



**Carlos Patoilo  
Dalila Marques  
João Fitas  
Jorge Ribeiro**

### **Equipamento de Corte Laser**

Equipamento de Corte Laser - P1C





**Carlos Patoilo  
Dalila Marques  
João Fitas  
Jorge Ribeiro**

## **Equipamento de Corte Laser**

### **Equipamento de Corte Laser - P1C**

Relatório da unidade curricular de Projeto em Sistemas de Automação do Mestrado (Integrado) em Engenharia Mecânica (MEM/MIEM), realizado sob orientação de Abílio Manuel Ribeiro Borges.



**palavras-chave**

Corte, Laser, Alumínio, Policarbonato

**resumo**

Este artigo descreve o desenvolvimento de uma máquina de corte a laser projetada para cortar chapas de alumínio e policarbonato para a fabricação de quadros elétricos. O projeto envolveu a seleção do laser de corte, a realização do projeto elétrico para garantir o correto funcionamento do laser, o projeto estrutural para acoplar a cabeça de corte laser a uma estrutura pré-existente e a programação de uma aplicação para controlar as características do corte.

O projeto elétrico engloba

O projeto estrutural envolve a análise da estrutura à qual se irá acoplar o laser, o dimensionamento, análise estrutural e fabrico do suporte para a cabeça de corte laser e por último testes para a verificação do funcionamento.

Já sobre o projeto e desenvolvimento do software, envolve o desenvolvimento de uma aplicação com o objetivo de ser uma interface de comunicação entre um computador, um driver Mach3 e o equipamento da fonte de laser. Essa aplicação permite selecionar a forma e dimensões do corte a ser realizado, controlar todos os movimentos do equipamento, gerir todos os utilizadores, e está conectada a uma câmara que possibilita visualizar o processo de corte em tempo real. Os resultados demonstram que a máquina de corte a laser é capaz de cortar chapas de alumínio e policarbonato com alta precisão e eficiência, tornando-a uma ferramenta útil para a fabricação de quadros elétricos.



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Contexto . . . . .	1
1.2	Objetivos . . . . .	2
1.3	Fundamentos e Arquiteturas de Corte de Laser . . . . .	2
1.4	Seleção do tipo de laser . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Desenvolvimento</b>	<b>5</b>
2.1	Esquema de Princípios . . . . .	5
2.2	Controlo da Fonte de Laser . . . . .	6
2.3	Controlo da Cabeça do Laser . . . . .	6
2.4	Consumíveis da Cabeça do Laser . . . . .	6
2.4.1	Lentes de proteção superiores e inferiores . . . . .	7
2.4.2	Lentes de Colimação . . . . .	8
2.4.3	Lentes de Focalização . . . . .	8
2.4.4	Conector Cerâmico . . . . .	8
2.4.5	Nozzle . . . . .	9
2.4.6	Quantidade Total de Consumíveis . . . . .	10
2.5	Projeto Elétrico . . . . .	11
2.5.1	Análise das especificações técnicas do equipamento . . . . .	11
2.5.2	Seleção de componentes elétricos . . . . .	11
2.5.3	Esquema elétrico . . . . .	11
2.6	Projeto Estrutural . . . . .	12
2.6.1	Modelação 3D do Suporte do Laser . . . . .	12
2.6.2	Dimensionamento dos parafusos . . . . .	13
2.6.3	Simulação FEA . . . . .	15
2.6.4	Processos de fabrico e manufatura de componentes . . . . .	16
2.7	Projeto de Desenvolvimento de Software . . . . .	18
2.7.1	Pré-Requisitos . . . . .	18
2.7.2	Identificação de funcionalidades . . . . .	19
2.7.3	Organização do Programa / Interface . . . . .	20
2.7.4	Base de Dados . . . . .	24
2.8	Ensaios e demonstração de funcionalidades . . . . .	26
2.8.1	Demonstração da Aplicação . . . . .	26
2.8.2	Demonstração do Movimento dos Eixos e Motor de Foco . . . . .	26
2.8.3	Demonstração do Controlo da Fonte do Laser . . . . .	26
<b>3</b>	<b>Conclusão e Trabalho Futuro</b>	<b>27</b>

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

# **Lista de Tabelas**

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

# Listas de Figuras

2.1	Esquema de Princípio . . . . .	5
2.2	Consumíveis da Cabeça do Laser . . . . .	7
2.3	Vista Explodida da Montagem do Conetor e Bico . . . . .	9
2.4	Nozzle . . . . .	9
2.5	<i>Single Nozzle</i> . . . . .	10
2.6	<i>Double Nozzle</i> . . . . .	10
2.7	Lista de Encomenda de Consumíveis . . . . .	10
2.8	Dimensões e localização dos parafusos [9] . . . . .	12
2.9	Dimensões e geometria do suporte do laser . . . . .	12
2.10	Tensão de von Mises à qual está sujeita o suporte . . . . .	15
2.11	Deslocamento ao qual está sujeito o suporte . . . . .	15
2.12	Direção e padrão de impressão do suporte laser . . . . .	16
2.13	Demonstração da montagem da cabeça laser . . . . .	17
2.14	Montagem da cabeça do laser utilizando a peça projetada . . . . .	17
2.15	Estrutura do Programa . . . . .	20
2.16	Janela Inicial do Programa . . . . .	20
2.17	Janela de Definições: Página de Definição de Utilizadores . . . . .	21
2.18	Janela de Definições: Página de Histórico . . . . .	21
2.19	Janela de Definições: Página de Gerenciamento do Tempo . . . . .	22
2.20	Janela de Definições: Página de Controlo da Fresadora CNC . . . . .	22
2.21	Janela de Definições: Página de Controlo da Máquina de Laser - Modo Manual . . . . .	23
2.22	Janela de Definições: Página de Controlo da Máquina de Laser - Modo Automático . . . . .	23
2.23	Janela de Programas Gravados na Base de Dados . . . . .	24
2.24	Diagrama de Dependências Funcionais . . . . .	25
2.25	Diagrama de Dependências Funcionais de Sub-Relações Normalizado . . . . .	25

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Contexto

O corte a laser é uma das tecnologias mais avançadas e precisas disponíveis atualmente para a fabricação de produtos de alta qualidade. Desde a sua invenção nos anos 1960, o corte a laser tem passado por uma evolução constante e tornou-se numa das principais tecnologias utilizadas na indústria [1].

