



**Luís Miguel Ferreira  
Costa**

**Teste e aperfeiçoamento de máquina de  
impressão 3D de metais**





**Luís Miguel Ferreira  
Costa**

## **Teste e aperfeiçoamento de máquina de impressão 3D de metais**

Relatório de Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestrado em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de António Manuel de Bastos Pereira, Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Apoio financeiro de: Projetos de Investigação do Centro de Tecnologia Mecânica e Automação (TEMA) com referências UIDB/00481/2020 e UIDP/00481/2020; e Projeto Centro de Tecnologia Mecânica e Automação (TEMA) Infraestrutura de Investigação com a referência CENTRO-01-0145 -FEDER-022083



**O júri / The jury**

Presidente / President

**Prof. Doutor António Gil D'Orey de Andrade Campos**

Professor Auxiliar com Agregação da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

**Prof. Doutor António Manuel de Bastos Pereira**

Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro (orientador)

**Prof. Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho**

Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto



## **Agradecimentos / Acknowledgements**

Especialmente e naturalmente, aos meus pais que sempre me apoiaram e possibilitaram a ingressão num curso superior. Queria deixar também um agradecimento especial ao meu orientador, Prof. Doutor António Bastos Pereira, por todo o apoio prestado, disponibilidade apresentada, pela partilha de conhecimento e experiência. Ao Eng.º António Festas, ao Eng.º Ricardo Beja e ao Eng.º Rui Heitor, pela disponibilidade, pelos conselhos, apoio e partilha de conhecimentos. À minha namorada e restante família pela paciência e pelo apoio. Aos meus colegas e amigos Alex Valadares, Bruno Seabra, Daniel Coelho, Daniela Matias, Diogo Matos, Guilherme Salgueiro, João Ferreira, Luís Costeira, Miguel Moreira, Paulo Cardoso, Pedro Tavares, Samuel Ferreira e Tiago Reis pelo companheirismo e entreaajuda durante todo o percurso académico. Ao Daniel Monteiro, ao Bruno Neto e aos alunos da Unidade Curricular de Tecnologia dos Processos de Ligação, por toda a ajuda disponibilizada e dedicação. E a todos aqueles que de uma forma direta ou indireta participaram no meu percurso académico, muito obrigado!





**Palavras-chave**

Fabrico Aditivo; DMLS; Projeto Mecânico; Projeto Elétrico; Laser

**Resumo**

O fabrico aditivo tem vindo a ser cada vez mais relevante na indústria, principalmente devido à facilidade oferecida na criação de peças de elevada complexidade geométrica, contrariamente a outras tecnologias de fabrico mais convencionais, tornando-se um alvo de desenvolvimento industrial e académico. O presente projeto contempla o estudo desta tecnologia aplicada aos metais, especialmente o processo DMLS, onde se descreve a sua evolução, impacto económico, principais vantagens, materiais usados, e os fabricantes mais relevantes do mercado. O objetivo do projeto visa o teste e acabamento de uma máquina de fabrico aditivo de metais já existente, desenvolvida totalmente no Departamento de Engenharia Mecânica da UA. Foram identificados e resolvidos alguns problemas da máquina de cariz mecânico e elétrico para possibilitar um correto funcionamento da mesma. A fim de resolver essas falhas, adicionaram-se várias peças e o esquema elétrico foi refeito e o quadro alterado, adicionando diversos componentes em falta e um circuito de segurança. Após as alterações da máquina realizaram-se ensaios de modo a comprovar que as mesmas eram adequadas. Conclui-se que a máquina não ficou ainda totalmente operacional, no entanto, fica claro que este trabalho foi mais um passo no sentido de a tornar funcional.



**Keywords**

Additive manufacturing; DMLS; Mechanical Design; Electrical Project, Laser

**Abstract**

Additive manufacturing has been increasingly relevant in the industry, mainly due to the facility offered in the creation of pieces with high geometric complexity, contrary to other more conventional manufacturing technologies, becoming a target of industrial and academic development. This project contemplates the study of this technology applied to metals, especially the DMLS process, in which it is described its own evolution, economic impact, main advantages, materials used, and the most relevant manufacturers in the market. The aim of the project is to test and finish a metal additive manufacturing machine, fully developed in the Department of Mechanical Engineering at UA. Some mechanical and electrical problems were identified and resolved to enable the machine to function correctly. In order to resolve these problems, several parts were added, the electrical scheme was redone and switchboard changed, adding several missing components and a safety circuit. After that, some tests were done in order to prove that the modifications made to the machine were appropriate. It is concluded that the machine is not yet fully operational, however, it is clear that this work was another step towards making it functional.



# Índice

<b>I</b>	<b>Enquadramento</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>3</b>
1.1	Objetivos . . . . .	3
1.2	Organização do Relatório . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Revisão do Estado da Arte</b>	<b>5</b>
2.1	Fabrico aditivo . . . . .	5
2.1.1	Categorização dos processos existentes . . . . .	6
2.2	História e evolução do Fabrico Aditivo . . . . .	8
2.3	Fabrico aditivo de metais . . . . .	10
2.3.1	Métodos Indiretos . . . . .	10
2.3.2	Métodos Diretos . . . . .	11
2.3.3	Sinterização Direta de Metais por Laser . . . . .	12
<b>II</b>	<b>Desenvolvimento</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>Estado Inicial e Problemas da Máquina</b>	<b>21</b>
3.1	Estrutura inicial da máquina . . . . .	21
3.2	Projeto elétrico inicial da máquina . . . . .	24
3.2.1	Motorreduztores . . . . .	24
3.2.2	Motor da Varredora . . . . .	24
3.2.3	Fins de curso da varredora . . . . .	24
3.2.4	Laser e seu controlo . . . . .	25
3.2.5	Comunicação computador - máquina . . . . .	27
3.3	Problemas da máquina . . . . .	28
<b>4</b>	<b>Propostas e Soluções Implementadas</b>	<b>33</b>
4.1	Projeto Mecânico . . . . .	33
4.2	Projeto Elétrico . . . . .	53
4.3	Colocação do Laser em modo de controlo remoto . . . . .	61
4.3.1	Comunicação Weldmark / SP-ICE-3 / Laser . . . . .	61
<b>III</b>	<b>Resultados e Discussão</b>	<b>63</b>
<b>5</b>	<b>Ensaio e Resultados Experimentais</b>	<b>65</b>

5.1	Foco e Correção do Laser . . . . .	65
5.2	Teste da camada do pó . . . . .	68
5.3	Teste da sinterização . . . . .	69
<b>6</b>	<b>Conclusões e Trabalhos Futuros</b>	<b>73</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>74</b>
	<b>Apêndices</b>	<b>81</b>
<b>A</b>	<b>Esquema elétrico atualizado</b>	<b>83</b>
<b>B</b>	<b>Código arduino para leitura do sensor de Oxigénio</b>	<b>95</b>
<b>C</b>	<b>Desenhos de definição das peças pertencentes à mesa de dimensões reduzidas</b>	<b>97</b>
<b>D</b>	<b>Desenho da montagem da mesa de dimensões reduzidas em vista explodida isométrica e desenho de conjunto</b>	<b>107</b>
<b>E</b>	<b>Desenhos de definição das peças pertencentes à varredora flexível de PTFE</b>	<b>111</b>
<b>F</b>	<b>Desenho de definição da varredora rígida de alumínio</b>	<b>117</b>
<b>G</b>	<b>Desenhos de definição das chapas do espaçador</b>	<b>119</b>
<b>H</b>	<b>Desenhos de definição dos componentes da chaminé</b>	<b>125</b>
<b>I</b>	<b>Desenhos de definição dos componentes do circuito de árgon</b>	<b>129</b>
<b>J</b>	<b>Desenho de definição do acoplador do motor de passo</b>	<b>133</b>
<b>K</b>	<b>Desenho de definição da chapa de fixação dos rodízios</b>	<b>135</b>
	<b>Anexos</b>	<b>137</b>
<b>I</b>	<b>Esquema elétrico antigo</b>	<b>137</b>
<b>II</b>	<b>Diagrama funcional e páginas de controlo e monitorização da máquina [14]</b>	<b>145</b>
<b>III</b>	<b>Tabela técnica - Vigas de Perfil IPE</b>	<b>149</b>
<b>IV</b>	<b>Ficha técnica do motor Nema 34HS38-4204D-E1000</b>	<b>151</b>
<b>V</b>	<b>Ficha técnica da eletroválvula</b>	<b>153</b>
<b>VI</b>	<b>Ficha técnica do sensor de porta aberta</b>	<b>157</b>
<b>VII</b>	<b>Pinout da ficha X907 da placa SP-ICE-3</b>	<b>165</b>

VIII	Pinout da ficha de 24 pinos do gerador do laser	169
IX	Descrição do interlock do gerador do laser	171
X	Iniciação do laser em modo local e modo remoto	173
XI	Manual do utilizador do sensor de O <sub>2</sub>	177
XII	Manual do utilizador do driver CL86T	183
XIII	Ficha técnica do micro-controlador	193
XIV	Características técnicas da placa de expansão do micro-controlador	203
XV	Configuração do laser usando um computador	207
XVI	Configuração do WeldMark 3 para trabalhar com a SP-ICE-3	211
XVII	Configuração do laser no WeldMark 3	217





# Lista de Tabelas

2.1	Categorização dos processos de fabrico aditivo (Adaptado de [6]). . . . .	7
2.2	Propriedades dos materiais processados por métodos de FA diretos [7; 22; 27; 28; 29; 30; 31]. . . . .	12
2.3	Propriedades e principais aplicações de alguns materiais processados por DMLS ([3; 41; 42; 43; 45]). . . . .	17
2.4	As 5 melhores máquinas de DMLS de 2021 (Adaptado de [46]). . . . .	17
3.1	Exemplos de configuração – AM-MODULE NEXT GEN (Adaptado de [59]).	26



# Lista de Figuras

2.1	Impressora 3D de metais Genisys da Stratasys. [13]	8
2.2	Crescimento do mercado de FA até 2014 (Adaptado de [17]).	9
2.3	Evolução do mercado de FA (por área) até 2019 e sua previsão até 2029 (Adaptado de [20]).	10
2.4	Classificação dos processos de FA de metal (Adaptado de [7]).	11
2.5	Estrutura de uma máquina de DMLS (Adaptado de [34]).	13
2.6	Potência e Velocidade de Passagem do Laser (DMLS - 316L SS - Laser de CO <sub>2</sub> ) (Adaptado de [35]).	14
2.7	Exemplos de aplicações do processo DMLS: (a) Implante de anca obtido em titânio [44], (b) Cabeça injetora do foguetão Ariane 6 em liga de níquel (IN718) [39].	16
2.8	Modelo DMP Flex 100 da 3D Systems [51].	18
2.9	Modelos M2 Series 5 da GE Additive [48].	18
3.1	Fotografia da máquina no seu estado inicial.	21
3.2	Esquema bidimensional: Funcionamento da máquina.	22
3.3	CAD da máquina no estado inicial vista em corte.	23
3.4	Fotografia do quadro elétrico inicial da máquina.	25
3.5	Motorreductor Stepperonline Nema 23HS22-2804D-PG15-E1000 [52].	26
3.6	Stepperonline Closed-loop Stepper Drive CL5T7 [53].	26
3.7	Fotografia do motor IEC IE3 90L 1,5KW 1500RPM B5 230/400V 50HZ.	27
3.8	Variador de frequência RS510 3PH-440V-1.5kW [56].	27
3.9	Fotografia do sensor de fim de curso Honeywell GLLA01A1B [57].	28
3.10	Aplicação e fixação do fim de curso na máquina.	28
3.11	Defletor AM-MODULE NEXT GEN da RAYLASE [58].	29
3.12	Laser YLR-200-AC da IPG Photonics [60].	29
3.13	Placa de controlo SP-ICE-3 e identificação dos seus componentes [61].	30
3.14	Chassi cDAQ-9174 da National Instruments [62].	31
3.15	Módulos NI 9401 [64] (esquerda) e NI 9403 [65] (direita).	31
3.16	Fotografia da câmara de sinterização.	32
3.17	Descrição do erro do motor (Adaptado de [53]).	32
4.1	Apoio dos rodízios e respetivas dimensões.	34
4.2	Rodízios selecionados e respetivas informações técnicas (Adaptado de [66])	35
4.3	Aplicação dos rodízios na máquina: (a) Desenho de definição da chapa de adaptação, (b) Preparação da chapa para soldadura, (c) Fotografia da soldadura e aplicação dos rodízios na máquina.	35

4.4	Esquema da deflexão máxima do feixe do laser e medidas relevantes. . . .	36
4.5	Defletor do laser: (a) Fotografia da vista de baixo do defletor, (b) Medidas essenciais para desenvolvimento do espaçador . . . . .	37
4.6	Modelação 3D: (a) Vista isométrica do espaçador do laser com os seus componentes relevantes, (b) Vista explodida parcial do conjunto . . . . .	37
4.7	Desenho de definição das chapas do espaçador: (a) Chapa de cima (b) Chapas laterais maiores, (c) Chapas laterais menores, (d) Chapa de baixo.	38
4.8	Processo de soldadura do espaçador: (a) Soldadura da chapa de baixo (b) Soldadura das chapas laterais, (c) Componente final. . . . .	39
4.9	Furação e corte da parede exterior da câmara: (a) Marcação dos furos e posição do espaçador centrado com a mesa (b) Fotografia das marcações efetuadas. . . . .	39
4.10	Corte da parede interior da câmara e aplicação da chapa de ligação: (a) Abertura inicial (b) Abertura final. . . . .	40
4.11	Imagem do refrigerador utilizado [67] . . . . .	40
4.12	Fotografia de uma das uniões do tubo do refrigerador do defletor. . . . .	41
4.13	Processo de vedação das juntas: (a) Silicone usado [68], (b) Fotografia da aplicação do silicone, (c) Fotografia da vedação das juntas da câmara interior. . . . .	42
4.14	Processo de vedação da porta: (a) Vedação das juntas de soldadura da porta, (b) Borracha de vedação no aro da porta. . . . .	42
4.15	Imagem do difusor e respetiva simulação numérica de escoamento de árgon.	43
4.16	Desenhos de definição das peças do difusor de árgon: (a) Desenho do difusor, (b) Desenho do tubo de alimentação de árgon e de fixação do difusor. . . . .	44
4.17	Vista em corte do aperto do difusor de árgon . . . . .	44
4.18	Aplicação do difusor na máquina: (a) Componente soldado, (b) Fotografia do aperto e ligação da mangueira de árgon, (c) Fotografia do difusor no interior da câmara. . . . .	45
4.19	Aplicação da chaminé na máquina: (a) Modelação da chaminé e sua posição na máquina, (b) Fotografia da colocação da chaminé na máquina. . . .	45
4.20	Desenhos de definição dos componentes da chaminé: (a) Desenho da flange, (b) Desenho do tubo vertical, (c) Desenho do tubo horizontal. . . .	46
4.21	Fotografia da aplicação da lã de rocha . . . . .	46
4.22	Chave dinamométrica e acessório: (a) Acessório usado para medição do binário, (b) Fotografia da chave dinamométrica usada. . . . .	47
4.23	Fotografia do processo de roscagem do motorreductor. . . . .	48
4.24	Desenho de definição do acoplador do motor. . . . .	48
4.25	Fixação do motor na máquina: (a) Suporte inicial, (b) Desenho das alterações efetuadas, (c) Aplicação do motor e acoplamento na máquina. . . .	48
4.26	Vista isométrica em corte da mesa reduzida. . . . .	50
4.27	Fotografia da varredora para a nova área de trabalho . . . . .	50
4.28	CAD da montagem da nova mesa de trabalho e varredora . . . . .	51
4.29	Aplicação da mesa de dimensões reduzidas na máquina: (a) Fotografia do processo de roscagem da base da câmara, (b) Fotografia da mesa aplicada na máquina. . . . .	51

4.30	Fixação do novo quadro na máquina: (a) Fotografia da estrutura de fixação de um dos lados do quadro, (b) Fotografia do quadro fixo na máquina. . . . .	52
4.31	Posição do gerador do laser na máquina. . . . .	53
4.32	Colocação do gerador do laser na máquina: (a) Estrutura de fixação do componente, (b) Fotografia do componente colocado na máquina. . . . .	54
4.33	Eletroválvula para o argon: (a) Fotografia da eletroválvula utilizada, (b) Fotografia do adaptador da eletroválvula. . . . .	55
4.34	Fixação da eletroválvula: (a) Desenho de definição da chapa, (b) Pormenor de fixação da eletroválvula. . . . .	55
4.35	Componentes para medição do nível de oxigénio: (a) Fotografia do sensor de oxigénio usado, (b) Fotografia do micro-controlador, (c) Fotografia da placa de expansão da Grove, (d) Fotografia do cabo universal de 4 pinos da Grove. . . . .	56
4.36	Aplicação do sensor de porta aberta na máquina: (a) Pormenor de aplicação do interruptor, (b) Montagem do interruptor e atuador magnético na máquina. . . . .	57
4.37	Página de segurança do esquema eléctrico . . . . .	58
4.38	Quadro eléctrico atualizado: (a) Fotografia do layout do novo quadro eléctrico, (b) Fotografia da parte interior da porta do quadro, (c) Fotografia do lado exterior da porta do quadro com os botões aplicados. . . . .	60
4.39	Fotografia da máquina após resolução dos problemas identificados. . . . .	60
4.40	Configuração do laser para modo remoto: (a) Fotografia do ecrã no estado inicial, (b) Fotografia da configuração do ecrã para ativar o modo remoto, (c) Fotografia do ecrã do laser configurado para modo remoto. . . . .	61
4.41	Página de configuração do laser. . . . .	62
5.1	Fotografia do primeiro teste efetuado ao laser. . . . .	65
5.2	Recorte do WeldMark 3 com identificação da página de calibração do defletor. . . . .	66
5.3	Fotografia da marcação de um provete. . . . .	66
5.4	Fotografia do desalinhamento do feixe do laser e do seu guia. . . . .	67
5.5	Criação da área de trabalho no WeldMark 3: (a) Definição da geometria da mesa, (b) Alinhamento do feixe do laser com o centro da plataforma de trabalho. . . . .	68
5.6	Alinhamento do feixe do laser: (a) Dimensões de um dos testes intermédios, (b) Resultado da marcação do teste intermédio apresentado na figura 5.6a, (c) Marcação de uma circunferência já com o feixe do laser centrado na plataforma. . . . .	68
5.7	Fotografia do primeiro teste da varredora. . . . .	69
5.8	Alterações efetuadas no sistema de formação de camadas de pó: (a) Montagem do conjunto varredora/mesa, (b) Desenho de definição da nova varredora. . . . .	69
5.9	Fotografia do disco de aço retificado. . . . .	70
5.10	Fotografia do primeiro teste de sinterização da camada do pó. . . . .	70
5.11	Teste de sinterização: (a) Fotografia da parte de cima da peça obtida, (b) Fotografia da parte de baixo da peça obtida. . . . .	71
5.12	Fotografia do melhor resultado obtido nos testes de sinterização. . . . .	71



Parte I

Enquadramento





# Capítulo 1

## Introdução

O projeto descrito neste relatório está inserido no Mestrado Integrado do curso de Engenharia Mecânica (MIEM), na Universidade de Aveiro (UA). Este visa a continuação do desenvolvimento e o solucionamento de alguns problemas de uma máquina de fabrico aditivo (FA) presente no laboratório de soldadura do departamento de engenharia mecânica (DEM). Esta máquina irá trabalhar sob a tecnologia de sinterização direta de metais por laser (DMLS - *Direct Metal Laser Sintering*). O processo de impressão 3D tem vindo a ser atualizado com as melhores tecnologias existentes e é cada vez mais eficaz no desenvolvimento de componentes metálicos. As vantagens inerentes a este processo como a rapidez de produção, precisão e versatilidade justificam todo o tempo e investigação feita neste tema, tornando-se cada vez mais atrativo.

### 1.1 Objetivos

O principal objetivo deste projeto é a conclusão da construção máquina de impressão 3D de metais presente no departamento de engenharia mecânica (DEM) da Universidade de Aveiro (UA). A máquina apresenta alguns problemas mecânicos e elétricos que necessitam de ser solucionados e não apresenta qualquer segurança para com o operador que venha a trabalhar com a mesma, nem mesmo para a proteger a integridade da própria, tornando-se num objetivo a implementação de um sistema de segurança na máquina. No final será necessário testar o laser e todo o processo de impressão e fazer as devidas alterações. Deste modo, o projeto estará dividido em três grandes etapas:

- Projeto mecânico: Nesta fase será feita uma melhoria estrutural da máquina em função das limitações encontradas, complementada com o desenvolvimento de novos componentes para a conclusão da mesma;
- Projeto elétrico: Será feito um novo projeto elétrico melhorado com algumas funções em falta necessárias para o correto funcionamento da máquina em questão, nomeadamente a adição de um sistema de segurança que seja capaz de proteger o operador e a própria máquina;
- Teste da máquina: No final será necessário configurar e focar o laser e testar todo o processo, alterando o necessário para uma melhoria na qualidade de impressão.

## 1.2 Organização do Relatório

O presente documento está dividido em 3 partes principais divididas ao longo de 6 capítulos. A 1ª grande parte (I) está associada a toda a componente teórica do projeto e é constituída por 2 capítulos. O 1º é referente à introdução onde são abordados os objetivos do projeto e a vigente organização do relatório. No 2º capítulo é apresentada uma análise do mercado, estudando os processos de impressão tridimensional de metais existentes, as suas aplicações e vantagens.

A 2ª grande parte (II) aborda todo o desenvolvimento físico do objeto em questão. É iniciada com uma apresentação do estado inicial da máquina em vigor e os seus respetivos problemas no capítulo 3. No capítulo 4 acham-se as soluções propostas e implementadas para resolver os problemas identificados no capítulo anterior, sejam eletricos ou mecânicos.

Na 3ª e última parte (III) são apresentados e avaliados os ensaios realizados na máquina no capítulo 5, incluindo também as alterações necessárias a fazer após analisar os resultados obtidos nos primeiros testes. Esta parte conta ainda com o 6º e final capítulo onde são apresentadas considerações e análises finais retiradas de todo o projeto e ainda algumas sugestões para trabalhos futuros a realizar no equipamento.

## Capítulo 2

# Revisão do Estado da Arte

Este capítulo é destinado à introdução do conceito de fabrico aditivo (FA) com um foco final na produção de peças metálicas, sendo esta a função da máquina do projeto. Pontos como a sua história e evolução, as tecnologias de fabrico existentes, as suas aplicações, as soluções oferecidas pelo mercado atual, entre outros serão abordados de modo a obter o conhecimento necessário para possibilitar o término da máquina em questão.

### 2.1 Fabrico aditivo

Ao contrário do fabrico subtrativo, o fabrico aditivo é uma tecnologia de impressão 3D capaz de produzir peças, modelos e protótipos de forma incremental através de sucessivas camadas. Estas podem ser geradas através de pó ou fio de vários materiais (pó metálico, cerâmicos, termoplásticos, compósitos e vidro).

Esta tecnologia permite o fabrico de peças impossíveis de produzir com métodos convencionais pois não existe qualquer tipo de restrição relacionado com a complexidade das suas geometrias [1]. Atualmente o fabrico aditivo engloba vários processos que vão ser abordados posteriormente, mas apesar desta diversidade todos eles apresentam, no geral, a mesma ideologia [2]:

1. Criação de um modelo 3D num software CAD (*Computer Aided Design*).

Todos os processos de fabrico aditivo começam pela criação da geometria tridimensional que se pretende obter através de um software de modelação 3D.

2. Conversão do ficheiro obtido para formato STL (*Standard Triangle Language*).

O modelo 3D obtido tem de ser convertido para o formato STL de forma a que a máquina o consiga manipular. Este é o formato padrão utilizado.

3. Transferência do ficheiro no formato STL para a máquina.

Nesta fase o ficheiro deve ser manipulado na própria máquina, de modo a confirmar o seu tamanho, posição e orientação.

4. Configuração da máquina.

Configuração dos parâmetros de impressão, definindo, por exemplo a espessura da camada, restrições materiais, tempos, velocidades, intensidade, entre outros. Após definir a espessura da camada o modelo é seccionado.

#### 5. Processo de impressão.

Este é um processo praticamente automático. O operador apenas tem de garantir que a máquina não fica sem material de impressão e verificar a ocorrência de erros na mesma.

#### 6. Remoção e limpeza da peça.

Após a produção da peça é necessário retirá-la da máquina e esta é a última interação com a mesma. Uma vez retirada é necessário limpá-la e realizar os últimos acabamentos de maneira a que esta esteja pronta a usar.

Comparando esta tecnologia com outros processos de fabrico mais convencionais, verifica-se que a primeira permite uma produção mais rápida e mais rentável economicamente de modelos físicos e protótipos, principalmente quando estes têm geometrias complexas e porque o desperdício de matéria prima é quase nulo [3].

### 2.1.1 Categorização dos processos existentes

Em 2010, o órgão de normalização *American Society for Testing and Materials* (ASTM) criou um grupo de trabalho para criar uma norma de padronização. Esta foi publicada mais tarde, em 2012, com a colaboração da Organização Internacional de Normalização ISO. A norma publicada denomina-se ISO TC 261 e formula um conjunto de diretivas capazes de classificar a gama de processos aditivos em sete categorias [4; 5]:

- *Vat Photopolymerisation* (Fotopolimerização): Nomenclatura atribuída aos processos que consistem na cura seletiva de uma resina fotopolimérica (sensível à luz) por polimerização através de um laser ou projetor. É também conhecido como estereolitografia;
- *Material Jetting* (Construção por jato de material): Consiste na deposição de partículas de materiais no estado líquido que solidificarão à temperatura ambiente ou serão curados com luz ultravioleta;
- *Binder Jetting* (Jato de aglomerante): Processo que consiste na união de material em pó através da deposição seletiva de um agente de ligação em estado líquido;
- *Sheet Lamination* (Laminação de folhas): Baseia-se na deposição sequencial de folhas de material que serão soldadas através de ultrasons ou fixadas através de adesivos;
- *Material Extrusion* (Extrusão de material): Processos que consistem na extrusão de material no estado líquido, usualmente termoplástico, através de um bico ou orifício de dimensões reduzidas;
- *Direct Energy Deposition* (Deposição direta de energia): Processos nos quais um laser ou feixe de elétrons une pó ou filamento metálico através da sua fusão;
- *Powder Bed Fusion* (Fusão de camadas de pó): Este último baseia-se na fusão de pó polimérico, metálico ou cerâmico que foi estendido previamente numa plataforma.

Dentro de cada uma destas categorias encontram-se vários processos de fabrico aditivo, especificados na tabela 2.1, assim como os materiais passíveis de utilização em cada processo.

Tabela 2.1: Categorização dos processos de fabrico aditivo (Adaptado de [6]).

Categoria (Norma ISO TC 261)	Processos FA	Materiais
Vat Photopolymerisation	Processamento digital de luz Estereolitografia	Cerâmicos Polímeros
Material Jetting	Modelação por jatos de material Deposição a pedido	Biológicos Cerâmicos Compósitos Híbridos Polímeros
Binder Jetting	Impressão por jato de tinta Impressão por jato de aglomerante	Biológicos Cerâmicos Compósitos Híbridos Polímeros Metais
Sheet Lamination	Fabricação de objetos laminados Consolidação ultrassónica	Biológicos Cerâmicos Híbridos Polímeros Metais
Direct Energy Deposition	Formação de pó a laser Deposição a laser Feixe de eletrões Fusão por arco de plasma	Cerâmicos Híbridos Metais
Powder Bed Fusion	Sinterização direta de metais a laser Fusão seletiva a laser Sinterização seletiva a laser Fusão por feixe de eletrões	Cerâmicos Compósitos Híbridos Polímeros Metais
Material Extrusion	Deposição de filamentos fundidos Fabricação de filamentos fundidos Modelagem de camada fundida	Compósitos Polímeros

## 2.2 História e evolução do Fabrico Aditivo

Esta tecnologia nem sempre foi conhecida como Fabrico aditivo. Inicialmente era referida como prototipagem rápida devido à sua restrição para apenas produzir protótipos, mas a sua evolução evidenciou que esta deveria ser utilizada para a produção de componentes finais e funcionais de elevada qualidade e com alto rigor dimensional [2].

Os processos de FA começaram a ser investigados e desenvolvidos de forma mais profunda desde os anos 80, tendo uma grande parte deles desenvolvido comercialmente [7]. No entanto, o conceito apareceu ainda antes, há mais de 50 anos atrás, ainda que não relevasse o impacto que tem atualmente [8]. Fruto desse estudo mais intensivo, em 1987 foi colocado no mercado o primeiro equipamento comercial, pela empresa Americana 3D systems e vendida em 1988, baseado em estereolitografia [9; 10]. O autor deste equipamento, Chuck Hull, desenvolveu um projeto capaz de obter objetos através da sobreposição de camadas de material polimérico de forma sequencial, sendo polimerizado através de luz ultravioleta [10; 11]. Este foi o momento impulsionador para que mais empresas tentassem aperfeiçoar o processo e a comercializá-lo tanto na Europa, como é o caso da Electro Optical Systems (EOS) como no Japão através da NTT [12]. A investigação continuou e foram surgindo novos sistemas mais eficientes e com melhorias visíveis no que toca à produtividade, assim como novos processos tais como a modelação de objetos laminados (LOM - *Laminated Object Manufacturing*) pela Helisys ou o fabrico de filamentos fundidos (FDM - *Fused Deposition Modelling*) [10]. Em 1992, através da empresa DTM, surgiu o processo de sinterização seletiva a laser (SLS - *Selective Laser Sintering*) e 4 anos depois, em 1996, foi apresentada a primeira impressora tridimensional de metais com a máquina Genisys da Stratasys (figura 2.1). Estas eram capazes de fabricar peças pouco complexas e com propriedades mecânicas básicas, apropriadas essencialmente para prototipagem [11].



Figura 2.1: Impressora 3D de metais Genisys da Stratasys. [13]

Em 1997 foi inaugurado o mercado dos sistemas de fabrico aditivo metálicos através da empresa AeroMet. O modelo introduzido foi baseado no processo *Laser Additive Manufacturing* (LAM) onde era utilizado um feixe de laser com elevada potência para fundir pó de titânio [14]. A sua evolução continuou e pouco tempo depois surgiram

novos processos como *Direct Metal Deposition* (DMD) utilizado também para produção e reparação de peças de metal.

Iniciado o século XXI, o maior foco das empresas aliado à melhoria dos computadores e das suas capacidades gráficas, a globalização alcançada pela internet e a consolidação de processos apresentou um crescimento acentuado na tecnologia de FA e o aparecimento de novas metodologias e modelos. Além disso, estas evoluções proporcionaram a criação de comunidades virtuais onde são partilhadas peças de FA em código aberto. [15].

Em 2001 na conferencia de moldes e ferramentas EuroMold, foram introduzidos os primeiros sistemas de alta precisão no mercado. A empresa EOS (Electro Optical Systems), nascida em Munique, introduziu nessa conferencia o sistema DirectSteel 20, que sinterizava pó de aço com partículas de  $20 \mu\text{m}$  para produzir peças de elevada precisão [9; 16].

O vencimento das patentes mais antigas foi também um impulso para o desenvolvimento de novos modelos de impressoras 3D mais acessíveis, usando processos como Deposição de Filamentos Fundidos (FDM - *Fused Deposition Modelling*).

No ano de 2009 reuniu-se o primeiro comité de certificação de fabrico aditivo, para o estabelecimento de normalização em testes, processos, design e terminologia. Nos anos seguintes, houve um aumento do interesse industrial e o desenvolvimento tecnológico foi notável dando origem a novos sistemas, todos baseados no mesmo conceito mas com as suas particularidades. Surgiram assim tecnologias mais baratas, mais precisas, mais rápidas e com a possibilidade de utilização de novos materiais. Assim o FA ingressou finalmente na indústria automóvel, biomédica e biomecânica, desenvolvimento do produto, fabrico de ferramentas, etc [15]. Entre 2010 e 2015 a indústria do fabrico aditivo disparou, com uma taxa de crescimento anual de aproximadamente 30%. As vendas de materiais mostram um comparável crescimento de ano para ano (Figura 2.2), com exceção do ano de 2009, um período de declínio económico associado à Grande Recessão em 2008-2009 [17].

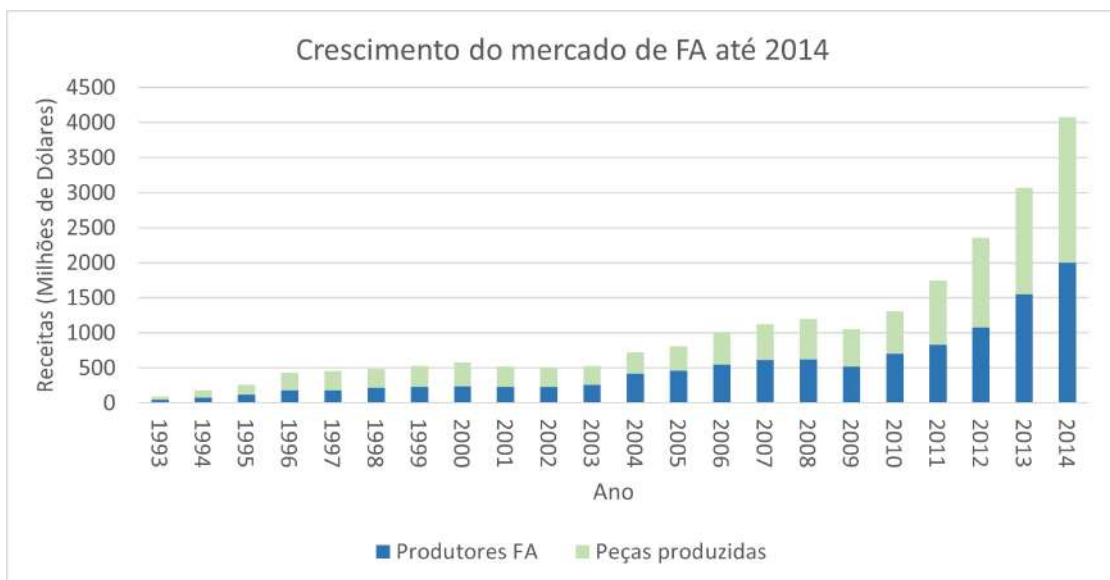


Figura 2.2: Crescimento do mercado de FA até 2014 (Adaptado de [17]).

O crescimento das vendas materiais tem sido notável, e de acordo com a empresa de

pesquisa de marketing IDTechEx em 2015, as previsões apontavam para um aumento das vendas de material até 8 mil milhões de dólares até 2025 [18; 19]. No entanto, em 2019, marca dos 10 mil milhões de dólares foi ultrapassada e as novas previsões até 2029 são de um crescimento contínuo com a possibilidade de atingir os 55 mil milhões de dólares (Figura 2.3) [20; 21]. No eixo secundário do gráfico é possível verificar o crescimento do mercado de FA em percentagem.

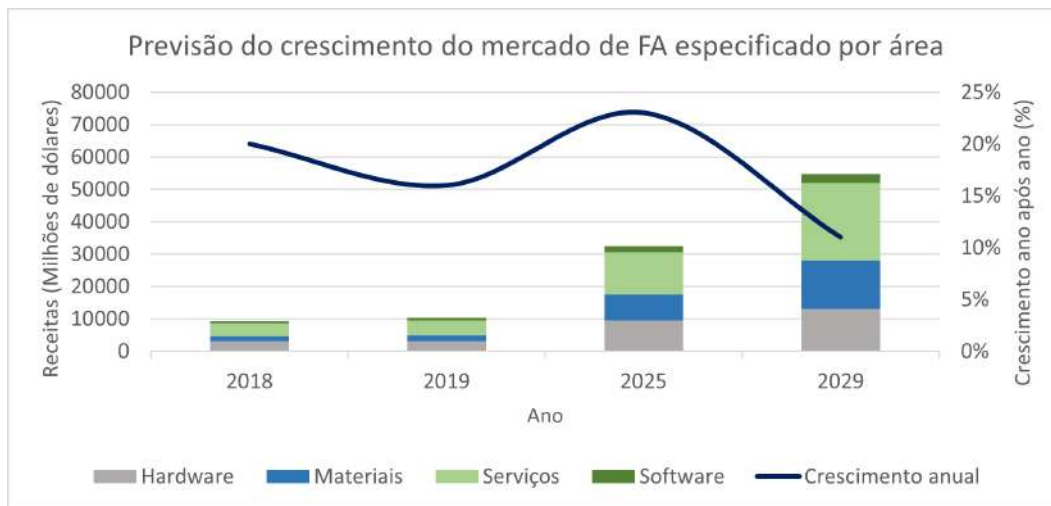


Figura 2.3: Evolução do mercado de FA (por área) até 2019 e sua previsão até 2029 (Adaptado de [20]).

## 2.3 Fabrico aditivo de metais

Como é possível verificar na tabela 2.1, apenas quatro das categorias permitem o fabrico aditivo usando metal como matéria prima. Dessas quatro categorias, são oito os processos de FA de metal, podendo estes serem classificados em processos diretos ou indiretos. Os indiretos são aqueles em que é usado um aglomerante para unir as partículas de metal e na maioria das vezes, a peça necessita de um pós-processamento. Os processos diretos são aqueles em que as partículas de metal são totalmente derretidas pelo processo de FA, para fazer a peça final diretamente [7]. A classificação dos processos pode ser observada na Figura 2.4.

### 2.3.1 Métodos Indiretos

Dos oito processos de FA capazes de produzir peças metálicas, quatro deles pertencem à categoria dos métodos indiretos. O processo de sinterização seletiva a laser é capaz de produzir peças através da fusão parcial (sinterização) das partículas de metal [22] ou então pela adição de um aglomerante com baixo ponto de fusão, que irá unir as partículas de material [23]. Os aglomerantes podem ser polímeros (polímero fenólico) ou mesmo um metal com baixo ponto de fusão.

As peças fabricadas usando estes processos necessitam de um pós-processamento para remoção do material aglomerante em excesso, sinterização térmica ou infiltração de metal líquido para densificar a peça em fabrico [24].



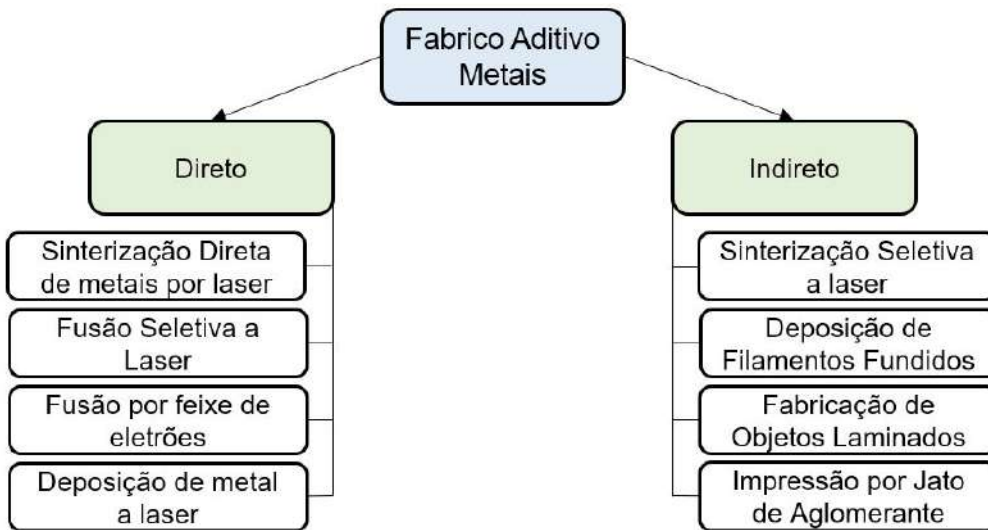


Figura 2.4: Classificação dos processos de FA de metal (Adaptado de [7]).

Na impressão por jato de aglomerante, como o próprio nome indica, o aglomerante líquido é espalhado por cima de uma cama de pó, de modo a que as partículas de metal fiquem unidas.

Na deposição de filamentos fundidos de metal, o filamento é constituído por uma mistura de pó de metal com um aglomerante de polímero, sendo este filamento fundido no momento de impressão [25].

Ainda nos métodos indiretos, as peças de metal podem ser produzidas usando o processo de produção por objetos laminados. Este consiste na união de chapas metálicas, camada a camada. O processo de união é que determina a robustez da peça na direção perpendicular às camadas. A união pode ser feita através da solda total ou parcial das chapas ou da utilização de adesivos [26].

### 2.3.2 Métodos Diretos

Os métodos de FA direto usam uma fonte de energia térmica (laser ou feixe de eletrões) para efetuar a união das partículas através da fusão do material [22; 27].

Nos processos de sinterização direta de metais por laser (DMLS - *Direct Metal Laser Sintering*) e fusão por feixe de eletrões (EBM - *Electron Beam Melting*), as peças são formadas através da fusão sucessiva de camadas de pó metálico. O processo de fusão seletiva a laser (SLM - *Selective Laser Melting*) é idêntico ao processo DMLS, no entanto neste último ocorre a fusão total das partículas do pó, enquanto que no DMLS a fusão é parcial, fundindo só a sua superfície mantendo o seu interior em estado sólido. Na deposição de metais a laser (LMD - *Laser Metal Deposition*), o material é continuamente depositado no local da poça de fusão. Assim são formadas peças de metal com características idênticas ou ainda melhores do que o material base. A tabela 2.2 apresenta as propriedades mecânicas de alguns materiais metálicos depois de serem sujeitos a vários processos de FA direto, assim como os seus valores de referencia para comparação. Os materiais listados na tabela são: aços inoxidáveis (316, 316L e 17-4), liga de titânio (Ti6Al4V), duas ligas de níquel (IN718 e IN625), uma liga de cromo-cobalto (CoCr) e

uma liga de alumínio (AlSi10Mg).

Tabela 2.2: Propriedades dos materiais processados por métodos de FA diretos [7; 22; 27; 28; 29; 30; 31].

Material	Processo FA	Tensão de rutura [MPa]	Tensão de cedência [MPa]	Deformação [%]	Módulo de elasticidade [GPa]
Liga de Titânio (Ti6Al4V)	Referência	951	883	14	110
	EBM	1020	950	14	120
	LMD	1160	1060	6	115
	DMLS	1100	1000	8	120
Aço Inoxidável (316)	Referência	550	240	50	-
	LMD	579	296	41	-
Aço Inoxidável (316L)	Referência	558	270	25	-
	DMLS	483	172	30	-
Aço Inoxidável (17-4PH)	Referência	1103	1000	25	197
	DMLS	1310	1170	8	180
Liga de Níquel (IN718)	Referência	1407	1172	21	-
	EBM	1238	1060	7	-
	DMLS	1240	1030	6-12	-
Liga de Níquel (IN625)	Referência	870	630	33	-
	LMD	800	500	27	-
Liga (CoCr)	Referência	1100	630	6	17
	EBM	960	560	20	-
Liga Alumínio (AlSi10Mg)	Referência	370	220	3	8
	DMLS	260	220	1	-

Como a máquina do projeto se baseia no processo DMLS, este será o método abordado a partir de agora.

### 2.3.3 Sinterização Direta de Metais por Laser

Conforme especificado na secção 2.3.2, este é um processo FA direto que se baseia na sinterização de camadas sucessivas e uniformes de pó metálico, causando a união das partículas. A sinterização ocorre devido à ação de um laser que irá fornecer a energia térmica necessária para o processo.

## Processo

A figura 2.5 representa a estrutura de uma máquina que funciona sob o processo de FA DMLS. Primeiramente é depositada e estendida uma camada uniforme de pó metálico na plataforma de construção com a ajuda da varredora. Esta camada deve ser de espessura fina, dependendo do tamanho das partículas de pó. De seguida, regiões específicas da camada, seleccionadas através do software da máquina, são derretidas pelo feixe de laser controlado pelo defletor, com a finalidade de unir as partículas de pó presentes nessas mesmas regiões. Esta sinterização deve ocorrer em atmosfera inerte ou em vácuo, de modo a reduzir a taxa de oxidação da peça durante o processo. Após a conclusão da sinterização, é depositada uma nova camada de pó e o processo é repetido. Este processo repetitivo resulta num excesso de pó metálico que não é sinterizado presente na plataforma, que ajuda a apoiar a peça durante a construção [32; 33].

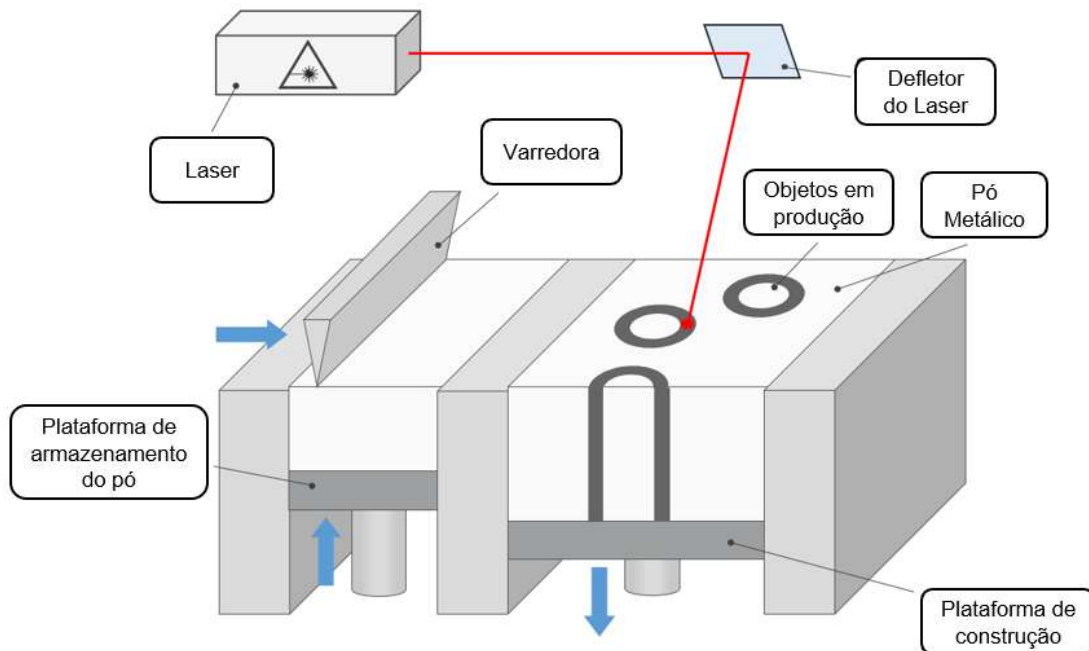


Figura 2.5: Estrutura de uma máquina de DMLS (Adaptado de [34]).

## Laser

Durante muitos anos, os sistemas de laser usados neste processo eram lasers de  $CO_2$  ou lasers de estado sólido (Nd-YAG lasers). Ambos eram bastante usados, mesmo noutros processos de maquinagem como corte e soldadura a laser. Com o passar do tempo foram desenvolvidos novos lasers que oferecem mais precisão e qualidade das peças produzidas, como lasers de fibra ótica e de disco/espelho. Assim, estes passaram a ser os lasers utilizados nos processos de FA, com mais incidência nos de fibra ótica. Além da maior precisão, estes têm comprimentos de onda mais reduzidos, que proporcionam uma maior absorção do feixe do laser em metais, resultando numa maior eficácia e maiores velocidades de construção possíveis [33].

No que toca ao laser, há vários parâmetros configuráveis que afetam o processo, tais

como:

- **Potência e velocidade de passagem:** A potência do laser deve ser ajustada juntamente com a velocidade de passagem do feixe do laser, tendo em conta a espessura da camada, o pó utilizado, as características do laser selecionado, entre outros. Na sinterização de pó a laser, é normal a criação de porosidades na peça, no entanto, há um intervalo de parâmetros que aumentam a qualidade da peça final. A potência conjugada com a velocidade de passagem do laser são os parâmetros que têm maior influência na geração dessas imperfeições.

No caso específico usando um laser de  $CO_2$  e pó metálico de aço inoxidável 316L, a sinterização ocorre com alguma qualidade em toda a zona II, representada a azul, no gráfico apresentado na Figura 2.6. Nos testes referentes à zona I não se efetuou a fusão do pó metálico e nos testes da zona III a fusão do material ocorreu, mas com a formação de esferas e alguns salpicos. Na zona IV ocorre a fusão total do material, sendo estes parâmetros referentes ao processo de Fusão Seletiva a Laser (SLM - *Selective Laser Melting*). Ainda assim, dentro da zona II, os testes realizados apresentam diferentes graus de porosidade. Os testes efetuados com maior potência e velocidade mais moderada (200 W; 0,04 m/s) apresentam uma melhor qualidade da peça final [35].

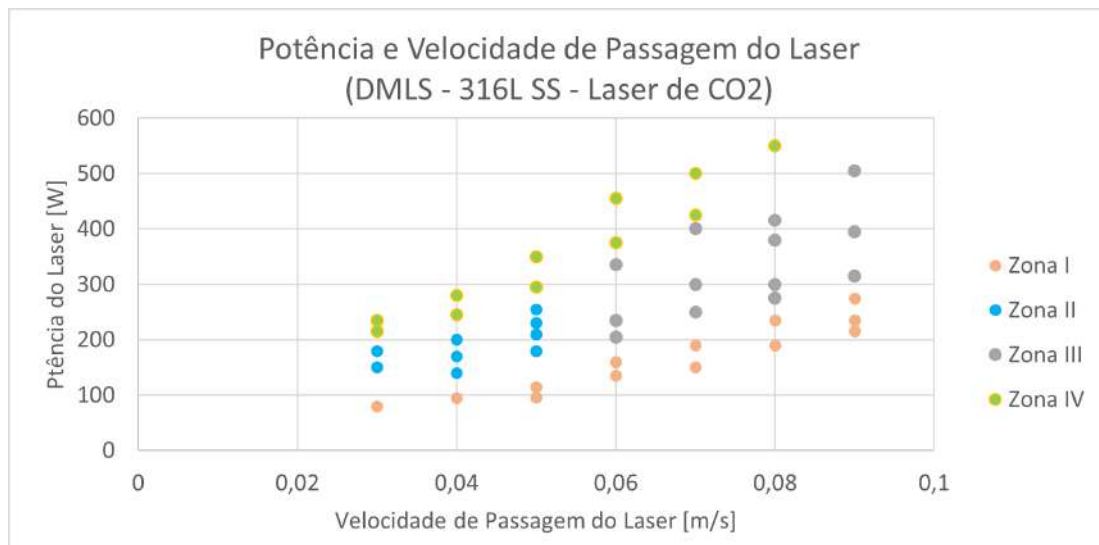


Figura 2.6: Potência e Velocidade de Passagem do Laser (DMLS - 316L SS - Laser de  $CO_2$ ) (Adaptado de [35]).

- **Padrão e espaçamento:** O padrão e o espaçamento de passagem do laser são também fatores influentes no processo. Um espaçamento entre as passagens do laser ligeiramente inferior ao diâmetro do feixe do mesmo proporciona uma melhor qualidade de impressão, pois permite a passagem de uma fração do laser sob uma parte da peça já sinterizada. Deste modo ocorre uma refusão das partículas nessa área, possibilitando a libertação de ar previamente preso, e deste modo reduzir a porosidade da peça [35]. Quanto aos padrões de passagem, estes podem ser passagens lineares, circulares, linhas cruzadas, entre outros.

### Formação de camadas do Pó

As camadas do pó são formadas através de uma varredora (figura 2.5), podendo esta ser inflexível ou flexível. Este sistema tem de ser capaz de formar camadas com uma altura precisa e uniforme, para que a máquina seja capaz de produzir peças com qualidade. A empresa EOS desenvolveu e patenteou o sistema inflexível, onde uma lamina de metal espalha o pó sob a plataforma de construção formando uma camada uniforme. Por outro lado, é possível usar também uma varredora mais flexível como a varredora de escovas produzida pela a empresa Alemã Trumpf, em que o contacto com o pó é feito com uma tira de um material polimérico [34; 35; 36].

Em relação à formação das camadas do pó, os parâmetros a configurar são a altura da camada e a velocidade de formação da mesma (velocidade de avanço da varredora). A altura da camada deve ser definida em função do material usado, tendo esta de ser ligeiramente superior ao diâmetro das partículas da matéria prima. Quanto mais fina é a camada de pó menos imperfeições terá a peça final, isto porque uma camada mais fina permite uma sinterização de todas as partículas da camada e uma libertação facilitada do ar entre as partículas, diminuindo a porosidade [35].

Em relação à velocidade de formação da camada, os estudos realizados demonstram que velocidades de varredura de pó entre os 10 *mm/s* e os 80 *mm/s* originam camadas mais uniformes e consistentes de pó, seja qual for o tipo de varredora utilizado [36].

### Vantagens e Desvantagens

Este processo permite a produção de peças em variadíssimos materiais metálicos, como aços, ligas de alumínio, titânio, níquel, cromo-cobalto, entre outros. Apesar da vasta escolha dos materiais, a maior vantagem vai para o facto de este processo não ter qualquer restrição na complexidade da geometria das peças que produz. Ao contrário dos processos subtrativos, trata-se de um processo de adição constante de matéria prima, onde desperdício de material é quase nulo, pois apenas o material necessário é fundido e o pó não sinterizado pode ser reaproveitado [37; 38].

O facto de este processo ser capaz de produzir componentes com muita complexidade, permite a produção de peças singulares, que por outros meios necessitariam de ser produzidas através da união de várias partes. Um exemplo disso pode ser a cabeça injetora representada na figura 2.7b. É uma única peça única produzida pelo processo de DMLS, que substitui a união de 248 componentes [39]. Este processo permite também a produção de peças optimizadas topologicamente, em que a sua produção seria muito difícil ou mesmo impossível por outros meios mais convencionais [38].

O processo apresenta algumas desvantagens como a limitação em relação ao tamanho das peças que é capaz de produzir. Normalmente as máquinas têm um volume de impressão inferior a 2 *m*<sup>3</sup>. A matéria prima para a produção é extremamente cara e as máquinas são usualmente mais caras do que as máquinas usadas noutros processos de FA. Além do custo associado, são necessários tempos de impressão relativamente altos [14; 40].

### Materiais e Aplicações

Como já referido, a matéria prima para o DMLS é pó metálico, e uma vasta gama de materiais podem ser utilizados neste processo. Com a sua constante evolução devido às

vantagens que oferece, a tecnologia está cada vez mais enraizada em várias indústrias como aeroespacial, naval, automóvel, biomédica, petrolífera, entre outras [3; 41]. Focando na indústria aeroespacial, o requisito mais relevante afirma-se ser a produção de peças leves e complexas com boas propriedades mecânicas como asas de aeronaves. Os principais metais utilizados nesta indústria são ligas de alumínio, titânio, níquel e aços especiais. No que toca à indústria automóvel, a produção de peças leves e resistentes a temperaturas elevadas são as características mais requeridas, em que os materiais mais usados são algumas ligas de alumínio, aços e titânio [42; 43]. Na indústria biomédica, peças como implantes e próteses são produzidos usando principalmente materiais como ligas de titânio e cobalto-crómio. Na figura 2.7 é possível ver um exemplo de aplicação nesta área.



Figura 2.7: Exemplos de aplicações do processo DMLS: (a) Implante de anca obtido em titânio [44], (b) Cabeça injetora do foguetão Ariane 6 em liga de níquel (IN718) [39].

A tabela 2.3 apresenta alguns dos materiais passíveis de serem usados no processo de DMLS e as suas aplicações possíveis.

## Equipamentos

Com a constante evolução na área, as empresas foram obrigadas a inovar, e nos últimos anos têm havido grandes desenvolvimentos e grandes melhorias nas máquinas de FA, num mercado liderado pelos Estados Unidos e Alemanha. Empresas como a 3D Systems, Coherent, EOS, GE Additive, Renishaw, Sisma, SLM Solutions, Trumpf, Velo3D e Xact Metal apresentam as 10 melhores máquinas de SLM/DMLS no ano de 2021, segundo um estudo elaborado pela empresa aniwaa [46]. Na tabela 2.4 podem-se observar as 5 melhores máquinas e algumas das suas características.

Todas as máquinas apresentadas dispõem de lasers de fibra ótica e são capazes de formar camadas com uma espessura desde 20  $\mu\text{m}$ . A EOS M 100 dispõe de uma plataforma de impressão circular, enquanto as restantes são todas quadradas. Além disso, as maiores diferenças entre os modelos apresentados são as dimensões e a potência do laser, o que providencia uma maior taxa de produção, sendo o resto das especificações idênticas [46; 47; 48; 49; 50; 51]. Nas figuras 2.8 e 2.9 é possível ver duas máquinas presentes no

Tabela 2.3: Propriedades e principais aplicações de alguns materiais processados por DMLS ([3; 41; 42; 43; 45]).

Material	Propriedades	Aplicações
Aço inoxidável (316L)	Altamente moldável Resistente à tração Resistente à corrosão	Indústria Automóvel Indústria Aeroespacial Joalheria Biomédica
Aço inoxidável (17-4PH)	Resistente à corrosão Alta maquinabilidade Facilmente soldável Elevada dureza	Indústria Petrolífera Moldes
Aço inoxidável (14-4PH)	Elevada tenacidade Resistente à corrosão	Indústria Automóvel Indústria Aeroespacial Moldes Biomédica
Liga de cobalto-cromo (CoCrMo)	Elevada Dureza Elevada tenacidade Resistente à corrosão	Biomédica (especialmente dentária)
Ligas de titânio (Ti6Al4V)	Baixa cond. térmica Boa resistência à fadiga Elevada tenacidade Resistente à corrosão	Biomédica Indústria Automóvel Indústria Aeroespacial
Liga de Níquel (NI718)	Boa resistência à fadiga Não magnético Resistente à corrosão Resistente à tração	Indústria Aeroespacial Indústria Petrolífera
Liga de Alumínio (AlSi10Mg)	Leve Boa dureza Alta maquinabilidade Resistente à corrosão	Indústria Automóvel Indústria Aeroespacial

topo da indústria: a DMP flex 100 e a M2 Series 5.

Tabela 2.4: As 5 melhores máquinas de DMLS de 2021 (Adaptado de [46]).

Marca	Modelo	Volume de impressão [mm]	Custo [\$]
3D Systems	DMP Flex 100	100 × 100 × 80	245 000
Coherent	CREATOR	100 × 100 × 110	100 000
EOS	EOS M 100	ϕ100 × 95	350 000
GE Additive	M2 Series 5	250 × 250 × 350	>250 000
Renishaw	RenAM 500E	245 × 245 × 335	>250 000



Figura 2.8: Modelo DMP Flex 100 da 3D Systems [51].



Figura 2.9: Modelos M2 Series 5 da GE Additive [48].



Parte II

Desenvolvimento



## Capítulo 3

# Estado Inicial e Problemas da Máquina

Como indicado previamente, o objeto do projeto funciona sob a tecnologia de sinterização direta de metais por laser. O estado inicial da máquina pode ser observado na figura 3.1, e ao longo deste capítulo será descrito em que ponto a máquina se encontra, como funciona, as funções em falta e quais os problemas que necessitam de ser resolvidos para esta ser capaz de imprimir qualquer componente metálico.



Figura 3.1: Fotografia da máquina no seu estado inicial.

### 3.1 Estrutura inicial da máquina

O esquema 2D apresentado abaixo (figura 3.2) ajuda a compreender o funcionamento da máquina do projeto. A castanho interrompido com o numero 1 está representada a câmara onde as peças serão produzidas. Dentro da câmara na parte inferior estão duas plataformas quadradas de 250 mm de largura (2 e 3). A da esquerda (2) é destinada ao armazenamento do pó de impressão, a da direita (3) é onde a peça será formada. O

retângulo preto (4), por cima da câmara, simboliza o módulo de deflexão do laser que sinteriza o pó na mesa de impressão. Dentro da câmara, a vermelho (5), está demonstrado o funcionamento da varredora, que tem como função levar o pó de forma uniforme desde o seu depósito até à mesa de impressão, formando a camada necessária à sinterização. O motor à esquerda (6) proporciona o movimento necessário à varredora com recurso a um fuso trapezoidal e guias lineares (7). O pó em excesso irá cair dentro do reservatório a cor de laranja (8) e reaproveitado posteriormente. Os dois motorreductores a azul claro na parte inferior do esquema (9), fazem mover as duas plataformas verticalmente também com recurso a fusos trapezoidais e guias lineares. A máquina conta ainda com dois sensores de fim de curso mecânicos no percurso da varredora e também com dois sensores óticos (zeros máquina) no percurso das plataformas, apesar de estes não estarem representados no esquema devido à sua reduzida importância para entender o funcionamento da mesma.

