



Desenvolvimento de equipamento LASER multifuncional para processos de fabrico aditivos e subtrativos

Master in Project Design Engeneering

Alexandre Xavier de Britto Costa

Leiria, 30 de março de 2023

Esta página foi deixada intencionalmente em branco

Desenvolvimento de equipamento LASER multifuncional para processos de fabrico aditivos e subtrativos

Master in Project Design Engeneering

Alexandre Xavier de Britto Costa

Trabalho de Projeto realizado sob a orientação do Professor Doutor Joel Oliveira Correia
Vasco e do Professor Doutor Carlos Alexandre Bento Capela

Leiria, 30 de março de 2023

Esta página foi deixada intencionalmente em branco

Originalidade e Direitos de Autor

O presente relatório de projeto é original, elaborado unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para a/o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado/a o/a Autor/a e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual a/o mesma/o foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em *Product Design Engineering*, no ano letivo 2022/2023, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

Esta página foi deixada intencionalmente em branco

Dedicatória

Dedico este trabalho primeiramente ao meu querido pai, que desde a minha tenra idade me incentivou e incansavelmente todos os dias questionava, estimulava e indicava caminhos que cruzavam o conhecimento e a evolução contínua da minha existência. Em reforço da sua constante presença esteve também minha querida mãe. À minha irmã, que também evidenciou a necessidade de estarmos atentos e adaptados às modificações salvaguardadas pelo conhecimento. E por fim, mas não menos importante à minha querida esposa, que com a sua força, o seu apoio e a constante afirmação sobrelevou como alicerce a minha trajetória neste caminho do conhecimento!

Esta página foi deixada intencionalmente em branco

Agradecimentos

Agradeço à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, pelas condições criadas para o desenvolvimento deste projeto.

Agradeço o contributo académico dos meus orientadores Professores Joel Vasco e Carlos Capela, que me auxiliaram e delinearam os caminhos que contribuíram para a conclusão do projeto realizado.

Agradeço também o estímulo, a constante evolução que proporciona, bem como a ajuda na aquisição de todos os recursos necessários para concretização do estudo e materialização do projeto o amigo, o profissional e o empreendedor Francisco Neves na qualidade de CEO e proprietário da empresa DNC Técnica onde, no departamento de projetos especiais reside o meu local de trabalho.

Não podendo também deixar de agradecer ao amigo e parceiro Filipe Pinhal pelo incentivo, a afirmação, o espaço cedido e a disponibilidade incondicional nos projetos abraçados.

Deixo também o meu obrigado ao amigo Dan Botnar pelo igual contributo, disponibilidade e as sugestões durante o processo de desenvolvimento deste projeto.

Esta página foi deixada intencionalmente em branco

Resumo

Este trabalho consiste da junção de várias áreas relacionadas com a tecnologia LASER cujo tema atualmente tem relevante importância nas mais variadas indústrias, laboratórios, área médica, militar, meios acadêmicos entre outros.

O conceito básico para desenvolvimento deste projeto centra-se nas seguintes capacidades em simultâneo de um único equipamento que seja capaz de realizar, gravação de peças plásticas/metálicas, corte de chapas metálicas de fina espessura, compreendidas na ordem de 0.01 a 0.15 mm e adição de material metálico e plástico através de câmara de pós utilizando o recurso de camada a camada, com granulometrias na ordem dos 30 μm . Em suma, materiais que respondam ao comprimento de onda 1064 nm.

No desenvolvimento do equipamento proposto foram realizadas pesquisas quanto ao princípio básico desta tecnologia, os tipos de LASER como CO₂, ND:YAG, YTTERBIUM (Fibra) entre outros e suas respectivas características bem como as aplicações mais adequadas para cada tipologia apresentada em estudo.

Este estudo conflui propositadamente para os LASER de Fibra dada a sua fácil utilização, não sendo necessários módulos externos de refrigeração para a fonte de geração do LASER. São mencionados os diferentes tipos de disparo (*Pulsed / Continows wave*) e respectivas características como comprimento de onda gerados, potências, frequências e velocidades de varrimento. Nele serão também mencionadas as capacidades do processo, vantagens desta escolha, bem como exemplos práticos desta tecnologia nas mais variadas áreas, e descritivo do desenvolvimento de todas as tarefas de construção do equipamento.

Palavras-chave: LASER, LASER Contínuo, LASER Pulsado, Granulometria, Fabrico Aditivo, Densidade de Energia, Câmara de Pó

Esta página foi deixada intencionalmente em branco

Abstract

This work consists of the combination of several areas related to LASER technology, whose theme is currently of relevant importance in the most varied industries, laboratories, medical, military, academic circles, among others.

The basic concept for the development of this project focuses on the following simultaneous capabilities of a single equipment that is capable of performing, engraving of plastic/metallic parts, cutting of thin metal sheets, comprised in the order of 0.01 to 0.15 mm and adding of metallic and plastic material through a powder chamber using the layer-by-layer feature, with granulometry in the order of 30 μm . In short, materials that respond to the 1064 nm wavelength.

In the development of the proposed equipment, research was carried out regarding the basic principle of this technology, the types of LASER such as CO₂, ND:YAG, YTTERBIUM (Fiber) among others and their respective characteristics as well as the most suitable applications for each typology presented in the study.

This study deliberately converges to the Fiber LASER given its easy use, not requiring external cooling modules for the LASER generation source. The different types of triggers (Pulsed / Continuous wave) and respective characteristics such as generated wavelength, powers, frequencies and sweep speeds are mentioned. It will also mention the capabilities of the process, advantages of this choice, as well as practical examples of this technology in the most varied areas, and a description of the development of all tasks of construction of the equipment.

Keywords: LASER, Continuous LASER, Pulsed LASER, Granulometry, Additive manufacturing, Energy Density, Powder Chamber.

Esta página foi deixada intencionalmente em branco

Índice

Originalidade e Direitos de Autor	v
Dedicatória	vii
Agradecimentos	ix
Resumo	xi
Abstract	xiii
Lista de Figuras	xvii
Lista de Tabelas	xxi
Lista de siglas e acrónimos.....	xxiii
1. Introdução	1
2. Estado-da-arte.....	3
2.1. A Luz.....	3
2.2. A utilização da luz do LASER.....	5
2.2.1. Princípio de funcionamento do LASER	5
2.3. Tipos de LASER	6
2.3.1. LASER de CO ₂ (LASER de estado gasoso).....	6
2.3.2. LASER ND: YAG	8
2.3.3. YTTERBIUM (LASER de Fibra)	8
2.4. Aplicações do LASER	10
2.4.1. Gravação de material	10
2.4.2. Corte de Material	13
2.4.3. Adição de material.....	14
3. Matriz do Produto	17
3.1. Cabeça galvanométrica	18
3.2. Lente	19
4. Projecto de Concretização	25
4.1. Fonte LASER IPG YLP V2	25
4.2. Software Raylase	26
4.3. Lente Linus Ronar.....	26
4.4. Quadro eléctrico	27

4.5. Computador	29
4.6. Integração dos elementos.....	32
4.6.1. Estrutura metálica.....	32
4.6.2. Integração de componentes na estrutura	33
4.6.3. Forras de acabamento.....	35
4.6.4. Montagem final	36
4.6.5. Testes de funcionamento	36
4.7. Câmara de adição.....	37
4.7.1. Plataforma elevatória.....	37
4.7.2. Dispositivo de nivelamento/alimentação	43
4.7.3. Visor de proteção	48
5. Ensaio experimentais.....	51
5.1. Ensaio de Gravação	51
5.2. Ensaio de corte	57
5.3. Ensaio de adição.....	63
6. Discussão de Resultados.....	71
6.1. Gravação	71
6.2. Corte	71
6.3. Adição.....	72
7. Trabalhos Futuros.....	75
8. Conclusões.....	77
Referências Bibliográficas	81
Anexos	85
8.1. Anexo A	86
8.2. Anexo B	88
8.3. Anexo C	90
8.4. Anexo D	91
8.5. Anexo E	92

Lista de Figuras

Figura 1 - Prisma com difração da luz monocromática [1]	3
Figura 2 - Comprimento de onda das diferentes cores [2].....	4
Figura 3 - Luz visível ao olho humano [3]	4
Figura 4 - Espectro global de ondas eletromagnéticas [4]	4
Figura 5 - Correspondência do comprimento de ondas e frequência [10]	6
Figura 6 - Diâmetro de incidência do feixe de LASER [18]	9
Figura 7 - Gráfico Absorção vs comprimento de onda [19]	10
Figura 8 - Reflexão especular vs reflexão difusa [21]	11
Figura 9 - Chapa de aferição de foco.....	14
Figura 10 - Descrição do processo de adição [29].....	15
Figura 11 - Exemplos de DED [32].....	16
Figura 12 - Exemplo de boquilhas com adição de material [40]	16
Figura 13 - Esboço do conceito do equipamento.....	17
Figura 14 - Melhoramentos no conceito do equipamento	18
Figura 15 - Esquema de cabeça galvanométrica[35].....	19
Figura 16 - Lente convergente [36].....	20
Figura 17 - Esquema de uma lente [36].....	21
Figura 18 - Tipos de distorção da área de trabalho [36]	22
Figura 19 - Distância focal e respectivos intervalos de foco [37]	23
Figura 20 - Fonte laser Fibra IPG - modelo YLP - Galvo	25
Figura 21 - Cabeça Galvanométrica e placa de controlo	26
Figura 22 - Lente Linus Theta foco de 163 mm	27
Figura 23 - Primeiros experimentos para definição da placa do quadro elétrico	28
Figura 24 -Placa final do quadro elétrico	29
Figura 25 - Layout da caixa do pc	30
Figura 26 - Definição das partes funcionais da caixa do computador	30
Figura 27 - Detalhes técnicos de montagem da caixa do computador.....	31

Figura 28 - Montagem final da unidade do computador	31
Figura 29 - Instalação do drivers e software	31
Figura 30 - Detalhe da Placa elétrica	32
Figura 31 - Construção da estrutura metálica.....	32
Figura 32 – Integração do quadro elétrico da unidade do LASER.....	33
Figura 33 - Detalhe de instalação da ótica de sinalização sinalizadora.....	33
Figura 34 - Motorização do eixo	34
Figura 35 - detalhe da conexão da fibra ao eixo.....	34
Figura 36 - Integração do computador ao equipamento.....	34
Figura 37 - Detalhe de montagem da cabeça galvanométrica	35
Figura 38 - Forra do equipamento.....	35
Figura 39 - Forra extensível	36
Figura 40 - Pré-montagem	36
Figura 41 - Fases da montagem final e acabamentos	37
Figura 42 - Esboço da câmara de adição.....	39
Figura 43 - Conceito geral do sistema de adição.....	40
Figura 44 - Detalhe da transmissão de movimento da plataforma	40
Figura 45 - Esquema de montagem construtivo do módulo de adição.....	41
Figura 46 - Componentes da plataforma elevatória	41
Figura 47 - Assemblagem do motor à plataforma	42
Figura 48- Montagem do vedante da mesa de adição	42
Figura 49 - Testes com a plataforma	42
Figura 50 - Esboço do sistema de nivelamento e guiamento	43
Figura 51 - Detalhes das zonas de escoamento dos pós	44
Figura 52 - Motor 100 Rpm 24Vdc.....	44
Figura 53 - Esquemas dimensionais e cálculos	45
Figura 54 - Esquemas da assemblagem geral do módulo de adição	46
Figura 55 - Esboço da forra do módulo de adição	46
Figura 56 - Construção do módulo de adição.....	47
Figura 57 - Assemblagem da cuba à mesa de trabalho	47

Figura 58 - Módulo de adição completo.....	48
Figura 59 - Visor de proteção.....	49
Figura 60 - Primeiros disparos com o LASER	52
Figura 61 - Matriz de gravação	53
Figura 62 - Influência do acabamento superficial na peça	54
Figura 63 - Exemplo de gravação em joalheria	54
Figura 64 - Exemplo de gravação em cutelaria	55
Figura 65 - Exemplo de gravação sobre pintura.....	55
Figura 66 - Exemplo de gravação em madeira	56
Figura 67 - Exemplo de gravação em chapa com tratamento de anodização	56
Figura 68 - Exemplo de gravação em peça escovada e anodizada	57
Figura 69 - Teste de parâmetros	58
Figura 70 - Peça ampliada com mau acabamento no corte.....	59
Figura 71 - Peça ampliada com bom acabamento no corte	59
Figura 72 - Corte sem limpeza	60
Figura 73 - Corte com limpeza.....	60
Figura 74 - Configurações de corte	61
Figura 75 - Ensaio de corte em alumínio.....	62
Figura 76 - Ensaio de corte em latão	62
Figura 77 - Frequencia de 1 khz e 60 khz respectivamente	63
Figura 78 - Ensaio com poliamida.....	64
Figura 79 - Ensaio com pó metálico H13	66
Figura 80 - Vaporização da partícula	67
Figura 81 - Fusão de material na presença de atmosfera inerte	68
Figura 82 - Materialização peça metálica 20 x 20 mm.....	68
Figura 83 - Matriz de ensaios de materialização	69
Figura 84 - Peça sujeita a dois tipos de estratégias para comparação.....	70

Esta página foi deixada intencionalmente em branco

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Dados técnicos da lente	21
Tabela 3 - Tabela de dados técnicos da lente	52
Tabela 4 - Comparação de resultados no corte com a mudança de velocidade	61
Tabela 5 - Comparação de resultados com alteração da velocidade do feixe	67

Esta página foi deixada intencionalmente em branco

Lista de siglas e acrónimos

ABS	<i>Acrilonitrile Butadiene Styrene</i>
CD	<i>Compact Disc</i>
CW	<i>Continuous Wave</i>
DVD	<i>Digital Video Disc</i>
EPS	<i>Expanded PolyStyrene</i>
DMLS	<i>Direct Metal Laser Sintering</i>
DMD	<i>Digital Micromirror Device</i>
ESTG	<i>Escola Superior de Tecnologia e Gestão</i>
LASER	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
LENS	<i>LASER Engineering Net Shape</i>
PA 6.6	<i>PolyAmide 6.6</i>
PCI-e	<i>Peripheral Component Interconnect express</i>
PVC	<i>Polyvinyl Chloride</i>
PP	<i>Polypropylene</i>
PKM	<i>Paralell Kinematics Machine</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
SLM	<i>Selective LASER Melting</i>
SLS	<i>Selective LASER Sintering</i>

Esta página foi deixada intencionalmente em branco

1. Introdução

O presente trabalho destina-se ao desenvolvimento de um equipamento que satisfaça numa única plataforma várias funcionalidades, que de modo geral estão disponíveis com suas funções singularmente específicas. Trata-se, portanto, da elaboração de uma máquina híbrida que desempenhe em paralelo as funções de gravação de peças metálicas ou plásticas em conformidade com certas características, corte de finas chapas metálicas e no desafio da adição de material, além de outras funcionalidades como portabilidade, facilidade de operação e custo relativamente reduzido.

Um assunto que merece atenção é o facto de os equipamentos LASER terem de trabalhar numa distância bem definida, denominada como distância focal, para fazer incidir a energia gerada pelo sistema de forma otimizada.

Além desta complexidade, surge uma problemática que é o tempo despendido nas tarefas de ajuste minucioso da distância focal do LASER à peça. Em resposta a essa necessidade, propõe-se também a elaboração de um sistema de Auto-focagem que permitirá de maneira automática o correto posicionamento da cabeça LASER, tendo em conta a distância definida pela lente instalada no equipamento. Assim, pretende-se que proporcione uma fácil iteração entre operador e a máquina, quando se trate da utilização de lentes que requeiram outra distância de trabalho, reduzindo o *setup* de trabalhos.

Equipamentos existentes que desempenham a função de adição de material – *Selective LASER Melting* (SLM) e *Selective LASER Sintering* (SLS) utilizam como fontes de energia LASER de disparo contínuo (CW). No caso do SLS há lugar à sinterização, ou seja, fusão apenas nas interfaces dos grãos não sendo necessárias elevadas potências. No SLM, surgem equipamentos com potências nominais entre 200 a 1000W, pois requerem elevada densidade de energia para fundir a matéria-prima, ou já, pó metálico.

O equipamento que será desenvolvido no âmbito deste projeto irá utilizar uma fonte com princípio de geração pulsada (*Pulsed LASER*), com potência inferior ao acima referido, contudo, tendo em conta que com características deste método de geração, conseguem-se obter uma elevada concentração de energia. Propõe-se, portanto, a realização de ensaios com

o LASER pulsado de forma a poder observar a obtenção de resultados satisfatórios desta experiência.

Serão realizadas pesquisas e ensaios experimentais relativamente aos materiais (pós plásticos e pós metálicos) para determinar quais os materiais que melhor resultado possam apresentar com a energia disponível fornecida pela fonte LASER, a ser definida no decorrer da elaboração deste projeto.

Tendo em conta o acima exposto, entende-se a pertinência deste projeto como anteriormente referida resultante das vantagens no desempenho nas variadas tarefas além das reduzidas dimensões comparativamente aos equipamentos que se encontram disponíveis no mercado e que executam somente parcialmente estas funções, não obstante também da capacidade produtiva local e de custo relativamente razoável para as multifuncionalidades previamente elencadas.

2. Estado-da-arte

2.1.A Luz

A luz é uma onda eletromagnética cujo espectro ou intervalo de radiação está compreendida entre a radiação de infravermelho e a radiação ultravioleta e são detetáveis pelo olho humano. As cores que o olho humano é capaz de distinguir estão relacionadas com o comprimento de onda propagada. Quando uma luz natural (ex. luz do Sol) passa por um prisma, esta difrata e decompõe-se em luzes de variados comprimentos de onda, dando origem a uma paleta de cores, conforme a

Figura 1 [1].

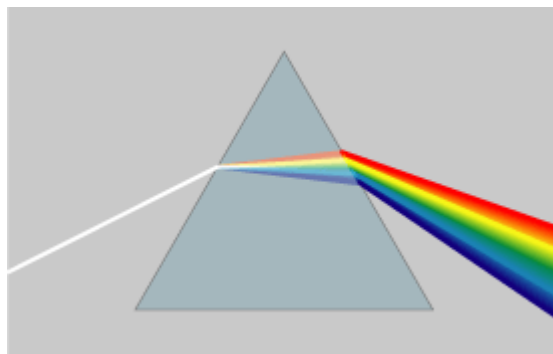


Figura 1 - Prisma com difração da luz monocromática [1]

Uma curiosidade da aplicação da luz e das suas cores a qual pode facilmente passar despercebida é o caso da sinalização. Há um conceito físico na utilização de determinadas cores para certas tarefas, como por exemplo, as cores das luzes de sinalização em edifícios altos para evitar acidentes de aeronaves. Esta sinalização é de cor vermelha devido ao comprimento de onda desta cor ser o maior em amplitude e com menor frequência. Devido a esta característica, é a cor que mais facilmente pode ser visualizada. O mesmo acontece para as luzes da retaguarda dos automóveis e motociclos. Em contrapartida, a luz que em distância, o olho humano primeiro deixa de ser capaz de notar é o violeta pelas razões inversas [2].

A luz vermelha viaja a uma maior velocidade que as restantes cores do espectro conforme Figura 2.

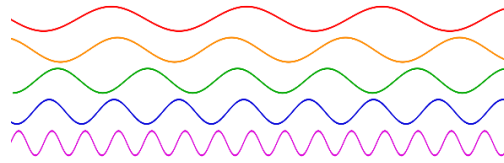


Figura 2 - Comprimento de onda das diferentes cores [2]

Como se pode observar na Figura 3, a vasta gama de ondas eletromagnéticas existentes. O olho humano capta uma faixa estreita das ondas compreendida de 400 nm a 700 nm. Todos os restantes comprimentos de onda, sejam à direita ou à esquerda deste intervalo, não são possíveis de serem detetados a olho nu pelo ser humano [3].

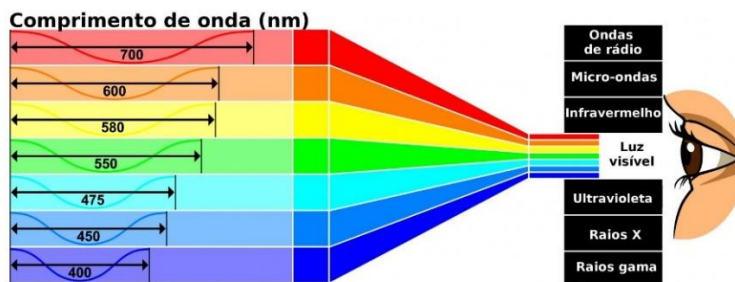


Figura 3 - Luz visível ao olho humano [3]

Na Figura 4 é apresentada a ampla faixa de ondas eletromagnéticas assim como as respetivas frequências de propagação dos vários subgrupos [4].

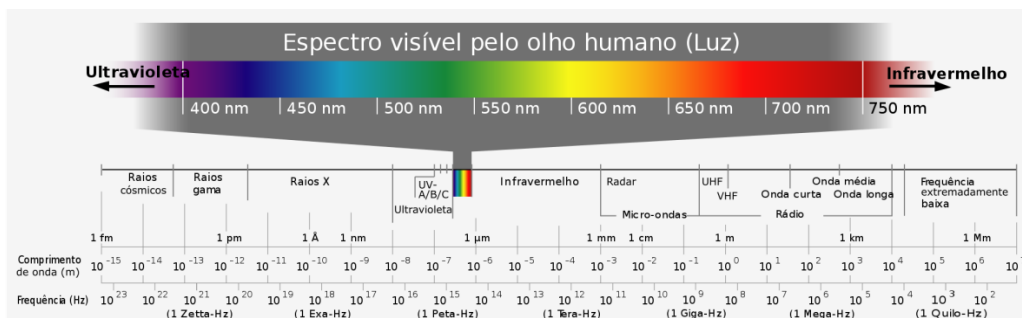


Figura 4 - Espectro global de ondas eletromagnéticas [4]

2.2.A utilização da luz do LASER

A sigla em inglês LASER significa “*Light Amplification by Stimulated Emission by Radiation*” que, por outras palavras, se pode definir como a Amplificação de Luz por Estimulação da Emissão de Radiação. Basicamente, o LASER pode ser definido como um feixe de luz extremamente coerente, uni direcionado e puro. O nível de energia armazenada no material base (a fonte geradora) definirá a grandeza de potência do LASER. Por exemplo, um simples apontador LASER para uso escolar, tem uma potência inferior a 0,1W e outros como para aplicações industriais, com capacidade de cortar chapas de até 25mm de espessura podem ter uma potência até 7kW [5].

2.2.1. Princípio de funcionamento do LASER

Pesquisas iniciadas por Albert Einstein, em 1917, que acreditava que era possível direcionar uma fonte de luz num único ponto / feixe, dada a preferência dos fótons em viajarem juntos no mesmo estado viriam a contribuir em estudos posteriores [6]. Alguns anos mais tarde, em 1953 o físico Charles Townes desenvolveu estudos sobre a geração de micro-ondas MASER que também auxiliaram no desenvolvimento desta matéria [7]. E somente em 1960 o Engenheiro e Físico Theodore Maiman viria a inventar o LASER [8].

Segundo especialistas, “se um átomo está excitado, depois de algum tempo pode baixar espontaneamente para um nível mais baixo de energia (camada eletrónica do átomo), libertando energia na forma de um fóton, que é emitido numa direção aleatória. Esse processo é chamado de emissão espontânea [8], [9].

Quando o eletrão está no estado excitado e é submetido à radiação eletromagnética, esse processo é denominado como emissão estimulada. A presença de fótons com diferentes comprimentos de onda no mesmo feixe estimula os átomos a libertar energia na forma de luz, que viaja em fase e na mesma direção que o fóton original. Este processo desencadeia um efeito em cascata, a acumulação de fótons presentes nos átomos excitados que se juntam e geram um feixe de luz coerente [7], [8].

O LASER surge quando existe energia suficiente para excitar uma quantidade de eletrões de um material para um nível de energia superior, até que haja mais eletrões excitados do que no estado fundamental [4]

À semelhança da luz, o LASER também é uma onda electromagnética, contudo com certas características tais como:

- Monocromia - Apresenta somente um comprimento de onda, e por consequência uma única cor;
- Coerência - As ondas eletromagnéticas se verificam em fase;
- Colimação – Convergência dos raios produzidos pelo dispositivo, e de forma paralela. Permitindo grande propagação da luz emitida e possibilidade de emissão a longas distâncias com perda de potência relativamente reduzida.

Na Figura 5 pode-se verificar a correspondência das cores e o respetivo intervalo de comprimento de onda.

Cor	Comprimento de onda	Frequência
vermelho	~ 625-740 nm	~ 480-405 THz
laranja	~ 590-625 nm	~ 510-480 THz
amarelo	~ 565-590 nm	~ 530-510 THz
verde	~ 500-565 nm	~ 600-530 THz
ciano	~ 485-500 nm	~ 620-600 THz
azul	~ 440-485 nm	~ 680-620 THz
violeta	~ 380-440 nm	~ 790-680 THz

Figura 5 - Correspondência do comprimento de ondas e frequência [10]

2.3. Tipos de LASER

2.3.1. LASER de CO₂ (LASER de estado gasoso)

LASER de CO₂ são LASERs gerados a partir da excitação de gás de CO₂, que são baseados numa mistura gasosa de dióxido de carbono, o qual é estimulado eletricamente. Com um comprimento de onda de 10,6 nm, são perfeitamente adequados para trabalhos em materiais não metálicos como madeira, acrílico, vidro, papel, têxteis, plásticos, couro e pedras [11].

LASERs de CO₂ têm relativa alta eficiência e boa qualidade do feixe. Eles são, portanto, os tipos de LASERs mais utilizados para muitas das aplicações acima mencionadas.

Como desvantagens, apresenta a necessidade de recarga do tubo LASER a partir de 4000 horas, requerem um pré-aquecimento antes da ativação. Normalmente 10 minutos antes da laboração. Requerem também um sistema de limpeza com bombas de vácuo para descontaminação de partículas no circuito da geração [12].

