 01 00 016			1
9	Chapa_Meio_Cima	9001ATN19 01 00 015			2
8	Chapa_Baixo_Scanner	9001ATN19 01 00 014			1
7	Chapa_Baixo_Central	9001ATN19 01 00 013			1
6	Chapa_Baixo_Canto	9001ATN19 01 00 012			1
5	Chapa_Baixo_Lateral	9001ATN19 01 00 011			2
4	Sistema_Locomoção	9001ATN19 01 04 001			2
3	Sistema_Limpeza_Traseiro	9001ATN19 01 03 001			1
2	Sistema_Limpeza_Dianteiro	9001ATN19 01 02 001			1
1	Montagem_Chassi	9001ATN19 01 01 001			1
Item	Peça	Desenho	Referência	Fabricante	QTY.

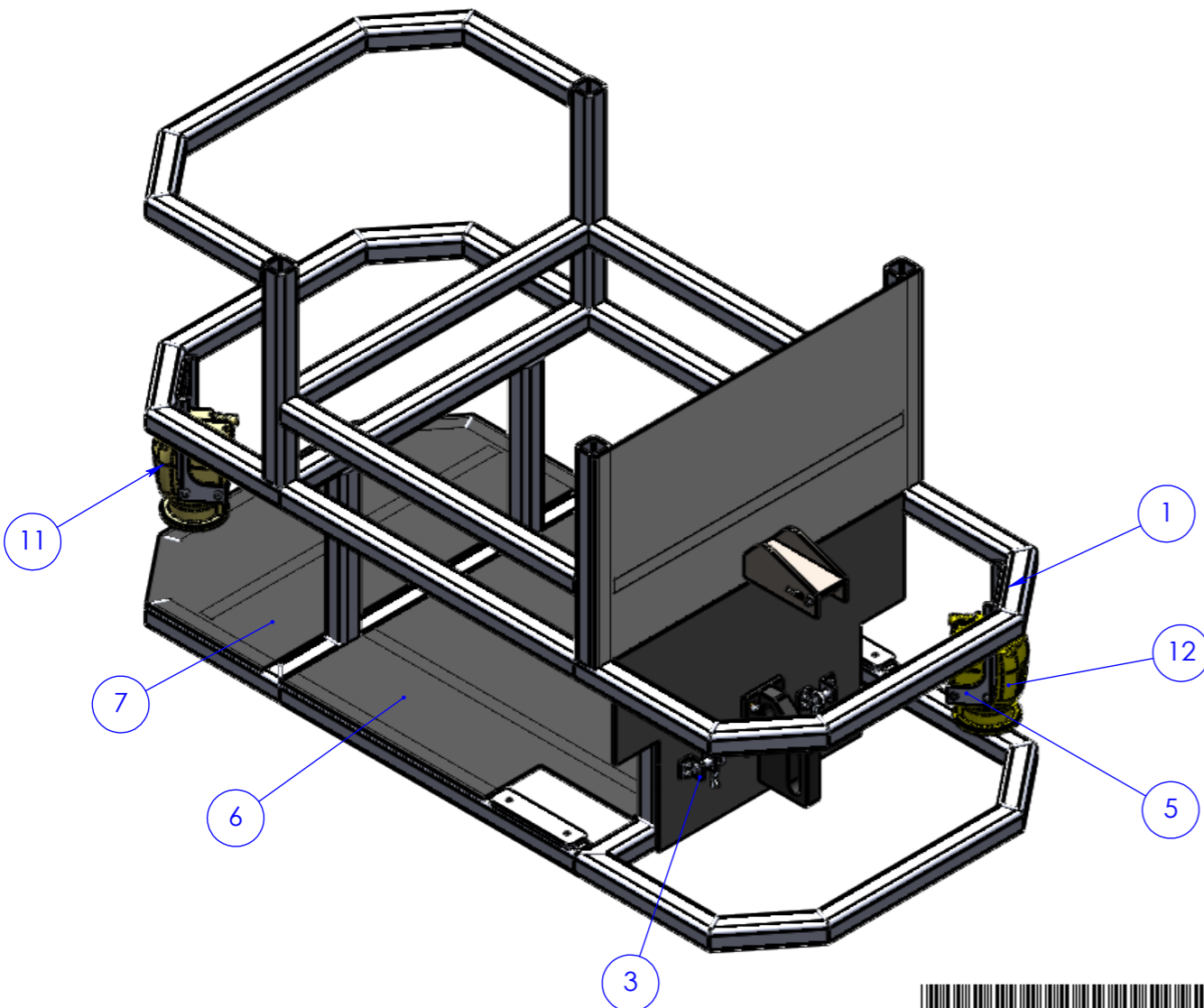
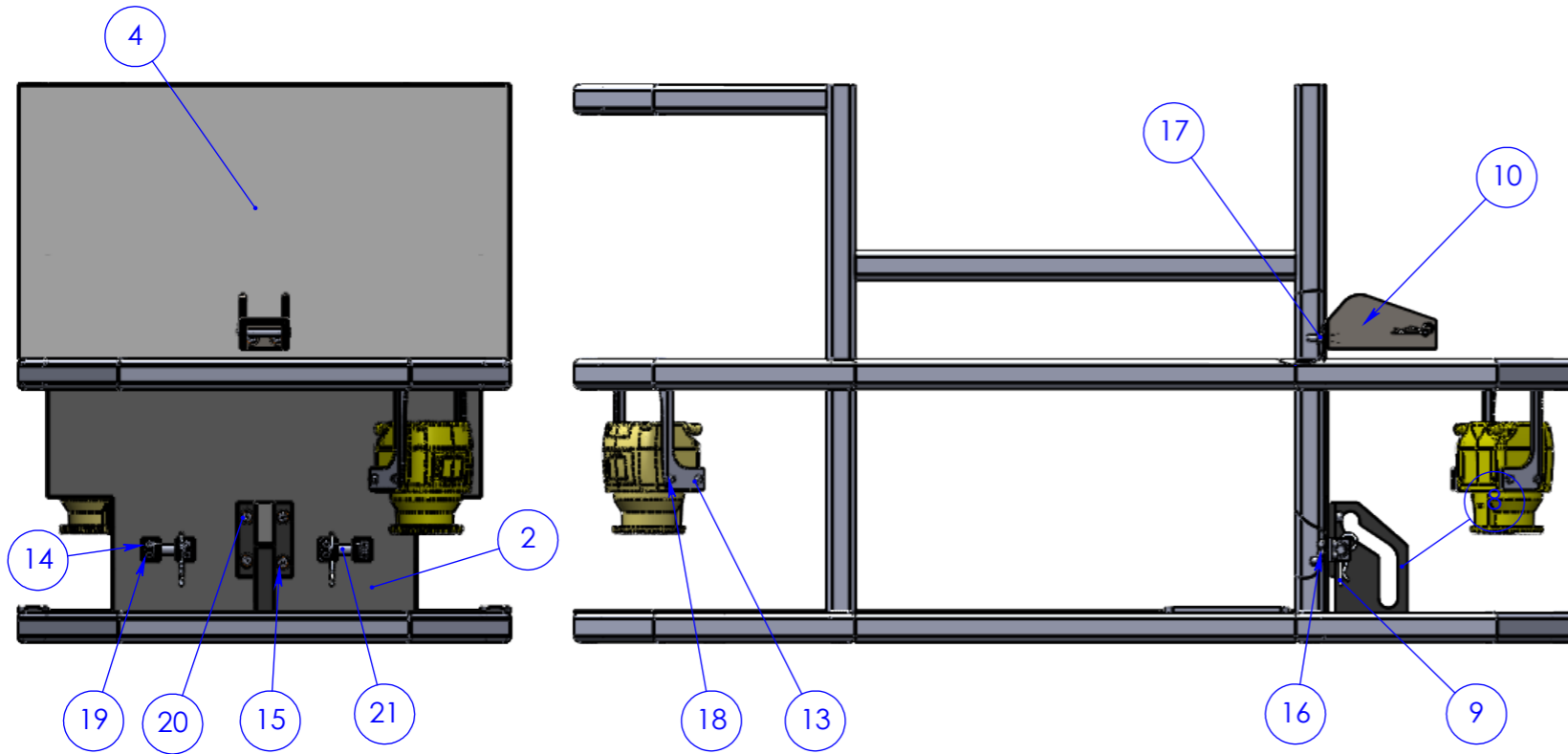
Designação: Máquina\_Limpeza\_9001ATN19

	Quebra arestas		Data	Rubrica		Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro  T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106  atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt
	0,5 x 45°	Desenhou	08/06/2020	Tiago Morgado		
	Tolerâncias Gerais	Rugosidade Geral	Verificou			
	ISO 2768 - mK	3,2	Exec.			

Formato: A3	Nº Interno: 9001ATN19 01 00 001	Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material:	Escala
	Tratamento:	
Última actualização /impressão	Acabamento:	1/1
Data: 25/02/2020	Projeto: Máquina de limpeza	



1mm



21	pin_iso_2341_b_12x40_st				2
20	din_en_iso_4762_m8x35				6
19	din_en_iso_4762_m6x20				8
18	din_en_iso_4762_m5x12				8
17	nut_iso_4034-m8-5				6
16	nut_iso_4034-m6-5				8
15	din_en_iso_7091-8				12
14	din_en_iso_7091-6				16
13	din_en_iso_7091-5				8
12	SLS_SLAVE_safetylaserscanner				1
11	SLS_MASTER_safetylaserscanner				1
10	Placa_Ligacao_Atuator_Frente	9001ATN19 01 01 018			1
9	Cotter_Pin_gn_1024-ni-3-e				2
8	Suporte_meio_Slot	9001ATN19 01 01 017			1
7	Chapa_Baixo_Traseira	9001ATN19 01 01 016			1
6	Chapa_Baixo_Meio	9001ATN19 01 01 015			1
5	Bracadeira_Scanner	9001ATN19 01 01 014			2
4	Chapa_Divisao_Frente	9001ATN19 01 00 016			1
3	Cantoneira_Ligacao_Braco	9001ATN19 01 01 013			4
2	Chapa_Ligacao_Escova_Dianteira	9001ATN19 01 01 012			1
1	Chassi	9001ATN19 01 01 011			1
Item	Peça	Desenho	Referência	Fabricante	QTY.