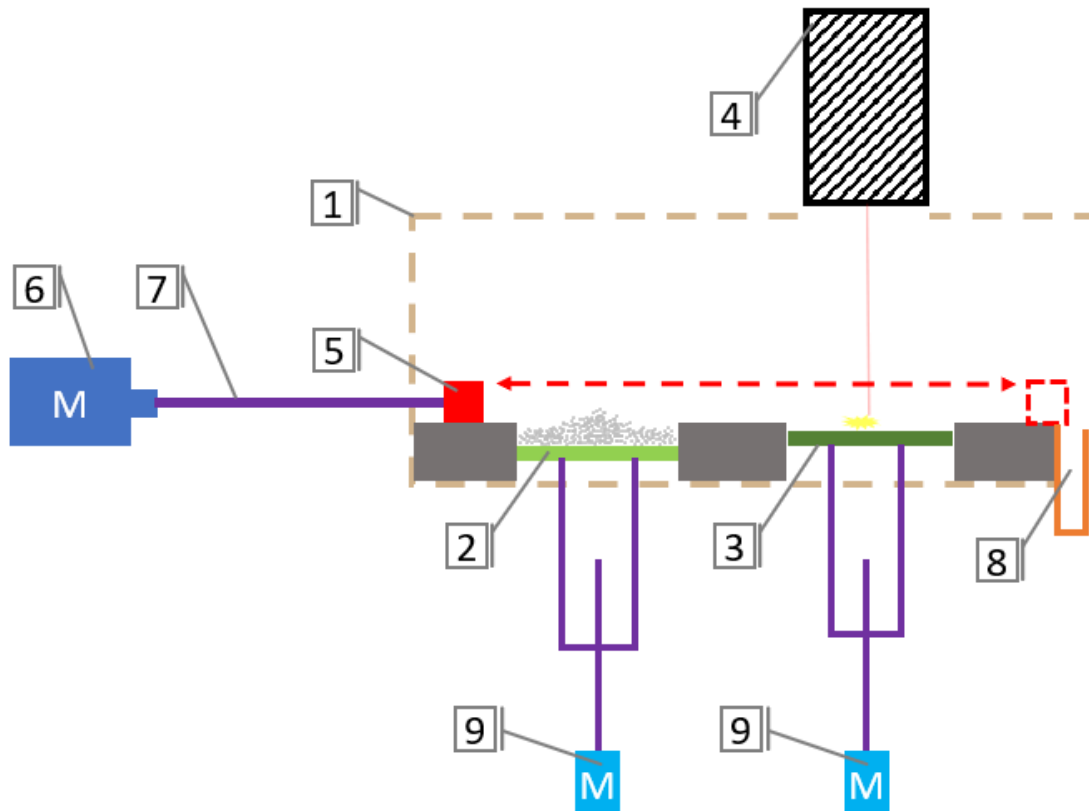


Figura 3.2: Esquema bidimensional: Funcionamento da máquina.

Na figura 3.1 pode ser observada a estrutura real da máquina. A câmara de sinterização é composta por uma parede dupla de chapa de aço e é aberta em cima para possibilitar a passagem do laser desde o defletor até à plataforma de construção e conta também com uma porta na sua parte frontal, esta que possibilita o reenchimento da plataforma do depósito do pó, a retirada das peças produzidas, manutenção e limpeza, entre outros. A porta dispõe de um vidro protetor próprio para observar o processo de impressão em segurança. O sistema da varredora é visível nas figuras 3.1 e 3.3, onde se podem ver dois blocos fixos, um encostado ao motor que a faz mover e outro encostado à

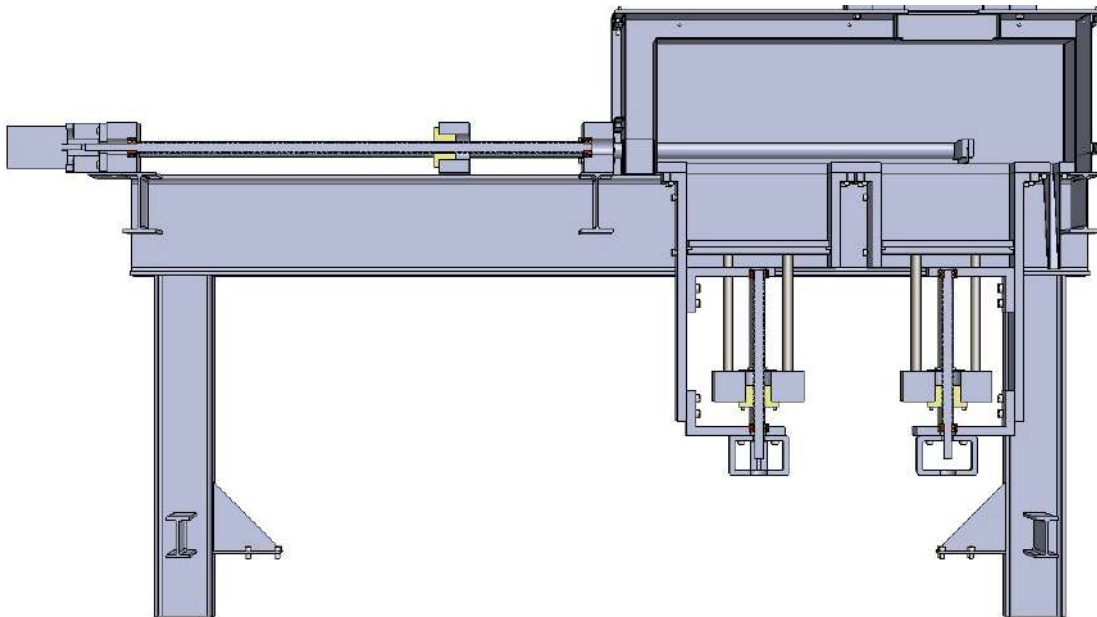


Figura 3.3: CAD da máquina no estado inicial vista em corte.

câmara, presos na estrutura da máquina. O fuso trapezoidal (passo de  $5\text{ mm}$ ) faz mover o bloco móvel presente entre os blocos fixos com a ajuda das duas guias mais próximas do fuso. As duas guias mais afastadas que se iniciam no bloco móvel serão as que vão fazer mover a varredora no interior da câmara, que conta com 2 furos com o diâmetro das guias ( $30\text{ mm}$ ) para as mesmas passarem para o seu interior e possibilitar o arrastamento do pó. A figura 3.3 permite também observar a estrutura e mecanismo das duas plataformas. Os motorreductores estão fixos à estrutura através de duas chapas em forma de "L". Por baixo da chapa é aparafusado um cubo ao qual é fixo o motor e onde fica preso o seu acoplamento ao fuso. Duas guias presas às chapas em "L" à frente e atrás do motor permitem o movimento linear do bloco móvel e 4 varões, um em cada canto do bloco móvel, fazem mover as plataformas. A máquina trabalha com a seguinte sequência de movimentos:

1. Descida da plataforma de impressão a uma distância igual à espessura da camada pretendida;
2. Subida da plataforma de depósito do pó;
3. Avanço da varredora para levar o pó até à plataforma de impressão;
4. Sinterização do pó através do laser;
5. Descida da plataforma de impressão a uma distância igual à da camada pretendida;
6. Recuo da varredora (Retomar sequência no ponto 2).

## 3.2 Projeto elétrico inicial da máquina

O controlo e automação da máquina foi iniciado também nos anos anteriores por outros alunos de mestrado que trabalharam na mesma máquina. O laser e seu defletor são controlados através de uma carta SP-ICE-3 instalada no computador e os motorreductores controlados através de um módulo digital da *National Instruments* (NI), neste caso o NI 9401. Existe outro módulo, o NI 9403, também de entradas e saídas digitais configuráveis com a função de controlar outros componentes e alarmes. De forma a alocar as duas cartas foi utilizado o módulo de aquisição e processamento de dados compacto cDAQ-9174 também da NI que permite a ligação dos sinais digitais ou analógicos ao computador utilizado para controlar a máquina através de um cabo USB. O motor utilizado para mover a varredora é trifásico de 1,5 kW e é controlado através de um variador de frequência. Todos os componentes referidos vão ser explicados seguidamente de forma mais detalhada. O projeto elétrico referente está apresentado no anexo I e na figura 3.4 pode ser observada a sua concretização. O Controlo dos motores é feito através de um programa elaborado pelos alunos anteriores com recurso ao software *LabView* que gere as entradas e saídas das cartas da NI utilizadas.

### 3.2.1 Motorreductores

Os dois motorreductores presentes na máquina são do modelo Nema 23HS22-2804D-PG15-E1000 [52] da marca Stepperonline (figura 3.5). Estes são motores de passo de malha fechada com binário de 1,25 *N.m* com um reductor planetário de escala 15:1 integrado. Considerando um rendimento de 81 % o binário à sua saída será cerca de 15,2 *N.m*. Cada motor está ligado ao seu respetivo *driver*, o modelo CL5T7 [53] também da Stepperonline (figura 3.6), que para esta máquina está configurado para atuar com uma frequência de 800 pulsos por revolução através dos comutadores presentes no próprio. Estes dois conjuntos são alimentados por duas fontes de 24 V.

### 3.2.2 Motor da Varredora

Como referido anteriormente, para a varredora foi selecionado o motor trifásico IEC IE3 90L 1,5KW 1500RPM B5 230/400V 50HZ [54] apresentado na figura 3.7. Como o nome indica este tem uma potência de 1,5 kW e tem capacidade de efetuar até 1500 rotações por minuto. O motor terá sido configurado para rodar a 1380 rpm, fazendo a varredora percorrer a distancia entre as plataformas (800 mm) em 7 segundos, sabendo que o fuso tem um passo de 5 mm por rotação. O motor é controlado com a ajuda do variador de frequência RS510 3PH-440V-1.5KW [55] da marca RS PRO (figura 3.8).

### 3.2.3 Fins de curso da varredora

Para controlar o percurso da varredora foram utilizados dois sensores de fim de curso mecânicos Honeywell GLLA01A1B [57] apresentados na figura 3.9, acionados através do bloco móvel da varredora nas suas extremidades. Estes foram fixos na ranhura de um perfil de alumínio com 900 mm de comprimento, permitindo assim ajustar a posição dos fins de curso conforme necessário (figura 3.10).

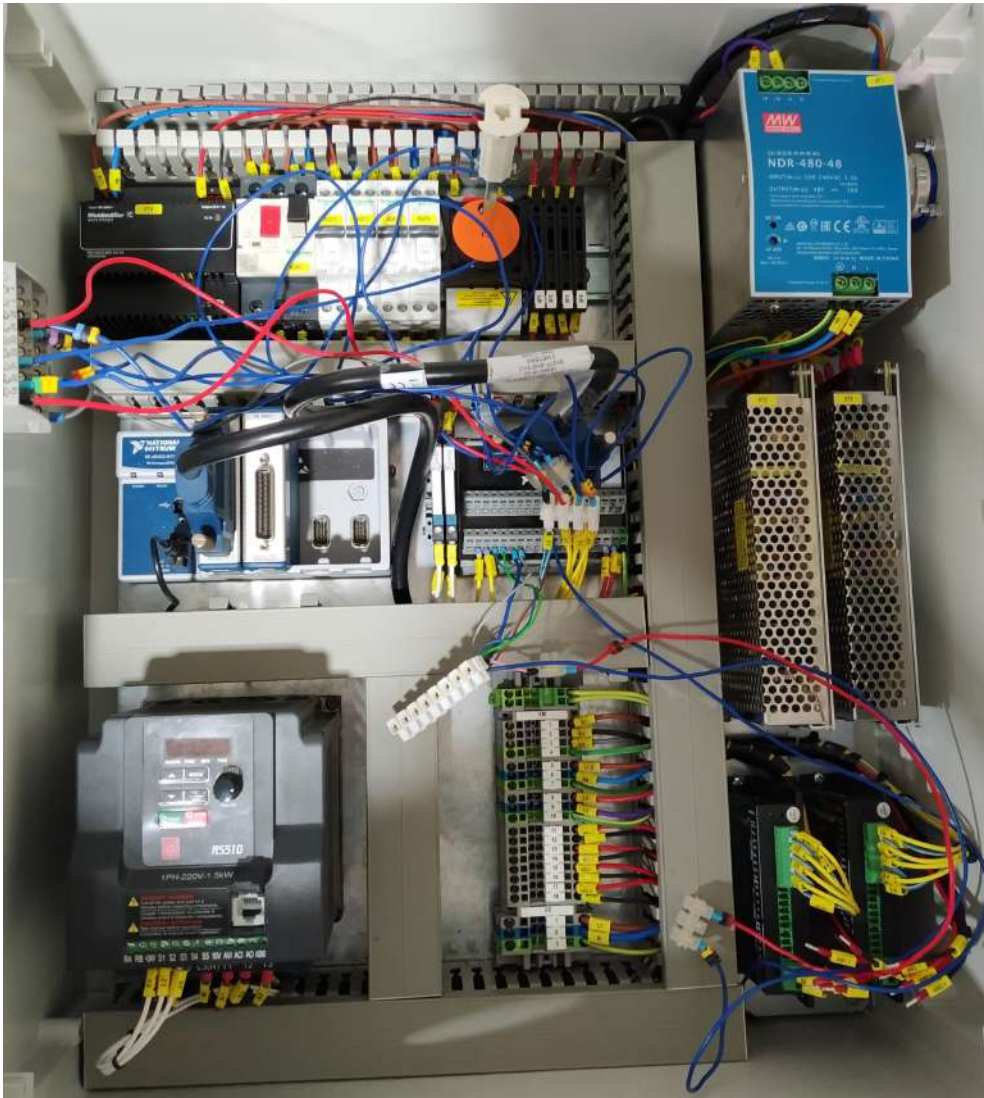


Figura 3.4: Fotografia do quadro elétrico inicial da máquina.

### 3.2.4 Laser e seu controlo

O conjunto responsável pelo disparo do laser é composto por 3 partes. Uma delas é o módulo de deflexão do laser da RAYLASE, o AM-MODULE NEXT GEN [58] (figura 3.11), responsável pela mobilidade do feixe do laser através dos seus dois espelhos inerentes. Estes permitem ao feixe efetuar movimentos em duas dimensões, sendo estas as que formam o plano da plataforma de impressão (X e Y). Este módulo está preparado para trabalhar em campos até  $600\text{ mm} \times 600\text{ mm}$ , em que o diâmetro do laser no ponto incidente aumenta para campos de trabalho maiores, sendo de  $38\text{ }\mu\text{m}$  para um campo de  $250\text{ mm} \times 250\text{ mm}$  e  $86\text{ }\mu\text{m}$  para um campo de  $600\text{ mm} \times 600\text{ mm}$ . Isto justifica-se pelo facto de que campos de trabalhos maiores implicam uma distância de trabalho maior desde o ponto de deflexão do laser até ao ponto onde este irá incidir (Tabela 3.1). Os alunos anteriores assumiram que o campo de trabalho era referente ao tamanho da plataforma de impressão (cerca de  $250\text{ mm} \times 250\text{ mm}$ ) e colocaram o defletor a cerca



Figura 3.5: Motorreductor Stepperonline Nema 23HS22-2804D-PG15-E1000 [52].



Figura 3.6: Stepperonline Closed-loop Stepper Drive CL5T7 [53].

de 318 *mm* dessa mesma plataforma.

Tabela 3.1: Exemplos de configuração – AM-MODULE NEXT GEN (Adaptado de [59]).

Campo de trabalho [ <i>mm</i> × <i>mm</i> ]	250 × 250	400 × 400	500 × 500	600 × 600
Distância de trabalho [ <i>mm</i> ]	318	541	689	838
Diâmetro do laser [ $\mu\text{m}$ ]	38	58	72	85

O sinal defletido é gerado pelo laser YLR-200-AC da IPG Photonics [60] (figura 3.12). É um laser de fibra ótica de sinal contínuo (CW - Continuous Wave) com um comprimento de onda de  $1,07 \pm 0,01 \mu\text{m}$ . A sua frequência é de 50 *Hz*, tem uma potência de 200 *W* e pode ser arrefecido a água ou a ar comprimido.

Conforme referido posteriormente, o controlo destes dois componentes é feito em simultâneo através de uma carta instalada no computador, a SP-ICE-3 [61] também da RAYLASE. Esta carta é controlada através do *software* WeldMARK 3 onde o operador tem o poder de configurar diversos parâmetros inerentes ao processo de impressão. Esta placa é capaz de controlar o modulo defletor através do conector 904 (figura 3.13) segundo o protocolo de comunicação RL3-100, com uma resolução de 20 *bits*. Já a comunicação com o laser é feita através da ficha 907, de 15 pinos. O cabo referente a esta interação não foi fornecido quando estes componentes foram adquiridos, pelo que foi fabricado no





Figura 3.7: Fotografia do motor IEC IE3 90L 1,5KW 1500RPM B5 230/400V 50HZ.



Figura 3.8: Variador de frequência RS510 3PH-440V-1.5kW [56].

DEM pelos alunos que trabalharam na máquina anteriormente.

O *software* WeldMARK 3, além do controlo dos parâmetros de impressão, tem como função dividir um modelo 3D em diversas camadas de impressão. Este modelo 3D tem de ser importado no *software* de controlo do laser no formato STL ou 3D-DXF de maneira a conter todas as informações necessárias sobre a geometria do ficheiro. O mesmo *software* permite também a alternativa de importar de um ficheiro de texto que contenha as coordenadas de processamento.

### 3.2.5 Comunicação computador - máquina

O controlo lógico do objeto do projeto é feito através do módulo de aquisição e processamento de dados compacto cDAQ-9174 [62; 63] da NI (Figura 3.14). Este módulo permite fazer a ligação das entradas e saídas digitais e/ou analógicas das cartas de expansão com o computador através de um cabo USB. Apesar de este ter capacidade para 4 placas apenas são usadas 2, a NI 9401 [64] e a NI 9403 [65] (figura 3.15). Ambas são cartas bidirecionais digitais configuráveis que comunicam a 5 V *TTL* (Transistor-transistor logic) com conectividade DSUB compatível com o chassis indicado. A primeira (NI 9401) é uma carta com 7 entradas/saídas responsável pelo controlo dos motorreductores pois é a única das duas que permite a geração de sinais pulsados. A segunda (NI 9403) tem 32 entradas/saídas digitais e permite a comunicação com os zeros-máquina, sensores de fim de curso, alarmes e motor da varredora.

Para controlar as entradas e saídas digitais das cartas da NI, foi desenvolvido um *software* em LabView pelos alunos que trabalharam anteriormente no projeto. O programa desenvolvido permitia fazer o controlo dos movimentos motorizados da máquina (plataformas e varredora) assim como monitorizar o resto dos componentes. No anexo II é possível observar o diagrama do *software* desenvolvido e as páginas de controlo e monitorização a que o utilizador tem acesso.



Figura 3.9: Fotografia do sensor de fim de curso Honeywell GLLA01A1B [57].



Figura 3.10: Aplicação e fixação do fim de curso na máquina.

### 3.3 Problemas da máquina

Após concluir a descrição do estado inicial do equipamento na secção anterior (3.1), serão indicados agora algumas limitações e problemas encontrados na máquina, alguns deles impeditivos para que a máquina seja capaz de cumprir as suas funções.

#### 1. Mobilidade.

O primeiro problema encontrado foi a sua falta de mobilidade quando se tentou retirar a máquina do local onde se encontrava para fazer uma revisão inicial. Apesar de a máquina ter rodízios instalados estes foram com certeza sub-dimensionados e encontravam-se totalmente danificados, tornando-se num problema a resolver.

#### 2. Distancia e refrigeração do defletor do laser.

Apesar de a comunicação entre a placa de controlo e o defletor do feixe do laser (figura 3.11) estar a funcionar corretamente, este não se encontrava a uma distância de trabalho apropriada para o correto funcionamento do laser. O suporte técnico da empresa fornecedora do defletor, a RAYLASE, indicou que este teria obrigatoriamente de trabalhar a uma distância de  $627\text{ mm}$  pois o defletor fornecido foi previamente preparado para trabalhar para um campo de trabalho de  $470\text{ mm} \times 470\text{ mm}$ . Além disso, a máquina ainda não se encontrava com um sistema de refrigeração instalado para o defletor, seja a água ou ar, o que com algum tempo de trabalho poderá danificar o componente.

#### 3. Ausência de uma atmosfera inerte.

Verificou-se também que a máquina não contém qualquer sistema de criação de vácuo ou injeção de um gás inerte para dentro da câmara, retirando qualquer possibilidade de fabrico de peças com a mínima qualidade. Aliado a este problema, a câmara foi soldada ponto a ponto e não de forma contínua, e as juntas não se



Figura 3.11: Defletor AM-MODULE NEXT GEN da RAYLASE [58].



Figura 3.12: Laser YLR-200-AC da IPG Photonics [60].

encontram vedadas como é possível verificar na figura 3.16. Deste modo não é possível criar uma atmosfera de gás inerte dentro da câmara sem tapar as juntas. Da mesma forma, a porta da câmara também não tem qualquer tipo de vedação.

#### 4. Isolamento térmico.

Entre as paredes da câmara de sinterização interior e exterior não existe isolamento térmico aparte de uma caixa de ar com cerca de 50 mm. Devido ao laser as temperaturas de trabalho dentro da câmara serão muito elevadas e esse calor pode fazer com que a parede exterior da máquina aqueça rapidamente podendo causar queimaduras no operador.

#### 5. Motorreductor não funcional.

Ao testar a máquina foram encontradas várias anomalias. A primeira delas é referente ao motorreductor de uma das plataformas. Este não conseguia responder aos impulsos gerados, estando o seu driver constantemente a indicar o erro "*position following error*" piscando o seu *led* indicador 7 vezes (figura 3.17). Após efetuar vários testes foi concluído que o motor não estava operacional. Estes motores têm uma resistência entre fases de  $0,9 \Omega \pm 10 \%$  [52] e numa das fases, a resistência medida com um multímetro de alta precisão foi de  $0,3 \Omega$ , correspondente a um desvio de 66 % do valor esperado.

#### 6. Desperdício de matéria prima.

Foi pensado também um projeto de redução da área de trabalho para minimizar a quantidade de matéria prima utilizada. Sabendo que as plataformas têm uma área de  $250 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$ , para fazer os testes iniciais ao laser seriam necessários  $2453,125 \text{ mm}^3$  de pó apenas para uma camada de  $0,05 \text{ mm}$ . Tendo em conta o desperdício do pó que fica no percurso entre a mesa de depósito e a mesa de

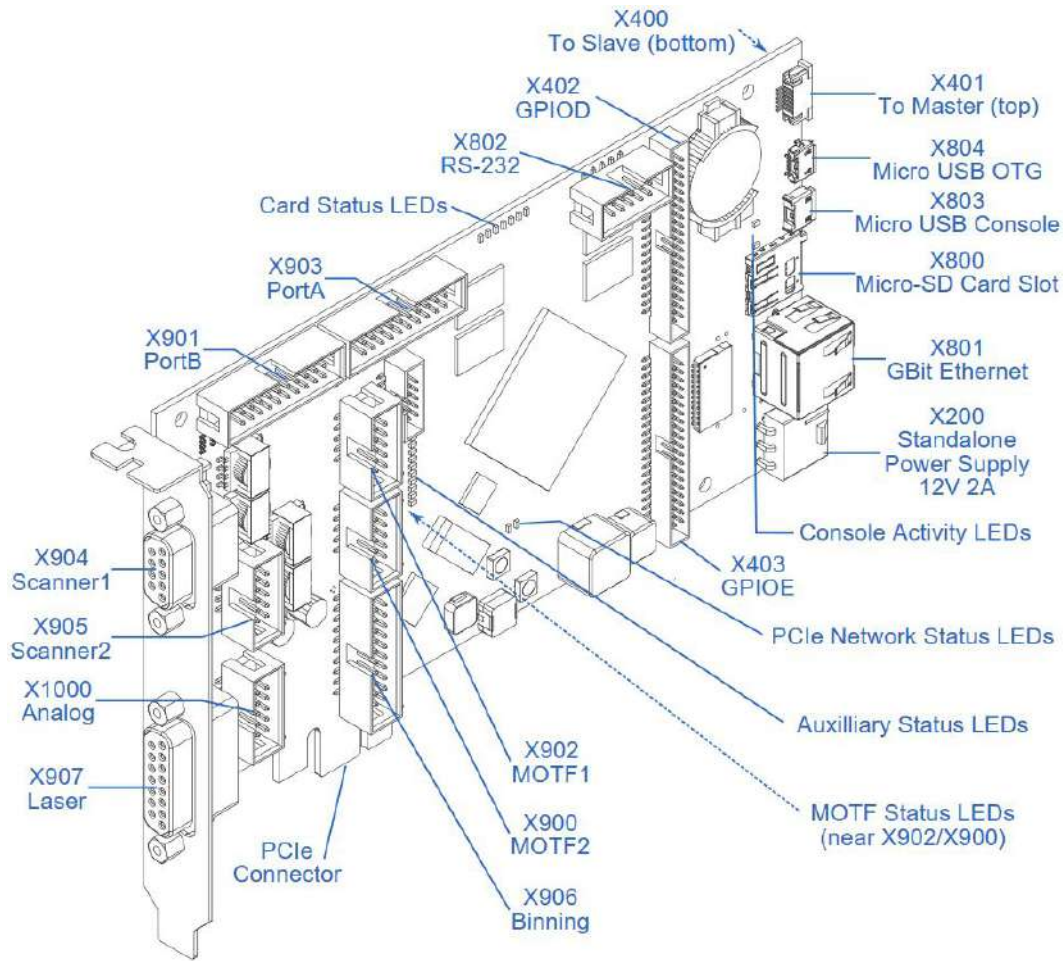


Figura 3.13: Placa de controlo SP-ICE-3 e identificação dos seus componentes [61].

sinterização, e sabendo também que na mesa de depósito é necessário colocar pó em excesso, para uma camada inicial será necessário usar cerca de  $8000 \text{ mm}^3$  de pó. Uma redução do tamanho das plataformas e da distância entre estas irá diminuir o desperdício e custo associado.

#### 7. Quadro e esquema elétrico.

Após o diagnóstico feito sobre o estado inicial da máquina foi avaliado se o quadro elétrico existente seria reaproveitável. Observando o quadro apresentado na secção 3.2 (figura 3.4), é possível ver que além de este ser demasiado pequeno não existe qualquer espaço livre para aplicação dos novos componentes. Observando o esquema elétrico pode-se ver também que para além da ausência de certas funções (tomadas, sistema de injeção de argon, sistema de segurança, botão emergência, etc.), há muitas informações técnicas de diversos componentes em falta como por exemplo a amperagem dos fusíveis utilizados. O variador de frequência indicado no projeto elétrico não é o mesmo que foi utilizado na máquina e as ligações do encoder dos motorreductores ao driver estão em falta no esquema. Desta feita, a melhoria e organização do quadro será também um dos pontos a tratar.



Figura 3.14: Chassi cDAQ-9174 da National Instruments [62].



Figura 3.15: Módulos NI 9401 [64] (esquerda) e NI 9403 [65] (direita).

#### 8. Fixação do gerador do laser (YLR-200-AC).

O gerador do laser YLR-200-AC (figura 3.12) é um componente que necessita de interação com o operador devido ao seu ecrã de configuração e chave de ligação. Deste modo, este deveria ficar colocado num local que facilitasse essa interação.

#### 9. Segurança.

A ausência de um botão de emergência ou outro sistema de segurança também não passou despercebida. Além disso, o facto de não existir um sistema que impeça o laser de disparar ou que o motor da varredora trabalhe com a porta aberta foi alvo de grande preocupação, pois punha em causa a saúde de todos os intervenientes.

#### 10. Comunicação entre a placa SP-ICE-3 e o gerador de sinais do laser (IPG).

Por fim, verificou-se que o gerador do laser (figura 3.12) não estava a comunicar com a placa SP-ICE-3 (figura 3.13) instalada no computador, impossibilitando o controlo dos diversos parâmetros do laser gerado no software WeldMARK 3.



Figura 3.16: Fotografia da câmara de sinterização.

Blink time(s)	Sequence wave of red LED	Description	Trouble shooting
7		Position following error	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) The value of position following error is set too small;</li> <li>b) Motor torque is not enough or motor speed is too high;</li> <li>c) Motor wiring error, check wiring</li> </ul>

Figura 3.17: Descrição do erro do motor (Adaptado de [53]).

## Capítulo 4

# Propostas e Soluções Implementadas

Após o estudo do processo DMLS e a avaliação do estado inicial da máquina segue-se uma apresentação das soluções implementadas para a resolução dos problemas apresentados na Secção 3.3. As soluções estão divididas em duas grandes partes, projeto mecânico e projeto elétrico.

### 4.1 Projeto Mecânico

Nesta secção serão apresentadas as soluções referentes aos problemas mecânicos diagnosticados na secção 3.3:

- Resolução do Problema 1 - Mobilidade.

O problema 1 foi o primeiro a resolver devido à necessidade de movimentação da máquina. A solução pensada foi a adição de uns rodízios rotativos e para o seu dimensionamento foi fundamental calcular a massa da máquina.

Como é possível ver na figura 3.1 apresentada no capítulo 3, a estrutura principal é composta essencialmente por vigas de aço de perfil IPE. Após efetuar algumas medições é seguro afirmar que ao longo seu comprimento foram usados aproximadamente quatro metros de perfil IPE 200 e nas restantes direções um total de oito metros de perfil IPE 100. Observando a tabela técnica referente ao perfil IPE (Anexo III) verifica-se que os perfis IPE 100 e IPE 200 têm uma massa específica de  $8,10 \text{ kg/m}$  e  $22,40 \text{ kg/m}$  respetivamente. Multiplicando o número de metros de cada perfil usados com as respetivas massas específicas obtém-se um total de  $154,4 \text{ kg}$ .

Não havendo informação sobre o restante material usado na máquina, assumiu-se que utilizado aço estrutural EN S235, com uma massa específica de  $7870 \text{ kg/m}^3$ . Começando pela varredora e os seus três blocos (dois fixos e um móvel), a sua volumetria total corresponde a uma massa aproximada de  $145 \text{ kg}$ . As quatro guias e o fuso que passam movimento à varredora, juntamente com as guias e o fuso das plataformas formam um comprimento total de quase 9 metros com um diâmetro de  $0,03 \text{ m}$ , e contribuem para uma adição de  $190 \text{ kg}$  à massa da máquina. Toda a estrutura referente ao suporte dos motores das plataformas forma um total de  $0,017 \text{ m}^3$ , que convertidos para massa são  $140 \text{ kg}$ .

As bases das plataformas de pó e impressão têm uma área de  $0,25 \text{ m} \times 0,25 \text{ m}$  e uma espessura aproximada de  $0,035 \text{ m}$  e por baixo delas têm outro bloco de aço com

dimensões semelhantes. Estes 4 blocos oferecem mais 70 *kg* à máquina.

Outra peça relevante é a base da câmara de sinterização. Esta tem as dimensões 0,5 *m* × 0,8 *m* × 0,04 *m* mas conta com duas aberturas de 0,25 *m* × 0,25 *m* para permitir a passagem das plataformas para o interior da câmara. Esta parte oferece assim um acréscimo de 100 *kg*.

Toda a restante estrutura da máquina é composta por tubo e aço de secção quadrada 20 *mm* × 20 *mm* e por chapa de baixa espessura. Assim foi estimado um valor de 30 *kg* para a sua massa.

Contabilizando ainda os componentes elétricos como os 3 motores, o conjunto laser e defletor, entre outros, são adicionados mais cerca de 120 *kg*. Dando uma margem de mais 150 *kg* para futuras partes ou componentes que se podia ainda adicionar como o quadro elétrico, foi medida uma massa total da máquina de 1099,56 *kg*.

Como algumas medições não foram precisas, de maneira a ter a certeza que os rodízios não ficassem sub-dimensionados novamente, o valor foi multiplicado por um coeficiente de segurança de 1.35, dimensionando-se assim os rodízios para suportarem pelo menos 1500 *kg*.

A massa da máquina não foi a única condicionante na escolha dos rodízios. De maneira a aproveitar os suportes feitos anteriormente, estes teriam de ter uma altura pouco superior a 130 *mm* para que as pernas da máquina ficassem próximas do chão. Como se pode observar na figura 4.1, essa era a altura entre o suporte dos rodízios e o final da perna da mesa.

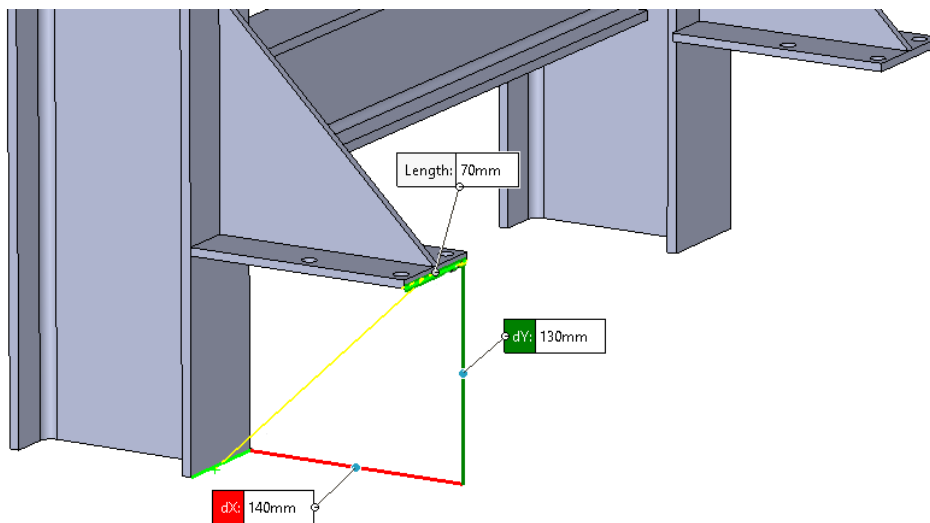


Figura 4.1: Apoio dos rodízios e respetivas dimensões.

Tendo em conta todas as condicionantes apresentadas e avaliando as ofertas do mercado, foram seleccionados os rodízios da marca Mecanarte, referência 132/PUAE-125×45 (figura 4.2).

Estes rodízios rotativos têm capacidade de suportar com 500 *kg* cada, fazendo um total de 2000 *kg* e uma altura total de 160 *mm*, o que é ideal tendo em conta a altura dos suportes existentes. No entanto, a largura e comprimento destes (figura 4.1) são inferiores às dimensões da placa dos rodízios a instalar apresentadas na figura 4.2. Deste modo foi necessário adicionar uma chapa de adaptação a cada suporte para possibilitar



Código/Code	Ref.	mm		mm		mm		mm		Kg
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
25 32 44	132/PUAE-100	100	30	128	43	100x80	80x60xØ9	250		
25 32 45	P-132/PUAE-125	125	35	155	43	100x80	80x60xØ9	350		
25 32 24	132/PUAE-125x45	125	45	159	60	138x110	105x80xØ11	500		
25 32 47	132/PUAE-160	160	50	203	46	138x110	105x80xØ11	600		
25 32 49	132/PUAE-200	200	50	243	60	138x110	105x80xØ11	750		




Figura 4.2: Rodízios selecionados e respetivas informações técnicas (Adaptado de [66])

o aparafusamento dos rodízios. Na figura 4.3 é possível ver o processo de aplicação dos rodízios na máquina, desde o desenho de definição da chapa de adaptação até à sua concretização e soldadura na máquina. A tecnologia usada para fixação da chapa foi soldadura TIG, após limpar a tinta dos suportes na zona da soldadura e os rodízios foram aparafusados usando quatro parafusos com oco hexagonal M10 com porca.

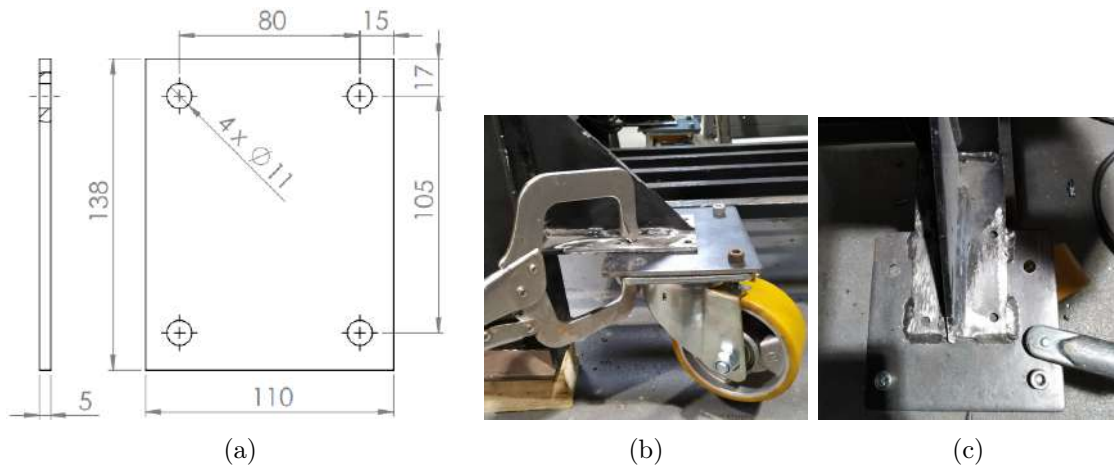


Figura 4.3: Aplicação dos rodízios na máquina: (a) Desenho de definição da chapa de adaptação, (b) Preparação da chapa para soldadura, (c) Fotografia da soldadura e aplicação dos rodízios na máquina.

Aplicados assim os 4 rodízios o problema 1 ficou resolvido sendo possível movimentar agora a máquina sempre que necessário.

- Resolução do Problema 2 - Distancia e refrigeração do defletor do laser.

Como foi indicado anteriormente, a empresa fornecedora do defletor do feixe do laser (figura 3.11) indicou que este deveria trabalhar a uma altura de 627 mm da mesa de trabalho pois este veio pré-definido para trabalhar num campo de trabalho de 470 mm × 470 mm. Inicialmente, esta cabeça galvanométrica estava colocada a 319 mm, sendo necessário subi-la 308 mm para atingir a altura desejada.

Para elaborar o espaçador foi necessário ter em conta os seguintes aspetos: este teria de ser completamente opaco para não permitir a passagem de radiação do laser para o exterior e teria de ser largo o suficiente para não impedir a passagem do feixe do laser. Efetuando os cálculos necessários, percebeu-se que na sua base, este teria de ter

uma largura mínima de  $231\text{ mm}$ , assim como a parede exterior da câmara (figura 4.4). Pelos mesmos motivos, pode-se ver que a parede interior terá de ter uma abertura com largura mínima de  $279\text{ mm}$ . Deste modo, as aberturas existentes nestas duas chapas terão também de ser alargadas para possibilitar a passagem do laser e consequentemente terá de ser feita uma nova chapa de ligação entre a parede exterior e interior.

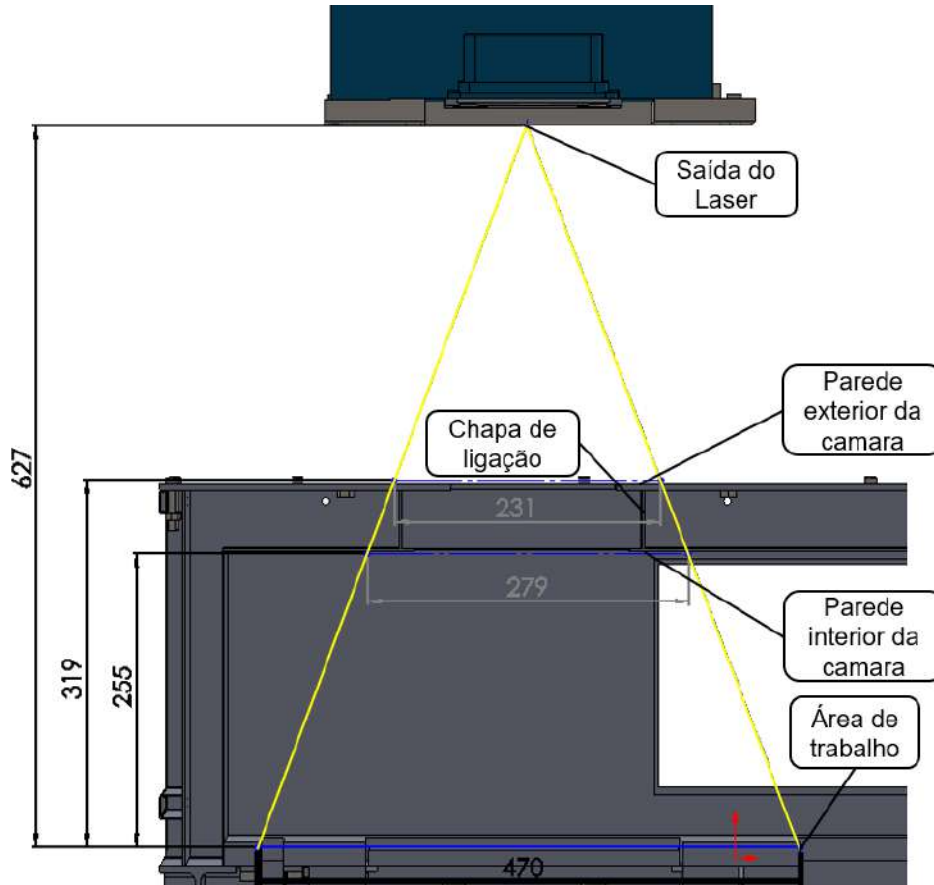


Figura 4.4: Esquema da deflexão máxima do feixe do laser e medidas relevantes.

No desenvolvimento do espaçador foi tido em conta que o ponto de saída do laser não se encontrava centrado no defletor, mas sim encostado a um dos lados (figura 4.5). É ainda de salientar que as medidas mínimas definidas anteriormente só funcionam se o ponto de saída do laser se encontrar centrado no espaçador e nas aberturas das chapas para a sua passagem. Deste modo, era fundamental que o espaçador permitisse a centralização do laser para que não se tornasse num componente de dimensões exageradas e para facilitar também o alinhamento com a plataforma de sinterização.

Na mesma figura é possível ver também que o laser já tinha uma estrutura de acoplamento à máquina. Essa estrutura tem uma altura de  $17\text{ mm}$  e será reaproveitada para o aparafusar ao espaçador.

Com as medições efetuadas (figura 4.5b) foi possível concluir que o espaçador teria de ter  $53\text{ mm}$  a mais do lado em que o ponto de saída do laser se encontra mais próxima de modo a centrar o ponto de saída do feixe do laser.

Após avaliar algumas soluções pensadas, optou-se por fazer um espaçador de chapa

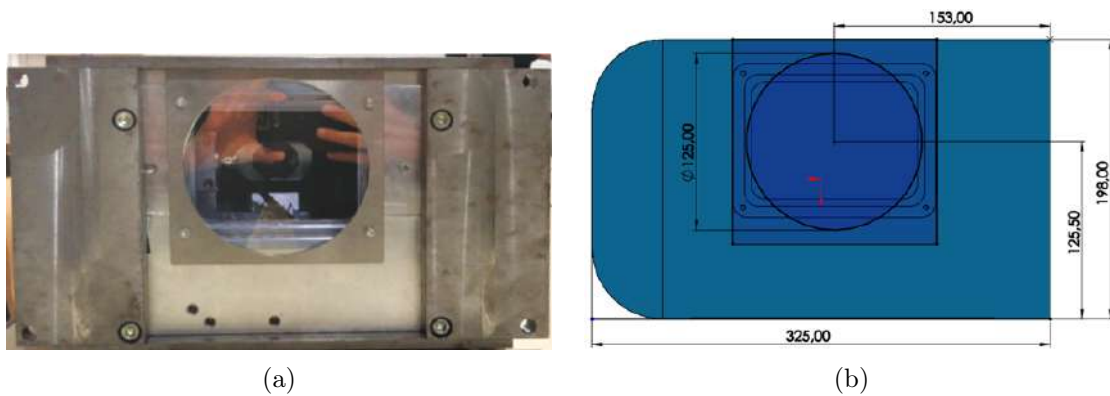


Figura 4.5: Defletor do laser: (a) Fotografia da vista de baixo do defletor, (b) Medidas essenciais para desenvolvimento do espaçador

de aço com espessura de 5 *mm* soldado a TIG, que ficaria aparafusado na chapa exterior da câmara e no seu topo seria aparafusado o laser com a ajuda da estrutura já existente. Na figura 4.6 pode-se ver o projeto do espaçador em modelação 3D incluindo o defletor do laser e a chapa exterior da câmara, e uma vista explodida parcial.

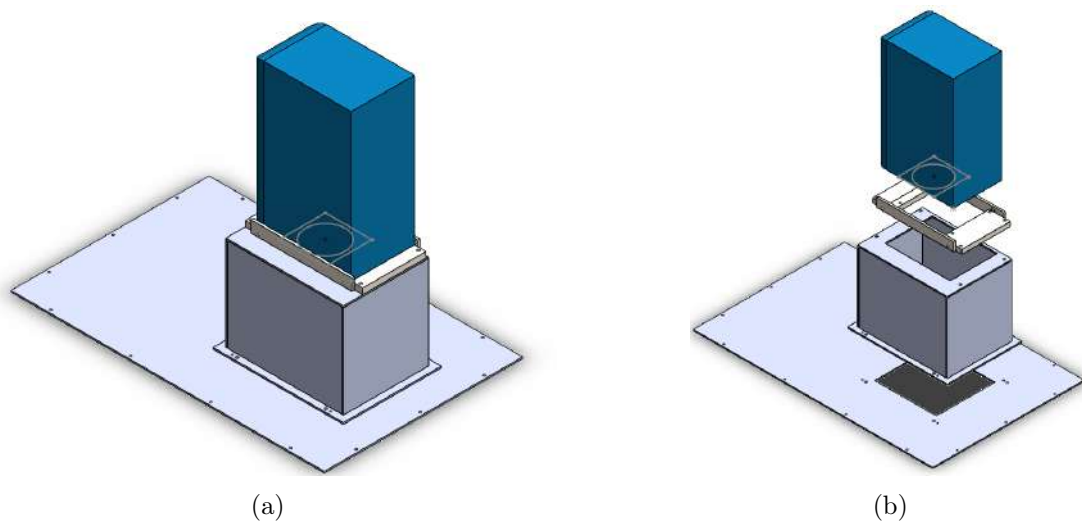


Figura 4.6: Modelação 3D: (a) Vista isométrica do espaçador do laser com os seus componentes relevantes, (b) Vista explodida parcial do conjunto

Para o desenvolvimento deste componente foram usadas 6 chapas, sendo que as laterais opostas têm as mesmas dimensões. Os seus desenhos de definição estão apresentados na figura 4.7. A estrutura de acoplamento do laser estava preparada para ser aparafusada com parafusos M8, desta feita, na chapa de cima foram feitos os furos roscados necessários. Como esta estrutura já tinha 17 *mm* de altura, o espaçador necessitava de ter 291 *mm* para fazer a altura necessária de 308 *mm*.

Para causar menos desperdício de material, a chapa de baixo foi feita através da soldadura de quatro tiras com 25 *mm* de largura. Depois procedeu-se à soldadura das suas partes laterais com a ajuda de dois imans de 90 graus. O processo de elaboração do

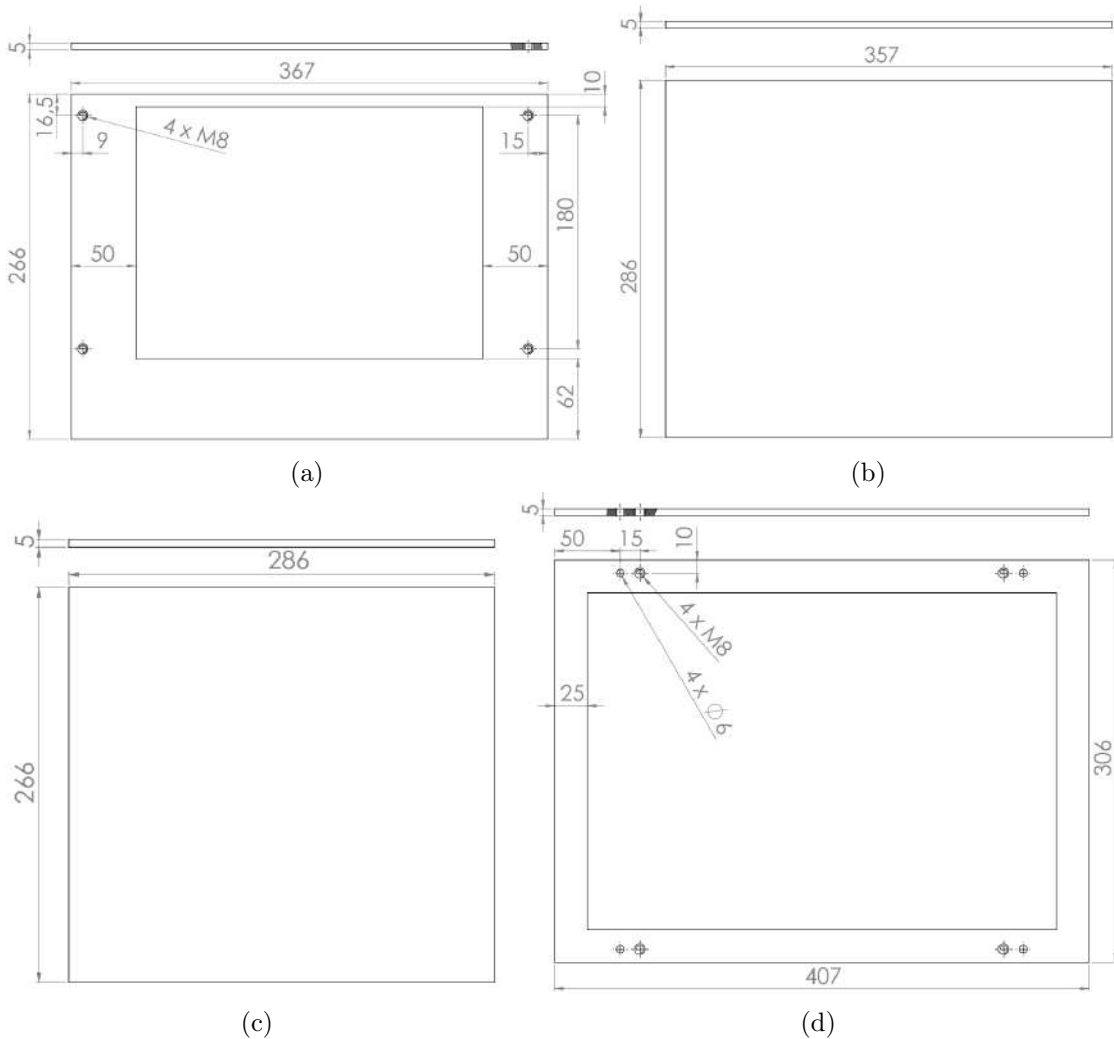


Figura 4.7: Desenho de definição das chapas do espaçador: (a) Chapa de cima (b) Chapas laterais maiores, (c) Chapas laterais menores, (d) Chapa de baixo.

espaçador pode ser observado na figura 4.8.

Na chapa inferior, foram feitos quatro pares de furos para permitir uma afinação da altura, para que a base do laser fique exatamente paralela à mesa de trabalho. Os furos de diâmetro 6 servem para aparafusar o espaçador na chapa exterior da câmara, que terá furos roscados, enquanto os furos roscados M8 servem para a afinação de alturas.

Após ter o componente final, procedeu-se à centralização do espaçador na mesa de trabalho com um prumo e à marcação dos seus cantos e furos na chapa exterior da câmara com a ajuda de tinta de spray e um punção. Após a marcação, efetuaram-se os furos e roscagem necessários (figura 4.9). Seguidamente cortou-se a chapa exterior para permitir a passagem do laser.

Para finalmente resolver o problema faltava apenas proceder ao alargamento da abertura da parede interior da câmara com as dimensões mínimas de 280 mm em cada direção e soldadura da chapa de ligação. Para compensar algum erro que possa ter existido na medição e porque esta medida não tem que ser precisa, foi aberto um retângulo com área

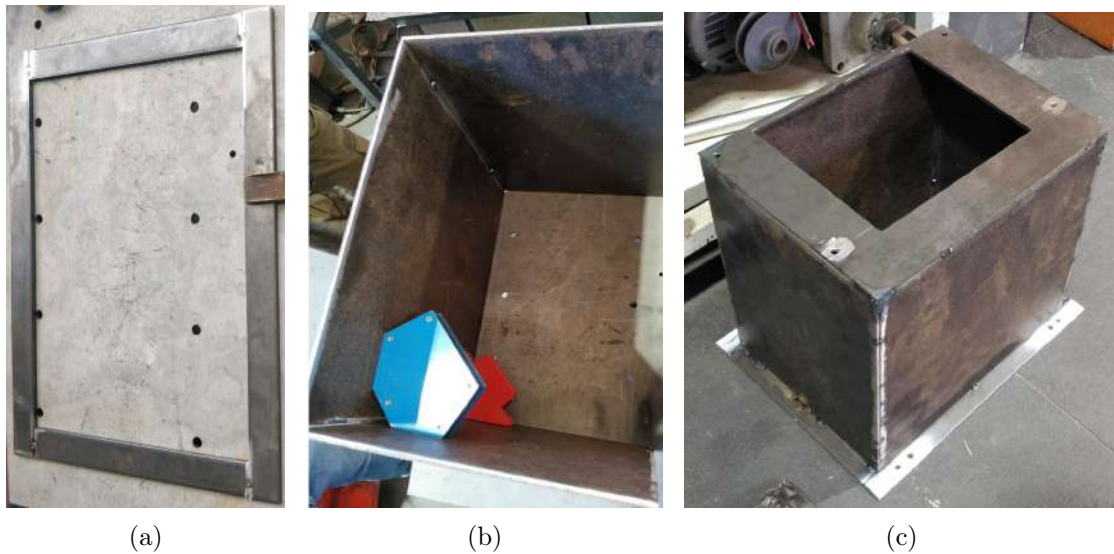


Figura 4.8: Processo de soldadura do espaçador: (a) Soldadura da chapa de baixo (b) Soldadura das chapas laterais, (c) Componente final.

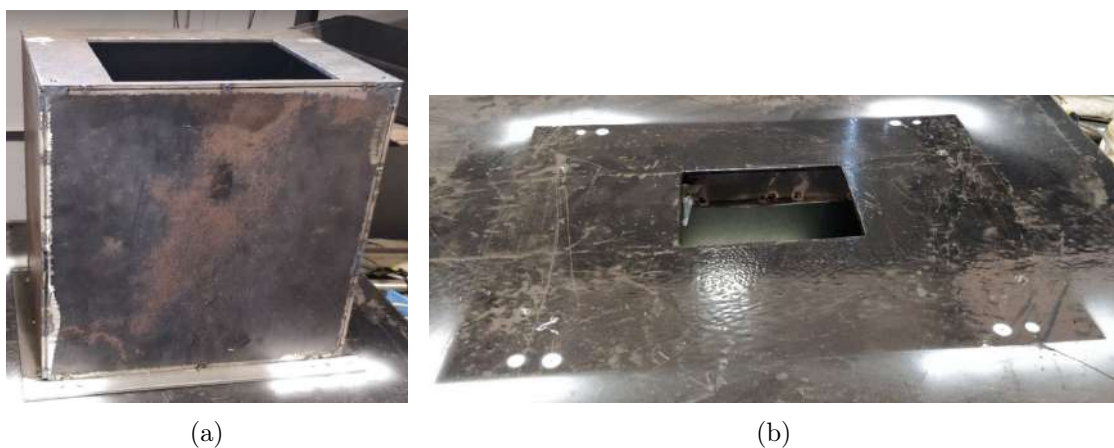


Figura 4.9: Furação e corte da parede exterior da câmara: (a) Marcação dos furos e posição do espaçador centrado com a mesa (b) Fotografia das marcações efetuadas.

300 mm × 320 mm (figura 4.10).

Estando o problema da altura da cabeça galvanométrica resolvido, foi pensada numa solução para a sua refrigeração. Segundo o manual da Raylase [58], a refrigeração pode ser efetuada a água ou a ar, mas o presente modelo apenas tem as entradas e saídas para a água. Avaliando as opções do mercado que cumpriam os requisitos do manual, optou-se pela utilização de um refrigerador industrial CW-3000 (figura 4.11), apropriado para refrigeração de lasers [67]. Este garante um fluxo de água mínimo de 2 L/min que corresponde ao mínimo aceitável pelo AM-MODULE e pode até 10 L/min. Além disso, pode operar com os aditivos aconselhados para diminuir a oxidação e é capaz de garantir uma variação de temperatura inferior a 1 °C, o que é ideal para a estabilidade do feixe do laser.

No entanto esta solução apresentava mais um problema. O tubo que vinha com o



Figura 4.10: Corte da parede interior da câmara e aplicação da chapa de ligação: (a) Abertura inicial (b) Abertura final.



Figura 4.11: Imagem do refrigerador utilizado [67]

refrigerador, além de curto e demasiado maleável, tinha um diâmetro exterior de 10 *mm* e interior 6 *mm*, incompatível com o defletor. Segundo o manual deste, teria de ser usado um tubo de diâmetro exterior de 8 *mm* e teria de ser mais rijo. Para solucionar este contratempo, adquiriu-se mangueira de cristal com diâmetro exterior requerido e interior 6 *mm*. Para efetuar a união com o tubo do refrigerador necessitou-se de dois acessórios fêmea/fêmea de rosca BSP 1/8, quatro acessórios compatíveis macho/tubo de 6 *mm* (dois para cada união) e quatro abraçadeiras para segurar os tubos. Na figura 4.12 pode-se ver uma das ligações a ser efetuada, faltando apenas acabar de colocar as abraçadeiras.

Estando o problema 2 resolvido colocando o defletor a uma altura apropriada de trabalho e com refrigeração adequada, passou-se ao solucionamento do próximo, neste caso o problema 3.



Figura 4.12: Fotografia de uma das uniões do tubo do refrigerador do defletor.

- Resolução do Problema 3 - Ausência de uma atmosfera inerte.

Como foi descrito no problema 3, a máquina não contém qualquer sistema de criação de vácuo ou injeção de um gás inerte para dentro da câmara e as juntas da câmara interior não se encontram tapadas, como é possível ver na figura 4.10. Deste modo tornou-se uma necessidade a vedação dessas juntas. Foram pensadas várias soluções como por exemplo brasagem, mas a solução escolhida passou pela aplicação de um silicone da chemitool capaz de resistir a altas temperaturas (figura 4.13a). Para além da sua fácil aplicação e manuseamento, está preparado para juntas de vedação sujeitas a temperaturas até  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  sem alterar as suas propriedades de elasticidade e aderência [68]. O processo de vedação das juntas pode ser visto na figura 4.13.

Assim como a câmara interior, todas as juntas de soldadura da porta foram vedadas com o mesmo silicone e no aro da porta foi adicionada uma borracha vedante para limitar ao máximo trocas de ar com o exterior (figura 4.14).

Para concluir foi ainda aplicado silicone nas juntas do espaçador, para prevenir a existência de alguma fenda nos cordões de soldadura. Após a vedação efetuada, foi averiguada a melhor forma de criação de uma atmosfera inerte no interior da câmara de sinterização.

Devido à complexidade na aplicação de um sistema de criação de vácuo, optou-se pela injeção de um gás inerte para dentro da câmara, nesta circunstância argon. Para tal tornou-se necessária a criação de um difusor de argon que fosse capaz de alimentar a câmara de forma distribuída e uniforme, para que as camadas de pó não se deformem com a entrada do gás e um sistema de fixação do difusor na câmara. Inicialmente foi modelado um difusor de geometria complexa e aperfeiçoado com a ajuda de simulações numéricas de escoamento de fluidos apresentado na figura 4.15. Como se pode ver na simulação, este possibilitava um escoamento dividido e suficientemente uniforme de argon, no entanto a sua geometria era demasiado complexa e difícil de produzir .

Deste modo, era mandatário que o difusor tivesse uma geometria menos complexa. Assim, procedeu-se à utilização de um tubo simples de diâmetro exterior 32 com diversos furos de vários diâmetros, sendo os de diâmetro menor os mais próximos da entrada de argon no difusor. A sua geometria final pode ser vista no desenho de definição apresentado na figura 4.16a. Para tapar as suas laterais soldou-se uma chapa de aço com espessura de

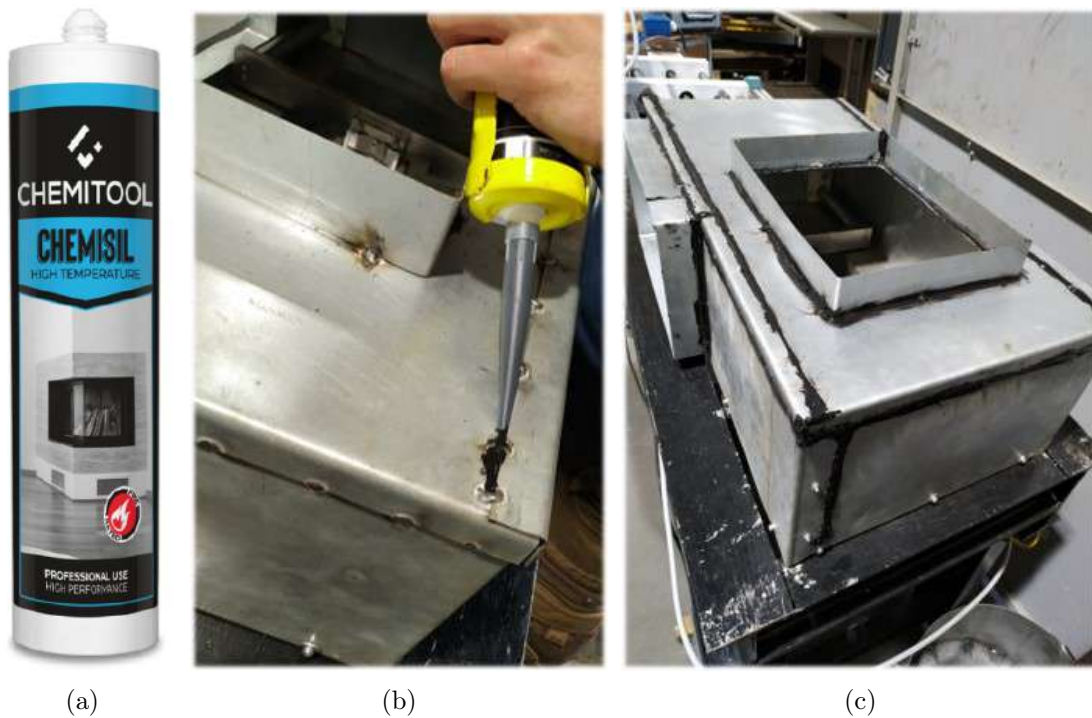


Figura 4.13: Processo de vedação das juntas: (a) Silicone usado [68], (b) Fotografia da aplicação do silicone, (c) Fotografia da vedação das juntas da câmara interior.