No início dos anos 90 começou a ser massificada a utilização desta tecnologia relativamente ao processamento dos aços (potências a partir de 2kW), nomeadamente para o corte de chapas metálicas com extrema vantagem se comparadas aos processos convencionais da época, apresentando relevante vantagem nos tempos de processamento, qualidade nos cortes, redução dos desperdícios e custos [13].

A execução do corte com esta tecnologia não requer contacto físico de qualquer ferramenta cortante. O processo é realizado com a projeção de um feixe de luz extremamente concentrado e com gás assistido que ajuda a expulsar o material vaporizado pela temperatura local empregue ao material. Dispõe de eixos móveis com recurso a um controlador CNC (comando numérico computadorizado), o feixe LASER desloca-se com boas velocidades seguindo as trajetórias definidas para a realização do trabalho [11].

Os feixes podem ter um diâmetro bastante reduzido (0,5 mm), possibilitando alta precisão nas peças processadas, bem como reduzido desperdício das estruturas circundantes das chapas. Outra vantagem deste processo é a reduzida carga térmica aplicada ao material durante o corte. O que confere vantagens quanto a preservação da estrutura cristalina do material, não apresentando empeno, e possibilidade de manuseio quase que imediato das peças após o processamento do corte [11], [13].

Atualmente apresentam uma vasta aplicação na indústria pesada e de precisão, na medicina, na estética e outros. Embora haja uma crescente evolução de fabricantes desta tecnologia, no presente estudo os principais fabricantes de equipamentos laser são:

- Trumpf – Fabricante de Laser e de equipamentos de SLM e corte de chapa
- Primapower – Fabricante de equipamentos de corte de chapa
- Bystronic – Fabricante de equipamentos de corte de chapa
- AMADA – Fabricante de equipamentos de soldadura

2.3.2. LASER ND: YAG

Este tipo de LASER é considerado como um LASER de Estado sólido, com comprimento de onda de 1064 nm, gerado a partir neodímio dopado, possuindo ótimas aptidões para a gravação em metais e plásticos [14].

Normalmente utilizados em equipamentos de pequenas dimensões, os materiais para o seu fabrico são relativamente caros e são elementos consumíveis. Apresentam um tempo de vida superior aos lasers de CO₂ [15].

2.3.3. YTTERBIUM (LASER de Fibra)

É considerado também um LASER de estado sólido, com o mesmo comprimento de onda do laser de YAG (1064 nm). A energia é ampliada através do caminho que percorre na fibra de vidro. Possui ótimas aplicações nos metais e em alguns plásticos. Consegue apresentar ótima qualidade de corte, o diâmetro do feixe é de 0,1 mm aproximado.

O LASER de fibra apresenta maior tempo de vida que o LASER de CO₂ e do YAG, a partir de 25000 horas podem começar a perder intensidade/potência. Este tipo de LASER pode ser utilizado para equipamentos de baixa potência (20 W) como equipamentos de gravação, codificação, publicidade, entre outros. São também utilizados para indústria para o corte de chapas, podendo atingir 12000 W para cortes de peças com espessura acima dos 40 mm. Nos últimos anos tem apresentado um constante incremento da potência e capacidade de corte. Conseguem realizar cortes 5 vezes mais rápido se comparado com os lasers de CO₂ com a mesma potência [16], [17].

Alguns Fabricantes de fontes de LASER de Fibra:

- SPI Fiber LASER (Rugby, Reino Unido);
- IPG Photonics (Oxford, MA, Estados Unidos da América);
- Raycus LASER Source (Shandong, República Popular da China).

Na Figura 6 podemos distinguir as vantagens oferecidas pelo LASER de fibra comparativamente ao laser de CO₂:

Para um laser de CO₂ de 4400 W:

- diâmetro do ponto focado de 0,5 mm;
- Área de ponto de 0,1963 mm²;

Dividindo a potência do Laser pela área onde incide o feixe, obtém-se 2,2 MW/mm²

Para um Laser de fibra de 2000 W:

- Diâmetro do ponto focado de 0,16 mm;
- Área do ponto de 0,02 mm²;

Dividindo a potência do laser pela área onde incide o feixe, obtém-se 10 MW/mm².

Portanto, a conclusão é que um LASER de fibra de 2000 W apresenta uma densidade de energia aproximada de 5 vezes maior do que a energia que um laser de CO₂ de 4400 W consegue fornecer.

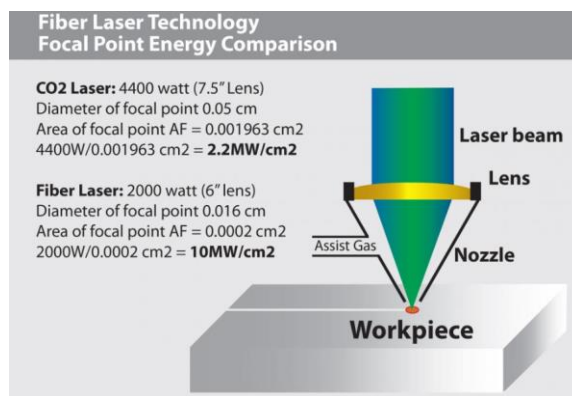


Figura 6 - Diâmetro de incidência do feixe de LASER [18]

Na Figura 7 é apresentado um gráfico que apresenta uma relação da absorção de energia que cada material tem em função dos vários comprimentos de onda.

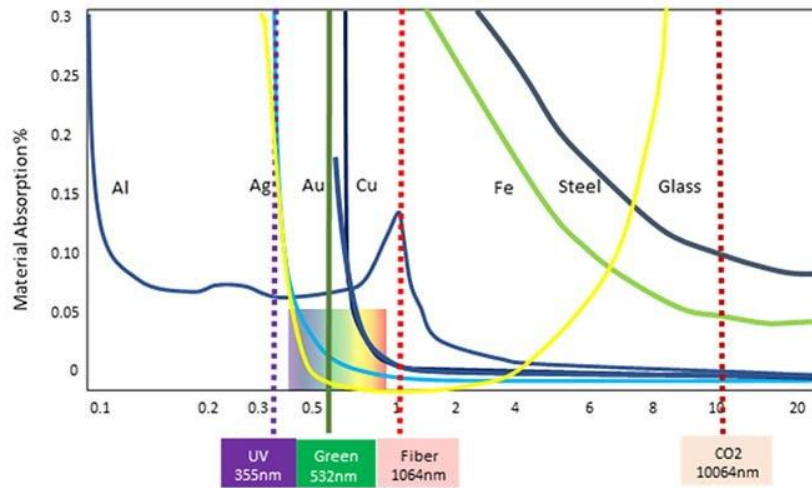


Figura 7 - Gráfico Absorção vs comprimento de onda [19]

2.4. Aplicações do LASER

As características "polaridade", "direccionalidade" e "monocromático", tornaram o LASER um instrumento versátil e indispensável. Atualmente, aplica-se a quase todos os setores. Na indústria, é comumente usado para corte de metal, micro soldagem, medidores de distância, aplicação ótica e sensores.

Na medicina, é notório o seu uso em áreas como: oftalmologia, neurocirurgia, otorrinolaringologia, tratamentos e intervenções cardiovasculares, dermatologia e estética. Na fisioterapia pode ser utilizado como anti-inflamatório, regenerativo e analgésico [20];

Nas forças armadas, pode surgir em aplicações bélicas, armas, miras, sensores e outros.

2.4.1. Gravação de material

Este método permite uma vasta aplicação, como marcação de peças para rastreabilidade da produção, numeração, logotipo, orientação de montagem das peças na linha de montagem, entre outros. Além do desgaste quase inexistente do sistema, por não haver contacto com a peça e ferramentas, se cumpridas as manutenções mínimas requeridas, atingem uma longevidade bastante alargada [14].

Permite também flexibilidade no modelo a ser gravado, não havendo a necessidade de moldes ou matrizes se compararmos com a gravação eletroquímica, cujo método de trabalho requer modelos pré-definidos e tempo necessário para a produção dos mesmos, séries limitadas de produção, além de que o desgaste das matrizes causa defeito na gravação da peça. Para obtenção de gravação de peças com bons resultados requer um vasto conjunto de testes, dado que a superfície de cada peça pode reagir de diferentes formas. Ainda que a peça seja composta pelo mesmo material (mesma composição química), deve-se estar atento ao tipo de acabamento que cada superfície tem. Pode ser polido, escovado, torneado, maquinado, ter tratamento superficial, retificado ou outros, as rugosidades podem variar bastante, conforme a Figura 8. Se observarmos a superfície da peça ao microscópio melhor se pode compreender que a energia do feixe de LASER aplicada à peça se proporciona de forma diferente em cada caso [21].

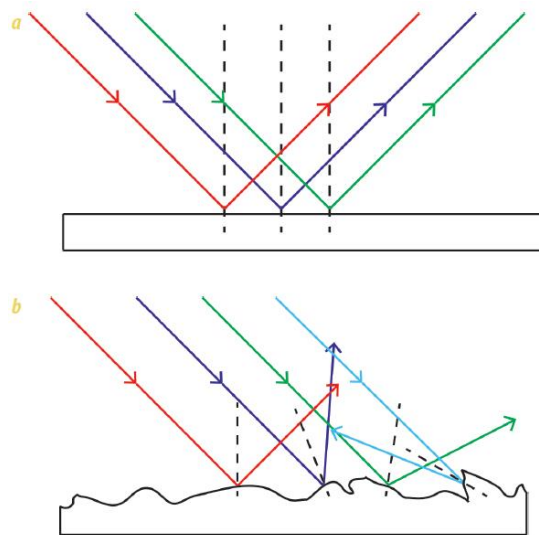


Figura 8 - Reflexão especular vs reflexão difusa [22]

Alguns materiais não apresentam um bom resultado ao receber a energia emitida pelo Laser de fibra [23], como é o caso do:

- Vidro
- Madeira
- Cortiça

Contudo existe um espectro de materiais bastante alargado onde a aplicação por diferentes técnicas com este tipo de Laser se consegue obter bons resultados [23], tais como:

- Aço carbono e ligas, aço inoxidável
- Alumínio (alumínio anodizado)
- Cobre e ligas (Latão, Bronze)
- Ouro
- Prata
- Metais com tratamentos superficiais (carbonetos)
- Acrílico
- PVC
- PP
- EPS
- ABS

Alguns materiais apresentam alguns riscos na operação devido ao seu alto grau de reflexão tais como:

- Alumínio
- Cobre
- Prata

Estes materiais apresentam uma característica de elevada refletividade, pela mesma razão, a absorção da energia é extremamente reduzida. Portanto, ao emitir um feixe LASER contra a superfície destes materiais, somente parte da energia é absorvida, e a maior parte é refletida, por vezes esta reflexão pode causar danos à cadeia ótica ou mesmo risco aos operadores [19], [24].

Algumas das modalidades na marcação de peças [25]:

- Recozimento – A aplicação do laser na forma de energia térmica que incide sobre a superfície do material provoca uma alteração da microestrutura superficial e que pode provocar alteração da cor. A cor pode variar dentro do espectro do arco-íris, mais ou menos intenso, dependendo do material e da aplicação dos parâmetros ideais para cada material e ainda o objetivo pretendido. Neste caso não há remoção de material e é impercetível ao toque.
- Gravação – A concentração de energia é de tal forma que a superfície de material é vaporizada e há remoção de uma fina camada de material como resultado surge a gravação e é facilmente perçetível ao toque.

- Remoção de camada – Da mesma forma que o laser vaporiza o material, neste caso remove uma fina camada ou “película” que recobre a peça, lacagem, anodização, oxidação etc. Deixando visível a parte da peça que não possui o revestimento.

2.4.2. Corte de Material

Atualmente é muito comum a utilização do LASER na indústria das estruturas metálicas, devido à ótima qualidade de processamento e elevada produtividade, que recorrem a esta tecnologia para o corte de material. Os equipamentos permitem o corte de chapas metálicas compreendidas entre 0.5 mm a 40 mm, dependendo da potência das fontes de cada equipamento. Alguns fabricantes de equipamentos cujas fontes LASER tenham elevada potência e capacidade de corte utilizam motores de alta velocidade (motores lineares) que têm uma capacidade de deslocamento na ordem dos 85 m/min [26]–[28]. A Figura 9 apresenta dois exemplos de peças cortadas com equipamento Prima Power.

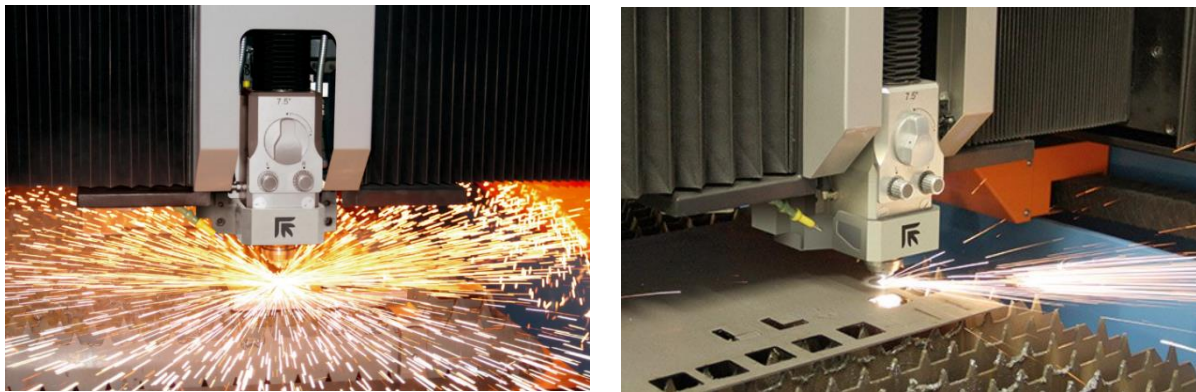


Figura 9 - Máquina de corte LASER prima Power [46]

Na Figura 10 um exemplo realizado numa chapa de aço inoxidável cortada no equipamento Prima Power. Conforme a variação em altura é possível notar a diferença da espessura do traço. Importante salientar que a distância focal neste tipo de tecnologia é um fator resolutivo para a realização de cortes com precisão.

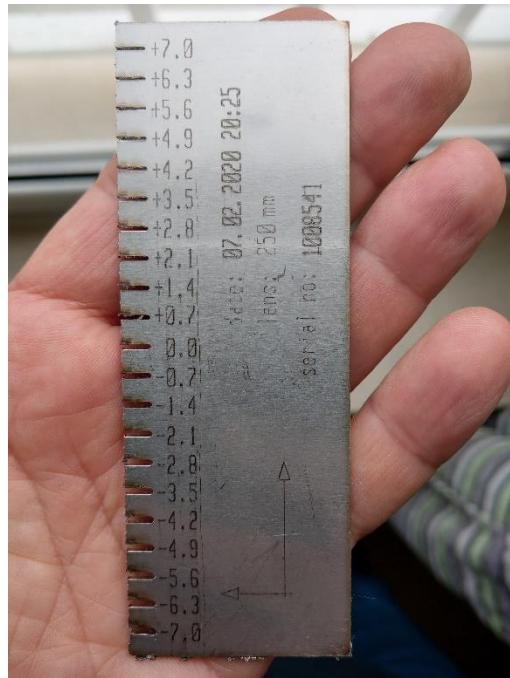


Figura 10 - Chapa de aferição de foco

2.4.3. Adição de material

Uma das tecnologias que merece destaque quanto ao seu desenvolvimento e rápidos progressos que tem atingido, é o processo de fabrico aditivo. A principal vantagem desta tecnologia emergente é o grau de liberdade que permite a fabricação das peças. Não havendo limitação quanto às formas se comparadas com processos convencionais. São disso exemplo o DMLS[®] - *Direct Metal LASER Sintering* (EOS GmbH, 2011), o LASERCusing[®] (Concept-LASER GmbH) e o SLM - *Selective LASER Melting* [29] .

Esta técnica consiste na fusão ou sinterização de materiais através de uma fonte de energia concentrada (LASER).

Embora exista uma variedade materiais que possam ser processados por este método como cerâmicos, polímeros, metais, bases poliméricas ou outras, tem havido maior destaque para os pós metálicos. Atualmente é processado de duas formas:

O modelo 3D da peça é cortado em finas camadas (*layers*), sendo importante referir que quanto menor for a espessura de camadas, melhor será a qualidade superficial da peça acabada, devido à redução do efeito de escada [30].

Previamente, o modelo da peça é seccionado por *software* específico em finas camadas e o LASER descreve a área transversal sobre uma camada de material, com granulometria na ordem dos 30 μm , o qual sofre sinterização ou fusão, consoante o material, por ação da concentração térmica em forma de luz. Uma outra fina camada de material em forma de pó é reposta e assim sucessivamente. O LASER é projetado sobre a superfície da peça em construção que vai surgindo camada após camada, como é apresentado nas sequências da Figura 11 [31].

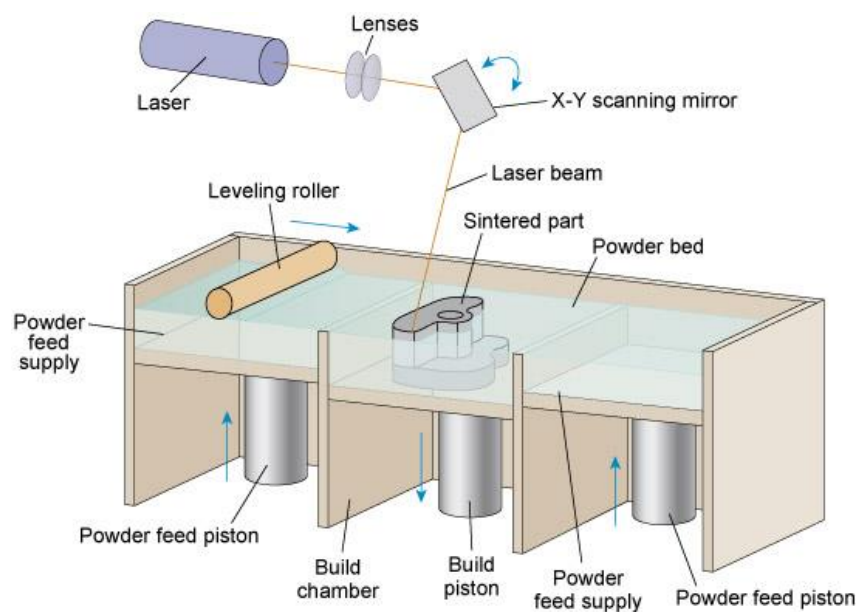


Figura 11 - Descrição do processo de adição [32]

Outro método consiste na adição do material gradativamente sob forma de projeção num bico instalado junto da cabeça do sistema (DED). Esta segunda técnica também é utilizada para reparação de peças, como por exemplo, o enchimento de poros ou falhas no molde cujo retrabalho seria demasiado dispendioso. Também pode ser utilizado como proteção superficial como uma camada ou fina cobertura que permita características especiais (dureza, resistência) [33]–[35]. Na Figura 12 encontram-se exemplos de fabrico aditivo por DED.



Figura 12 - Exemplos de DED [35]

Para a produção de componentes metálicos usando DMLS (*Direct Metal LASER Sintering*), fabricantes como EOS oferecem uma seleção abrangente de pós metálicos que variam de alumínio, aço *maraging*, titânio, ligas de níquel e cobalto-cromo. Isso permite que produtos altamente individualizados sejam fabricados com qualidade excepcional.

Existem algumas soluções comerciais, como o *LASER Engineered Net Shape* (LENS), desenvolvido pela *Sandia Labs* [36], [37], ou o *Direct Metal Deposition* (DMD), desenvolvido pelo *Trumpf Group* [35].

O sistema de adição de metais pode ser realizado em recurso a outras fontes de energia, como por exemplo plasma.

Na Figura 13 um exemplo de equipamento de plasma para adição de uma fina camada de cromo do molde para garantir maior resistência aos ciclos de trabalho.



Figura 13 - Exemplo de boquilhas com adição de material [47]

3. Matriz do Produto

Os movimentos dos eixos nos equipamentos podem ter variadas configurações quanto a sua estrutura física, podendo ser cartesiano, robot, PKM (*Parallel Kinematics Machine*) ou galvanométrico. Neste sentido, devido às reduzidas dimensões do equipamento que se pretende idealizar neste projeto, definiu-se que a tecnologia que mais se adequava em termos de espaço construtivo e da aplicação específica, visando as reduzidas dimensões da área de trabalho das peças, optou-se pela escolha do sistema galvanométrico.

Realizou-se um esboço do que poderia ser a forma final do equipamento procurando valorizar as funcionalidades e o aspeto funcional. Os primeiros conceitos, visando a importância ao sistema de foco automático e criando também uma ideia daquilo que poderia ser a forma final do equipamento, é apresentado na Figura 14.

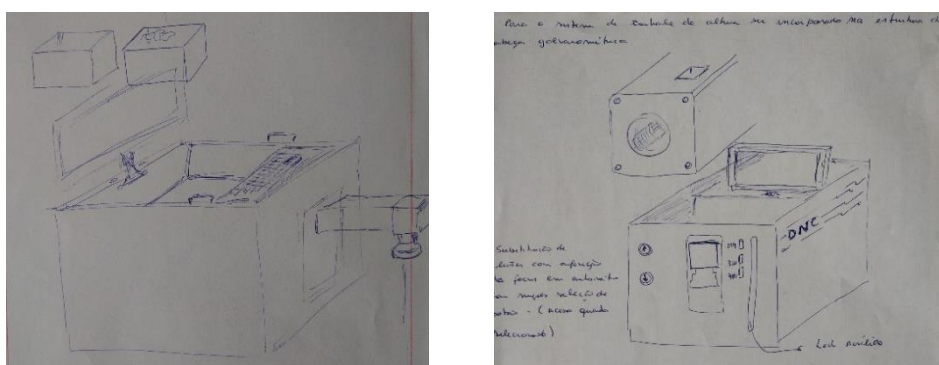


Figura 14 - Esboço do conceito do equipamento

Após algumas melhorias do conceito até a obtenção de um modelo com alguns detalhes, entre eles, a ótica sinalizadora do estado de funcionamento, comandos, mesa de trabalho e logotipo caracterizado na forra de cobertura foi possível obter um modelo mais estético e próximo da fase construtiva, Figura 15.

Por se tratar de um equipamento com múltiplas funcionalidades - **Gravação, corte e adição** ficou definido durante as fases de conceito que, a divisão de tarefas por módulos, poderia facilitar no transporte e nas operações.

O equipamento exhibe a seguinte estrutura articulada por módulos:

Módulo principal – Compartimento que acondiciona o Laser, computador e unidade de controlo dos eixos.

Módulo de fabrico aditivo – Compartimento suplementar, que acondiciona o material e tem o controlo individualizado desta unidade, todavia, depende da unidade principal.

Mesa de suporte – como o nome propriamente indica é uma base que tem a funcionalidade de acondicionar/ fixar peças de pequenas dimensões para facilitar as operações de gravação e corte.

Esboço das configurações do equipamento Módulo principal com Mesa de suporte à esquerda e Módulo principal com unidade de fabrico aditivo à direita na Figura 15.

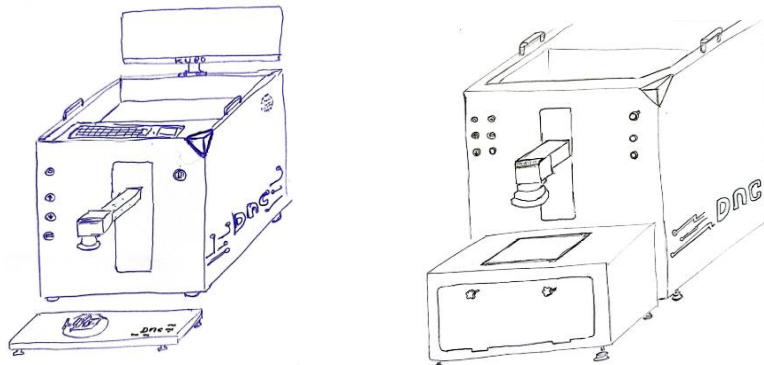


Figura 15 - Melhoramentos no conceito do equipamento

3.1. Cabeça galvanométrica

Como princípio de funcionamento, a cabeça galvanométrica tem a função de deflectir a imagem através de dois espelhos X e Y, dotada de dois motores que trabalham a altíssima frequência. Capazes de direccionar o feixe do LASER e formar a figura/imagem pretendidos através da interpolação entre os espelhos, Figura 16.

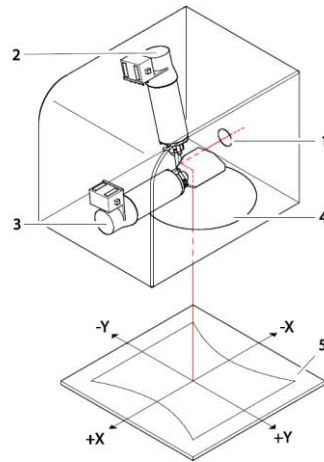


Figura 16 - Esquema de cabeça galvanométrica[38]

- 1 Entrada do feixe
- 2 Espelho Galvanométrico X
- 3 Espelho Galvanométrico Y
- 4 Saída do feixe
- 5 Área de processada

3.2. Lente

Na ficha técnica do fabricante das lentes, são apresentadas tabelas quanto à distância focal de cada modelo, assim como a área total de trabalho, contudo, é fundamental validar o aspecto do foco vs densidade. Trata-se de materiais processados como o vidro (amorfo) podem, seja pelo processo produtivo ou pela qualidade das matérias-primas, resultar em ligeiros desvios na qualidade do produto final.

Por esta razão, após fazer-se uma aproximação dos parâmetros mencionados na ficha técnica do fabricante, aconselha-se ajustar o foco localmente, para garantir uma maior eficiência da fonte geradora de LASER e sua melhor performance na gravação ou corte dos materiais.