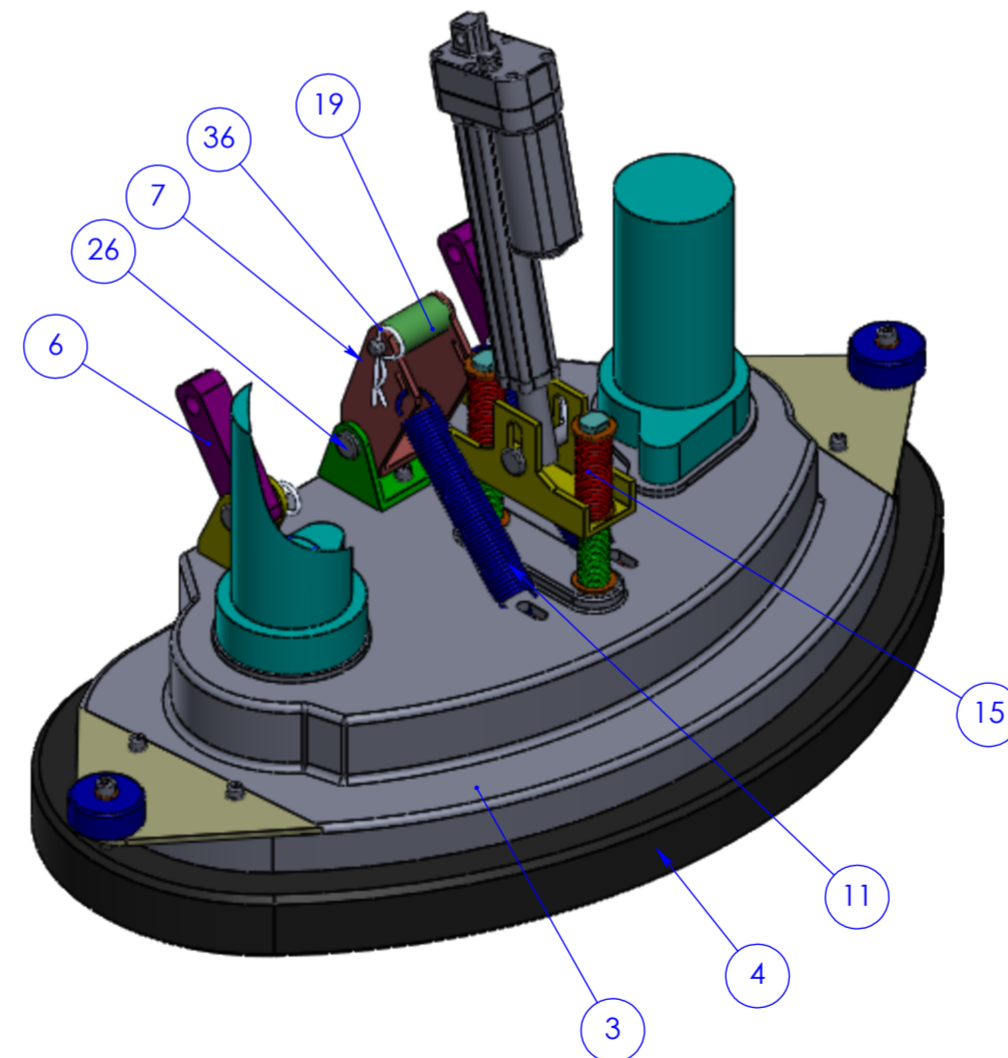
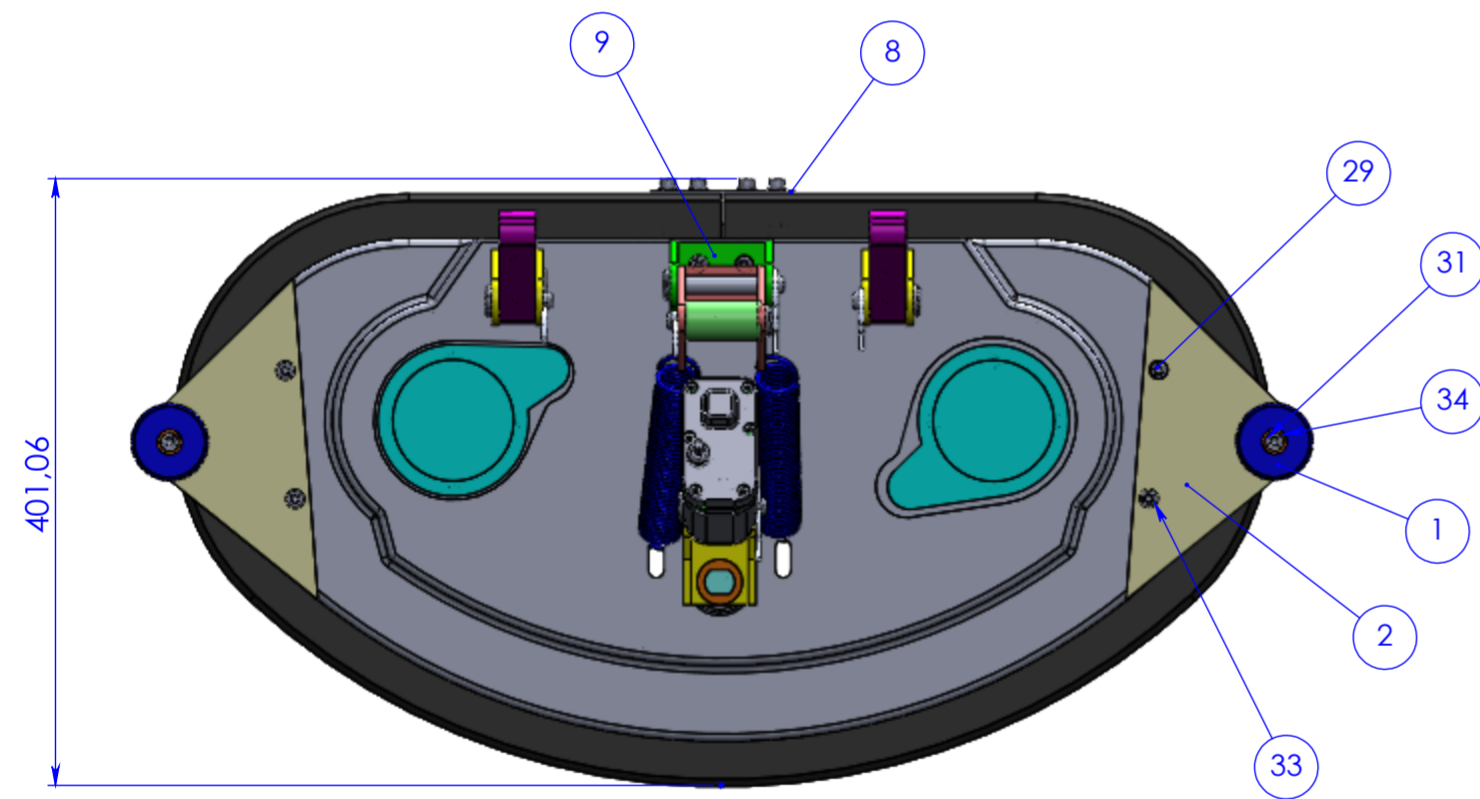
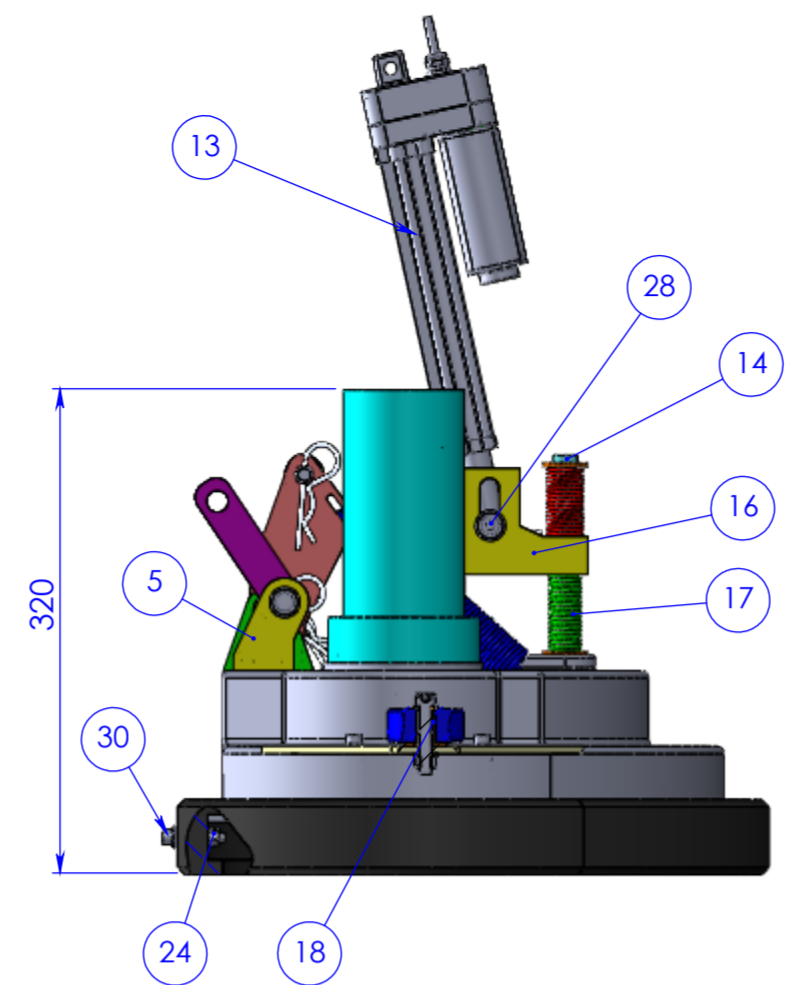
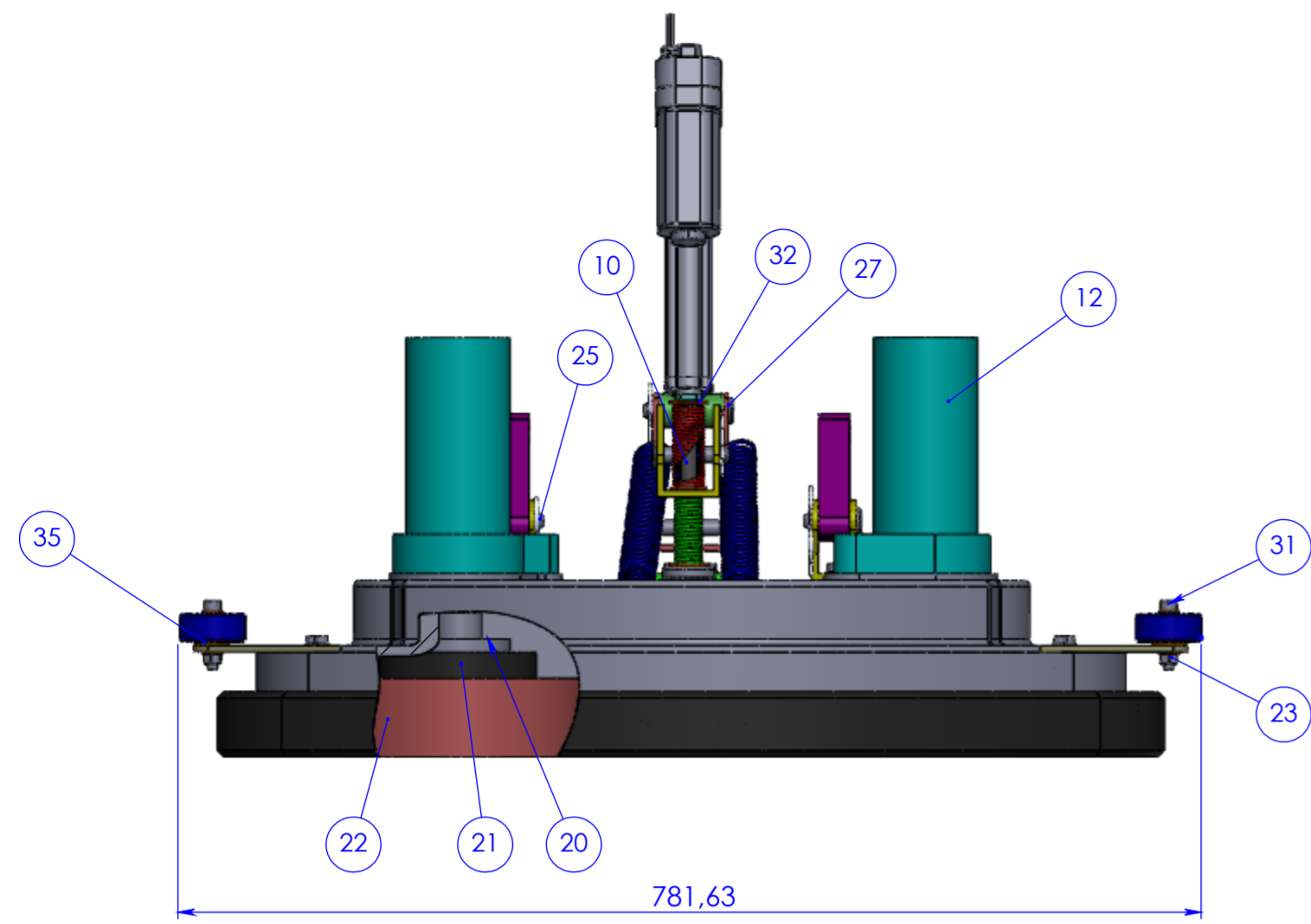
Designação: Montagem\_Chassi