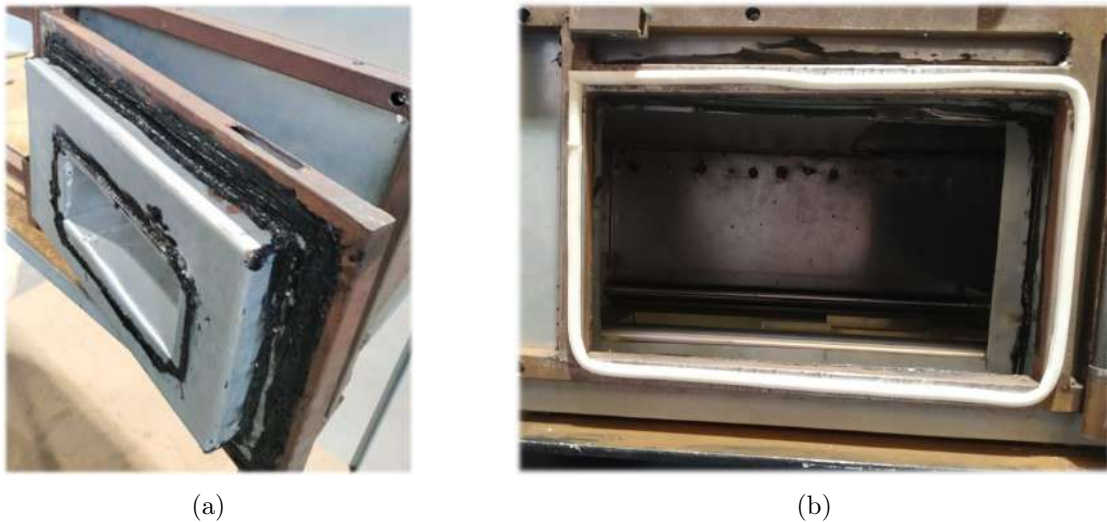


Figura 4.14: Processo de vedação da porta: (a) Vedação das juntas de soldadura da porta, (b) Borracha de vedação no aro da porta.

1 mm. A entrada do argon foi feita posteriormente no centro do tubo e no lado contrário aos furos de saída. A peça que conduz o argon ao difusor é também responsável pela sua fixação na parede da câmara. Esta é um tubo de aço maquinado com diâmetro exterior 12 mm e interior 8 mm. De um dos lados este tubo foi soldado ao difusor na zona



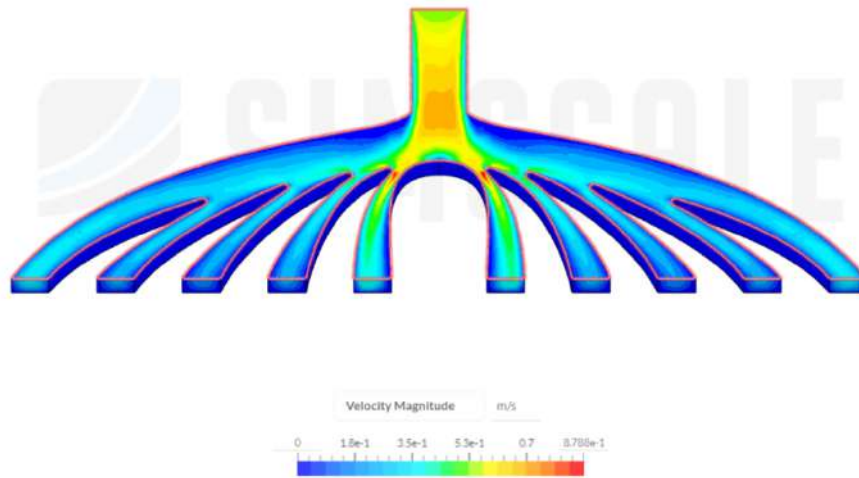


Figura 4.15: Imagem do difusor e respetiva simulação numérica de escoamento de árgon.

de entrada do gás, o outro lado conta com uma rosca interior 1/8" BSP e uma rosca exterior M12 (figura 4.16b). A rosca interior serve para aparafusar um macho/tubo de 6 mm idêntico aos usados na união dos tubos de refrigeração do defletor do laser (figura 4.12) para conectar a mangueira do árgon (diâmetro interior de 6 mm). Como não foram encontrados acessórios destes com rosca métrica, foi necessário adquirir também um macho de roscar com a mesma medida. A rosca exterior serve para fixar o difusor apertando-o entre as paredes da câmara de sinterização com a ajuda de uma porca M12. O esquema de aperto está demonstrado na figura 4.17.

Na figura 4.18 pode-se ver a concretização da solução na máquina, desde a soldadura dos tubos até à sua aplicação já com a mangueira ligada.

Como a densidade do árgon é superior à do oxigénio, o árgon tem a tendência natural de ficar na parte inferior da câmara e fazer o resto do ar subir. Para criar a atmosfera inerte é necessário que esse ar tenha por onde sair. Também é importante a expulsão dos gases criados durante a sinterização, que também se fazem mover para a parte superior da câmara. Devido a estas necessidades foi feita uma chaminé na zona mais elevada possível, no topo do espaçador do laser. Como a convecção natural força todos os gases não necessários para cima, não é necessário um sistema de extração forçado de ar.

A chaminé compôs-se com a utilização de 4 componentes, começando com uma flange para aparafusar a chaminé ao espaçador. Soldado à flange encontra-se um tudo de diâmetro 32 mm idêntico ao usado no difusor do árgon. Como a saída da chaminé não deve ser direta devido à possibilidade de sair alguma radiação proveniente do laser, o tubo foi cortado a 45 graus na sua ponta superior. A este tubo foi soldado outro idêntico, mas com orientação contrária, de modo a fazer uma curva de 90 graus (figura 4.19a). Para prevenir a saída excessiva de gases e partículas nocivos à saúde e a entrada de pó e outras substâncias, foi ainda adicionado um filtro de ar, retirado de um compressor. A figura 4.19b mostra a montagem e aplicação da chaminé na máquina. Para fixação da chaminé no espaçador, foram usados 4 parafusos CHC M5 × 15. Para tal, além da necessidade de furar o espaçador para a saída dos gases para a chaminé, foi necessário furar e roscar de acordo com as medidas da flange. Na figura 4.20 podem-se ver os desenhos de definição dos componentes da chaminé.

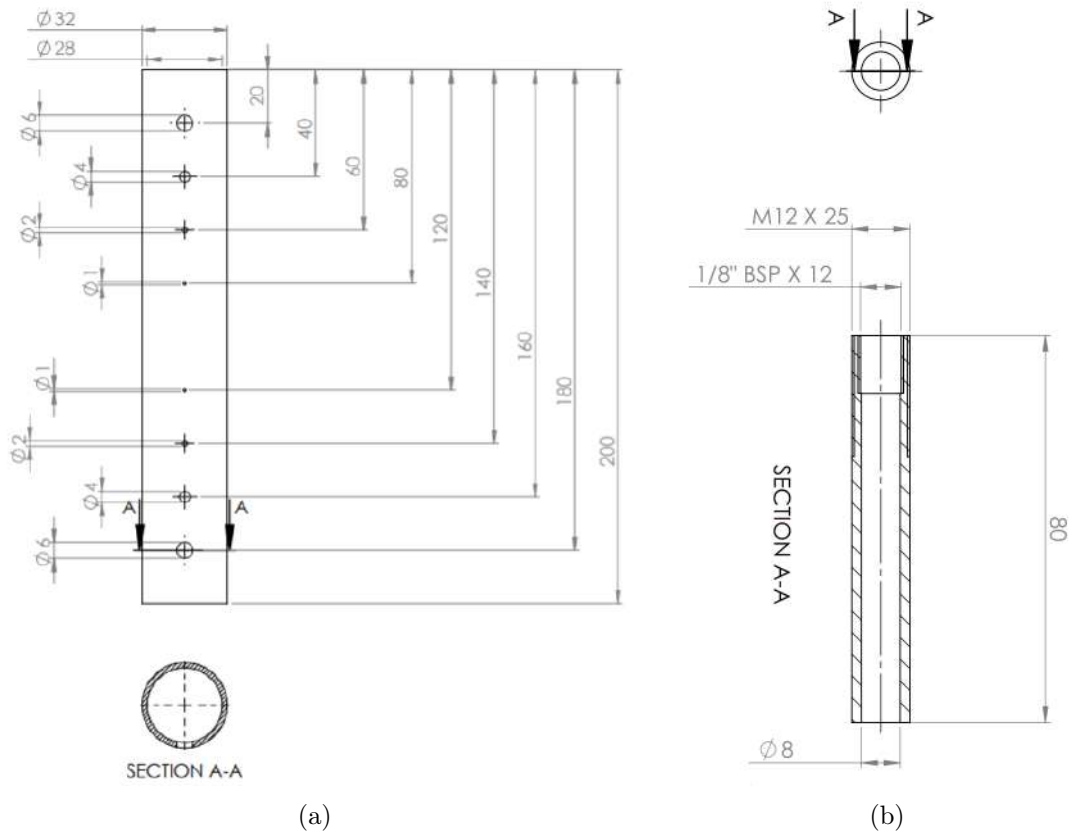


Figura 4.16: Desenhos de definição das peças do difusor de argon: (a) Desenho do difusor, (b) Desenho do tubo de alimentação de argon e de fixação do difusor.

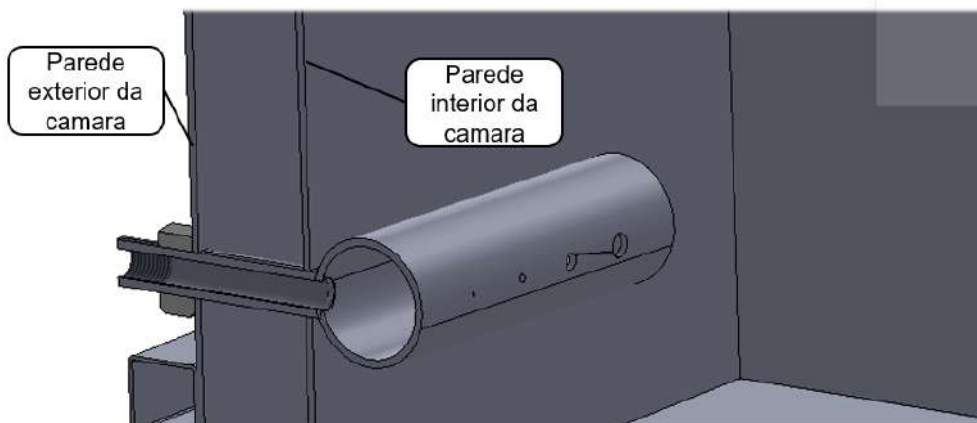


Figura 4.17: Vista em corte do aperto do difusor de argon

- Resolução do Problema 4 - Isolamento térmico

Conforme indicado anteriormente, O único isolamento térmico que a máquina tem é uma caixa de ar com cerca de 50 mm a toda a volta, entre as paredes interior e exterior da caixa. Deste modo, com algum tempo de trabalho do laser, a parede exterior pode

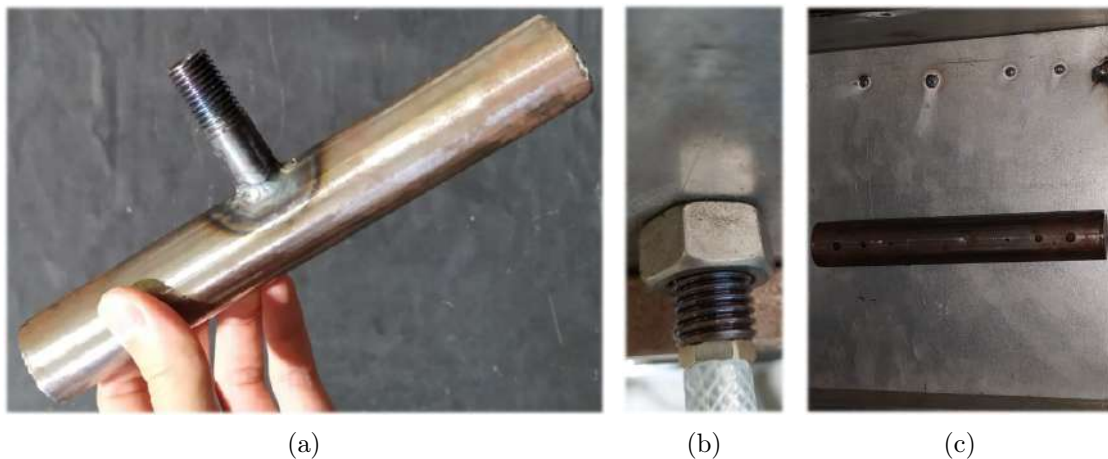


Figura 4.18: Aplicação do difusor na máquina: (a) Componente soldado, (b) Fotografia do aperto e ligação da mangueira de argon, (c) Fotografia do difusor no interior da câmara.

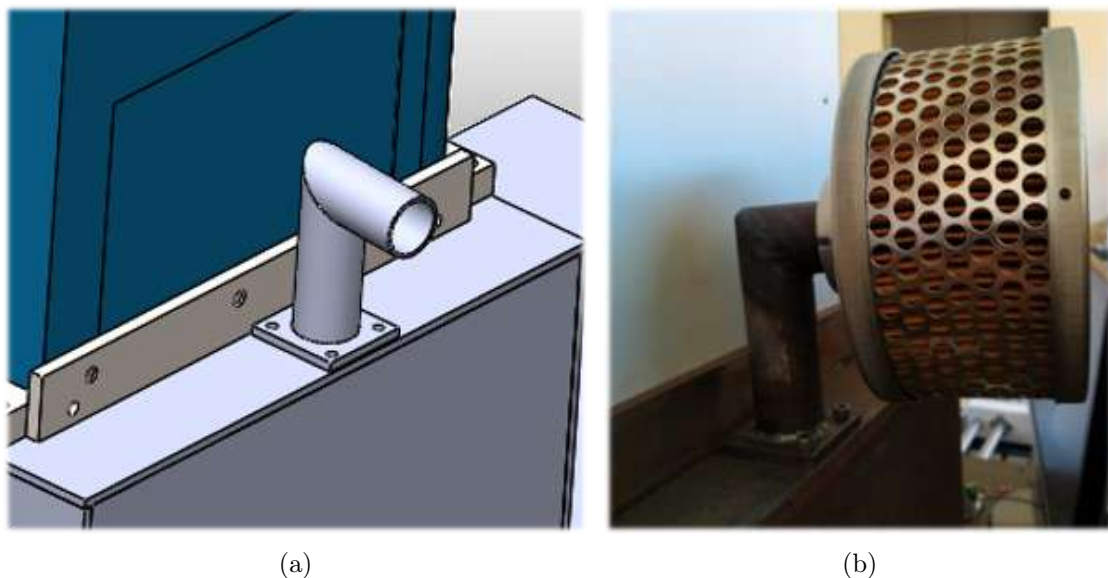


Figura 4.19: Aplicação da chaminé na máquina: (a) Modelação da chaminé e sua posição na máquina, (b) Fotografia da colocação da chaminé na máquina.

aquecer a temperaturas suficientes para causar queimaduras cutâneas. Para solucionar este problema foram pensadas em várias soluções, que no fim se tornaram irrelevantes, pelo que se optou pela aplicação lã de rocha entre as paredes da câmara, como se pode ver na figura 4.21. Este material é um isolante térmico e incombustível, ideal para o efeito em questão.

- Resolução do Problema 5 - Motorreductor não funcional.

Outro impedimento para o funcionamento da máquina era o facto do motorreductor referente à mesa de sinterização não se encontrar operacional e precisar de ser substituído.

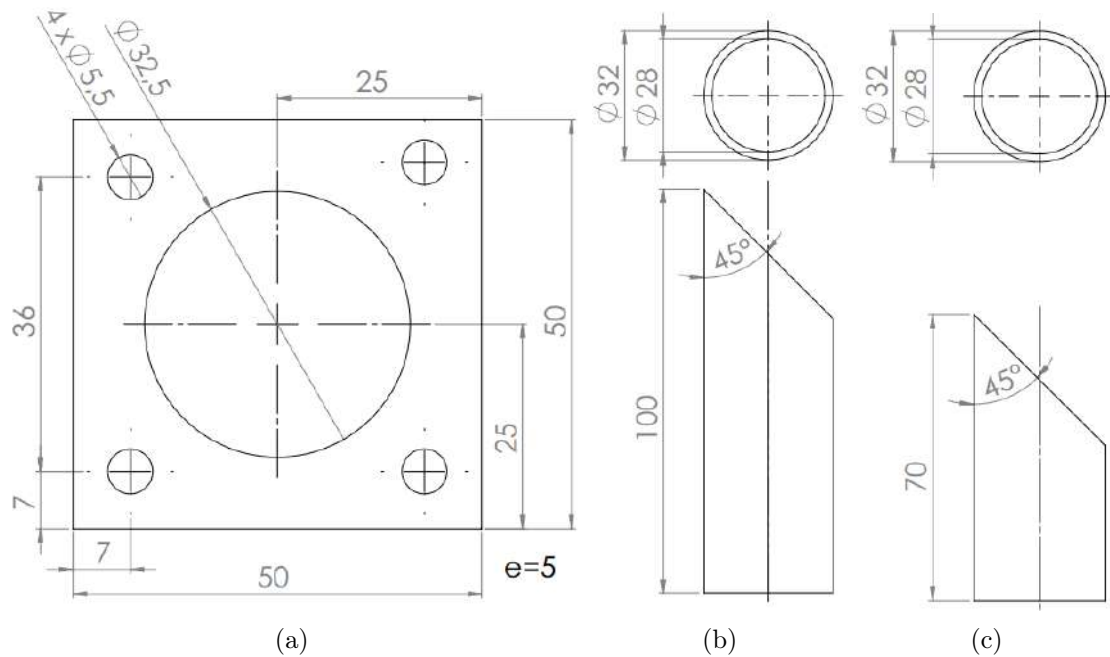


Figura 4.20: Desenhos de definição dos componentes da chaminé: (a) Desenho da flange, (b) Desenho do tubo vertical, (c) Desenho do tubo horizontal.



Figura 4.21: Fotografia da aplicação da lã de rocha

Como foi referido no capítulo 3, os motorreductores usados dispõem de um binário de saída de  $15,2 \text{ N.m}$  devido ao seu redutor incorporado. Antes de encomendar um novo motor, mediu-se o binário necessário para fazer rodar o fuso da plataforma, pois havia um motor de passo disponível no departamento (Nema 34HS38-4204D-E1000 da Stepperonline, anexo IV). Este que, apesar de não ter um redutor, era de maiores dimensões e debitava

7  $N.m$  à sua saída. Como este motor tem menos precisão do que os motorreductores devido à falta do redutor, a ser utilizado, teria de ser na plataforma de depósito de pó. Os movimentos da plataforma de trabalho terão de ser precisos de modo a que a espessura das camadas de pó seja constante, já na plataforma de depósito os movimentos podem ser ligeiramente superiores ao necessário, pois o pó em excesso será reaproveitado. Deste modo, retiraram-se os dois motores e mediu-se o binário necessário para fazer subir a mesa de depósito. Para medir o binário foi usada uma chave dinamométrica analógica, fazendo um acessório de encaixe ao acoplador e à chaveta do motor (figura 4.22).



Figura 4.22: Chave dinamométrica e acessório: (a) Acessório usado para medição do binário, (b) Fotografia da chave dinamométrica usada.

Após a medição conclui-se que o binário necessário para mover a plataforma era inferior a 7  $N.m$  e portanto o motor disponível era apto de ser utilizado.

A troca dos motores implicou várias alterações:

1. Ao retirar o motorreductor da plataforma de depósito de pó verificou-se que a rosca dos furos que permitiam a fixação do motor estava moída, sendo necessário alargar o furo e voltar a roscar antes de o colocar na plataforma de construção;
2. Como o veio de saída do novo motor possuía um diâmetro maior (14  $mm$ ) e ligeiramente mais comprido, um novo acoplamento seria necessário;
3. As duas estruturas de suporte dos motores necessitavam de ser alteradas. Como o motor a usar tinha maiores dimensões, a estrutura da plataforma do depósito tinha de ser maquinada de maneira a aparafusar o motor com as novas dimensões. Como os furos do motorreductor seriam alargados, o mesmo teria de ser feito na sua estrutura de suporte.

Para alargar os furos do motorreductor e roscar, foi necessário retirar a tampa do redutor, esta que estava fixada com 4 parafusos e um anel elástico. De seguida, alargaram-se os furos com uma broca de 5,25  $mm$  e roscou-se M6 com a ajuda de um kit de roscagem (figura 4.23).

A figura 4.24 mostra o desenho de definição do acoplador para o novo motor, maquinado no departamento. As medidas e a ficha técnica deste motor podem ser vistas no anexo IV.

Por fim, foi necessário alterar a estrutura de suporte dos motores. Na figura 4.25 pode-se ver as alterações feitas e a aplicação do motor na máquina. Ao contrário dos outros motores, optou-se pela roscagem dos furos no suporte, assim o aperto é feito a partir de baixo. A decisão foi feita de modo a facilitar a montagem e desmontagem do conjunto, havendo assim mais espaço para manusear com a chave.

No suporte do motor referente à plataforma de construção, apenas houve a necessidade de alargar os furos que permitem o aparafusamento no motorreductor com diâmetro 6,25  $mm$ .



Figura 4.23: Fotografia do processo de roscagem do motorreductor.

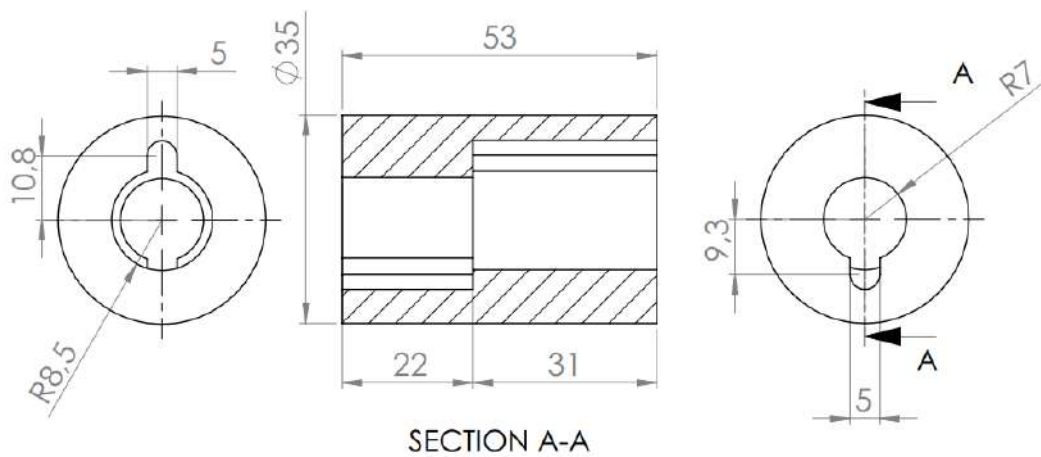


Figura 4.24: Desenho de definição do acoplador do motor.

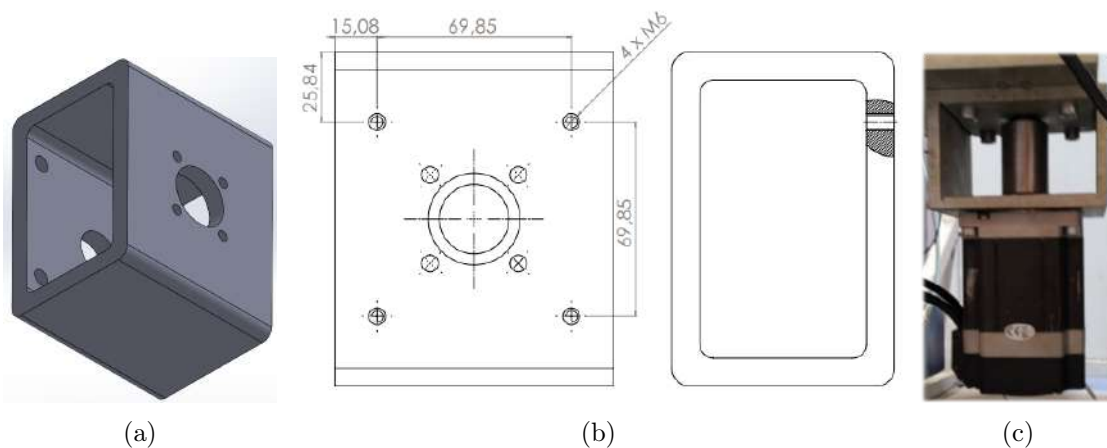


Figura 4.25: Fixação do motor na máquina: (a) Suporte inicial, (b) Desenho das alterações efetuadas, (c) Aplicação do motor e acoplamento na máquina.

A adição deste motor deve ser tomada como uma solução temporária, pelo que no futuro, devia-se colocar um motorreductor idêntico ao utilizado previamente.

- Resolução do Problema 6 - Desperdício de matéria prima.

Para reduzir o uso excessivo de matéria prima nos testes iniciais, foi pensada uma forma de redução da mesa de trabalho. Esta teria de ser aplicada entre as duas plataformas existentes de maiores dimensões. A utilização de uma nova área de trabalho implicava também uma varredora adequada. Deste modo procedeu-se ao desenvolvimento da mesa e da varredora.

A solução pensada continha duas plataformas redondas com diâmetro de 60 *mm* e era composta por 9 componentes diferentes. A vista isométrica em corte da montagem da mesa (figura 4.26) mostra as diferentes partes usadas para construção da mesa:

1. Base do pó;
2. Base da plataforma do pó;
3. Anel de teflon do pó;
4. Plataforma de depósito do pó;
5. Base da plataforma de construção;
6. Anel de PTFE;
7. Anel de fixação;
8. Plataforma de construção;
9. Depósito do pó em excesso.

Os anéis de PTFE foram colocados à pressão dentro dos furos da base do pó com a ajuda da máquina de ensaios mecânicos do DEM. Estes servem para causar alguma estabilidade nos movimentos das plataformas e impedem que o pó metálico caia. Do lado da construção, foi necessária a utilização de mais um componente. A plataforma não deveria ter um parafuso a meio da sua geometria, pois iria danificar a camada do pó e provocar uma sinterização deficiente. Deste modo foi adicionado outro componente, o 8, com dois parafusos em pontas opostas, deixando o centro da plataforma apto para impressão. O PTFE também não poderia ficar à superfície para não fundir com o feixe do laser. Para a sua montagem foram necessários 2 parafusos FHC M6 × 80 *mm*. O primeiro aloja-se na peça 4 e aparafusa na base da plataforma antiga, segurando o anel de PTFE e a sua base. O outro é introduzido no topo da peça 7 e aparafusa também na base da plataforma de construção de grandes dimensões, seguindo a mesma lógica. A peça 7 fica aparafusada à peça 6 com 2 parafusos FHC M4 × 8 *mm*. O uso dos parafusos FHC permite que a sua cabeça fique embutida, ficando à face das peças. O depósito do pó em excesso (peça 9) é fixo contra a base com um perno roscado. A base das novas plataformas fica fixa no centro da base da câmara, através de quatro parafusos CHC M4 × 30 *mm*. Os desenhos de definição das várias peças podem ser vistos no apêndice C e no apêndice D está representada a montagem da mesa em vista explodida isométrica e em desenho de conjunto. Para complementar a inserção da nova mesa, produziu-se também a varredora, composta por quatro componentes diferentes. Uma barra de apoio que é aparafusada nas guias com dois parafusos CHC M5 × 30 *mm*, um suporte para a varredora, a própria

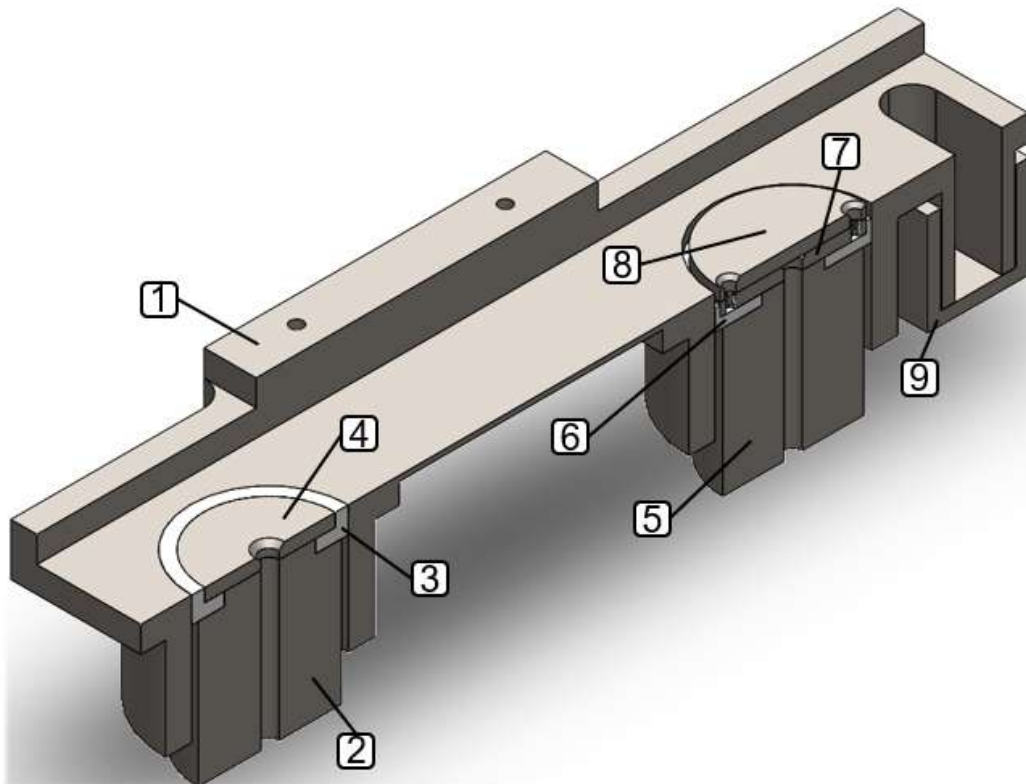


Figura 4.26: Vista isométrica em corte da mesa reduzida.

varredora e a peça de fixação. O suporte aparafusa na barra de apoio com dois parafusos CHC M5 × 40 mm e a peça de fixação é aparafusada no suporte com um parafuso CHC M6 × 30 mm, fixando a varredora através da compressão. Optou-se por uma varredora não rígida, feita de PTFE e com um design curvo (figura 4.27). Na figura 4.28 é possível verificar a montagem do conjunto no interior da câmara em modelação 3D e na figura 4.29 pode-se ver o processo de aplicação das plataformas de dimensões reduzidas. Os desenhos de definição das várias partes da varredora encontram-se no apêndice E.

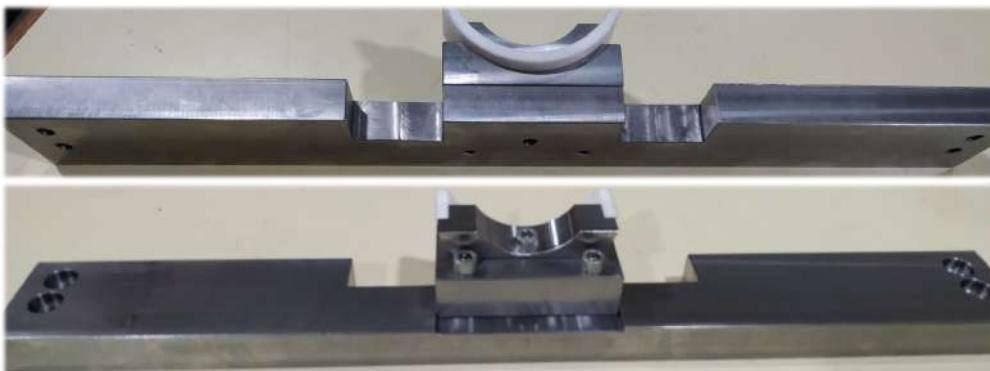


Figura 4.27: Fotografia da varredora para a nova área de trabalho

As novas plataformas de dimensões reduzidas têm uma área de 2826 mm<sup>2</sup>. Para fazer



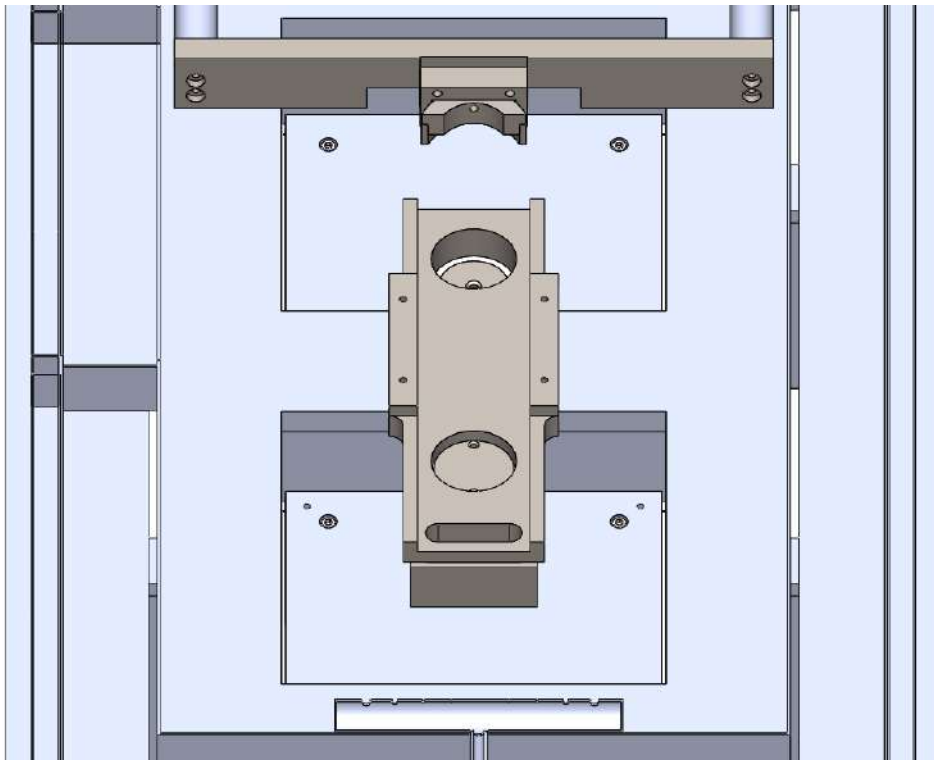


Figura 4.28: CAD da montagem da nova mesa de trabalho e varredora



(a)



(b)

Figura 4.29: Aplicação da mesa de dimensões reduzidas na máquina: (a) Fotografia do processo de roscagem da base da câmara, (b) Fotografia da mesa aplicada na máquina.

uma camada de pó de  $0,05 \text{ mm}$  são necessários  $141,3 \text{ mm}^3$  de pó metálico, diminuindo assim o uso de pó em mais de 94 % para os testes iniciais, reduzindo desperdício de matéria prima.

- Resolução do Problema 7 - Quadro e esquema elétrico.

Devido aos problemas indicados na secção 3.3, tornou-se necessária a reformulação do quadro elétrico. Para essa alteração foi necessário um armário de maiores dimensões ( $600 \text{ mm} \times 800 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$ ) e surgiu a necessidade de o fixar na máquina. O quadro

deveria ficar numa posição ergonómica e de modo a permitir um acesso fácil para efetuar as ligações e manutenção. Deste modo optou-se pela elaboração de uma estrutura de fixação com altura regulável na zona frontal da máquina, do mesmo lado da porta da câmara de sinterização. Toda a estrutura foi feita usando tubo de aço de secção quadrada  $20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$  com  $1,5\text{ mm}$  de espessura e duas pontas de cantoneira em L com  $30\text{ mm}$  para ajudar a fixação do quadro na estrutura principal da máquina.

O quadro já se encontrava preparado para ser aparafusado nos 4 cantos das suas costas, assim, foram aparafusadas duas secções de tubo com  $800\text{ mm}$  de comprimento na vertical, uma em cada lado do quadro, ficando estas distanciadas de  $560\text{ mm}$  entre as suas paredes interiores. Na estrutura da máquina foram soldadas 2 secções de tubo idênticas na lateral da viga de perfil IPE 200, distanciadas de  $559\text{ mm}$  entre as suas paredes exteriores, de maneira a permitir que as secções de tubo aparafusadas no quadro encaixem por fora, escondendo assim a estrutura soldada na máquina. Para uma fixação mais resistente, foram soldadas também as duas pontas de cantoneira na parte superior da viga e no tubo de secção quadrada, para que as soldaduras não fiquem todas em corte. A cantoneira encontra-se a  $200\text{ mm}$  da parte inferior do tubo (altura da viga de perfil IPE 200), de modo a permitir a soldadura da parte inferior do tubo na parte inferior da viga. Na figura 4.30a é possível ver a estrutura de um dos lados do quadro e na figura 4.30b pode-se ver o quadro fixo na máquina.

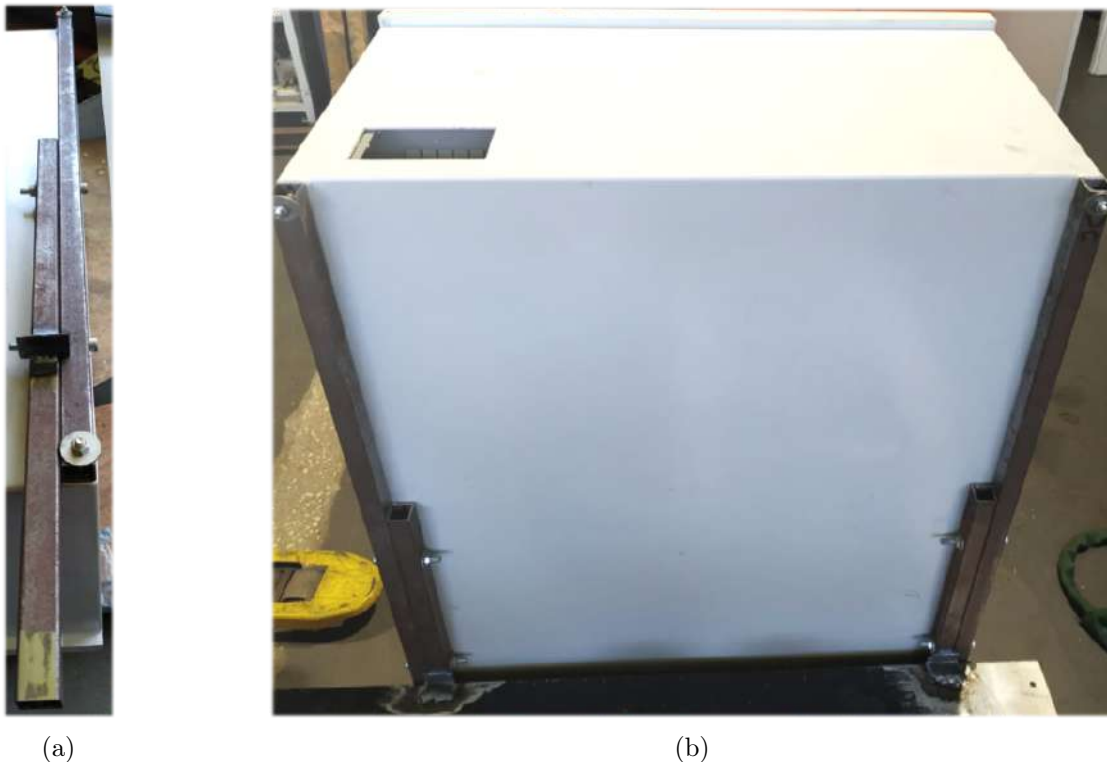


Figura 4.30: Fixação do novo quadro na máquina: (a) Fotografia da estrutura de fixação de um dos lados do quadro, (b) Fotografia do quadro fixo na máquina.

A ligação entre as secções de tubo aparafusadas no quadro e a estrutura soldada na máquina é feita através de 4 parafusos  $\text{CHC M5} \times 50\text{ mm}$  com fêmea, distanciados de

180 mm. Inicialmente o quadro foi colocado a 900 mm do chão, estando assim a sua parte superior a 1700 mm, mas esta altura é regulável. Para aumentar ou diminuir a altura do quadro basta desapertar os últimos 4 parafusos e voltar a furar os tubos aparafusados no quadro à mesma distância (180 mm).

- Resolução do Problema 8 - Fixação do gerador do laser (YLR-200-AC).

Da mesma forma que o quadro, o gerador do laser necessita de uma estrutura de fixação na máquina numa zona de fácil acesso. Observando os locais disponíveis para a colocação do componente, e após colocação do quadro eléctrico, o local mais acessível para o operador seria entre a câmara de sinterização e o quadro eléctrico, por baixo da viga da estrutura principal (figura 4.31).

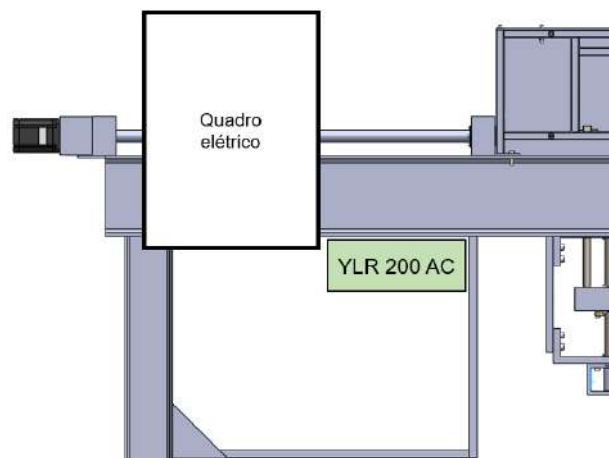


Figura 4.31: Posição do gerador do laser na máquina.

Para tal, foi feita uma estrutura usando o mesmo tubo de aço de secção quadrada (20 mm × 20 mm) com 1,5 mm de espessura e ainda duas secções de cantoneira de aço laminado (25 mm × 25 mm × 2 mm) em que o componente entrasse como se tratasse de uma gaveta. Como é possível ver na figura 3.12, este componente já tem umas abas próprias para aparafusar que servem também de batente. O gerador do laser tem as dimensões 448 mm × 500 mm × 177 mm, sendo a sua profundidade superior à distancia entre as duas vigas laterais de perfil IPE 200, possibilitando assim a soldadura da estrutura nessas vigas. Na figura 4.32a pode-se ver a estrutura elaborada, sendo que todas as juntas são soldadas a TIG e na figura 4.32b é possível ver o componente colocado na estrutura elaborada. É de notar que a figura 4.32a é vista em corte e imediatamente por cima do gerador se encontram as vigas da estrutura da máquina, às quais se encontra soldada a estrutura.

## 4.2 Projeto Elétrico

Após as soluções apresentadas para as adversidades mecânicas da máquina, nesta secção serão apresentadas as soluções para os problemas relacionados com o projeto eléctrico. Com base nas afirmações da secção 3.3, tornou-se uma necessidade a reformulação do esquema e quadro eléctrico.

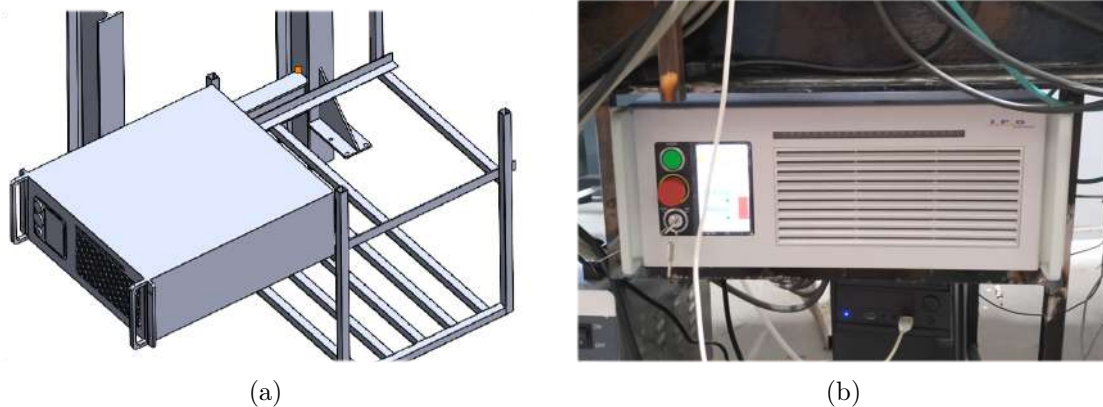


Figura 4.32: Colocação do gerador do laser na máquina: (a) Estrutura de fixação do componente, (b) Fotografia do componente colocado na máquina.

À medida que esta reformulação acontece, vão-se resolvendo também os problemas de projeto elétrico relativos aos outros pontos. O esquema elétrico atualizado pode ser visto no apêndice A.

- Resolução do Problema 8 - Quadro e esquema elétrico.

Começou-se pela criação de uma página dedicada à alimentação dos vários componentes, adicionando um disjuntor para cada um deles. Nessa página foram criadas tomadas para ligar os componentes externos necessários como o computador de trabalho da máquina e o refrigerador do defletor de sinais do laser. Para resolver o problema 4, juntamente com as tomadas, adicionou-se uma eletroválvula capaz de comandar a injeção do argon na câmara de sinterização.

- Resolução do Problema 3 - Ausência de uma atmosfera inerte.

A válvula selecionada deveria ser apropriada para argon e o diâmetro do tubo de saída deveria ser compatível com a mangueira usada, de 6 mm. Posto isto foi selecionada a eletroválvula 24/50-M12x1 yg2t-2 da Electrex, representada na figura 4.33a. A ficha técnica da eletroválvula pode ser vista no anexo V.

Este item satisfaz todos os requisitos e é tipicamente usada em máquinas de soldar. No entanto, como é possível ver na imagem apresentada, a ficha da válvula segue a norma DIN 435650 B [69], tornando-se necessária a aquisição de um adaptador idêntico ao da figura 4.33b.

A válvula não deveria ficar no quadro elétrico mas sim próxima da entrada de argon de modo a reduzir o comprimento da mangueira. Deste modo foi feita uma chapa para a fixação da válvula na viga da estrutura principal da máquina, numa zona próxima do local de injeção de argon (figura 4.34).

O furo de menor diâmetro (figura 4.34a) é utilizado para aparafusar a chapa à viga através de um conjunto porca e parafuso M5, enquanto o de maior diâmetro é responsável pela fixação da eletroválvula, permitindo a colocação da chapa entre a entrada da eletroválvula e o acessório para ligar à mangueira (ligação M12), como é possível ver na figura 4.34b.

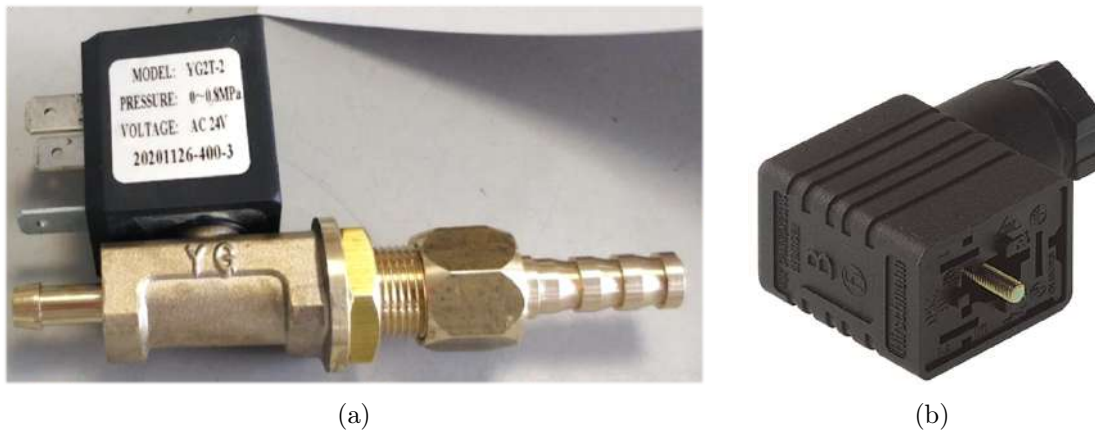


Figura 4.33: Eletroválvula para o árgon: (a) Fotografia da eletroválvula utilizada, (b) Fotografia do adaptador da eletroválvula.

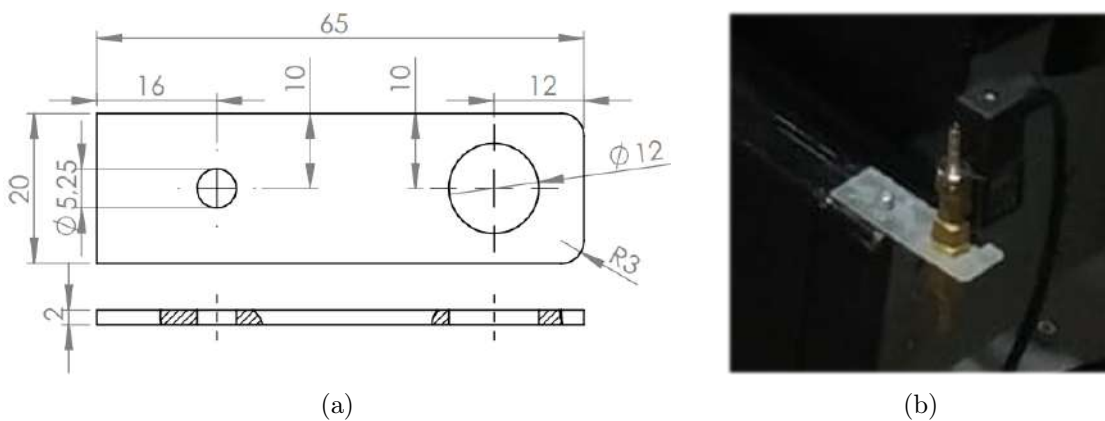


Figura 4.34: Fixação da eletroválvula: (a) Desenho de definição da chapa, (b) Pormenor de fixação da eletroválvula.

De modo a completar o sistema de criação de uma atmosfera inerte, torna-se indispensável saber quando é que esta se encontra em condições para dar início ao processo de sinterização. Assim tornou-se necessária a integração de um sensor de oxigénio no seu interior. Após avaliar as opções no mercado verificou-se que nenhum sensor era compatível com as placas NI 9401 e NI 9403 instaladas, pois estas não suportam os protocolos de comunicação geralmente usados pelos sensores como RS232, RS485, UART, entre outros. Assim, para integrar o sensor usando o módulo de aquisição e processamento de dados compacto cDAQ-917 presente no quadro (figura 3.14), seria necessária a aquisição de outra carta de expansão da NI que permitisse a leitura dos sinais emitidos pelo sensor. Após alguma pesquisa verificou-se que esta era demasiado dispendiosa apenas para o efeito pretendido, e optou-se pela utilização de um sistema externo de medição do nível de oxigénio na câmara, usando um micro-controlador e um sensor de oxigénio compatíveis com arduino. Foi selecionado o sensor de células eletroquímicas ME2-O2- $\phi$ 20 da Winsen (figura 4.35a) capaz de efetuar a leitura em valores entre 0 e 25 % através da sua tensão de saída, que é diretamente proporcional à concentração de oxigénio. As restantes especificações podem ser vistas na sua ficha técnica no anexo XI. Para ler os valores

enviados pelo sensor foi selecionado o micro-controlador Seeeduino v4.2 compatível com arduino (figura 4.35b, anexo XIII) e uma placa de expansão necessária para efetuar a leitura do sensor, a Grove Base Shield V2.0 (figura 4.35c, anexo XIV). Para conectar o sensor à placa tornou-se também necessária a aquisição de um cabo de 4 pinos universal da Grove (figura 4.35d).

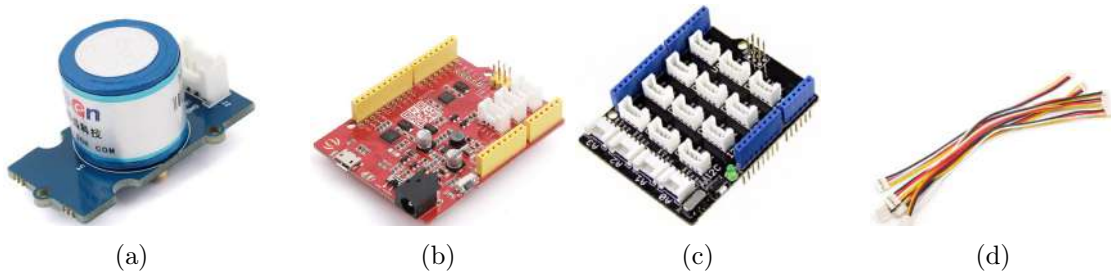


Figura 4.35: Componentes para medição do nível de oxigénio: (a) Fotografia do sensor de oxigénio usado, (b) Fotografia do micro-controlador, (c) Fotografia da placa de expansão da Grove, (d) Fotografia do cabo universal de 4 pinos da Grove.

O cabo adquirido deve ser conectado entre o sensor de oxigénio e a entrada A0 da placa de expansão, de modo a que o código enviado para o micro-controlador funcione e este seja capaz de ler os valores. O código arduino de leitura do sensor encontra-se no apêndice XI.

Verificou-se ainda a existência de um debitómetro à saída da garrafa de argon que permitia o controlo do caudal de gás, deste modo, tornou-se desnecessária a aquisição e instalação de um componente similar.

Ainda na mesma página do esquema foram deixadas 2 réguas de bornes, a X1 responsável pela conexão das fontes aos respetivos componentes e a régua X2, que permite fazer a ligação da eletroválvula. Foram também adicionados fusíveis de proteção devidamente identificados com a sua amperagem, para facilitar possíveis futuras trocas. Nas duas páginas seguintes encontram-se representadas as ligações dos motores, desta feita com o variador de frequência do motor da varredora correto, o RS PRO 510 (figura 3.8). Os cabos foram devidamente identificados e foi adicionada a régua de bornes X3, responsável pelas ligações do motor trifásico. Na página de ligações dos motores de passo foram adicionadas as ligações dos respetivos encoders e identificados os fusíveis de proteção dos componentes. Apesar da necessidade de trocar um dos motores de passo, esta foi tomada como uma solução temporária e optou-se pela não alteração do motor, do controlador e da sua fonte no esquema elétrico, apesar do impacto reduzido pois as ligações a efetuar são idênticas. O controlador utilizado para o novo motor em questão foi o CL86T da Stepperonline (anexo XII) e a sua alimentação é feita por uma fonte de 60 V, sendo esta a maior diferença entre eles.

- Resolução do problema 9 - Segurança.

A ausência de um sistema de segurança (problema 9) era um dos maiores defeitos da máquina em questão. Deste modo tornou-se essencial o desenvolvimento de um circuito que permitisse a todos os intervenientes uma interação segura com a máquina. Era essencial que tanto o laser como o motor da varredora não conseguissem trabalhar com a porta aberta, para proteger a integridade física dos envolvidos. Como tal, foi pedido

um orçamento à empresa Quadtel do quadro elétrico com um sistema de segurança apropriado, com um relé de segurança da marca SICK. Após a receção do orçamento verificou-se que este seria demasiado dispendioso e optou-se pela criação de um sistema de segurança usando um relé mais simples.

De modo a possibilitar a criação deste sistema, foi necessário integrar primeiro um sensor de porta aberta na máquina. Após avaliar as opções disponíveis, decidiu-se pela utilização de um atuador magnético para interruptor de posição BPS 250 da marca Schmersal. O interruptor foi aplicado na máquina com a ajuda de uma ponta do mesmo tubo de secção quadrada usado para a fixação do quadro e do gerador do laser, soldado na estrutura da parede da câmara exterior, enquanto o atuador foi diretamente aparafusado na porta da câmara (figura 4.36). As duas peças foram instaladas no mesmo plano e a cerca de 6 mm de distância, sabendo que o seu intervalo de funcionamento é entre 4 a 14 mm (anexo VI). Na figura 4.36b a porta não se encontra totalmente fechada.



Figura 4.36: Aplicação do sensor de porta aberta na máquina: (a) Pormenor de aplicação do interruptor, (b) Montagem do interruptor e atuador magnético na máquina.

Após aplicado o sensor de porta aberta tornou-se possível a integração do sistema de segurança na máquina, cujo circuito se encontra representado na página 10 do esquema e na figura 4.37.

Como é possível ver na ficha técnica do sensor, este possibilita fazer uma ligação em que o contacto seja normalmente aberto ou normalmente fechado. Para o efeito requerido, era necessário a utilização de um contacto normalmente aberto, de maneira a que ao fechar a porta promova o fecho do contacto. Deste modo efetuou-se a ligação dos fios GY / PK (cinzento / cor de rosa).

Foram adicionados também botões para iniciar e parar a máquina, o 10SB03 e 10SB02 respetivamente, uma botoneira de emergência com encravamento SB01, e um led que indica que a máquina se encontra não operacional (HL02).

Quando o sensor indica que a porta está fechada o relé da porta (10KA1 R\_door) dispara, fazendo o seu contacto fechar. Para desativar o relé de segurança é necessário que a botoneira de emergência se encontre desencravada, que a porta se encontre fechada e que o botão de paragem da máquina não se encontre premido. Com estas 3 condições,

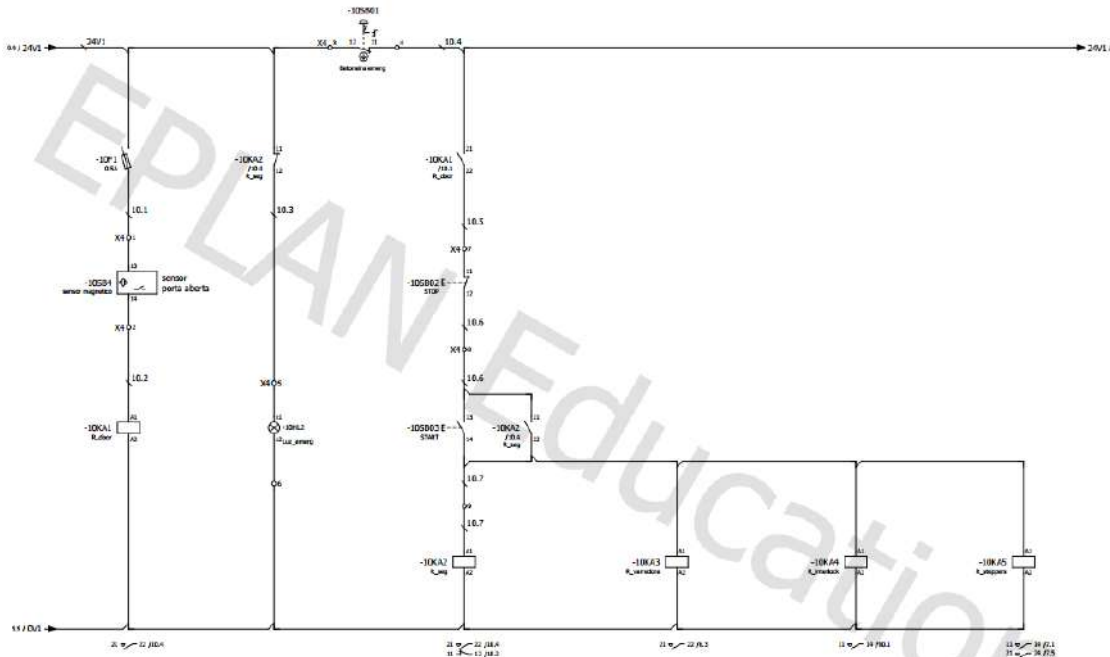


Figura 4.37: Página de segurança do esquema eléctrico

a máquina fica operacional e o led indicador do estado de emergência irá desligar, permitindo assim o acionamento dos relés da varredora, do laser e dos motores de passo. Como seria lógico, a botoneira de emergência impede o acionamento destes relés, cortando a alimentação necessária ao seu funcionamento e ativando assim o estado de emergência. Como se pode observar nas páginas de ligações dos 3 motores, adicionaram-se contactos abertos dos relés da varredora e dos motores de passo antes, impedindo assim o seu funcionamento com o relé não acionado.

A página seguinte do esquema é dedicada às ligações das entradas e saídas digitais da placa NI 9403 (figura 3.15), onde as alterações mais relevantes foram a adição das ligações do refrigerador do laser (X5) e a adição de um relé para acionamento da eletroválvula do árgon para possibilitar a automatização dos componentes. Além disso todas as ligações dos controladores dos motores de passo que não necessitam de sinais pulsados (alarmes, enables e direção) foram realizadas neste módulo, deixando a carta NI 9401 exclusivamente para geração dos sinais pulsados (Pul+) como se verifica na página seguinte do esquema.

A última fase da reformulação do esquema eléctrico tornou-se na resolução do problema 10, referente às ligações entre a placa de expansão SP-ICE-3 do computador (figura 3.13) e o gerador de sinais do laser (figura 3.12).

- Resolução do problema 10 - Comunicação entre a placa SP-ICE-3 e o gerador de sinais do laser (IPG).

Conforme indicado na secção 3.3, a placa instalada no computador não comunicava com gerador de sinais do laser, deste modo era impossível controlar os parâmetros do feixe do laser como a sua intensidade através do software WeldMark 3, parâmetro com uma grande influência no processo como foi possível ver na secção 2.3.3. Deste modo



o disparo do laser teria de ser manual através do pequeno ecrã do IPG, assim como o seu cancelamento. Conforme foi referido na secção 3, o adaptador que permite a comunicação entre os dois componentes não foi fornecido, pelo que o cabo teria de ser fabricado manualmente.