Quanto maior for a densidade da energia (LASER) melhor será o desempenho do sistema.

Desta forma, poder-se-á definir isso através de dois fatores:

- A potência do LASER empregue;
- Menor diâmetro de incidência do LASER (\emptyset do *spotsize*)

Na Figura 17 apresenta-se um sistema de ampliação da energia através de uma lente convergente.



Figura 17 - Lente convergente [39]

Os seguintes cálculos permitem a seleção da lente, tendo em conta certos requisitos como a área de trabalho, distância focal e diâmetro de entrada do feixe LASER (Equação 1).

$$\text{Spot-}\emptyset = 1.83 \times \lambda \times \text{FL} / \text{beam-}\emptyset \quad (1)$$

Onde:

Spot- \emptyset : Diâmetro incidente do feixe LASER (*spotsize*) [μm]

1.83: Fator de posição

λ : comprimento de onda do LASER [nm]

FL: Distância focal [mm]

Beam- \emptyset : Diâmetro de entrada do feixe LASER [mm]

O comprimento do feixe LASER nas direções x e y pode ser calculado, respetivamente, pelas Equações 2 e 3:

$$2x = \text{FL} * 2\theta_x * \pi/180 \quad (2)$$

$$2y = \text{FL} \times 2\theta_y \times \pi/180 \text{ and} \quad (3)$$

Onde:

$2x$: Comprimento máximo na direção x [mm]

$2y$: Comprimento máximo na direção y [mm]

FL: Distância focal [mm]

$2\Theta_{x,y}$: Ângulo máximo *Theta* para cada espelho [°]

$\pi/180$: Fator de conversão (para radianos)

Na Figura 18 apresenta-se um esquema dos elementos importantes a serem observados na seleção da lente. Neste caso, o que melhor resultado apresenta ao projeto é aquele com menor distância focal. Na Tabela 1 pode-se comparar os dados técnicos da lente.

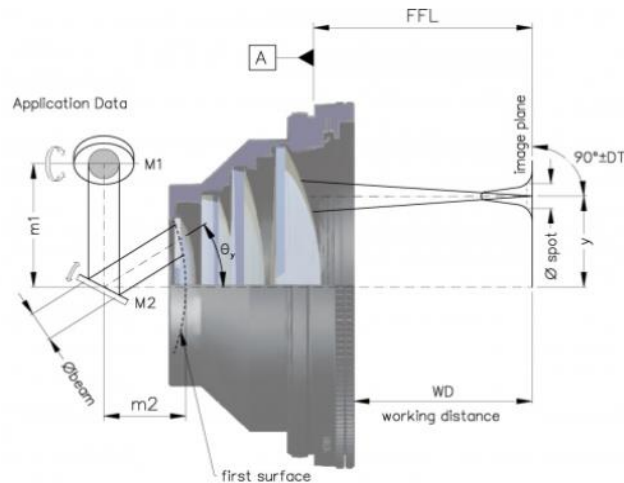


Figura 18 - Esquema de uma lente [39]

Tabela 1 - Dados técnicos da lente

	EFL	λ	BFL	FFL	$2y'_{max}$	$\pm\Theta_{max}$	\varnothing_{beam}	\varnothing_{spot}	m1/m2	Order number
Nominal focal length [mm]	Effective focal length [mm]	Wavelength [nm]	Back focal length (from vertex of last element or from protective glass surface) [mm]	Flange focal length (distance from mechanical flange to focus plane) [mm]	Scan length or diagonal for 2-D scans [mm]	Overall scan angle [°]	Entrance beam bundle diameter [mm]	Image point diameter (1/e ²) for Gaussian illumination [μm]	Mirror distances [mm]	PG = including protective glass
160	160	532	188.3	203.5	139.6	+/-25	15	12	16/16	4401-482-000-21 ^{PG12} *
330	329.9	532	391.9	444	287.9	+/-25	14	23	18/24	4401-485-000-21 ^{PG7} **
420	419.8	532	497.5	549.2	410.4	+/-28	15	27	30/16	4401-489-000-21 ^{PG7} **

As distâncias entre os espelhos m1 e m2 são valores recomendados e podem variar. Um diâmetro menor do feixe de entrada permite ângulos de varrimento maiores e, portanto, resulta em possíveis áreas de trabalho maiores.

O conjunto destas variáveis compromete a performance de difração dos espelhos galvanométricos. Por conseguinte, o limite de ação do LASER sobre a área de trabalho pode ficar comprometido, podendo distorcer a imagem do objeto ou sequer delinear o contorno máximo definido pelo fabricante da lente, Figura 19, [39].

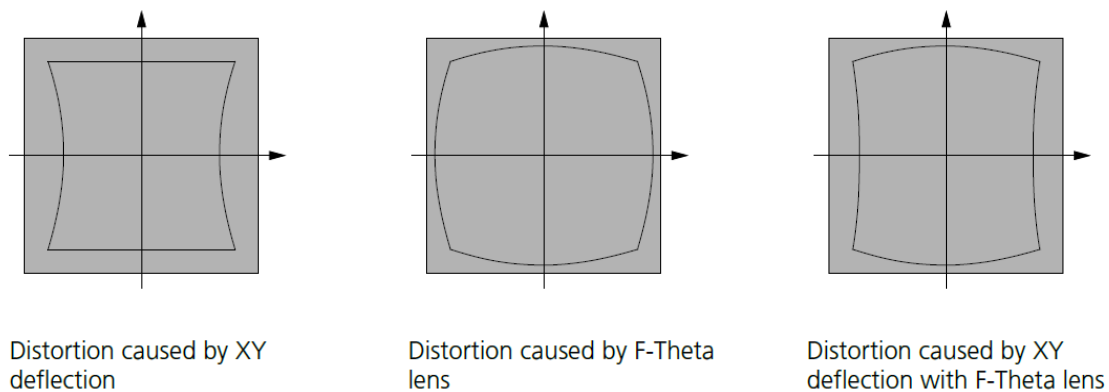


Figura 19 - Tipos de distorção da área de trabalho [39]

Os dados utilizados para o cálculo do diâmetro incidente (*spotsize*) do feixe LASER foram os seguintes:

- $\lambda = 1064 \text{ nm}$
- $FL = 163 \text{ mm}$
- $\varnothing \text{ beam} = 10 \text{ mm}$

Aplicando a Equação 1, tem-se:

$$\varnothing \text{ spot} = 1,83 \times 1064 \times 163 / 10$$

$$\varnothing \text{ spot} = 31738,056 \text{ nm}$$

$$\varnothing \text{ spot} = 0,03173 \text{ mm}$$

Portanto, o diâmetro de incidência do feixe LASER é aproximadamente igual a 30 μm . O *spotsize* de 30 μm permite a elaboração de peças com detalhes finos, seja para a gravação, corte ou eventual adição de material.

Este fator é de primordial importância quando se pretende uma maior definição da gravação. Quanto maior for a distância focal maior será o *spotsize* e em consequência disto, menor a definição do traço de incidência do LASER, conforme é possível observar na Figura 20, [40].

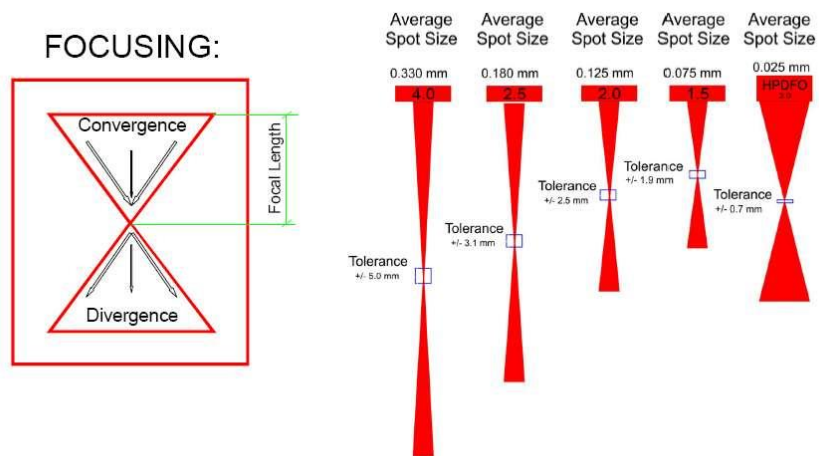


Figura 20 - Distância focal e respetivos intervalos de foco [40]

Esta página foi deixada intencionalmente em branco

4. Projecto de Concretização

4.1. Fonte LASER IPG YLP V2

Após várias pesquisas, quanto aos tipos de LASERs disponíveis e avaliar os benefícios e especificidades técnicas que cada tecnologia tem comparativamente com outras, optou-se pela tecnologia do LASER de fibra pelas razões a seguir apresentadas:

- Dimensões da fonte;
- Manutenção inexistente;
- Não requer consumíveis (ex. Excitação de gases para geração);
- Não requer módulo de refrigeração à parte (*chiller*).

Uma vez que se definiu que a fonte de geração do LASER seria por Fibra, foram contactados 2 fabricantes de renome desta tecnologia – a SPI e a IPG. A escolha, contudo, não foi influenciada pelo custo do produto, dado que ambos apresentam ótima qualidade construtiva e de gravação, verificada pela experiência prévia no desenvolvimento de outros equipamentos. As principais diferenças assentam no requisito de programação do módulo, tendo o produto da SPI mais opções quanto ao tipo de operação pretendida, permitindo o controlo por *hardware* ou por *software*, contudo bastante mais complexo. Assim, a escolha foi centrada em dois fatores, a experiência e a parceria em outros projetos no passado e a forma de parametrização da fonte LASER fibra IPG ser mais simples, Figura 21.



Figura 21 - Fonte laser Fibra IPG - modelo YLP - Galvo

4.2. Software Raylase

Como é referido previamente nos cálculos apresentados no capítulo 3.1, o tipo de cabeça galvanométrica selecionada foi a da Raylase, com 10 mm de abertura e a respetiva placa de controlo dos espelhos MSII, Figura 22.



Figura 22 - Cabeça Galvanométrica e placa de controlo

Para a construção do equipamento, adquiriu-se uma cabeça galvanométrica do fabricante Raylase com placa de controlo dos eixos 2D (X,Y) e com o respetivo *software* versão *premium*, para futuramente possibilitar a integração do controlo do eixo externo.

4.3. Lente Linus Ronar

Como antes mencionado, a lente é um elemento de extrema importância e define características únicas nos processos de gravação ou de corte. O feixe LASER que sai da fonte é transportado pela fibra e chega a um dispositivo denominado colimador, que tem a função de captar a radiação, suavizá-la e ampliar o feixe. A ampliação deste feixe impede que a ação do LASER seja eficaz na gravação ou no corte.

A função da lente é convergir o feixe LASER num determinado foco (distância focal). Além de determinar a distância ótima ao objeto, esta define também a área de gravação.

Quanto maior for a distância focal, maior o *spotsize* (diâmetro do ponto incidente), maior será a área de gravação e menor será penetração da incidência da luz. Portanto quando se pretendem realizar gravações com extrema precisão, devem-se selecionar lentes que garantam um *spotsize* bastante concentrado, ou seja, com uma elevada densidade de energia. Tendo em conta características como, as dimensões pretendidas para equipamento, foi definida uma lente com uma distância focal com cerca de 160 mm de distância ao objeto. É de referir que quanto maior for esta distância, maior será a altura deste equipamento. Assumindo o compromisso de construção de um equipamento portátil, a escolha da lente foi a Linus Theta Rhonar F 163, Figura 23.



Figura 23 - Lente Linus Theta foco de 163 mm

4.4. Quadro elétrico

Foram tidos em consideração diversos requisitos básicos para definir os materiais para este projeto:

- Em primeiro, tendo em conta que se pretende desenvolver um equipamento portátil e de reduzidas dimensões determinou-se que este não deveria ultrapassar certos limites de forma a poder ser transportado num veículo ligeiro e facilmente passar

pelas portas de acesso a um laboratório, sem que fosse necessário desmontar quaisquer elementos.

- Contudo, para isto seria necessário determinar os componentes que condicionavam as dimensões mínimas satisfatórias, ou seja, os de maiores dimensões de forma a não comprometer a montagem e interligação dos seus vários constituintes dentro da mesma estrutura;
- Iniciou-se o desenvolvimento do quadro elétrico, que teria a função de conjuntamente suportar todos os componentes da máquina e interligá-los;
- Realizou-se um *mockup* do equipamento, com as peças dispostas sobre uma placa base de modo a haver um entendimento geral do espaço necessário para acomodar os componentes.

Utilizando uma placa (*platine*) de quadros elétricos *standard* pode-se observar que não era suficiente para suportar todos os componentes, pois ainda carecia a integração de mais elementos, conforme é apresentado na Figura 24.

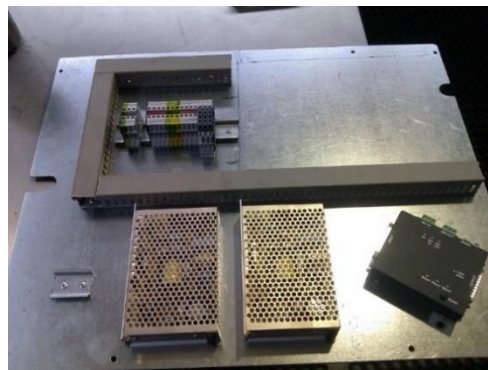


Figura 24 - Primeiros experimentos para definição da placa do quadro elétrico

Nesta fase a determinação do espaço para implementar os componentes foi bastante trabalhosa, tendo em conta aos graus de liberdade que se têm ao iniciar um projeto desta natureza. Foi necessário a construção de uma *platine* específica em termos de dimensões por não haver dimensões *standard* maiores disponíveis nos fornecedores de quadros elétricos.

Após redefinidas as dimensões da placa, foi possível integrar todos os componentes e passar à atividade seguinte, que seria a definição da estrutura metálica da máquina, Figura 25.

O quadro elétrico compreende os seguintes componentes:

1. Fonte LASER
2. Fonte de alimentação geral do sistema 24V DC
3. Fonte de $\pm 15V$ DC dedicada para o espelho galvanométrico 1;
4. Fonte de $\pm 15V$ DC dedicada para o espelho galvanométrico 2;
5. Driver de controlo do eixo,
6. *Interface PC/LASER*;
7. *Bornes de ligação*.



Figura 25 -Placa final do quadro elétrico

4.5.Computador

O outro desafio é poder integrar um computador no equipamento, também de reduzidas dimensões, para não comprometer as proporções finais da máquina. Após várias pesquisas quanto aos PC disponíveis e que possuam uma porta PCI-e (suporte para abarcar a placa de controle dos espelhos galvanométricos). Todos os resultados desta pesquisa que dispunham este encaixe na *motherboard* eram computadores modelo *desktop*. Esta condição inviabilizava o desenvolvimento de uma estrutura reduzida para o equipamento.

Para contornar este problema, considerou-se construir uma *case* para o computador que se ajustasse às dimensões e posicionamento dos elementos de integração com o LASER. Neste caso, as principais preocupações foram o correto alinhamento dos *slots* na *motherboard* com as ranhuras da caixa, como se tratasse de um computador padronizado e que suportasse qualquer dispositivo externo futuramente sem ser necessária nenhuma adaptação.

Assim adquiriram-se todos os componentes tipicamente integrantes de um computador tais como:

- - *Motherboard* Modelo Asus B75 M - A
- - Processador Intel i5
- - Fonte de Alimentação 500 W
- - Memória RAM 4 Gb
- - Placa SP-Ice – Placa de controle dos espelhos galvanométricos – Raylase
-

O desenho da caixa do computador desenvolvida especificamente para o equipamento é o apresentado na Figura 26.

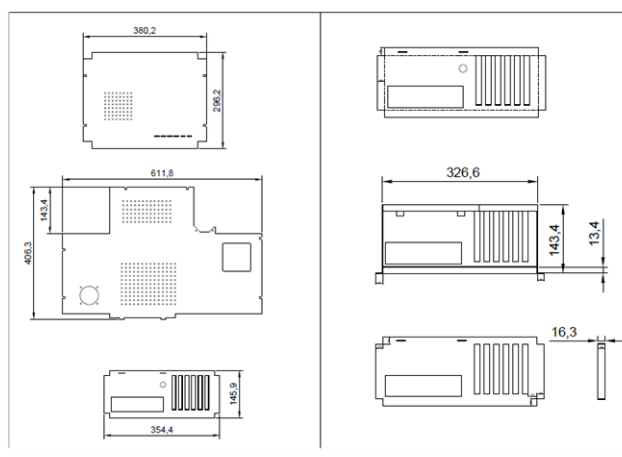


Figura 26 - Layout da caixa do pc

Após idealizada a construção da caixa do computador, entendeu-se a necessidade de fabrico por intermédio da tecnologia de corte a LASER, devido os minuciosos detalhes construtivos, como se pode observar na Figura 27.



Figura 27 - Definição das partes funcionais da caixa do computador

A montagem da estrutura do computador, composto pela base, chapa traseira e tampa, com os seguintes detalhes que se podem observar na Figura 28.

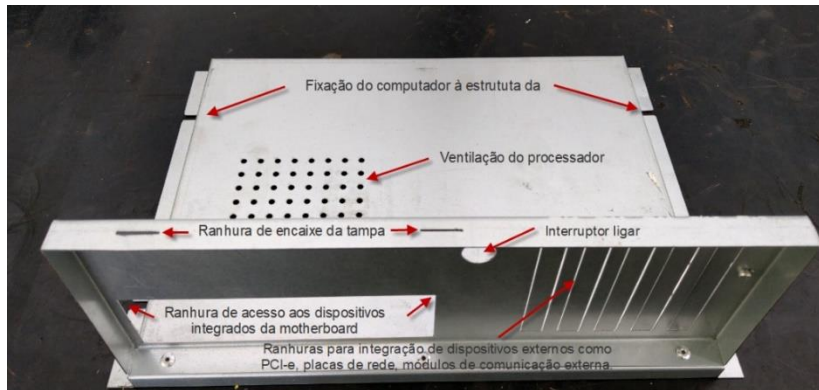


Figura 28 - Detalhes técnicos de montagem da caixa do computador

Nesta fase do projeto foram realizadas praticamente tarefas relacionadas com o computador, que consistia na preparação do mesmo e da montagem dos componentes. Fases intermédias do projeto como: instalação de *software*, *Windows 10 64 bit*, *Weldmark* e instalação de *drivers* do sistema são apresentadas nas Figura 29 e Figura 30.



Figura 29 - Montagem final da unidade do computador



Figura 30 - Instalação do drivers e software

4.6. Integração dos elementos

As dimensões $550 \times 600 \times 650$ mm (comprimento \times largura \times altura) foram definidas para a estrutura metálica após a disposição da fonte LASER IPG juntamente com as fontes de alimentação necessárias para as funcionalidades elétricas, bem como o espaço definido para o computador, Figura 31.



Figura 31 - Detalhe da Placa elétrica

4.6.1. Estrutura metálica

A estrutura foi realizada em aço tubular de secção quadrada $30 \times 30 \times 1,5$ mm como se pode observar na Figura 32.

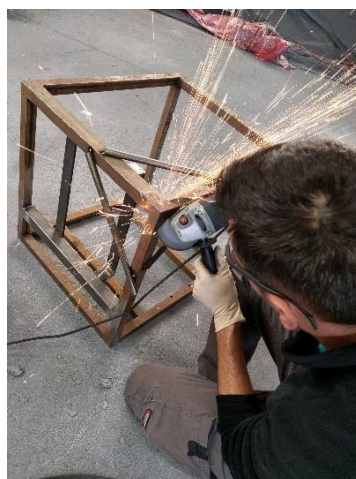


Figura 32 - Construção da estrutura metálica

Assim que realizada a estrutura da máquina, foi possível integrar sobre o quadro elétrico a fonte LASER e o PC dispondo sobre um suporte estrutural, conforme apresentado na Figura 33.

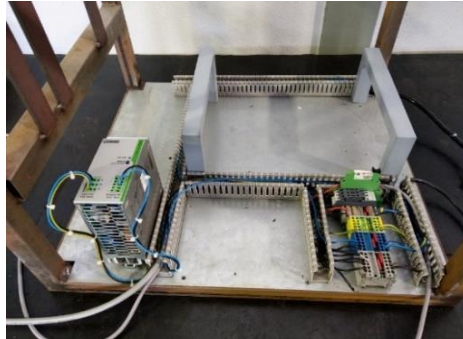


Figura 33 – Integração do quadro elétrico da unidade do LASER

Pretendendo um design vanguardista e com funções interativas com o operador se pode observar na Figura 34 o detalhe do corte e elementos necessários idealizados para conter a sinalética luminosa de estado de funcionamento do equipamento.



Figura 34 - Detalhe de instalação da ótica de sinalização sinalizadora

4.6.2. Integração de componentes na estrutura

Foram aplicados outros elementos desenvolvidos, tais como a barra de transporte do eixo motorizado e o suporte do colimador. Estas peças têm como funcionalidade suportar o colimador, integrar os espelhos galvanométricos e interligar ao eixo motorizado, Figura 35.

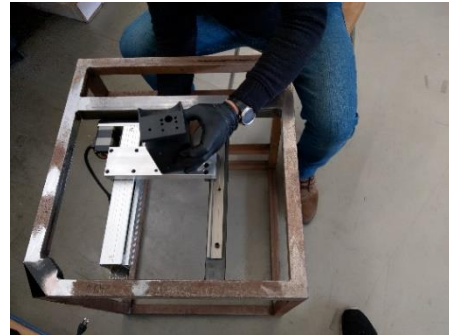


Figura 35 - Motorização do eixo

Na Figura 36 podemos observar o colimador encaixado na peça de suporte, imediatamente ligado à fibra que sai da fonte LASER.

Na Figura 37 detalhe de integração do PC com o quadro elétrico, ambos instalados na estrutura metálica, equipada com o eixo linear.



Figura 36 - detalhe da conexão da fibra ao eixo

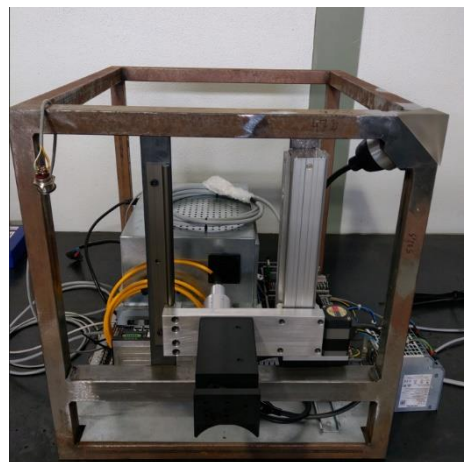


Figura 37 - Integração do computador ao equipamento

Na Figura 38 a integração dos espelhos galvanométricos ao suporte anteriormente fixado ao suporte motorizado.

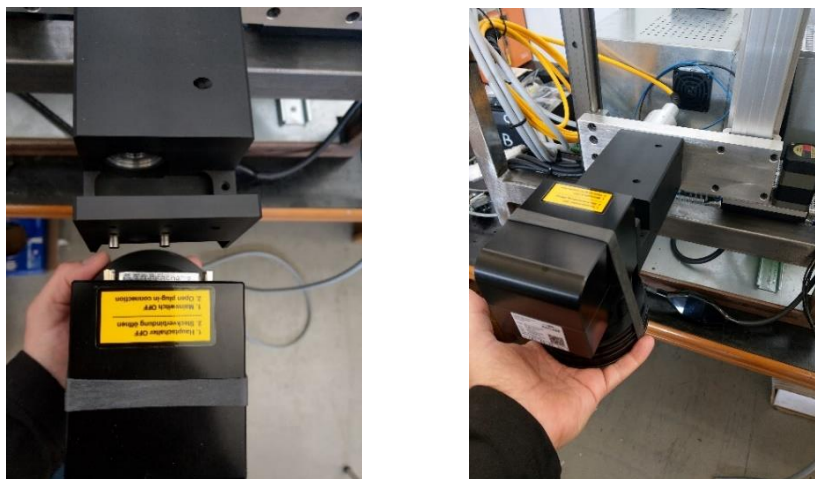


Figura 38 - Detalhe de montagem da cabeça galvanométrica

4.6.3. Forras de acabamento

As forras da estrutura foram fabricadas com recurso ao corte a LASER e quinagem em chapa de 2mm de espessura. Com os detalhes para os botões de comando e abertura para o eixo que regula a altura da gravação e corte ilustrados no lado esquerdo da Figura 39.

As aberturas para as fichas de alimentação geral, comunicação com a câmara de adição, automação e ventilação do equipamento estão apresentadas no lado direito da Figura 39.



Detalhes da forra frente



Detalhes da forra traz

Figura 39 - Forra do equipamento

4.6.4. Montagem final

Nesta fase, foram aplicados todos os componentes da unidade de controlo de disparos de LASER, com detalhes de instalação da forra de rolo retrátil, que foi idealizada para tornar o compartimento o mais estanque possível (Figura 40). A pré-instalação do monitor, das forras metálicas e restantes componentes do equipamento, para identificar possíveis correções antes da fase da pintura Figura 41.

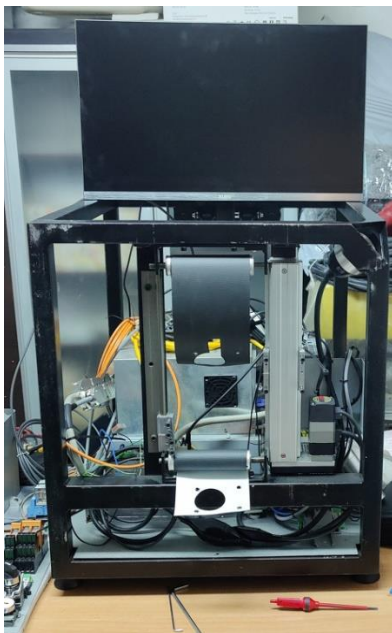


Figura 40 - Forra extensível



Figura 41 - Pré-montagem da unidade do LASER

4.6.5. Testes de funcionamento

Durante a montagem final e acabamentos, foram realizados testes de funcionamentos, como o movimento do eixo na vertical e o funcionamento da forra de rolo, testes do sistema *auto-focus* e calibração da área de trabalho. Na Figura 42 apresenta-se a sequência de montagem dos variados componentes de comando como botões, sinalização e ecrã.