O funcionamento de um laser de corte baseia-se na emissão de um feixe de luz altamente concentrado, que é dirigido para a superfície do material a ser cortado. O feixe de laser aquece e derrete o material, enquanto um jato de gás é dirigido para a área de corte para remover os resíduos do material derretido. O processo de corte a laser é controlado por um computador, o que permite a criação de diversas formas com alta velocidade e eficiência comparativamente a outros métodos de corte [1].

As vantagens do corte a laser são muitas, incluindo a capacidade de cortar uma ampla variedade de materiais com alta precisão e qualidade, a velocidade de corte rápida, a ausência de contacto físico com o material, o que reduz o desgaste da ferramenta e a flexibilidade para criar designs complexos e personalizados. Além disso, o corte a laser apresenta a capacidade de cortar materiais com diferentes espessuras, proporcionando assim uma maior eficiência e economia para as empresas [2].

Por outro lado, o corte a laser apresenta algumas desvantagens, como o alto custo inicial de aquisição e manutenção da máquina bem como a limitação no tamanho das peças que podem ser cortadas. No entanto, as vantagens superam amplamente as desvantagens e a tecnologia do corte a laser continua a ser uma ferramenta altamente valorizada e utilizada pelas empresas em todo o mundo [2].

Neste artigo, apresentamos o projeto e desenvolvimento de uma máquina de corte a laser para cortar chapas de alumínio e policarbonato para a fabricação de quadros elétricos. O objetivo deste relatório é apresentar os detalhes do projeto, desde a seleção do laser à programação de uma aplicação que permite controlar o processo do corte passando pela realização do projeto elétrico e estrutural.

## 1.2 Objetivos

O objetivo deste relatório é apresentar o projeto de corte laser que tem como finalidade construir uma máquina de corte laser capaz de cortar chapas de aço e policarbonato para o fabrico de quadros elétricos. Dado o tamanho e a complexidade do projeto, o trabalho a realizar foi dividido em três componentes principais: o projeto elétrico, o projeto estrutural e o desenvolvimento de software.

O projeto elétrico foi realizado utilizando o software EPLAN, e tem como objetivo de criar uma instalação elétrica confiável e segura para a ótima utilização do laser.

O projeto estrutural, por sua vez, visa criar um suporte resistente para a cabeça de corte laser, que será acoplada ao lado de um spindle já existente na estrutura. O software SOLIDWORKS foi utilizado para a criação do modelo 3D do suporte, bem como para a realização da análise FEA.

Por fim, o desenvolvimento de software tem como objetivo o desenvolvimento de uma aplicação com o objetivo de ser uma interface de comunicação entre um computador, um driver Mach3 e o equipamento da fonte de laser. Essa aplicação permite selecionar a forma e dimensões do corte a ser realizado, controlar todos os movimentos do equipamento, gerir todos os utilizadores, e está conectada a uma câmara que possibilita visualizar o processo de corte em tempo real.

Com este projeto, espera-se obter uma máquina de corte laser altamente eficiente e precisa, que possa atender às demandas do setor de fabrico de quadros elétricos. Além disso, este artigo também apresentará uma análise comparativa entre diferentes tipos de laser de corte e suas vantagens e desvantagens em termos de custo e manutenção.

## 1.3 Fundamentos e Arquiteturas de Corte de Laser

Os fundamentos e arquiteturas de corte a laser são elementos cruciais para o desenvolvimento de uma máquina de corte a laser eficiente e precisa. Existem diferentes tipos de lasers utilizados no corte, como o laser de  $CO_2$ , o laser de disco e o laser de fibra ótica. Cada tipo de laser apresenta características únicas que devem ser levadas em consideração na seleção da tecnologia mais adequada para o tipo de material que será cortado [3] [4].

A arquitetura de máquinas de corte a laser também é fundamental para o bom desempenho da tecnologia. As principais partes da máquina incluem a cabeça de corte, o sistema de movimentação e posicionamento, a fonte de alimentação, o sistema de refrigeração e a unidade de controlo. Cada componente deve ser selecionado cuidadosamente e ajustado de forma adequada para garantir a eficiência e precisão no corte a laser.

Um dos fundamentos importantes na arquitetura de corte a laser é o sistema de controlo. O sistema de controlo é responsável por coordenar todos os elementos da máquina, incluindo o movimento da cabeça de corte, a intensidade do laser e o jato de gás. O sistema de controlo também é responsável por fornecer uma interface para os

operadores controlarem as dimensões e geometrias de corte.

Outro fator importante é a escolha do gás de assistência para o corte a laser. O gás de assistência é usado para remover as partículas derretidas da zona de corte, o que reduz a possibilidade de interferência no processo. O tipo de gás utilizado pode afetar a qualidade do corte, e a escolha do gás correto deve levar em consideração o tipo de material que está a ser cortado.

Em resumo, os fundamentos e arquiteturas de corte a laser são elementos críticos para o desenvolvimento de uma máquina de corte a laser eficiente e precisa. A seleção cuidadosa do tipo de laser, a arquitetura da máquina e o sistema de controlo, juntamente com a escolha do gás de assistência adequado, são fatores importantes que contribuem para a eficiência e qualidade do corte a laser.

## 1.4 Seleção do tipo de laser

Como indicado anteriormente os lasers de  $CO_2$ , disco e fibra ótica são três tipos diferentes de lasers utilizados para o corte apresentando cada um as suas vantagens e desvantagens.

O laser de  $CO_2$  é um dos tipos mais comuns de lasers usados para corte. Funciona emitindo um feixe de luz de alta energia de um gás misturado de dióxido de carbono, nitrogénio e hélio. É conhecido por sua capacidade de cortar uma ampla variedade de materiais, incluindo plásticos, tecidos, madeira e metais não ferrosos. É uma escolha popular para muitas aplicações de corte a laser devido à sua alta velocidade de corte, capacidade de alta precisão e baixo custo inicial. No entanto, os lasers de  $CO_2$  são menos eficientes em cortar materiais mais espessos e mais duros, e requerem uma manutenção regular para garantir um desempenho consistente [5].