Segundo o manual da placa de controlo, a ficha responsável pelo comando do laser é a X907, de 15 pinos, que terá de comunicar com a ficha de 24 pinos do gerador do laser. A descrição dos pinos de cada ficha pode ser vista nos anexos VII e VIII respetivamente.

O laser já possui um sistema de segurança integrado, denominado de interlock (anexo IX). Este consiste na ligação dos pinos 1/4 e 2/3 entre si com um interruptor. Se estes não se encontrarem ligados o laser automaticamente isola o sinal de 24 VDC do restante sistema. Deste modo foi aplicado um contacto duplo relativo ao relé de segurança do laser (10KA4 R\_interlock), assim, sempre que o relé de segurança acione, o interlock é imediatamente desligado, impedindo o disparo do laser. Os pinos 8 e 9 do laser necessitam também de ser ligados entre si de modo a permitir acionamento do controlo remoto através da rotação da chave para o indicador REM. Para proporcionar o acionamento do laser, também em modo remoto, os pinos 10/11 foram ligados entre si com um botão de contacto normalmente aberto (anexo X). Assim, em controlo remoto, o laser será acionado assim que o botão START LASER é pressionado. De modo a controlar o ponto máximo da corrente do laser (setpoint) de modo externo, conectou-se a entrada analógica de controlo de corrente (pino 12) com o pino 8 da placa de controlo, sendo este uma saída analógica. Deste modo é possível o controlo da intensidade do laser através da definição da sua percentagem. Como é possível ver na descrição do pino 8 da SP-ICE-3, o sinal de saída tem um intervalo possível de 0 a 10 VDC, o mesmo intervalo aceite pelo pino 12 do gerador do laser. Um sinal de 10 VDC corresponderá então a um setpoint de 100 %, equivalente a 200 W. Devido à ligação do pino 12, conectou-se o pino 14 do laser correspondente ao comum do sinal analógico ao pino 14 da placa de controlo.

De modo a permitir a modulação do sinal do laser emitido, conectou-se a entrada digital do pino 15 (Modulation +) ao primeiro pino da carta de controlo, correspondente à saída LM (Laser Modulation). Conforme descrito no pino 18 do laser, este é o responsável pela permissão da emissão do feixe do laser para o defletor. Deste modo, o pino foi ligado à saída 12 da SP-ICE-3. Para concluir a modulação e comandar a emissão do laser, o pino 16 em conjunto com o pino 20 (comuns da modulação e emissão) irão fazer a ligação com os pinos 3 (start mark), 10 (terra) e 11 (abort mark) da placa de controlo, com dois botões de contactos abertos para controlo remoto. Assim, sempre que pressionado o botão respetivo à iniciação da marcação, ocorre a emissão do laser, e se o botão de cancelamento for pressionado a emissão do laser é desativada. Foi ainda adicionado um botão de modo a resetar todos os erros possíveis que poderão ter acontecido durante o processo ou configuração do sinal.

Após a conclusão do projeto elétrico, o quadro foi então orçamentado e concretizado com a ajuda da empresa Quadtel (figura 4.38), já com as ligações efetuadas no departamento. Na figura é possível ver que os botões de início e pausa da máquina foram aplicados na porta do quadro, assim como a botoneira de emergência, de modo a ficar num sítio de fácil acesso.

Após colocado o quadro na máquina e efetuadas todas as ligações, o aspeto final da máquina pode ser visto na figura 4.39.

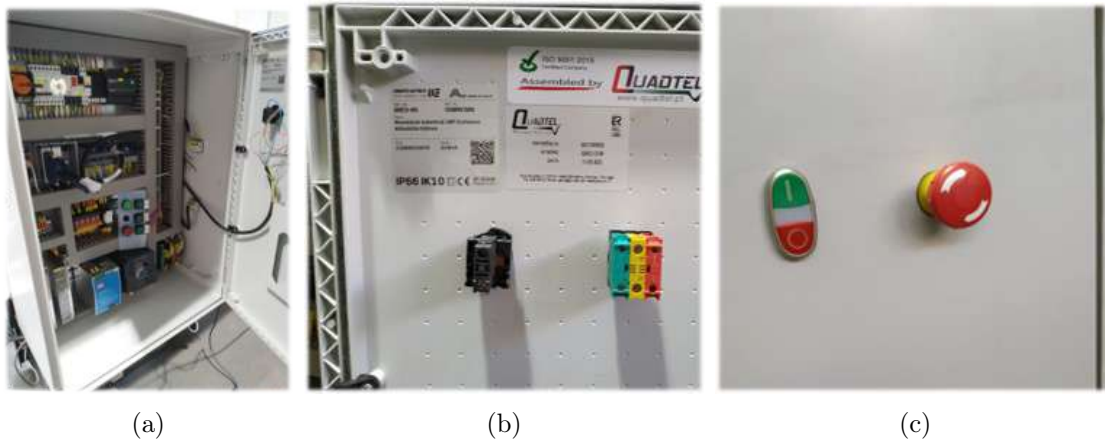


Figura 4.38: Quadro elétrico atualizado: (a) Fotografia do layout do novo quadro elétrico, (b) Fotografia da parte interior da porta do quadro, (c) Fotografia do lado exterior da porta do quadro com os botões aplicados.



Figura 4.39: Fotografia da máquina após resolução dos problemas identificados.

### 4.3 Colocação do Laser em modo de controlo remoto

Para conseguir efetuar a comunicação entre o software WeldMark 3 utilizado para o processo de sinterização, é necessário que o laser opere em modo remoto. Para tal, o primeiro passo é rodar a chave para o indicador "ON", do lado direito, e usar o pequeno ecrã implementado para configurar o laser (anexo X). Como é possível ver na figura 4.40a, a emissão do laser encontra-se em modo de controlo interno, assim como o guia de controlo do laser. De forma a que estas opções fiquem modo de comando externo, é necessário abrir a página de configuração e permitir o controlo externo da modulação, da emissão e do guia do laser, clicando em cima delas (figura 4.40b). Na figura 4.40c é possível ver o ecrã final do laser após ter sido configurado para trabalhar em modo remoto.

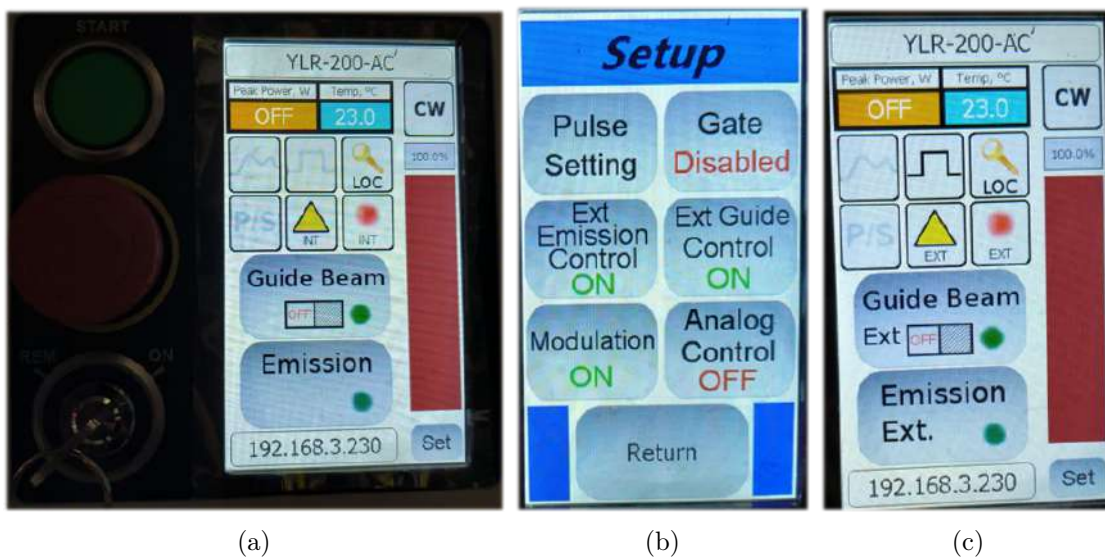


Figura 4.40: Configuração do laser para modo remoto: (a) Fotografia do ecrã no estado inicial, (b) Fotografia da configuração do ecrã para ativar o modo remoto, (c) Fotografia do ecrã do laser configurado para modo remoto.

Após configurado o laser para atuar em modo remoto, vira-se a chave para o indicador REM (remoto), bloqueando o ecrã do laser. Deste modo o laser está pronto a ser controlado externamente.

A configuração do laser para modo remoto pode ser feita também usando uma ligação Ethernet com um computador (anexo XV). Após a ligação do cabo, o utilizador deve aceder às propriedades da conexão, selecionar o protocolo de comunicação TCP/IPv4 e substituir o ip por: 10 . 0 . 0 . X, em que X tem de ser diferente de 10 e substituir a mascara do ip por: 255 . 0 . 0 . 0. Após esta substituição é necessário abrir o motor de pesquisa e colocar o IP apresentado no laser. Neste caso o IP (192.168.3.230) é visível na figura 4.40 e na figura 4.41 é possível ver a página de configurações do laser.

#### 4.3.1 Comunicação Weldmark / SP-ICE-3 / Laser

Após resolução do problema 6 e efetuadas as ligações entre o gerador do laser e a placa SP-ICE-3, tornou-se possível a comunicação entre o weldmark e o laser. De modo a es-

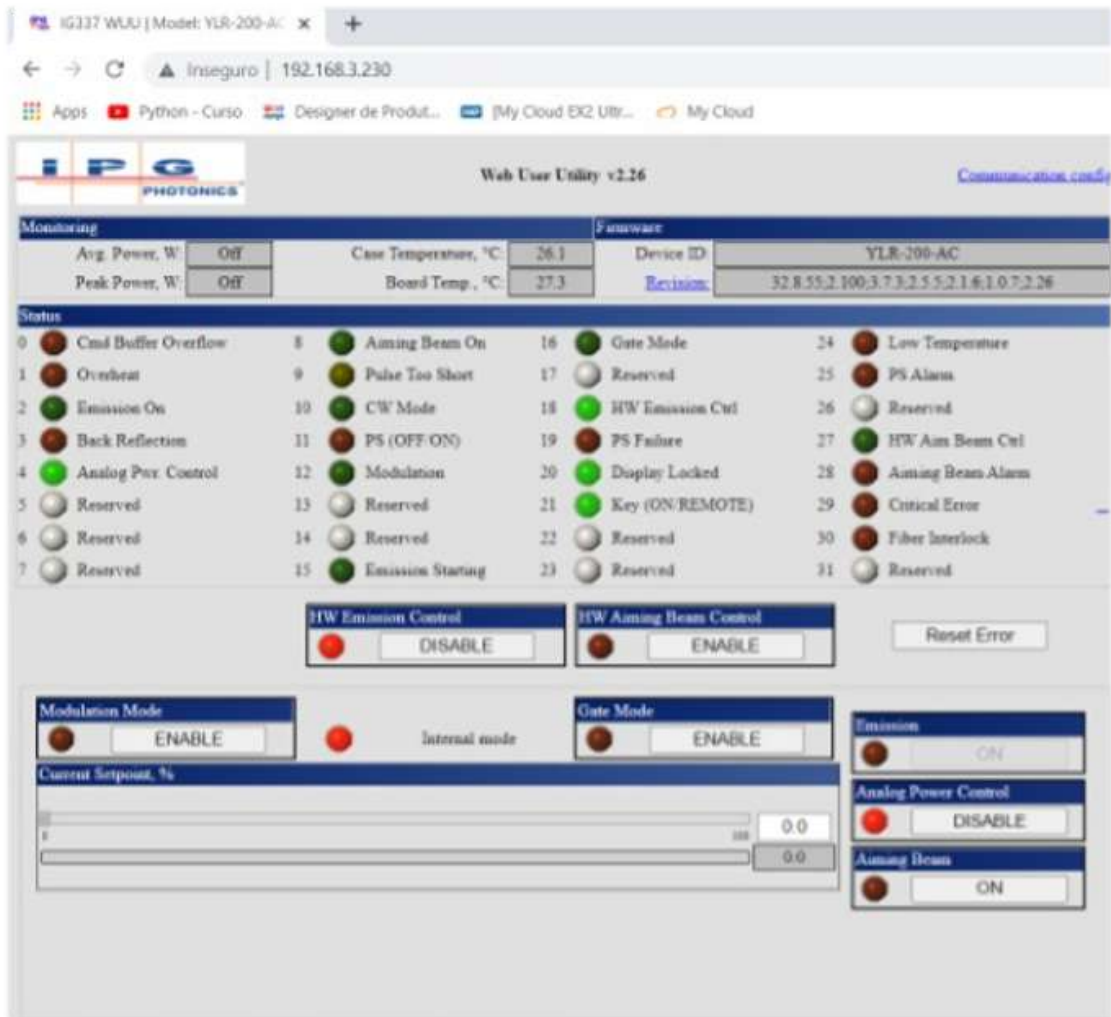


Figura 4.41: Página de configuração do laser.

tabelecer esta comunicação, é necessário configurar o WeldMark 3 para tal. Em primeiro lugar, após abrir o WeldMark, é necessário aceder ao separador de "System" e seleccionar "Card Manager". Na página aberta, deve-se seleccionar a placa SP-ICE-3 e carregar no botão "Discover", de modo a procurar as placas compatíveis. Na caixa ao lado, são mostradas as placas encontradas, onde deve ser seleccionada a carta pretendida e posteriormente carregar no botão "Add". Adicionada a carta, na página principal do weldmark, a carta SP-ICE-3 deve ser seleccionada na *combo box* no canto superior direito, ficando assim o software configurado para trabalhar com a placa (anexo XVI). Posteriormente procedeu-se à configuração do laser de acordo com as instruções do fornecedor, estando estas expostas no anexo XVII. Após a configuração da placa e do software, podem ser efectuados os testes iniciais à máquina.

Parte III

Resultados e Discussão



## Capítulo 5

# Ensaaios e Resultados Experimentais

No presente capítulo serão apresentados os testes efetuados de maneira a perceber se a máquina se encontra capaz de produzir alguma peça metálica. Primeiramente foram efetuados testes ao laser, de modo a que este fique focado.

### 5.1 Foco e Correção do Laser

Primeiramente procedeu-se ao desenho de uma circunferência com raio de  $60\text{ mm}$  através do *software* weldmark, utilizando uma chapa como base para não marcar a estrutura da máquina. O resultado obtido pode ser visto na figura 5.1, onde se verifica que a geometria pretendida não foi conseguida. Além da geometria incongruente, o desenho obtido tinha dimensões muito superiores ao pretendido, cujo seu comprimento e largura eram, respetivamente,  $130\text{ mm}$  e  $98\text{ mm}$ .



Figura 5.1: Fotografia do primeiro teste efetuado ao laser.

Devido aos resultados apresentados, verificou-se que previamente foi selecionado um ficheiro de calibração para um campo de trabalho de  $250\text{ mm} \times 250\text{ mm}$  (figura 5.2), incompatível com o campo de  $470\text{ mm} \times 470\text{ mm}$  para qual a cabeça galvanométrica veio configurada do fornecedor, conforme foi descrito na resolução do problema 7.

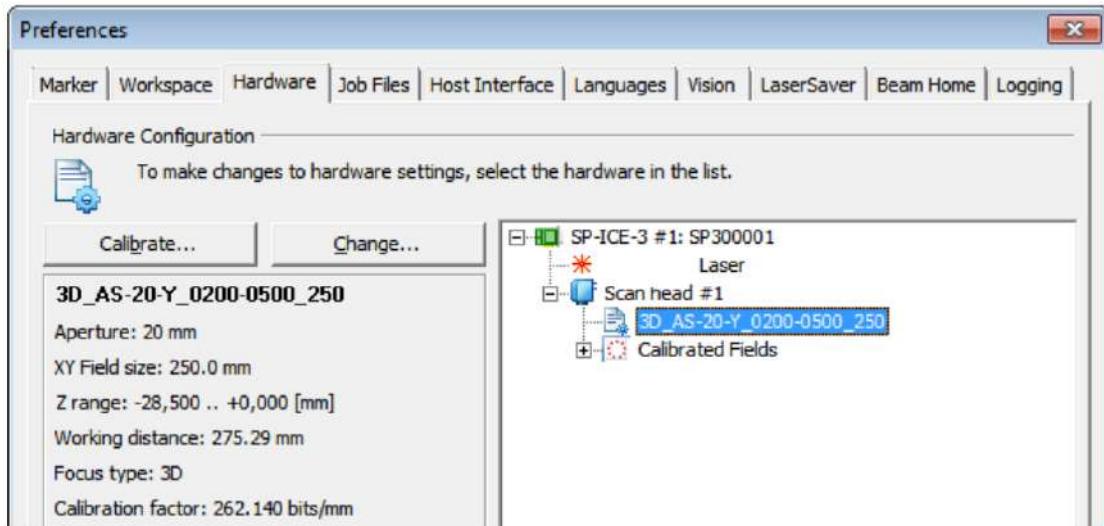


Figura 5.2: Recorte do WeldMark 3 com identificação da página de calibração do defletor.

Deste modo procedeu-se à alteração do ficheiro, clicando no botão "Change". Dos documentos disponíveis para seleção, nenhum deles era referente a um campo de trabalho de  $470\text{ mm} \times 470\text{ mm}$ , portanto foi escolhido o mais próximo possível, sendo este  $450\text{ mm} \times 450\text{ mm}$ , com uma distância de trabalho semelhante à qual o defletor se encontra da área de trabalho.

Com as alterações efetuadas, foi possível desenhar as geometrias na chapa com as dimensões pretendidas. Na figura 5.3 pode-se ver a marcação exterior de um provete com  $30\text{ mm}$  de comprimento. A medição foi efetuada através de um paquímetro digital.



Figura 5.3: Fotografia da marcação de um provete.



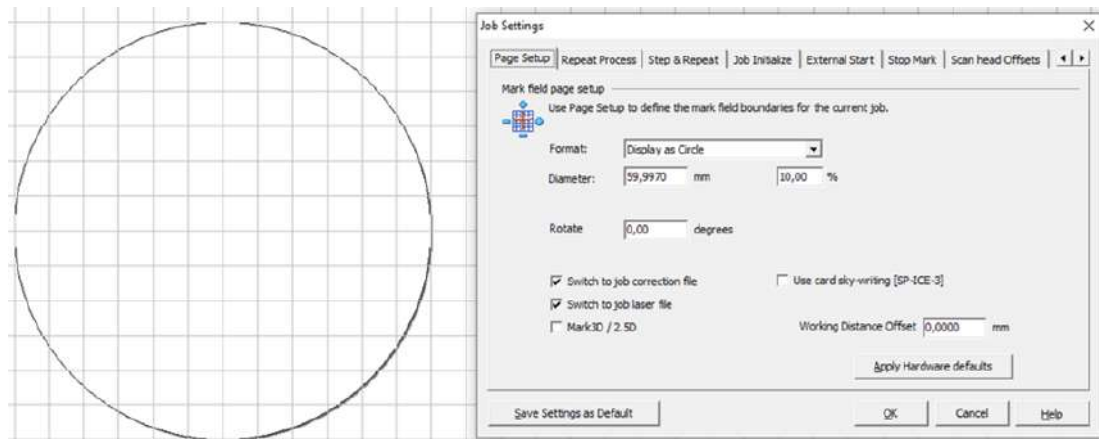
Contudo, o ficheiro de calibração não corresponde ao requerido pelo defletor e o feixe do laser encontrava-se assim desfocado e com um diâmetro superior ao esperado. Como é possível ver na figura 5.4, o ponto de incidência do laser não corresponde com o seu guia.



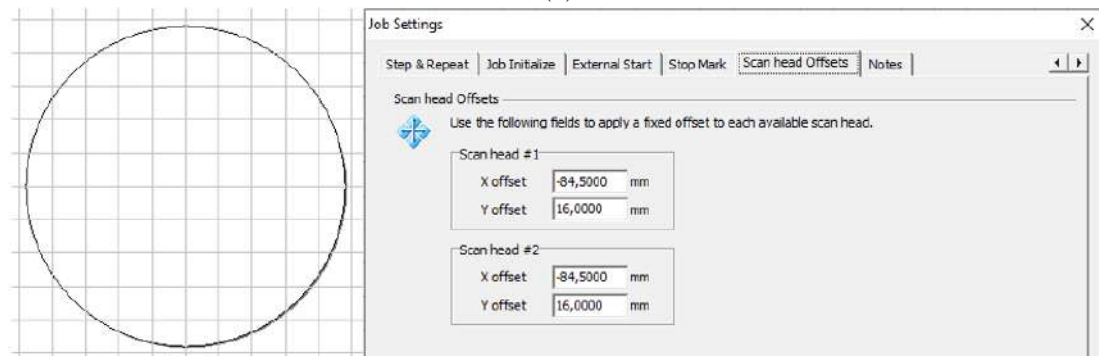
Figura 5.4: Fotografia do desalinhamento do feixe do laser e do seu guia.

Assim sendo, procedeu-se à tentativa de criação um ficheiro de calibração para o equipamento em questão. No entanto, foram encontradas muitas adversidades e o processo mostrou-se demasiado complexo. Contactou-se então o suporte técnico da empresa que fabricou o componente, a RAYLASE, que esclareceu que a cabeça galvanométrica obtida foi um protótipo desenvolvido anteriormente, e que a criação do ficheiro de calibração do laser era um tópico complicado e que deveria ser realizado pelos seus engenheiros óticos. Referiu também que para o efeito, seria necessário saber a posição da lente do eixo do Z, mas que não conseguiríamos abrir o componente para verificar. Desta forma, a solução seria enviar a cabeça galvanométrica para a empresa RAYLASE, para que o ficheiro de calibração fosse calculado corretamente. Devido ao tempo excessivo deste procedimento, optou-se por avançar esse passo, e continuar a testar a máquina, sabendo que os resultados obtidos iriam ser insatisfatórios do ponto de vista qualitativo.

Procedeu-se então ao alinhamento do feixe do laser com o centro da mesa de trabalho, através de tentativa erro. Primeiramente foi criada a mesa de trabalho no software, com 60 mm de diâmetro e depois foram ajustados os *offsets* dos eixos X e Y do *scanner* (*scan head offsets*, figura 5.8). Para a realização dos testes foram maquinados discos de aço de diâmetro ligeiramente inferior à plataforma de interização (59,9 mm) para efetuar as marcações. Nas figuras 5.6a e 5.6b pode-se ver um dos testes realizados, com o feixe quase alinhado com o centro da mesa, e a figura 5.6c é referente ao último ajuste efetuado, ficando assim o feixe do laser centrado com a plataforma.

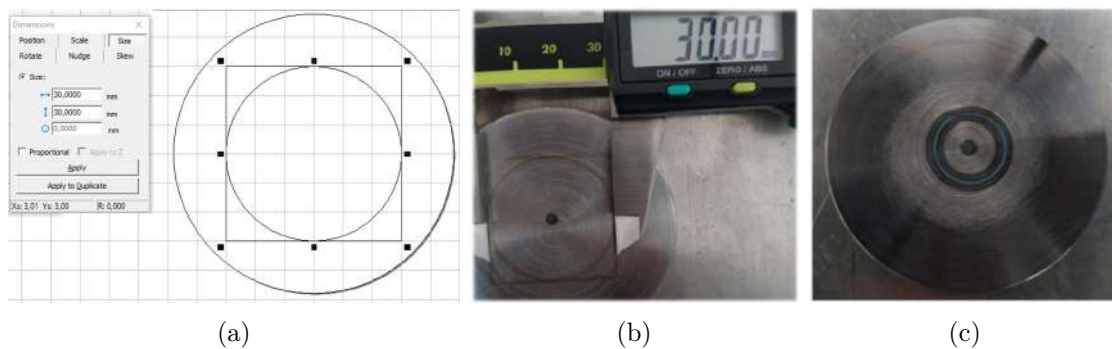


(a)



(b)

Figura 5.5: Criação da área de trabalho no WeldMark 3: (a) Definição da geometria da mesa, (b) Alinhamento do feixe do laser com o centro da plataforma de trabalho.



(a)

(b)

(c)

Figura 5.6: Alinhamento do feixe do laser: (a) Dimensões de um dos testes intermédios, (b) Resultado da marcação do teste intermédio apresentado na figura 5.6a, (c) Marcação de uma circunferência já com o feixe do laser centrado na plataforma.

## 5.2 Teste da camada do pó

Estando o laser alinhado com o centro da plataforma, procedeu-se ao teste da varredora formando camadas de pó. Deste modo colocou-se a plataforma de sinterização 0,05 mm

abaixo da altura da base. No primeiro teste realizado (figura 5.7) é possível ver que o design da varredora não permite a formação de camadas de pó uniformes, sendo um ponto impeditivo para a criação de peças de qualidade. Observou-se que a plataforma de sinterização estava ligeiramente inclinada. Deste modo procedeu-se à adição de calços entre os componentes 7 (anel de fixação) e 8 (plataforma de construção) da figura 4.26, de modo a que a mesma se tornasse paralela com a base do pó.



Figura 5.7: Fotografia do primeiro teste da varredora.

Posto isto, procedeu-se à reformulação da varredora, optando pela utilização de uma chapa de alumínio de 4 mm de espessura tornando-a inflexível. Esta aparafusa-se diretamente na barra de suporte com recurso a dois parafusos CHC M6 × 20 mm. Na figura 5.8a pode-se ver a montagem do conjunto à exceção dos parafusos, e na figura 5.8b está apresentado o desenho de definição da nova varredora, apresentado também no apêndice K.

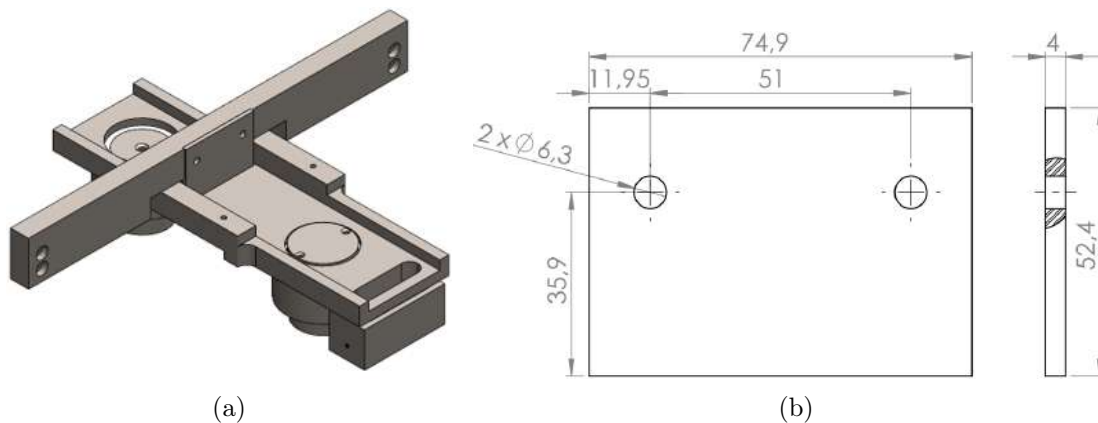


Figura 5.8: Alterações efetuadas no sistema de formação de camadas de pó: (a) Montagem do conjunto varredora/ mesa, (b) Desenho de definição da nova varredora.

Com a reestruturação da varredora foi possível a criação de camadas de pó mais uniformes, possibilitando o teste da sinterização da camada através do laser.

### 5.3 Teste da sinterização

Para efetuar os testes de sinterização do pó, foi retificado um dos discos de aço maquinados anteriormente, para que os lados opostos do disco estivessem completamente

paralelos, de maneira a possibilitar a formação de camadas de pó de altura constante (figura 5.9). Na figura 5.10 pode-se observar o primeiro teste realizado ao laser, que permitiu identificar o problema 6. Para cada quadrado visível na imagem foi selecionada uma potência diferente do laser. No entanto, como se pode observar, os resultados obtidos foram idênticos.

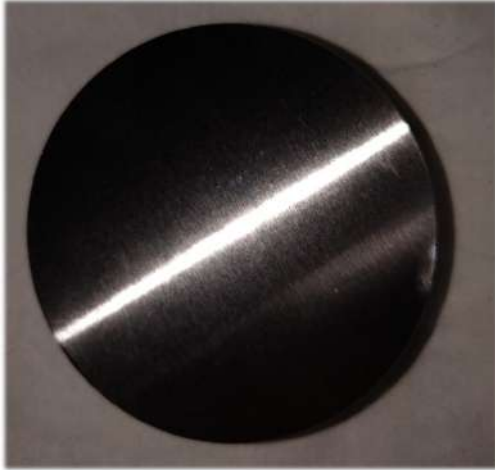


Figura 5.9: Fotografia do disco de aço retificado.



Figura 5.10: Fotografia do primeiro teste de sinterização da camada do pó.

Após resolvido o respetivo problema e estabelecida a comunicação entre a placa SP-ICE-3 e o laser foram efetuados vários testes com resultados mais satisfatórios, apesar de se encontrarem ainda longe do ideal. Na tentativa de sinterizar um círculo com 20 *mm* de diâmetro, foram testados vários parâmetros, alterando a espessura da camada, potência do laser, espaçamentos diferentes entre a passagem do feixe do laser e velocidade do mesmo. Para todos os testes a câmara foi preenchida com o argon através da ativação da saída 15 (PO12) do módulo NI 9403 de forma manual, utilizando o software NI MAX. Este é apropriado para controlar as entradas e saídas de todas as cartas da National Instruments de forma direta. O debitômetro da garrafa de argon foi colocado no seu máximo até preencher a câmara. Antes da formação da camada de pó foi ligado no seu mínimo de modo a debitar o gás de forma cautelosa para não danificar a camada de pó e para manter a atmosfera inerte.

Na figura 5.11 pode-se ver um dos testes efetuados. Neste caso, a camada de pó tinha 0,08 *mm*, foi usada uma potência de 140 *W* do laser, um espaçamento entre as linhas de passagem do laser de 0,12 *mm* e uma velocidade de 125 *mm/s*. Como é possível ver na figura 5.11b a camada era demasiado espessa, impossibilitando que a energia térmica alcançasse da parte de baixo da camada.

Diminuindo a espessura da camada para 0,05 *mm* e o espaçamento entre as passagens do feixe do laser para 0,09 *mm*, juntamente com uma atenuação da potência do laser para 125 *W* e um ligeiro aumento da velocidade de passagem para 150 *mm/s* foi obtido o resultado apresentado na figura 5.12.

Como se pode observar, o resultado não é perfeito, mas tendo em conta as limitações provocadas pelo desfoco do laser o resultado é promissor. Pode-se verificar ainda dois riscos na camada do pó, provocados por dois pedaços de lixo que a varredora arrastou,



Figura 5.11: Teste de sinterização: (a) Fotografia da parte de cima da peça obtida, (b) Fotografia da parte de baixo da peça obtida.

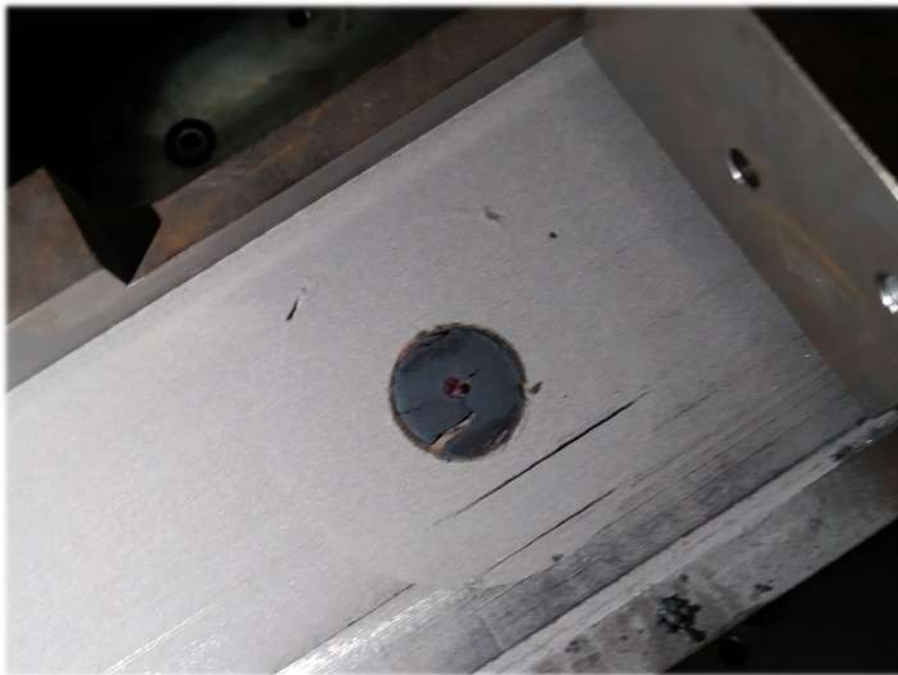


Figura 5.12: Fotografia do melhor resultado obtido nos testes de sinterização.

no entanto irrelevantes para o teste pois não se encontravam na zona onde o pó foi sinterizado.



## Capítulo 6

# Conclusões e Trabalhos Futuros

De encontro ao crescimento exponencial do fabrico aditivo na indústria devido à possibilidade de criação de peças de elevada complexidade mantendo as principais características mecânicas, o DEM projetou e iniciou o desenvolvimento de uma máquina de fabrico aditivo de metais, seguindo o processo de DMLS.

O presente relatório de projeto retrata uma continuidade ao desenvolvimento da máquina, começando por uma apresentação da tecnologia de FA e a sua presença no mercado, avaliando o seu crescimento, vantagens, desvantagens e estudo dos processos existentes. Dentro dos vários processos, foi dada mais ênfase aos processos de fabrico aditivo de metais, nomeadamente à sinterização direta de metais por laser, correspondente ao qual a máquina é destinada. Após o estudo do processo, o conhecimento obtido foi utilizado para fazer uma apresentação do estado inicial da máquina, teste e identificação de alguns problemas que esta retinha, tanto de natureza mecânica como elétrica.

Para cada problema detetado foi apresentada e concretizada uma solução devidamente justificada, com início nos problemas mecânicos nos quais onde foi necessário adquirir novos componentes, desenvolver novas peças e ainda alteração de outras, tendo sido apresentadas todas as alterações efetuadas. Para resolução dos problemas elétricos foi necessário refazer o esquema elétrico, incluindo a adição de novos componentes, alguns deles interligados com as alterações mecânicas efetuadas. Devido a todas as modificações a que o esquema foi sujeito, foi necessária a aquisição de um novo quadro elétrico e consequente instalação e electrificação do mesmo, realizando todas as restantes ligações necessárias ao funcionamento da máquina. Após a montagem total da máquina e assim que concluídas as ligações dos vários componentes, deram-se início aos vários ensaios experimentais .

Os primeiros ensaios realizados foram destinados ao foco e correção do laser, onde se percebeu que a calibração do defletor do feixe não seria possível sem intervenção da empresa que o desenvolveu, a RAYLASE. Conforme explicado na secção 5.1, devido tempo exagerado que este processo iria necessitar, decidiu-se continuar com os testes a fazer, sabendo que os resultados obtidos posteriormente não iriam ser satisfatórios. Numa fase seguinte procedeu-se ao teste da varredora, onde se verificou que esta necessitava de ser alterada, devido à sua incapacidade de formar camadas de pó de espessura constante. A sua alteração possibilitou a formação de camadas de pó uniformes, possibilitando assim a realização de ensaios de sinterização. Apesar da descalibração do feixe do laser, foi possível solidificar o pó durante os ensaios efetuados, o que se pode considerar um resultado positivo, podendo este apenas melhorar com a devida calibração do feixe.

O desfoco do laser justifica a pouca ênfase dada aos testes de sinterização, visto que devido ao problema identificado, os resultados obtidos tornam-se insignificantes, até porque os parâmetros do laser utilizados nos diversos ensaios necessitarão de ser testados novamente quando o laser se encontrar nas suas condições apropriadas de trabalho.

No que se refere a trabalhos futuros, naturalmente, o próximo passo seria proceder à obtenção do ficheiro de calibração da cabeça galvanométrica para permitir a impressão de provetes, realizar ensaios sobre os mesmos e consequente obter os resultados das propriedades físicas do material impresso. É necessária também a inclusão do sistema de argon no software de controlo desenvolvido anteriormente em LabView, assim como a automatização do processo de impressão no software desenvolvido, que funciona apenas em modo manual. É ainda aconselhado o desenvolvimento de um sistema de nivelção da plataforma de sinterização, para garantir que a camada de pó é uniforme.



# Bibliografia

- [1] ASTM. Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies, 2014.
- [2] Ian Gibson, David Rosen, and Brent Stucker. *Introduction and Basic Principles*. 2015.
- [3] Carlos Relvas. *O Mundo da Impressão 3D e o Fabrico Digital*. engebook, 1<sup>a</sup> edição, 2018.
- [4] ASTM. F2792-12a, Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies, (Withdrawn 2015), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
- [5] Additive Manufacturing Research Group Loughborough University. The 7 categories of additive manufacturing.
- [6] Lucas Martins. Construção e teste de máquina de fabrico aditivo de metais. page 429, 2020.
- [7] Nannan Guo and Ming C. Leu. Additive manufacturing: Technology, applications and research needs. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 8(3):215–243, 2013.
- [8] Babak Kianian. Wohlers report 2017: 3d printing and additive manufacturing state of the industry, annual worldwide progress report : Chapters titles: The middle east, and other countries. Technical report, Wohlers Associates, Inc., 04 2017.
- [9] Filipe Rosas Coutinho. Study and Development of a Metal Additive Manufacturing System. 2016.
- [10] David Bourell, Jean Pierre Kruth, Ming Leu, Gideon Levy, David Rosen, Allison M. Beese, and Adam Clare. Materials for additive manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 66(2):659–681, 2017.
- [11] Pedro Maldonado. A utilização do fabrico aditivo no desenvolvimento de componente para a indústria automóvel. page 90, 2019.
- [12] E Grenda. *Printing the Future: The 3D Printing and Rapid Prototyping Source Book*. Castle Island Company, 2005.
- [13] Historique | L'impression 3D : une r'évolution industrielle, url = <https://impression3dindustrie.wordpress.com/reperes/historique/>.
- [14] Carlos Daniel Almeida Miranda. Automação de máquina de fabrico aditivo de metais. page 127, 2020.

- [15] Chee Kai Chua and Kah Fai Leong. *3D Printing and Additive Manufacturing*. WORLD SCIENTIFIC, 5th edition, 2017.
- [16] Nilza Catarina Rodrigues Reis. Aplicabilidade do Fabrico Aditivo na Indústria dos Moldes de Injeção. 2017.
- [17] David L. Bourell. Perspectives on Additive Manufacturing. *Annual Review of Materials Research*, 46:1–18, 2016.
- [18] Caffrey T. Wohlers, T. T. *Wohlers report 2015: 3D printing and additive manufacturing state of the industry annual worldwide progress report*. Fort Collins, Colo: Wohlers Associates. Fort Collins, Colo. : Wohlers Associates, ©2015., 2015.
- [19] 3D Printing Materials 2015-2025 *status, Opportunities, Market Forecasts*, DTechEx.
- [20] Davide Sher. additive manufacturing market 2019 - 3D Printing Media Network, 2020.
- [21] 3D Printing Media Network. Global additive manufacturing market 2019 worth over 10 billion dollars.
- [22] J. P. Kruth, G. Levy, F. Klocke, and T. H.C. Childs. Consolidation phenomena in laser and powder-bed based layered manufacturing. *CIRP Annals*, 56(2):730–759, jan 2007.
- [23] Mukesh Agarwala, David Bourell, Joseph Beaman, Harris Marcus, and Joel Barlow. Direct selective laser sintering of metals. *Rapid Prototyping Journal*, 1(1):26–36, jan 1995.
- [24] Suman Das, Martin Wohler, Joseph J Beaman, and David L Bourell. Overview Direct Fabrication Producing Metal Parts with Selective Laser Sintering/Hot Isostatic Pressing. 1998.
- [25] Stanislav Roshchupkin, Alexander Kolesov, Alexey Tarakhovskiy, and Ivan Tishchenko. A brief review of main ideas of metal fused filament fabrication. *Materials Today: Proceedings*, 38:2063–2067, jan 2021.
- [26] Virtual and Rapid Manufacturing: Advanced Research in Virtual and Rapid ... - Ljubomir Tanchev - Google Livros.
- [27] J. P. Kruth, P. Mercelis, J. Van Vaerenbergh, L. Froyen, and M. Rombouts. Binding mechanisms in selective laser sintering and selective laser melting. *Rapid Prototyping Journal*, 11(1):26–36, 2005.
- [28] Lijue Xue and Chris Purcell. Laser consolidation of net-shape shells for flextensional sonar projectors. *International Congress on Applications of Lasers Electro-Optics*, 2006(1):1206, sep 2018.
- [29] A Strondl, M Palm, J Gnauk, and G Frommeyer. Microstructure and mechanical properties of nickel based superalloy IN718 produced by rapid prototyping with electron beam melting (EBM). <http://dx.doi.org/10.1179/026708309X12468927349451>, 27(5):876–883, 2013.

- [30] Itziar Tolosa, Fermín Garciandía, Fidel Zubiri, Fidel Zapirain, and Aritz Esnaola. Study of mechanical properties of AISI 316 stainless steel processed by “selective laser melting”, following different manufacturing strategies. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2010 51:5*, 51(5):639–647, apr 2010.
- [31] MatWeb - The Online Materials Information Resource.
- [32] Scott M. Thompson, Linkan Bian, Nima Shamsaei, and Aref Yadollahi. An overview of Direct Laser Deposition for additive manufacturing; Part I: Transport phenomena, modeling and diagnostics. *Additive Manufacturing*, 8:36–62, 2015.
- [33] M Shellabear and O Nyrhilä. DMLS – DEVELOPMENT HISTORY AND STATE OF THE ART. 2004.
- [34] Tips and Tricks for Metal 3D Printing: Recoaters | Materialise - Innovators you can count on.
- [35] Dongdong Gu and Yifu Shen. Processing conditions and microstructural features of porous 316L stainless steel components by DMLS. *Applied Surface Science*, 255(5 PART 1):1880–1887, 2008.
- [36] Tan Phuc Le, Xiaogang Wang, Karl Peter Davidson, Jude Emil Fronda, and Matteo Seita. Experimental analysis of powder layer quality as a function of feedstock and recoating strategies. *Additive Manufacturing*, 39:101890, 2021.
- [37] 3D Printing Metal: The Advantages of Direct Metal Laser Sintering - Monarch Metal.
- [38] I. Gibson, D. W. Rosen, and B. Stucker. Additive manufacturing technologies: Rapid prototyping to direct digital manufacturing. *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*, pages 1–459, 2010.
- [39] Future Ariane Propulsion Module: Simplified by Additive Manufacturing.
- [40] Filipe Rosas Coutinho, Orientador Feup, Jorge Lino Orientador ADIRA, and Eng Tiago Brito Faro. Study and Development of a Metal Additive Manufacturing System. 2016.
- [41] Federico Mazzucato, Oliver Avram, Anna Valente, and Emanuele Carpanzano. Recent Advances Toward the Industrialization of Metal Additive Manufacturing. *Systems Engineering in the Fourth Industrial Revolution: Big Data, Novel Technologies, and Modern Systems Engineering*, pages 273–319, jan 2020.
- [42] Direct Metal Laser Sintering [DMLS] Parts On Demand.
- [43] Mostafa Yakout, M.A. Elbestawi, and Stephen C. Veldhuis. A Review of Metal Additive Manufacturing Technologies. *Solid State Phenomena*, 278:1–14, 2018.
- [44] Customer Case Study Medical Facts Help Is Fast at Hand Thanks to Additive Manufacturing: Alphaform Produces a Hip Replacement Designed by Instrumentaria.
- [45] EOS Materials Metal Portfolio Overview Product class Product name Material type\* Typical applications.

- [46] Aniwaa. Best metal 3D printers in 2021: comprehensive overview, 2021.
- [47] RenAM 500Q/S additive manufacturing systems Data sheet.
- [48] Repeatability at scale Concept Laser M2 Series 5 Now available with dual 1kW lasers.
- [49] Small Metal 3D Printer specialized for Medical Products.
- [50] CREATOR 3D Metal Printer for Precision Components.
- [51] DMP Flex 100 - Metal 3D Printer | 3D Systems.
- [52] Stepperonline. Stepper Motor Nema 23HS22-2804D-PG15-E1000 Datasheet de <https://www.omc-stepperonline.com/download/23HS22-2804D-PG15-E1000.pdf>, 2018.
- [53] Stepperonline. CL57t Driver User Manual de <https://www.omc-stepperonline.com/download/CL57T.pdf>. 2017.
- [54] Inverterdrive. Universal-B5-Drawing-BF31-HE31-AC-Motors.pdf de <https://inverterdrive.com/file/Universal-B5-Drawing-BF31-HE31-AC-Motors>.
- [55] RS PRO. Microprocessor Controlled IGBT Drive Inverter Motor Speed Regulator Operating Manual de <https://docs.rs-online.com/e8c3/A700000006570784.pdf>.
- [56] RS PRO Inverter Drive, 3-Phase In, 599Hz Out, 1 de <https://uk.rs-online.com/web/p/inverter-drives/1748217/>.
- [57] Honeywell. MICRO SWITCH Miniature Industrial Limit Switch GLL Series de <https://www.infinity-electron.com/datasheet/bd-GLLA06D.pdf>.
- [58] Additive Manufacturing Solutions. AM-MODULE NEXT GEN.
- [59] Gener Al and Specific Ations. AM-MODULE NEXT GEN Datasheet.
- [60] IPG Photonics Corporation. Ylr-Series User Guide. pages 1–16, 2012.
- [61] RAYLASE. SP-ICE-3-User-Manual.
- [62] Key Features. NI CompactDAQ USB Data Acquisition System. *Online*, (866):9–11, 2000.
- [63] National Instruments. NI cDAQ TM-9171/9174/9178 User Manual de <http://www.ni.com/pdf/manuals/372838e.pdf>. pages 1–105, 2016.
- [64] National Instruments. Datasheet NI 9401 8 DIO, 5 V/TTL, Bidirectional, 100 ns. pages 1–10, 2015.
- [65] National Instruments Corporation, Getting Started Guide, National Instruments, C A T Ii, Sinking Output, C Series, and Digital Module. NI-9403 Modul der C-Serie für digitale Signale. pages 1–14, 2015.
- [66] Mecanarte. PT-EN-MECANARTE-CATALOG.

- 
- [67] Refrigeradores de água resfriados ao ar CW-3000 110V 200V 50Hz 60Hz fornecedores,fabricantes,fábricas - teyuchiller.com, [https://pt.teyuchiller.com/air-cooled-water-chillers-cw-3000-110v-200v-50hz-60hz\\_p6.html](https://pt.teyuchiller.com/air-cooled-water-chillers-cw-3000-110v-200v-50hz-60hz_p6.html).
- [68] SILICONE ALTA TEMPERATURA CHEMISIL – Chemitool, url <https://chemitool.com/pt-pt/products/quimicos/silicones-pt/silicone-alta-temperatura-chemisil/>.
- [69] Guide to DIN 43650 solenoid valve connectors, url=<https://www.productsforautomation.com/guide-to-din-connectors-a/256.htm>.



# Apêndices





## Apêndice A

# Esquema elétrico atualizado



EPLAN Software &amp; Service

Phone

Company / customer

Project description

Job number

Commission

Projeto elétrico: Máquina DMLS

IEC\_tp1003

EPLAN

Manufacturer (company)

Path

Project name

Make

Type

Place of installation

Responsible for project

Author

EPLAN Software &amp; Service

EPLAN sample project

New project

Luis Costa

Created on

Edit date

23/05/2021

11/10/2021

by (short name) luis1

Number of pages 11

Modification	Date	Name	Appr.	Original
--------------	------	------	-------	----------

Date	11/10/2021	EPLAN
Ed.	Luis1	Projeto elétrico: Máquina DMLS
Appr.		Replacement of
Original		Replaced by

EPLAN Software & Service	EPLAN Software & Service
--------------------------	--------------------------

Titulo

IEC\_tp1003

=

+

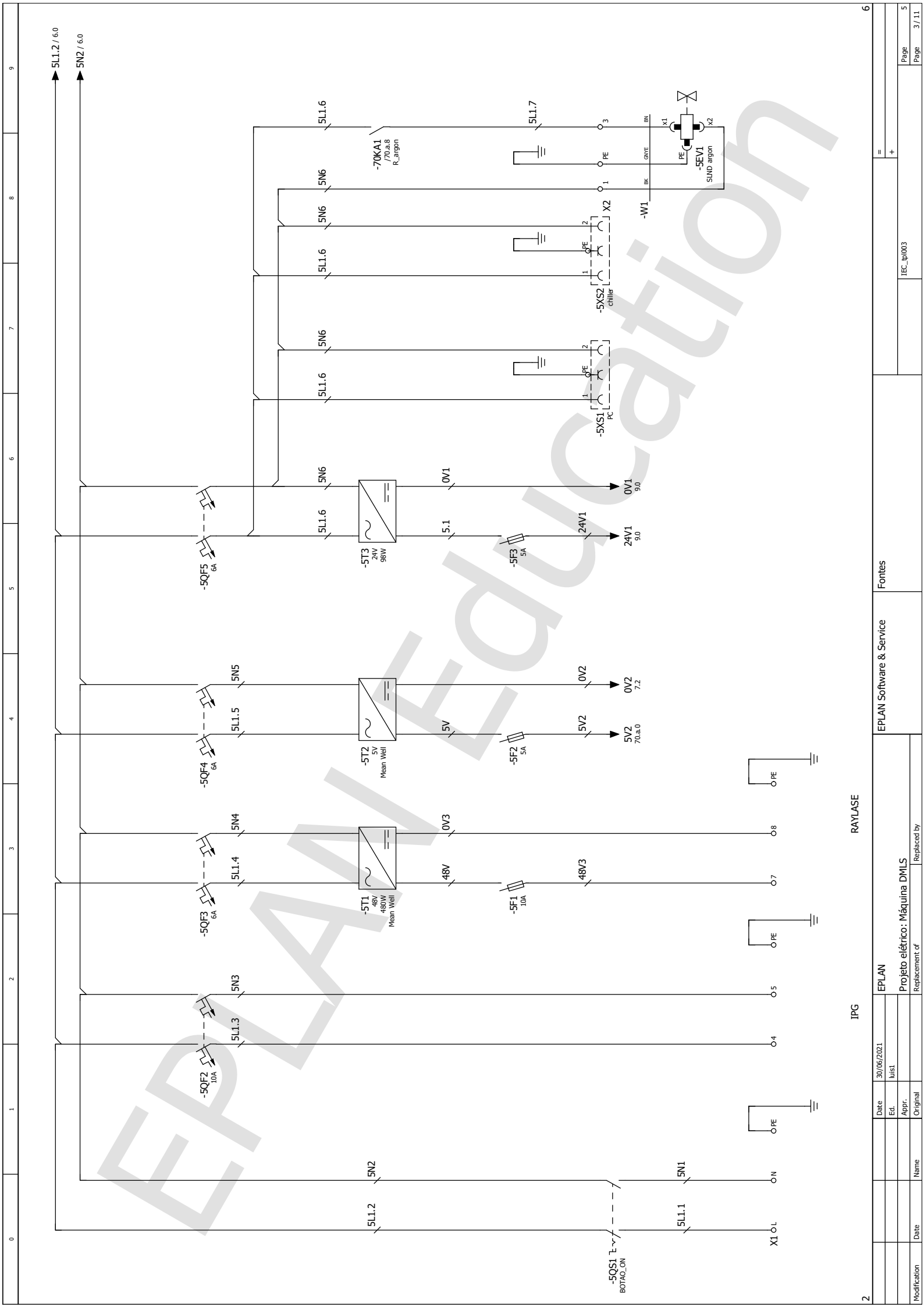
1

Page

Page

1 / 11

2



IPG

RAYLASE

EPLAN Software & Service

Fontes

IEC\_ip003

6

2

Modification Date

Name

Appr. Original

Ed. Luisl

Date 30/06/2021

EPLAN

Replacement of

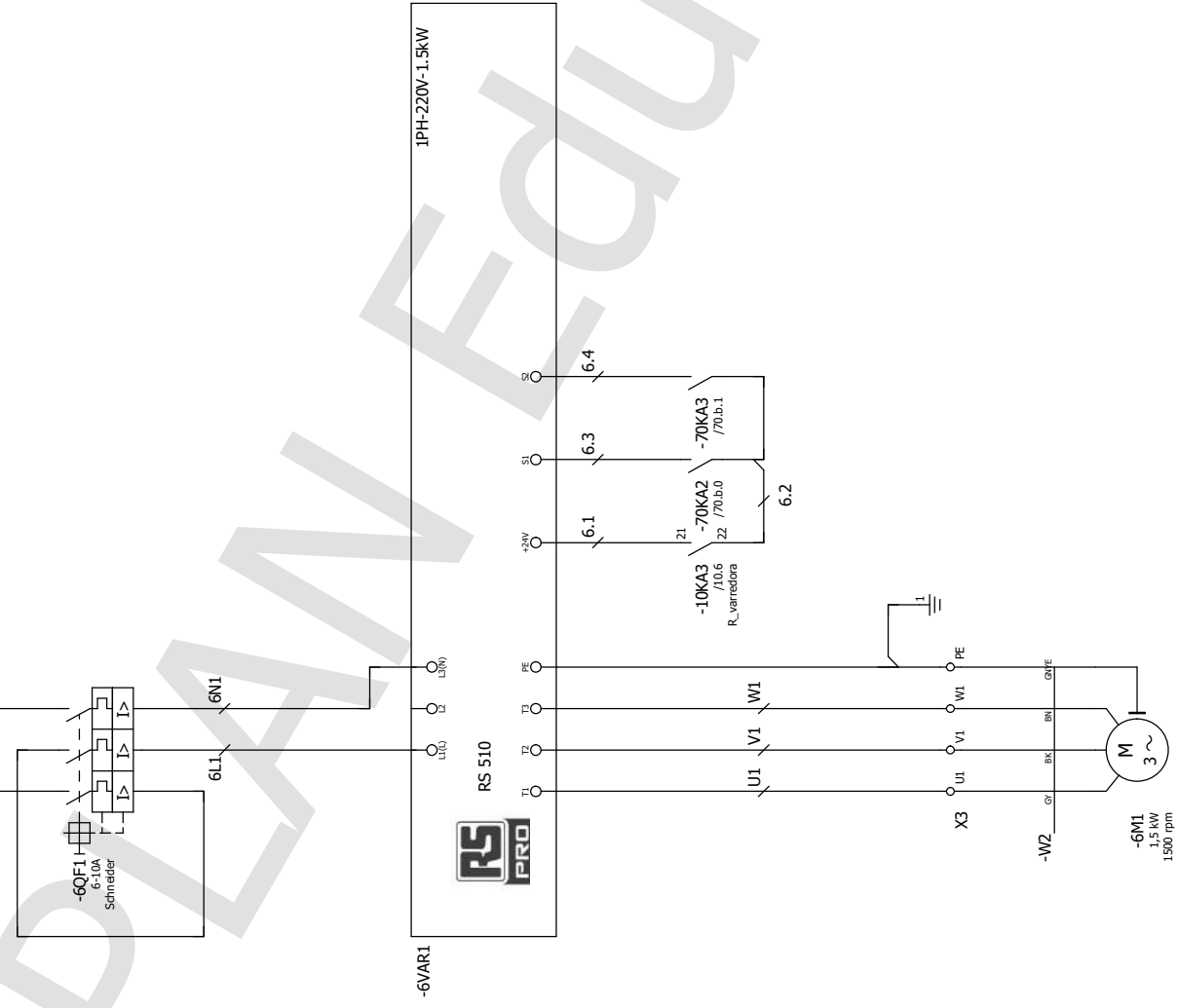
Projeto elétrico: Máquina DMLS

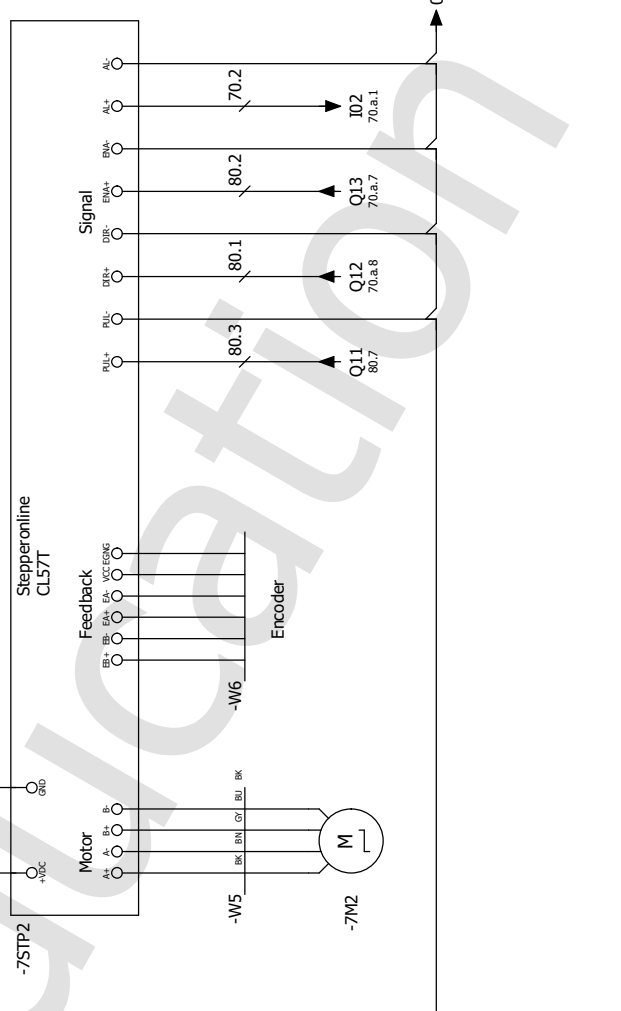
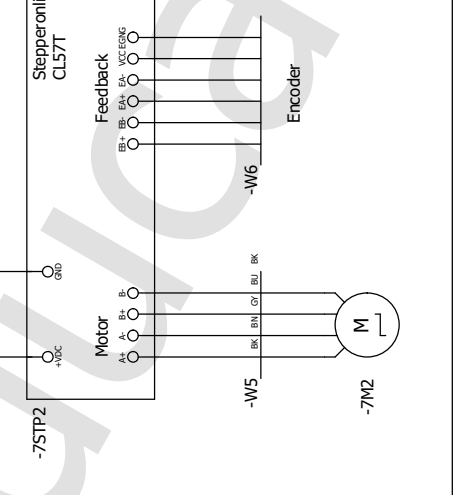
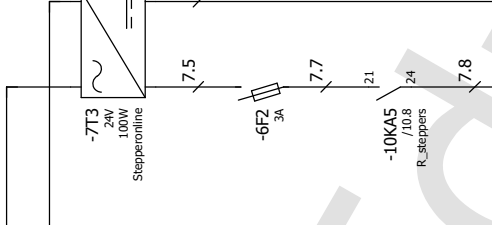
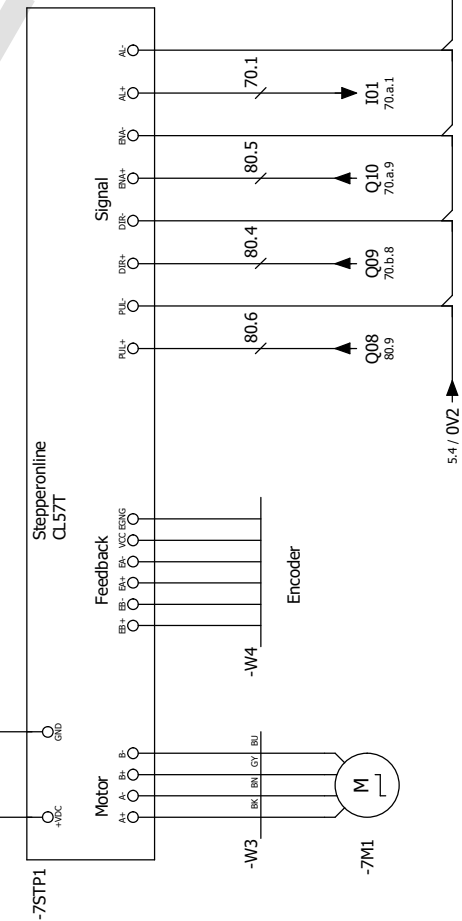
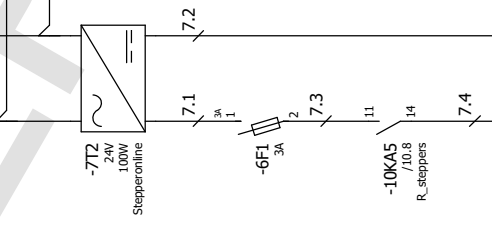
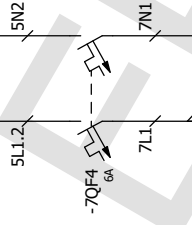
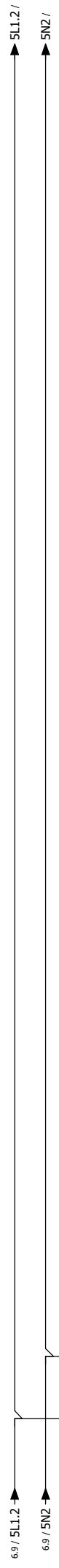
Replaced by