Figura 42 - Fases da montagem final e acabamentos

4.7. Câmara de adição

É o conjunto de componentes que ultimam a tarefa de produzir o sólido por método de deposição por camadas de pó. É composto pelo sistema de alimentação e uma plataforma elevatória. Estes estão inseridos numa câmara estanque e adequadamente protegida contra a emissão de radiação para o utilizador, através de uma janela com filtro para o comprimento de onda do LASER (1064 nm). A câmara possui um pressóstato para permitir o controlo da pressão da atmosfera e do gás de inertização a ser aplicado no seu interior.

4.7.1. Plataforma elevatória

Esta plataforma é o local onde a peça será produzida através do varrimento do feixe LASER, sobre uma camada de pós, seja este metálico (para o processo SLM) ou polimérico (para o

processo SLS). A plataforma cuja altura em Z irá variar através do controlo estabelecido a partir do próprio programa que dita os disparos do LASER em função da secção transversal do objeto repartido em camadas.

Tendo em conta outros fatores definidos anteriormente durante o desenvolvimento da máquina, como por exemplo: O modelo da cabeça galvanométrica, o diâmetro de entrada do feixe LASER, a área de abrangência da lente e respetivo foco, condicionam as dimensões máximas que devem ser adotadas para construção da câmara onde as peças serão produzidas. Entre outras palavras, a altura da câmara de pós depende da distância que o equipamento está posicionado sobre o plano zero da mesa elevatória.

Alguns detalhes devem ser levados em consideração para que se obtenha o resultado expectável. A atmosfera controlada, isenta de contaminantes e oxidantes, é um deles. Outro fator é qualidade da matéria-prima e a sua granulometria constante. Também confere qualidade na produção da peça a estabilidade ao sistema. Portanto, é impreterível a construção de um sistema visando minimizar as vibrações das partes móveis do equipamento assim como as vibrações externas que possam interferir no abastecimento das camadas. como exemplo a utilização de sino blocos.

Vários esquemas construtivos relativamente ao funcionamento da plataforma foram testados por forma a conceber uma solução que apresentasse a menor altura possível, dado que a altura disponível sob a cabeça galvanométrica e a lente eram limitados. De referir que o objeto a processar deve distar 163mm abaixo da lente, que é a distância focal para o equipamento em desenvolvimento.

Foram elaborados os primeiros esboços construtivos da plataforma, de como poderia ser realizado o movimento de adição e os mecanismos necessários. A Figura 43 apresenta o esboço construtivo da câmara e dos seus constituintes.

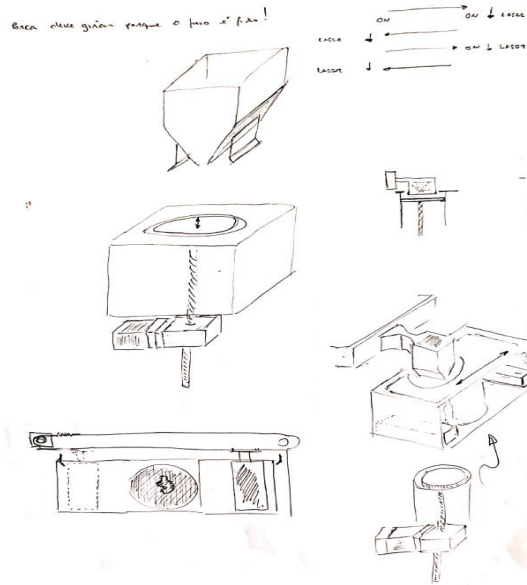


Figura 43 - Esboço da câmara de adição

Inicialmente, a ideia seria desenvolver duas plataformas, que trabalhassem em sentidos opostos. Ou seja, uma plataforma (de alimentação) elevava-se e adicionava material acima do plano da mesa, e a outra plataforma (de construção) baixava para comportar o material excedente após a passagem de um rolo. Este faria o alisamento do material sobre a mesa, local onde ocorrem os disparos do LASER para permitir a formação do sólido.

Este conceito impunha mecanismos adicionais e à interpolação entre eles. Condicionado pelo espaço e os automatismos disponíveis, foi delineado outro conceito igualmente eficaz.

A solução alternativa surge assim no desenvolvimento de um dispositivo de nivelamento que incorpore um reservatório em forma de “funil” e que deposite o material sobre a mesa de construção. Esta mesa vai baixando à medida que o dispositivo de nivelamento/alimentação varre lateralmente o material que é adicionado. O esboço deste conceito e da montagem geral está representado na Figura 44.

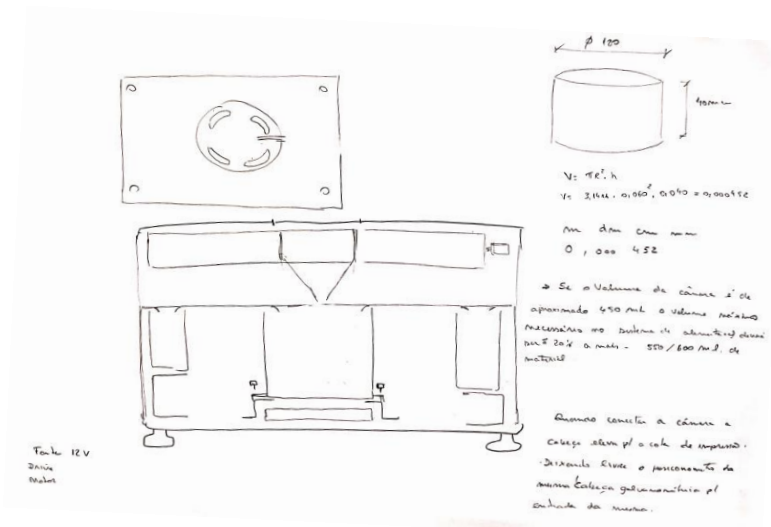


Figura 44 - Conceito geral do sistema de adição

Detalhes técnicos construtivos para permitir o movimento da plataforma no sentido linear através de um acionamento rotativo por fuso de esferas. Na Figura 45 detalhes do rolamento axial e hastes com casquilhos auto-lubrificantes. Na Figura 46 esboço de montagem do sistema.

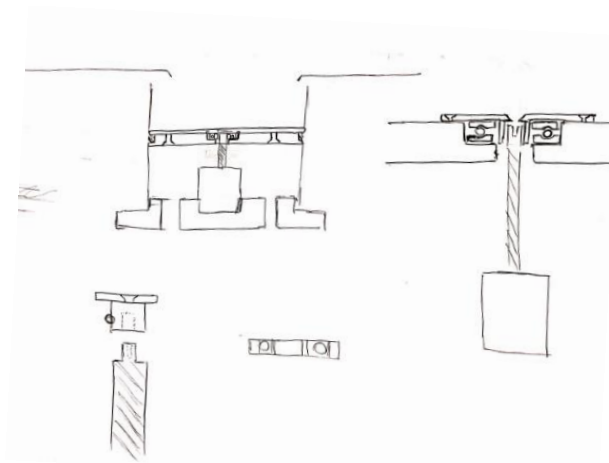


Figura 45 - Detalhe da transmissão de movimento da plataforma

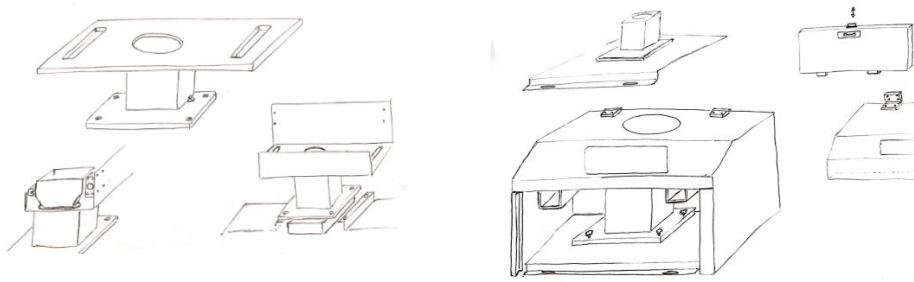


Figura 46 - Esquema de montagem construtivo do módulo de adição

Na Figura 47 podemos observar todos os componentes integrantes da plataforma elevatória:

1. Plataforma de construção, onde é construído o objeto;
2. Plataforma de estabilidade com hastes deslizantes (isentas de lubrificação);
3. Suporte do guiamento da plataforma de estabilidade;
4. Cilindro de 125 mm de diâmetro em alumínio;
5. Base de suporte do cilindro e motor;
6. Motor e fuso;
7. Rolamento axial para impedir rotação da plataforma elevatória.



Figura 47 - Componentes da plataforma elevatória

Na Figura 48, pode-se observar o processo de montagem do conjunto e na Figura 49 é apresentada a utilização de um retentor para garantir que a plataforma seja estanque, impedindo o escoamento indevido dos pós durante o abastecimento.

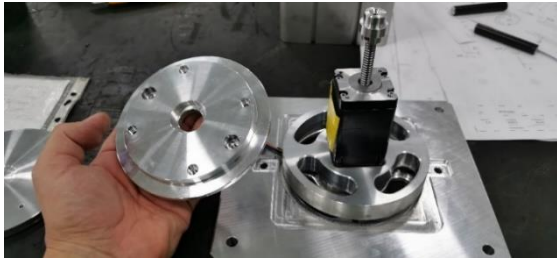


Figura 48 - Assemblagem do motor à plataforma



Figura 49- Montagem do vedante da mesa de adição

Após a montagem dos componentes da plataforma elevatória foi possível realizar testes e certificar que o plano de movimentação se mantinha estável e que a rotação do fuso não transmitia quaisquer interferências nos movimentos da base onde a peça deverá ser formada, Figura 50.

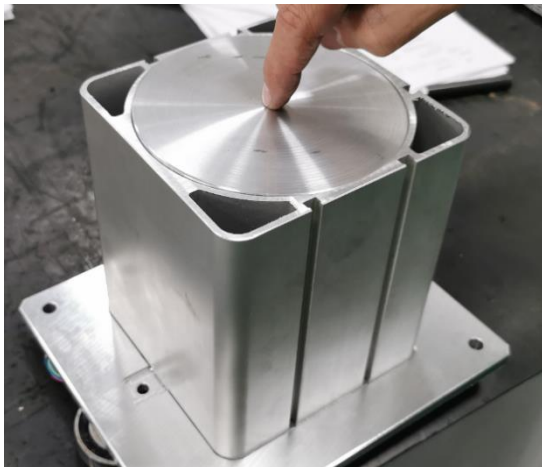


Figura 50 - Testes com a plataforma

4.7.2. Dispositivo de nivelamento/alimentação

O dispositivo de nivelamento/alimentação desempenha a tarefa de repor a fina camada de pó definida pelo *software*, cada vez que a plataforma baixa, tornando possível a materialização do sólido.

A movimentação deste dispositivo foi conseguida utilizando uma guia paralela, acionada por um fuso e motor de baixa e rotação que possam transmitir movimentos lineares com um mínimo de vibrações e interferências. Por outro lado, para que a alimentação não se fizesse de forma demasiado lenta foi selecionado um fuso de passo rápido (20 mm/rot). Assim é possível que o reservatório se movimente de forma estável e suave, com o mínimo de vibrações, com a adição de camadas perfeitamente regulares na sua superfície,

Figura 51.

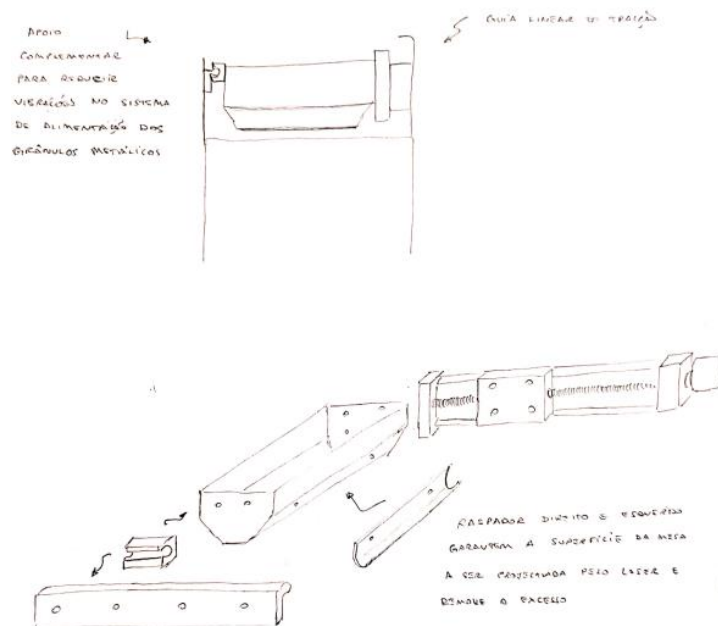


Figura 51 - Esboço do sistema de nivelamento e guiamento

Foram projetadas duas zonas de escoamento de material conforme CAD apresentado no “Anexo A” que permitem a recolha do excedente de material durante o abastecimento da plataforma. Os mesmos orifícios servem para o escoamento da cuba de material no fim do processo de construção, Figura 52.

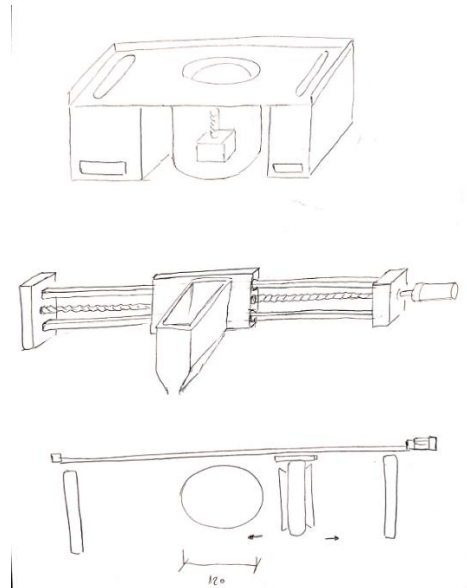


Figura 52 - Detalhes das zonas de escoamento dos pós

A Figura 53 apresenta o motor de 100rpm 24V DC instalado na guia linear para transmitir os movimentos de reposição das camadas de pós.



Figura 53 - Motor 100 Rpm 24Vdc

Durante o desenvolvimento deste sistema foram realizados esquemas de funcionamento dos mecanismos e acautelado o volume mínimo necessário do sistema de alimentação tendo em conta o espaço disponível sob a lente, disposta exatamente acima deste conjunto. O esboço da cuba, guiamento, esquemas construtivos e sequências de montagem está representado na Figura 54 e CAD da cuba apresentado no Anexo A.

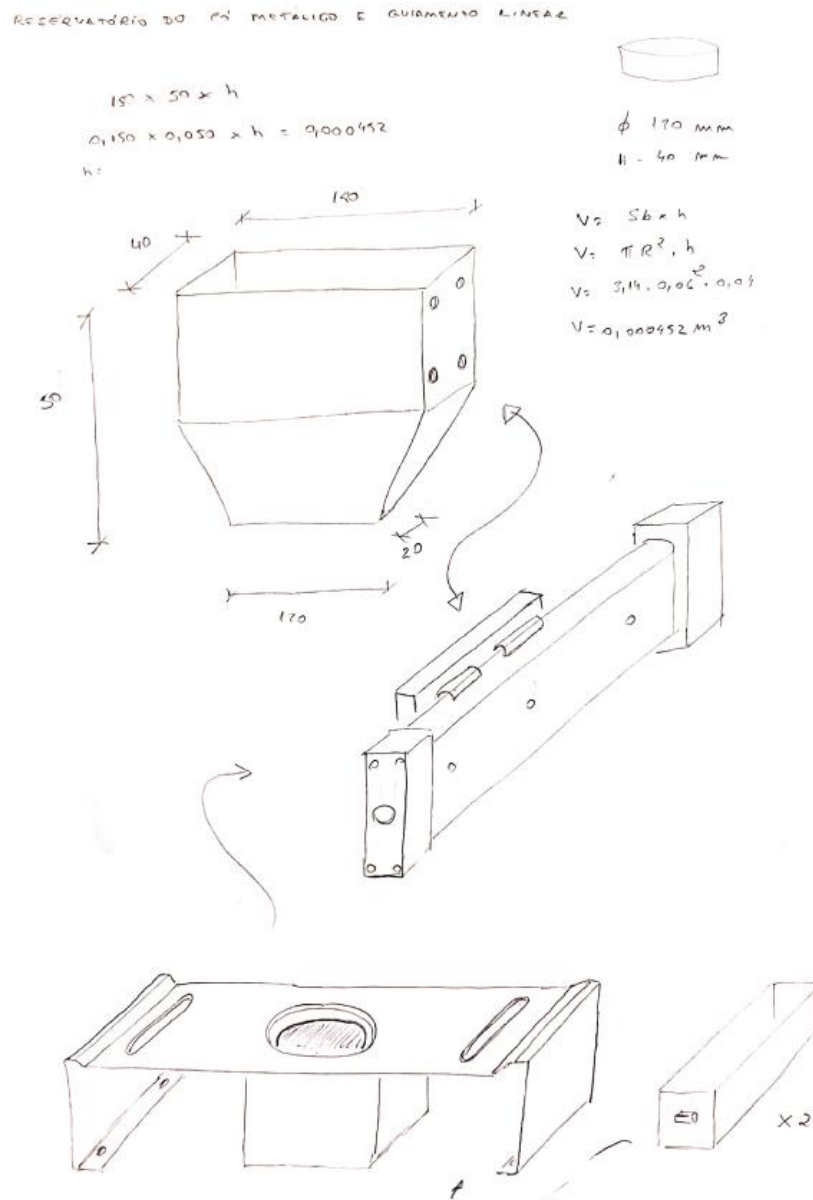


Figura 54 - Esquemas dimensionais e cálculos

Assemblagem da mesa de alimentação com a plataforma elevatória. Com detalhes das caixas de recolha de material e respectivo compartimento onde ficam alojadas, Figura 55.

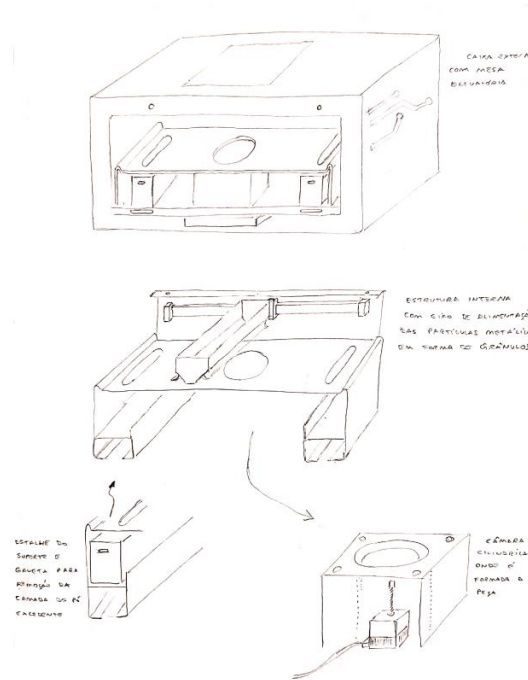


Figura 55 - Esquemas da assemblagem geral do módulo de adição

Apresentação do esboço da forra de proteção de toda a câmara de alimentação com esquemas de montagem, Figura 56.

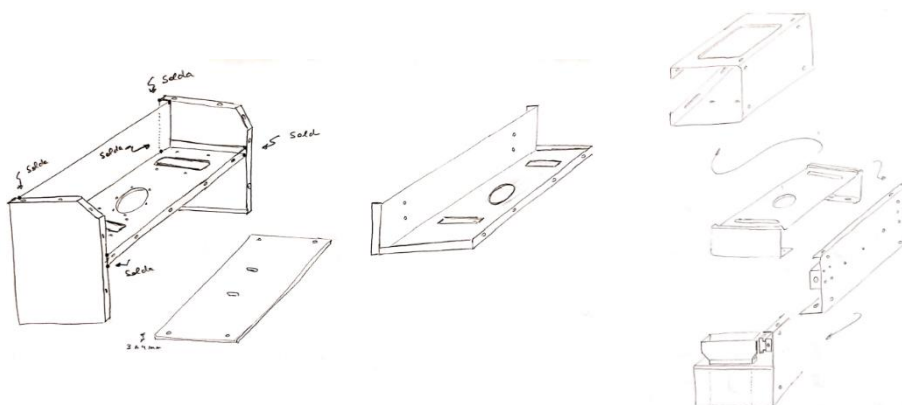


Figura 56 - Esboço da forra do módulo de adição

Processo construtivo da cuba com chapa zincor de 2mm de espessura cortadas a LASER devido os detalhes técnicos como entalhes e furações para instalação do controlo, Figura 57.



Figura 57 - Construção do módulo de adição

Montagem da estrutura metálica do módulo de adição com porta e cuba de alimentação, Figura 58.



Figura 58 - Assemblagem da cuba à mesa de trabalho

Finalização da câmara de adição, com automatismos, e porta de acesso ao interior do equipamento para manutenção, Figura 59.



Figura 59 - Módulo de adição completo

Um dos requisitos importantes é prever que o compartimento de gravação seja estanque no caso do SLM, o controle da atmosfera tem grande impacto na qualidade da peça produzida. Uma vez que os materiais processados são sensíveis à atmosfera rica em oxigênio, certos procedimentos devem ser observados, como a remoção do ar existente na câmara e a reposição de nova atmosfera rica em N₂ (Azoto) de forma a garantir uma atmosfera inerte aos materiais no estado de processamento. Neste sentido foi instalado um pressóstato digital para monitorizar a pressão existente no interior da câmara.

4.7.3. Visor de proteção

Dadas as características do LASER ser uma luz concentrada (colimada), com mínima divergência e de alcance bastante elevado pode causar danos aos olhos e aos tecidos oculares se expostos a essa radiação.

Quando o LASER é direcionado para uma superfície este pode ser refletido de forma especular ou difusa. Superfícies com bom acabamento (espelhado) permitem uma reflexão directa e com maior concentração de energia. Contudo, superfícies que embora não tenham um bom acabamento (rugosa) podem também refletir os raios causando lesões aos olhos e aos tecidos mais sensíveis.

Os danos que o LASER pode causar ao sistema ocular são diversos, e dependem do comprimento de onda. Atento à estas considerações, durante todo o processo construtivo da câmara manteve-se a premissa de uma janela para que o operador pudesse observar o decorrer do processo e, de igual forma, que garantisse a integridade física daqueles que operassem o equipamento, [41] .

A câmara de gravação deve garantir protecção contra a emissão do LASER para ambos os casos SLS e SLM. O feixe LASER com este comprimento de onda requer protecção adequada para o utilizador conforme requisitos desta fonte laser 1064 nm.

Na Figura 60 podemos certificar o material de protecção instalado na parte frontal da câmara e que permitirá a visualização do varrimento do feixe laser durante a construção do objecto.



Figura 60 - Visor de protecção

Esta página foi deixada intencionalmente em branco

5. Ensaaios experimentais

5.1. Ensaaios de Gravação

Para realizar os ensaios de gravação foram selecionados alguns materiais com características físicas e constituintes bastante diferentes, tais como, aço inoxidável, chapa galvanizada, alumínio, alumínio anodizado, metal pintado, latão, PET e madeira. Para poder entender a implicação de certos parâmetros de trabalho e a influência nos resultados obtidos em cada caso, como por exemplo:

- Maior ou menor remoção de material;
- Gravação com tonalidades distintas;
- Boa definição dos contornos;
- Tempo requerido para conclusão da tarefa;
- Quantidade de passagens do LASER para obter o resultado pretendido.

Cada item pode apresentar melhor ou pior resultado, dependendo da característica de cada material e de sua superfície. Em resumo, os primeiros testes de gravação foram realizados tendo em conta então somente a capacidade de validação do sistema em desenvolvimento, nomeadamente se:

- Ligações elétricas, e parametrização de ajustes foram corretamente e realizados;
- A distância focal está condizente com os parâmetros definidos pelo fabricante;
- Se a melhor performance obtida pelo disparo de laser está congruente com os valores nominais indicados pelo fabricante do *software* e da cabeça galvanométrica *Raylase*).
- Se a dimensão do objeto gravado é concordante com a descrita no programa *Weldmark*.

Exemplo de parâmetros a serem observados para correta configuração, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Tabela de dados técnicos da lente

LINOS F-Theta-Ronar 1064 nm, Optical-Glass

Nominal focal length (mm)	Scan field (mm ²)	Max. scan angle $\pm\Theta_{x,y}$ (°)	Beam diameter truncated at 1/e ² (mm)	Spot diameter at 1/e ² (μ m)	Mirror distances m1/m2 (mm)	Working distance (mm)	Protective glass	Part No.
100	62 x 62	± 17.7	12	16	16/12	97.7	PG2	4401-302-000-21
100 telecentric*	57 x 57	± 17.0	14	14	17/29	126.0	PG6	4401-464-000-21
160	99 x 99	± 17.7	12	26	16/12	176.2	PG2	4401-301-000-21
163	115 x 115	± 20.2	10	32	13/24	185.9	PG5	4401-261-000-21
254	157 x 157	± 17.7	20	25	26/23	296.2	PG6	4401-288-000-20
330	217 x 217	± 18.7	16	40	18/24	387.6	PG6	4401-360-000-21
420	291 x 291	± 19.8	15	55	30/16	494.2	PG6	4401-350-000-21

* Entrance lens made of fused-silica

Na Figura 61, primeiros ensaios de gravação como forma de validação das distâncias da lente conforme tabela do fabricante e confirmação das dimensões teórica *versus* real do objeto gravado.