O laser de disco é outro tipo de laser utilizado. É conhecido pela sua capacidade de cortar metais mais espessos, com maior velocidade e eficiência do que o laser de  $CO_2$ . O laser de disco funciona através da emissão de um feixe de luz pulsante de alta energia de um disco sólido de cristal de safira ou vidro. Este tipo de laser é mais caro do que o laser de  $CO_2$  e requer manutenção mais frequente, mas oferece vantagens em termos de eficiência e velocidade de corte para cortes de materiais mais grossos e duros [6].

O laser de fibra ótica é um tipo relativamente novo de laser utilizado no corte. Ele é conhecido por sua capacidade de cortar metais de elevada espessura, pela sua eficiência energética e velocidade de corte. O laser de fibra ótica funciona através da emissão de um feixe de luz de alta energia através de um cabo de fibra ótica, tornando-o mais compacto e fácil de integrar em sistemas de corte a laser [7]. No entanto, o laser de fibra ótica é mais caro do que o laser de  $CO_2$  e requer manutenção especializada [8].

Ainda que á primeira vista o laser de disco não pareça ser a melhor opção já que o laser de  $CO_2$  é uma opção mais económica e o laser de fibra oferece uma alta eficiência energética e uma boa velocidade de corte para materiais mais espessos, optou-se por um laser de disco. Este tipo de laser apresenta uma boa combinação de características para o trabalho pretendido o que aliado às boas condições de aquisição e manutenção

oferecidas pelo fornecedor tornam-o assim na melhor opção para este projeto.

## Capítulo 2

# Desenvolvimento

### 2.1 Esquema de Princípios

No início do projeto, foi desenvolvido um esquema de princípio inicial. Ao longo do projeto, houve a necessidade de efetuar alterações devido a mudanças no modo de controlo dos componentes, resultando num Esquema de Princípio funcional e representativo das relações entre os componentes do nosso projeto, conforme ilustrado na Figura 2.1.

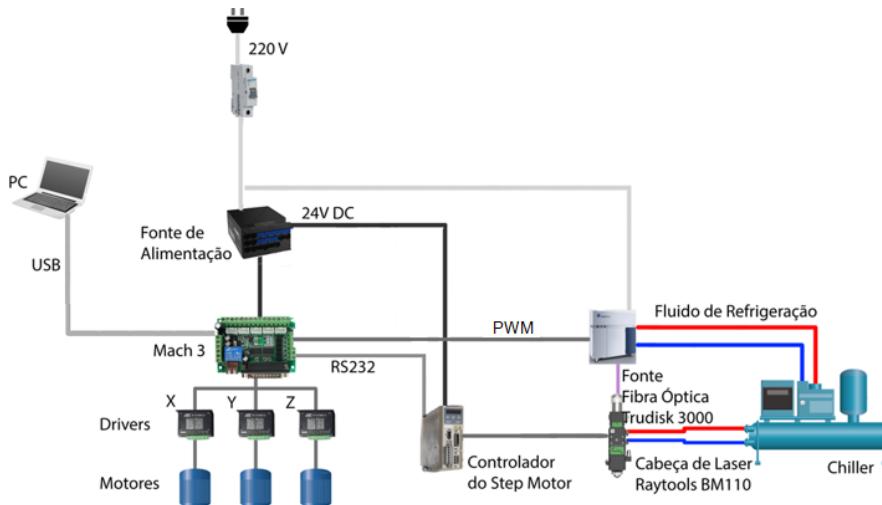


Figura 2.1: Esquema de Princípio

Começando a partir do computador, este equipamento controla toda a máquina de laser através de uma ligação USB para o Mach3. O Mach3 é o controlador de movimento do sistema, tem como alimentação 24V DC e controla as drives dos motores e controla a ligação com a fonte de laser através de uma ligação PWM. Ainda controla também o motor de foco da cabeça de laser. Esta cabeça recebe o fluxo do laser através de um cabo de fibra ótica da fonte a partir de uma interface QD ou Trumpf-LLK-D. A Fonte e a cabeça ainda quando estão em trabalho tem de ser refrigeradas a partir do chiller.

## 2.2 Controlo da Fonte de Laser

Para a seleção da fonte mais indicada para o nosso projeto fizemos uma investigação online que aliada aos conselhos de um fornecedor local nos fez optar pela fonte TruDisk 3000 6006 FD27. Após a escolha da fonte procedeu-se a sua compra, pelo que nos foi fornecida a sua documentação.

Ao analisar essa documentação percebemos que a fonte é controlada através de um software que possui vários menus que permitem ligar e desligar a fonte através de um interruptor, controlar os inputs e outputs digitalmente, uma interface que controla em tempo real a comunicação do software com o hardware através de Fielbus, além de outras interfaces opcionais como a "*Analog input AEF*".

Outra funcionalidade desta fonte é a sua função *plug and play* com a qual é possível reconhecer um componente previamente configurado, carregando assim a sua configuração, evitando que seja necessário configurá-lo novamente.

É de salientar também a presença de um menu de emergência que permite abortar qualquer função que o laser esteja a realizar com o objetivo de evitar acidentes. Para aumentar a segurança a fonte possui um circuito externo de segurança no qual é possível conectar diversos dispositivos como lâmpadas que indicam o estado de funcionamento do laser, lâmpadas de aviso e lâmpadas de emergência.

Por sua vez, a potência do laser é definida através do software, na coluna controle de energia, onde através dos parâmetros de potência do laser e duração do pulso se pode definir a sua intensidade. Se porventura a energia medida supere um limite definido pelo utilizador, aparece uma mensagem de monitoramento ou falha no ecrã e caso essa mensagem seja de falha o programa é interrompido de imediato. Por sua vez, se a energia for muito baixa deve-se a uma falha nas lâmpadas flash pelo que devem ser substituídas. Existe também um modo manual o qual permite que seja o usuário a definir em cada momento os parâmetros, forma e deslocação do pulso de laser através de uma interface física.

Devido a incompatibilidades logísticas foi-nos completamente impossível testar estas funcionalidades antes da entrega deste relatório, já que a fonte tem uma entrega esperada para dia dezasseis de junho, quatro dias após a data-limite de entrega deste relatório.