Page 5

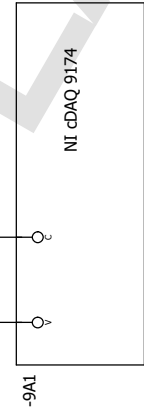
Page 3 / 11

5L1.2 / 5.9 → 5L1.2 / 7.0  
 5N2 / 5.9 → 5N2 / 7.0

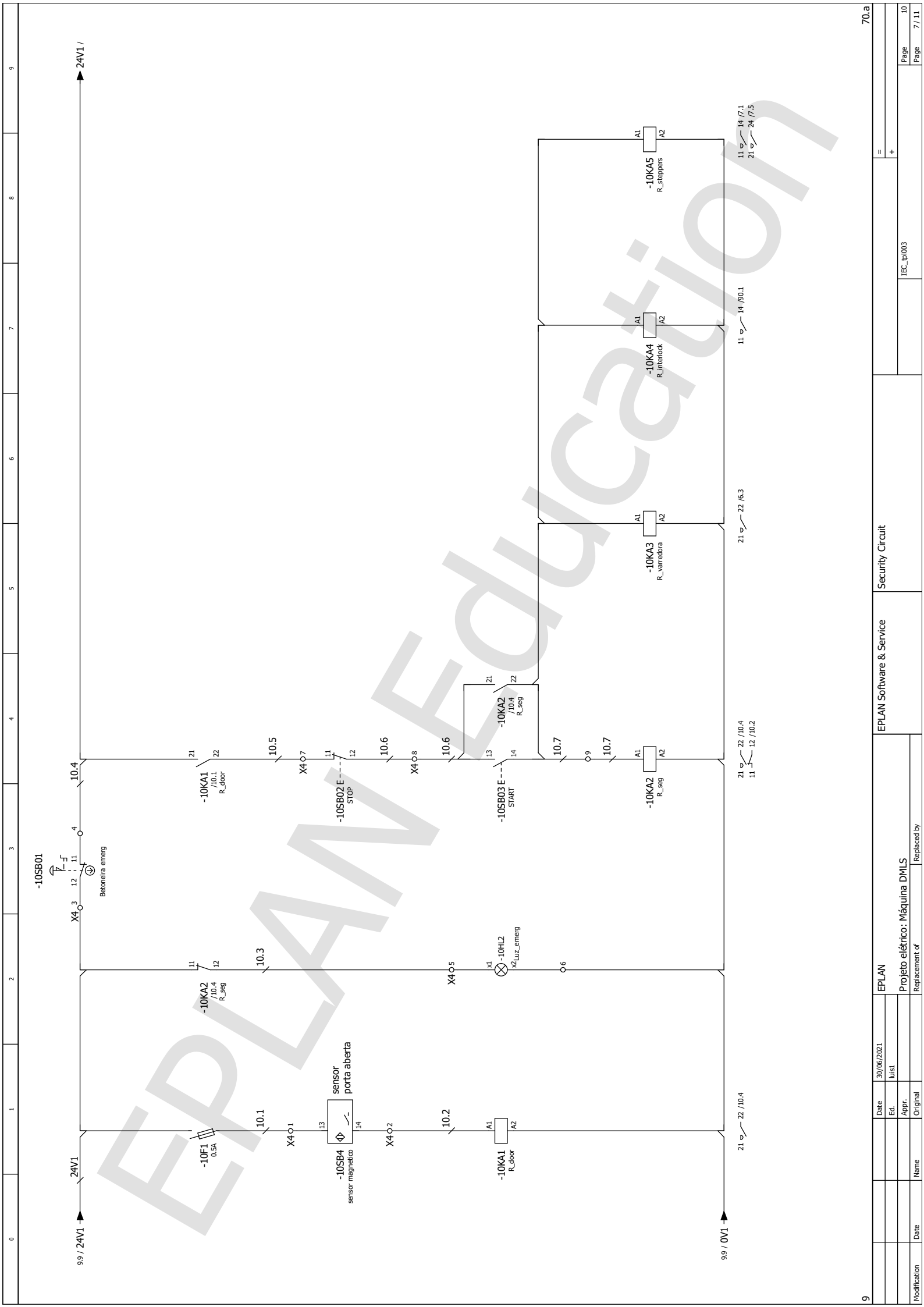




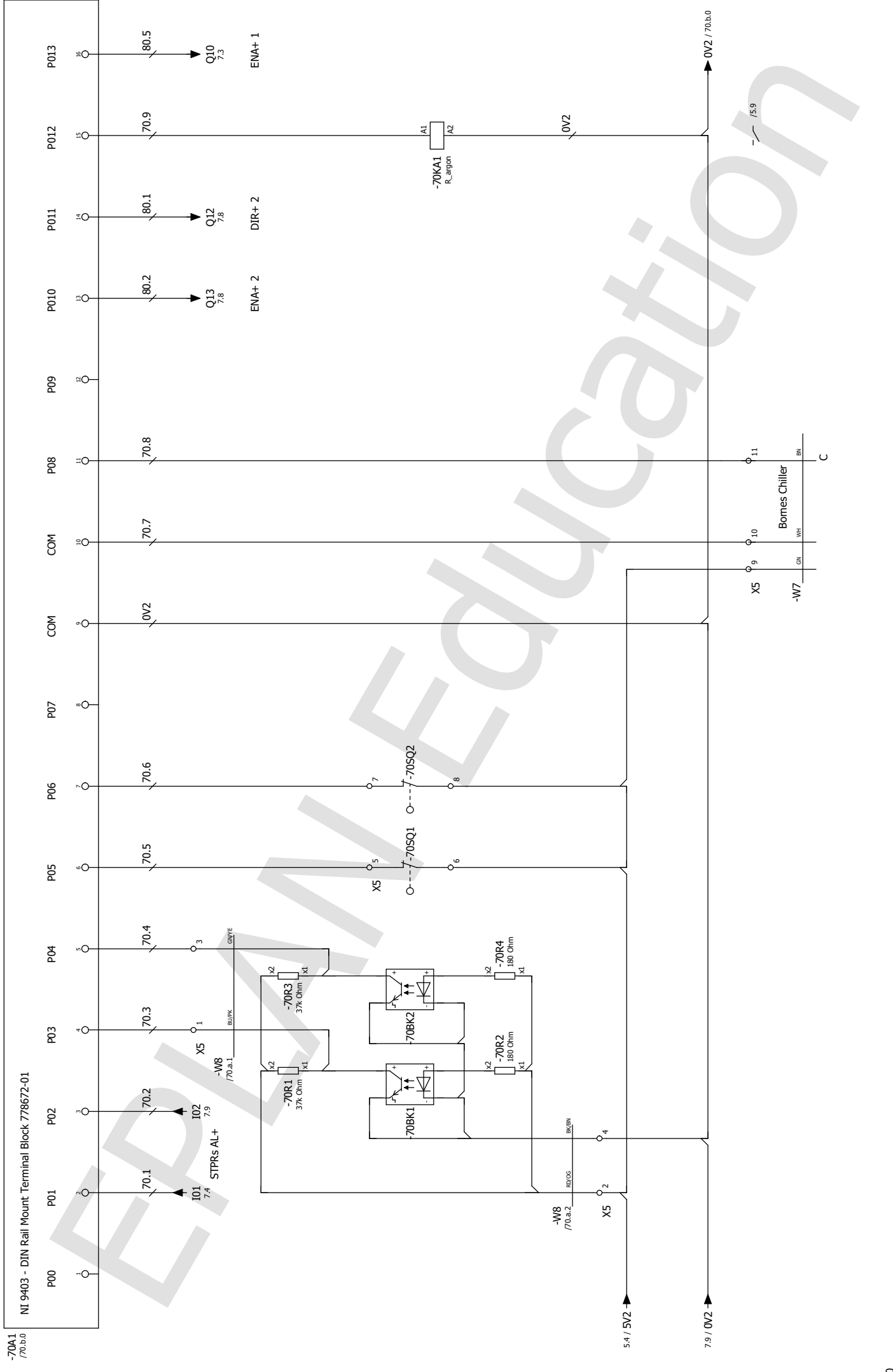
Modification	Date	EPLAN	30/06/2021	Ed.	Luis!	EPLAN Software & Service	Stepper Drivers	=	+
	Name								
Date	Appr.	Replacement of	Original	Replaced by	IEC_ip1003	Page	7	Page	5 / 11
	Date								



7		EPLAN		EPLAN Software & Service		NI 9174		10	
Modification	Date	Name	Date	Ed.	30/06/2021	Projeto eléctrico: Máquina DMLS		=	
				Appr.	Luisl	Replacement of		+	
				Original		Replaced by		IEC_ip003	
								Page 9	
								Page 6 / 11	



**EPLAN Education**



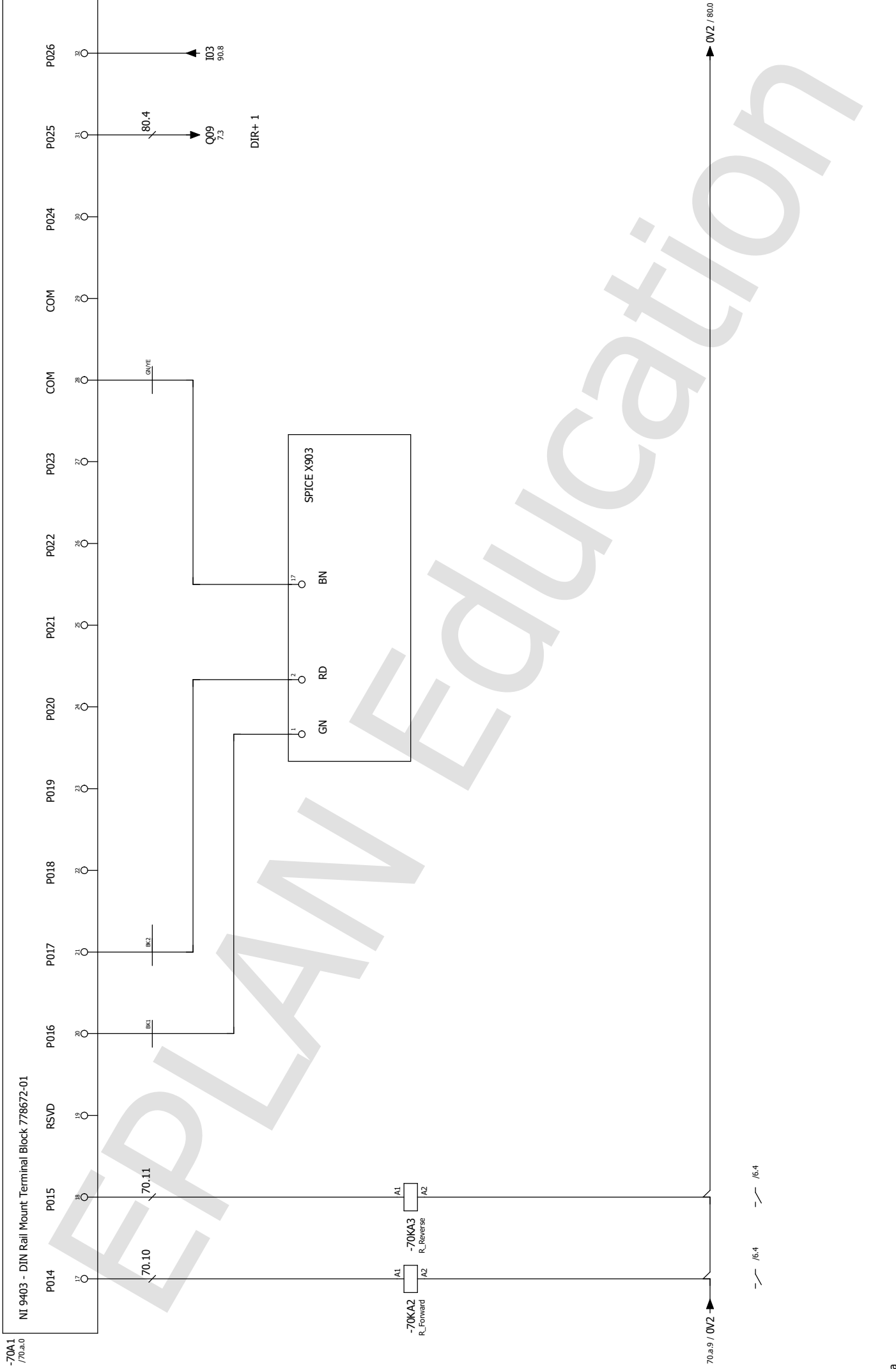
Modification	Date	Name

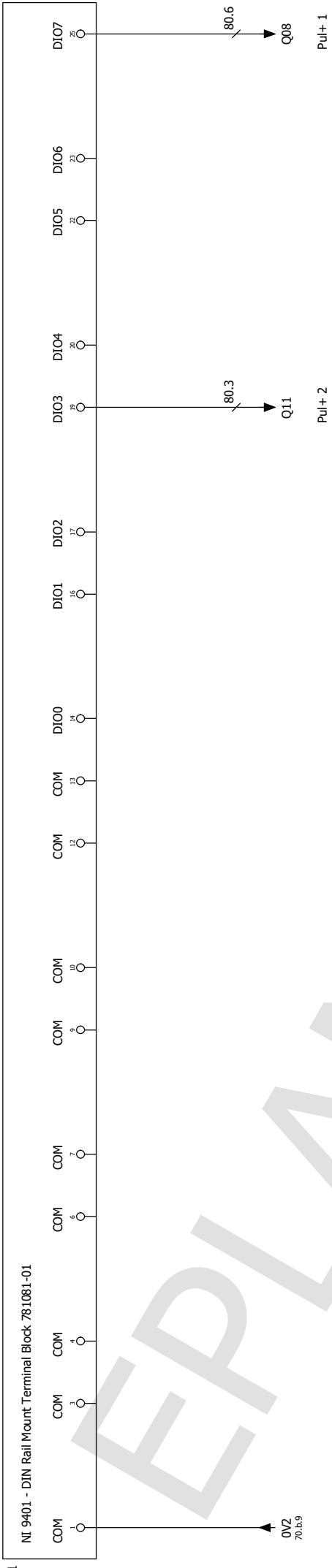
EPLAN		
Date	30/06/2021	
Ed.	luisl	
Appr.		
Original		
Replacement of		
Projeto elétrico: Máquina DMLS		
Replaced by		

EPLAN Software & Service	NI9403 I/O
--------------------------	------------

=	+
IEC_ip003	
Page	8 / 11
Page	70.a







-80A1

70.b

EPLAN		NI 9401 I/O		EPLAN Software & Service		=	
Date	30/06/2021					+	
Ed.	Luisl						
Appr.							
Original							
Modification	Date	Projecto eléctrico: Máquina DMLS		IEC_ip003		Page 80	
		Replacement of				Page 10 / 11	
		Replaced by					

90





## Apêndice B

# Código arduino para leitura do sensor de Oxigênio

```

// Grove - Gas Sensor(O2) test code
// Note:
// 1. It need about about 5-10 minutes to preheat the sensor
// 2. modify VRefer if needed

const float VRefer = 3.3;          // voltage of adc reference

const int pinAdc  = A0;

void setup()
{
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("Grove - Gas Sensor Test Code...");
}
void loop()
{
    // put your main code here, to run repeatedly:
    float Vout =0;
    Serial.print("Vout =");

    Vout = readO2Vout();
    Serial.print(Vout);
    Serial.print(" V, Concentration of O2 is ");
    Serial.println(readConcentration());
    delay(500);
}
float readO2Vout()
{
    long sum = 0;
    for(int i=0; i<32; i++)
    {
        sum += analogRead(pinAdc);
    }

    sum >>= 5;

    float MeasuredVout = sum * (VRefer / 1023.0);
    return MeasuredVout;
}

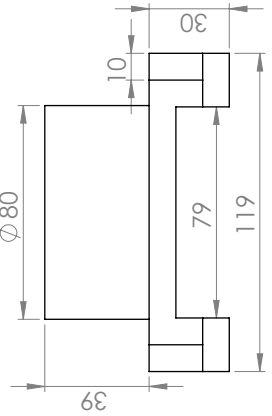
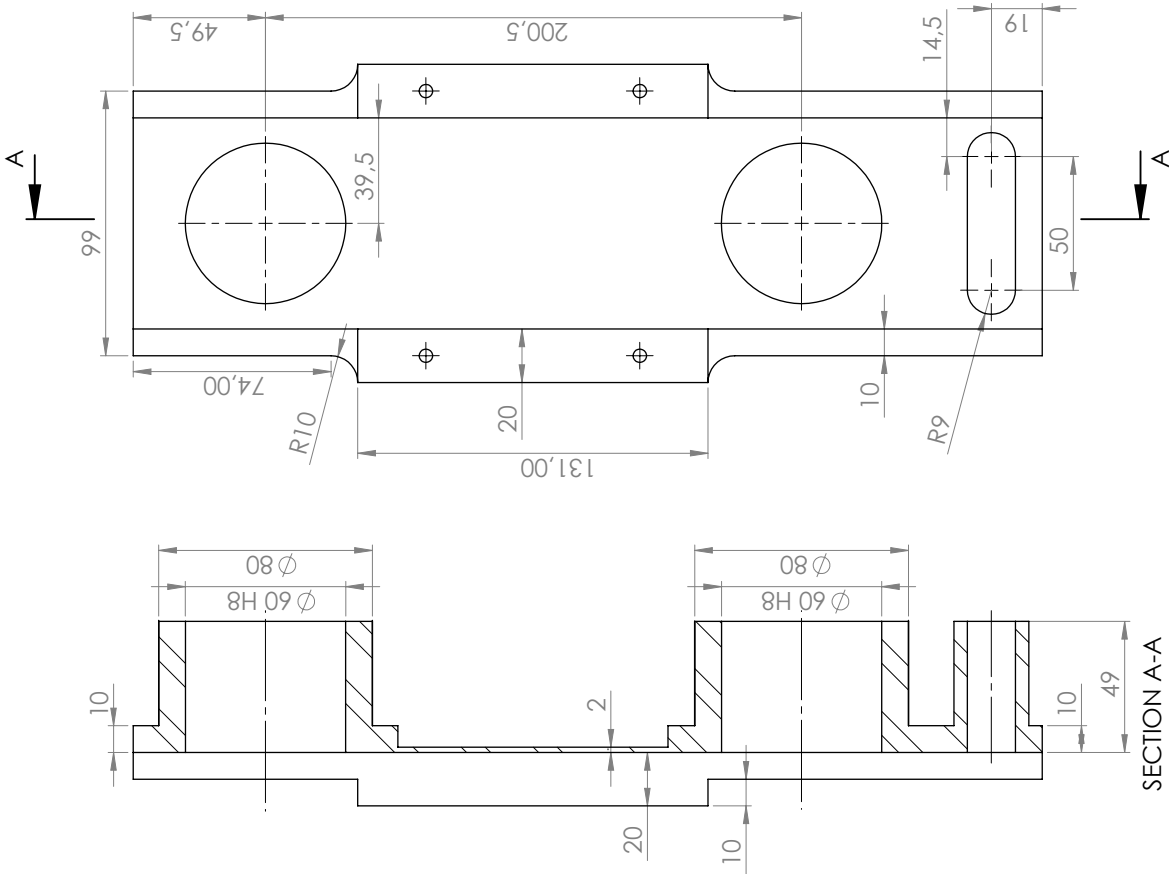
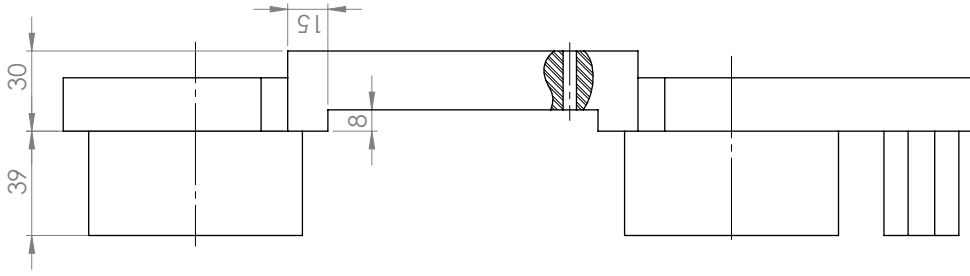
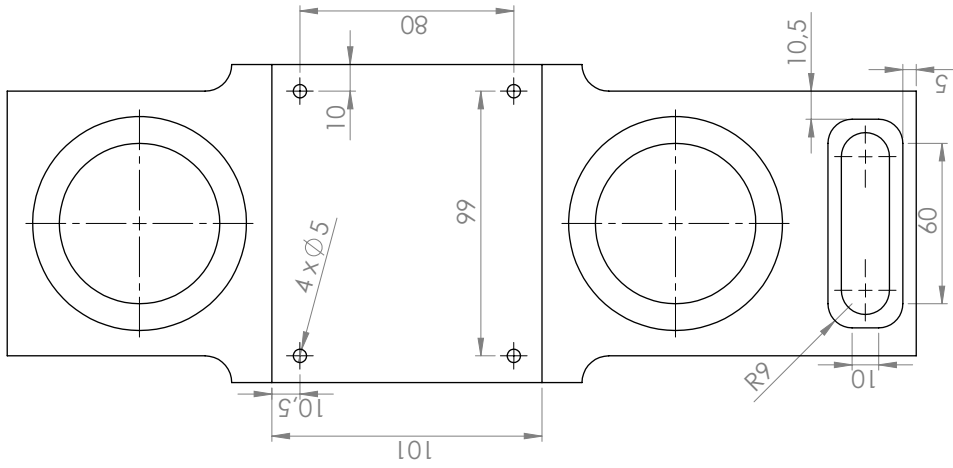
float readConcentration()
{
    // Vout samples are with reference to 3.3V
    float MeasuredVout = readO2Vout();

    //float Concentration = FmultiMap(MeasuredVout,
    VoutArray,O2ConArray, 6);
    //when its output voltage is 2.0V,
    float Concentration = MeasuredVout * 0.21 / 2.0;
    float Concentration_Percentage=Concentration*100;
    return Concentration_Percentage;
}

```

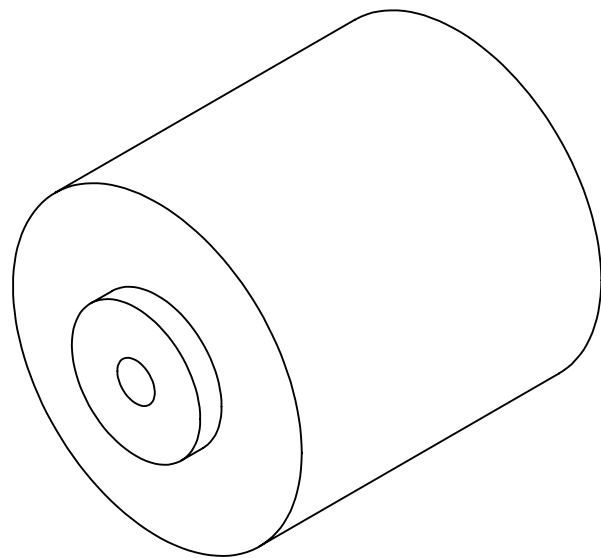
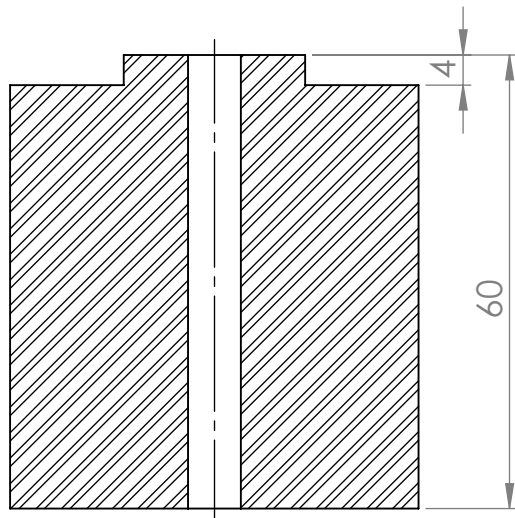
## Apêndice C

Desenhos de definição das peças  
pertencentes à mesa de dimensões  
reduzidas

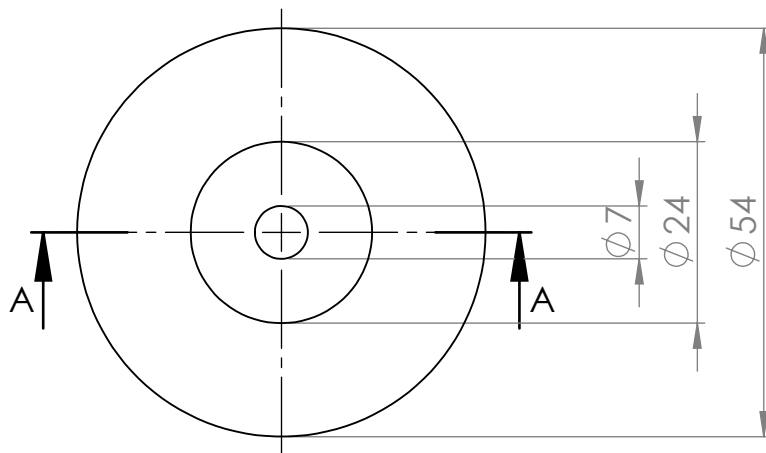


DO NOT SCALE DRAWING		REVISION
Quantity: 1		
TITLE: Base		
DWG NO. A3		
SCALE: 1:2		
WEIGHT: 3		
MATERIAL: AÇO EN C45		
TOL: ISO 2768-mk ISO 8015		
NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	CHKD	APPVD
MFG	Q.A	
DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		
SHEET 1 OF 1		





SECTION A-A



TOL:  
ISO 2768-mk  
ISO 8015

DEBURR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Quantity: 1

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:  
Base plat. de construção

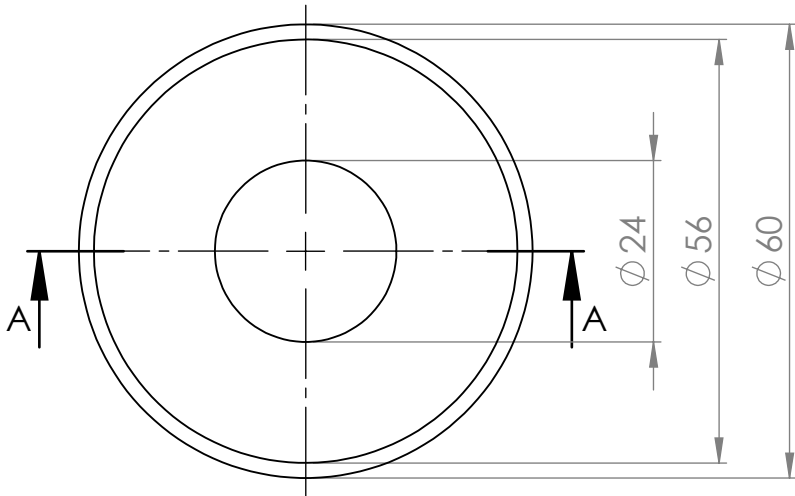
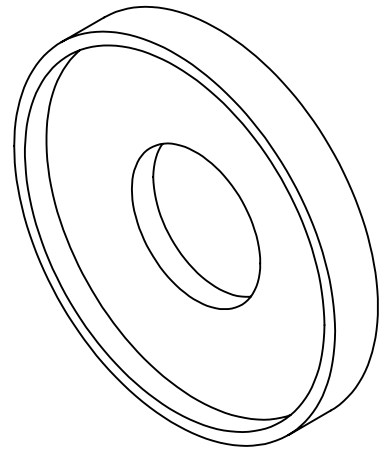
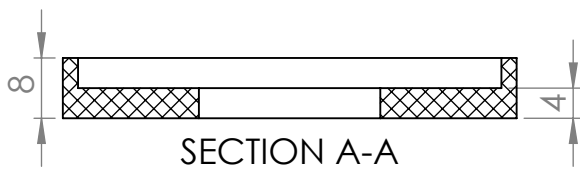
MATERIAL:  
Aço EN c45

DWG NO. A4

WEIGHT:

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1



		TOL:		ISO 2768-mk ISO 8015		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
								Quantity:		1	
								TITLE:		Anel de PTFE	
								MATERIAL:		PTFE	
								DWG NO.		A4	
								WEIGHT:		SCALE:1:1	
										SHEET 1 OF 1	

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

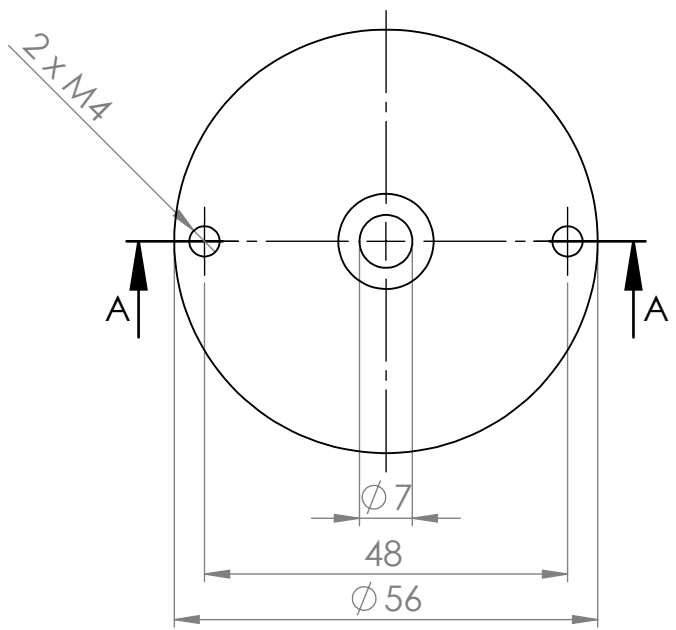
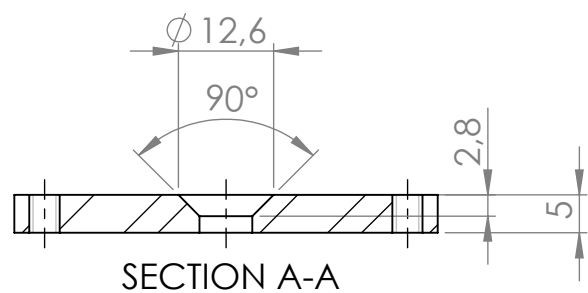
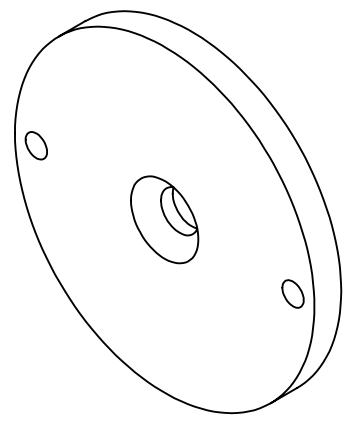
C

B

B

A

A



TOL:			ISO 2768-mk		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING		REVISION
			ISO 8015			Quantity: 1		
TITLE:						Anel de fixação		
MATERIAL:								
Aço EN c45						SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1
WEIGHT:								

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

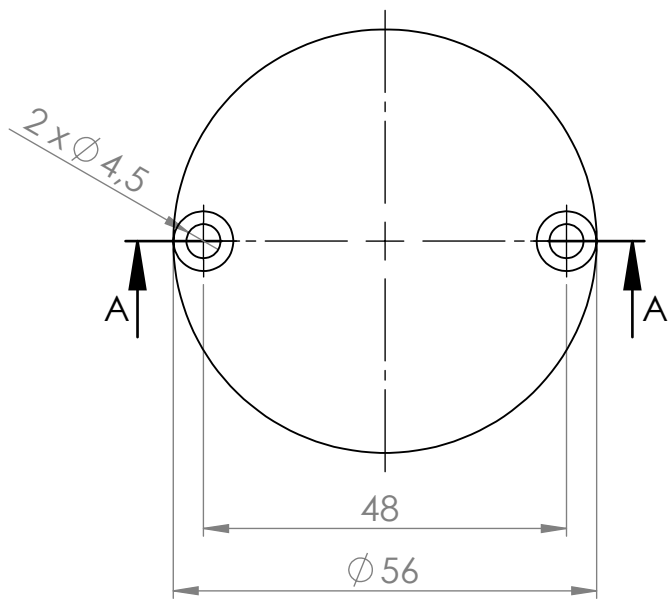
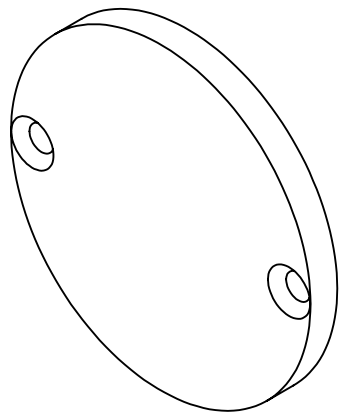
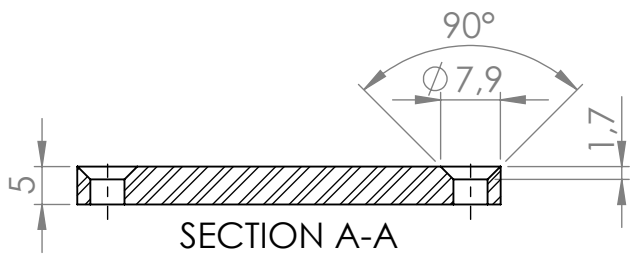
C

B

B

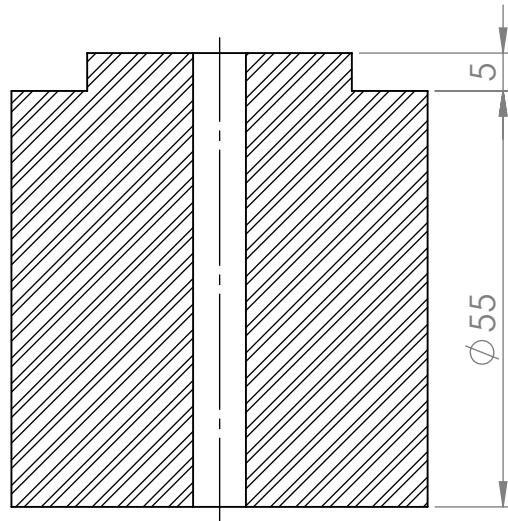
A

A

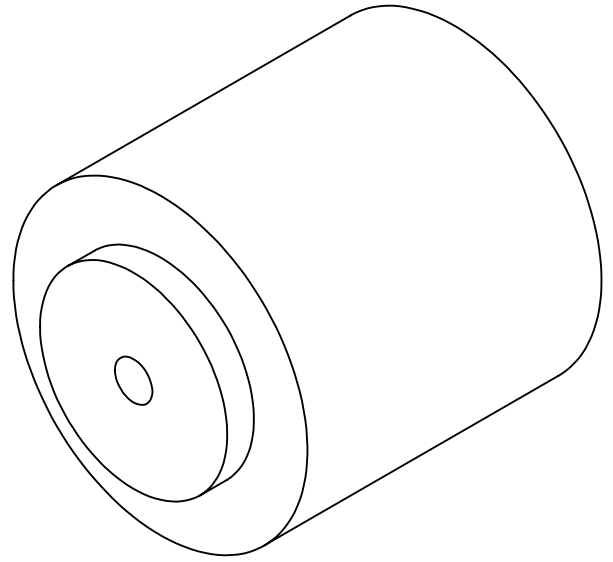
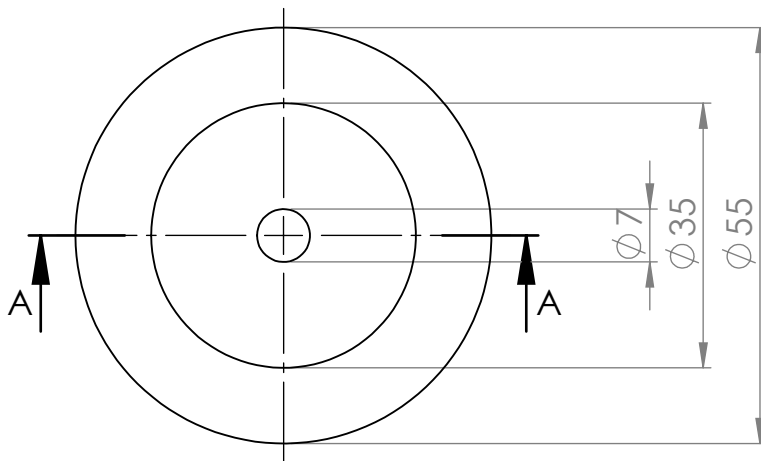


TOL:		ISO 2768-mk		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
		ISO 8015				Quantity: 1			
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
DRAWN						Plat. de construção			
CHK'D						DWG NO.			
APPV'D						A4			
MFG						MATERIAL:			
Q.A						Aço EN c45			
						WEIGHT:			
						SCALE:1:1			
						SHEET 1 OF 1			

4 3 2 1



SECTION A-A



TOL:

ISO 2768-mk  
ISO 8015

DEBURR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Quantity:

1

TITLE:

Base da plat. do pó

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:

Aço EN c45

DWG NO.

A4

WEIGHT:

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

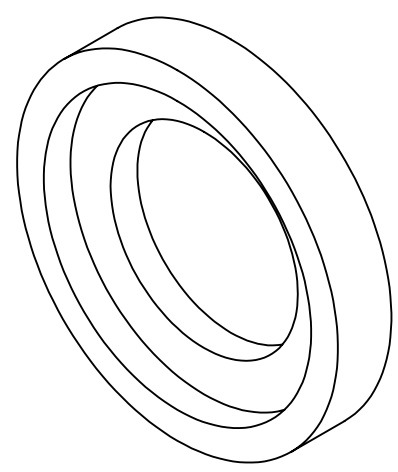
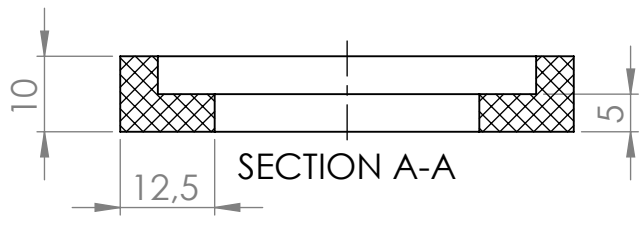
4 3 2 1

F

F

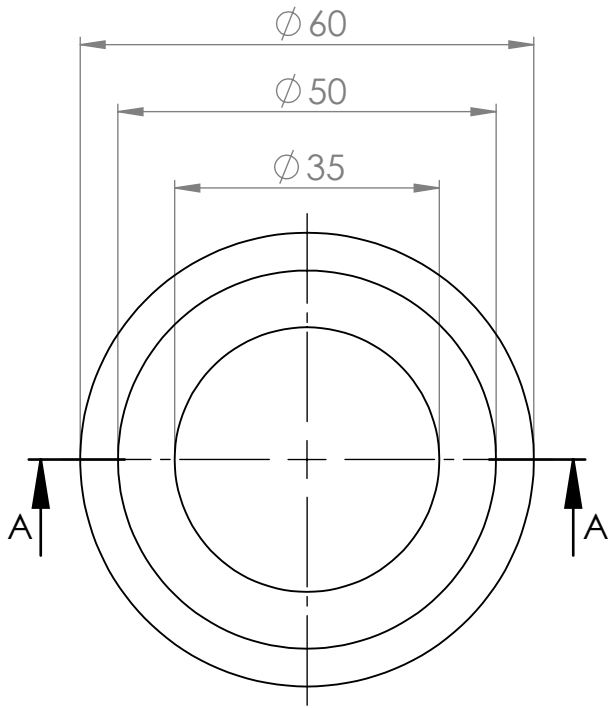
E

E



D

D



C

C

B

B

TOL:  
ISO 2768-mk  
ISO 8015

DEBURR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Quantity: 1

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:  
**Anel de PTFE do pó**

MATERIAL:  
**PTFE**

DWG NO. A4

WEIGHT: SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

A

A

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

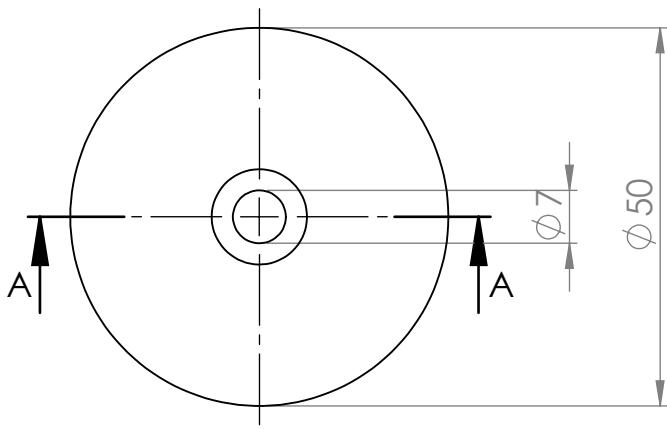
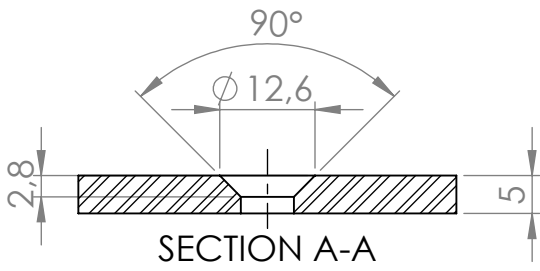
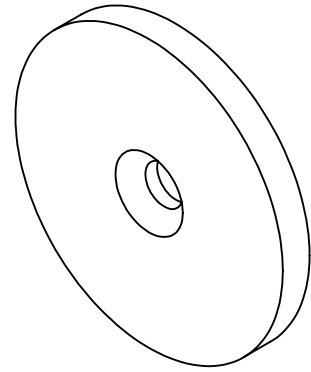
C

B

B

A

A



TOL:  
ISO 2768-mk  
ISO 8015

DEBURR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Quantity: 1

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:  
Plat. depósito do pó

MATERIAL:  
Aço EN c45

DWG NO. A4

WEIGHT:

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

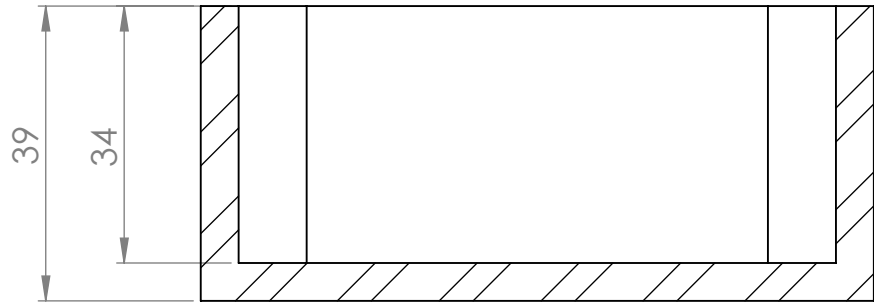
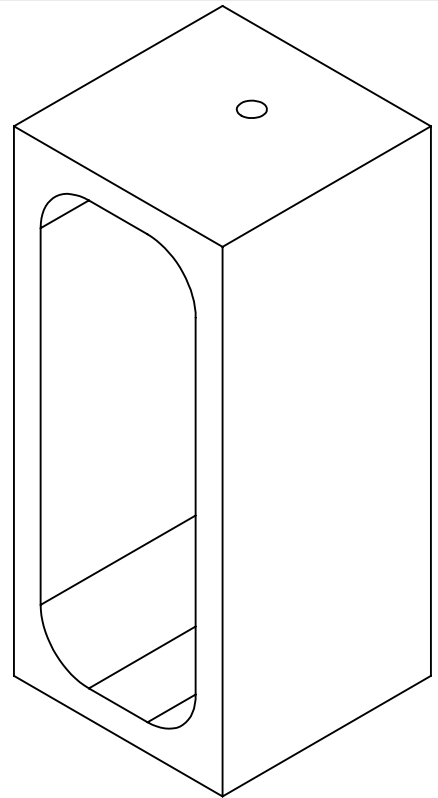
C

B

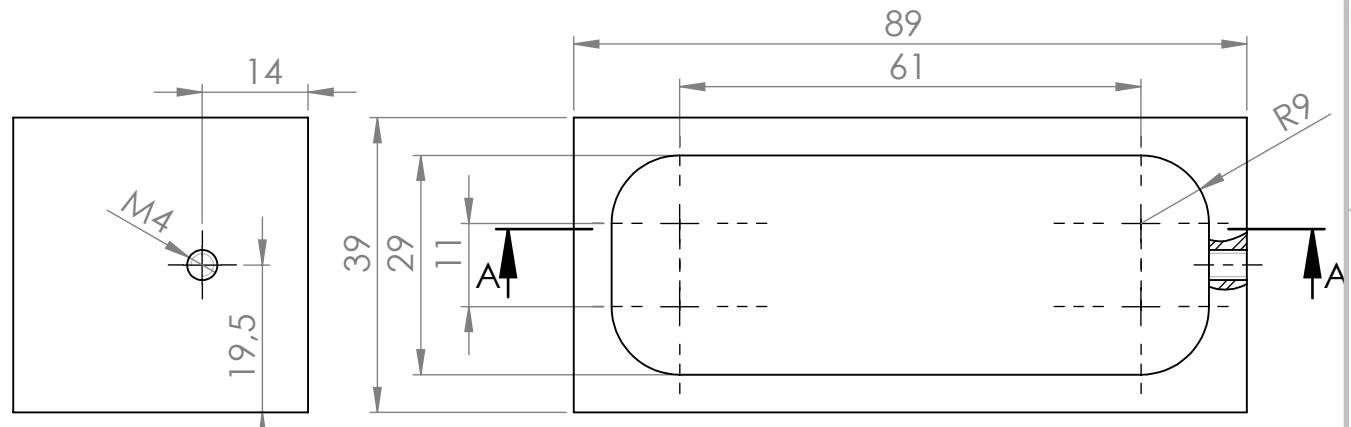
B

A

A



SECTION A-A



TOL:  
ISO 2768-mk  
ISO 8015

DEBURR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Quantity: 1

TITLE:  
Depósito do pó em  
excesso

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:  
Aço EN c45

DWG NO.

A4

WEIGHT:

SCALE:1:1

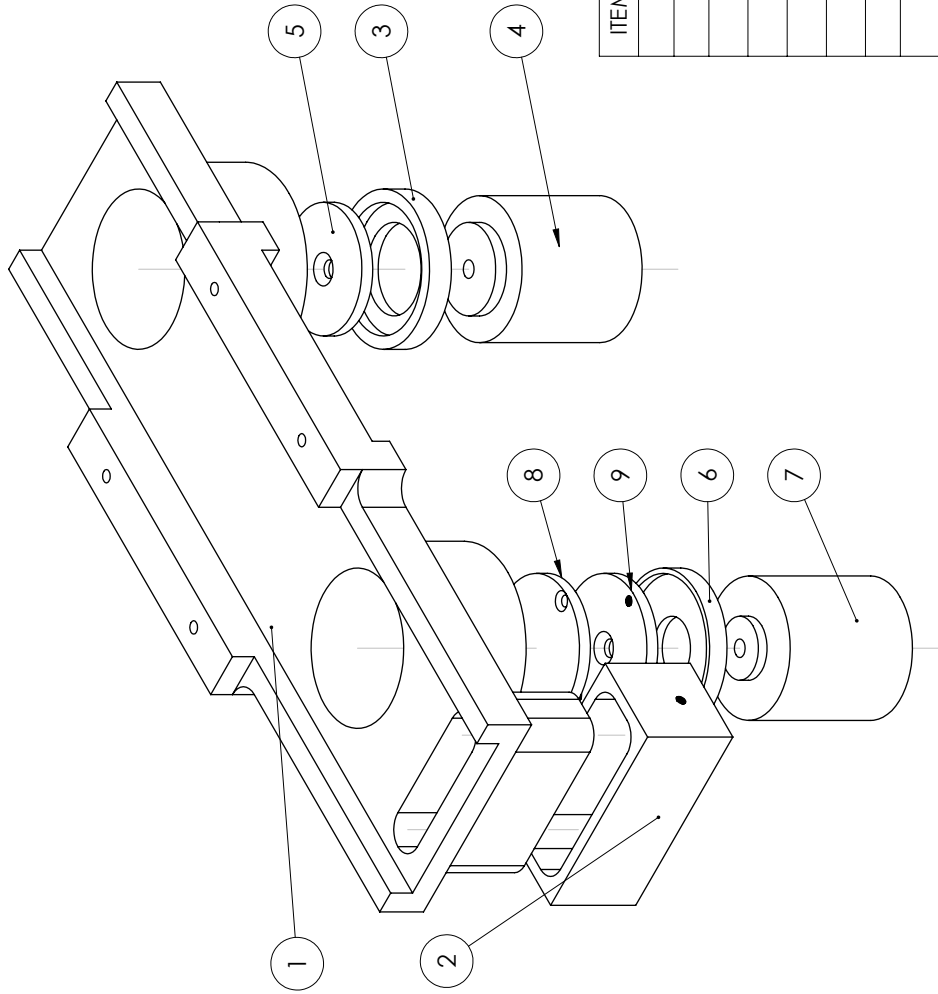
SHEET 1 OF 1

4 3 2 1



## Apêndice D

Desenho da montagem da mesa de dimensões reduzidas em vista explodida isométrica e desenho de conjunto



ITEM NO.	PART NUMBER	MATERIAL	QTY.
1	Base	Aço EN C45	1
2	Depósito pó em excesso	Aço EN C45	1
3	Anel PTFE do pó	PTFE	1
4	Base da plat. do pó	Aço EN C45	1
5	Plataforma do pó	Aço EN C45	1
6	Anel PTFE	PTFE	1
7	Base da plat. de construção	Aço EN C45	1
8	Plataforma de construção	Aço EN C45	1
9	Anel de fixação	Aço EN C45	1

DEBURR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE
LUS			
CHKD			
APPVD			
MFG			
Q.A			

TITLE: **Montagem da mesa**

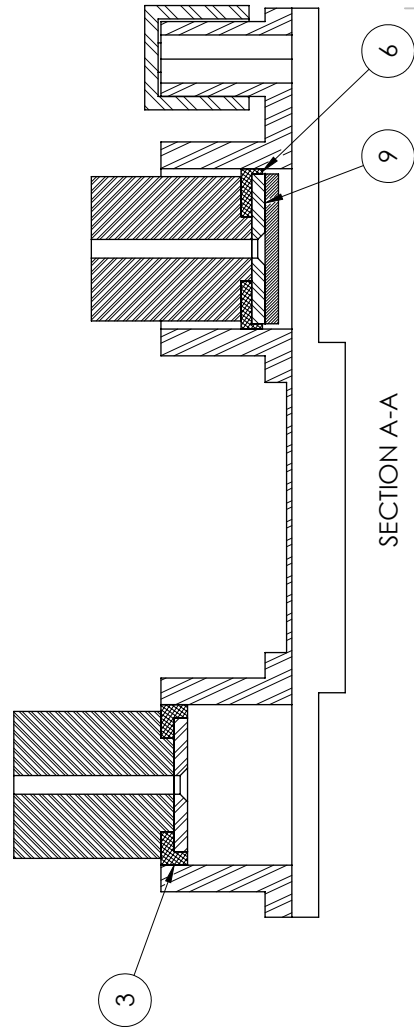
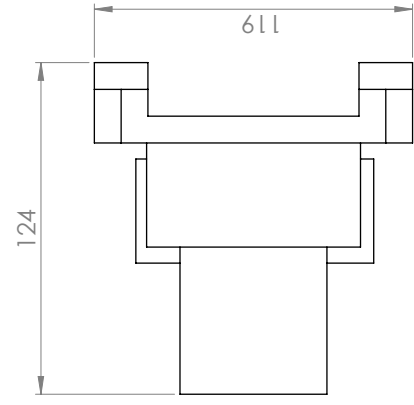
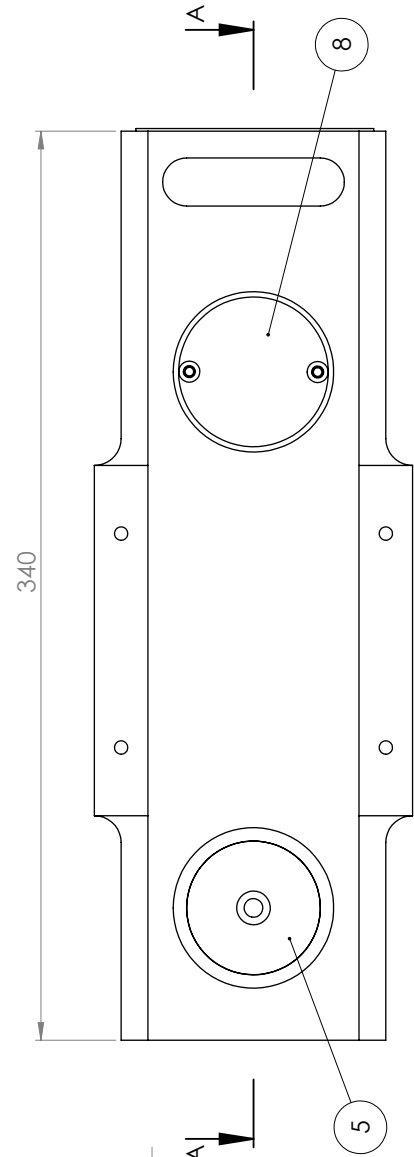
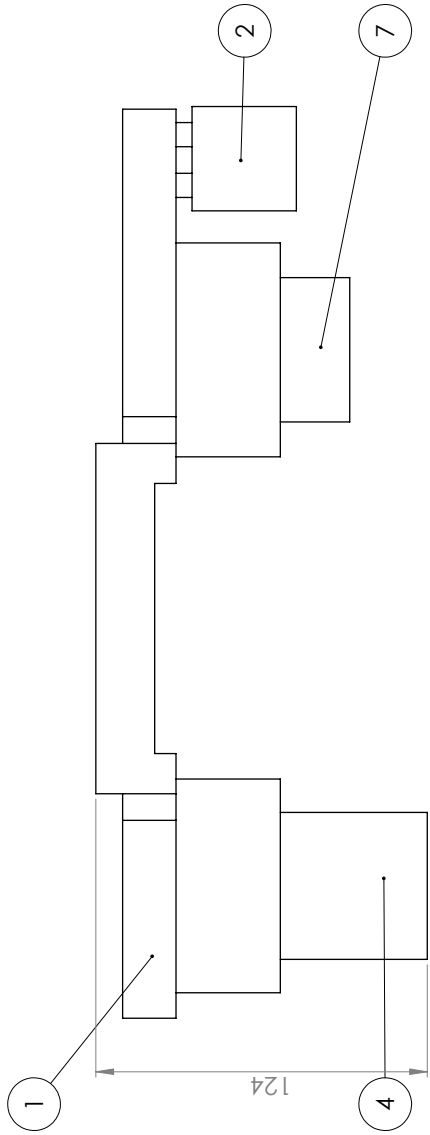
DWG NO. **A3**

SCALE: 1:2

WEIGHT: **3**

SHEET 1 OF 1

ITEM NO.	PART NUMBER	MATERIAL	QTY.
1	Base	Aço EN c45	1
2	Depósito pó em excesso	Aço EN c45	1
3	Anel PTFE do pó	PTFE	1
4	Base da plat. do pó	Aço EN c45	1
5	Plataforma do pó	Aço EN c45	1
6	Anel PTFE	PTFE	1
7	Base da plat. de construção	Aço EN c45	1
8	Plataforma de construção	Aço EN c45	1
9	Anel de fixação	Aço EN c45	1



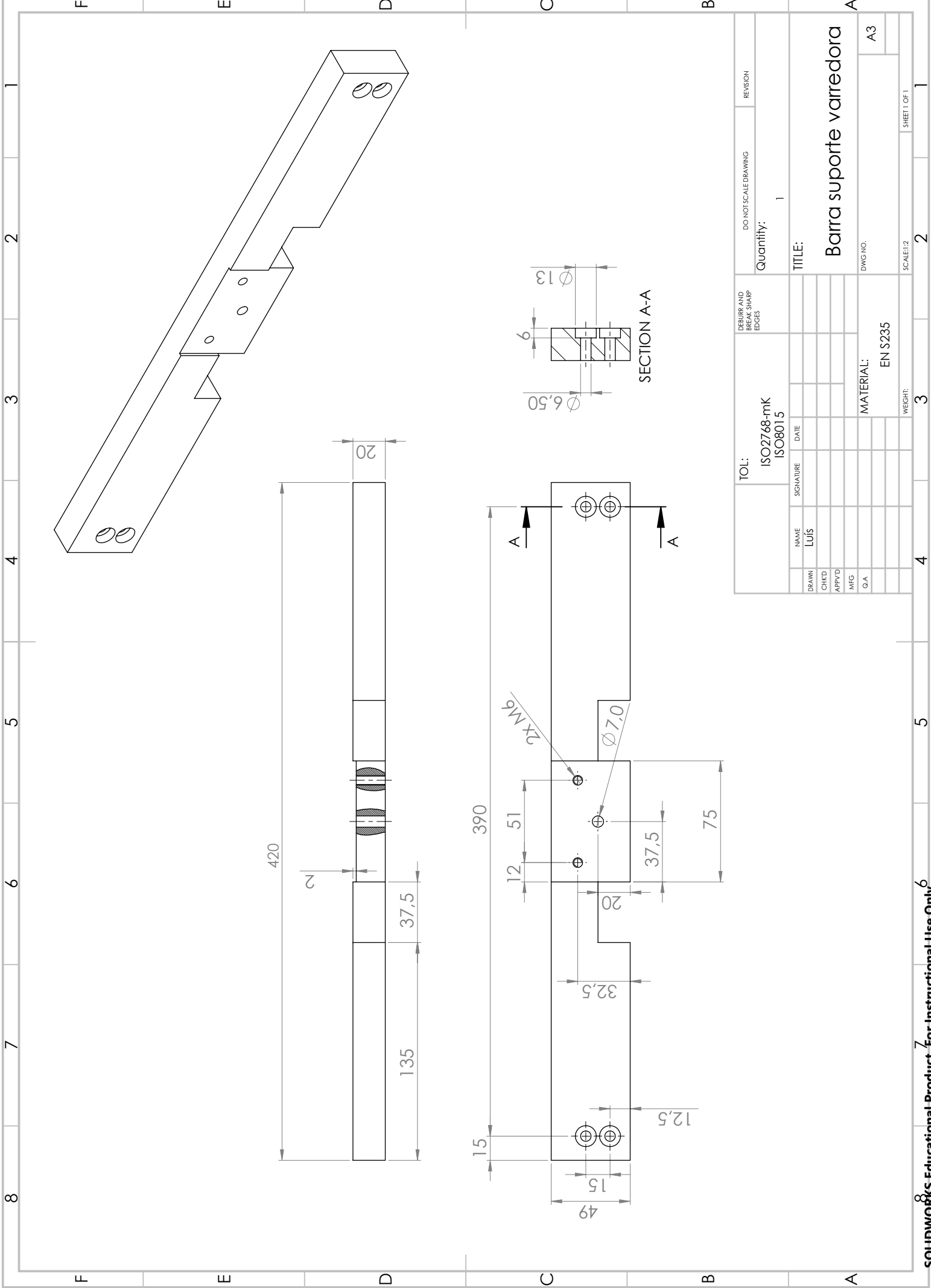
SECTION A-A

DO NOT SCALE DRAWING		REVISION
DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		
NAME	SIGNATURE	DATE
Lúá		
DRAWN	CHKD	APPVD
MFG	Q.A.	
TITLE:		DWG NO.
Conj: Montagem da mesa		A3
SCALE: 1:2		WEIGHT:
2		3
SHEET 1 OF 1		1

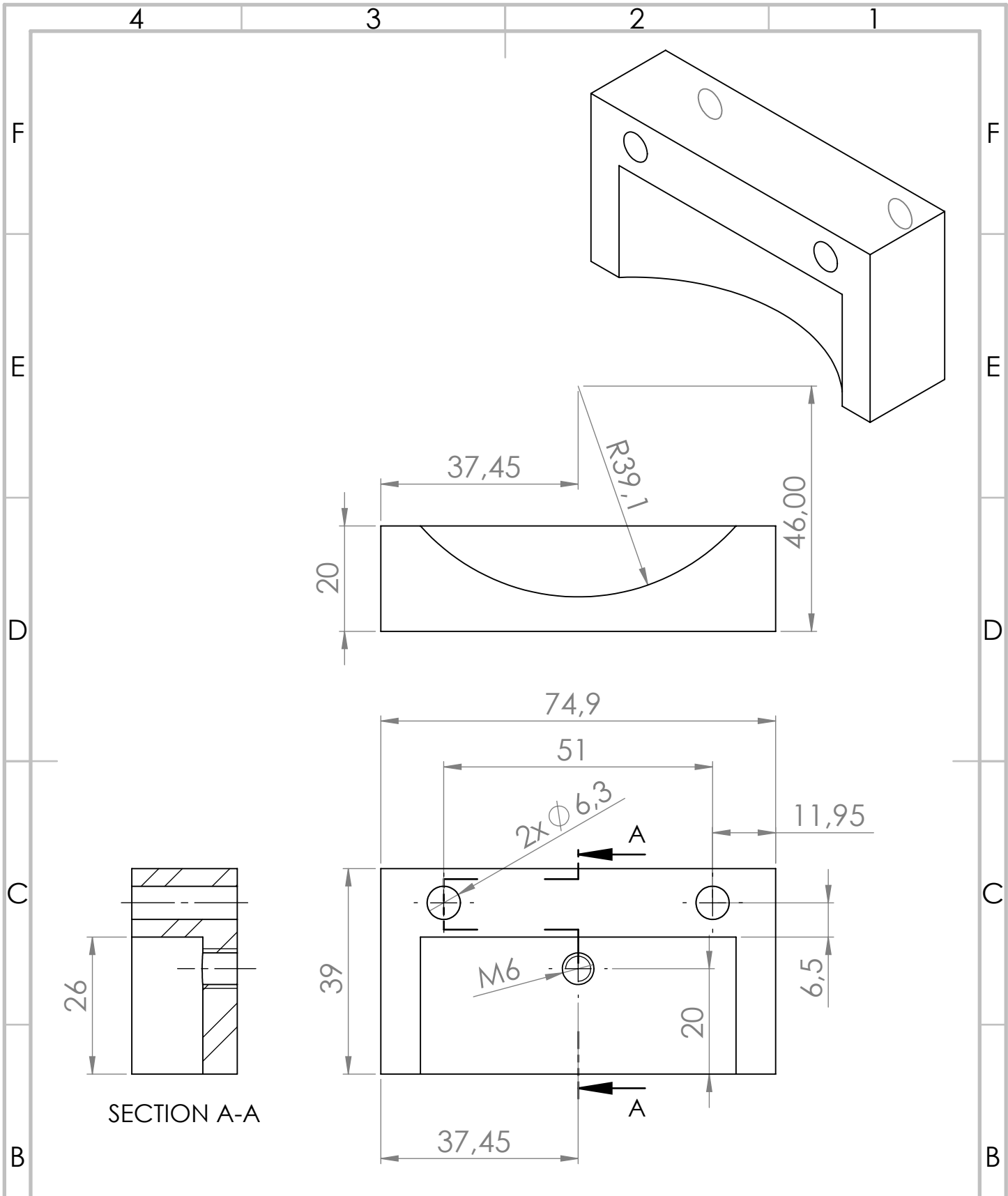


## Apêndice E

Desenhos de definição das peças  
pertencentes à varredora flexível de  
PTFE



DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
Quantity: 1			
TOL: ISO2768-mk ISO8015		TITLE: Barra soporte varredora	
DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		MATERIAL: EN S235	
NAME: LUIS	SIGNATURE	DATE	DWG NO: A3
DRAWN	CHKD	APPVD	WEIGHT: 3
IMFG	Q.A		SCALE: 1:2
			SHEET 1 OF 1



TOL: ISO2768-mK ISO8015		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
Quantity:				1			
TITLE:				Suporte varredora			
MATERIAL:				EN S235			
DWG NO.:				A4			
WEIGHT:				SCALE:1:1			
SHEET 1 OF 1							

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

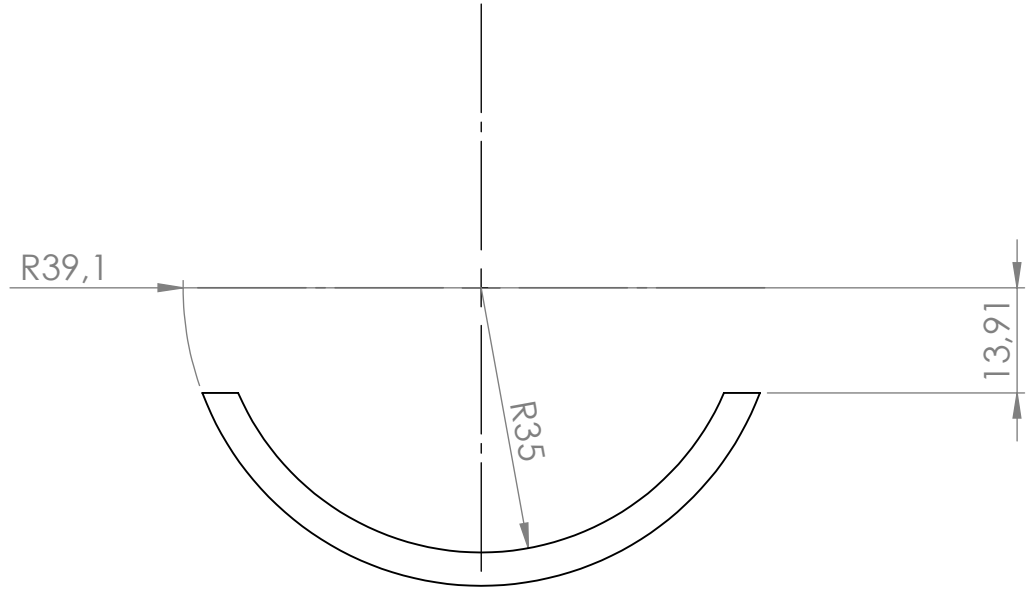
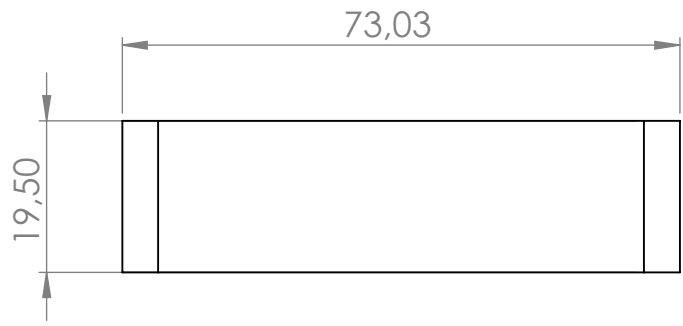
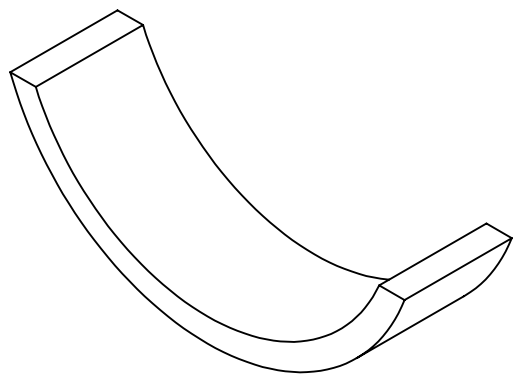
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

TOL:  
 ISO 2768-mk  
 ISO 8015

DEBURR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

QUANTITY: 1

TITLE:  
 Varredora PTFE

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Luis Costa		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:  
 PTFE

DWG NO. A4

WEIGHT:

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1



4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

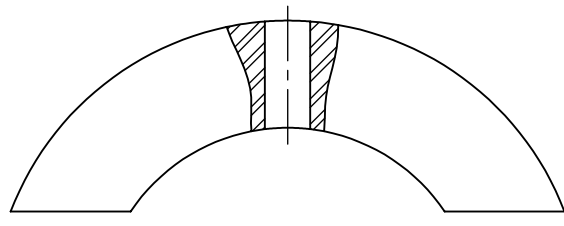
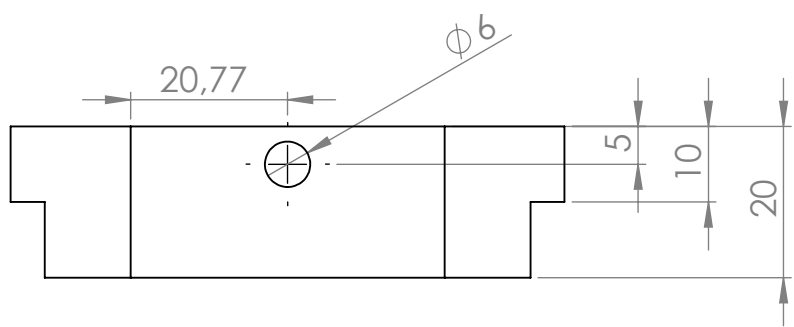
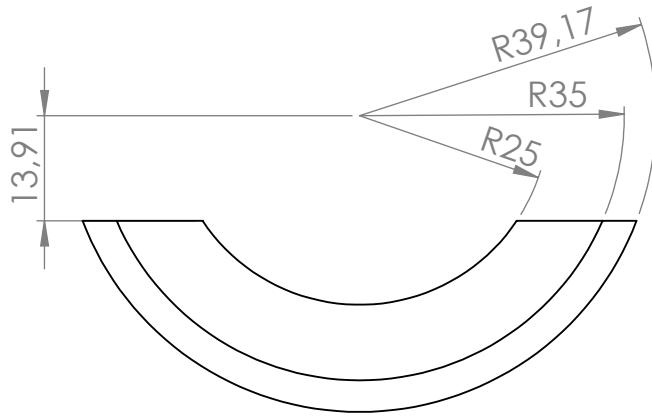
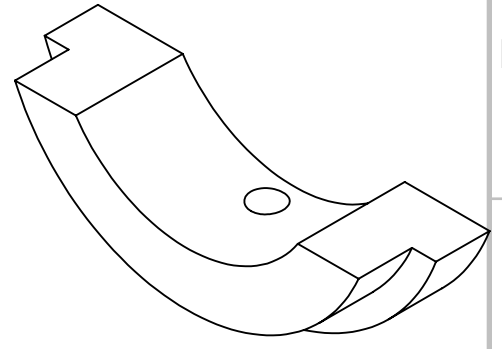
C

B

B

A

A



TOL: ISO2768-mK  
ISO8015

DEBURR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Quantity: 1

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:  
Aperto da varredora

MATERIAL:  
EN S235

DWG NO.