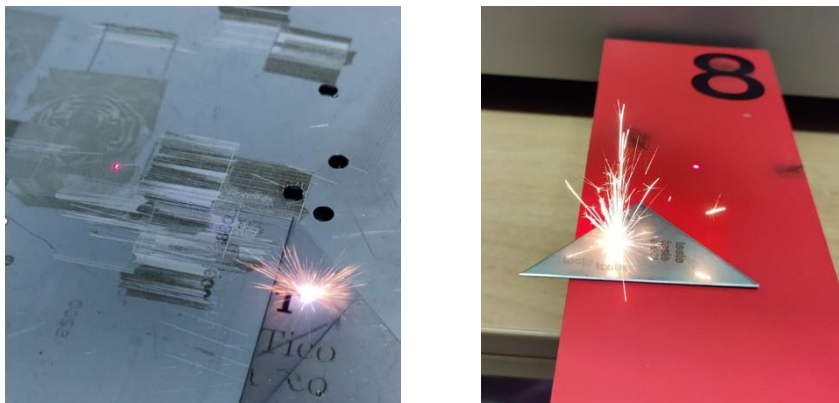


Figura 61 - Primeiros disparos com o LASER

Após esta verificação pretendeu-se obter uma tabela que pudesse apresentar de forma evidente as variações do LASER num determinado material (neste caso chapa de aço inoxidável). Podendo posteriormente ser repetida para uma variedade de outros materiais tais como alumínio anodizado, alumínio, aço galvanizado, chapas pintadas, etc... cada um com os seus resultados característicos.

A tabela consiste na variação dos seguintes parâmetros:

- Potência - De 10 a 100%;
- Frequência - De 1 kHz a 250 kHz;
- Velocidade de varrimento – 366 mm/seg *default* do fabricante do *Software* (Weldmark).

Ao criar uma matriz numa chapa de aço inoxidável escovado foi possível observar o comportamento do LASER de forma fundamentada. Na Figura 62 podemos observar que somente a partir de 30% da potência e 25 KHz de frequência foi possível obter os primeiros resultados aparentemente satisfatórios.

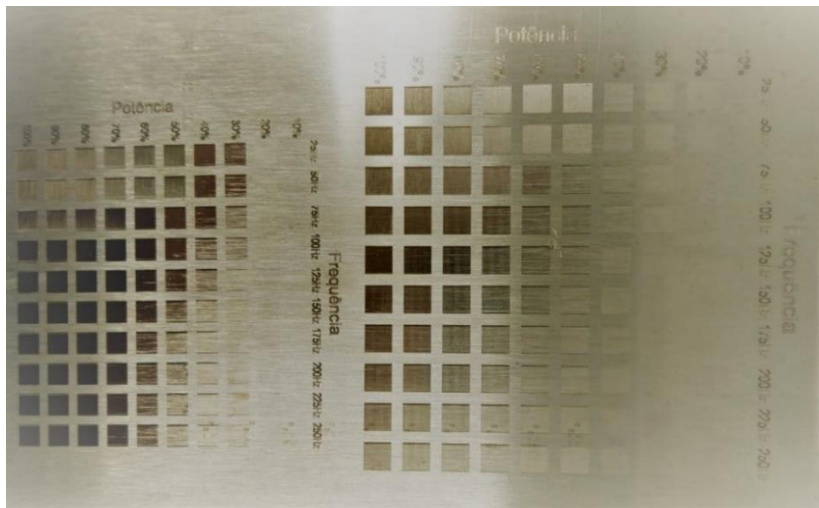


Figura 62 - Matriz de gravação

Importante também mencionar que o acabamento superficial bem como a sua reflexão são fatores que influenciam bastante os resultados.

Na Figura 63 é representado o detalhe das linhas na horizontal, no mesmo sentido do escovado. É possível notar diferente tonalidade por conta deste detalhe.

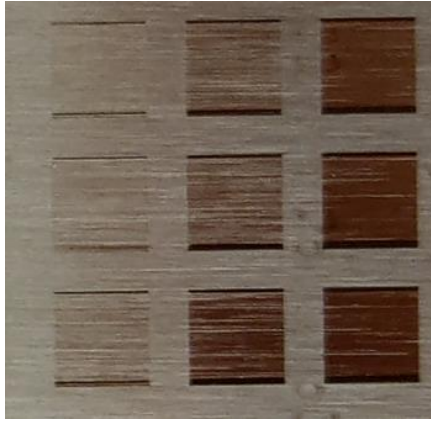


Figura 63 - Influência do acabamento superficial na peça

Quando o objetivo de utilização do equipamento é para repetibilidade e dentro de uma gama restrita de materiais. Aconselha-se a redução do intervalo das frequências aquando das configurações do mesmo. Ajustando somente aquela de melhor performance. Assim minimiza-se erros na produção e perda de tempo durante os ajustes da gravação.

Exemplos de gravação:

Na gravação em aço inoxidável com acabamento fosco/suavizado (matizado) e em aço inoxidável polido podemos obter os resultados apresentados na Figura 64.



Figura 64 - Exemplo de gravação em joalheria

Testes de gravação em aço ao carbono, como se pode observar na

Figura 65.



Figura 65 - Exemplo de gravação em cutelaria

Exemplo de gravação em metal pintado, a gravação remove uma fina camada de tinta e expõe o metal (latão), Figura 66.



Figura 66 - Exemplo de gravação sobre pintura

Embora o LASER de fibra como mencionado anteriormente apresente um comportamento ideal para materiais inorgânicos (metais) é possível também obter sucesso em alguns materiais de diferente natureza [42], como é o caso da madeira (Figura 67). Por se tratar de um material natural e com elevada variação das fibras e seus constituintes pode apresentar resultado bastantes distintos de exemplar para exemplar.



Figura 67 - Exemplo de gravação em madeira

Para gravação em alumínio é muito utilizada a anodização, que consiste num processo eletrolítico que provoca uma cobertura de óxido de alumínio, que confere uma superfície mais resistente, mais dura e que permite pigmentação. Esta pigmentação pode ser de variadas cores. A gravação deste material apresenta ótimos resultados devido o contraste que se possibilita na remoção da pigmentação de uma cor mais escura com o fundo mais claro.

Exemplo de uma chapa de identificação de matrícula gravada por este processo, Figura 68.



Figura 68 - Exemplo de gravação em chapa com tratamento de anodização

Na Figura 69, um exemplo de um componente de bicicleta (Pedaleira) em alumínio escovado e anodizado.



Figura 69 - Exemplo de gravação em peça escovada e anodizada

5.2. Ensaios de corte

O corte com precisão de chapas metálicas é bastante solicitado na indústria para construção de equipamentos nos mais variados setores. Como mecânica, automotiva, bélica, médica, construção civil, eletrodomésticos, decoração, publicidade, relojoaria etc...

Atualmente as espessuras que se consegue processar o corte de chapas metálicas com o recurso a esta tecnologia vão desde 0.05 mm até 40 mm, para as chapas de maiores espessuras falamos de potências de equipamentos na ordem dos 9 kW.

Tendo em conta a potência disponível para o equipamento proposto para este estudo, evoco que se trata de 50Watts de potência, a escolha de material é à partida bastante limitada.

Para este ensaio experimental foram selecionadas chapas de aço calibradas de 0,05 e 0,1 mm de espessura.

À semelhança dos ensaios realizados na gravação, os parâmetros como frequência, distância de espaçamento, velocidade de varrimento e potência são fatores decisivos para obtenção de resultados satisfatórios. Contudo, a maneira com que a energia é empregue nas peças para corte é diferente para aquelas a serem gravadas. Se para a gravação de peças não podemos exceder a energia atribuída ao material de maneira que a marcação da figura ou letra não fique disforme, para o corte o objetivo é a majoração desta energia, para que ocorra a pulverização das partículas e haja a separação por completo das peças, promovendo o corte pretendido.

Inicialmente foram realizados ensaios com chapas de 0.1 mm em aço calibrado com frequências entre 1 KHz até 250 KHz com 80% de potência, mantendo os outros parâmetros que são velocidade de varrimento de 366 mm/s (valores standard normalmente definidos pelo fabricante do *software weldmark*) e espaçamento de passagem 0.09 mm (*Pich*) para peças com preenchimento, e pôde-se observar que com frequências compreendidas entre os 5 KHz e os 20KHz obteve-se melhores resultados relativamente a incisão do feixe de laser sobre a superfície metálica.

Contudo com estes parâmetros somente foi possível realizar marcas no material, com mais ou menos intensidade, como é possível observar nos círculos e linhas em tom dourado da Figura 70, apresentou pouca eficiência na energia aplicada à chapa. Ainda distante da obtenção de corte da chapa metálica.



Figura 70 - Teste de parâmetros

Com apenas a variação da velocidade de varrimento dos disparos de 366 mm/s para 200 mm/s é manifesto o resultado em que a ação do LASER foi majorada. Ainda na Figura 70 é possível notar nos círculos e linhas em tom bronze que as marcas estão mais profundas. Nota-se também que houve deformação da chapa com a modificação deste parâmetro.

Nos primeiros ensaios, mantendo a melhor performance acima mencionada, somente foi possível realizar cortes após a repetição de vários disparos, nomeadamente 5 passagens. No entanto, ao observar a secção do corte ampliada é possível notar alguma irregularidade das arestas no material cortado. Devido às sucessivas passagens do feixe de laser sobre a peça que já estava alterada química (óxidos) e fisicamente (deformação) pela energia absorvida pelos disparos antecedentes.

Numa peça ampliada onde podemos observar o acabamento áspero na região do corte, Figura 71.

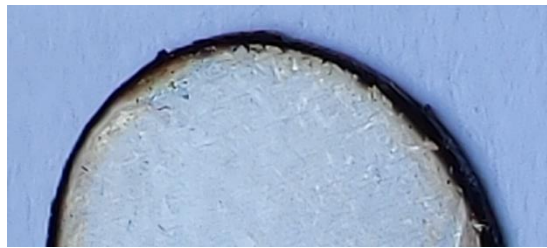


Figura 71 - Peça ampliada com mau acabamento no corte

Foi realizado novo ensaio de corte de chapa calibrada de 0.1 mm de espessura. Diminuindo a velocidade de varrimento para 20 mm /s e com redução de 2 passagens. Na Figura 72 é possível observar que o bordo da peça apresenta uma melhor configuração de corte, menos deformações e zonas termicamente afetadas mais reduzidas do que o corte realizado na peça anterior. Além de se notar a chapa muito mais plana comparativamente ao ensaio anterior.

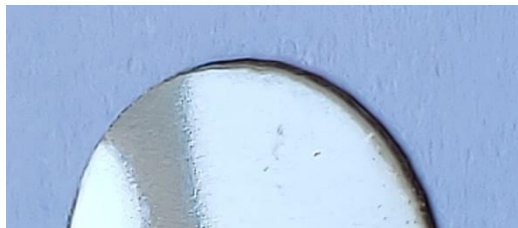


Figura 72 - Peça ampliada com bom acabamento no corte

É possível obter melhores resultados se a camada de material carbonizado, proveniente da passagem anterior do feixe de laser, que fica depositada na trajetória do sucessivo disparo for removida.

A presença destas partículas impedem que a ação do feixe de LASER seja projetado diretamente na superfície a ser pulverizada. Para tais aplicações, existe um parâmetro no *software* que se define como *Layers* no processo de corte. Se esta funcionalidade for utilizada

intercalando disparos de corte com disparos de limpeza, é possível “remover” as camadas de material carbonizado que estejam presentes na peça.

Foi realizado ensaio com uma chapa de 0.1 mm com 5 passagens utilizando somente parâmetros de corte, e foi obtido o resultado apresentado na Figura 73. Outro ensaio realizado com uma chapa de mesma espessura, utilizando 4 passagens de corte alternado com 3 passagens de limpeza se obteve a peça apresentada na Figura 74.



Figura 73 - Corte sem limpeza



Figura 74 - Corte com limpeza

A aplicação deste processo durante o corte, resulta numa melhoria de eficiência dos disparos de LASER, promovendo um resultado bastante significativo. Obteve-se cortes de peças com menos uma passagem, arestas mais claras, com melhores acabamentos e sem concentração de tensões.

Para chapas de 0,05 mm, no primeiro ensaio definiu-se fixar os parâmetros com melhores resultados obtidos até esta fase realizada com as chapas de 0.1mm (velocidade 20mm/seg. e frequência 5 KHz) e alterar a potência para 100% na expectativa do aumento da velocidade de produção da amostra. Assim poder observar e entender as alterações resultantes na qualidade de corte e acabamento na aresta das peças. O ensaio descrito apresentou o seguinte resultado:

Na primeira peça conforme Figura 75 - Foi possível a realização de corte da peça com somente uma passagem. No entanto, com a aresta bastante queimada devido o aumento de potência. Tempo aproximado 6 segundos.

Na segunda peça Figura 75 - Mantendo 100% de potência com um incremento da velocidade de passagem de 20mm/seg para 30 mm/seg foi possível realizar o corte

igualmente com uma passagem e com a redução de 0,5 segundos. Ou seja, 5,5 segundos e com ligeiro melhor acabamento, mas ainda apresentando arestas carbonizadas.

Na terceira peça, Figura 75 - Mantem-se a potência nos 100% e incremento da velocidade 30 mm/s para 40mm/s o corte foi realizado com 1 passagem com o tempo de 5 segundos. Apresenta melhoria no acabamento do corte.

Na quarta peça, Figura 75 - Potência 100% e 50 mm/Seg. Corte com 1 passagem com a duração de 4,5 segundos.

Na quinta e sexta peças, Figura 75 - Nos dois casos com 100% de potência, aumento para 50 e 60 mm/s duração de 4 e 3,5 segundos respectivamente. Ambas peças com bons acabamentos.



Figura 75 - Configurações de corte

Para melhor identificação de parâmetros que influenciam diretamente nos resultados, os dados obtidos foram inseridos na Tabela 4.

Tabela 4 - Comparação de resultados no corte com a mudança de velocidade

Ordenação	Potência	Par. Velocidade	Tempo de conclusão	Qualidade
1ª Peça	100%	10 mm/segundos	6,0 segundos	Má qualidade
2ª Peça	100%	20 mm/segundos	5,5 segundos	Má qualidade
3ª Peça	100%	30 mm/segundos	5,0 segundos	Má qualidade
4ª Peça	100%	40 mm/segundos	4,5 segundos	Má qualidade
5ª Peça	100%	50 mm/segundos	4,0 segundos	Boa
6ª Peça	100%	60 mm/segundos	3,5 segundos	Boa

Outros ensaios de corte de material.

Importante referir que no caso do alumínio (Figura 76) e latão (Figura 77) verificou-se que a dissipação térmica é bastante grande devido as características de boa condutividade térmica neste e naquele, o que dificulta a ação do corte, [43]. Pode-se observar em ambos os casos que as arestas de corte não apresentam danos provocados nos materiais pela ação da temperatura.

Teste de corte de chapa de alumínio 0.05 mm



Figura 76 - Ensaio de corte em alumínio

Nos dois casos podemos observar que o diâmetro do feixe do laser tem diâmetro bastante reduzido, o que se pode comprovar ao notar o *gap* de separação entre as peças cortadas.

Teste de corte de chapa de latão de 0.05 mm

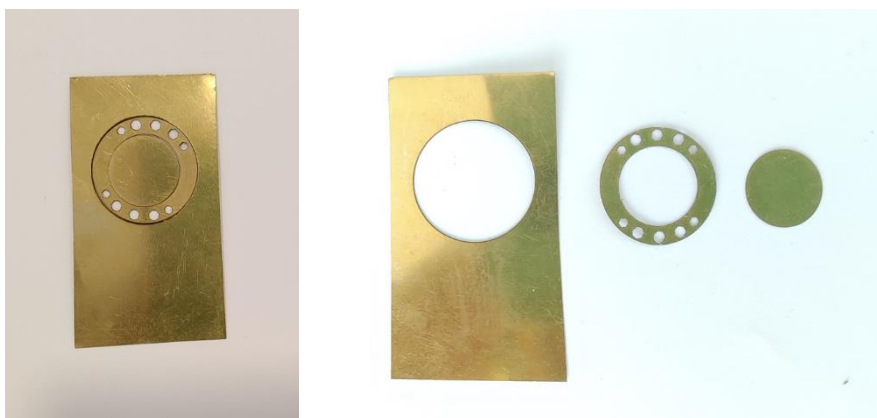


Figura 77 - Ensaio de corte em latão

No caso da folha de PET, foram realizados vários ensaios de corte mantendo a potência nos 100% com a modificação da frequência entre 1 Khz a 250 KHz, contudo, os melhores resultados obtidos estão apresentados na Figura 78.



Figura 78 – Ensaio de corte em PET

Apresentaras as seguintes informações nas legendas

Valores de frequência acima de 60 Khz apresentaram resultados pouco satisfatórios para realização de corte.

5.3.Ensaio de adição

No caso dos polímeros a adição é um recurso atualmente bastante utilizado pois permite de uma forma rápida e menos onerosa a materialização de exemplares que outrora somente seriam possíveis através do fabrico de um molde e posteriormente a este processo, a produção por injeção, extrusão ou Roto-moldação.

Também são bastante utilizadas na adição de materiais metálicos, que somente seriam possíveis de se produzir por vazamento, extrusão, conformação, arranque de aparas, torneamento, fresagem etc... Além da vantagem de que no processo aditivo o material gasto na construção da peça é mais reduzido uma vez que a peça está muito próxima das suas configurações finais. Se compararmos ao processo subtrativo, por vezes são removidas grande percentagem de material (aparas) para obtenção da peça final.

Com este processo é possível obter peças com algumas características especiais tais como canais internos, curvas e outras geometrias cuja impossibilidade de acesso de ferramentas tornaria impossível a obtenção pelos métodos atualmente convencionais.

- Pós poliméricos

Tendo em conta a vasta gama de materiais plásticos/ polímeros em grãos que podem ser processados com este tipo de tecnologia, de forma aleatória, foi testado o seguinte material poliamida PA6.6.

Antes de dar início aos testes com a câmara de pós, uma vez que essa obrigaria a aplicação de considerável volume de material no seu interior, e de forma a não alterar as partículas ou grãos que não reagissem aos vários ensaios que fossem necessários até a obtenção de resultados satisfatórios. Optou-se pela realização de ensaios de adição de forma manual. Ou seja, para melhor entender quais os parâmetros fariam uma reação direta na fusão de material. Assim após identificados tais parâmetros se daria início a utilização da câmara de alimentação em modo automático. Conforme Figura 79.

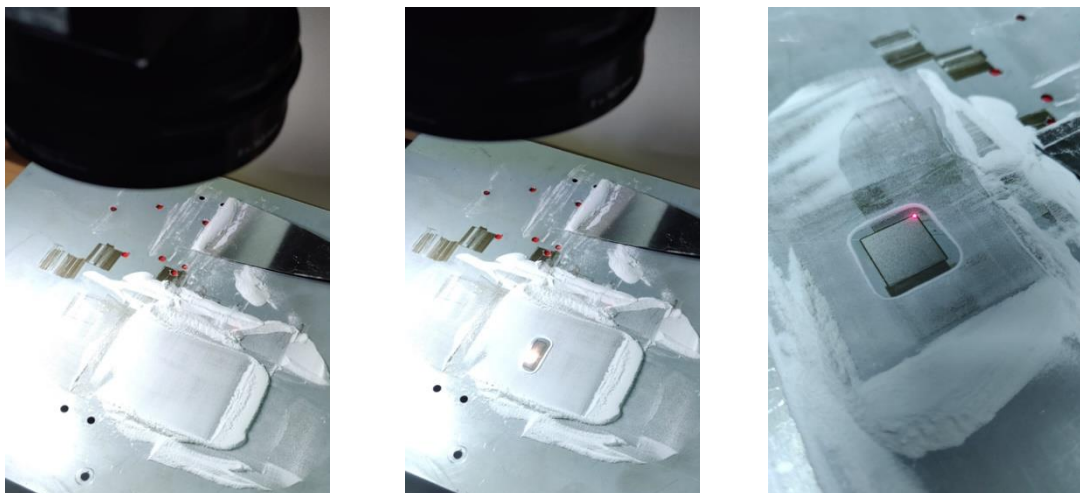


Figura 79 - Ensaio com poliamida

Nas figuras acima o ensaio realizado com a aplicação de uma fina camada de polímero e com disparos de laser. Foram realizadas várias tentativas com alteração da potência a partir de 30% até 100% nominal do equipamento. Com frequências de 0,02 KHz até 600 KHz.

Valores de frequência mais baixos como de 1 KHz a 5 KHz demonstraram visualmente melhor incidência do feixe de laser sobre as partículas.

Quando a potência estava ajustada a 30% não havia nenhum tipo de reação (fusão) do polímero, como se tratasse da inexistência do disparo de laser. Ao aumentar gradativamente até os 50% com frequência de 5 KHz como acima mencionado, foi possível a verificação da ação do laser, contudo, não havia nenhuma modificação nos grãos da poliamida, nenhum comportamento de fusão do material. Ao posicionar a potência nos 80% o resultado foi a remoção das partículas de pó, como se tratasse da ação de sopro do material, removendo as partículas somente na área descrita pela gravação.

Foram ajustados outros parâmetros como velocidade do feixe nos dois sentidos, contudo o resultado apresentado foi similar. Sendo que os únicos parâmetros que apresentaram alguma variação foram o da potência e frequência.

Donde se conclui que, a remoção da camada de pó de poliamida sobre a placa metálica, é o efeito da incidência do feixe de LASER sobre as partículas de metal pulverizado da base de suporte. A explosão do metal provoca o deslocamento de ar na região subjacente, e, como resultado a dispersão dos pós do polímero localizado naquela região. Esta dispersão é tanto mais intensa quanto maior a potência empregue.

O ensaio que se realizou a seguir foi a aplicação de uma base de suporte de material que pudesse ser compatível com a poliamida (PA 6.6) para observar se a energia aplicada aos grãos do polímero resultasse na adesão do grão à base. | O LASER não teve qualquer interação com o material ensaiado.

Nota importante: Ao realizar algumas pesquisas à cerca da Poliamida, foram identificados alguns fatores que poderão ter adicionado alguma entropia ao ensaio. A temperatura para fundir os grãos deste material rondam na faixa entre [255 - 260] °C, a manipulação deste tipo de material requer sistemas de secagem para extração da humidade. A humidade existente no material impede a obtenção de resultados de fusão. Pois a vaporização da água existente no material também pode dispersar os grãos existentes na proximidade dos disparos, [44] .

- Pós metálicos

Para a realização de testes com pós metálicos é importante salvaguardar a fusão das partículas de qualquer oxidação, pois a dureza que óxido apresenta impede a adesão da camada subjacente de material. Podem surgir defeitos como interstícios (poros) no material. A importância da utilização de um gás de inertização, além de proteger a região trabalhada é também a redução do tempo de resfriamento das partículas fundidas, isso ajuda uma boa adesão do processo em contínuo das camadas. [45]

Foram realizados ensaios com Pós metálicos H13

Os primeiros ensaios foram realizados utilizando a mesma metodologia experimental usada no ensaio da poliamida, a aplicação de uma fina camada de material sobre uma superfície metálica para testar alguns parâmetros de forma aproximativa até a obtenção de uma camada aderente ao suporte.

Uma vez que neste ensaio a camada de pó metálico não estava protegida por uma atmosfera inerte, se pode notar que houve carbonização das partículas, originando óxidos provenientes da fusão dos pós metálicos que entraram em contacto diretamente com uma atmosfera rica em oxigénio. [45]

Ainda assim, este ensaio permite perceber que os primeiros círculos realizados a partir da esquerda para a direita apresentam demasiada densidade de energia, Figura 80.



Figura 80 - Ensaio com pó metálico H13

Na Tabela 5 resultados obtidos no ensaio.

Tabela 5 - Comparação de resultados com alteração da velocidade do feixe

Numeração	Potência %	Frequência Khz	Velocidade m/seg	Aparência
1°	30%	1,0	3	Explosão
2°	30%	1,0	5	Explosão
3°	20%	1,0	10	Explosão
4°	15%	1,0	20	Carbonizado
5°	10%	1,0	30	Carbonizado

A elevada densidade de energia empregue aos grãos metálicos por ação do feixe de LASER produz uma “poça de fusão” que instantaneamente reage com a atmosfera oxidante transformando as partículas em óxidos vaporizados como de pode ver na Figura 81, [45].

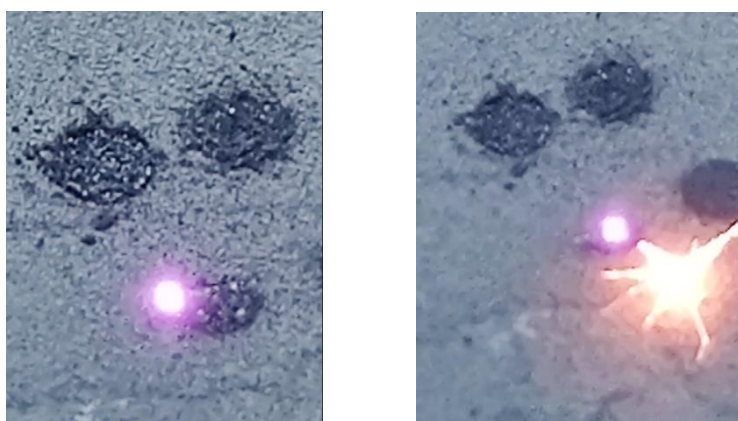


Figura 81 - Vaporização da partícula

De facto a ausência de uma atmosfera inerte impossibilita a validação de qualquer resultado na adesão das partículas metálicas.

Ensaio realizado na câmara de adição onde é possível a formação de uma camada plana, com grãos regulares e atmosfera rica em azoto. Como resultado a existência de uma “poça de fusão” com temperatura constante que possibilita que os grãos subjacentes sejam derretidos pelo feixe do LASER [45], Figura 82.