	Quebra arestas		Data	Rubrica		Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro  T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106  atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt
	0,5 x 45°	Desenhou	08/06/2020	Tiago Morgado		
	Tolerâncias Gerais	Rugosidade Geral	Verificou			
	ISO 2768 - mK	3,2	Exec.			

Formato: A3	Nº Interno: 9001ATN19 01 01 001	Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material:	Escala
	Tratamento:	
Última actualização /impressão	Acabamento:	1/1
Data: 28/02/2020	Projeto: Máquina de limpeza	



1mm

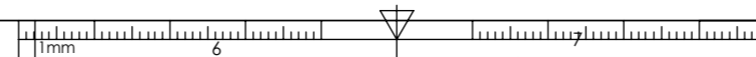


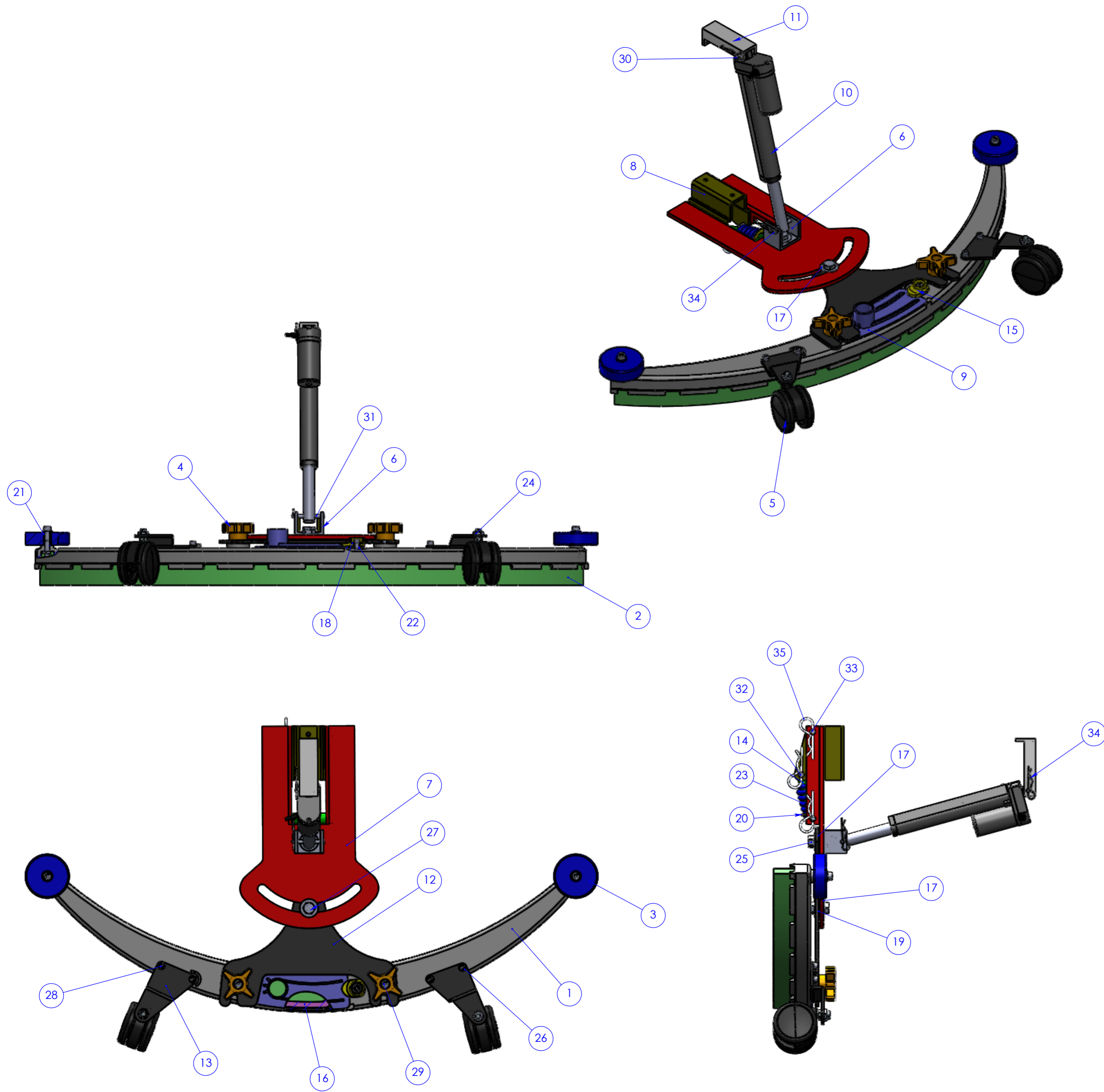
36	Cotter_Pin_gn_1024-ni-3-e				5
35	din_en_iso_7091-14				4
34	din_en_iso_7091-8				4
33	din_en_iso_7091-6				31
32	washer_iso_7093-10-140_hv				4
31	din_en_iso_4762_m8x45				2
30	din_en_iso_4762_m6x35				4
29	din_en_iso_4762_m6x20				19
28	pin_iso_2341_b_12x55_st				1
27	pin_iso_2341_b_12x65_st				1
26	pin_iso_2341_b_12x75_st				1
25	pin_iso_2341_b_12x40_st				2
24	nut_iso_4034-m6-5				8
23	14_nut_din_985-m8x1_25-8				2
22	Escova_Removivel				2
21	Escova_Fixa				2
20	Flange_Escova	9001ATN19 01 02 024			2
19	Casquilho_Pivot	9001ATN19 01 02 023			1
18	Casquilho_Rodas_Laterais	9001ATN19 01 02 022			2
17	Mola_Vertical_Baixo				2
16	Suporte_Atuator_Inferior	9001ATN19 01 02 021			1
15	Mola_Vertical_Cima				2
14	Veio_Regulador_Molas	9001ATN19 01 02 020			2
13	Atuator_Linear_Frente				1
12	Motor_Escovas				2
11	Mola_Diagonal		MXR12508SSM		2
10	Casquilho_Molas	9001ATN19 01 02 019			2
9	Orelha_Frontal	9001ATN19 01 02 018			1
8	Placa_Uniao_Borracha	9001ATN19 01 02 017			1
7	Pivot	9001ATN19 01 02 016			1
6	Braco	9001ATN19 01 02 015			2
5	Orelhas_Braco	9001ATN19 01 02 014			2
4	Borracha_Carter_Frontal				1
3	Carter_Frontal	9001ATN19 01 02 013			1
2	Chapa_Canto	9001ATN19 01 02 012			2
1	Roda_Lateral	9001ATN19 01 02 011			2
Item	Peça	Desenho	Referência	Fabricante	QTY.