A4

WEIGHT:

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1



## Apêndice F

### Desenho de definição da varredora rígida de alumínio

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

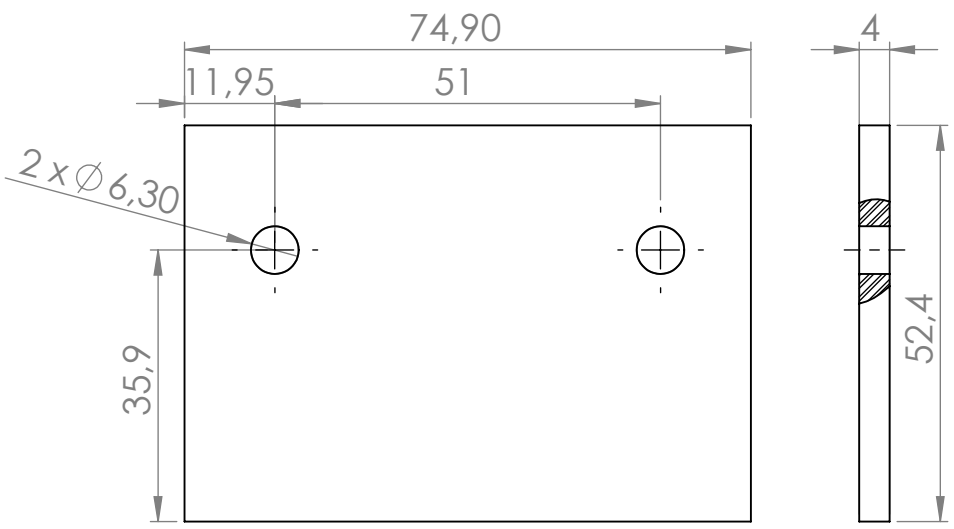
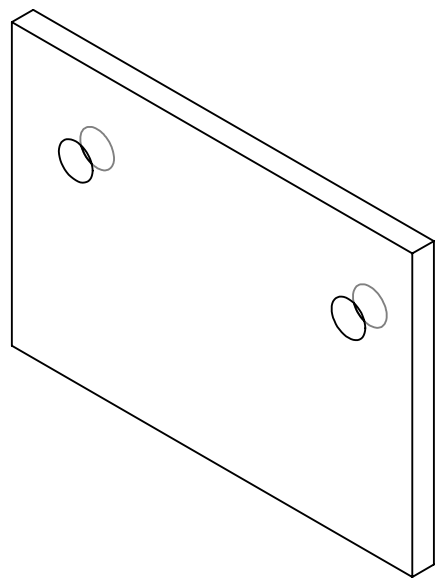
C

B

B

A

A



TOL: ISO2768-mK  
ISO8015

DEBURR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Quantity: 1

TITLE:  
Varredora alumínio

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Luis costa		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:  
Aluminio 6082-T6

DWG NO.

A4

WEIGHT:

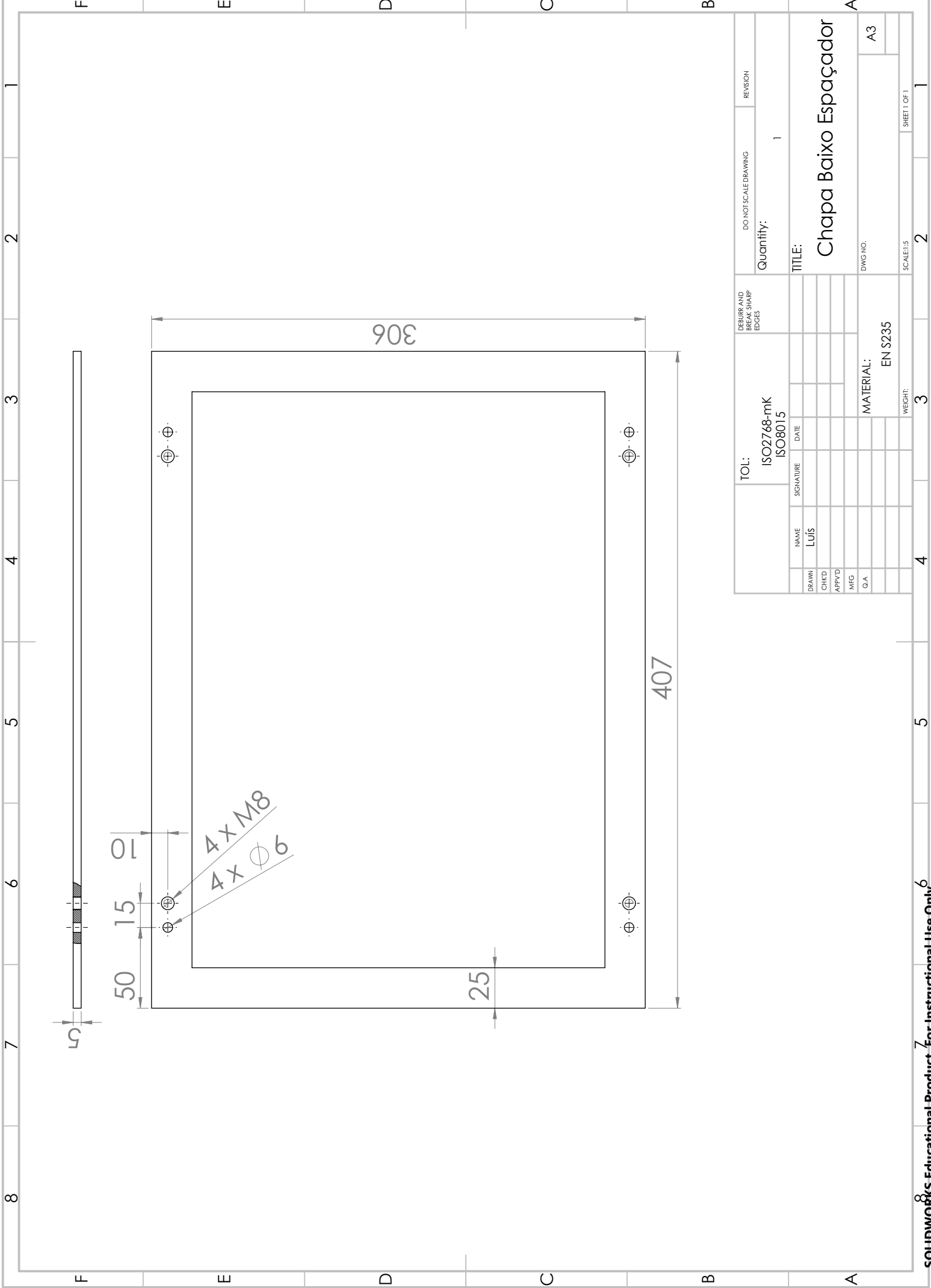
SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

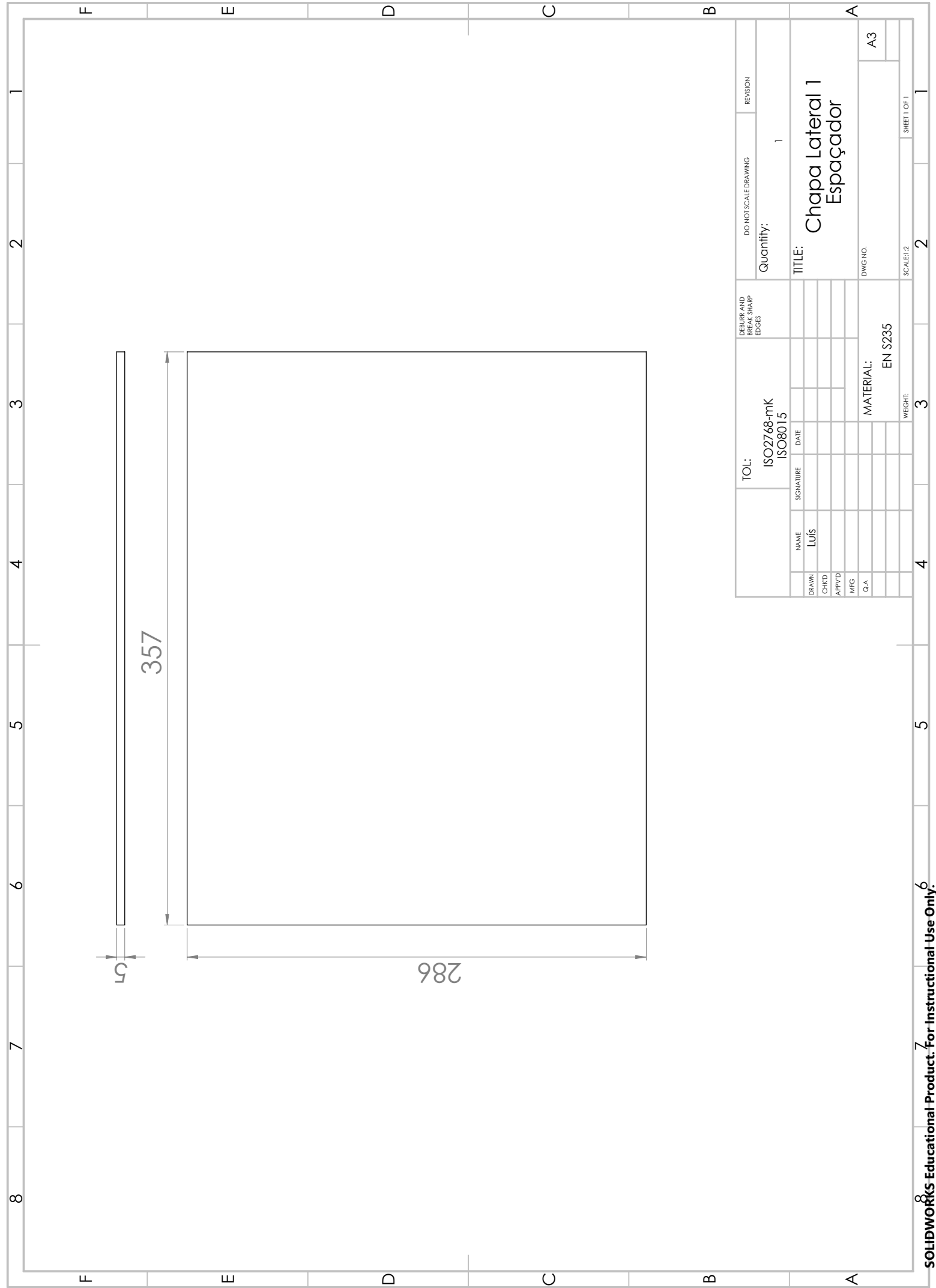
4 3 2 1

## Apêndice G

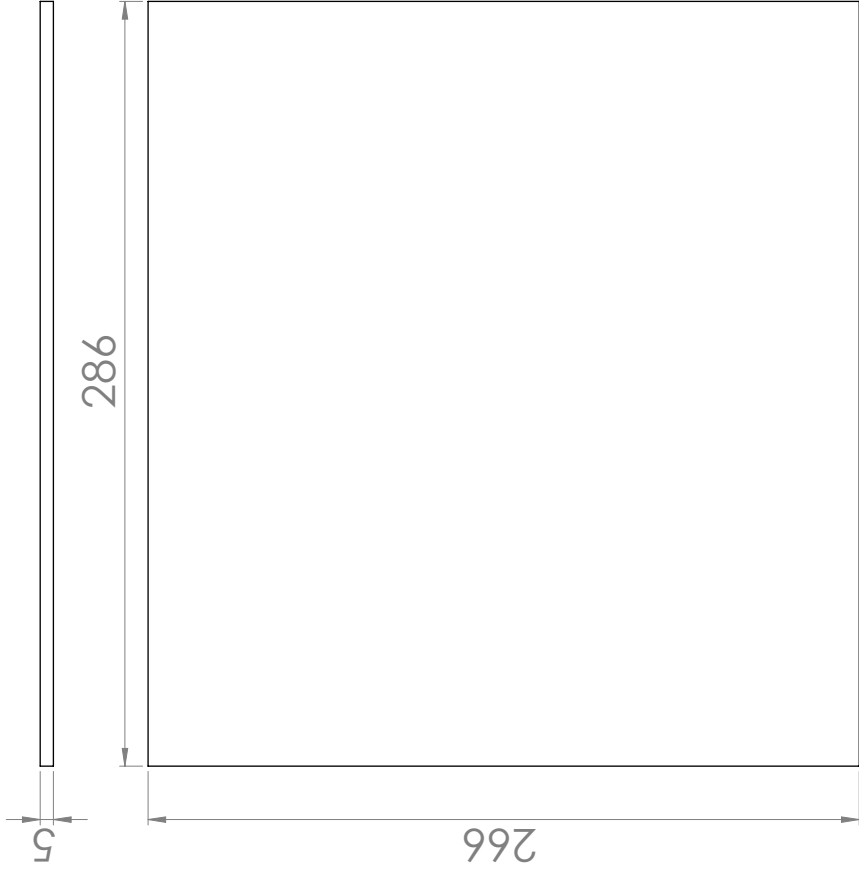
### Desenhos de definição das chapas do espaçador



DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
Quantity: 1			
TITLE: Chapa Baixo Espaçador		DWG NO. A3	
DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		MATERIAL: EN S235	
TOL: ISO2768-mk ISO8015		WEIGHT: 3	
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE
CHKD	Luis		
APPVD			
MFG			
Q.A			
SCALE: 1:5		SHEET 1 OF 1	

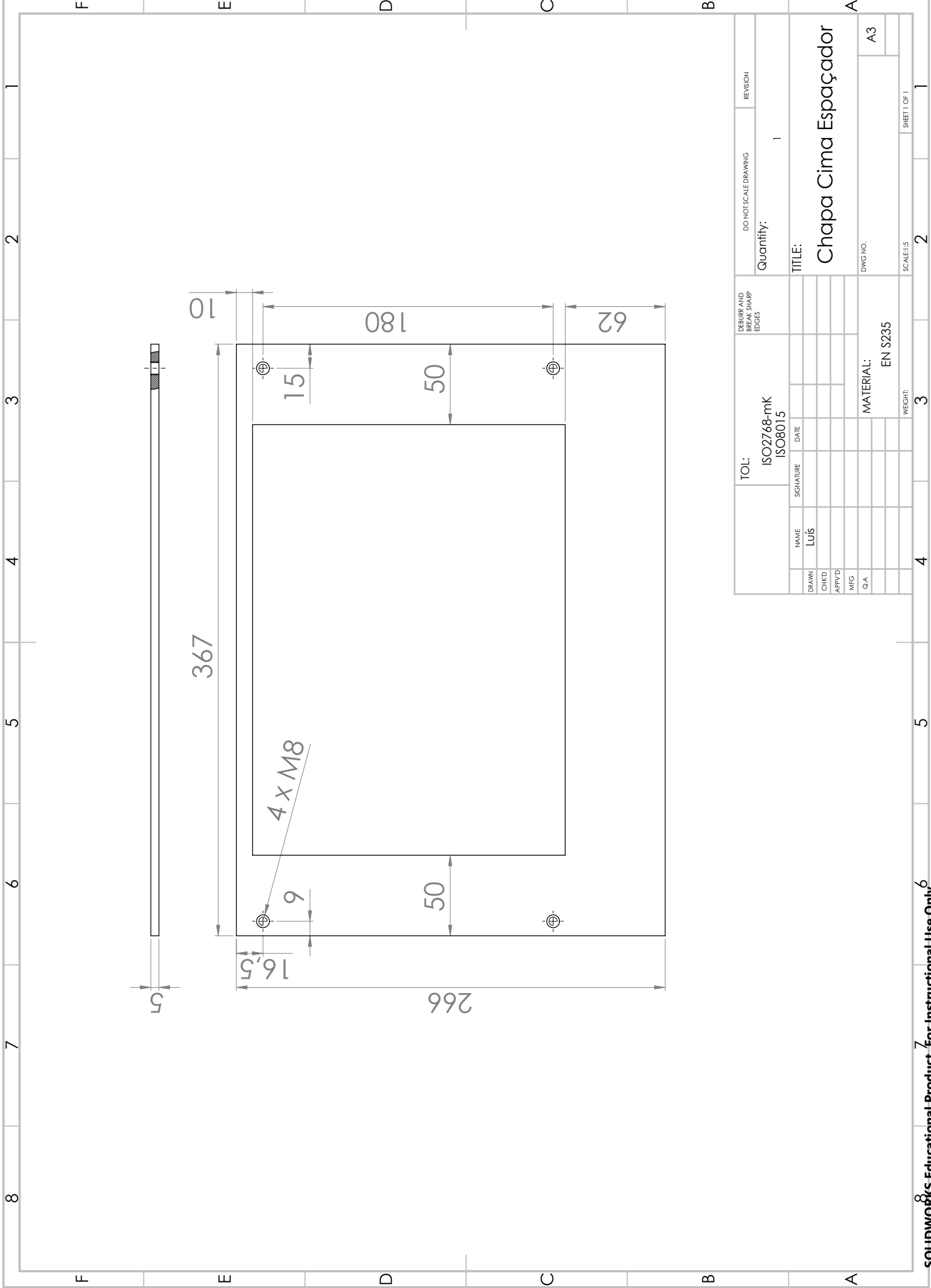


DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
Quantity: 1		1	
TITLE: Chapa Lateral 1 Españador		DWG NO. A3	
TOL: ISO2768-mk ISO8015		MATERIAL: EN S235	
DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	SIGNATURE	DATE	WEIGHT:
NAME	Luis		
DRAWN			
CHKD			
APPVD			
MFG			
Q.A			
SCALE: 1:2		SHEET 1 OF 1	



DO NOT SCALE DRAWING		REVISION
Quantity: 1		
TITLE: Chapa Lateral 2 Españador		
DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DWG NO. A3
TOL: ISO2768-mk ISO8015		MATERIAL: EN S235
NAME: LUIS	SIGNATURE	WEIGHT: 3
DATE		SCALE: 1:2
DRAWN		SHEET 1 OF 1
CHKD		
APPVD		
MFG		
Q.A		





8 7 6 5 4 3 2 1

F E D C B A

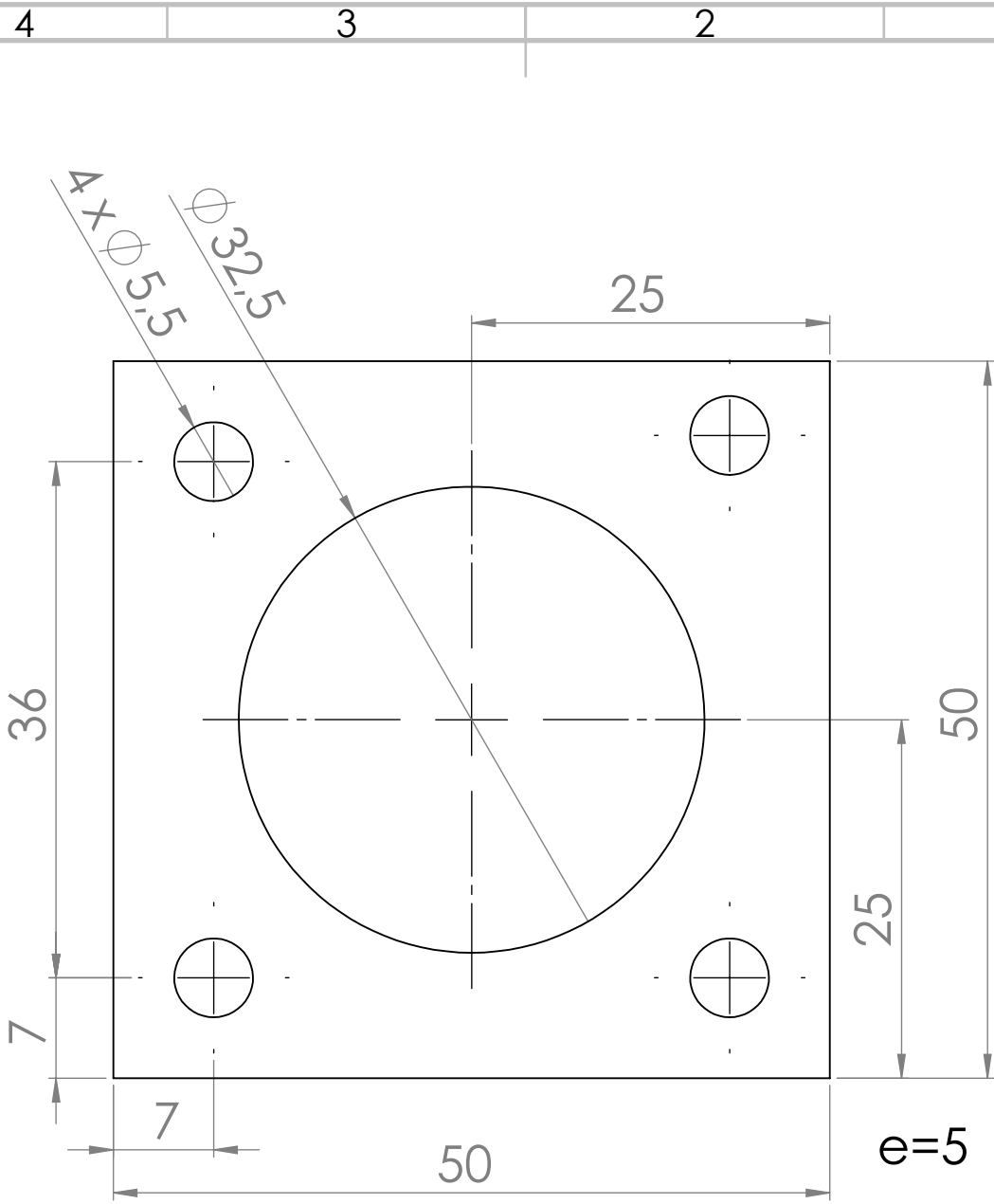
F E D C B A

DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
Quantity: 1		1	
TITLE: Chapa Cima Espaçador		DWG NO. A3	
TOL: ISO2768-mk ISO8015		MATERIAL: EN S235	
DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	NAME Luis	SIGNATURE	DATE
	DRAWN		
	CHKD		
	APPVD		
	MFG		
	Q.A		
WEIGHT: 3	SCALE: 1:5	2	1
SHEET 1 OF 1		1	



## Apêndice H

### Desenhos de definição dos componentes da chaminé



TOL:  
ISO2768-mK  
ISO8015

DEBURR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Quantity: 1

TITLE:  
Flange Chaminé

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Luís		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:  
EN S235

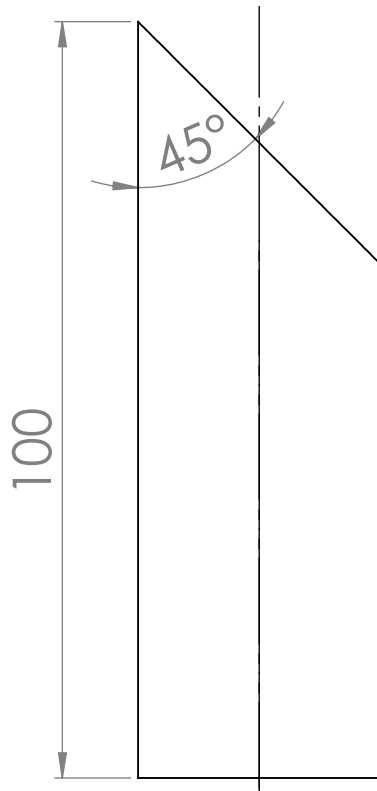
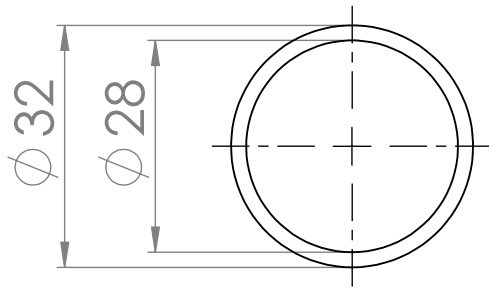
DWG NO.

A4

WEIGHT:

SCALE:2:1

SHEET 1 OF 1



TOL:  
ISO2768-mK  
ISO8015

DEBURR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Quantity:

1

TITLE:

Tube chaminé 1

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Luís		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:

EN S235

DWG NO.

A4

WEIGHT:

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

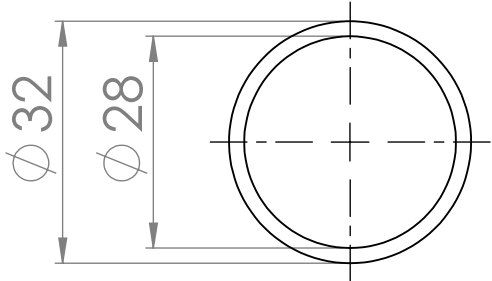
4 3 2 1

F

F

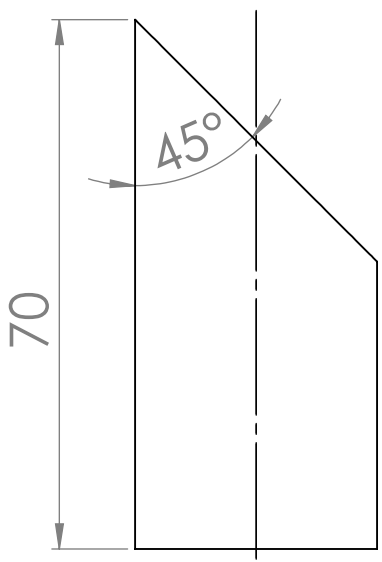
E

E



D

D



C

C

B

B

TOL:  
ISO2768-mK  
ISO8015

DEBURR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Quantity: 1

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Luís		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:  
**Tabo chaminé 2**

MATERIAL:  
EN S235

DWG NO. A4

WEIGHT:

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

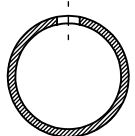
## Apêndice I

# Desenhos de definição dos componentes do circuito de árgon

4 3 2 1

F

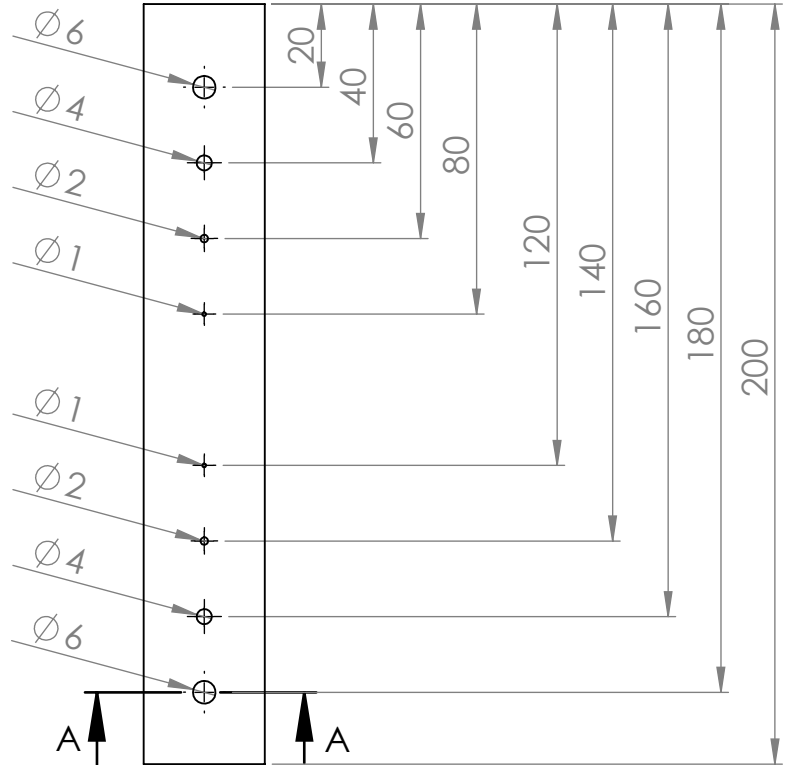
F



SECTION A-A

E

E

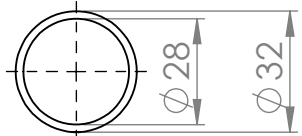


D

D

C

C



B

B

TOL:  
ISO2768-mK  
ISO8015

DEBURR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Quantity:

1

TITLE:

Difusor árgon

A

A

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	LUÍS		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:

EN S235

A4

WEIGHT:

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1



4 3 2 1

F

F

E

E

D

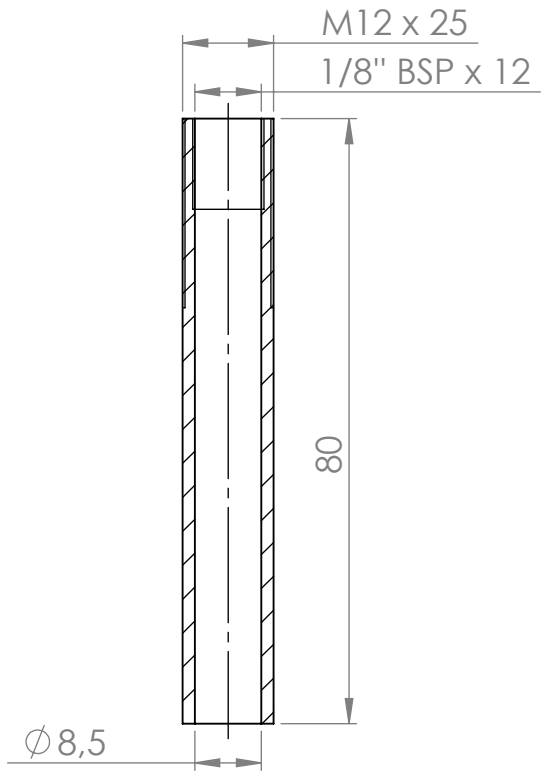
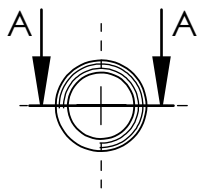
D

C

C

B

B



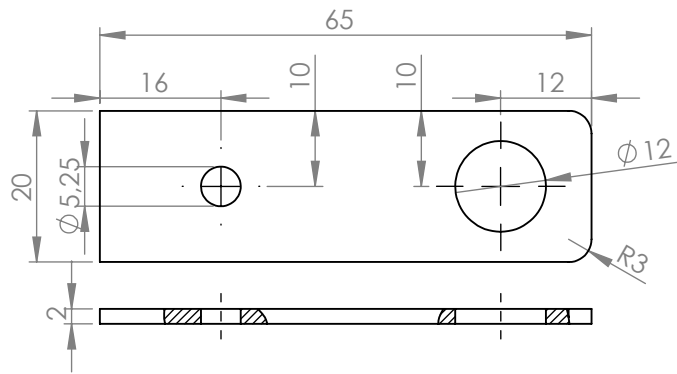
SECTION A-A

		TOL: ISO2768-mK ISO8015		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
						Quantity: 1			
						TITLE: Acessório fixação árgon			
				MATERIAL: EN S235		DWG NO.		A4	
				WEIGHT:		SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1	

A

A

4 3 2 1



TOL:  
ISO2768-mK  
ISO8015

DEBURR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Quantity:

1

TITLE:

Chapa fixação eletroval.

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Luís		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:  
EN S235

DWG NO.

A4

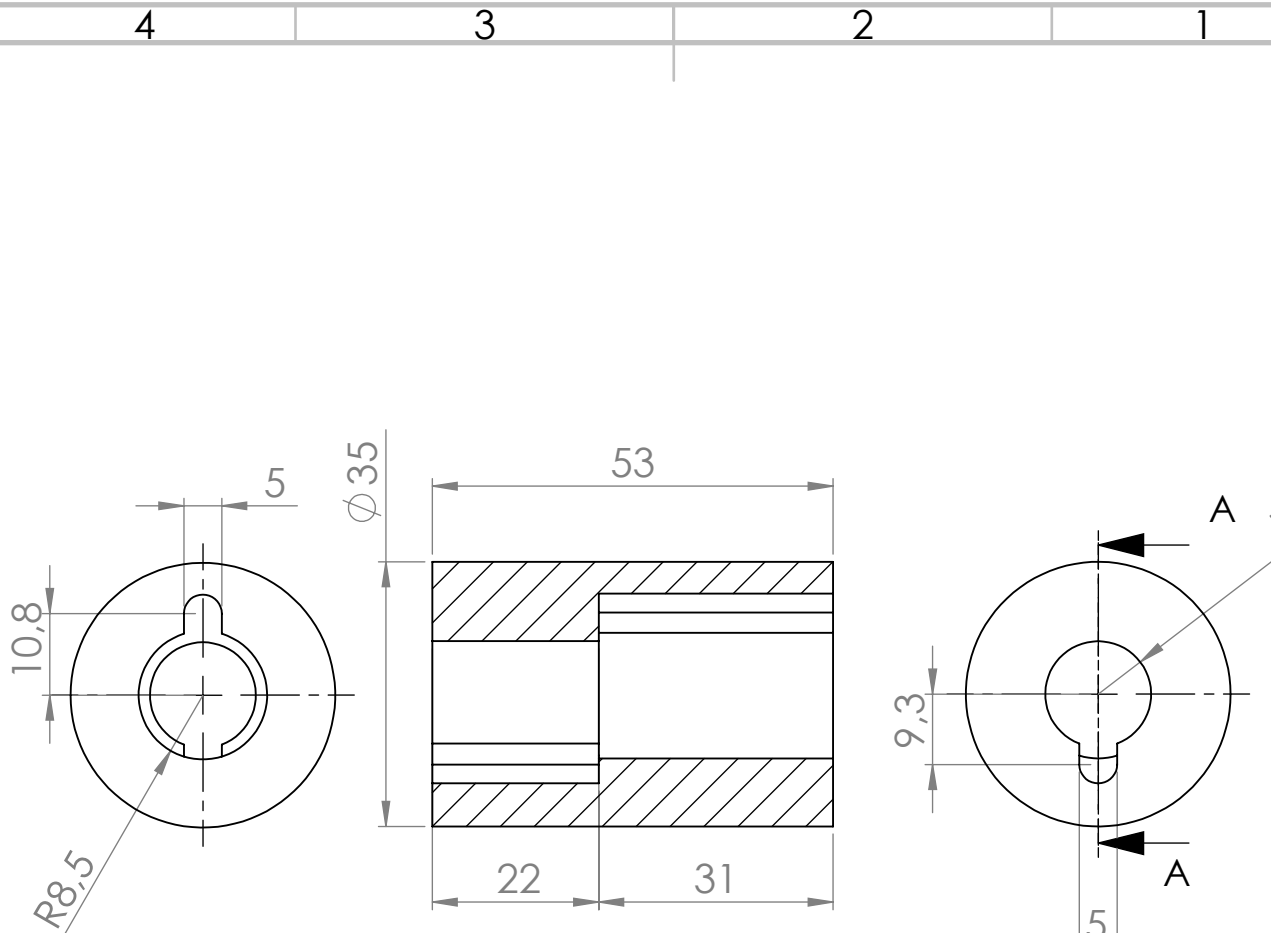
WEIGHT:

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

## Apêndice J

### Desenho de definição do acoplador do motor de passo

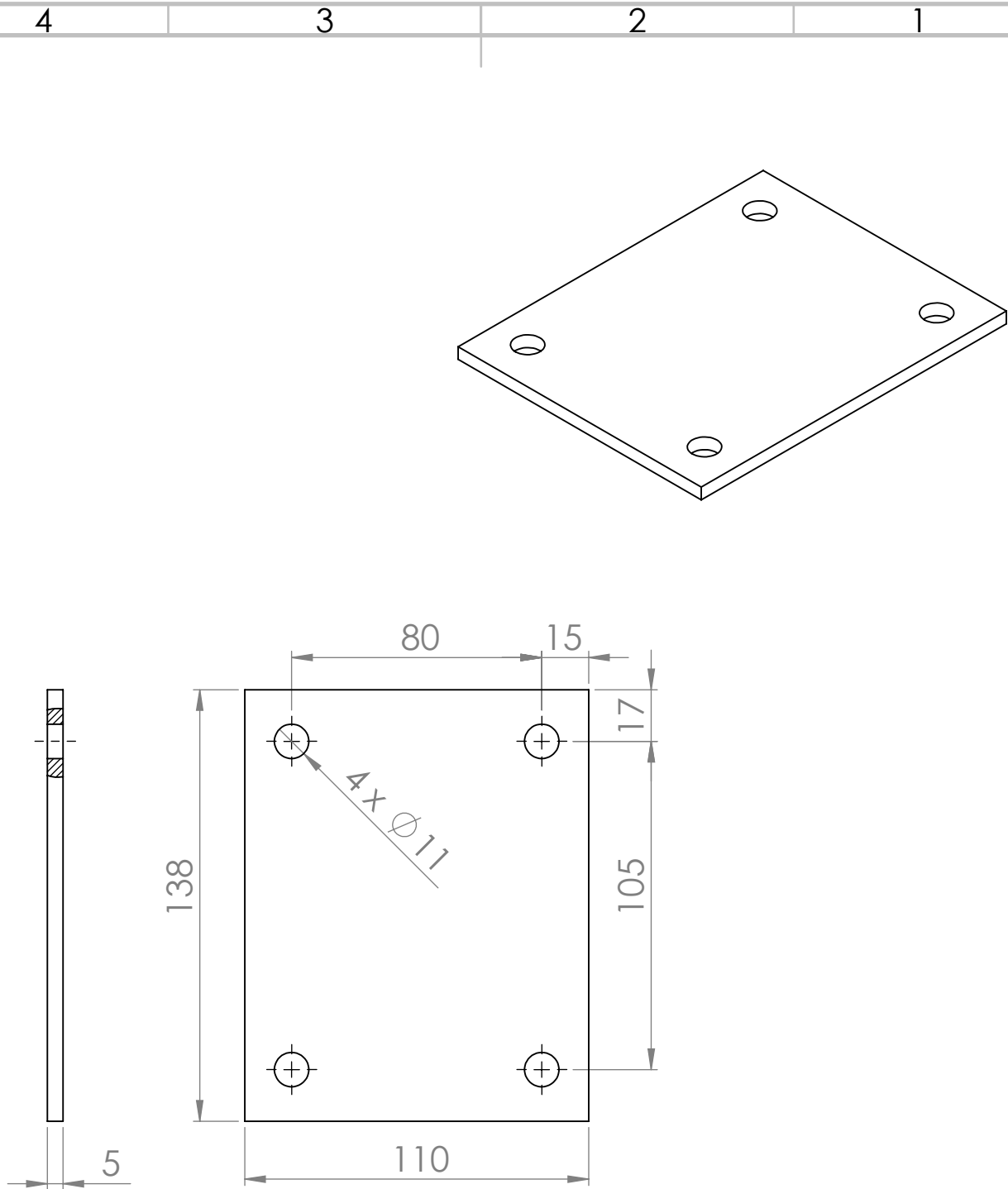


SECTION A-A

TOL:		ISO2768-mK		ISO8015		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
								Quantity:		1	
DRAWN		NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
LUÍS								Acoplador			
CHK'D								MATERIAL:		DWG NO.	
APPV'D								EN S235		A4	
MFG								WEIGHT:		SCALE:1:1	
Q.A										SHEET 1 OF 1	

## Apêndice K

Desenho de definição da chapa de  
fixação dos rodízios



TOL:  
ISO2768-mK  
ISO8015

DEBURR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Quantity: 1

TITLE:  
**Chapa Suporte Rodízios**

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Luís		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:  
EN S235

DWG NO. A4

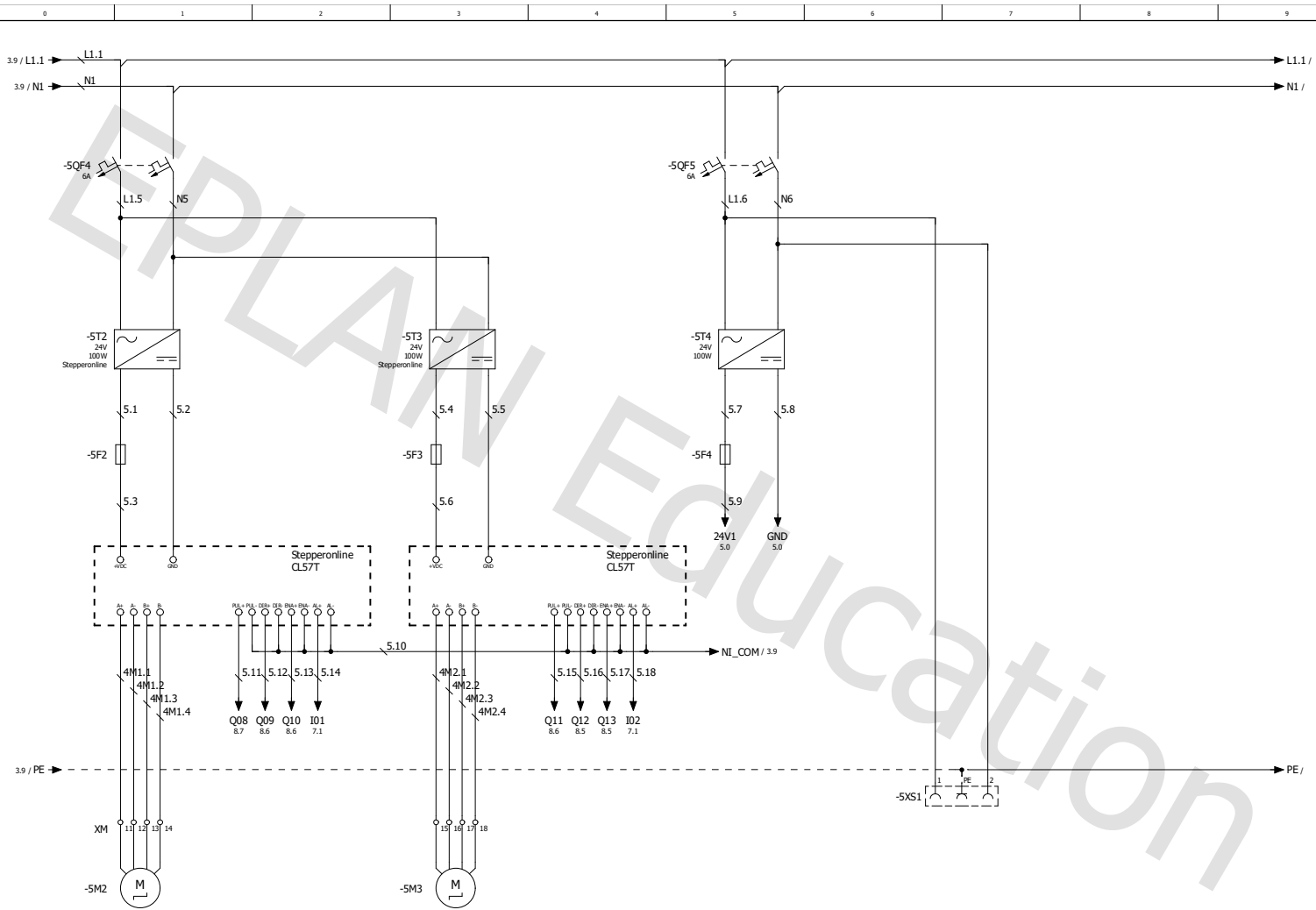
WEIGHT: SCALE:1:1 SHEET 1 OF 1

## Anexo I

# Esquema elétrico antigo

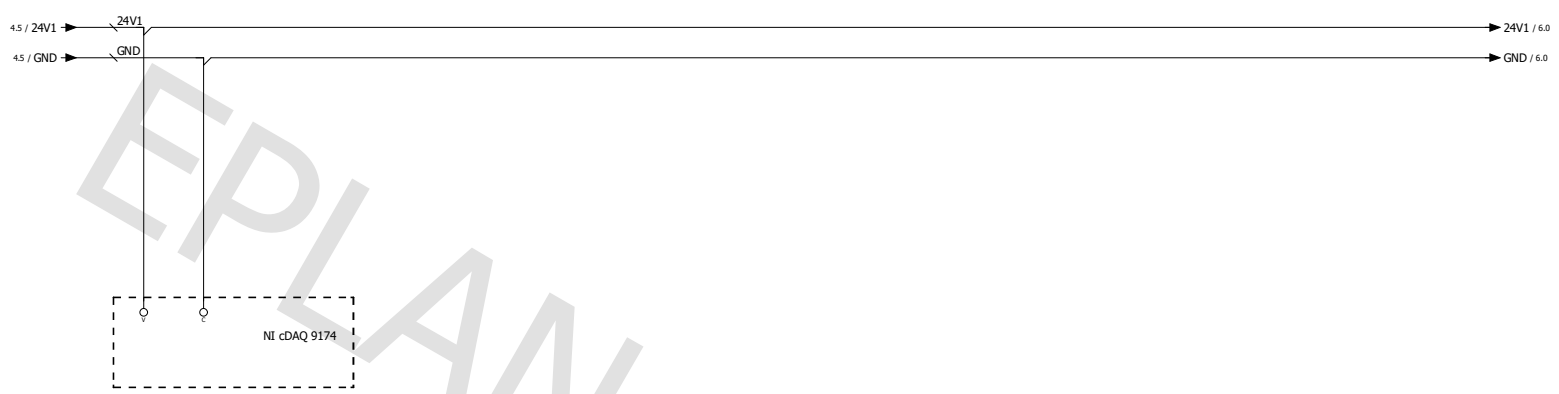




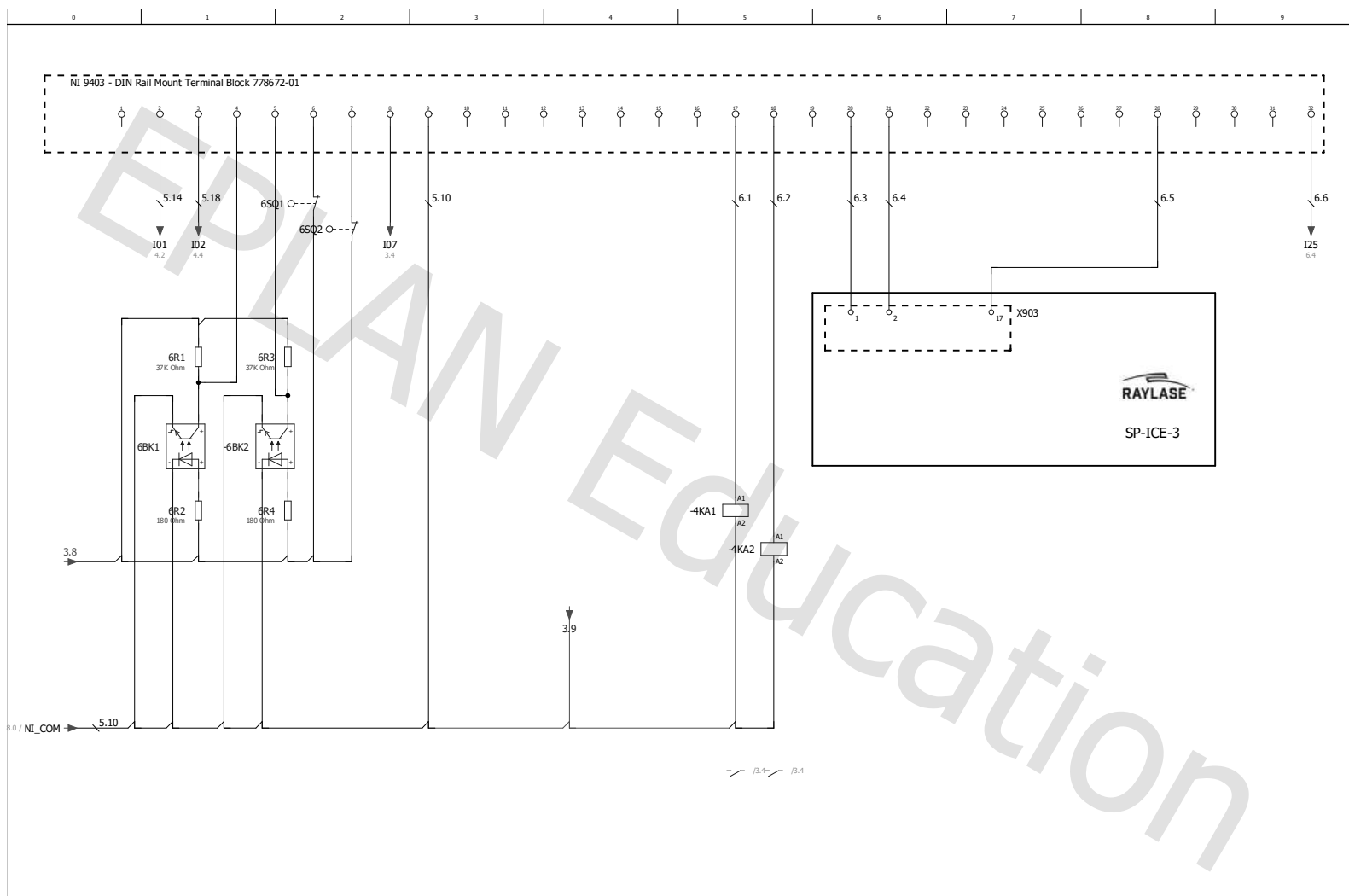


Date		02/11/2020	EPLAN	EPLAN Software & Service	Power Motor	=
Ed.		Anabela Araújo	Project template with identification structure in accordance with IEC standard: Page structure	GmbH & Co. KG	with higher-level function and mounting location and document type	+
Appr.			Replacement of			
Original			Replaced by			
Modification	Date	Name	Original	Replaced by	document type	IEC_191003
						Page 4 / 9

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

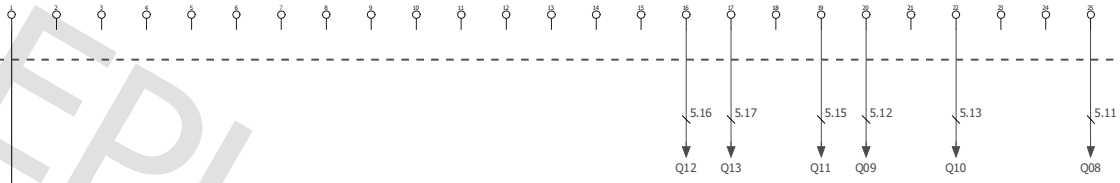


		Date	02/11/2020	EPLAN	EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG	Power Comando	=		
		Ed.	Anabela Araújo	Project template with identification structure in accordance with IEC standard: Page structure	with higher-level function and mounting location and	document type	IEC_19003	Page	5
Modification	Date	Name	Original	Replacement of	Replaced by			Page	5 / 9



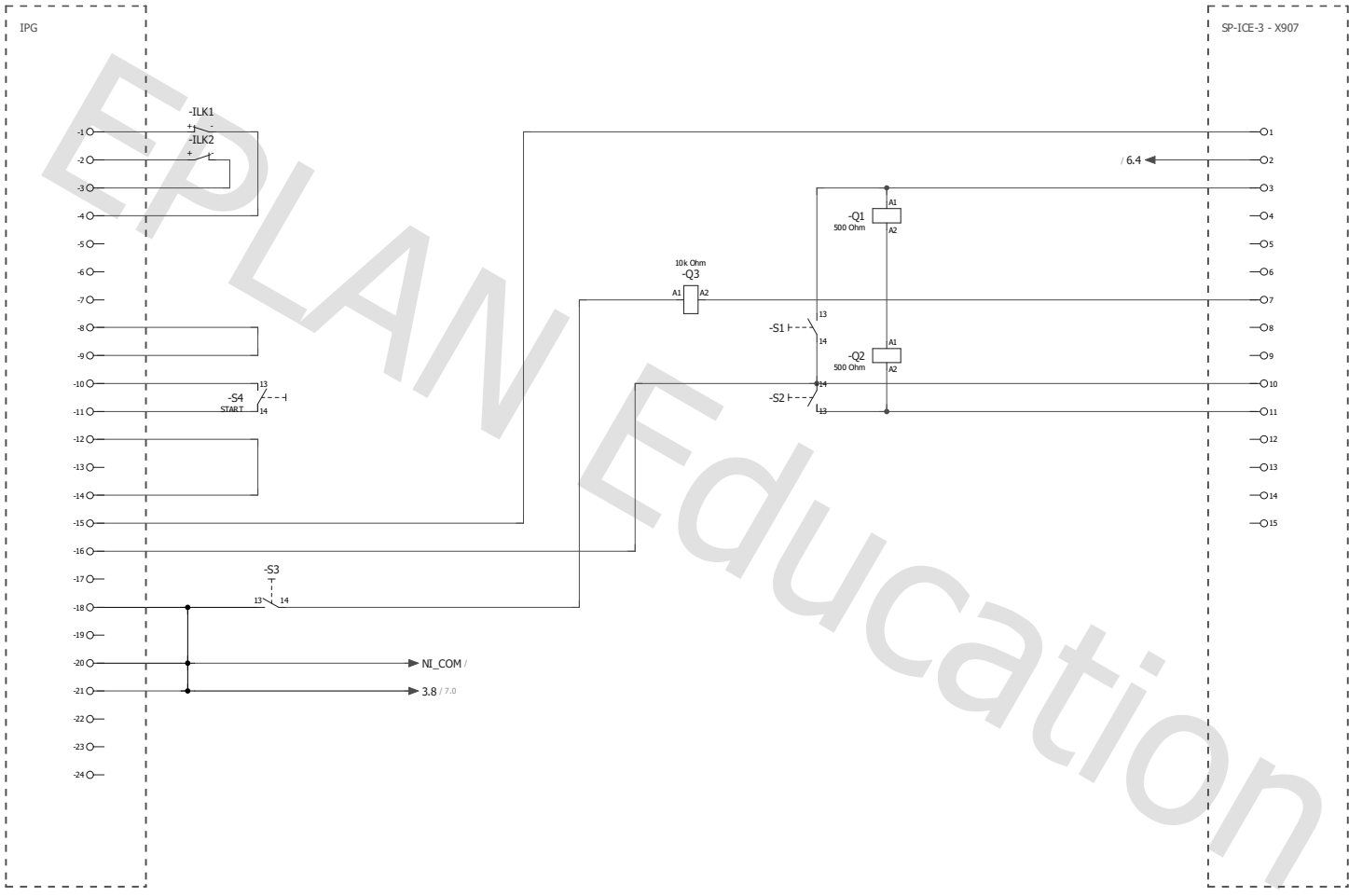
		Date	02/11/2020	EPLAN	EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG		Ni I/O			
		Ed.	Anabela Araújo	Project template with identification structure in accordance with IEC standard: Page structure	with higher-level function and mounting location and		document type	IEC_19003	Page	7
Modification	Date	Name	Original	Replacement of	Replaced by				Page	7 / 9