## 2.3 Controlo da Cabeça do Laser

## 2.4 Consumíveis da Cabeça do Laser

Durante o uso da cabeça de laser no processo de corte a laser, é necessário realizar manutenção periódica, que envolve a substituição de alguns componentes. Abordaremos a seguir os principais consumíveis (Figura 2.2), suas funções e o tempo de vida útil de cada um.

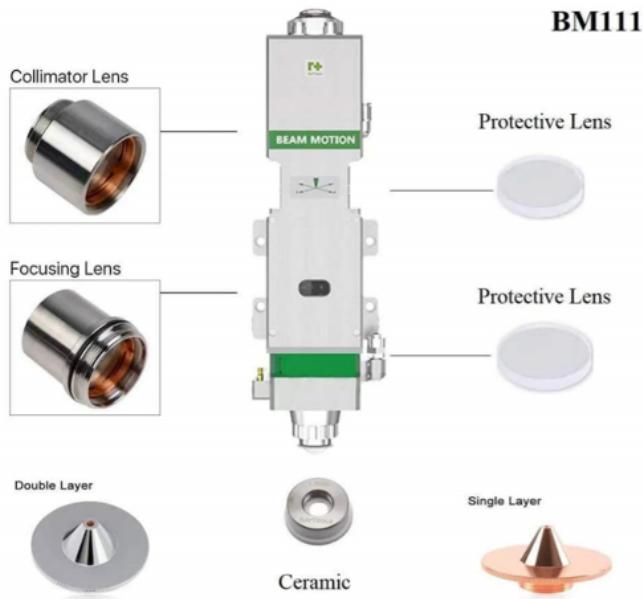


Figura 2.2: Consumíveis da Cabeça do Laser

#### 2.4.1 Lentes de proteção superiores e inferiores

Tempo de Vida Útil: 72-168 horas As lentes de proteção são componentes essenciais na operação de um sistema de corte a laser. Sua função principal é proteger as lentes de focalização e os espelhos de reflexão contra danos causados pelo feixe de laser e outros detritos. Além disso, as lentes de proteção também ajudam a manter a qualidade do feixe de laser, evitando distorções e perdas de energia.

Devido à exposição contínua ao feixe de laser, as lentes de proteção estão sujeitas a desgaste e contaminação. Com o tempo, elas podem acumular resíduos, manchas e riscos que afetam sua transparência e desempenho. Por essa razão, é necessário realizar uma manutenção adequada e substituir as lentes de proteção regularmente.

### 2.4.2 Lentes de Colimação

Tempo de Vida Útil: Sem Informação As lentes de colimação (*Collimator Lens*) desempenham um papel crucial no sistema de corte a laser. Essas lentes têm a função de transformar o feixe de laser em um feixe paralelo, ou seja, garantir que os raios de luz estejam paralelos entre si.

Essa colimação é importante para garantir a precisão e a consistência do feixe de laser ao longo de sua trajetória. As lentes de colimação também ajudam a controlar o diâmetro do feixe, o que é essencial para obter cortes precisos e de alta qualidade.

Assim como as lentes de proteção, as lentes de colimação também estão sujeitas a desgaste e contaminação ao longo do tempo embora seja muito menor o impacto. Devido à exposição ao feixe de laser e a possíveis partículas ou impurezas no ambiente de trabalho, as lentes de colimação podem acumular sujeira, manchas ou arranhões que afetam sua eficiência e desempenho.

O tempo de vida útil das lentes de colimação varia dependendo de vários fatores, como a potência do laser, a qualidade do feixe de entrada, a frequência de uso e as condições de trabalho. Em geral, é recomendado realizar inspeções regulares e limpeza das lentes de colimação. Se houver danos visíveis, desgaste excessivo ou redução na qualidade do feixe de saída, é necessário substituir as lentes de colimação.

É importante ressaltar que as lentes de colimação são componentes delicados e sensíveis. Portanto, é fundamental manuseá-las com cuidado durante a instalação, limpeza e substituição. Isso ajudará a manter a qualidade do feixe de laser e a prolongar a vida útil das lentes de colimação.

### 2.4.3 Lentes de Focalização

Tempo de Vida Útil: Sem Informação

A função principal das lentes de focalização é concentrar o feixe de laser em um ponto pequeno e focalizado. Isso é crucial para alcançar cortes precisos, com bordas limpas e alta qualidade. As lentes de focalização também ajudam a controlar a profundidade de campo e a densidade de energia do feixe de laser.

Quando sinais de desgaste significativo, arranhões profundos ou perda de qualidade do feixe de laser forem observados, é necessário substituir as lentes de focalização.

### 2.4.4 Conector Cerâmico

Tempo de Vida Útil: 2000-3600 horas

O conector cerâmico serve para conectar o *nozzle* à cabeça do laser. Na Figura 2.3 é representado a vista explodida da montagem deste componente.

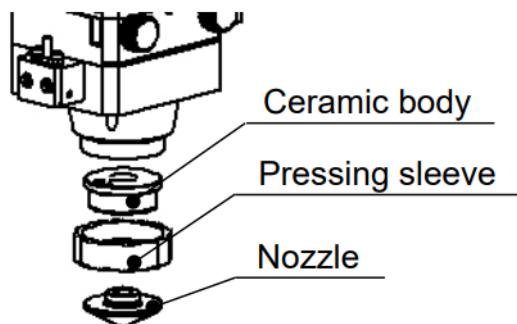


Figura 2.3: Vista Explodida da Montagem do Conetor e Bico

#### 2.4.5 Nozzle

Tempo de Vida Útil: 100-500 horas

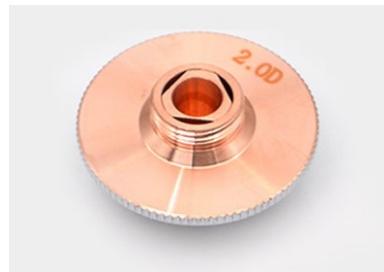
O *nozzle*, ou bico, é um componente importante da cabeça de fibra para corte de laser. Sua principal função é direcionar o jato de gás, geralmente oxigénio ou nitrogénio, para o ponto de corte da chapa metálica. O objetivo do *nozzle* é criar uma zona de alta pressão, que ajuda a manter o corte limpo e preciso.