Designação: Sistema\_Limpeza\_Dianteiro

 I.S.O.	Quebra arestas	0,5 x 45°	Data	Rubrica	 Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106 atena@atena-ai-pt www.atena-ai-pt
	Desenhou	08/06/2020	08/06/2020	Tiago Morgado	
Tolerâncias Gerais	Rugosidade Geral	ISO 2768 - mK	3,2/	Verificou	
				Exec.	

Formato: A2	Nº Interno: <b>9001ATN19 01 02 001</b>	Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material:	Escala
	Tratamento:	
Última actualização /impressão	Acabamento:	1/1
Data: 25/02/2020	Projecto: Máquina de limpeza	

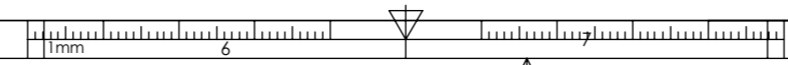




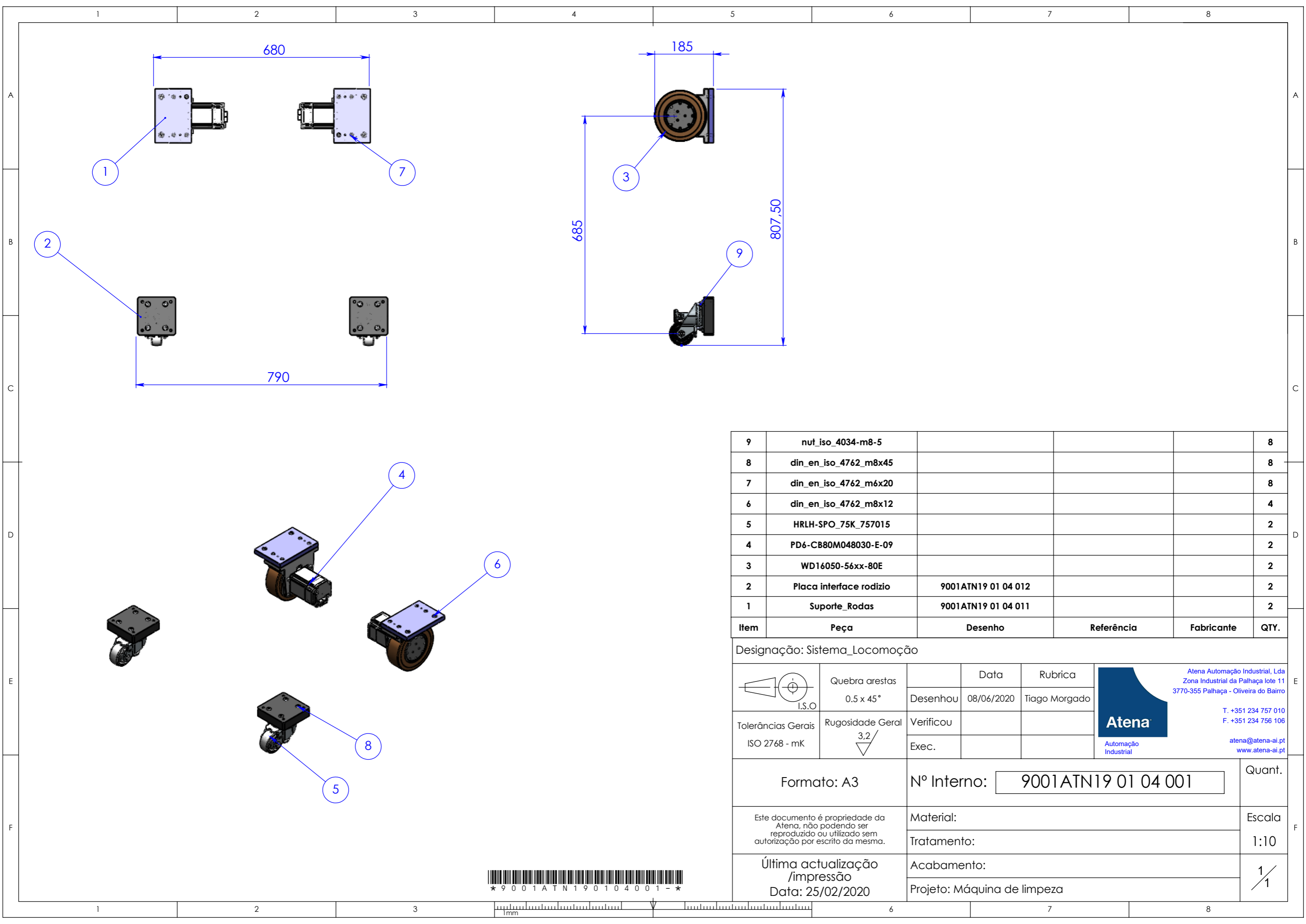
35	Colter_Pin_gn_1024-ni-3-e				3
34	Colter_Pin_gn_1024-ni-2-e				2
33	pin_iso_2341_b_10x80_st				2
32	pin_iso_2341_b_10x65_st				1
31	pin_iso_2341_b_6x55_st				1
30	pin_iso_2341_b_6x40_st				1
29	din_en_iso_4762_m8x45				4
28	din_en_iso_4762_m6x35				5
27	screw_din_933-m12x30-8_8-a				2
26	din_en_iso_7091-6				4
25	din_en_iso_4032_m12x1_75				2
24	nut_m10x1_5ansib18_2_4_5m				2
23	Mola				1
22	Casquilho (2)				1
21	Casquilho(430SS)				2
20	Anilha(SH)				2
19	Anilha(Brz)				1
18	Anilha(SS)_2				1
17	Anilha(SS)				5
16	Borracha_Vedação				1
15	Knob_Ligação_Tubagem				1
14	Guia_Mola	9001ATN19 01 03 019			1
13	Peça_Ligação_Rodizios	9001ATN19 01 03 018			1
12	Placa_Ligação_Intermédia	9001ATN19 01 03 017			1
11	Suporte_Atuidor_Traseiro	9001ATN19 01 03 016			1
10	Atuidor_Linear_Tras				1
9	Ligação_Tubagem				1
8	Ligação_Escova_Estrutura	9001ATN19 01 03 015			1
7	Base_Rotação_Escova	9001ATN19 01 03 014			1
6	Suporte_U_Atuidor	9001ATN19 01 03 013			1
5	Rodizios_Escova_Traseira		LKDB-PUA_75G_759286-214		2
4	Peça_Aperto_Escova_Traseira				2
3	Roda_Lateral	9001ATN19 01 03 012			2
2	Escova_Traseira				1
1	Estrutura_Escova_Traseira	9001ATN19 01 03 011			1
Item	Peça	Desenho	Referência	Fabricante	QTY.

Designação: Sistema\_Limpeza\_Traseiro

	Quebra arestas	0.5 x 45°	I.S.O.	Data	Rubrica
	Desenhou	08/06/2020	Verificou		 <small>Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro</small>
Tolerâncias Gerais	Rugosidade Geral	ISO 2768 - mK	3.2	Exec.	
Formato: A2	Nº Interno:	9001ATN19 01 03 001		Quant.	
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material:			Escala	1:5
Última actualização /impressão	Acabamento:				1/1
Data: 25/02/2020	Projecto: Máquina de limpeza				