NI 9401 - DIN Rail Mount Terminal Block 781081-01



7.0 / NI\_COM → 5.10

		Date	02/11/2020	EPLAN	EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG	NI I/O	=		
		Ed.	Arabela Araujo	Project template with identification structure in accordance with IEC standard: Page structure	with higher-level function and mounting location and	document type	IEC_19003	Page	8
Modification	Date	Name	Original	Replacement of	Replaced by			Page	8 / 9



8

Date	02/11/2020	EPLAN	EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG	IPG-X907			
Ed.	Arabela Araujo	Project template with identification structure in accordance with IEC standard: Page structure	with higher-level function and mounting location and	document type	IEC_151003		
Appr.		Replacement of	Replaced by			Page	9
Modification	Date	Name	Original			Page	9 / 9



## Anexo II

Diagrama funcional e páginas de  
controle e monitorização da  
máquina [14]

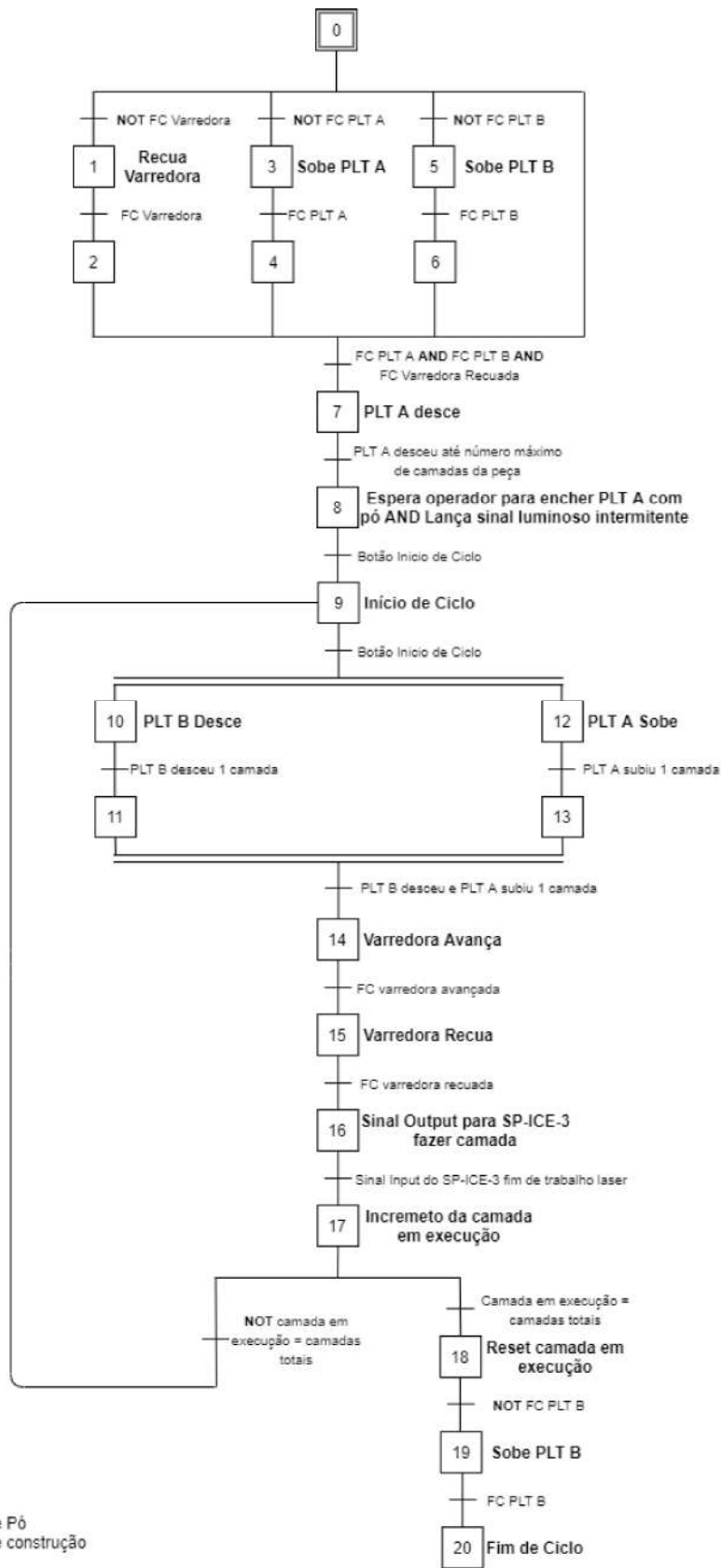


Figura 4.11: Diagrama funcional Grafset de controlo da máquina



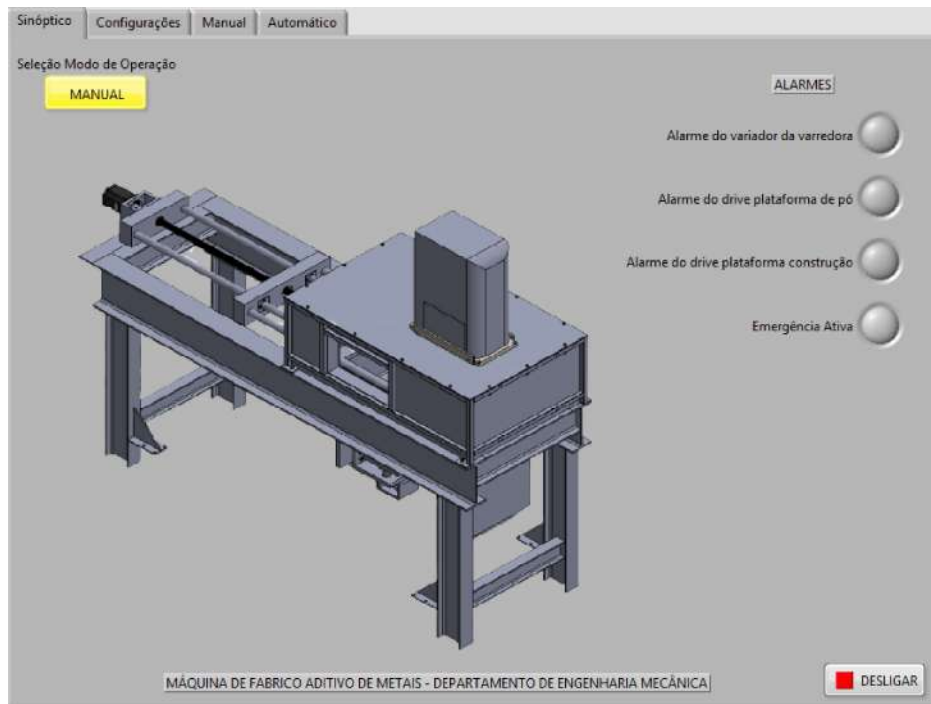


Figura 4.14: Menu “Sinóptico” da interface com o utilizador

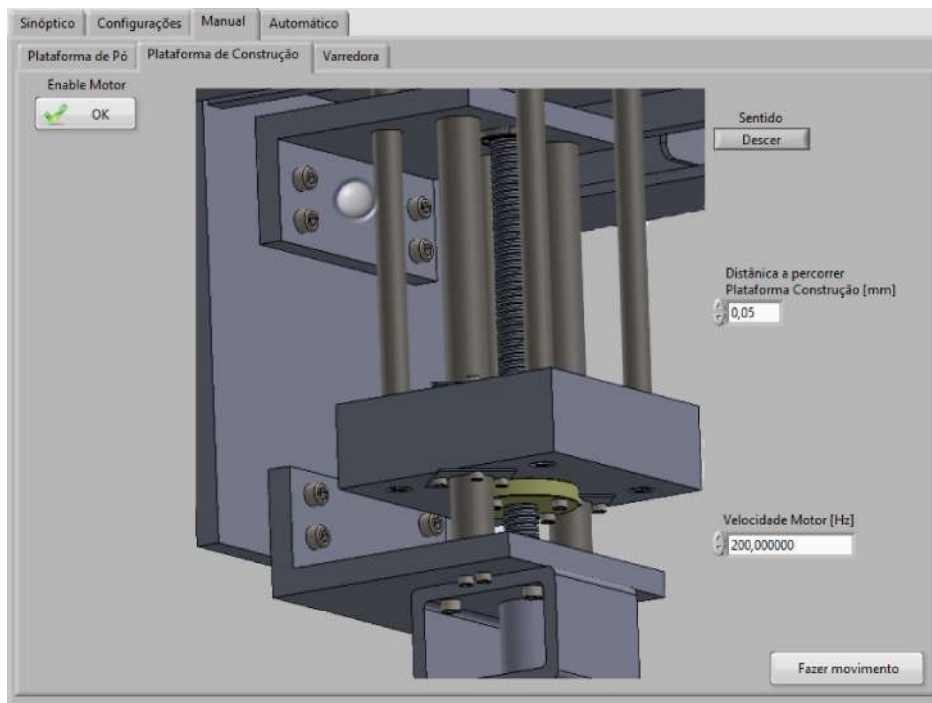


Figura 4.15: Menu “Manual” da interface com o utilizador com sub menu “Plataforma de Construção”

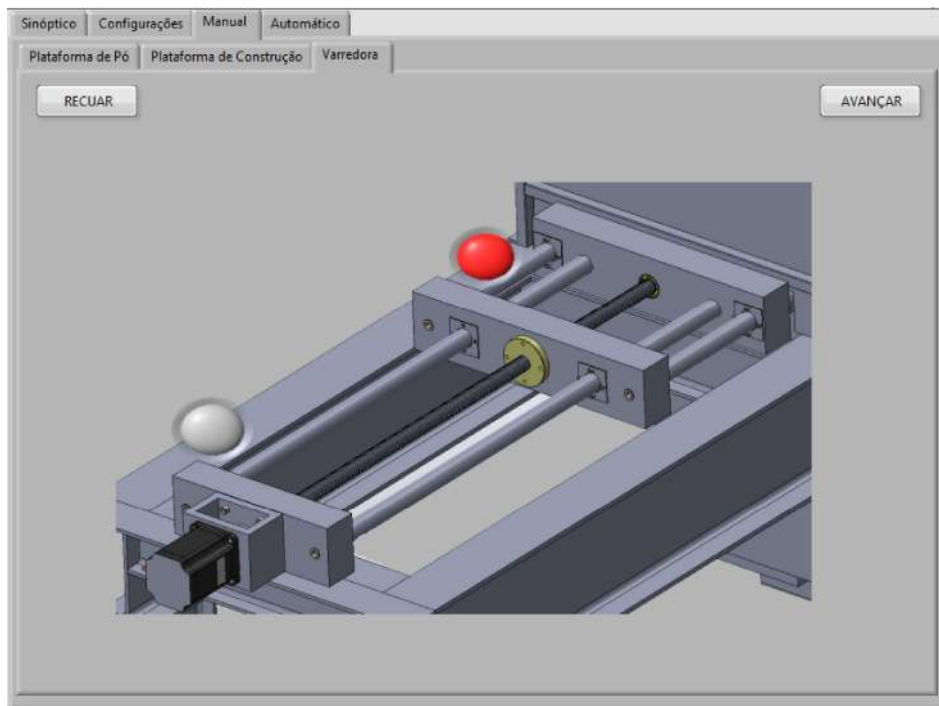


Figura 4.16: Menu “Manual” da interface com o utilizador com sub menu “Varredora”

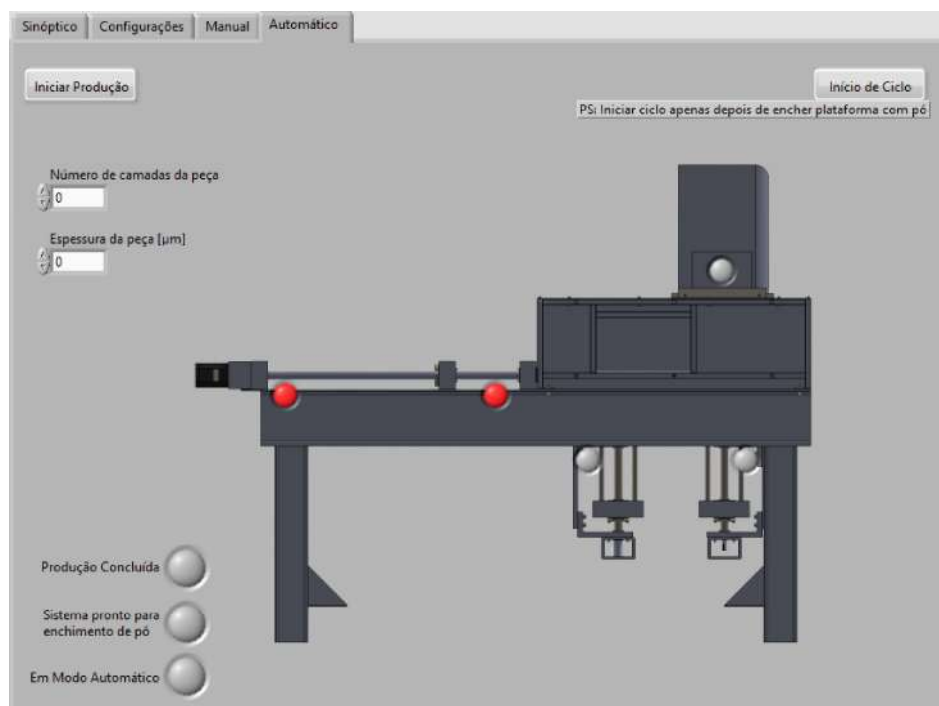
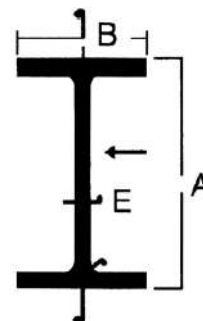


Figura 4.17: Menu “Automático” da interface com o utilizador

## Anexo III

# Tabela técnica - Vigas de Perfil IPE

## PERFIL IPE



Tipo de aço: S 275 JR+AR.

Alma (A) (mm)	Banzo (B) (mm)	Espessura (E) (mm)	Massa Específica (kg/m)
80	46	3,8	6,000
100	55	4,1	8,100
120	64	4,4	10,400
140	73	4,7	12,900
160	82	5,0	15,800
180	91	5,3	18,800
200	100	5,6	22,400
220	110	5,9	26,200
240	120	6,2	30,700
270	135	6,6	36,100
300	150	7,1	42,200
330	160	7,5	49,100
360	170	8,0	57,100
400	180	8,6	66,300
450	190	9,4	77,600
500	200	10,2	90,700
550	210	11,1	106,000
600	220	12,0	122,000

### Informações adicionais:

Comercializado ao quilograma e faturado pelo peso teórico.

Disponível em barras de 6,1 ou 12,1 metros de comprimento.

IPE 360 ou superior e barras de outras dimensões disponíveis sob consulta.

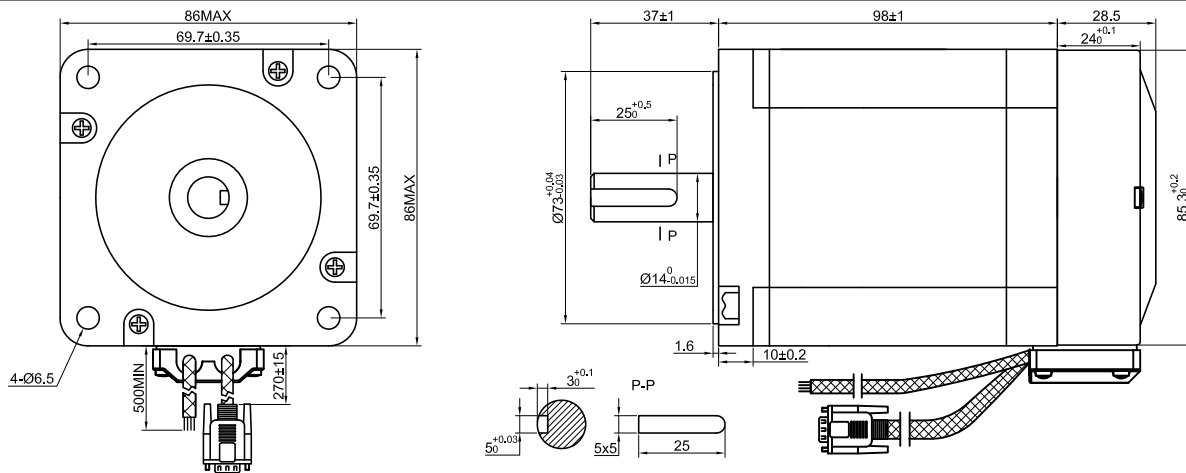
Material certificado.

Material apto para pintura e metalização.

Disponomos do serviço de corte e calandragem de perfis.

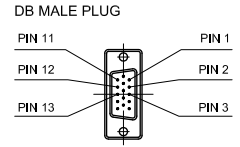
## Anexo IV

# Ficha técnica do motor Nema 34HS38-4204D-E1000



SPECIFICATION	CONNECTION	BIPOLAR
AMPS/PHASE		4.20
RESISTANCE/PHASE(Ohms)@25°C		0.80±10%
INDUCTANCE/PHASE(mH)@1KHz		8.00±20%
HOLDING TORQUE(Nm)[lb-in]		7.07[62.57]
STEP ANGLE(°)		1.80
STEP ACCURACY(NON-ACCUM)		±5.00%
LEAD STYLE		FVR 4X0.75mm <sup>2</sup> CABLE
LIFE(h)		6000
TEMPERATURE RISE:MAX.80°C (MOTOR STANDSTILL;FOR 2PHASE ENERGIZED )		
AMBIENT TEMPERATURE -10°C~50°C[14°F~122°F]		
INSULATION RESISTANCE 100 Mohm (UNDER NORMAL TEMPERATURE AND HUMIDITY )		
INSULATION CLASS B 130°C[266°F]		
DIELECTRIC STRENGTH 500VAC FOR 1MIN.(BETWEEN THE MOTOR COILS AND THE MOTOR CASE)		
AMBIENT HUMIDITY MAX.85%(NO CONDENSATION)		

TYPE OF CONNECTION (EXTERN)		MOTOR	
PIN NO	BIPOLAR	LEADS	WINDING
1	A —	BLK	A
2	A1 —	RED	A1
3	B —	YEL	B
4	B1 —	BLU	B1



15-PIN DB MALE PLUG	1	2	3	11	12	13
LEAD COLOR	BLK	RED	WHT	YEL	GRN	BLU
DESCRIPTION	EA+	VCC	GND	EB+	EB-	EA-




APVD		8.21.2018
CHKD		
DRN		
SCALE	SIGNATURE	DATE

STEPPER MOTOR

34HS38-4204D-E1000

## Anexo V

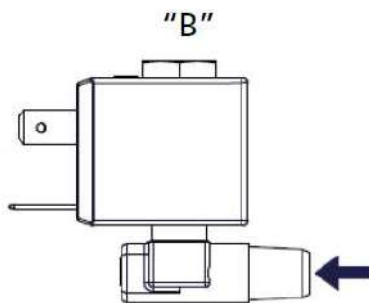
# Ficha técnica da eletroválvula

 Dep. Compras	<b>FICHA TÉCNICA MATERIAL</b>		CO101441	
	Desig: Electroválvula 24/50-M12x1		CÓPIA Nº	PÁGINA 1 de 2


**ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS :**

POS.	DESCRIÇÃO	UNIDADE	UN TIPO
1			
2			
3			

**TIPO : C - Crítico P - Principal S - Secundário**



<b>Technical data</b>		
Body material	Brass	
Seal material	EPDM – NBR - FPM	
Tube material	Brass	
Working fluids	Air, water, steam	
Electrical connect.	6,3 x 0,8 fast-on terminal	
Insulation class	H	
220-230VAC 50-60Hz Approvals: CE; VDE	Power (VA)	13,5
	Amb. T. (°C)	120
	Fluid T. (°C)	140
100-120VAC 60Hz Approvals: CE; UL	Power (VA)	14
	Amb. T. (°C)	80
	Fluid T. (°C)	145
12 - 24 VAC Approvals:CE	Power (W)	9
	Amb. T. (°C)	80
	Fluid T. (°C)	140

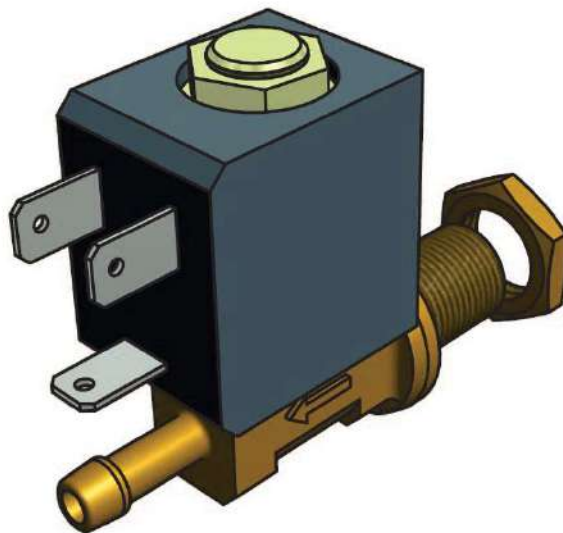
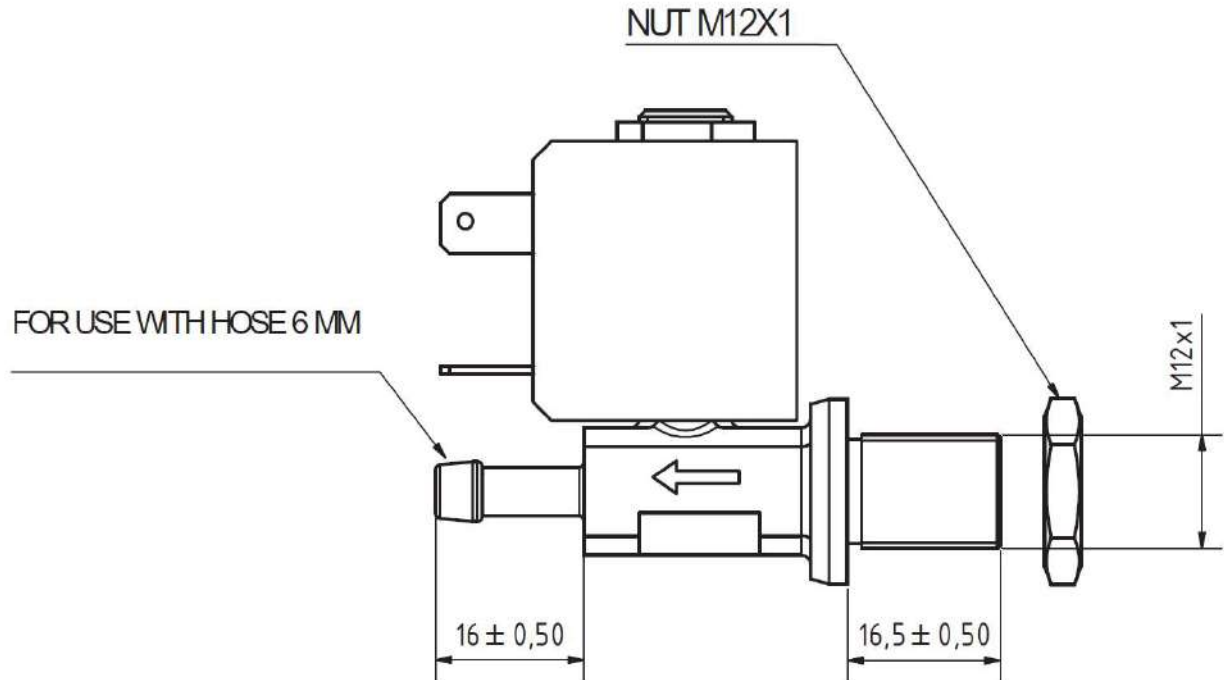
<b>Performance</b>				
Orifice size (mm)	Flow (m3/h)	MOPD (bar)		
		AC	DC	
1,5	0,065	17	8	
2,0	0,090	13	7	
2,5	0,150	9	2	
2,7	0,160	8	2	
3,0	0,175	5	1	
3,3	0,190	4	1	

\*: For pipes and codes see drawings

- Coil size 22mm
- 2/2 way NC - Direct acting
- Cold / high temperature fluids
- Multi purpose usage
- ED 100%



<b>JOAO R. MATOS S.A.</b> Aveiro Portugal  Dep . Compras	<b>FICHA TÉCNICA MATERIAL</b>		
	Cód: Desig:	CÓPIA N°	PÁGINA 2 de2



ELABORADO: Helena Silva	APROVADO:	Edição/Revisão: A/0	DATA: 11/03/2021
11/03/2021 João Matos			

JRM 50T5005A



## Anexo VI

# Ficha técnica do sensor de porta aberta



## EX-BNS 250-12Z-2187-3G/D

- Individual contact outlet
- Explosion protection for ATEX Zones 2 and 22
- Thermoplastic enclosure
- 33 mm x 25 mm x 13 mm
- Small body
- Concealed mounting possible
- Insensitive to transverse misalignment
- no mechanical wear
- For intrinsically safe current circuits (Ex i) to Ex-Zone 0 and 20

## Data

### Ordering data

Product type description	EX-BNS 250-12Z-2187-3G/D
Article number (order number)	101179980
EAN (European Article Number)	4030661332604
eCl@ss number, Version 9.0	27-27-24-02
eCl@ss number, Version 11.0	27-27-24-02
ETIM number, version 6.0	EC002544
ETIM number, version 7.0	EC002544

### Explosion protection

Explosion protection: regulations	EN 13463-1 EN 13463-5 EN 60079-0 EN 60079-15 EN 60079-31 IEC 60947-5-3
-----------------------------------	---

Explosion protection zones	22 2
Explosion protection category	3D 3G
Explosion protection designation	⊕ II 3G Ex nC IIC T6 Gc X ⊕ II 3D Ex tc IIIC T80°C Dc X
Manufacturer declaration	ATEX Zone 2 and 22

## General data

Housing construction form	Block
Installation conditions (mechanical)	not flush
Enclosure material	Glass-fibre, reinforced thermoplastic
Gross weight	57.5 g

## General data - Features

Coding	Yes
Short circuit detection	Yes
Short-circuit recognition	Yes
Prerequisite evaluation unit	Yes
Number of openers	2
Number of shutters	1

## Safety appraisal

Standards	EN ISO 13849-1
Mission Time	20 Year(s)

## Safety appraisal - Safety outputs

B10d- Value Normally-closed contact/Normally open contact (NC/NO)	25,000,000 Operations
---	-----------------------

## Mechanical data

Active area	front side
Actuating element	Magnet
Impact energy, maximum	1 J
Direction of motion	Head-on to the active surface

## Mechanical data - Switching distances according IEC 60947-5-3

Ensured switch distance "ON" $S_{ao}$	4 mm
Ensured switch distance "OFF" $S_{ar}$	14 mm

## Mechanical data - Connection technique

Terminal Connector	Cable
Length of cable	1 m
Wire cross-section	0.25 mm <sup>2</sup>
Wire cross-section	23 AWG
Material of the Cable mantle	PVC

## Mechanical data - Dimensions

Length of sensor	13 mm
Width of sensor	33 mm
Height of sensor	25 mm

## Ambient conditions

Degree of protection	IP67
Ambient temperature, minimum	-25 °C
Ambient temperature, maximum	+70 °C
Storage and transport temperature, minimum	-25 °C
Storage and transport temperature, maximum	+70 °C

Resistance to vibrations to EN 60068-2-6	10 ... 55 Hz, amplitude 1 mm
Resistance to shock	30 g / 11 ms

## Electrical data

Voltage type	DC (direct current)
Switching voltage, maximum	24 VDC
Switching current, maximum	0.1 A
Switching capacity, maximum	1 W
Switching frequency, maximum	5 Hz

## Electrical data - Digital Output

Versions	Miscellaneous, Reed contacts
----------	------------------------------

## Scope of delivery

Included in delivery	Actuators must be ordered separately.
----------------------	---------------------------------------

## Accessory

Recommendation (actuator)	EX-BPS 250-3G/D
Recommended safety switchgear	SRB-E-301ST SRB-E-201LC

## Notes

Note (General)	Contact symbols shown for the closed condition of the guard device. The contact configuration for versions with or without LED is identical.
----------------	---

## Ordering code

Product type description:  
EX-BNS 250-(1)Z(2)-3G/D

(1)

<b>11</b>	1 NO contacts/1 NC contact
<b>12</b>	1 NO contact/2 NC contacts

(2)

<b>without</b>	without LED switching conditions display
<b>G</b>	with LED switching conditions display

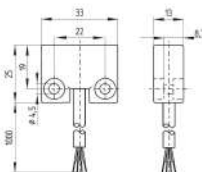
## Pictures

### Product picture (catalogue individual photo)



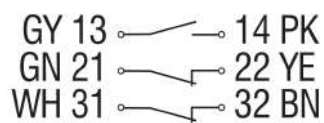
ID: kexbnf02  
| 31.6 kB | .png | 73.731 x 110.772 mm - 209 x 314 px - 72 dpi  
| 367.7 kB | .jpg | 259.997 x 375.356 mm - 737 x 1064 px - 72 dpi

### Dimensional drawing basic component



ID: 1bns2g01  
| 8.7 kB | .png | 74.083 x 51.506 mm - 210 x 146 px - 72 dpi  
| 68.6 kB | .jpg | 352.778 x 245.886 mm - 1000 x 697 px - 72 dpi

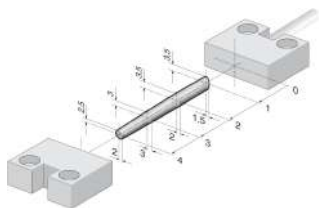
### Diagram



ID: k2o1sk07  
| 26.0 kB | .cdr |  
| 82.8 kB | .jpg | 352.778 x 125.589 mm - 1000 x 356 px - 72 dpi



## Characteristic curve



ID: kbns2a01

| 13.5 kB | .png | 74.083 x 47.625 mm - 210 x 135 px - 72 dpi

| 110.0 kB | .jpg | 352.778 x 227.189 mm - 1000 x 644 px - 72 dpi

Schmersal, Inc., 15 Skyline Drive, Hawthorne, NY 10532

The details and data referred to have been carefully checked. Images may diverge from original. Further technical data can be found in the manual. Technical amendments and errors possible.

Generated on: 10/12/2021, 9:46 PM



## Anexo VII

### Pinout da ficha X907 da placa SP-ICE-3

## SP-ICE-3 User's Manual

### 3.1.15 X907 Laser

The Laser Control Port.

#### ▲ X907 Location



#### ▲ X907 Laser Pinout

Function	Signal Level	Pin	Front View	Pin	Signal Level	Function
ANALOG2	Analog	15		8	Analog	ANALOG1
AGND		14		7	+5V Laser	+5V Laser
DIN.0	TTL In	13		6	TTL In	DIN.1
DOUT.0	TTL Out	12		5	TTL Out	DOUT.1
ABORT_MARK	TTL In	11		4	TTL Out	MEB/DOUT.2
GND		10		3	TTL In	START_MARK
FPS	TTL Out	9		2	TTL Out	GATE

---

1    TTL Out    LM

---

## ▲ X907 Laser Signal Levels

Signal Level	Description
Analog	0 .. 10V ADC Output 5mA Sink and Source +-1% Tolerance
+5V Laser	Voltage: 4.5 .. 5.5V Current: 200mA max. Short circuit protected
TTL In	5V TTL Input Vih = 2.0V min Vil = 0.8V max 4.7kOhm Pull Up to 5V Vin min = -0.5V Vin max = 5.5V 8kV ESD HBM
TTL Out	Vol = 0.6V max @20mA sink, min -0.5V Voh = 3.7V min @20mA source, max 5.5V 8kV ESD HBM

## ▲ X907 Laser Mating Connector

Part	Manufacturer	Part Number	Number Required
Male D-SUB, 15 pin, gold plated, solder bucket	Deltron	DTS 15 PZ/2	1
D-sub cap for 15-pin D-sub, EMC, all metal	Reichelt	KAPPE EMV 15	1

## ▲ See Also

### Other Resources

[7.2.1 Laser Configuration Procedure](#)

[3 Hardware Description](#)

---

Copyright © 2017-2021 RAYLASE GmbH

## Anexo VIII

### Pinout da ficha de 24 pinos do gerador do laser

PIN	SIGNAL NAME	SIGNAL TYPE	SIGNAL LEVEL	SIGNAL DRIVE	TYPICAL RESPONSE TIME	DESCRIPTION
1 <sup>1</sup>	Interlock Ch1A	Contact Closure Input <sup>2</sup>	24 VDC	<1A	< 500 ms <sup>3</sup>	Emergency shutdown according to EN 954-1 or ISO 13849-1 Cat.3 PL d. The 24VDC signal will be isolated from the laser system.
2 <sup>1</sup>	Interlock Ch2A					
3 <sup>1</sup>	Interlock Ch2B					
4 <sup>1</sup>	Interlock Ch1B					
5	RS232 Tx				120 ms	Transmit Data
6	RS232 Rx					Receive Data
7	RS232 Com	Return				RS-232 Return
8	Remote Key Switch	Contact Closure Input <sup>2</sup>	5 or 24 VDC		20 s	Provides AC power to the laser in REMOTE mode
9						
10	Remote Start Button	Momentary Closure Input <sup>2</sup>	24 VDC		1 s	Activates the internal main power supply in REMOTE mode
11						
12	Analog Input to Control Current	Analog Input	1-10 VDC	1 mA (sink)	100 µs	Analog Input 1-10 VDC = 10 – 100% Setpoint
13	Analog Output Power Monitor	Analog Output	0-5 VDC	11 mA (source)	20 µs	Analog Output 0-4 VDC = 0 - P <sub>nom</sub>
14	Isolated Analog Com	Return				Return for signals on pins 12, 13
15	Modulation +	Digital Input	CMOS to 24 VDC	6 mA (sink)	20 µs	5 -24 VDC Input
16	Modulation -	Return				Return for signal on pin 15
17	Guide Control	Digital Input	CMOS to 24 VDC	6 mA (sink)	120ms	Positive edge turns On red guide laser in REMOTE mode <sup>4</sup>
18	Emission Enable	Digital Input	CMOS to 24 VDC	6 mA (sink)	120ms	Positive edge activates emission in REMOTE mode <sup>5</sup>
19	Error/Ready	Digital Output	24 VDC	100 mA (source)	120 ms	Low indicates a laser error
20	System Common	Return				Return for signals on pins 17-19, 21-24
21	Error Reset	Digital Input	CMOS to 24 VDC	6 mA (sink)	120 ms	Positive edge resets all resettable errors
22	Power On	Digital Output	24 VDC	100 mA (source)	120 ms	High indicates that key switch is turned on
23	Power Supply Active	Digital Output	24 VDC	100 mA (source)	120 ms	High indicates that the internal main power supply is active



## Anexo IX

# Descrição do interlock do gerador do laser

## Interlock Description

YLR lasers incorporate an interlock safety circuit that utilizes a dual channel system with monitored output and manual reset. Upon opening the interlock, the safety circuit will open and power to the laser diodes will be removed.

To have the possibility of the main power supply activation, it is necessary to close dual channel interlock (on 24-pin connector: pin1 is connected with pin4 and pin2 is connected with pin3). Otherwise, the internal main power supply is switched off and the emission cannot be turned on. Once any of the pairs of the mentioned above contacts has been opened it is impossible to switch the lasers power supply on until the second pair is opened and then both pairs are closed.

If the interlock is closed (E-stop button is also released), and a fault has not been detected, pressing the START pushbutton will enable the main power supply and the Power Supply (PS) Active signal will go to a high state. The power to the laser diodes will also turn on. However, under normal conditions the diodes themselves will only turn on after emission is enabled.

When the interlock is opened or a fault is detected, the laser diodes will be disconnected from the main power supply and Power Supply Active signal will go to a low state. A detected fault will be latched and onboard relays will open the monitored manual reset loop, thus preventing the laser from being restarted until the fault is addressed. If a fault is detected, such as a shorted interlock channel, or a shorted START pushbutton, the safety circuit will not reset until the fault is corrected.

In the case of a shorted remote START pushbutton (this is the equivalent of holding the START pushbutton in), the circuit will not reset when the interlocks are closed until the safety circuit sees both channels open and then closed with the START pushbutton in the opened state or the power to the safety circuit has been cycled with the START pushbutton in the opened state.

Table 4 provides electrical pin assignments for these interlock channels.

Interlock safety circuit is designed for emergency shutdown according to ISO 13849-1 Cat 3 PL d with  $B_{10d}$  of  $10^7$  and absolute maximum frequency of safety interlock operations 50 cycles/min based on specifications for electro-mechanical components used in the circuit.

## External Interfaces

The interface is provided using an 8-pin and 24-pin interface connectors (Figure 6: Rear Panel Layout items two and three). Refer to the “Computer Interface / Commands” section for setting up these interfaces.

## Interface Wire Specification

The minimum wire gage is 18AWG at 15 meters (30 meters maximum regardless of gauge). The gage of the wire must increase as the distance increases. For connectivity, the wiring and/or cabling must have an overall shield to ensure proper functionality. The shield is to cover over all conductors and terminate at the unit where the conductors enter/exit the unit.

## Anexo X

# Iniciação do laser em modo local e modo remoto

## Turning on the device in Local mode

8. Turn the front panel Keyswitch clockwise to the “ON” position.
9. Wait until the message “Safety Circuit Open” is displayed once the electronics initialize the laser.
10. Press the START button to turn the main power supply on.
11. Wait until the laser becomes active (The power output will be displayed as ‘Low’ indicating the laser is ready.).
12. The laser is now ready for operation. You may now select proper operation mode.

## Turning on the device in Remote mode

8. Turn the front panel Keyswitch counterclockwise to the “REM” position.
9. Close contact pins eight and nine to provide remote keyswitch function.
10. Wait until the message “Safety Circuit Open” is displayed once the electronics initialize the laser.
11. Make momentary closure of pins 10 and 11 to activate the main power supply.
12. Turn Emission on (refer to Table 6: Local and Remote Control Modes).
13. Wait until the laser becomes active (The power output will be displayed as ‘Low’ indicating the laser is ready.).
14. The laser is now ready for operation. You may now select proper operation mode.

## Control Modes of Operation

There are two control modes of the laser (“LOCAL” and “REMOTE”) which are selected with the keyswitch on the front panel (Figure 5: Front Panel Layout). If the keyswitch is in the “ON” position, then the “LOCAL” control mode is activated. If the keyswitch is in “REM” position, then the device is in “REMOTE” control mode. Table 6: Local and Remote Control Modes describe the differences between these two modes:

	POWER KEYSWITCH POSITION		
	LOCAL (KEYSWITCH IN ON POSITION)	REMOTE (KEYSWITCH IN REM POSITION)	
<b>CONTROL ELECTRONICS ENABLING</b>	Enabled	Remote Laser Power Key Switch	
<b>MAIN POWER SUPPLY ENABLING</b>	START button	Remote Start Button	
<b>EMISSION CONTROL</b>	RS-232, Ethernet, Touch-screen	Hardware Emission Control Enabled <sup>1</sup>	Hardware Emission Control Disabled <sup>2</sup>
		External Interface	RS-232, Ethernet
<b>GUIDE LASER CONTROL</b>	RS-232, Ethernet, Touch-screen	External Aiming Beam Control Enabled <sup>3</sup>	External Aiming Beam Control Disabled <sup>4</sup>
		External Interface	RS-232, Ethernet
<b>OPERATION MODE SELECTION</b>	RS-232, Ethernet, Touch-screen	RS-232, Ethernet	

**Table 6: Local and Remote Control Modes**

<sup>1</sup> Default Setting: To set “Hardware Emission Control Enabled” send the command “ELE” via RS-232 interface or select it in setting menu using Touch-screen display.

<sup>2</sup> To set “Hardware Emission Control Disabled” send the command “DLE” via RS-232 interface or change it in settings menu using Touch-screen display.

<sup>3</sup> Default Setting: To set “External Aiming Beam Control Enabled” send the command “EEABC” via RS-232 interface or select it in setting menu using Touch-screen display.

<sup>4</sup> To set “External Aiming Beam Control Disabled” send the command “DEABC” via RS-232 interface or change it in settings menu using Touch-screen display.



## Anexo XI

# Manual do utilizador do sensor de O<sub>2</sub>



# **ME2-O2-Φ20**

## **Electrochemical Oxygen Sensor**

### **Manual**

**(Model: ME2-O2-Φ20)**

Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd



## ME2-O<sub>2</sub>-Φ 20 Oxygen Sensor

ME2-O<sub>2</sub>-Φ20 electrochemical sensor detect gas concentration by measuring current based on the electrochemical principle, which utilizes the electrochemical oxidation process of target gas on the working electrode inside the electrolytic cell, the current produced in electrochemical reaction of the target gas are in direct proportion with its concentration while following Faraday law, then concentration of the gas could be get by measuring value of current.

### 1. Features

- \* Low consumption
- \* High precision
- \* High sensitivity
- \* Wide linear range
- \* Good anti-interference ability
- \* Excellent repeatability and stability



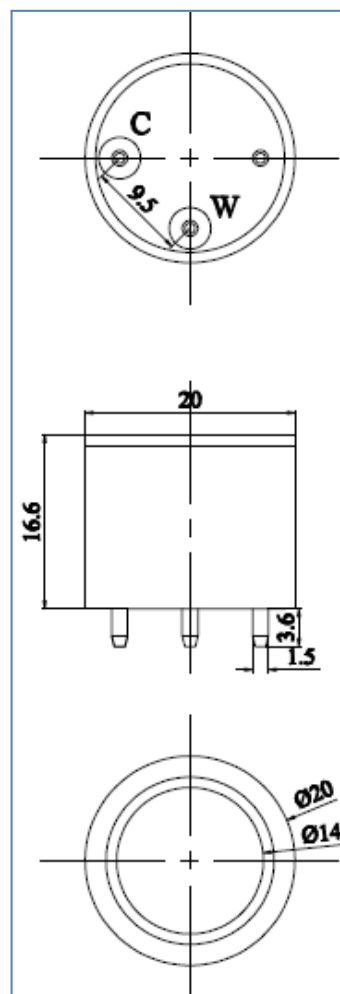
### 2. Application

Detecting O<sub>2</sub> in mine, industry and environmental protection field.

### 3. Technical Parameter

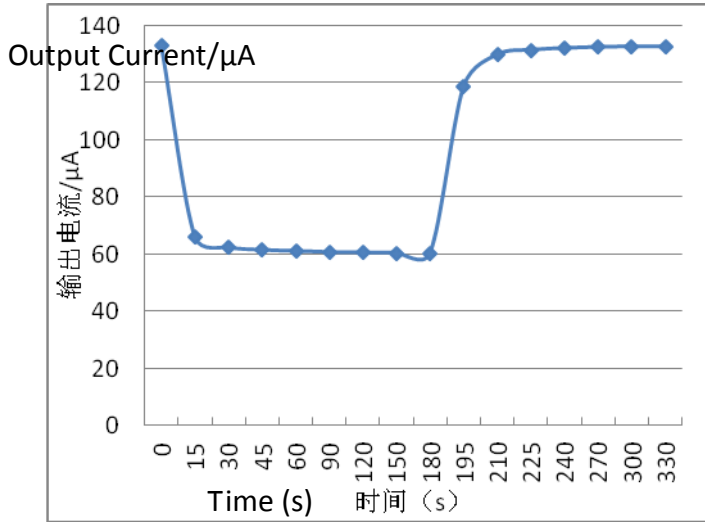
Item	Parameter
Detection gas	O <sub>2</sub>
Measurement Range	0~25%Vol
Max detecting concentration	30%Vol
Sensitivity	(0.1~0.3) mA (In air)
Response time (T <sub>90</sub> )	≤15S
Load resistance (recommended)	10kΩ
Repeatability	<2% output value
Stability ( / month)	<2%
Zero drift (-20℃ ~40℃)	≤0.1%vol
Storage temperature	-20℃ ~50℃
Storage Humidity	0% ~99% RH
Pressure range	normal atmosphere ±10%
Anticipated using life	2 years

### 4. External dimension

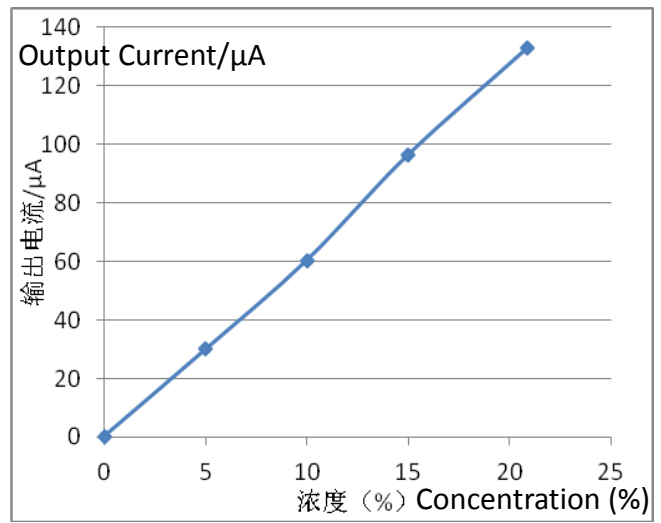


## 5.Characterization

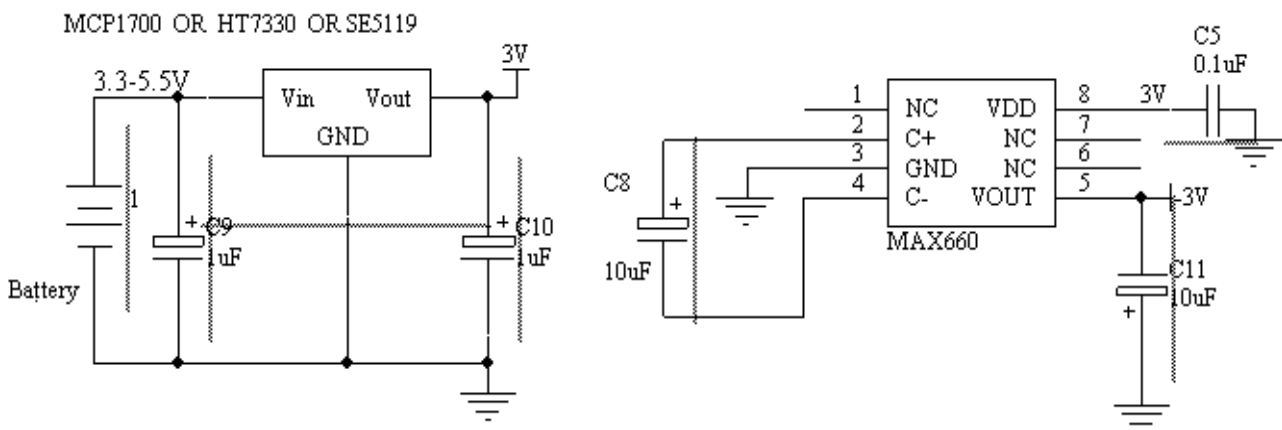
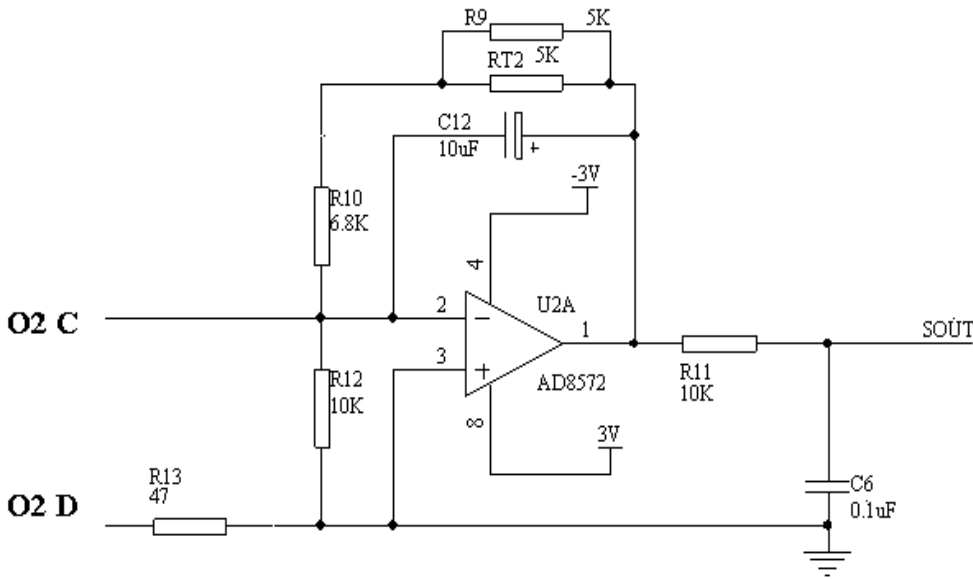
### Features of Sensitivity, response and output signal



### Data graph of concentration linearity features



## 6.Basic circuit



## 7. Application Notes:

- Sensor shall Avoid organic solvent, coatings, medicine, oil and high concentration gases;
- All ME Sensors shall not be encapsulated completely by resin materials, and shall not immerse in pure oxygen environment, otherwise, it will damage the function of sensor;
- All ME sensors shall not be applied in corrosive gas environment, or the sensor will be damaged;
- Please test the sensitivity of gas sensors in clean atmosphere;
- Sensors Shall be avoided to face the gas, which flow directly from front side;
- To avoid to bend and break of pins;
- Blowhole of the sensor should not be blocked and polluted, which will cause the sensitivity decrease;
- Excessive impact or vibration should be avoided;
- Do not use the sensor when the shell is damaged;
- It takes some time for the sensor to return to normal state After applied in high concentration gas;
- Do not take apart the sensor, otherwise electrolyte leakage can cause sensor damage;
- Working electrode and reference electrode of the sensor shall be in short circuit when stored.;
- To preheat over 48hs before using and soldering forbidden;

**Note: To keep continual product development, we reserve right to change design features without prior notice !**

**Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd**

**Add.:** NO.299 Jin Suo Road, National Hi-Tech Zone,  
Zhengzhou, 450001 China

**Tel.:** 0086-371-67169097 / 67169670

**Fax:**0371-60932988

**E-mail:**sales@winsensor.com

**Website:** [www.winsen-sensor.com](http://www.winsen-sensor.com)



## Anexo XII

# Manual do utilizador do driver CL86T

# STEPPERONLINE<sup>®</sup>

## User Manual

## CL86T(V3.0)

### Closed Loop Stepper Driver



#7 Zhongke Road, Jiangning, Nanjing, China

T: 0086-2587156578

©2017 All Rights Reserved

Web site: [www.omc-stepperonline.com](http://www.omc-stepperonline.com)

E-Mail: [sales@stepperonline.com](mailto:sales@stepperonline.com)

# CL86T

## Closed-loop Stepper Driver

### 24~80VDC, 8.2A Peak, Closed-loop, No Tuning

#### 1. Introductions

This Closed-loop Stepper Driver offers an alternative for applications requiring high performance and high reliability when the servo was the only choice, while it remains cost-effective. The system includes a 2-phase stepper motor combined with a fully digital, high performance drive and an internal encoder which is used to close the position, velocity and current loops in real time, just like servo systems. It combines the best of servo and stepper motor technologies, and delivers unique capabilities and enhancements over both, while at a fraction of the cost of a servo system.

##### 1.1 Features

- Closed-loop, eliminates loss of synchronization
- Broader operating range – higher torque and higher speed
- Reduced motor heating and more efficient
- Smooth motion and super-low motor noise
- Do not need a high torque margin
- No Tuning and always stable
- Quick response, no delay and almost no settle time
- High torque at starting and low speed, high stiffness at standstill
- Offer servo-like performance at a much lower cost

##### 1.2 Applications

Its great feature of quick response and no hunting make this Closed-loop Stepper Driver ideal for applications such as bonding and vision systems in which rapid motions with a short distance are required and hunting would be a problem. And it is ideal for applications where the equipment uses a belt-drive mechanism or otherwise has low rigidity and you don't want it to vibrate when stopping.

## 2. Specifications

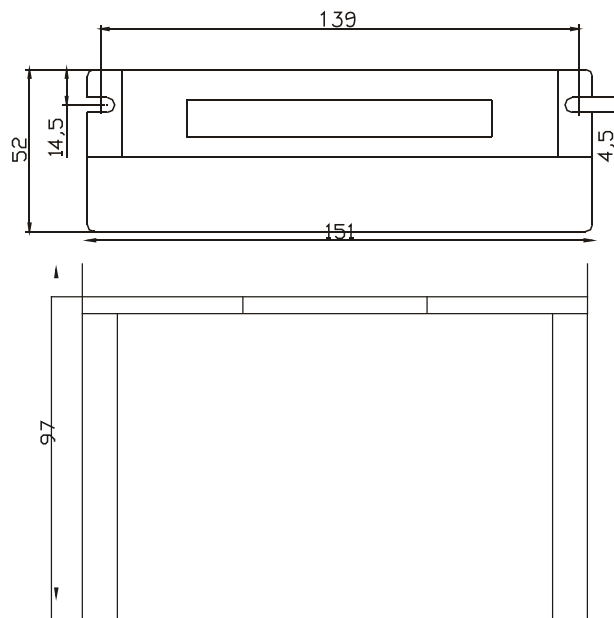
### 2.1 Electrical Specifications

Parameter	Min	Typical	Max	Unit
Input Voltage	24	48	80	VDC
Output Current	0	-	8.2	A
Pulse Input Frequency	0	-	200	kHz
Logic Signal Current	7	10	16	mA
Isolation Resistance	500	-	-	MΩ

### 2.2 Operating Environment

Cooling	Natural Cooling or Forced cooling	
Operating Environment	Environment	Avoid dust, oil fog and corrosive gases
	Storage Temperature	-20°C — 65°C (-4°F — 149°F)
	Ambient Temperature	0°C — 50°C (32°F — 122°F)
	Humidity	40%RH — 90%RH
	Operating Temperature (Heat Sink)	70°C (158°F) Max
Storage Temperature	-20°C — 65°C (-4°F — 149°F)	
Weight	580 g (20.5 oz)	

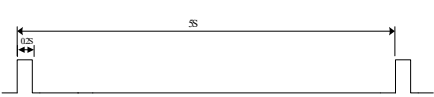
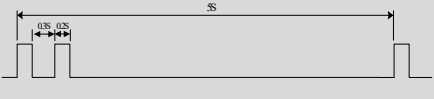
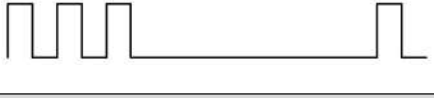

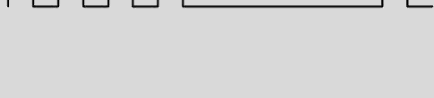

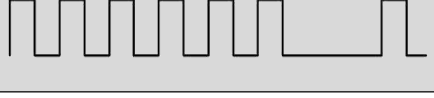
### 2.3 Mechanical Specifications





## 2.4 Protection and Troubleshooting

The green indicator turns on when power-up. When drive protection is activated, the red LED blinks periodically to indicate the error type.

Blink time(s)	Sequence wave of red LED	Description	Trouble shooting
1		Over-current	Turn off the power immediately. a) Check wiring is short-circuited or not; b) Check motor is short-circuited or not.
2		Over-voltage	Turn off the power immediately. a) Check if the power voltage is higher than 110VDC
3		Chip error	Restart the power supply, if the drive is still alarm, please contact after-sale
4		Fail to lock motor shaft	a) The drive is not connected to a motor; b) If alarm is occurred when connect a motor, set DIP switch SW6 to 'on' and restart power supply; If it still alarm, please check the motor power cable.
5		EEPROM error	Restart the power supply, if the drive is still alarm, please contact after-sale
6		Fail to auto tuning	Set DIP switch SW6 to 'on'
7		Position following error	a) The value of position following error is set too small; b) Motor torque is not enough or motor speed is too high; c) Motor wiring error, check wiring
Always	-	PCB board is burned out	Contact after-sale a) Power supply connection is wrong

### 3. Connectors and Pin Assignment

The CL86T has four connectors, connector for control signals connections, connector for status signal connections, connector for encoder feedback and connector for power and motor connections.

Pin Name	I/O	Details
<b>PUL+</b>	I	Pulse signal: (1) . In single pulse (pulse & direction) control mode, this input represents pulse signal. A pulse signal is active at the rising or falling voltage edge (set by PC software). (2) In double-pulse (CW/CCW) control mode (set by PC software), this signal input represents clockwise (CW) pulse, and is active at both high voltage level and low voltage level. (3) 4.5-5V for voltage HIGH, 0-0.5V for voltage LOW (same for DIR and ENA signals). (4) Pulse width should be set to 2.5µs or longer.
<b>PUL-</b>	I	
<b>DIR+</b>	I	Direction signal: (1) In single pulse (step & direction) control mode, this signal's low and high voltage levels represent the two directions of motor rotation (e.g. clockwise and counterclockwise). (2) In double-pulse (CW & CCW) control mode, this signal represents counterclockwise (CCW) rotation. It is active at both voltage high level and low level. (3) Minimal DIR signal setup time should be at least 5µs. (4) Rotation direction is related to your motor/drive wiring. You can reverse the default rotation direction by toggling the SW5 DIP switch.
<b>DIR-</b>	I	
<b>ENA+</b>	I	Enable signal: This signal is used for enabling/disabling the drive. High voltage level of 4.5-24V (NPN control signal) for enabling the drive and low voltage level of 0-0.5VDC for disabling the drive. PNP and Differential control signals are on the contrary, namely Low level for enabling. By default this signal is left <b>UNCONNECTED &amp; ENABLED</b> .
<b>ENA-</b>	I	
<b>Pend+</b>	O	Configurable Digital Output Signal: A configurable OC output signal. It takes a sinking or sourcing 20mA current at 5-24V. It can to be configured as one of the 2 types, <i>IN POSITION</i> (default), or <i>BRAKE CONTROL</i> through PC software.
<b>Pend-</b>	O	
<b>ALM+</b>	O	Fault Signal: An OC output signal which is active when one of the following error protection is activated: over-voltage, over-current, and position following error. This port can sink or source 20mA current at 5-24V. The resistance between ALM+ and ALM- is low impedance in normal operation, and will change to high when the drive goes into error protection. The voltage active level of this fault output signal can be configured by configuration software.
<b>ALM-</b>	O	

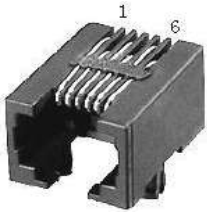
<b>Encoder Feedback Connector – Screw Terminal</b>			
<b>Pin</b>	<b>Name</b>	<b>I/O</b>	<b>Description</b>
<b>1</b>	<b>EB+</b>	I	Encoder channel B+ input
<b>2</b>	<b>EB-</b>	I	Encoder channel B- input
<b>3</b>	<b>EA+</b>	I	Encoder channel A+ input
<b>4</b>	<b>EA-</b>	I	Encoder channel A- input
<b>5</b>	<b>VCC</b>	O	+5V @ 100 mA max.
<b>6</b>	<b>EGND</b>	GND	Signal ground

<b>Power and Motor Connector – Screw Terminal</b>			
<b>Pin</b>	<b>Name</b>	<b>I/O</b>	<b>Description</b>
<b>1</b>	<b>A+</b>	O	Motor Phase A+
<b>2</b>	<b>A-</b>	O	Motor Phase A-
<b>3</b>	<b>B+</b>	O	Motor Phase B+
<b>4</b>	<b>B-</b>	O	Motor Phase B-
<b>5</b>	<b>+Vdc</b>	I	Power Supply Input (Positive) 30-72VDC recommended, leaving rooms for voltage fluctuation and back-EMF.
<b>6</b>	<b>GND</b>	GND	Power Ground (Negative)

## RS232 Communication Port

It is used to configure the close-loop current, open-loop current, position following error limit and etc. See Closed-loop Stepper Driver software operational manual for more information.

RS232 Communication Port			
Pin	Name	I/O	Description
1	NC	-	Not connected.
2	+5V	O	+5V power only for STU (Simple Tuning Unit).
3	TxD	O	RS232 transmit.
4	GND	GND	Ground.
5	RxD	I	RS232 receive.
6	NC	-	Not connected.