Figura 2.4: Nozzle

A escolha do nozzle correto é fundamental para obter os melhores resultados no corte a laser. Existem diversos fatores a serem considerados, como o material da chapa, a espessura, a velocidade de corte e a potência do laser. Além disso, cada tipo de gás possui características diferentes, que influenciam na escolha do nozzle.

Existem dois tipos fundamentais de *nozzles*: *Single Nozzles* e *Double Nozzles*. Os *Single Nozzles* (Figura 2.5) são indicados para cortar alumínios, aços inóxidaveis e placas de cobre e normalmente são usados com gás de nitrógeno. Os *Double Nozzles* (Figura 2.6) são mais indicados para cortar aços-carbono e são utilizados com gás de oxigénio.

Figura 2.5: *Single Nozzle*Figura 2.6: *Double Nozzle*

#### 2.4.6 Quantidade Total de Consumíveis

Para este projeto, foram encomendados os consumíveis que possuem menor tempo de vida útil, como nozzles, lentes de proteção e conectores cerâmicos (Figura 2.7). É importante destacar que foram selecionados diferentes tipos de nozzles devido às diversas aplicações do laser em diferentes materiais e espessuras. No Anexo XX é apresentado o nozzle recomendado para cada tipo de material e espessura indicados.

Description of Goods	HS CODE	MATERIAL	USAGE	Unit quantity
Protective lens	9001909090	metal	for sample	10
Nozzles	8515900090	metal	for sample	16
Ceramic ring	8547100000	ceramic	for sample	2

Figura 2.7: Lista de Encomenda de Consumíveis

## 2.5 Projeto Elétrico

### 2.5.1 Análise das especificações técnicas do equipamento

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

### 2.5.2 Seleção de componentes elétricos

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

### 2.5.3 Esquema elétrico

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

## 2.6 Projeto Estrutural

### 2.6.1 Modelação 3D do Suporte do Laser

Como já existia uma modelação 3D da estrutura na qual o laser seria aplicado começamos por dimensionar o suporte no qual a cabeça seria aplicada. Para tal começamos por analisar sua estrutura de encaixe (figura 2.8).

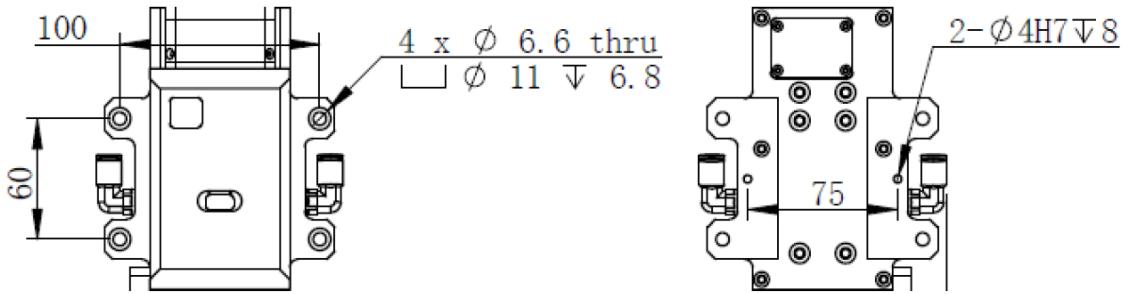


Figura 2.8: Dimensões e localização dos parafusos [9]

Seguidamente definimos a geometria e dimensões do suporte (figura 2.9) e modelamos a peça utilizando o software SolidWorks para que a peça possa ser maquinada utilizando uma máquina CNC.

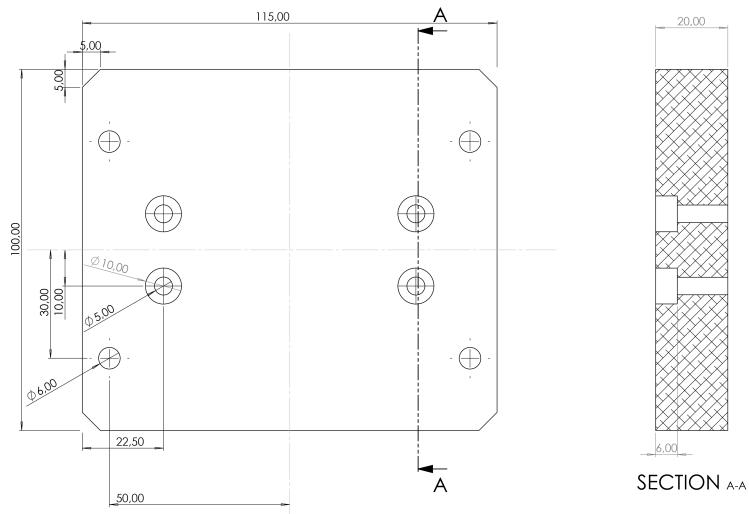


Figura 2.9: Dimensões e geometria do suporte do laser

### 2.6.2 Dimensionamento dos parafusos

Para o dimensionamento dos parafusos começamos por calcular a força suportada por cada parafuso, dividindo a força ( $m_{cabeca} = 3,5\text{kg}$ ) à qual o suporte está sujeita pelo número de parafusos que suportam o laser.

$$F_p = \frac{F_{cabeca}}{n_p} \quad (2.1)$$

$$F_p = \frac{34.335}{4} \Leftrightarrow F_p = 8.58N$$

Escolhemos o aço de alta resistência de classe 8.8 como o material dos parafusos calculando a resistência à tração e a tensão limite de elasticidade.

Começamos por calcular a tensão de rutura do parafuso multiplicando o primeiro algarismo da classe por 100 [10].

$$\sigma_{ub} = 8 \times 100 \Leftrightarrow \sigma_{ub} = 800MPa \quad (2.2)$$

Seguidamente calculamos a tensão limite multiplicando o decimal do segundo algarismo da classe pela tensão de rutura [10].

$$\sigma_{eb} = \frac{8}{10} \times 800 \Leftrightarrow \sigma_{eb} = 640MPa \quad (2.3)$$

Optamos por parafusos com um diâmetro nominal de 6 mm, visto que esse era o diâmetro existente no suporte do laser, pelo que cada parafuso tem a capacidade de suportar.

$$R_m = 800 \times \pi \times 3^2 \Leftrightarrow R_m = 22.62kN \quad (2.4)$$

$$R_{p0.2} = 640 \times \pi \times 3^2 \Leftrightarrow R_m = 18.10kN \quad (2.5)$$

Percebemos que os parafusos suportam as cargas aplicadas à tração. Quanto ao dimensionamento à fadiga o critério também é respeitado [11].