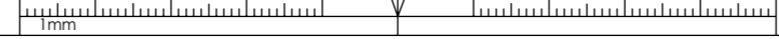


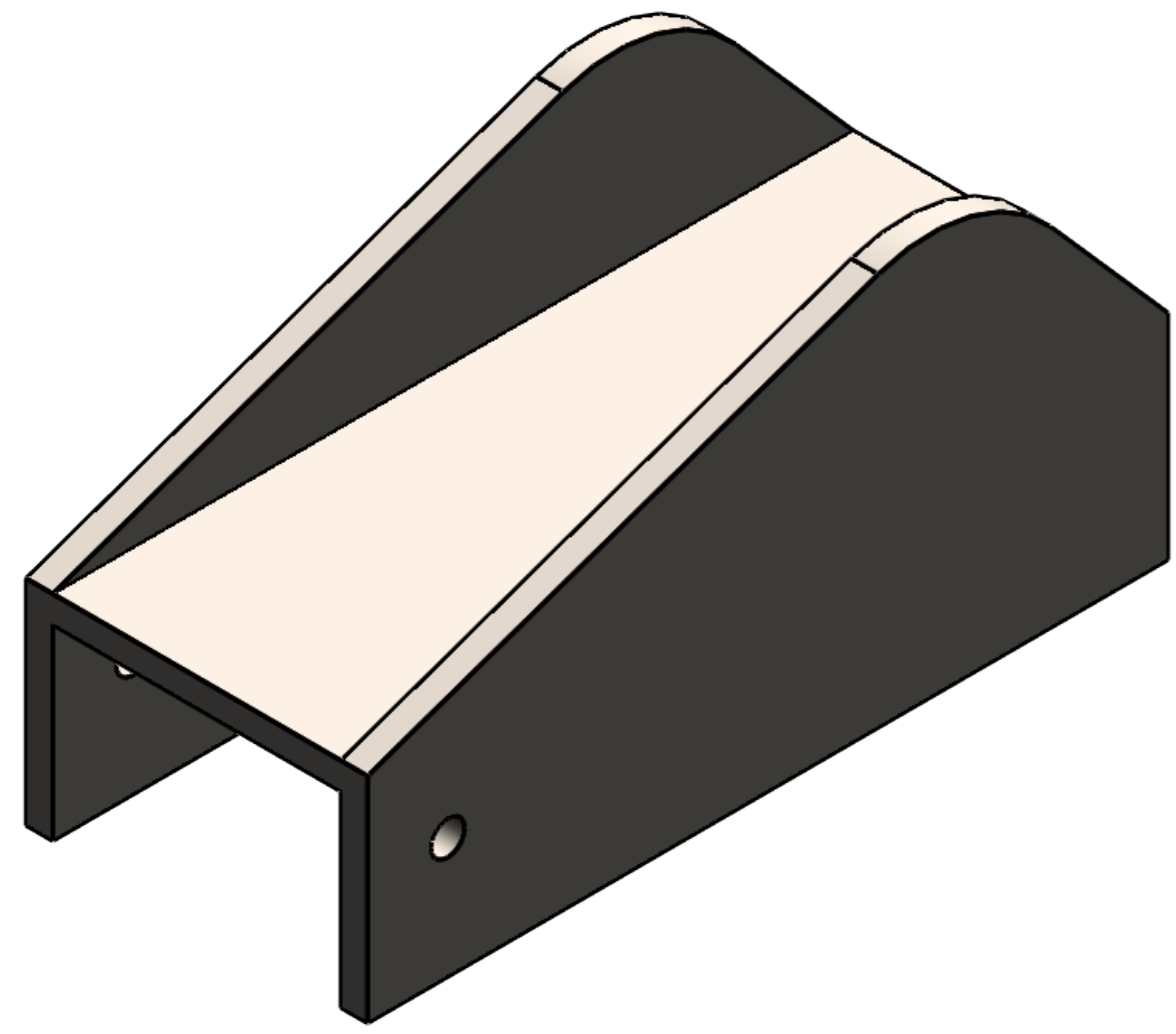
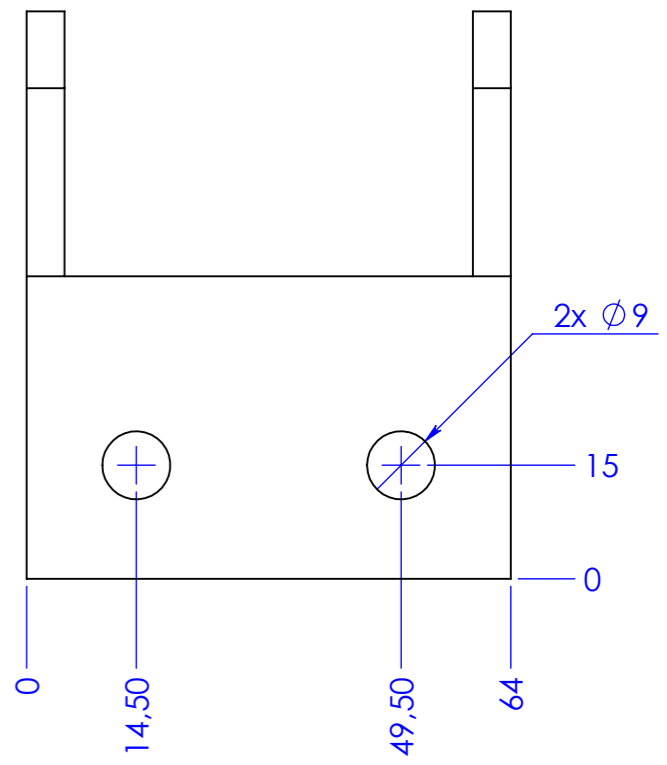
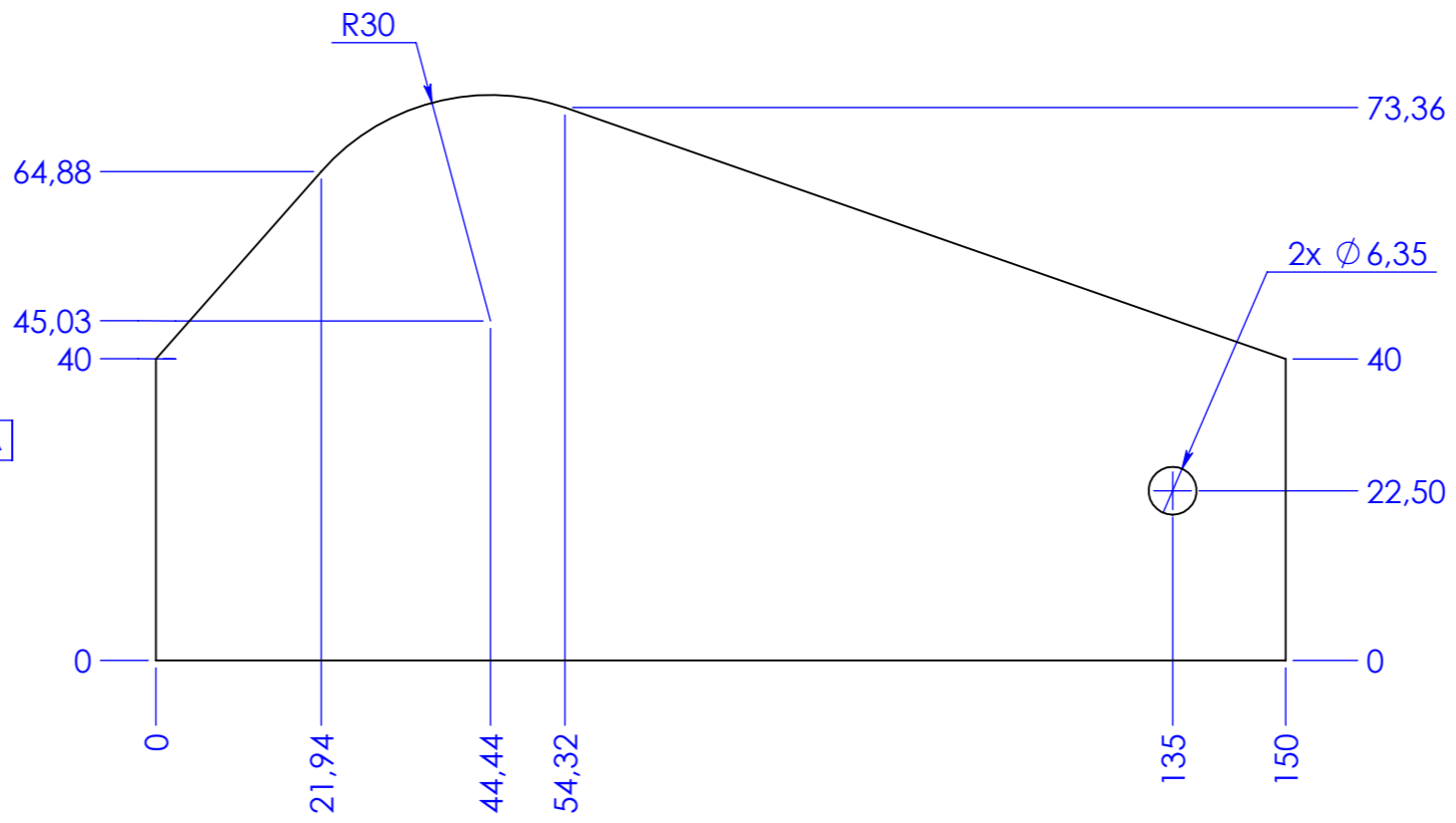
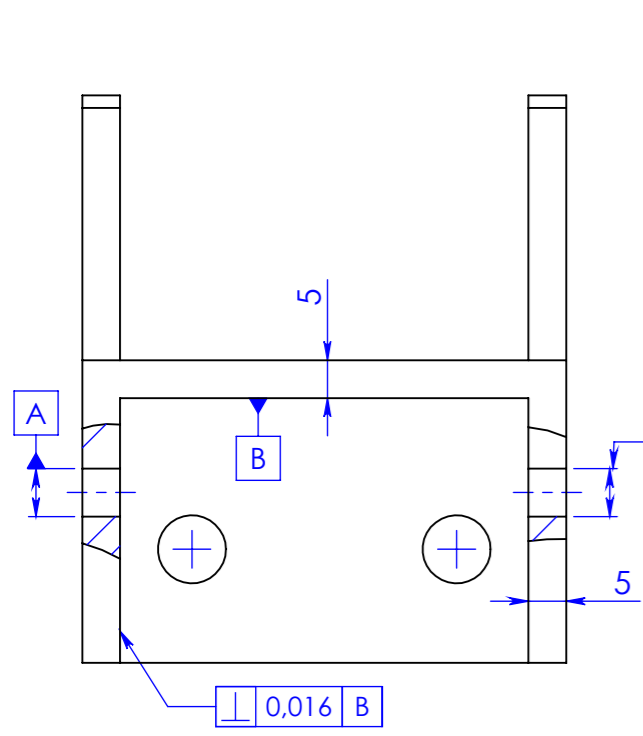
9	nut_iso_4034-m8-5				8
8	din_en_iso_4762_m8x45				8
7	din_en_iso_4762_m6x20				8
6	din_en_iso_4762_m8x12				4
5	HRLH-SPO_75K_757015				2
4	PD6-CB80M048030-E-09				2
3	WD16050-56xx-80E				2
2	Placa interface rodizio	9001ATN19 01 04 012			2
1	Suporte_Rodas	9001ATN19 01 04 011			2
Item	Peça	Desenho	Referência	Fabricante	QTY.