## 4. DIP Switch Settings

### 4.1 Microstep Resolution (SW1-SW4)

Steps/Revolution	SW1	SW2	SW3	SW4
Software Configured (Default 1600)	on	on	on	on
800	off	on	on	on
1600	on	off	on	on
3200	off	off	on	on
6400	on	on	off	on
12800	off	on	off	on
25600	on	off	off	on
51200	off	off	off	on
1000	on	on	on	off
2000	off	on	on	off
4000	on	off	on	off
5000	off	off	on	off
8000	on	on	off	off
10000	off	on	off	off
20000	on	off	off	off
40000	off	off	off	off

## 4.2 Motor Direction (SW5)

	ON	OFF
SW5	Motor direction is positive.	Motor direction is negative.

Note: The actual motor direction is also related to DIR level.

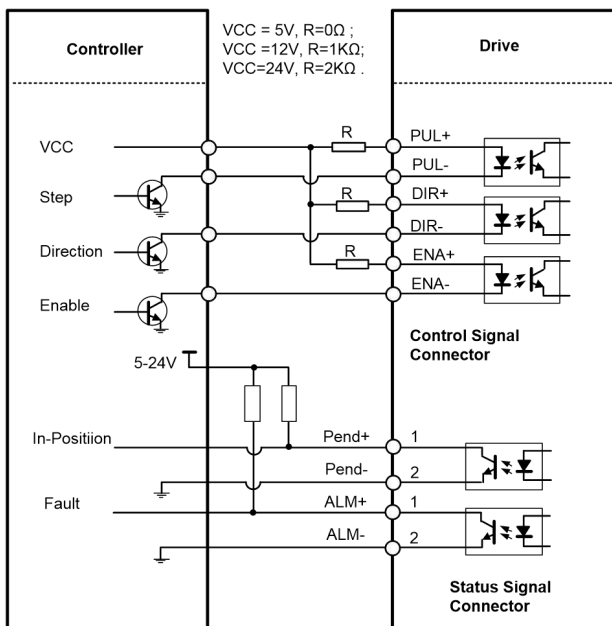
## 4.3 Motor Selection (SW6)

	Function	On	Off
SW6	Auto Tuning	No	Yes

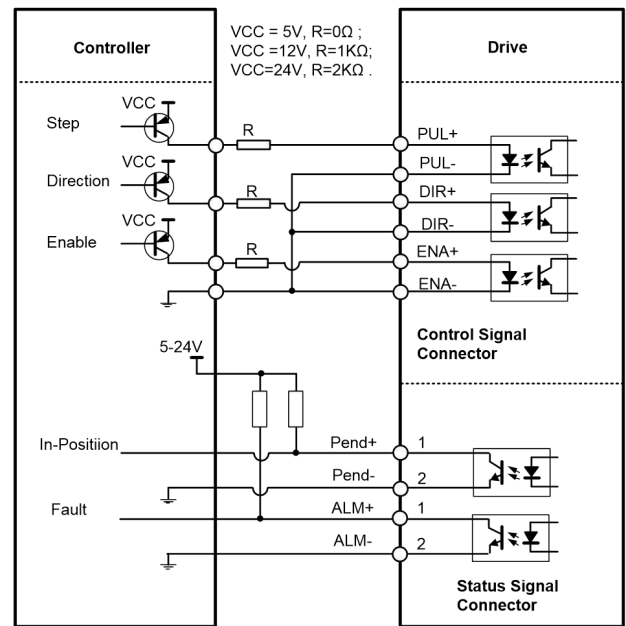
## 4.4 Current Control

The motor current will be adjusted automatically regarding to the load or the stator-rotor relationship. However, the user can also configure the current in the tuning software. The configurable parameters include close-loop current, holding current, encoder resolution, micro step and etc.

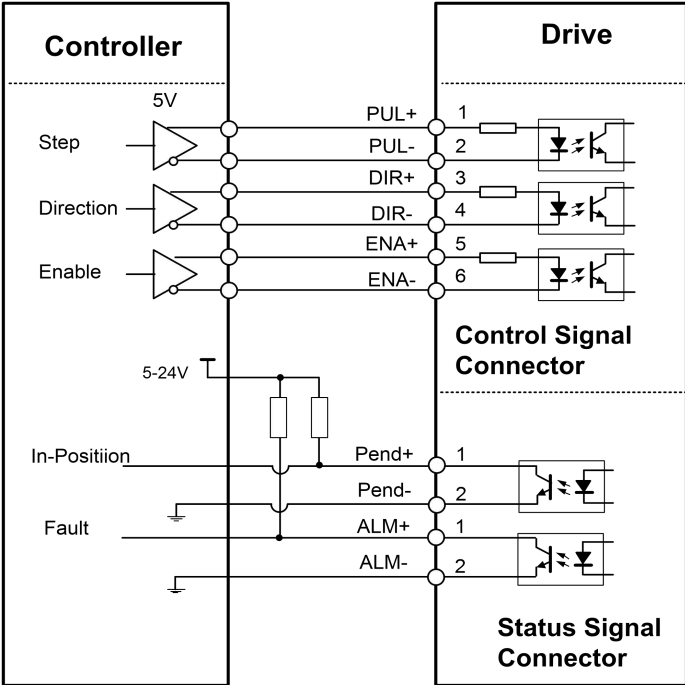
## 5. Typical Connections



Connections to open-collector signal (common-anode)



Connections to controller of sourcing output (common-cathode)



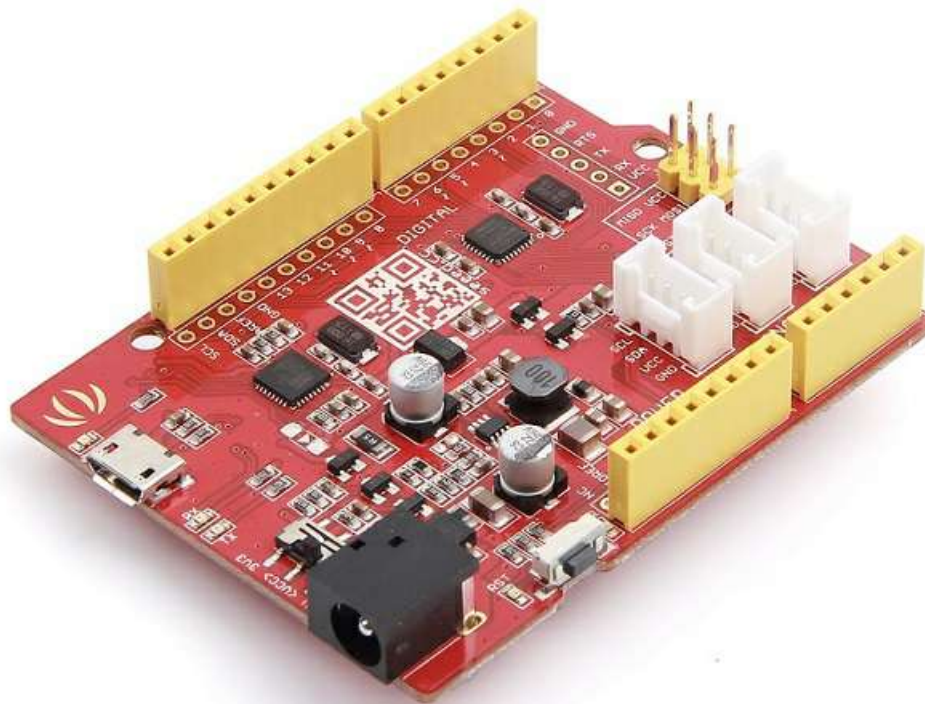
Connections to controller of differential output

## Anexo XIII

# Ficha técnica do micro-controlador

# Seeeduino v4.2

---



Seeeduino v4.2 is an Open Source, Arduino-compatible ATmega328 MCU development board. We think Seeeduino v4.2 is one of the best Arduino derivatives/compatibles available. Seeeduino v4.2 is feature rich, much more stable, easy-to-use and even good looking.

Seeeduino v4.2 is based the Arduino UNO bootloader, an ATmega16U2 as a UART-to-USB converter (basically work like an FTDI USB2UART chip). The board comes with an additional set of through-hole pads for all pins. These pads are aligned to 0.1" grid. This makes it easy to solder additional pin-headers to plug into breadboard or create your own attachment/shield with 0.1" dot-matrix general purpose PCBs.

You can program the board via a micro-USB cable. Also, you can power the board via a DC Jack input (7 to 15V DC) is acceptable. There is a switch to choose the system's supply voltage either 3.3V or 5V, which is very useful if you want to set the system to 3.3V to interact with low voltage sensors.

Finally, the three on-board Grove interfaces can make your board connect to Grove modules easily. Want to make something awesome, maybe just a Seeeduino v4.2 and some Groves is enough.

[Get One Now !\[\]\(fa6f3af6bfa46c5d4a2d362681095beb\_img.jpg\)](#)

## Version

---

Product Version	Changes	Released Date
Seeeduino V4.0	Initial	Aug 15, 2014
Seeeduino V4.2	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Cancel some pad on the top left corner.</li><li>2.Change the usb location to middle</li><li>3.Improve DCDC circuit to get a better performance</li><li>4.Add an I2C Grove connector</li><li>5.Change some silkscreen and part location</li></ol>	Aug 24, 2015

## Features

---

- Fully compatible with Arduino UNO
- ATmega328 microcontroller
- 14 Digital I/O Pins (6 PWM outputs)
- 6 Analog Inputs
- ISP Header



- Arduino UNO-R3 Shield Compatible
- Micro USB programming and power supply
- On-board Grove connectors
- 3.3/5V system operation power switch
- Additional pads aligned to 0.1" grid

## Specification

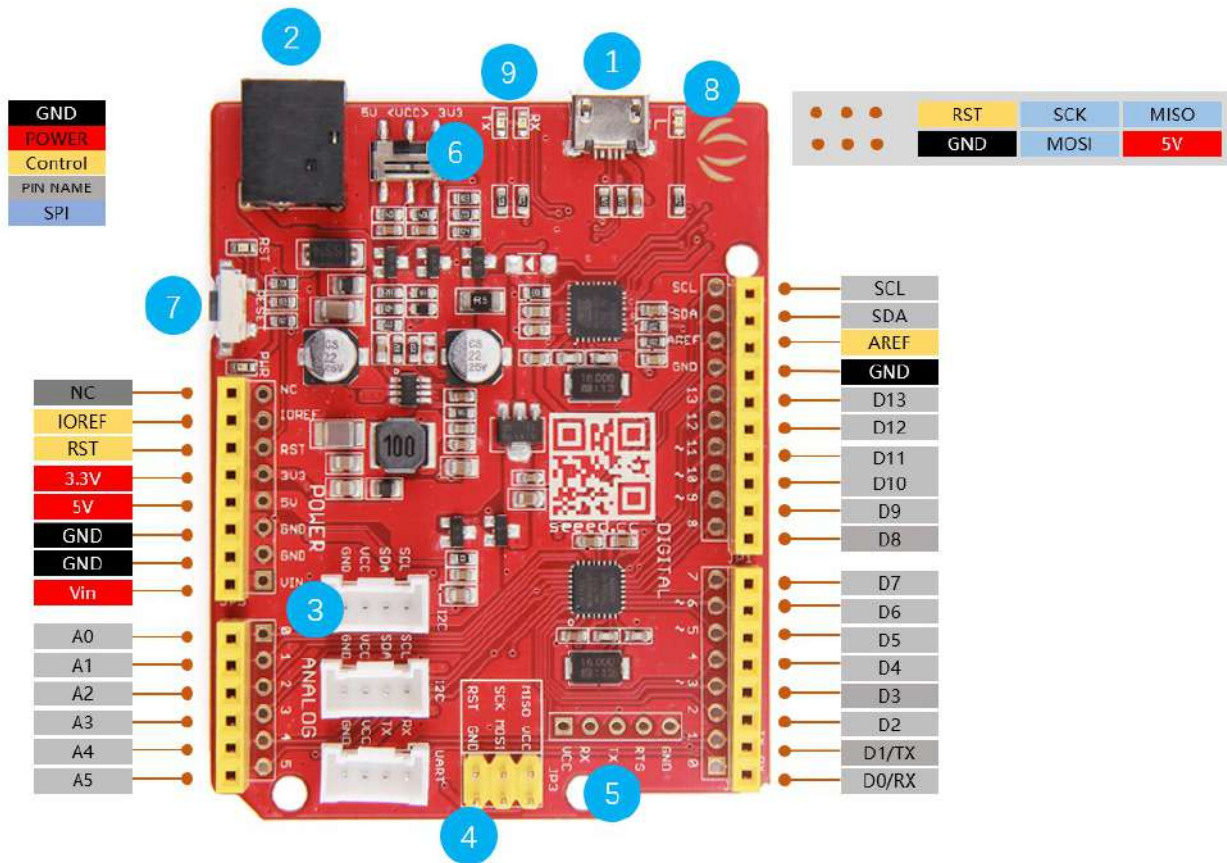
---

Parameter	Value/Range
DC Jack Input	7-12V
DC Output Current-5V Pin	With Micro USB 500mA Max
	With DC Jack Power 2000mA Max
DC Output Current-3V3 Pin	500mA Max
DC Current per I/O Pin	40mA
Flash Memory	32 KB
RAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz
Dimension	68.6mm x 53.4mm
Weight	26g

## Hardware Overview

---

The images below show an overview of Seeeduino v4.2 hardware features. The pin-out and alternate functions of various pins of Seeeduino v4.2 are shown in the pin-out diagram. This could be used as a quick reference.



- 1 USB Input:**  
USB Port is used to connect the board to your PC for programming and for powering up.
- 2 DC Input:**  
The DC power jack allows your Seeeduino board to be powered from a wall adapter so that you can supply more power to your project if needed. For example, when using DC motors or other high power devices. The DC input can be 7V-15V.
- 3 Grove Connectors:**  
SeeedStudio has a variety of sensors/devices that can make use of this I2C or UART connection. In addition, we sell independent Grove connectors to help you make our own sensor connections. The I2C Grove connector is also connected to analog pin A4 and A5 for SDA and SCL respectively if you would like to use those pins instead. The UART Grove connector is connected to digital pins 0 and 1 for RX and TX respectively.
- 4 ICSP:**  
This is the ICSP connection for the ATmega328P; it is located in the standard ICSP/SPI position for Arduino Uno, Due, Mega, and Leonardo compatible hardware (e.g. shields) that may use this connector. The SPI pins in this port: MISO, SCK, and MOSI, are also connected to digital pins 12, 13, and 11 respectively just like those of the Arduino Uno.
- 5 USB 2-Uart:**  
Pinout of USB-2-Uart. These pads can be used to interact with other UART devices by putting the on-board ATmega328 in reset mode. This makes Seeeduino V4.2 to be used as a USB2UART utility board.
- 6 System Power Switch:**  
Slide switch is used to change the logic level and operating voltage of the board to either 5V or 3.3V.
- 7 Reset:**  
This button is conveniently placed on the side to allow you to reset the Seeeduino board even when a shield is placed on top. This is not the case in other Arduino boards where the button is placed on top making it hard to access.
- 8 LED-D13:**  
The LED is connected to D13 pin of the board. This can be used as an on-board LED indicator for programs/sketches.

- **9 RX/TX Indicator:**

The TX and RX LED indicators are connected to TX and RX of USB-to-UART chip. They work automatically, they let you know when the board is sending or receiving data respectively.

!!!Warning

Please plug the USB cable gently, otherwise you may damage the interface

## Getting Started

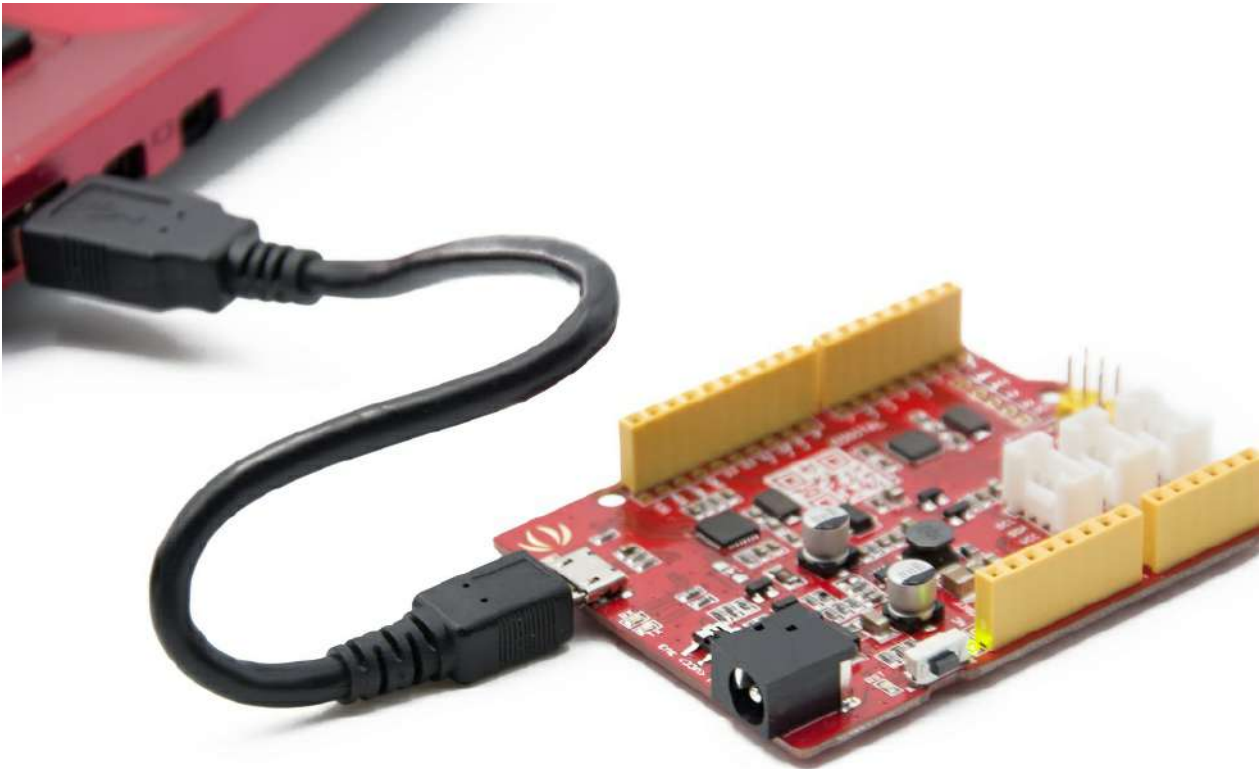
---

!!!Note

If this is your first time using Arduino, please refer to [Getting Started with Arduino](#).

### Hardware

- Step 1. Prepare a Seeeduino V4.2 and a Micro-USB cable.
- Step 2. Connect the Seeeduino V4.2 to your computer with the Micro-USB Cable.



Then the green power LED (labeled PWR) should go on.

!!!Note

Please use the USB cable with 4 wires inside, the 2 wires cable can't transfer data. If you are not sure about the wire you have, you can click [here](#) to buy

### Software

#### Step 1. Install the Driver for Seeeduino V4.2.

For Windows

!!!Note

This driver is available for Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Windows 8/8.1 and Windows 10.

[Download Driver for Seeeduino V4](#)

- Plug in your board and wait for Windows to begin its driver installation process. After a few moments, the process will fail, despite best efforts.
- Click on the Start Menu, and open up the Control Panel.
- While in the Control Panel, navigate to System and Security. Next, click on System. Once the System window is up, open the **Device Manager**.
- Look under Ports (COM & LPT). You should find an open port named "Seeeduino v4.2". If there is no COM & LPT section, look under "Other Devices" for "Unknown Device".
- Right click on the "Seeeduino v4.2" port and choose the "Update Driver Software" option.
- Next, choose the "Browse my computer for Driver software" option.
- Finally, navigate to and select the driver file named "seeed\_usb\_serial.inf"
- Windows will finish up the driver installation from there.

For Mac OSX and Linux

You don't need to install any drivers.

### Step 2. Launch the Arduino application.

Double-click the Arduino application (arduino.exe) you have previously installed.

!!!Note

If the Arduino Software loads in a different language, you can change it in the preferences dialog. See the [Arduino Software \(IDE\) page](#) for details.

### Step 3. Open the Blink example.

Find the LED blink example sketch: **File > Examples >01.Basics > Blink**.

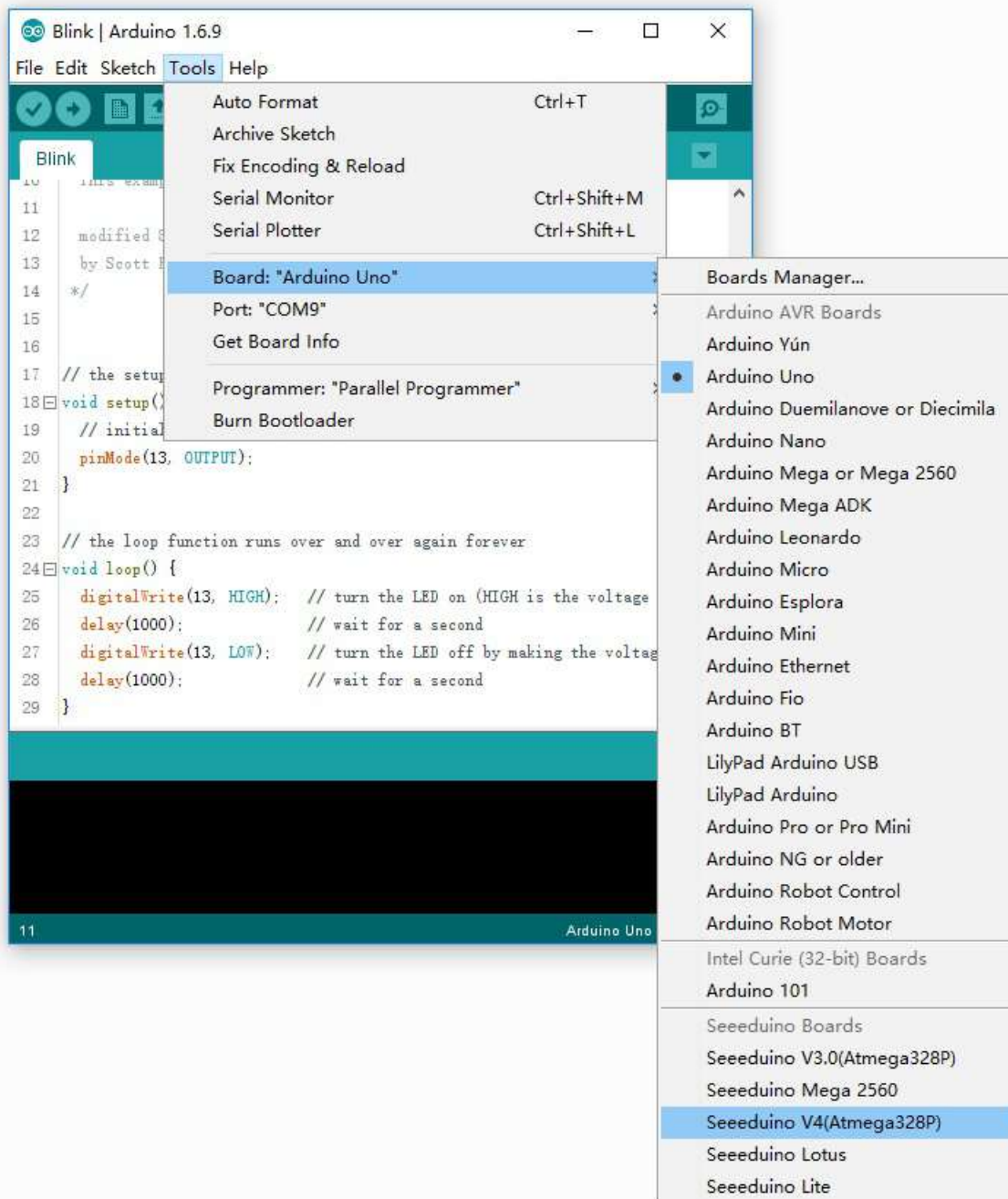
```

10  This example code is in the public domain.
11
12  modified 8 May 2014
13  by Scott Fitzgerald
14  */
15
16
17  // the setup function runs once when you press reset or power the board
18  void setup() {
19    // initialize digital pin 13 as an output.
20    pinMode(13, OUTPUT);
21  }
22
23  // the loop function runs over and over again forever
24  void loop() {
25    digitalWrite(13, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
26    delay(1000); // wait for a second
27    digitalWrite(13, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
28    delay(1000); // wait for a second
29  }

```

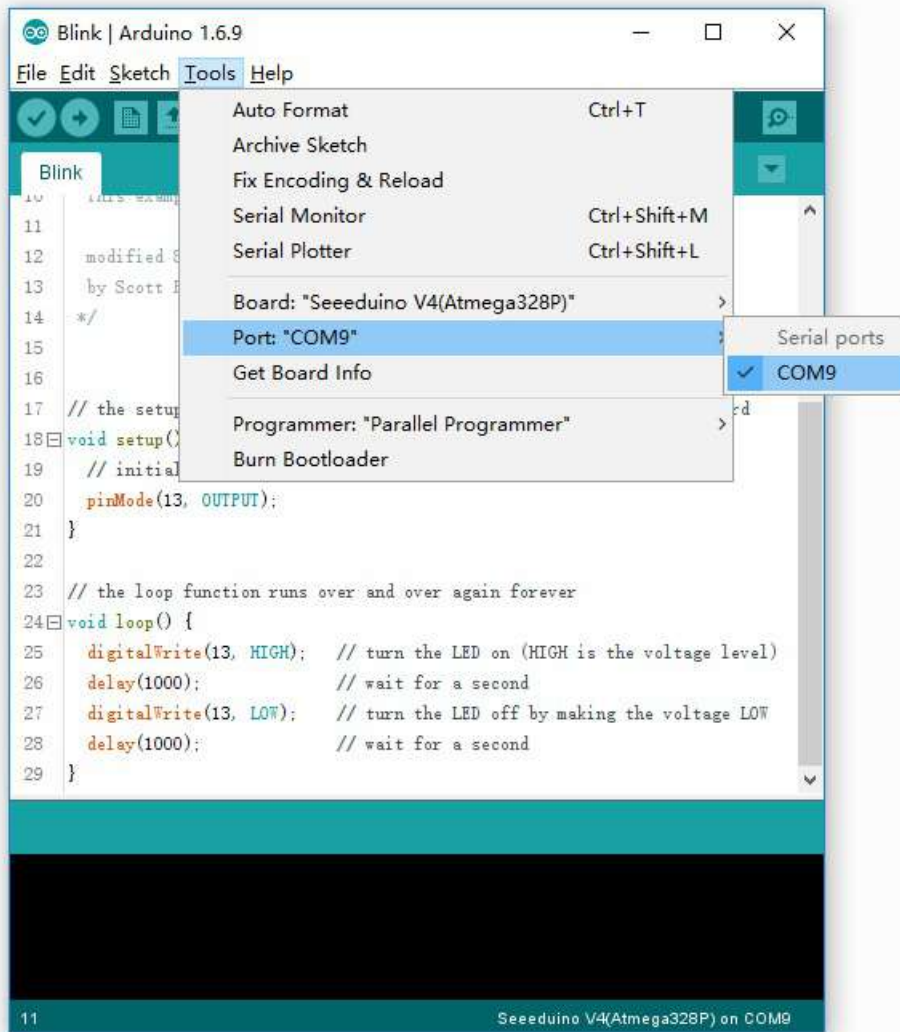
### Step 4. Select your board.

You'll need to select the entry in the **Tools > Board** menu that corresponds to your Arduino. Select the **Seeeduino v4.2**.



#### Step 5. Select your serial port.

Select the serial device of the Arduino board from the Tools | Serial Port menu. This is likely to be COM3 or higher (COM1 and COM2 are usually reserved for hardware serial ports). To find out, you can disconnect your Arduino board and re-open the menu; the entry that disappears should be the Arduino board. Reconnect the board and select that serial port.



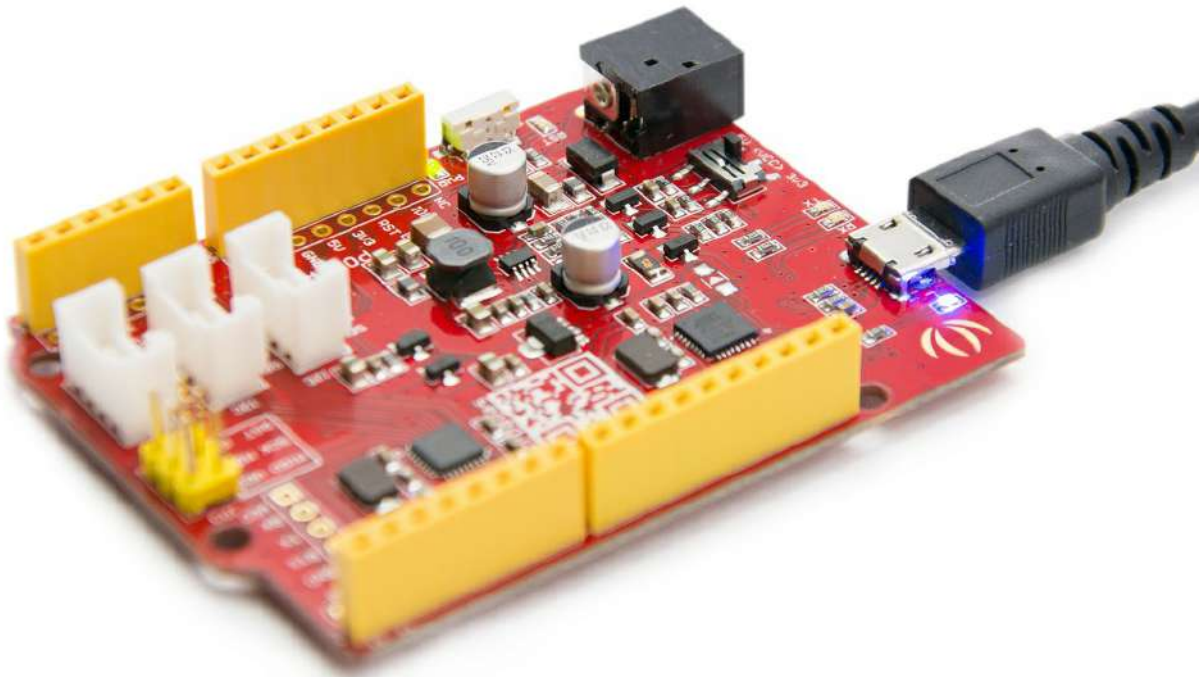
!!!Note

On the Mac or Linux, this should be something with `/dev/tty.USBmodem`.

#### Step 6. Upload the program.

Now, simply click the "Upload" button in the environment. Wait a few seconds - you should see the RX and TX LED indicators on the board flashing. If the upload is successful, the message "Done uploading."




A few seconds after the upload finishes, you should see the pin 13 (L) LED on the board start to blink (in orange). If it does, congratulations! You've gotten Arduino up-and-running. If you have problems, please see the troubleshooting suggestions.



## Application Ideas

- DIY
- IoT and Smart Home
- Robot
- Learning

Here is some funny project for your reference.

<p style="text-align: center;"><b>Paper Man</b></p>  <p style="text-align: center;"><a href="#">Make it Now</a></p>	<p style="text-align: center;"><b>Fingerprint Lock</b></p>  <p style="text-align: center;"><a href="#">Make it Now</a></p>	<p style="text-align: center;"><b>Monitor Stand</b></p>  <p style="text-align: center;"><a href="#">Make it Now</a></p>
<p style="text-align: center;"><b>Desk Promo</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Tiger Machine</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Colorful Pyramid</b></p>



[Make it Now](#)



[Make it Now](#)



[Make it Now](#)

## Resources

---

- [\[PDF\] Download Wiki PDF](#)
- [\[Eagle\] Seeeduino V4.2 in EAGLE file](#)
- [\[PDF\] Seeeduino V4.2 in PDF](#)
- [\[Eagle\] Seeeduino V4.0 in EAGLE file](#)
- [\[PDF\] Seeeduino V4.0 in PDF](#)
- [\[Datasheet\] ATmega328P](#)
- [\[Datasheet\] ATmega16U2](#)
- [\[References\] Getting Started with Arduino](#)
- [\[References\] Arduino Language Reference](#)
- [\[References\] Download the Arduino Software\(IDE\)](#)
- [\[References\] Arduino FAQ](#)
- [\[References\] Arduino Introduction](#)
- [\[References\] Wikipedia page for Arduino](#)
- [\[References\] How to fit RF Explorer 3G+ IoT modules on Seeeduino](#)

## FAQs

---

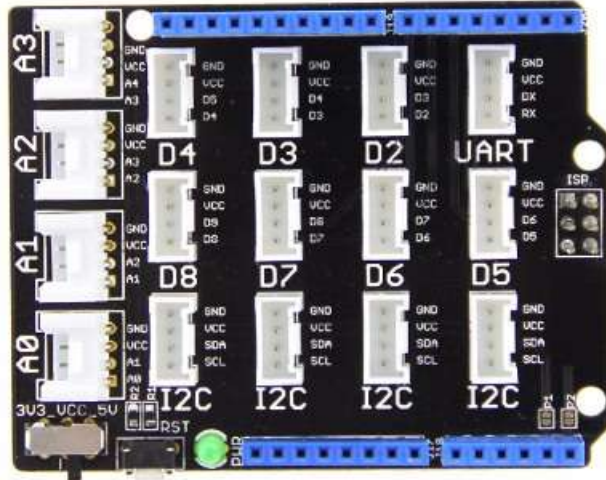
Please click [here](#) to see all Seeeduino V4.2 FAQs.



## Anexo XIV

# Características técnicas da placa de expansão do micro-controlador

## Base Shield V2



Arduino Uno is the most popular Arduino board so far, however it is sometimes frustrating when your project requires a lot of sensors or LEDs and your jumper wires are in a mess. The purpose of creating the Base Shield is to help you get rid of breadboard and jumper wires. With the rich Grove connectors on the base board, you can add all the Grove modules to the Arduino Uno conveniently! The pinout of Base Shield V2 is the same as Arduino Uno R3, however Arduino Uno is not the board one that the Base Shield V2 is compatible with plenty of boards.

[Get One Now](#) 

## Version

Product Version	Changes	Released Date
Base Shield V1.2	Initial	Oct 2011
Base Shield V1.3	Change the Grove connector layout and quantity	Aug 2012
Base Shield V2.0	Change the Grove connector layout and quantity, as well as a power switch to enable both 3.3V and 5V.	Mar 2014

## Compatible Boards

The Base Shield is tested and fully compatible with the following boards:

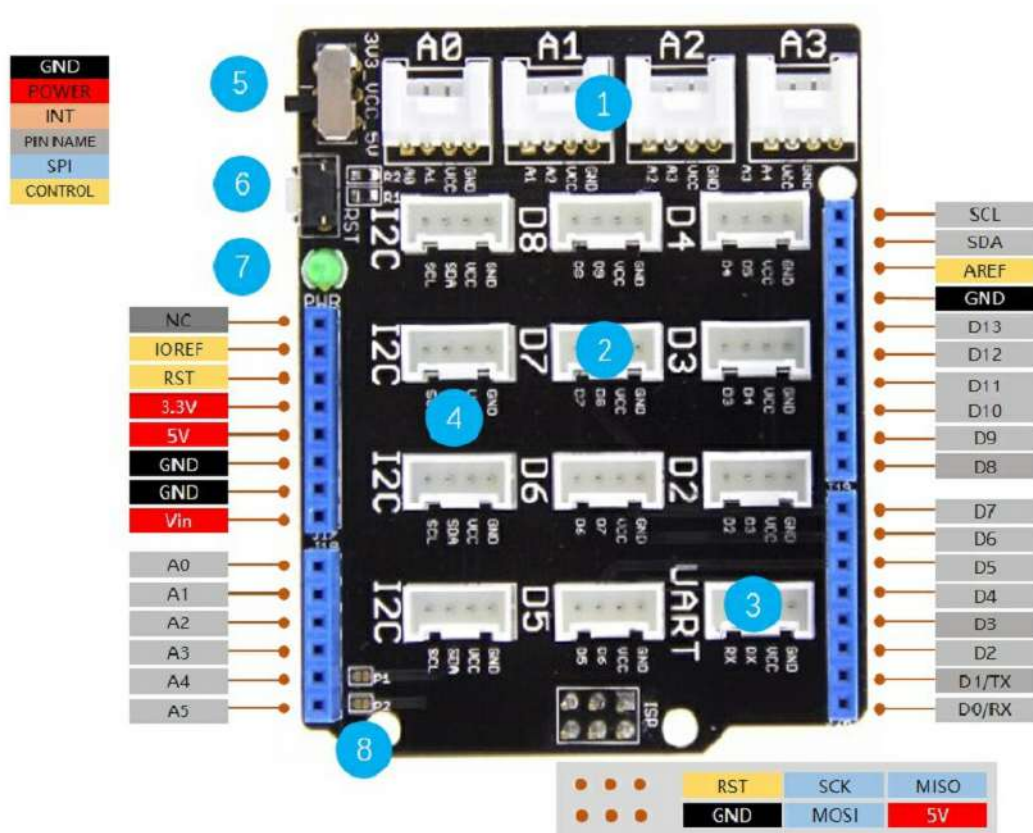
- Arduino Uno (all revisions) / Seeeduino (V4 & V4.2)
- Arduino Mega / Seeeduino Mega
- Arduino Zero (M0) / Seeeduino LoRaWAN
- Arduino Leonardo / Seeeduino Lite
- Arduino 101
- Arduino Due 3.3V
- Intel Edison 5V
- LinkIt One

!!!Note

The boards not listed above mean that it might have a chance to work with the platform board, however it requires extra work such as jumper wires or rewiring the

code. If you are interested in digging more, welcome to contact techsupport@seeed.cc.

## Hardware Overview







- **1-Analog Ports:** include 4 analog ports, A0, A1, A2 and A3.
- **2-Digital Ports:** include 7 digital ports, D2, D3, D4, D5, D6, D7 and D8.
- **3-UART Port:** 1 UART port.
- **4-I2C Ports:** 4 I2C ports.
- **5-Power Switch:** when using Arduino UNO with Base Shield v2, please turn the switch to 5v position; While using Seeeduno Arch with Base Shield v2, please turn the switch to 3.3v.
- **6-Reset Button:** reset the arduino board.
- **7-PWR LED:** The Green LED turns on when power on.
- **8-P1, P2:** please solder the pads, P1 and P2 if use Base Shield v2 with Seeeduno V3.
- **Dimension:** 2.1 \* 2.7 inch

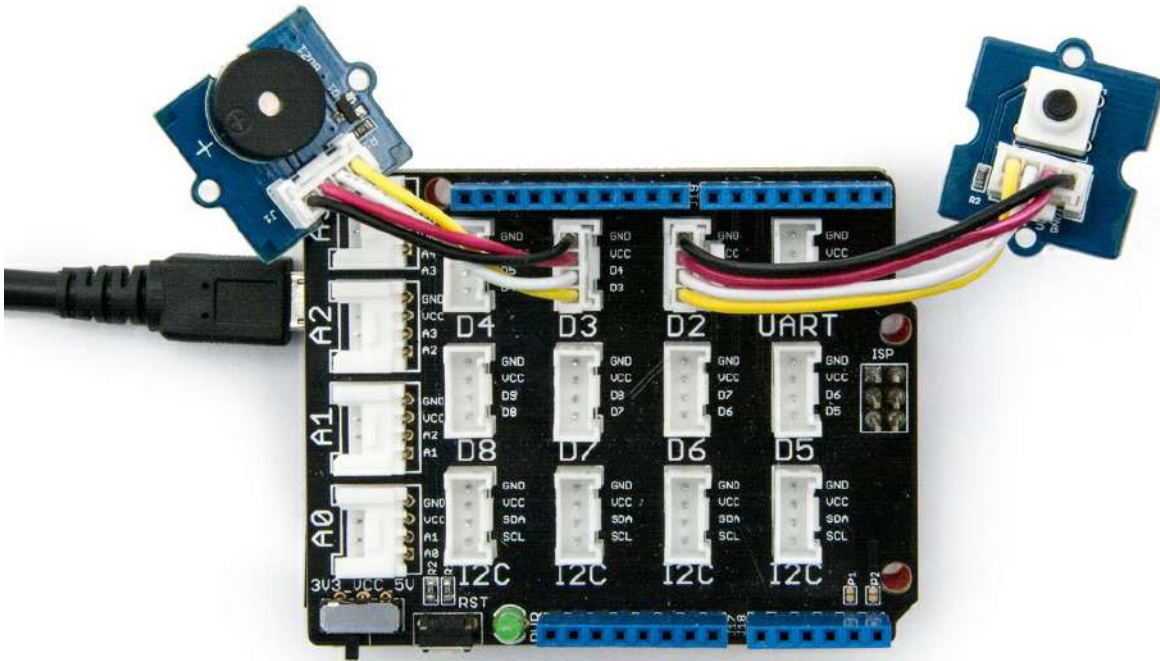
## Getting Started

### Hardware

- Step 1. Prepare the below stuffs:

Seeeduno V4.2	Base Shield	Grove - Buzzer	Grove - Button
			
<a href="#">Get ONE Now</a>	<a href="#">Get ONE Now</a>	<a href="#">Get ONE Now</a>	<a href="#">Get ONE Now</a>

- Step 2. Connect Grove - Buzzer to port D3 of Base Shield.
- Step 3. Connect Grove - Button to port D2 of Base Shield.
- Step 4. Plug Base Shield into Seeeduino.
- Step 5. Connect Seeeduino to PC through a USB cable.



## Software

- Step 1. Copy below code to Arduino IDE and upload to Seeeduino.

```
const int button = 2;    // connect a button
const int buzzer = 3;    // connect a buzzer
void setup()
{
  pinMode(button, INPUT); //set button as an INPUT device
  pinMode(buzzer, OUTPUT); //set LED as an OUTPUT device
}
void loop()
{
  int btn = digitalRead(button); //read the status of the button
  digitalWrite(buzzer, btn);
  delay(10);
}
```

- Step 2. Press the button and we will hear the buzzer.

## FAQ

Please click [here](#) to see all Base Shield V2 FAQs.

## Resources

- [PDF] [Download Wiki PDF](#)
- [Eagle] [Base Shield V2 SCH](#)

## Anexo XV

# Configuração do laser usando um computador

## Computer Configuration Procedure

Both Ethernet and Serial communications require you to configure the communication protocols of your computer in order to connect to the Laser via a PC.

### Ethernet Configuration Option

---

**⚠ The following procedure assumes that the user is already familiar with operating their respective laser. In addition, it is strongly recommended that you review all safety and operational procedures before proceeding.**

---

1. Connect PC to the Laser using crossover cable.
2. Manually configure the Local Area Connection settings for Ethernet (refer to Table 12).
3. Start the PSG application (PSG.exe).
4. Click Session->Ethernet
5. Enter the IP address of the laser, then click Connect
6. Ensure the connection is successful, and the status is displayed in the Connection indicator:  
IP:<Current IP>~Good~

### Serial Communication Port Configuration Option

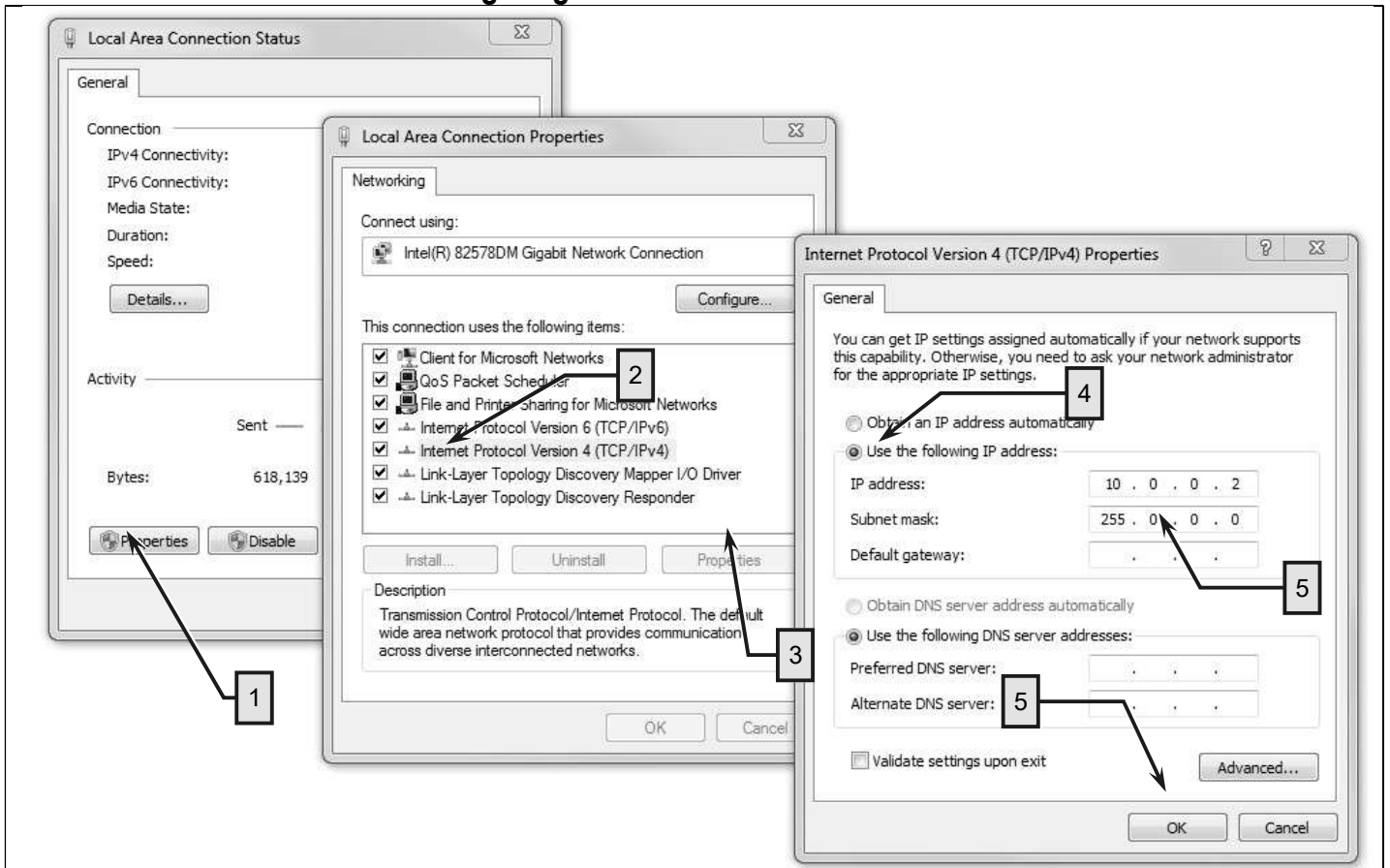
---

**⚠ The following procedure assumes that the user is already familiar with operating their respective laser. In addition, it is strongly recommended that you review all safety and operational procedures before proceeding.**

---

1. Connect serial RS-232 cable from PC Host to the Laser.
2. Click Session->Serial Port
3. Enter the Com port the is attached to the laser, then click Connect
4. Ensure the connection is successful, and the status is displayed in the Connection indicator:  
Port:<COMx>~Good~

**Table 12: Configuring the Local Area Connection for Ethernet**



STEP	DESCRIPTION
1	Navigate to the Local Area Connection screen on your computer and click the “Properties” command button.
2	Select the Internet Protocol TCP/IP Setting (TCP/IP 4 on Windows 7 OS).
3	Click the Properties command button.
4	Click the Radio Button to “Use the following IP address” to manually assign the IP address.
5	Assign the IP address to 10.0.0.x (x can not be 10 as 10.0.0.10 is the default IP address of the Laser). Assign the Subnetmask to its default setting to 255.0.0.0 by clicking on the Textbox.
6	Pres the “OK” command button to accept these manual changes.



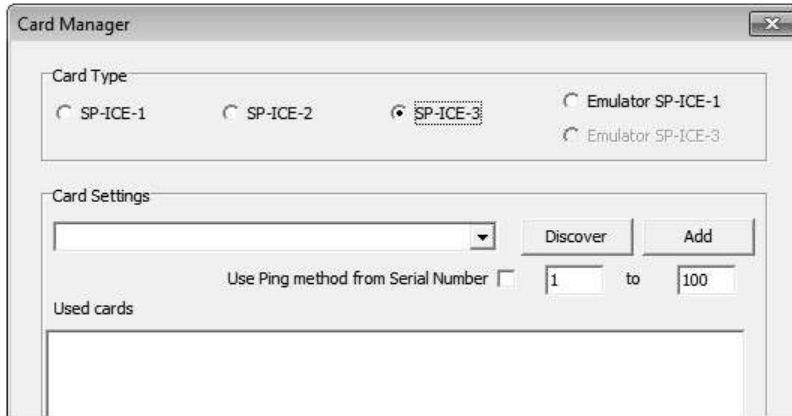


## Anexo XVI

# Configuração do WeldMark 3 para trabalhar com a SP-ICE-3

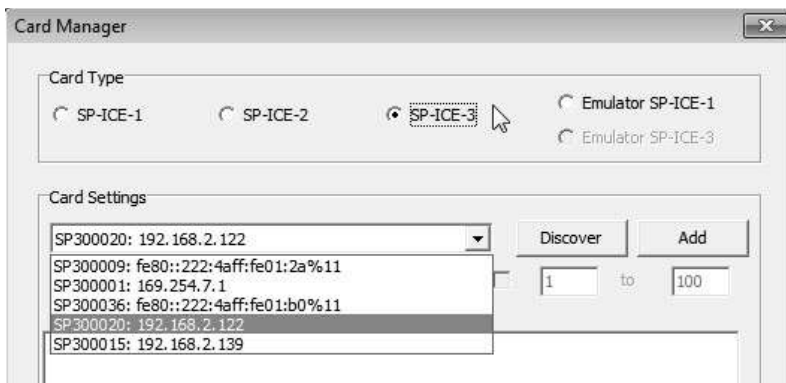
## 2.1 SP-ICE-3

If SP-ICE-3 card type is selected for the first time, then an empty field for the “Used cards” will be shown.



### Discover

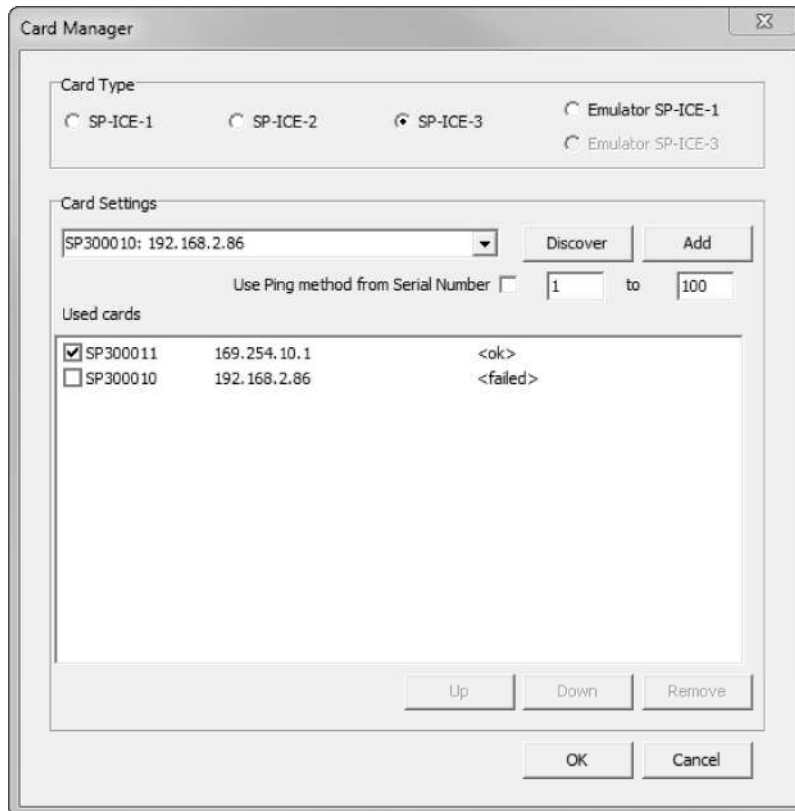
By pressing “Discover” button weldMARK will try to detect all the available cards on the network and in the local PC and will populate the combo box with information of available cards



The IP Address can also be typed in manually, and then the same steps as after Discover button is pressed, can be followed.

### Add

The card with which we would like to work can be selected in the Combo Box and by pressing “Add” will be added to the list of Used Cards.



When the card is added to the list a connection to the card is checked and if it fails the card will not be enabled.

If the card already exists in the list of used cards, then a warning will be issued and the card will NOT be added. If a different IP address is used then a reconnection will be done and the data updated.

For each card the information about the connection, card serial number, the IP address that was used and the connection status are displayed.

#### Up/Down

Selected item from “Used cards” list can be moved up and down, rearranging the order of cards.

#### Enable/Disable

Enabling/Disabling a card is done directly by clicking on the check box beside the card.

Enabling a card will test connection and if OK put a check in the check box on the selected card.

If the connection fails, the message <failed> will appear. The card will remain in the list but in an un-enabled state.

#### OK

When closing the form the last configuration for SP-ICE-3 cards will be checked again and if everything is OK it will be saved in the file

```
Application Data folder weldMARK3\marker\heads\Spice3Info.cfg
```

It is highly recommended not to change the content of the file manually, since it may cause weldMARK to be blocked when opening.

## 2.2 SP-ICE-1 and SP-ICE-2

For SP-ICE-1, SP-ICE-2 and Emulator cards all additional options (buttons) are disabled.

Card configurations should be done with the appropriate tools:

- SpiceCfg for SP-ICE-1
- WMSpice2Cfg for SP-ICE-2 card

List of Used cards for SP-ICE-2 and SP-ICE-1 are populated from the appropriate registry entries created with upper tools.

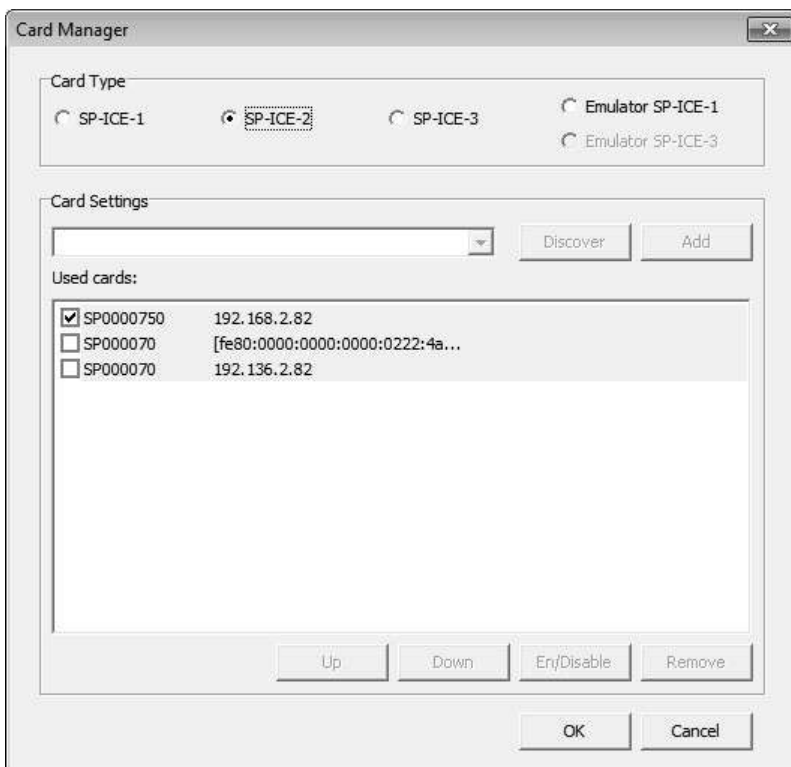
Registry key names must end with consecutive numbers, starting with 1.

If any of the numbers are missing, then weldMARK will assume no more cards are available.

For example, if there are Card1 and Card3 in the SP-ICE-2 registry, weldMARK will use only Card1.

For SP-ICE-1 cards only serial number is shown. It is formatted similar to other cards, e.g for SP-ICE-1 card with serial number “22”, from the Registry Key “Card1”, it will be displayed as “SP100022”

In case of SP-ICE-2 cards the following information is displayed:



Only one IP address is shown for the SP-ICE-2 card following these rules:

- If IPv4 address is enabled, it will be shown.
- Ipv6 will be shown if it is enabled and Ipv4 is disabled.
- If both are disabled, Ipv4 will be shown.

## 2.3 Emulator card

In case of Emulator card the list of “Used cards” will be empty since only one Emulator card can be used.

## 2.4 New options

With the introduction of new card manager new options are available:

- No limitation on the used cards
- Switching marking to different cards

### 2.4.1 Unlimited number of cards

In weldMARK versions prior to v3.6 the number of cards was limited to

- 4 SP-ICE-1
- 1 RLC and
- 1 SP-ICE-2 card.

With the new card manager the number of cards is not limited in weldMARK.

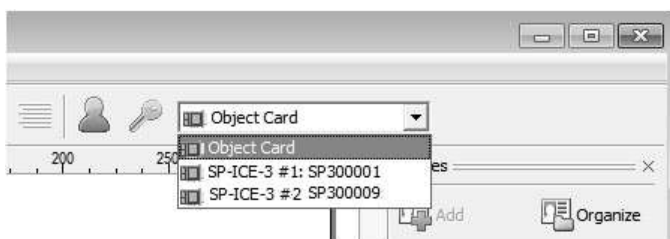
The only limitations are made by the cards themselves.

The number of SP-ICE-1 cards is limited to 10 and this limitation is exposed by the SP-ICE.DLL itself.

### 2.4.2 Card selection

On the Main Form a new Combo Box with a list of available cards is introduced.

It enables executing the same job on different cards.

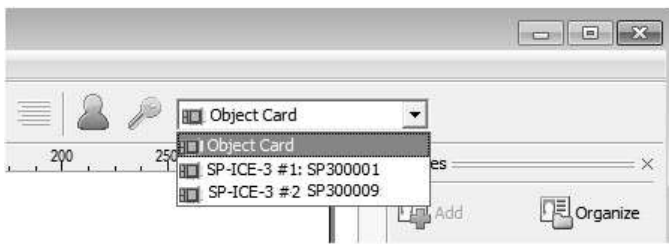
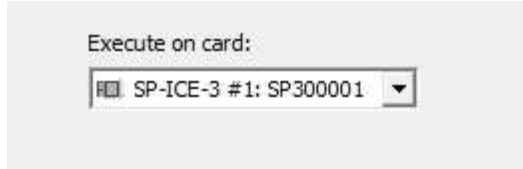


The Combo box contains:

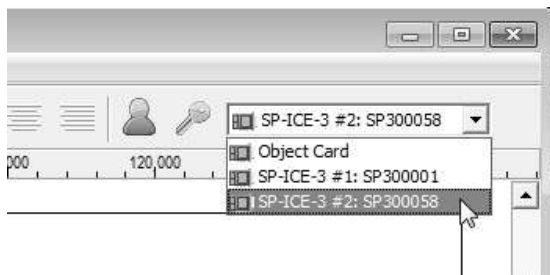
- Object Card in the first position
- Followed by a list of all enabled cards in the Card manager

### 2.4.2.1 Marking/Automation objects

If Object Card is selected then each Object will be marked on the card defined in Object Properties -> Settings tab -> Execute on card combo box.



Regardless if the objects are defined to be executed on the same/different card, by switching the active card in the Combo box to one of the enabled cards, all objects will be done on the selected card.



### 2.4.2.2 Job setting „Wait for External Start“

Run process form

Regarding the job external start „Wait for External Start“ setting, if “Object Card” is selected in the card combo box on the Main form, then

- If all objects are marked on the same card,
  - > External start signal will be checked on the same scan card as all the objects in the job
- If objects are marked on different scan cards,
  - > External start signal will be checked on the scan card with the lowest card number value.
- If the job contains no objects that have card selection,
  - > External start signal will be checked on the first scan card in the list of enabled cards

If a certain card is selected in the card combo box on the Main form, then the external start signal will be checked on the selected card.

Run from Hardware & Stand-alone mode

External start signal will be checked on the same card as on which all the objects in the job are executed.

## Anexo XVII

# Configuração do laser no WeldMark 3

Laser Settings - C:\ProgramData\RAYLASE\weldMARK3\marker\laser\DefaultLaserSPICE3.cfg

**General**

Card type: SP-ICE-3

Laser type: YAG, or other

Laser description: Default Laser SP-ICE-3

**Frequency Settings**

Variable frequency:

Minimum frequency [kHz]: 3,00

Maximum frequency [kHz]: 500,00

**Power Settings**

Enable manual power control:

Power control interface: ANALOGO

Laser power display units: %

Minimum power [W]: 0,01

Maximum power [W]: 70,00

Power change delay [ms]: 0,000

**Other Options**

Enable Visible Pointer:

Enable negative laser-on delay:

Enable negative laser-off delay:

Time delay after MIP signal [ms]: 0

Laser error reset time delay [ms]: 0

LM Polarities | LM Timings | LM Sync

Enable laser synchronization:

Pulse Width | Duty Cycle

Variable pulse:  Laser Specs

Minimum pulse width [µs]: 2,00000

Maximum pulse width [µs]: 50000,00000

Analog Power | Digital Power | Extended Digital Power

Off Power [%]: 0,00

Standby Power [%]: 0,00

Tickle Settings | FPS Settings | Simmer Settings | SPI Extended

Pulsed/CW mode select: Pulsed

State select (0..63): 0

OK Cancel Help