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{eb}} + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_{ub}}\right)^2 < 1 \quad (2.6)$$

$$\frac{201.60}{6.4 \times 10^8} + \left(\frac{201.60}{8 \times 10^8}\right)^2 = 3.15 \times 10^{-7}$$

$\sigma_a$ - amplitude de tensão de tração no parafuso [ $N/m^2$ ]

$\sigma_m$ -tensão de tração média no parafuso [ $N/m^2$ ]

$\sigma_{eb}$ - tensão limite de fadiga no parafuso [ $N/m^2$ ]

$\sigma_{ub}$ - tensão de rutura do parafuso [ $N/m^2$ ]

Optando assim por um parafuso de cabeça cilíndrica com oco hexagonal ISO 4762 – M6x45 – 8.8.

### 2.6.3 Simulação FEA

Realizamos a simulação FEA utilizando o software Solidworks. Com esse objetivo começamos por definir o material como alumínio, seguidamente definimos o tipo de encaixe do suporte a estrutura e por último definimos a malha para a análise.

A tensão de von Mises máxima é de  $7,270 \times 10^4 N/m^2$  e encontra-se no final da ligação aparaafusada.

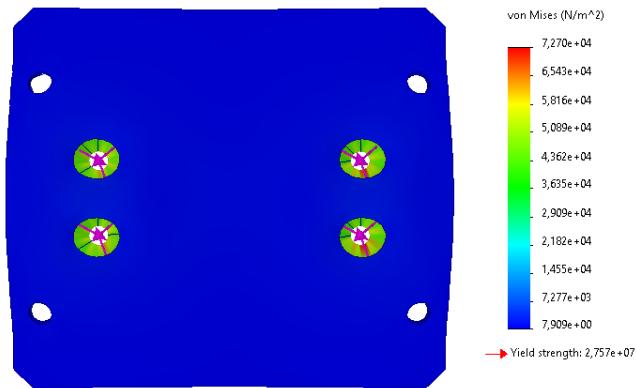


Figura 2.10: Tensão de von Mises à qual está sujeita o suporte

O deslocamento máximo que sofre o suporte são  $1,964 \times 10^{-6} mm$ , valor que não é significativo no contexto estudo.

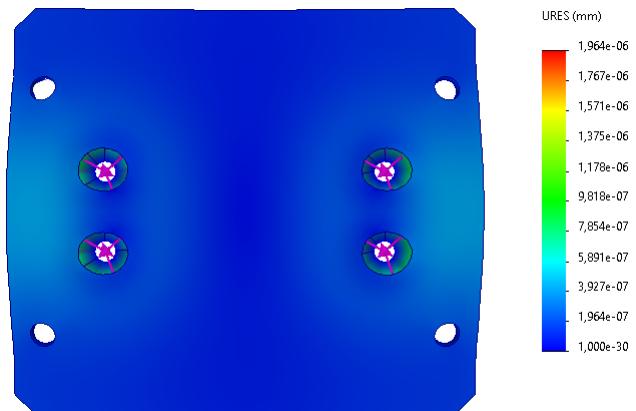


Figura 2.11: Deslocamento ao qual está sujeito o suporte

#### 2.6.4 Processos de fabrico e manufatura de componentes

Após ter definido o design e geometria da peça procedemos a sua manufatura. Para tal, começamos por obter o ficheiro G-Code através do software SolidWorks, para seguidamente maquinar a peça, tal como mostrado na figura 2.12.

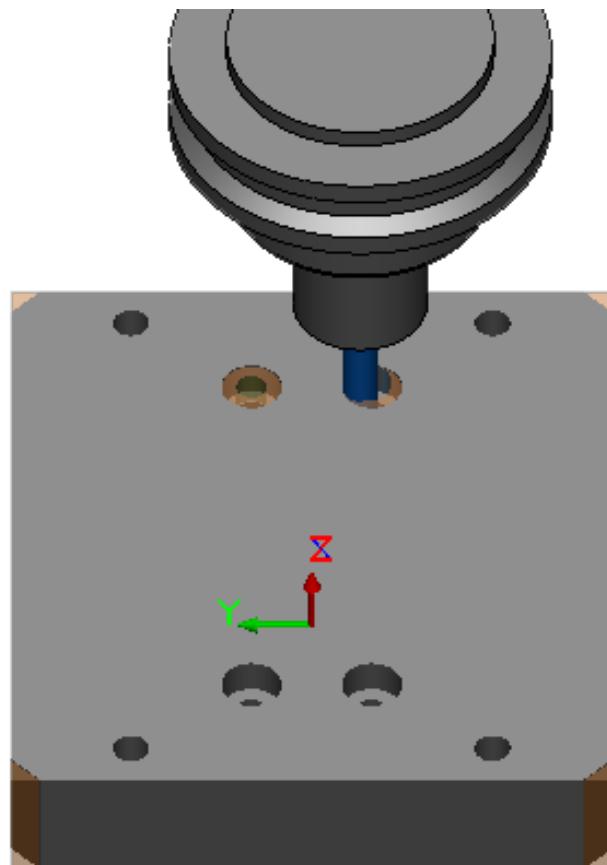


Figura 2.12: Direção e padrão de impressão do suporte laser

A aplicação do suporte apresenta a seguinte configuração esperada.

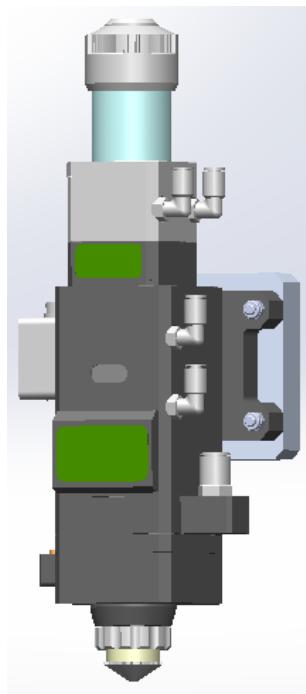


Figura 2.13: Demonstração da montagem da cabeça laser

Após o fabrico da peça obtivemos a seguinte montagem.