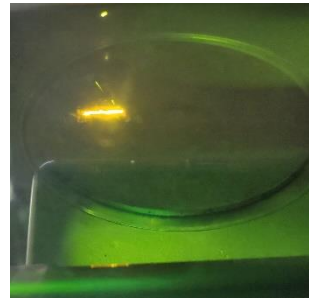


Figura 82 - Fusão de material na presença de atmosfera inerte

Na Figura 83 pode-se observar a formação de uma peça com geometria quadrada de dimensões 20 x 20 mm de 0.1 mm de espessura obtida a partir de uma cama de pós metálicos.

Devido ao incremento de temperatura e à ausência de fixação da peça a qualquer base de suporte ocorreu o empeno da lâmina.

A estratégia de varrimento de LASER utilizada também tem influência direta na deformação das chapas produzidas.



Figura 83 - Materialização peça metálica 20 x 20 mm

Foram realizados vários ensaios de produção de peças por adição com o material H13. As peças dispostas na primeira coluna (1) da esquerda da Figura 84 foram obtidas com ajuste percentual de potência de 35, 45 e 55 %. Neste caso, a temperatura incidente sobre as partículas não foi o suficiente para que houvesse uma fusão por completo.

Na segunda coluna (2) podemos observar que houve boa adesão dos grãos, contudo com alguma fissura entre camadas.

Na terceira coluna (3) nota-se uma melhoria no acabamento superficial do provete, apresenta uma superfície mais polida e com menos poros. Este ensaio foi realizado com uma passagem adicional do feixe de laser, com varrimento ortogonal em relação ao primeiro.

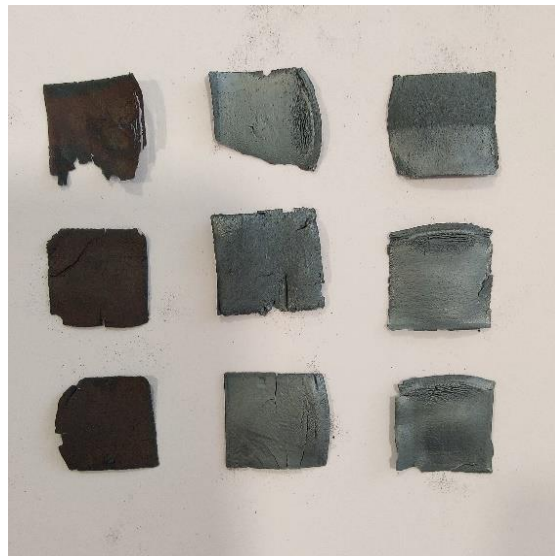


Figura 84 - Matriz de ensaios de materialização

Foi realizado um ensaio de adição de material com duas passagens de feixe de LASER, uma na horizontal e outra na vertical. A segunda passagem (vertical) foi interrompida ao meio da peça propositalmente para se poder avaliar o resultado da fusão nestas condições. A primeira passagem originou um acabamento mais rugoso e mais frágil com a segunda passagem do feixe de LASER permitiu uma melhor adesão das partículas apresentando uma região mais polida, menos porosa e mais resistente do que a metade não submetida ao segundo varrimento do feixe de laser.

Na Figura 85 peça obtida com diferentes características em função de ensaio acima descrito. O lado esquerdo com 1 passagem do feixe de laser, lado direito 2 passagens,



Figura 85 - Peça sujeita a dois tipos de estratégias para comparação

6. Discussão de Resultados

6.1. Gravação

Pela flexibilidade dos trabalhos que se podem realizar com a gravação, este é que maior possibilidade de ensaios se pode realizar com este equipamento.

Desde a gravação de algarismos, letras e figuras, várias tonalidades possíveis, sejam elas derivadas da ação de escolha de parâmetros do equipamento e a própria superfície de cada material a ser utilizado, pintura, lacado, óxidos etc. Esta variação de contrastes e a ação do LASER sobre a superfície também se pode realizar com a modificação da distância focal (em poucos mm) o quanto basta para realizar trabalhos com resultados bastante diferentes, que se pode notar como nuances, texturas e espessura do traço.

6.2. Corte

O número de passagens necessárias para a realização da separação por completo da peça não é uma razão matematicamente direta em função da espessura da mesma. O tipo de material e sua topologia, além da interferência do material carbonizado que impede a ação direta do feixe sobre a superfície a ser cortada. Ocorre também que a energia se dissipa sob forma de calor nas zonas circundantes é tanto maior quanto maior for a espessura do material.

Ao explorar alguns parâmetros, como velocidade de varrimento na ordem de 2000 mm/s, foi possível acelerar significativamente o varrimento do feixe de LASER sobre a peça, o que é ótimo para trabalhos de gravação. Contudo, devido a concentração de energia aplicada à peça se fazer de forma tão rápida, o resultado de desbaste/remoção de material é pouco significativo. Tornando o processo de corte demasiado moroso e insatisfatório quando são aplicadas altas velocidades de trabalho como acima referidas.

Parâmetros de velocidade de varrimento de 20 mm/s (1% da velocidade acima mencionada), pode-se observar que a concentração de energia que incide sobre a peça é suficiente para

numa única passagem cortar amostras em chapas metálicas de 0.05 mm de espessura e para chapas espessura de 0,1 mm foram necessárias 2 a 3 passagens.

Uma vez observado que se pôde maximizar a energia emitida ao material com a redução da velocidade de movimento dos espelhos, foram realizados ensaios em chapas de aço calibrado de maiores espessuras como 0.2 e 0.25 mm, com cerca de 3 a 5 a passagens foi possível realizar o corte destas chapas com bom acabamento nas arestas.

Para chapas com espessura de 0.05 mm, onde a velocidade de movimento do LASER é reduzida (5 mm/s) e potência 100% notou-se relativa deformação do material devido a ação térmica do feixe. Portanto, demasiada energia para a espessura em questão.

Para minimizar esta deformação, com redução da potência para 80% e aumento da velocidade de varrimento do LASER para 500 mm/s, o corte se realizou com apenas duas passagens sem nenhuma deformação visível.

Nestes casos, dependendo da qualidade pretendida, pode ser interessante a redução da potência e o aumento de velocidade do feixe. Mesmo que para isso sejam necessárias mais de uma passagem, mas que assegurem a estabilidade e qualidade da peça.

O resultado obtido no corte de materiais não ferrosos tal como o alumínio e latão apresentam baixo desempenho para a potência do laser (50 watt).

6.3. Adição

A adição de material requer certos requisitos bastante sensíveis para obtenção de sucesso. Ensaios realizados com a poliamida por exemplo, proferiu demasiado investimento de tempo na tentativa de resultados mínimos satisfatórios. A não obtenção destes mesmos resultados está diretamente relacionada com a não observância de requisitos como o comprimento de onda 1064 nm ser completamente inoperante para este tipo de material.

O mesmo ocorreu com os pós metálicos, embora que sensíveis ao comprimento de onda da fonte de LASER utilizada, inicialmente foram levadas a cabo tentativas de resultados sem a presença de uma atmosfera inerte. Que acabaram por serem inconclusivos com as condições e materiais ora disponíveis.

Neste sentido, quando materializada a câmara de adição em que permitiu a realização de camadas de pós sujeitas a uma atmosfera que possibilitasse a manutenção da poça de fusão nas condições ideais. Foi possível a produção de peças, com alguma limitação, dada a necessidade de aderência das mesmas à uma base de suporte, até então não obtida o que resultou no deslocamento das peças com a passagem das camadas de material no modo de alimentação em contínuo.

Esta página foi deixada intencionalmente em branco

7. Trabalhos Futuros

Pretende-se realizar estudos mais aprofundados sobre materiais que podem ser utilizados na adição, nomeadamente pós metálicos. De forma a poder compreender quais são os que melhores resultados possam apresentar para o equipamento desenvolvido neste trabalho.

Estudar a interferência dos gases de inertização para o processo, tempos de exposição da poça de fusão e ensaios microscópicos das amostras realizadas na câmara de adição.

Realizar também ensaios com diferentes ligas metálicas e propor aplicações práticas dos materiais produzidos.

Esta página foi deixada intencionalmente em branco

8. Conclusões

Este projeto que nasceu de uma ideia, mas que também pretendia responder a uma necessidade industrial englobando um conjunto de propostas num único equipamento, nomeadamente, o desenvolvimento e construção dum dispositivo multifuncional que se subdivide em subtrativo e aditivo, para tal, foi necessária uma elevada quantidade de componentes entre os quais elétricos, eletrónicos, mecânicos, software e toda integração entre os mais variados componentes deste sistema. E que, por fim se concretizou sob a forma de um equipamento multifuncional, esteticamente cuidado e com uma interface amigável para o utilizador.

Da Definição - Numa fase inicial foram definidos conceitos estritos para o projeto, tendo em conta os mecanismos disponíveis no mercado, os custos envolvidos e a aplicabilidade do equipamento, tais como potência, materiais a serem processados, funcionalidades, automatismos, dimensões pretendidas e sistemas de segurança vigentes no que concerne esta tecnologia.

Do Projecto - Numa segunda fase, tendo em conta a experiência no desenvolvimento de equipamentos desta natureza, foi possível realizar esquemas funcionais dos sistemas definidos na fase anterior, e iniciar a aquisição dos componentes para realizar, primeiramente a estrutura cuja função seria a de agregar/suportar/conter todos os componentes que da máquina LASER fariam parte.

Da Construção - Posteriormente, com a integração do computador, fonte LASER, *software* e placa eletrónica de controlo dos espelhos galvanométricos, foi possível iniciar a construção do equipamento LASER com relevante êxito.

Dos Testes de Gravação - Ainda nesta fase foram realizados testes de gravação em variados tipos de materiais donde se pôde observar a importante influência dos parâmetros potência, frequência, velocidade e espaçamento. As correlações entre estes parâmetros foram analisadas e interpretadas de forma a se poder obter melhoria dos resultados nos ensaios subtrativos.

Observou-se curiosamente que alguns materiais apresentavam resultados mais satisfatórios se a distância focal fosse alterada, ligeiramente (ordem de poucos mm) abaixo ou acima da

incidência nominal. Nomeadamente em materiais não ferrosos como alumínio, latão e cobre. (É um tema que poderá ser de interesse em estudos futuros nesta matéria).

Da Integração - Relativamente à proposta enunciada do sistema *Auto-focus*, a realização deste desafio foi bastante complexa, por requerer a interligação de quatro sistemas distintos entre si, o controlo de disparos do LASER (1), o movimento de um eixo linear onde estavam instaladas a cabeça galvanométrica e a lente (2), a adição de um sistema de medição de distância que fosse capaz de devolver *feedback* (3) à um circuito cuja função fosse realizar o reajuste da posição do eixo linear (4).

A integração destes quatro sistemas permitiu que o LASER fosse disparado à uma distância correta ao objeto, Através de um eixo que se move segundo uma distância ótima pré-definida pelo operador.

Dos Testes de Corte - A relevada distância pré-definida pelo operador tem inferência direta com o tipo de lente, com a distância focal e o *spot* pretendido. A definição desta lente teve como objetivo selecionar aquela que maior densidade de energia pudesse ser entregue durante os disparos do feixe LASER, ou seja, um *spot* com menor diâmetro possível (aproximadamente de 0.02 mm).

De referir que a potência disponível da fonte LASER escolhida foi de 50 Watts. Razão pela qual, majorar a energia através da lente seria o único recurso para poder realizar cortes em chapas de finas espessuras. Inicialmente a proposta foi realizar cortes em chapas até 0.1 mm de espessura, contudo nos ensaios foi possível obter-se cortes em chapas de aço de até 0.25 mm.

Observou-se que a degradação da superfície, devido o elevado número disparos que o feixe LASER emite na superfície do material, não permite que as passagens subsequentes sejam eficazes na remoção das partículas.

Notou-se que a aplicação de um sistema de sopro assistido de forma a garantir que a superfície esteja isenta de qualquer matéria que impeça o acesso à superfície a ser trabalhada melhora os resultados.

De forma geral, observou-se que foi necessário um número repetido de passagens para que pudesse finalizar o corte em chapas de maior espessura como 0,25 mm. Cerca de 4 a 6 passagens.

Outra tarefa que consistiu em reunir um pertinente conjunto de material técnico foi a construção do módulo de fabrico aditivo. Tomou-se a decisão da construção de um módulo à parte, assumindo a hipótese de que o sucesso deste dispositivo poderia vir a ser limitado, dada a natureza da fonte LASER ser pulsada, apontando por esse motivo, as suas possíveis limitações para este processo.

Além dos materiais necessários como sensores, motores, eixos lineares assim como desenvolver uma câmara estanque e extremamente sensível quanto aos seus movimentos. Que pudesse acondicionar e adicionar os pós a serem fundidos no processo de fabrico aditivo, houve o desafio de que esse sistema trabalhasse em sincronismo com o módulo de disparo do LASER.

Igualmente complexo foi interligar os três conjuntos funcionais e distintos que trocassem informações entre si. Tanto o desenvolvimento, fabrico mecânico, automatismos e sincronismos deste sistema foi realizado com relativo êxito.

Dos Testes com Poliamida - Foram realizados alguns testes com a PA de cor branca, este ensaio não trouxe qualquer resultado satisfatório para o comprimento de onda 1064 nm, notou-se que o material não sintetizava sob a incidência do feixe de LASER.

Ainda concernente à poliamida foram realizados vários experimentos com modificação de parâmetros, contudo não se observou qualquer manifestação de peças.

Admite-se que para o material selecionado (PA), os ensaios realizados apresentaram resultados insuficientes no compito da adição. Poderão ser realizados estudos com outros materiais que sejam sensíveis ao comprimento de onda 1064 nm tema que também poderia ser interessante em estudos futuros.

Dos Testes com pós Metálicos - A realização de testes com pós metálicos dentro das condições necessárias para o correto processamento dos materiais foi também obtida com sucesso. Foram produzidas finas chapas de metal. Embora que num estado preliminar. O fabrico de várias camadas sucessivas também se concretizou, contudo, o resultado pretendido de materialização de um sólido composto pela adesão de várias camadas por adição não se realizou, pela dificuldade de lograr a fixação da primeira camada a uma base. Este tema tem ainda lugar a estudos futuros para que se possa tentar alcançar este objetivo.

De uma forma geral conclui-se que existe controlo e repetibilidade sobre as ações realizadas no equipamento desenvolvido. O mesmo aporta energia suficiente para a transformação de uma liga, podendo realizar fusão, vaporização, gravação e corte.

Referências Bibliográficas

- [1] Friseur Fragen, “Wie entsteht Farbe?,” 2023. <https://www.friseur-fragen.de/wissen/basic/haarfarbe/wie-entsteht-farbe> (accessed Mar. 29, 2023).
- [2] “File:Sine waves different frequencies.svg - Wikimedia Commons.” https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sine_waves_different_frequencies.svg (accessed Mar. 21, 2020).
- [3] “Espectro visível – Wikipédia, a enciclopédia livre.” https://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_vis%C3%ADvel (accessed Mar. 21, 2020).
- [4] PreparaENEM, “Laser. Como funciona o Laser?,” 2023. <https://www.preparaenem.com/fisica/laser.htm> (accessed Mar. 29, 2023).
- [5] J. Meijer, “Laser beam machining (LBM), state of the art and new opportunities,” *J Mater Process Technol*, vol. 149, no. 1, pp. 2–17, 2004, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.02.003>.
- [6] E. WOLF, “Einstein’s Researches on the Nature of Light,” *Optics News*, vol. 5, no. 1, pp. 24–39, Jan. 1979, doi: 10.1364/ON.5.1.000024.
- [7] J. P. Gordon, H. J. Zeiger, and C. H. Townes, “The Maser—New Type of Microwave Amplifier, Frequency Standard, and Spectrometer,” *Physics Review*, 1955, doi: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.99.1264>.
- [8] C. H. Townes, “Theodore H. Maiman (1927–2007),” *Nature*, vol. 447, no. 7145, p. 654, 2007, doi: 10.1038/447654a.
- [9] Hiroyuki Yokoyama and Kikuo Ujihara, *Spontaneous Emission and Laser Oscillation in Microcavities*. CRC Press, 1995.
- [10] Ariane Padilha, “Circulo cromático.” <https://arianepadilha.wordpress.com/2009/12/04/circulo-cromatico/> (accessed Mar. 29, 2023).
- [11] C. Williams, “CO laser processing - an overview,” *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, vol. 69, no. 1, pp. 43–52, Jan. 1997, doi: 10.1108/00022669710161658.
- [12] J. Powell, “Setting Up for Cutting,” in *CO2 Laser Cutting*, London: Springer London, 1993, pp. 117–152. doi: 10.1007/978-1-4471-3384-1_5.
- [13] P. Badoniya, “CO2 Laser Cutting of Different Materials-A Review CO 2 Laser Cutting of Different Materials-A Review,” *Article in International Journal of Engineering and Technical Research*, 2018, [Online]. Available: www.irjet.net

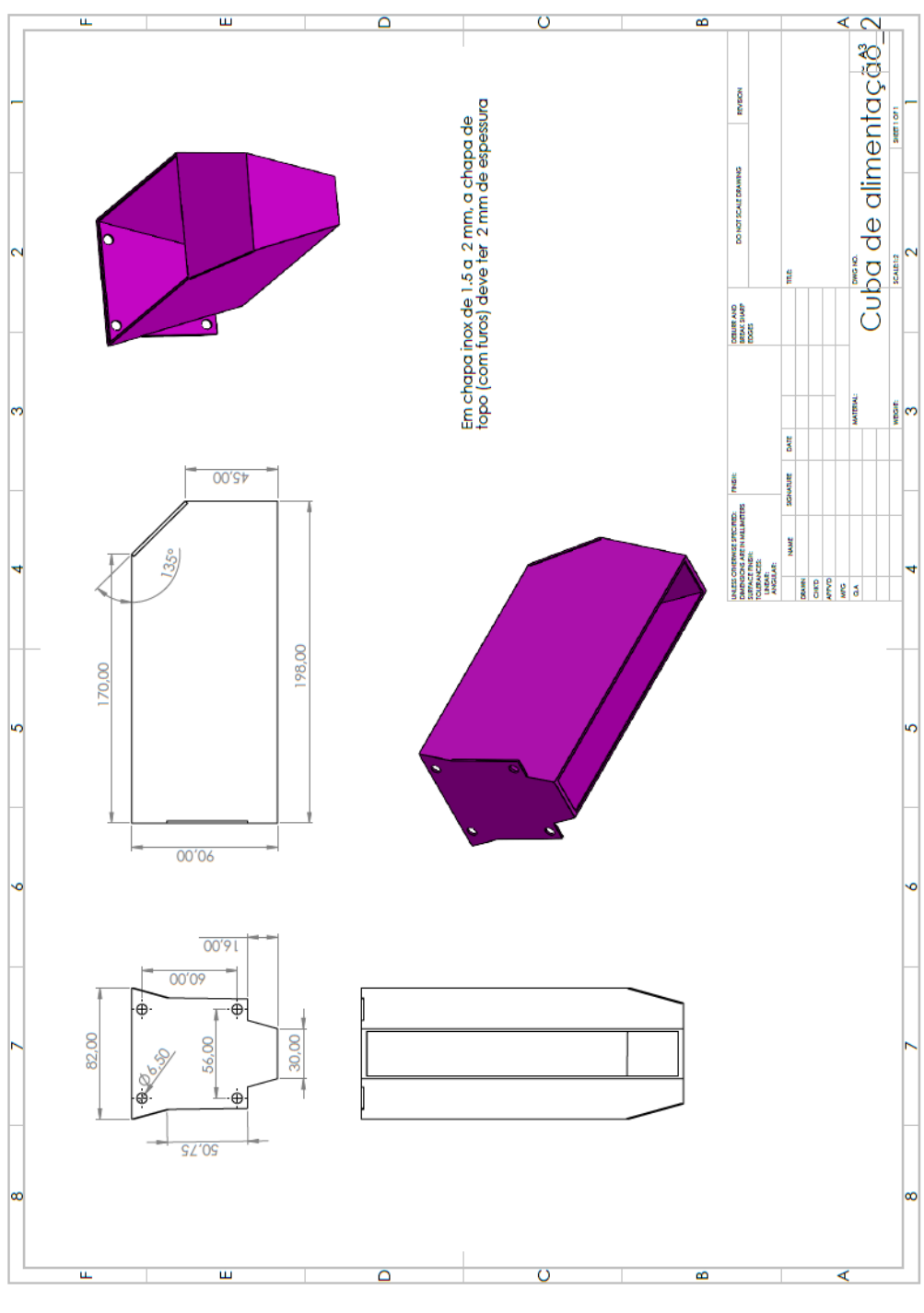
- [14] Joel C Vasco, “A Micro-Fabricação aplicada ao processo de Micro-Injeção,” Universidade do Minho, Guimarães, 2006.
- [15] B. Umroh, A. Ginting, and M. N. A. Rahman, “CO₂laser machining on alumina ceramic: A review,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing Ltd, Dec. 2020. doi: 10.1088/1757-899X/1003/1/012131.
- [16] C. Jauregui, J. Limpert, and A. Tünnermann, “High-power fibre lasers,” *Nat Photonics*, vol. 7, no. 11, pp. 861–867, 2013, doi: 10.1038/nphoton.2013.273.
- [17] P. D. Dragic, M. Cavillon, and J. Ballato, “Materials for optical fiber lasers: A review,” *Appl Phys Rev*, vol. 5, no. 4, p. 041301, Dec. 2018, doi: 10.1063/1.5048410.
- [18] Frank Arteaga, “CO₂ vs. Fiber-Laser Technology: Which One Is Right for You?,” *Fabricating Metalworking*, Mar. 05, 2013. <https://www.fabricatingandmetalworking.com/2013/03/co2-vs-fiber-laser-technology-which-one-is-right-for-you/> (accessed Mar. 29, 2023).
- [19] Controllaser, “UNDERSTANDING LASER MACHINES – HOW CAN I SELECT THE RIGHT LASER SOURCE FOR MY APPLICATION,” 2021. <https://www.controllaser.com/blog/2018/11/22/how-can-i-select-the-right-laser-source-for-my-application/> (accessed Mar. 29, 2023).
- [20] V. S. Bagnato, “Dispositivo que utiliza laser infravermelho de baixa potência e ultrassom terapêutico conjugado e simultaneamente, para tratamentos em medicina regenerativa não invasiva,” 2009.
- [21] A. Pritam, “EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF LASER DEEP ENGRAVING PROCESS FOR AISI 1045 STAINLESS STEEL BY FIBRE LASER,” 2016.
- [22] American Laboratory, “Considerations for Diffuse Reflection Spectroscopy,” Sep. 01, 2016. <https://www.americanlaboratory.com/914-Application-Notes/190743-Considerations-for-Diffuse-Reflection-Spectroscopy/> (accessed Mar. 29, 2023).
- [23] J. Yan and N. Takayama, “3 - Laser-material interactions,” in *Micro and Nanoscale Laser Processing of Hard Brittle Materials*, J. Yan and N. Takayama, Eds., in *Micro and Nano Technologies*. Elsevier, 2020, pp. 37–52. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816709-0.00003-3>.
- [24] M. Naeem, “Laser Processing of Reflective Materials,” *Laser Technik Journal*, vol. 10, no. 1, pp. 18–20, Jan. 2013, doi: 10.1002/latj.201390001.
- [25] Lasergraaf, “Operações com um laser de fibra, o que você pode fazer com ele?,” 2023. <https://lasergraaf.nl/pt/oper%C3%A7%C3%B5es-com-um-laser-de-fibra-o-que-voc%C3%AA-pode-fazer-com-ele/> (accessed Mar. 29, 2023).

- [26] Gindumac, “Prima Power OPTIMO CV 4000,” 2023. https://www.gindumac.pt/produto/prima-power-optimo-cv-4000_GB-LAS-PRI-2015-00001 (accessed Mar. 29, 2023).
- [27] “2D laser cutting machine Platino | Prima Power.” <https://www.primapower.com/platino/> (accessed Mar. 20, 2020).
- [28] “2D laser cutting machine Platino | Prima Power.” <https://www.primapower.com/platino/> (accessed Mar. 15, 2020).
- [29] M. S. J. H. R. Singh, “Direct Metal Laser Sintering - an overview | ScienceDirect Topics,” *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, 2016.
- [30] P. Das, R. Chandran, R. Samant, and S. Anand, “Optimum Part Build Orientation in Additive Manufacturing for Minimizing Part Errors and Support Structures,” in *Procedia Manufacturing*, Elsevier B.V., 2015, pp. 343–354. doi: 10.1016/j.promfg.2015.09.041.
- [31] S. Negi, S. Dhiman, and R. Sharma, “Basics and applications of rapid prototyping medical models,” *Rapid Prototyp J*, vol. 20, Mar. 2014, doi: 10.1108/RPJ-07-2012-0065.
- [32] The Open University, “Introducing engineering,” 2023. https://www.open.edu/openlearn/mod/oucontent/view.php?id=18349&extra=thumbnailfigure_idm2192 (accessed Mar. 29, 2023).
- [33] Y. Zhang, W. Jarosinski, Y.-G. Jung, and J. Zhang, “2 - Additive manufacturing processes and equipment,” in *Additive Manufacturing*, J. Zhang and Y.-G. Jung, Eds., Butterworth-Heinemann, 2018, pp. 39–51. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812155-9.00002-5>.
- [34] M. Zenou and L. Grainger, “3 - Additive manufacturing of metallic materials,” in *Additive Manufacturing*, J. Zhang and Y.-G. Jung, Eds., Butterworth-Heinemann, 2018, pp. 53–103. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812155-9.00003-7>.
- [35] Sandra Duerr, “Laser metal deposition and high-speed laser metal deposition Tapping new potential,” 2022. https://www.linkedin.com/posts/markus-lindemann-74b41261_brochure-laser-metal-deposition-and-high-speed-activity-6895521899401633792-3__x?trk=public_profile_like_view (accessed Mar. 29, 2023).
- [36] C. Atwood *et al.*, “Laser engineered net shaping (LENSTM): A tool for direct fabrication of metal parts,” in *International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics*, Laser Institute of America, 1998, pp. E1–E7. doi: 10.2351/1.5059147.