Designação: Sistema\_Locomoção

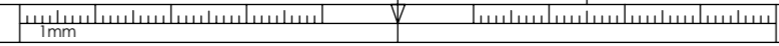
	Quebra arestas		Data	Rubrica	<p>Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro</p> <p>T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106</p> <p>atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt</p>
	0,5 x 45°	Desenhou	08/06/2020	Tiago Morgado	
	Rugosidade Geral	Verificou			
	3,2	Exec.			

Formato: A3	Nº Interno: <input type="text" value="9001ATN19 01 04 001"/>	Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material:	Escala
	Tratamento:	
Última actualização /impressão	Acabamento:	1/1
Data: 25/02/2020	Projeto: Máquina de limpeza	





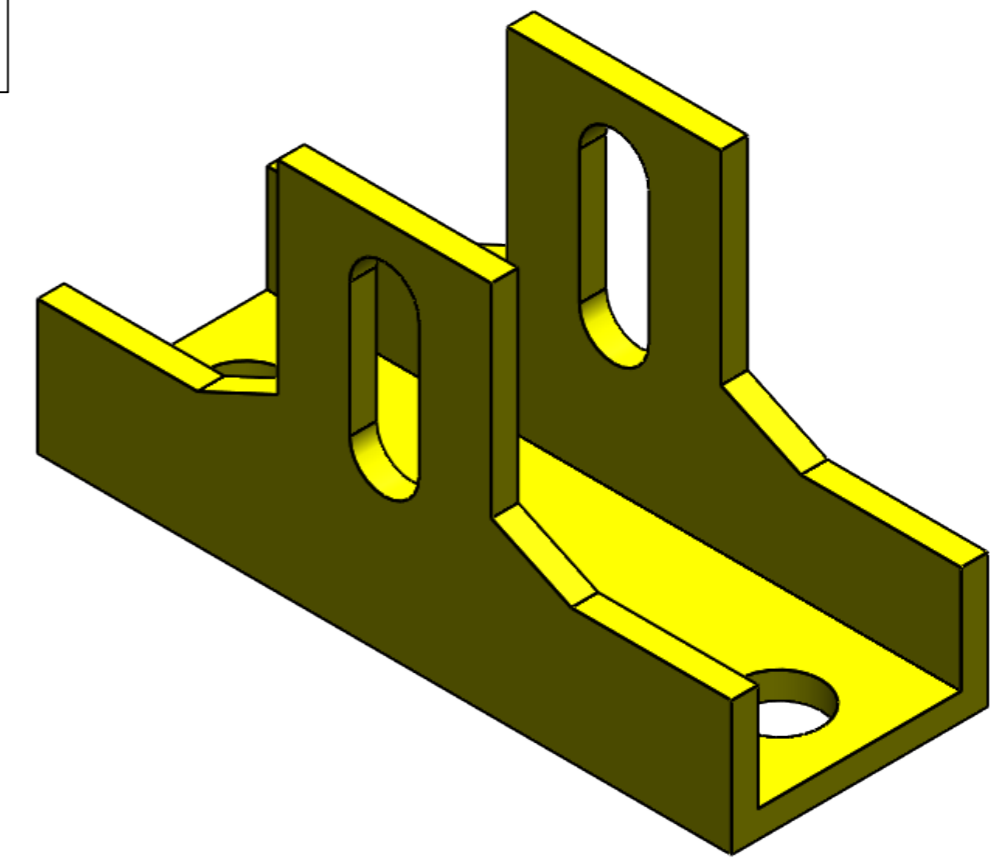
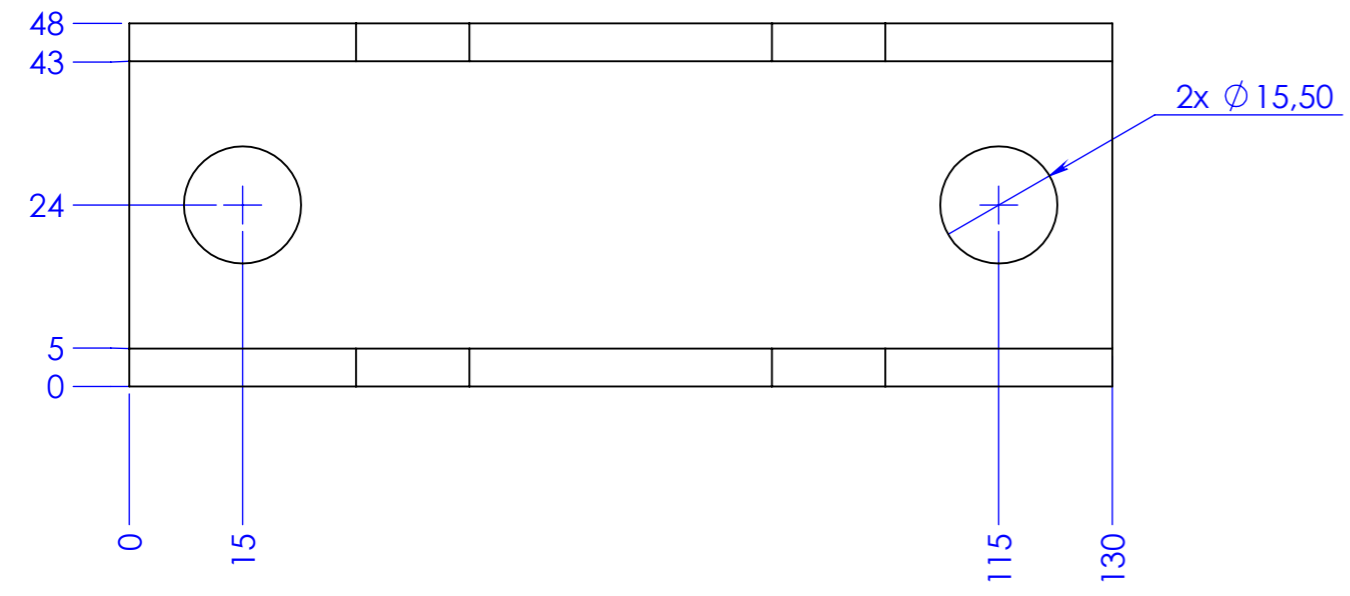
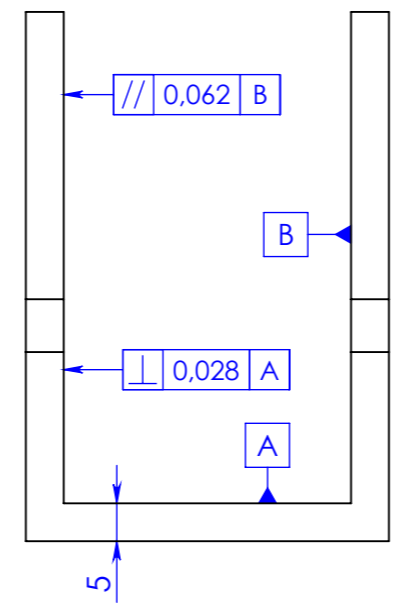
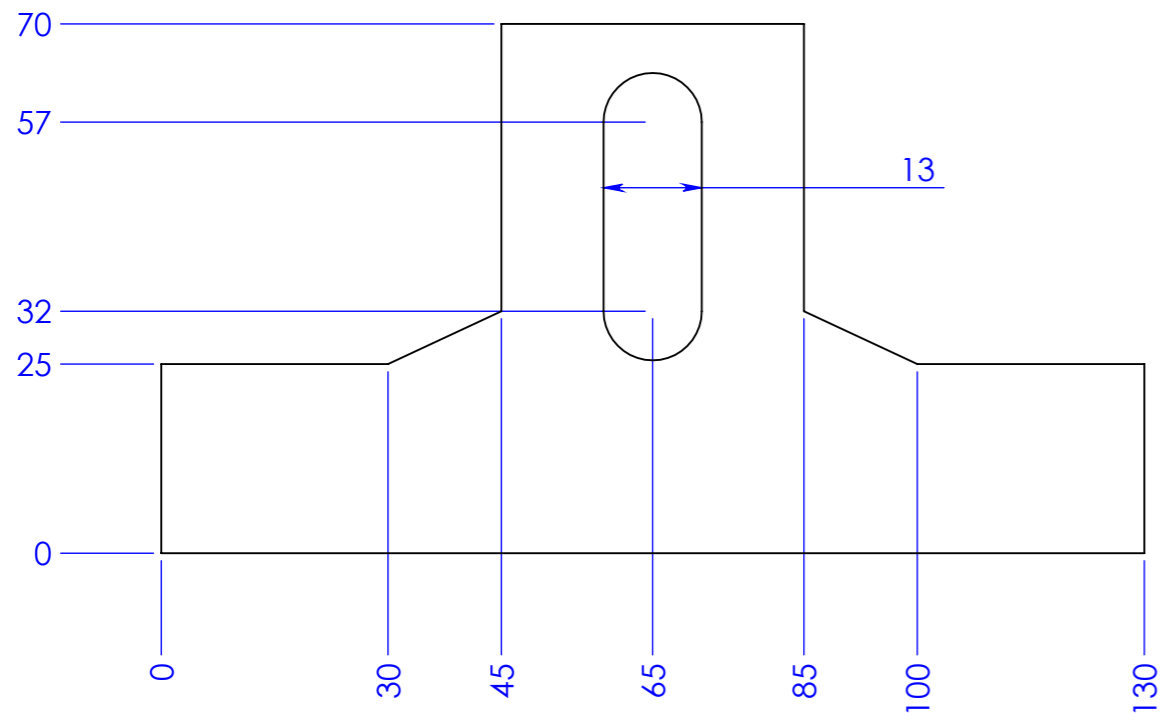
Designação: Placa_Ligacao_Atuator_Frente				
 I.S.O.	Quebra arestas		Data	Rubrica
	0,5 x 45°	Desenhou	08/06/2020	Tiago Morgado
Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	Rugosidade Geral	Verificou		
	3,2	Exec.		
Formato: A3		Nº Interno: 9001ATN19 01 01 018		Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.		Material: C45E (F10)		Escala
		Tratamento:		1:1
Última actualização /impressão Data: 25/02/2020		Acabamento:		1/1
		Projeto: Máquina de limpeza		