Figura 2.14: Montagem da cabeça do laser utilizando a peça projetada

## 2.7 Projeto de Desenvolvimento de Software

O programa foi criado utilizando a linguagem Visual Basic do Visual Studio com o propósito de atuar como uma interface para o Mach3 e para o controle do laser. É possível encontrar o projeto em Visual Studio no seguinte link do GitHub:

[https://github.com/jorgeedribeiro2001/psa\\_laser\\_program](https://github.com/jorgeedribeiro2001/psa_laser_program)

### 2.7.1 Pré-Requisitos

Para garantir o correto funcionamento do programa, é necessário ter uma conexão à internet para garantir a conexão com o servidor da *Azure*. Não é necessário instalar o “*SQL Server 2022 Express*” para a base de dados, pois a integração com o *Azure* pode ser feita por meio de serviços de banco de dados oferecidos pela plataforma. A *Azure* oferece diversos serviços de banco de dados gerenciados, como o *Azure SQL Database*, que pode ser utilizado para armazenar e gerenciar os dados do programa. Esses serviços são acessados por meio de uma conexão à internet, eliminando a necessidade de instalar um banco de dados localmente. Portanto, para utilizar a base de dados com o programa, basta garantir uma conexão estável com a internet para se conectar ao servidor da *Azure*.

Após a instalação do Mach3, alguns procedimentos adicionais são necessários para garantir o seu correto funcionamento. Siga os passos a seguir:

1. Verifique se o *ActiveX* está em execução nos Serviços do Windows.
2. Encontre a pasta de instalação do Mach3 e execute o arquivo *mach3.reg*.  
Isso ajudará a configurar corretamente o Mach3 no sistema.
3. Execute o Mach3 como administrador para garantir que todas as permissões necessárias estejam concedidas.

É importante observar que o Mach3 deve estar sempre aberto em segundo plano para que o programa funcione adequadamente.

Pode configurar o *SQL Server* para incluir a base de dados fornecida na pasta de instalação designada por “*data\_server.mdf*” como um método de backup. Dessa forma, caso a base de dados alojada no *Azure* fique indisponível, terá um método alternativo. Se estiver a trabalhar com o projeto no Visual Studio, basta clicar com o botão direito do rato sobre esse ficheiro na raiz do programa para aceder. Certifique-se de manter esse backup atualizado para garantir a disponibilidade dos dados em caso de falhas no servidor da *Azure*.

Lembre-se de que essas instruções são gerais e podem variar dependendo do sistema operacional e das versões específicas dos programas.

### 2.7.2 Identificação de funcionalidades

Este programa apresenta as seguintes funcionalidades incorporadas:

1. Modo de controlo manual para o Laser:

- Permite ajustar manualmente as configurações do equipamento em tempo real.

2. Registo de horas de utilização do laser e dos utilizadores:

- Armazenado em uma base de dados SQL alojada na nuvem do Microsoft Azure.
- Melhora o controlo da manutenção do equipamento e a gestão dos utilizadores.

3. Ferramenta de transmissão de vídeo ao vivo:

- Permite acompanhar o processo de corte em tempo real facilitando a monitorização e a realização de ajustes durante o trabalho.

4. Base de dados para armazenamento de programas gerados pelos utilizadores:

- Permite carregar os programas novamente para continuar o trabalho posteriormente aumentando assim a produtividade ao economizar tempo na reconfiguração.

5. Histórico de cada utilizador:

- Permite ao administrador visualizar todas as etapas realizadas por cada trabalhador permitindo assim o controlo de qualidade do trabalho realizado.

6. Adição de templates com retângulos com raios nas pontas, slots e furos:

- Possibilidade de criar padrões nos eixos x e y nos furos aumentando assim a flexibilidade e agilidade na criação de projetos.

Essas funcionalidades aprimoraram a eficiência e a praticidade do sistema de controlo do Laser, resultando em um melhor controlo e gestão dos trabalhos realizados, além de aumentar a produtividade e a qualidade do trabalho.

### 2.7.3 Organização do Programa / Interface

O programa está subdividido por vários *Forms*, sendo a estrutura ser apresentada na Figura 2.15.

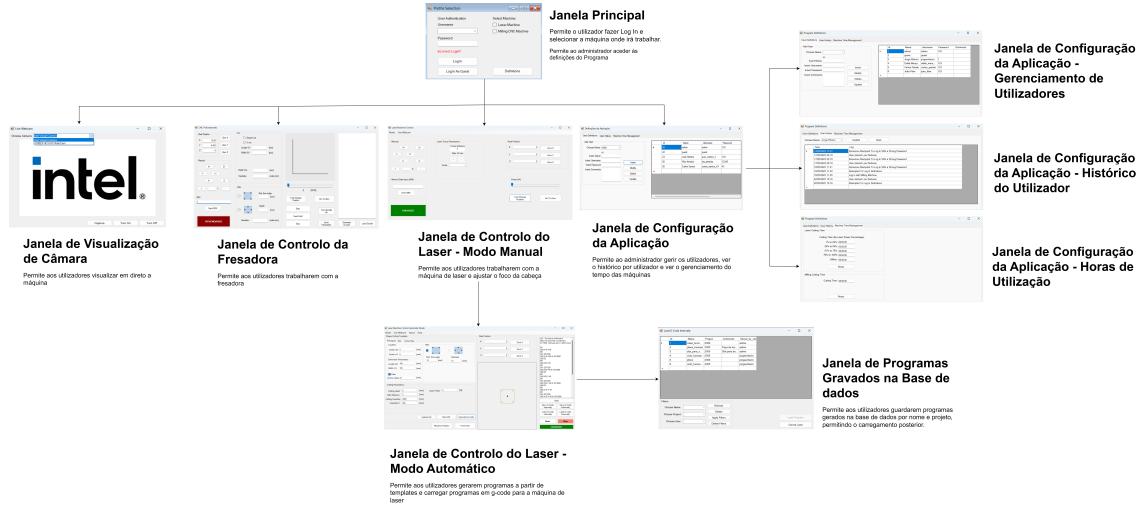


Figura 2.15: Estrutura do Programa

### Janela Inicial

Esta é a janela de abertura do programa, na qual o utilizador pode autenticar-se ou entrar como externo e selecionar o tipo de máquina com a qual irá trabalhar. Esta janela ainda permite acceder ás definições da aplicação. O visual da janela pode ser observado na Figura 2.16.