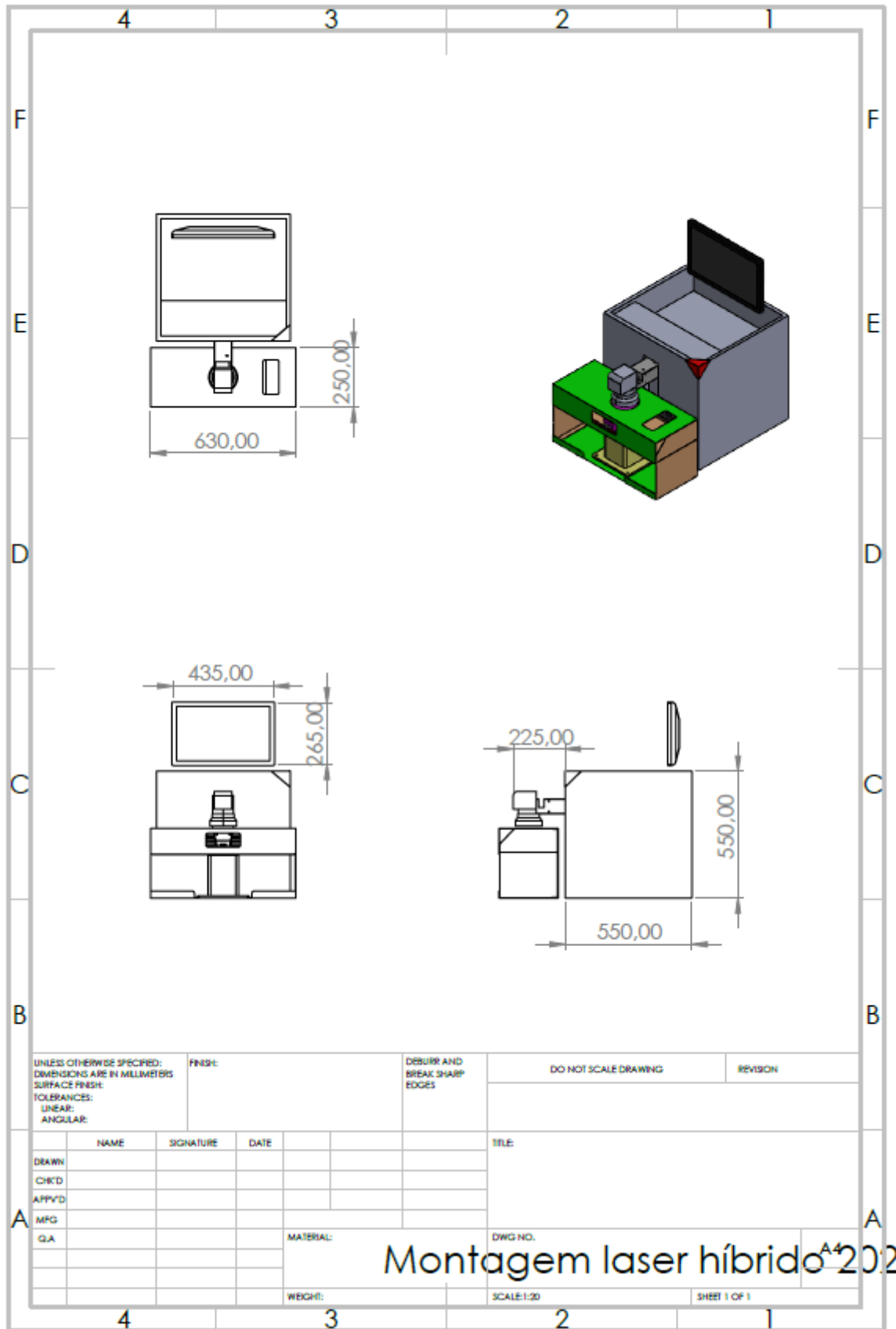
- [37] E. Schlienger *et al.*, “Near Net Shape production of metal components using LENS,” United States, 1998. [Online]. Available: <https://www.osti.gov/biblio/650377>
- [38] Raylase, “Miniscan II - 2-AXIS DEFLECTION UNITS,” 2022. Accessed: Mar. 29, 2023. [Online]. Available: http://www.alaser.com.tw/db/upload/webdata4/alaser_2018782274036083.pdf
- [39] Excelitas Technologies Corp., “LINOS F-Theta-Ronar Lenses 1030 – 1080 nm,” 2023. <https://www.excelitas.com/product/linos-f-theta-ronar-lenses-1030-1080-nm> (accessed Mar. 29, 2023).
- [40] LASER GODS.COM, “Laser Lenses, Optics and Focus,” Nov. 24, 2019. <https://lasergods.com/laser-lenses-optics-and-focus/> (accessed Mar. 30, 2023).
- [41] C. H. Swope, “The Eye—Protection,” *Archives of Environmental Health: An International Journal*, vol. 18, no. 3, pp. 428–433, Mar. 1969, doi: 10.1080/00039896.1969.10665431.
- [42] W. Rath, “Lasers for industrial production processing: tailored tools with increasing flexibility,” in *Proc.SPIE*, Feb. 2012, p. 823908. doi: 10.1117/12.906643.
- [43] D. A. V Kliner, “nLIGHT alta: A versatile next-generation fiber laser platform for kW materials processing,” in *Proc. of the 84th Int. Conf. on Laser Mater. Process*, 2016, pp. 1–7.
- [44] X. Zheng, J. Meng, and Y. Liu, “Strain Rate Dependence of Compressive Mechanical Properties of Polyamide and Its Composite Fabricated Using Selective Laser Sintering under Saturated-Water Conditions,” *Micromachines (Basel)*, vol. 13, no. 7, 2022, doi: 10.3390/mi13071041.
- [45] M. J. Matthews, G. Guss, S. A. Khairallah, A. M. Rubenchik, P. J. Depond, and W. E. King, “Denudation of metal powder layers in laser powder bed fusion processes,” *Acta Mater*, vol. 114, pp. 33–42, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.05.017>.
- [46] “2D laser cutting machine Platino | Prima Power.” <https://www.primapower.com/platino/> (accessed Mar. 20, 2020).
- [47] Neckmolde Lda., “Produtos,” 2020. <https://neckmolde.pt/produtos/> (accessed Mar. 29, 2023).

Anexos


8.1. Anexo A



LASER multifuncional para processos de fabrico aditivos e subtrativos



8.2. Anexo B

	SPECIFICATION YTTERBIUM PULSED FIBER LASERS YLP-V2 1mJ series	Spec:	E27380
		Revision:	01
		Page:	1 of 4

This document specifies the following laser models:

Average output power, W	Model
10W	YLP-V2-1-100-10-10
20W	YLP-V2-1-100-20-20
30W	YLP-V2-1-100-30-30
50W	YLP-V2-1-100-50-50


1. Optical characteristics

N	Characteristic	Test condition	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
1	Mode of operation			Pulsed			
2	Polarization			Random			
3	Maximum pulse energy		E_{max}		1		mJ
4	Central emission wavelength		λ	1060	1064	1070	nm
5	Emission Bandwidth	FWHM	$\Delta\lambda$		5	10	nm
6	Nominal average output power • YLP-V2-1-100-10-10 • YLP-V2-1-100-20-20 • YLP-V2-1-100-30-30 • YLP-V2-1-100-50-50		P_{nom}	9.5 19 28 47	10 20 30 50	11 21 32 53	W
7	Output power adjustment range			10		100	%
8	Long-term average power instability	$P_{out} = P_{nom}$				5	%
9	Nominal pulse repetition rate • YLP-V2-1-100-10-10 • YLP-V2-1-100-20-20 • YLP-V2-1-100-30-30 • YLP-V2-1-100-50-50		RR_{nom}		10 20 30 50		
10	Pulse repetition rate range	Extended PRR mode		2		200	kHz
11	Pulse duration	FWHM $P_{out} = P_{nom}$ $RR = RR_{nom}$	$\Delta\tau$	80	100	120	ns
12	Laser switching ON/OFF time	BS1 mode			2	3	μ sec
13	Guide laser power (optional)	$\lambda = 660\text{nm}$		0.3	0.5	1	mW

Issued by:	Issue Date:
I Krinov	09.11.2016

CONFIDENTIAL: This document and any data disclosed therein is the property of IPG Photonics Corporation and its affiliates, and constitute and contain proprietary information. Neither receipt nor possession of this document confers or transfers any right to duplicate, use, or disclose any information contained herein except as expressly authorized in writing by IPG Photonics Corporation.

LASER multifuncional para processos de fabrico aditivos e subtrativos

	Interface Specification "Type E" YLP series Pulsed Fiber Lasers	Spec: Revision: Date: Page:	E27110 03 06.08.15 1 of 38
---	---	--------------------------------------	-------------------------------------

The document describes connection and control basics of pulsed lasers equipped with interface "type E" manufactured by IPG Laser GmbH and its sister companies.

Contents:

Laser Internal Structure.....	2
Power supply connector.....	3
Recommended laser connection diagram.....	3
Electrical connection.....	4
Control Connector Pin Assignment, DB-25 plug.....	5
Digital Control Interface (DB-25) Description.....	6
Laser operation using Digital Interface.....	11
Operation Features.....	15
Operating modes and options.....	17
DB-25 Serial Interface Commands Structure and Signals Description.....	22
DB-25 Serial Interface Command Codes.....	23
DB-25 Serial Interface Timing diagrams.....	24
RS-232 electrical connector.....	26
RS-232 Command Structure Description.....	27
RS-232 Command Codes.....	29

8.3.Anexo C



F-Theta-Power-Ronar Lenses



The new F-Theta-Power-Ronar lenses are high quality lenses for high precision galvo systems, complementing the existing well known LINOS F-Theta-Ronar lens series.

The advanced glass design as well as the coating design increase the power level for new applications.

The focal lengths 160 mm, 330 mm and 420 mm allow diagonal scan lengths of 140 mm, 288 mm and 410 mm respectively.

All F-Theta-Power-Ronar lenses have the same screw thread of M85x1.

- F-Theta-Power-Ronar lenses
- focal lengths 160 mm, 330 mm and 420 mm
- wavelength 532 nm

Expanded Product Line

8.4. Anexo D

Sensor LASER Baner

Sensor Laser de Aço Inoxidável Q4X



Guia de Início Rápido

Sensor CMOS laser Classe 1 com uma saída bipolar (1 PNP e 1 NPN). Patente pendente.

Este guia foi concebido para ajudar a configurar e instalar o Sensor Q4X. Para informações completas sobre programação, desempenho, solução de problemas, dimensões e acessórios, consulte o Manual de Instruções em www.bannerengineering.com. Pesquise o código 181483 para visualizar o manual. O uso deste documento pressupõe familiaridade com os padrões e práticas pertinentes do setor.



ATENÇÃO: Não deve ser usado para Proteção Pessoal

Nunca use esse dispositivo como dispositivo de detecção para proteção pessoal. Isso poderia levar a lesões graves ou à morte. Esse dispositivo não inclui os circuitos redundantes de autoinspeção necessários para permitir seu uso em aplicações de segurança pessoal. Uma falha ou mau funcionamento do sensor pode causar uma condição de saída do sensor energizada ou desenergizada.

Recursos

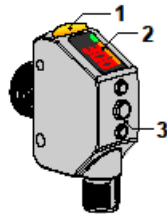


Figura 1: Recursos do Sensor

1. Indicador de Saída (Âmbar)
2. Visor
3. Botões

Visor e Indicadores



Figura 2: Visor no Modo Iniciar

O visor é LED de 4 dígitos com 7 segmentos. A tela principal é a tela do Modo Iniciar, que mostra a distância atual até o alvo em milímetros.

1. Indicador de Estabilidade (STB = Verde)
2. Indicadores TEACH Ativos
 - DYN = Dinâmico (Âmbar)
 - FGS = Supressão de Primeiro Plano (Âmbar)
 - BGS = Supressão de Fundo (Âmbar)

Indicador de Saída

- Ligado — Saídas conduzindo (fechado)
- Desligado — Saídas não conduzindo (aberto)

Indicador de Estabilidade (STB)

- Ligado — Sinal estável dentro da faixa de detecção especificada
- Piscante — Sinal marginal, o destino está fora dos limites da faixa de detecção especificada, ou existem várias condições em ponto máximo

8.5.Anexo E

Orientalmotor



HM-60064-9

OPERATING MANUAL

Stepping Motor **αSTEP**

AR Series/

Motorized actuator equipped with AR Series

AC power input **αFLECT Built-in controller type**

Driver Edition



Thank you for purchasing an Oriental Motor product. This Operating Manual describes product handling procedures and safety precautions.

- Please read it thoroughly to ensure safe operation.
- Always keep the manual where it is readily available.

Introduction

■ Before use

Only qualified personnel of electrical and mechanical engineering should work with the product.

Use the product correctly after thoroughly reading the section "Safety precautions." In addition, be sure to observe the contents described in warning, caution, and note in this manual.

The product described in this manual has been designed and manufactured to be incorporated in general industrial equipment. Do not use for any other purpose. Oriental Motor Co., Ltd. is not responsible for any damage caused through failure to observe this warning.

■ Related operating manuals

For operating manuals not included with the product, contact your nearest Oriental Motor sales office or download from Oriental Motor Website Download Page.

Operating manual name	Included or not included with product
AR Series/Motorized actuator equipped with AR Series OPERATING MANUAL Driver Edition (this document)	Included
AR Series/Motorized actuator equipped with AR Series USER MANUAL	Not included
APPENDIX UL Standards for AR Series	Included

Safety precautions

The precautions described below are intended to prevent danger or injury to the user and other personnel through safe, correct use of the product. Use the product only after carefully reading and fully understanding these instructions.

⚠ WARNING	Handling the product without observing the instructions that accompany a "WARNING" symbol may result in serious injury or death.
⚠ CAUTION	Handling the product without observing the instructions that accompany a "CAUTION" symbol may result in injury or property damage.
Note	The items under this heading contain important handling instructions that the user should observe to ensure the safe use of the product.

⚠ WARNING

General

- Do not use the product in explosive or corrosive environments, in the presence of flammable gases, locations subjected to splashing water, or near combustibles. Doing so may result in fire, electric shock, or injury.
- Assign qualified personnel to the task of installing, wiring, operating/controlling, inspecting, and troubleshooting the product. Failure to do so may result in fire, electric shock, injury, or damage to equipment.
- Do not transport, install, connect or inspect the driver while the power is supplied. Always turn the power off before carrying out these operations. Failure to do so may result in electric shock.
- The terminals on the driver's front panel marked with ⚠ symbol indicate the presence of high voltage. Do not touch these terminals while the power is on. Doing so may result in fire or electric shock.

- When an alarm is generated in the driver (any of the driver's protective functions is triggered), the motor will stop and lose its holding torque. Accordingly, provide measures to hold the moving part in place in the event of an alarm. Failure to do so may result in injury or damage to equipment.
- When an alarm is generated in the driver (any of the driver's protective functions is triggered), remove the cause before clearing the alarm. Continuing the operation without removing the cause of the problem may cause malfunction of the motor and driver, leading to injury or damage to equipment.

Installation

- The driver is Class I equipment. When installing the driver, install it inside an enclosure so that it is out of the direct reach of users. Be sure to ground if users can touch it. Failure to do so may result in electric shock.
- Install the driver inside an enclosure. Failure to do so may result in electric shock or injury.

Connection

- Always keep the power supply voltage of the driver within the specified range. Failure to do so may result in fire or electric shock.
- Connect the cables securely according to the wiring diagram. Failure to do so may result in fire or electric shock.
- Do not forcibly bend, pull, or pinch the connection cable. Doing so may result in fire or electric shock.

Operation

- Turn off the driver power supply in the event of a power failure. Otherwise, the motor may suddenly start when the power is restored, causing injury or damage to equipment.
- Do not remove the motor excitation during operation. Doing so may cause the motor to stop and lose the holding force, resulting in injury or damage to equipment.

Maintenance and inspection

- Do not touch the connection terminal of the driver while the power is supplied. Turn off the power to check the CHARGE LED being turned off before starting connection or inspection. Residual voltage may cause electric shock.

Repair, disassembly, and modification

- Do not disassemble or modify the driver. Doing so may result in electric shock or injury. Refer all such internal inspections and repairs to the Oriental Motor sales office from which you purchased the product.

⚠ CAUTION

General

- Do not use the driver beyond its specifications. Doing so may result in electric shock, injury, or damage to equipment.
- Keep your fingers and objects out of the openings in the driver. Failure to do so may result in fire, electric shock, or injury.
- Do not touch the driver during operation or immediately after stopping. The surface is hot, and this may cause a skin burn(s).
- Do not use other batteries than our battery **BAT01B**. Doing so may result in injury or damage to equipment.

Installation

- Do not leave anything around the driver that would obstruct ventilation. Doing so may result in damage to equipment.

Connection

- The data edit connector (CN4) and RS-485 communication connectors (CN6/CN7) are not insulated. When grounding the positive terminal of the power supply, do not connect any equipment (PC, etc.) whose negative terminal is grounded. Doing so may cause the driver and these equipment to short, damaging both.

Operation

- Use a motor and driver only in the specified combination. An incorrect combination may cause a fire.
- Provide an emergency stop device or emergency stop circuit external to the equipment so that the entire equipment will operate safely in the event of a system failure or malfunction. Failure to do so may result in injury.
- Before supplying power to the driver, turn all input signals to the driver to OFF. Otherwise, the motor may suddenly start when the power is turned on, leading to injury or damage to equipment.
- When moving the moving part manually, put the motor into a non-excitation state. Continuing the work while the motor is in an excitation state may result in injury.
- Use a 24 VDC power supply that has been given reinforced insulation between the primary side and secondary side. Failure to do so may cause electric shock.
- Immediately when a problem occurred, stop operation and turn off the driver power supply. Failure to do so may result in fire, electric shock, or injury.
- Use only an insulated slotted screwdriver to adjust the driver's switches. Failure to do so may result in electric shock.

Maintenance and inspection

- Do not touch the terminals while conducting the insulation resistance measurement or dielectric strength test. Doing so may cause electric shock.

Precautions for use

This chapter covers restrictions and requirements the user should consider when using the product.

- **Be sure to use our cable to connect the motor and the driver.**

Check the [USER MANUAL](#) for the model name of cables.

- **When conducting the insulation resistance measurement or the dielectric strength test, be sure to separate the connection between the motor and the driver.**

Conducting the insulation resistance measurement or dielectric strength test with the motor and driver connected may result in damage to the product.

- **Motor excitation at power ON**

The motor is excited when the 24 VDC power supply and main power supply are on. If the motor is required to be in a non-excitation state when turning on the power, assign the C-ON input to direct I/O or remote I/O. Refer to the [USER MANUAL](#) for details.

- **Preventing electrical noise**

Refer to the [USER MANUAL](#) for measures with regard to noise.

- **Preventing leakage current**

Stray capacitance exists between the driver's current-carrying line and other current-carrying lines, the earth and the motor, respectively. A high-frequency current may leak out through such capacitance, having a detrimental effect on the surrounding equipment. The actual leakage current depends on the driver's switching frequency, the length of wiring between the driver and motor, and so on. When providing a leakage current breaker, use the following products, for example, which have high-frequency signal protection:

Mitsubishi Electric Corporation: NV series

- **Saving data to the non-volatile memory**

Do not turn off the 24 VDC power supply while writing the data to the non-volatile memory, and also do not turn off for 5 seconds after the completion of writing the data. Doing so may abort writing the data and cause an alarm of EEPROM error to generate. The non-volatile memory can be rewritten approximately 100,000 times.

- **When an alarm of overvoltage protection is generated**

If vertical drive (gravitational operation) such as elevator applications is performed or if sudden start-stop operation of a large inertial load is repeated frequently, an alarm of overvoltage protection may be detected. If an alarm of overvoltage protection is detected, adjust the driving condition or use our regeneration resistor **RGB100**.

- **Note on connecting a power supply whose positive terminal is grounded**

The data edit connector (CN4) and RS-485 communication connectors (CN6/CN7) are not insulated. When grounding the positive terminal of the power supply, do not connect any equipment (PC, etc.) whose negative terminal is grounded. Doing so may cause the driver and these equipment to short, damaging both. Use our data setter **OPX-2A** to set data, etc.

Notes when the connection cable is used

Note the following points when our cable is used.

- **When inserting the connector**

Hold the connector main body, and insert it in straight securely. Inserting the connector in an inclined state may result in damage to terminals or a connection failure.



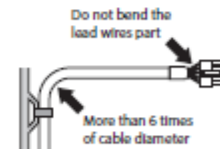
- **When pulling out the connector**

Pull out the connector in straight while releasing the lock part of the connector. Pulling out the connector with holding the cable may result in damage to the connector.

- **Bending radius of cable**

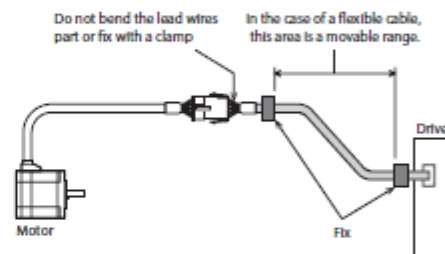
Use the cable in a state where the bending radius of the cable is more than six times of the cable diameter.

Do not bend the lead wires part or fix it with a clamp. Doing so may cause damage to the connector.



- **How to fix the cable**

Fix the cable near the connector so that stress is not applied to the connector part. Use a wide clamp or fix the connector at two places to prevent stress from being applied to the connector.



Preparation

Checking the product

Verify that the items listed below are included. Report any missing or damaged items to the Oriental Motor sales office from which you purchased the product.

- Driver..... 1 unit
- CN1 connector (6 pins)..... 1 pc.
- CN3 connector (5 pins)..... 1 pc.
- CN5 connector (5 pins)..... 1 pc.
- CN8 connector (9 pins)..... 1 pc.
- CN9 connector (7 pins)..... 1 pc.
- Connector wiring lever (for CN3)..... 1 pc.
- OPERATING MANUAL Driver Edition (this document)..... 1 copy
- APPENDIX UL Standards for
AR Series AC power input type..... 1 copy

Included connector model

There are two types of CN3 connectors made by WAGO Corporation and Molex Incorporated.

Either one of them is included with the product. Check the manufacturer name with the connector.

Type	Model number (Manufacturer)
CN1 connector	MC1,5/6-STF-3,5 (PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG)
CN3 connector	721-205 (WAGO Corporation)
	or 54928-0570 (Molex Incorporated)
CN5 connector	FK-MC0,5/5-ST-2,5 (PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG)
CN8 connector	FK-MC0,5/9-ST-2,5 (PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG)
CN9 connector	FK-MC0,5/7-ST-2,5 (PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG)

LASER multifuncional para processos de fabrico aditivos e subtrativos

How to identify the product model

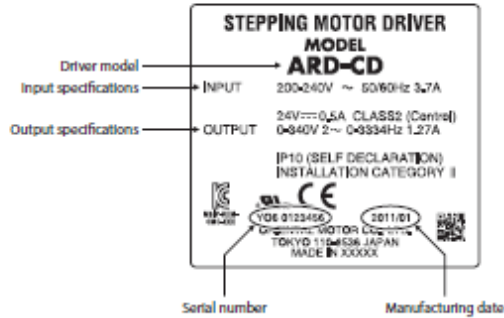
Verify the model number of the purchased product against the number shown on the nameplate.

ARD - C D
1 2 3

1	Series name	ARD: AR Series driver
2	Power supply input	A: Single-phase 100-120 V C: Single-phase 200-240 V
3	Type	D: Built-in controller type

Information about nameplate

The figure shows an example.



The position describing the information may vary depending on the product.

Products for possible combinations

Products with which the driver can be combined are listed below. Check the model name with the nameplate.

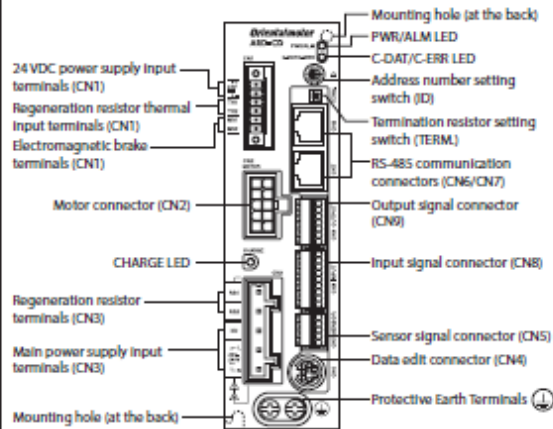
Driver model	Type	Applicable Series	Model
ARD-AD ARD-CD	Stepping motor	AR Series	ARM46 ARM66 ARM69 ARM98 ARM911
	Motorized actuator	EAS Series * EAC Series * EZS Series * EZSH Series *	DGM85 DGM130 DGM200
		DGI Series	

* For these motorized actuators, check the motor model name.

Names and functions of parts

The figure shows the ARD-CD.