Atena Automação Industrial, Lda  
Zona Industrial da Palhaça lote 11  
3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro

**Atena**  
Automação Industrial

T. +351 234 757 010  
F. +351 234 756 106  
atena@atena-ai.pt  
www.atena-ai.pt

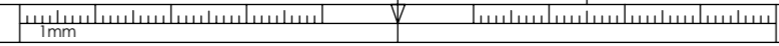


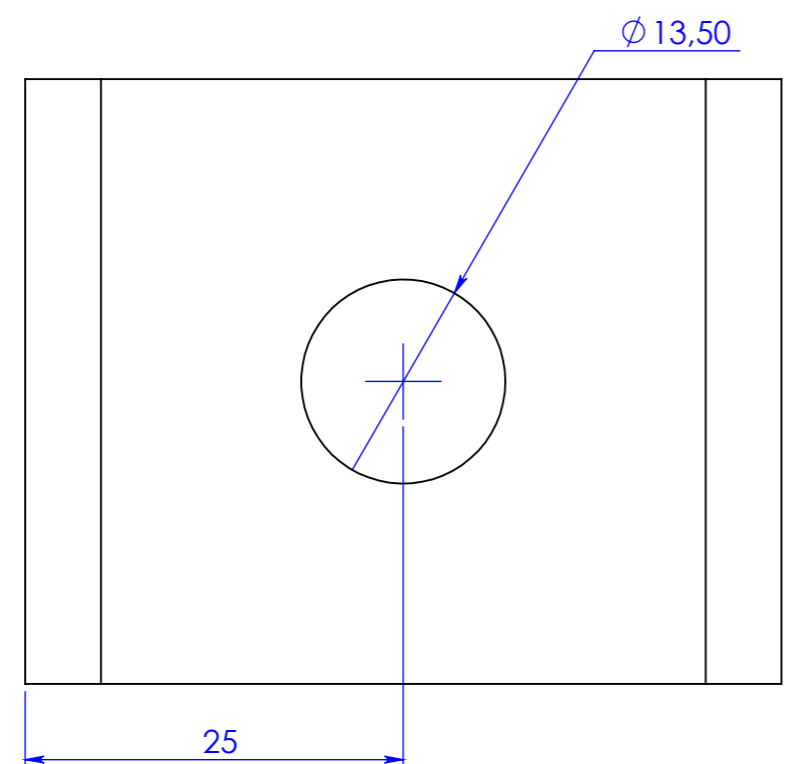
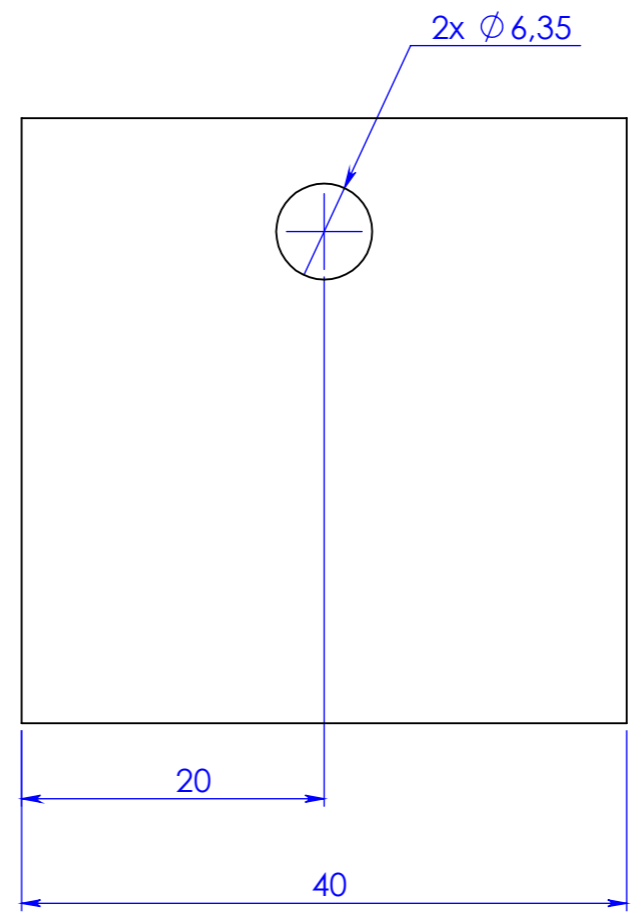
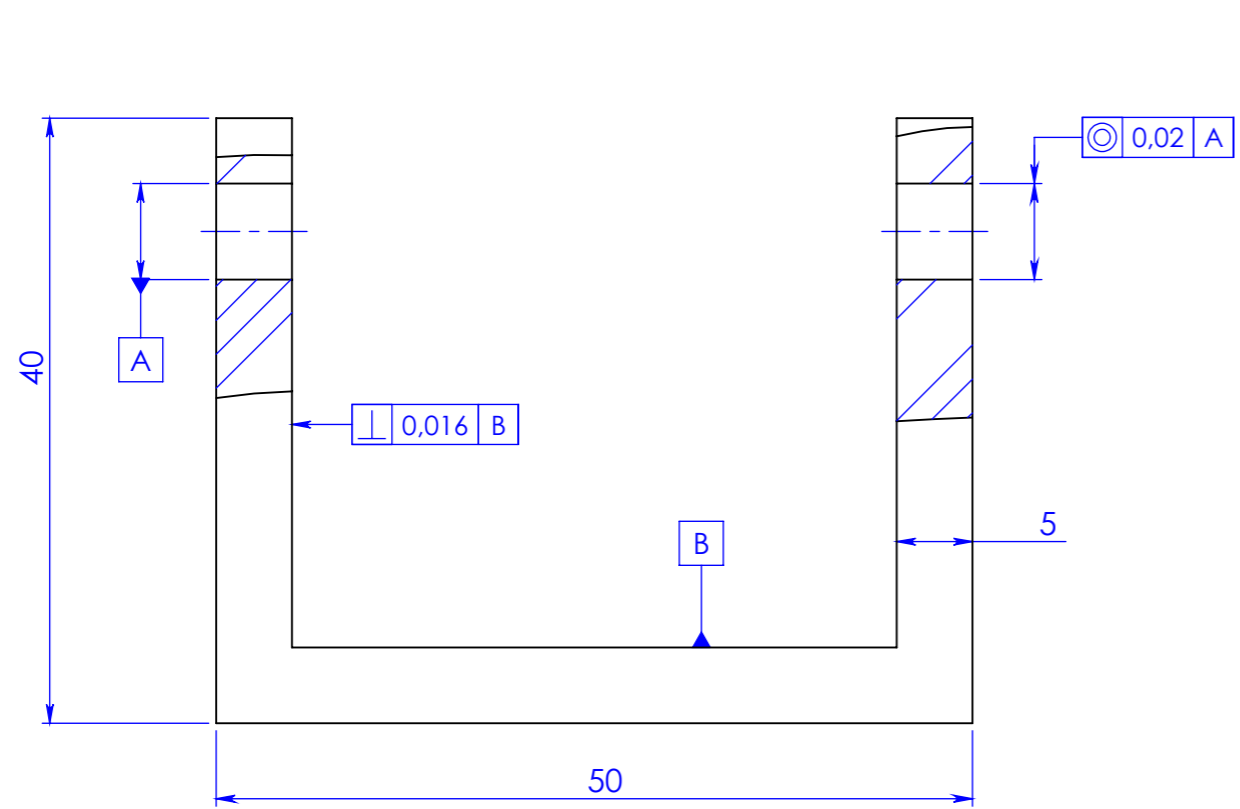
Designação: Suporte_Atuator_Inferior				
	Quebra arestas		Data	Rubrica
	0,5 x 45°	Desenhou	08/06/2020	Tiago Morgado
Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	Rugosidade Geral 3,2	Verificou		
		Exec.		
Formato: A3		Nº Interno: 9001ATN19 01 02 021		Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.		Material: C45E (F10)		Escala
		Tratamento:		1:1
Última actualização /impressão Data: 24/02/2020		Acabamento:		1/1
		Projeto: Máquina de limpeza		

Atena Automação Industrial, Lda  
Zona Industrial da Palhaça lote 11  
3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro

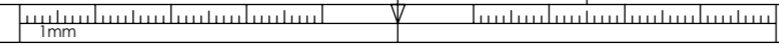
**Atena**  
Automação Industrial

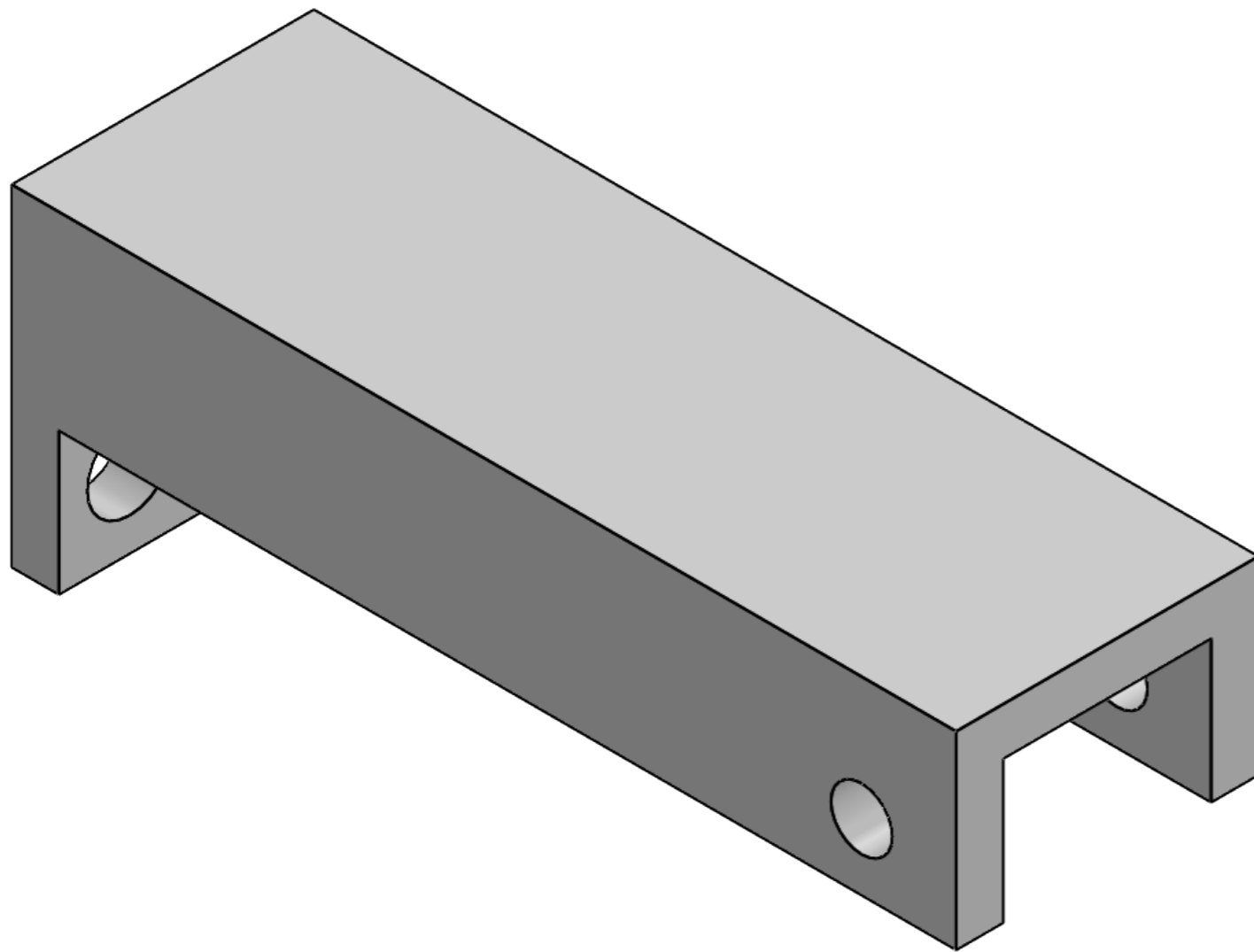
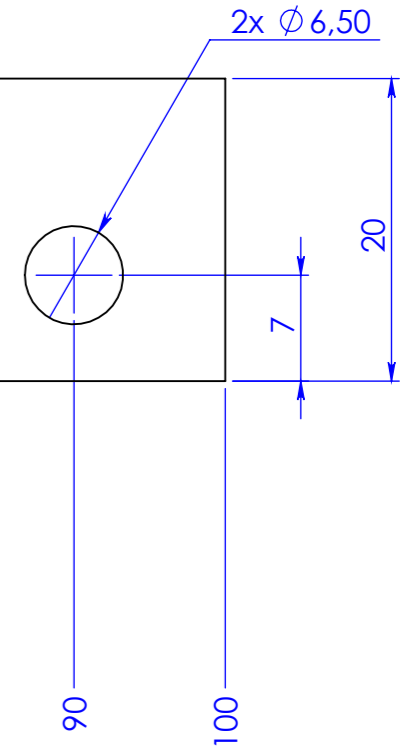
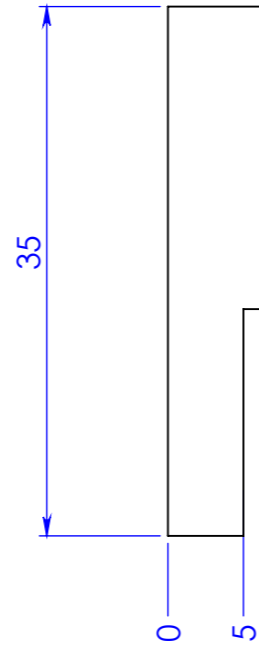
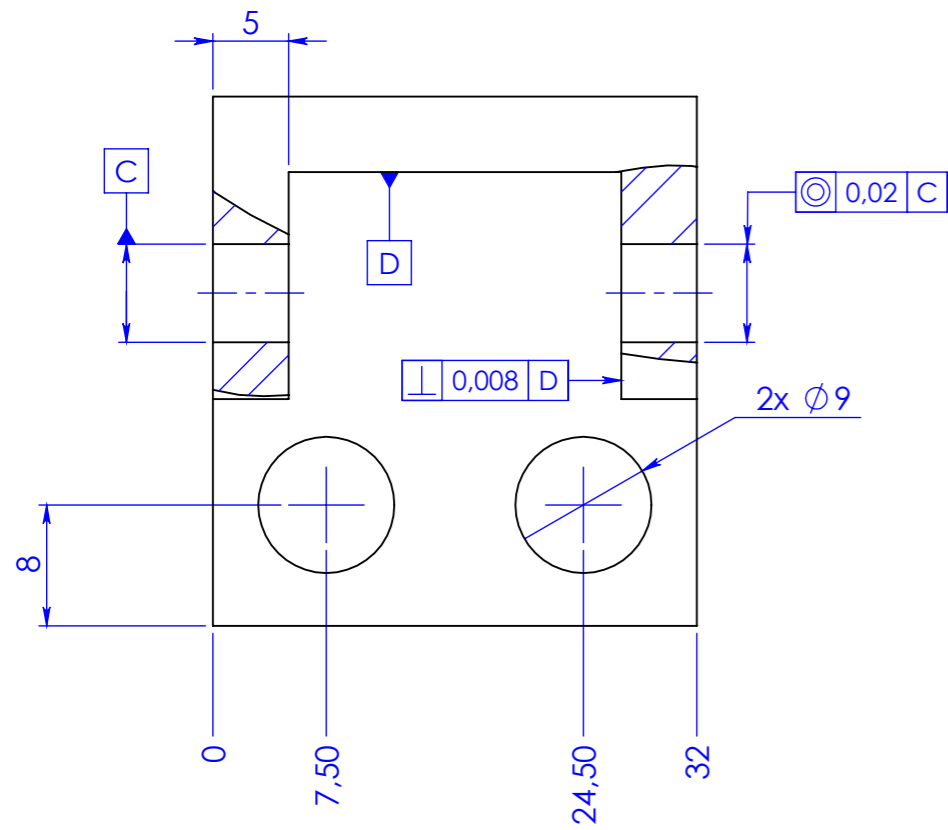
T. +351 234 757 010  
F. +351 234 756 106  
atena@atena-ai.pt  
www.atena-ai.pt





Designação: Suporte_U_Atuator				
 Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	 Rugosidade Geral 3,2	Quebra arestas	Data	Rubrica
		0,5 x 45°	Desenhou	08/06/2020
		Exec.		
 Atena Automação Industrial		Atena Automação Industrial, Lda Zona Industrial da Palhaça lote 11 3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro T. +351 234 757 010 F. +351 234 756 106 atena@atena-ai.pt www.atena-ai.pt		
Formato: A3	Nº Interno:	9001ATN19 01 03 013		Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.	Material: S235JRG2 (ST37)			Escala
	Tratamento:			2:1
Última actualização /impressão	Acabamento:			1/1
Data: 24/02/2020	Projeto: Máquina de limpeza			





Designação: Suporte_Atuator_Traseiro				
 I.S.O.	Quebra arestas		Data	Rubrica
	0.5 x 45°	Desenhou	08/06/2020	Tiago Morgado
Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mK	Rugosidade Geral	Verificou		
	3,2	Exec.		
Formato: A3		Nº Interno: 9001ATN19 01 03 016		Quant.
Este documento é propriedade da Atena, não podendo ser reproduzido ou utilizado sem autorização por escrito da mesma.		Material: C45E (F10)		Escala
		Tratamento:		2:1
Última actualização /impressão Data: 24/02/2020		Acabamento:		1/1
		Projeto: Máquina de limpeza		

Atena Automação Industrial, Lda  
Zona Industrial da Palhaça lote 11  
3770-355 Palhaça - Oliveira do Bairro

**Atena**  
Automação Industrial

T. +351 234 757 010  
F. +351 234 756 106  
atena@atena-ai.pt  
www.atena-ai.pt