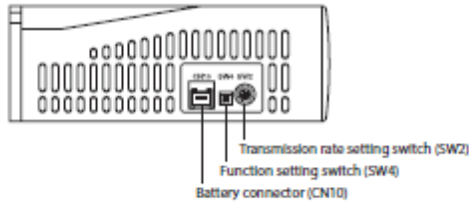
Driver front face



Name	Description
PWR/ALM LED	<ul style="list-style-type: none"> PWR (Green): This LED is lit while the 24 VDC power is input. ALM (Red) : This LED will blink if an alarm generates (a protective function is triggered). It is possible to check the generated alarm by counting the number of times the LED blinks.
C-DAT/C-ERR LED	<ul style="list-style-type: none"> C-DAT (Green): This LED blinks or is lit when the driver is communicating with the master controller properly via RS-485 communication. C-ERR (Red) : This LED will be lit if a RS-485 communication error occurs with the master controller.
Address number setting switch (ID)	This switch is used when controlling the system via RS-485 communication. Sets the address number (slave address) of RS-485 communication using this switch and SW4-No.1 of the function setting switch. (Factory setting: 0)
Termination resistor setting switch (TERM.)	This switch is used when controlling the system via RS-485 communication. Sets the termination resistor (120 Ω) of RS-485 communication. (Factory setting: OFF)
RS-485 communication connectors (CN6/CN7)	Connects the RS-485 communication cable.
Output signal connector (CN9)	Connects the output signals.
Input signal connector (CN8)	Connects the input signals.
Sensor signal connector (CN5)	Connects the sensor signals.
Data edit connector (CN4)	Connects a PC in which the support software MEXED2 has been installed, or our data setter OPX-2A.
Protective Earth Terminals	Ground using a wire of AWG16 to 14 (1.25 to 2.0 mm ²).
24 VDC power supply input terminals (CN1-24V)	Connects a power supply for control circuit of the driver. +: 24 VDC power supply input -: Power supply GND
Regeneration resistor thermal input terminals (CN1-TH1/TH2)	Connects our regeneration resistor RGB100. If no regeneration resistor is connected, short the TH1 and TH2 terminals.
Electromagnetic brake terminals (CN1-MB1/MB2)	Connects the cable for electromagnetic brake. MB1: Electromagnetic brake - (Black) MB2: Electromagnetic brake + (White)
Motor connector (CN2)	Connects the motor.
CHARGE LED (Red)	This LED is lit while the main power is input. After the main power has been turned off, the LED will turn off once the residual voltage in the driver drops to a safe level.

Name	Description
Regeneration resistor terminals (CN3-RG1/RG2)	Connects our regeneration resistor RG8100 .
Main power supply input terminals (CN2)	<ul style="list-style-type: none"> Single-phase 100-120 V L, N: Connects a single-phase 100-120 VAC power supply. Single-phase 200-240 V L, N: Connects a single-phase 200-240 VAC power supply. NC: Not used.
Mounting holes (2 places at the back)	These mounting holes are used to secure the driver with screws.

● Driver bottom face



Name	Description
Transmission rate setting switch (SW2)	This switch is used when controlling the system via RS-485 communication. Sets the transmission rate of RS-485 communication. (Factory setting: 7)
Function setting switch (SW4)	This switch is used when controlling the system via RS-485 communication. No.1: Sets the address number (slave address) using this switch and the address number setting switch (ID). (Factory setting: OFF) No.2: Sets the protocol of RS-485 communication. (Factory setting: OFF)
Battery connector (CN10)	Connects our battery BAT01B .

Installation

■ Location for installation

The driver is designed and manufactured to be incorporated in an equipment. Install them in a well-ventilated location that provides easy access for inspection. The location must also satisfy the following conditions:

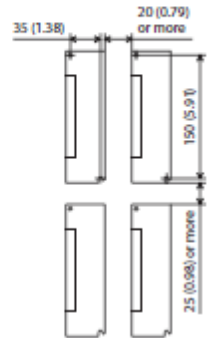
- Inside an enclosure that is installed indoors (provide vent holes)
- Operating ambient temperature 0 to +55 °C (+32 to +131 °F) (non-freezing)
- Operating ambient humidity 85 % or less (non-condensing)
- Area that is free of explosive atmosphere or toxic gas (such as sulfuric gas) or liquid
- Area not exposed to direct sun
- Area free of excessive amount of dust, iron particles or the like
- Area not subject to splashing water (rain, water droplets), oil (oil droplets) or other liquids
- Area free of excessive salt
- Area not subject to continuous vibration or excessive shocks
- Area free of excessive electromagnetic noise (from welders, power machinery, etc.)
- Area free of radioactive materials, magnetic fields or vacuum
- 1,000 m (3,300 ft.) or lower above sea level

■ Installation method

The driver is designed so that heat is dissipated via air convection and conduction through the enclosure. Install the driver on a flat metal plate [material: aluminum, 200×200×2 mm (7.87×7.87×0.08 in.) equivalent] having excellent heat conductivity.

When two or more drivers are to be installed side by side, provide 20 mm (0.79 in.) and 25 mm (0.98 in.) clearances in the horizontal and vertical directions, respectively.

When installing the driver inside an enclosure, use two screws (M4; not included) to secure the driver through the mounting holes.



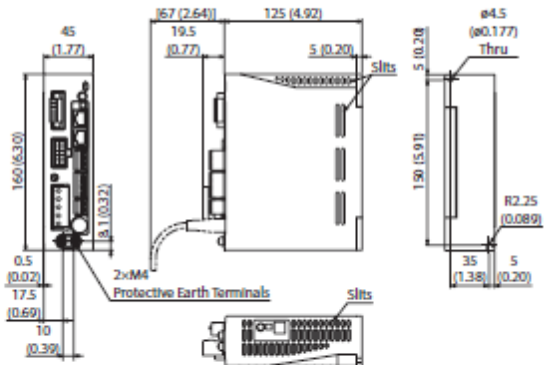
Unit: mm (in.)



- Install the driver inside an enclosure whose pollution degree is 2 or better environment, or whose degree of protection is IP54 minimum.
- Do not install any equipment that generates a large amount of heat or noise near the driver.
- Do not install the driver underneath the controller or other equipment vulnerable to heat.
- If the ambient temperature of the driver exceeds 55 °C (131 °F), improve the ventilation condition.
- Be sure to install the driver vertically (vertical position).

Dimension [unit: mm (in.)]

Mass: 0.75 kg (1.65 lb.)



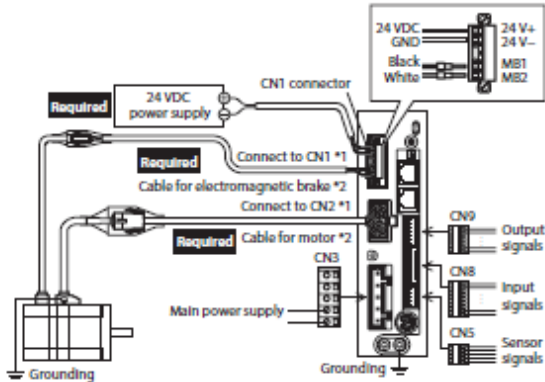
Connection

WARNING

- For protection against electric shock, do not turn on the power supply until the wiring is completed.
- A high voltage is applied to the motor connector (CN2) and the main power supply input terminal (CN3). Do not touch these terminals while the power is on. Doing so may result in fire or electric shock.

Connection example

The figure shows models for the electromagnetic brake motor and single-phase 200 to 240 VAC input.



- *1 Keep 30 m (98.4 ft.) or less for the wiring distance between the motor and driver.
- *2 These cables are provided as our products. Purchase them separately.

Note

- Connect the connectors securely. Insecure connections may cause malfunction or damage to the motor or driver.
- Do not wire the power supply cable of the driver in the same cable duct with other power lines or motor cables. Doing so may cause malfunction due to noise.
- When cycling the main power supply or connecting/disconnecting the connector, turn off the power and wait for the CHARGE LED to turn off before doing so. The residual voltage may cause electric shock.
- The lead wires of the "cable for electromagnetic brake" have polarities, so connect them in the correct polarities. If the lead wires are connected with their polarities reversed, the electromagnetic brake will not operate properly.

memo

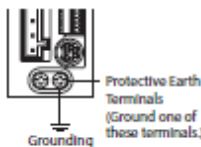
- When disconnecting the connector, pull out while pressing the latches on the connector.
- When installing the motor on a moving part, use a flexible cable having excellent flex resistance. Check the **USER MANUAL** for the model name of cables.

Grounding the driver

Be sure to ground the Protective Earth Terminal (screw size: M4) of the driver. You can ground either of the two Protective Earth Terminals.
Grounding wire: AWG16 to 14 (1.25 to 2.0 mm²)
Tightening torque: 1.2 N·m (10.6 lb·in)

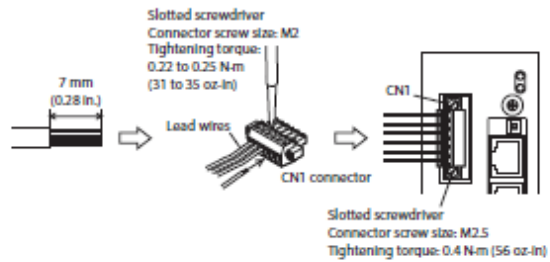
The terminal that is not grounded is used as a service terminal. Use the service terminal according to your specific need, such as connecting it to the motor in order to ground the motor.

Do not share the grounding wire with a welder or any other power equipment. When grounding the Protective Earth Terminal, use a round terminal and secure the grounding point near the driver.



Connecting the 24 VDC power supply and regeneration resistor (CN1)

Applicable lead wire: AWG28 to 16 (0.08 to 1.25 mm²)
Stripping length of wire insulation: 7 mm (0.28 in.)



Connecting the 24 VDC power supply

Connect a 24 VDC power supply of the current capacity shown in the following table. When motorized actuators are used, check while referring to the model name of the equipped motor.

In the case of the DGII Series, check the current capacity of a 24 VDC power supply with the DGII Series **OPERATING MANUAL Actuator Edition**. The 24 VDC power supply is for the control circuit. Be sure to connect it.

Motor model	Input power supply voltage	Power supply current capacity	
		Without electromagnetic brake	With electromagnetic brake
ARM46	24 VDC±5 % *	0.25 A or more	0.33 A or more
ARM66			0.5 A or more
ARM69			
ARM98			
ARM911			—

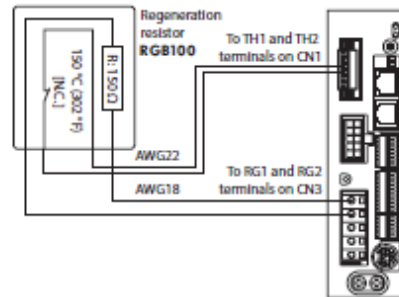
- * If the distance between the motor and driver is extended to 20 to 30 m (65.6 to 98.4 ft.), use a power supply of 24 VDC±4 %.

memo

When turning on the 24 VDC power supply again, turn off the 24 VDC power supply and wait for at least 1 second before doing so.

Connecting the regeneration resistor

If vertical drive (gravitational operation) such as elevator applications is performed or if sudden start-stop operation of a large inertial load is repeated frequently, connect our regeneration resistor **RGB100**.



memo

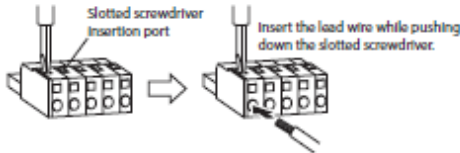
- Before connecting the regeneration resistor, be sure to remove the jumper wire from the CN1 connector.
- If the allowable power consumption of the regeneration resistor exceeds the allowable level, the thermostat will be triggered and an alarm of regeneration resistor overheat is generated. If an alarm of regeneration resistor overheat is generated, turn off the main power supply and check the content of the error.

■ Connecting the main power supply (CN3)

- Applicable lead wire: AWG16 to 14 (1.25 to 2.0 mm²)
 - Stripping length of wire insulation: 8 to 9 mm (0.31 to 0.35 In.)
1. Insert the connector wiring lever.
 2. Insert the lead wire while pushing down the connector wiring lever.



You can also connect the power supply cable using a slotted screwdriver. Insert the lead wire while pushing the insertion port using a slotted screwdriver with a tip of 3.0 to 3.5 mm (0.12 to 0.14 In.) in width.



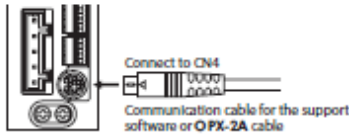
● Current capacity of main power supply

The current capacity of the main power supply varies depending on the motor combined. When motorized actuators are used, check while referring to the model name of the equipped motor.

In the case of the DIGII Series, check the current capacity of a main power supply with the DIGII Series OPERATING MANUAL Actuator Edition.

Motor model	Single-phase 100-120 V -15 to +6 % 50/60 Hz	Single-phase 200-240 V -15 to +6 % 50/60 Hz
ARM46	2.4 A or more	1.5 A or more
ARM66	3.6 A or more	2.3 A or more
ARM69	4.9 A or more	3.0 A or more
ARM98	4.6 A or more	2.9 A or more
ARM911	5.9 A or more	3.7 A or more

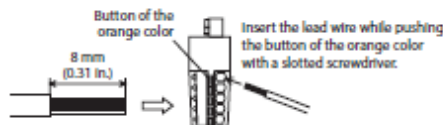
■ Connecting the data setter (CN4)



CAUTION The data edit connector (CN4) and RS-485 communication connectors (CN6/CN7) are not insulated. When grounding the positive terminal of the power supply, do not connect any equipment (PC, etc.) whose negative terminal is grounded. Doing so may cause the driver and these equipment to short, damaging both.

■ Connecting the I/O signals

Applicable lead wire: AWG26 to 20 (0.14 to 0.5 mm²)
Stripping length of wire insulation: 8 mm (0.31 In.)



● Connecting the sensor (CN5)

Pin assignment

Pin No.	Signal name	Description
1	+LS	Limit sensor input +
2	-LS	Limit sensor input -
3	HOMES	Mechanical home sensor input
4	SLIT	Slit sensor input
5	IN-COM2	Sensor signals common

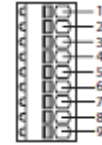


● Connecting the control input (CN8)

Pin assignment

Pin No.	Signal name	Description *
1	IN0	Control input 0 (HOME)
2	IN1	Control input 1 (START)
3	IN2	Control input 2 (M0)
4	IN3	Control input 3 (M1)
5	IN4	Control input 4 (M2)
6	IN5	Control input 5 (FREE)
7	IN6	Control input 6 (STOP)
8	IN7	Control input 7 (ALM-RST)
9	IN-COM1	Input signals common

* (:): Initial value

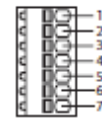


● Connecting the control output (CN9)

Pin assignment

Pin No.	Signal name	Description *
1	OUT0	Control output 0 (HOME-P)
2	OUT1	Control output 1 (END)
3	OUT2	Control output 2 (AREAT)
4	OUT3	Control output 3 (READY)
5	OUT4	Control output 4 (WNG)
6	OUT5	Control output 5 (ALM)
7	OUT-COM	Output signals common

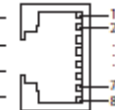
* (:): Initial value



■ Connecting the RS-485 communication cable (CN6, CN7)

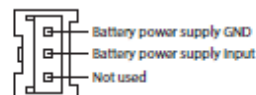
Pin assignment

Pin No.	Signal name	Description
1	N.C.	Not used
2	GND	GND
3	TR+	RS-485 communication signal (+)
4	N.C.	Not used
5	N.C.	Not used
6	TR-	RS-485 communication signal (-)
7	N.C.	Not used
8	N.C.	Not used



■ Connecting the battery (CN10)

Connect our battery BATO1B when using in the absolute-position backup system. When the battery is connected to the battery connector (CN10) of the driver and the 24 VDC power is turned on, the battery will start charging. It takes approximately 32 hours to fully charge the battery (at an ambient temperature of 20 °C (68 °F)).

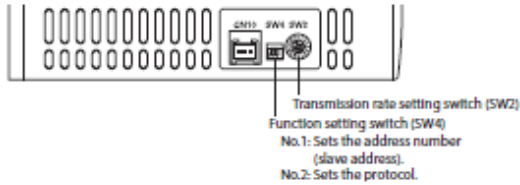


Setting

● Driver front face



● Driver bottom face



Note When setting any switch, turn off the main power supply and the 24 VDC power supply of the driver and wait for the CHARGE LED to turn off before doing so. The residual voltage may cause electric shock.

memo The set switches are enabled after the 24 VDC power supply is turned on again.

■ Address number (slave address)

Using the address number setting switch (ID) and SW4-No.1 of the function setting switch, set the address number (slave address). Make sure each address number (slave address) you set for each driver is unique.

Factory setting ID: 0, SW4-No.1: OFF

ID switch	Address number (slave address)	
	SW4-No.1: OFF	SW4-No.1: ON
0	0*	16
1	1	17
2	2	18
3	3	19
4	4	20
5	5	21
6	6	22
7	7	23
8	8	24
9	9	25
A	10	26
B	11	27
C	12	28
D	13	29
E	14	30
F	15	31

* In the case of Modbus protocol, the address number (slave address) 0 is reserved for broadcasting, so do not use this address.

■ Protocol

Using the SW4-No.2 of the function setting switch, set the protocol of RS-485 communication.

Factory setting OFF

SW4-No.2	Protocol
ON	Modbus RTU mode
OFF	Connecting with network converter

■ Transmission rate

Using the transmission rate setting switch (SW2), set the transmission rate. The transmission rate to be set should be the same as the transmission rate of the master controller.

Factory setting 7

SW2	Transmission rate	SW2	Transmission rate
0	9,600 bps	4	115,200 bps
1	19,200 bps	5, 6	Not used
2	38,400 bps	7	Network converter
3	57,600 bps	8 to F	Not used

memo Do not set SW2 to positions 5, 6, and 8 to F.

■ Termination resistor

Set a termination resistor for the driver located farthest away (positioned at the end) from the host controller.

Turn the termination resistor setting switch (TERM-No.1 and 2) ON to set the termination resistor for RS-485 communication (120 Ω).

Factory setting Both No.1 and No.2 are OFF.

TERM-No.1, No.2	Termination resistor (120 Ω)
Both are OFF	Disabled
Both are ON	Enabled

memo If only one of No.1 or No.2 is turned ON, a communication error may occur.

Alarm (protective function)

When an alarm generates, the ALM output will turn OFF and the PWR/ALM LED will blink in red. Before resetting an alarm, always remove the cause of the alarm and ensure safety. For details of alarm, refer to [USER MANUAL](#).

Inspection and maintenance

■ Inspection

It is recommended that periodic inspections be conducted for the items listed below after each operation of the motor. If an abnormal condition is noted, discontinue any use and contact your nearest Oriental Motor sales office.

Inspection item

- Are the openings in the driver blocked?
- Are any of the screws having installed the driver or connection parts of the driver loose?
- Is there attachment of dust, etc., on the driver?
- Are there any strange smells or appearances within the driver?

Note The driver uses semiconductor elements. Handle the driver with care since static electricity may damage semiconductor elements.

■ Warranty

Check on the Oriental Motor Website or General Catalog for the product warranty.

■ Disposal

Dispose the product correctly in accordance with laws and regulations, or instructions of local governments.

Specifications

Check on the Oriental Motor Website for the product specifications.

General specifications

Degree of protection		IP10
Operation environment	Ambient temperature	0 to +55 °C (+32 to +131 °F) (non-freezing) *
	Humidity	85 % or less (non-condensing)
	Altitude	Up to 1,000 m (3,300 ft.) above sea level
Surrounding atmosphere		No corrosive gas, dust, water, or oil
Storage environment	Ambient temperature	-25 to +70 °C (-13 to +158 °F) (non-freezing)
	Humidity	85 % or less (non-condensing)
	Altitude	Up to 3,000 m (10,000 ft.) above sea level
Surrounding atmosphere		No corrosive gas, dust, water, or oil
Shipping environment	Ambient temperature	-25 to +70 °C (-13 to +158 °F) (non-freezing)
	Humidity	85 % or less (non-condensing)
	Altitude	Up to 3,000 m (10,000 ft.) above sea level
Surrounding atmosphere		No corrosive gas, dust, water, or oil
Insulation resistance	100 MΩ or more when 500 VDC megger is applied between the following places: <ul style="list-style-type: none"> • Protective Earth Terminals - Power supply terminals • Signal I/O terminals - Power supply terminals 	
Dielectric strength	Sufficient to withstand the following for 1 minute. Leak current 13 mA or less. <ul style="list-style-type: none"> • Protective Earth Terminals - Power supply terminals 1.8 kVAC 50/60 Hz • Signal I/O terminals - Power supply terminals 1.9 kVAC 50/60 Hz 	

* When installing a driver to a heat sink of a capacity at least equivalent to an aluminum plate (200x200 mm (7.87x7.87 in.), thickness 2 mm (0.08 in.).

Regulations and standards

UL Standards

Check the APPENDIX UL Standards for AR Series AC power input type for recognition information about UL Standards.

EU Directives

CE Marking

This product is affixed the CE Marking under the Low Voltage Directive and EMC Directive.

Low Voltage Directive

Applicable Standards	EN 61800-5-1
Installation conditions	To be incorporated in an equipment. Overvoltage category: II Pollution degree: 2 Protection against electric shock: Class I

- This product cannot be used in IT power distribution systems.
- Install the product within the enclosure in order to avoid contact with hands.
- Be sure to perform protective grounding if a product can be touched with hands. Make sure to ground the Protective Earth Terminals of the motor and driver.
- To protect against electric shock using an earth leakage breaker (RCD), connect a type B earth leakage breaker to the primary side of the driver.
- When using a circuit breaker (MCCB), use a unit conforming to the EN or IEC standard.
- Isolate the motor cable, power-supply cable and other drive cables from the signal cables (CN1, CN4 to CN9) by means of double insulation.
- The temperature of the driver's heat sink may exceed 90 °C (194 °F) depending on the driving conditions. Accordingly, take heed of the following items:
 - Do not touch the driver.
 - Do not use the driver near flammable objects.
 - Always conduct a trial operation to check the driver temperature.

EMC Directive

This product is conducted EMC testing under the conditions specified in "Example of installation and wiring" on the USER MANUAL. The conformance of your mechanical equipment with the EMC Directive will vary depending on such factors as the configuration, wiring, and layout for other control system devices and electrical parts used with this product. It therefore must be verified through conducting EMC measures in a state where all parts including this product have been installed in the equipment.

Applicable Standards

EMI	EN 55011 group 1 class A EN 61000-6-4 EN 61800-3
EMS	EN 61000-6-2 EN 61800-3



This equipment is not intended for use in residential environments nor for use on a low-voltage public network supplied in residential premises, and it may not provide adequate protection to radio reception interference in such environments.

Combinations of motors and drivers in compliance with EMC Directive

Check "Products for possible combinations" on p.3 for the combinations of motors and drivers in compliance with EMC Directive.

Republic of Korea, Radio Waves Act

This product is affixed the KC Mark under the Republic of Korea, Radio Waves Act.

RoHS Directive

The products do not contain the substances exceeding the restriction values of RoHS Directive (2011/65/EU).

- Unauthorized reproduction or copying of all or part of this manual is prohibited.
- Oriental Motor shall not be liable whatsoever for any problems relating to industrial property rights arising from use of any information, circuit, equipment or device provided or referenced in this manual.
- Characteristics, specifications and dimensions are subject to change without notice.
- While we make every effort to offer accurate information in the manual, we welcome your input. Should you find unclear descriptions, errors or omissions, please contact your nearest Oriental Motor sales office.
- **Oriental motor**, **OLSTEP** and **FLEX** are registered trademarks or trademarks of Oriental Motor Co., Ltd., in Japan and other countries.
- Modbus is a registered trademark of the Schneider Automation Inc.

© Copyright ORIENTAL MOTOR CO., LTD. 2012

Published in May 2020

- Please contact your nearest Oriental Motor office for further information.

- | | |
|---|---|
| <p>ORIENTAL MOTOR U.S.A. CORP.
 Technical Support: Tel:800-468-3982
 8:30 a.m. to 5:00 p.m., P.S.T. (M-F)
 7:30 a.m. to 5:00 p.m., C.S.T. (M-F)
 www.orientalmotor.com</p> <p>ORIENTAL MOTOR DO BRASIL LTDA.
 Tel:+55-11-3266-6018
 www.orientalmotor.com.br</p> <p>ORIENTAL MOTOR (EUROPA) GmbH
 Schlessstraße 44, 40549 Düsseldorf, Germany
 Technical Support: Tel:00 800/22 55 66 22
 www.orientalmotor.de</p> <p>ORIENTAL MOTOR (UK) LTD.
 Tel:01256-347090
 www.oriental-motor.co.uk</p> <p>ORIENTAL MOTOR (FRANCE) SARL
 Tel:01 47 86 97 50
 www.orientalmotor.fr</p> <p>ORIENTAL MOTOR (ITALIA) s.p.a.
 Tel:02-93906346
 www.orientalmotor.it</p> <p>ORIENTAL MOTOR CO., LTD.
 4-8-1 Higashiueno, Taito-ku, Tokyo 110-8536
 Japan
 Tel:03-6744-0361
 www.orientalmotor.co.jp</p> | <p>ORIENTAL MOTOR ASIA PACIFIC PTE. LTD.
 Singapore
 Tel:1800-8420280
 www.orientalmotor.com.sg</p> <p>ORIENTAL MOTOR (MALAYSIA) SDN. BHD.
 Tel:1800-806161
 www.orientalmotor.com.my</p> <p>ORIENTAL MOTOR (THAILAND) CO., LTD.
 Tel:1800-888-881
 www.orientalmotor.co.th</p> <p>ORIENTAL MOTOR (INDIA) PVT. LTD.
 Tel:+91-80-41125586
 www.orientalmotor.com.in</p> <p>TAIWAN ORIENTAL MOTOR CO., LTD.
 Tel:0800-060708
 www.orientalmotor.com.tw</p> <p>SHANGHAI ORIENTAL MOTOR CO., LTD.
 Tel:400-820-6516
 www.orientalmotor.com.cn</p> <p>INA ORIENTAL MOTOR CO., LTD.
 Korea
 Tel:080-777-2042
 www.inaom.co.kr</p> <p>ORIENTAL MOTOR CO., LTD.
 Hong Kong Branch
 Tel:+852-2427-9800</p> |
|---|---|