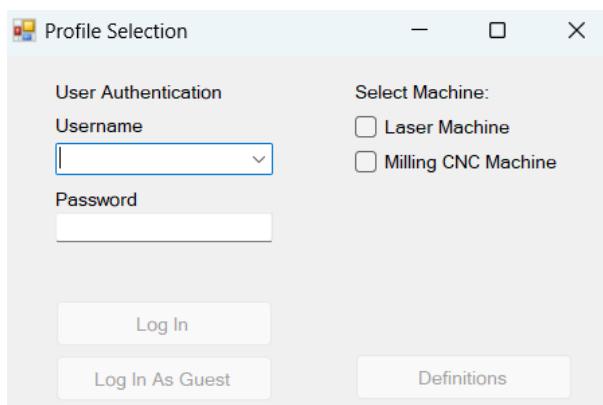


Figura 2.16: Janela Inicial do Programa

## Janela de Definições da Aplicação

Essa janela permite gerir os utilizadores, verificar o histórico por utilizador e visualizar o tempo total de utilização do laser e da fresadora.

Para aceder a esta janela, o utilizador precisa autenticar-se como administrador. Para tal, basta selecionar na Janela Inicial (Figura 2.16) o nome de utilizador "admin" e a palavra-passe "123" e, em seguida, clicar em "*Definitions*".

Nesta janela são apresentadas três páginas: "*User Definitions*", "*User History*" e "*Machine Time Management*". Na página "*User Definitions*" (Figura 2.17), o administrador tem a possibilidade de adicionar, apagar ou modificar utilizadores da aplicação. Na página "*User History*" (Figura 2.18), o administrador pode consultar todo o histórico das ações realizadas pelos utilizadores na aplicação. Já na página "*Machine Time Management*" (Figura 2.19), o administrador pode verificar o tempo decorrido para cada intervalo de percentagem de potência do laser e o tempo de trabalho da fresadora, permitindo assim um melhor controlo na manutenção. O administrador tem também a opção de reiniciar o tempo a qualquer momento.

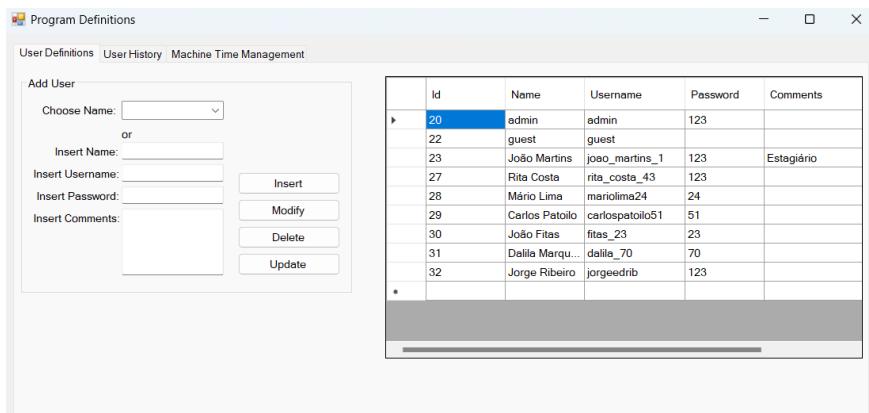


Figura 2.17: Janela de Definições: Página de Definição de Utilizadores

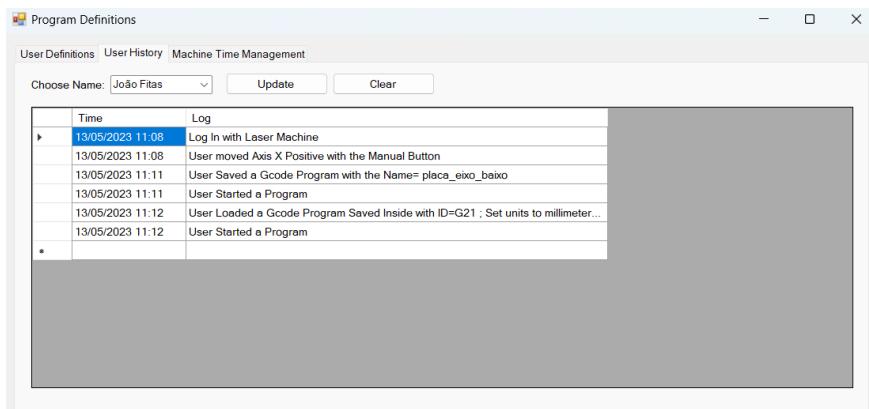


Figura 2.18: Janela de Definições: Página de Histórico

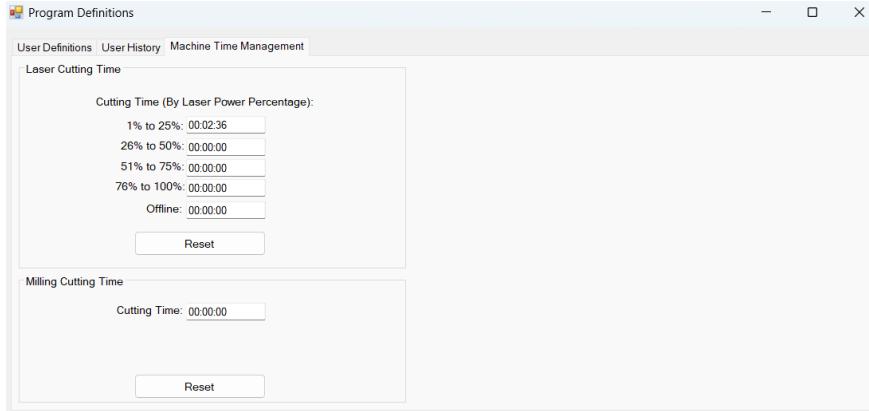


Figura 2.19: Janela de Definições: Página de Gerenciamento do Tempo

### Janela de Controlo da Fresadora CNC

Esta janela (Figura 2.20) foi aproveitada de um trabalho anterior, havendo apenas pequenas alterações, como a adição de registo de histórico, um temporizador para guardar o tempo e um botão para aceder à câmara de vídeo.

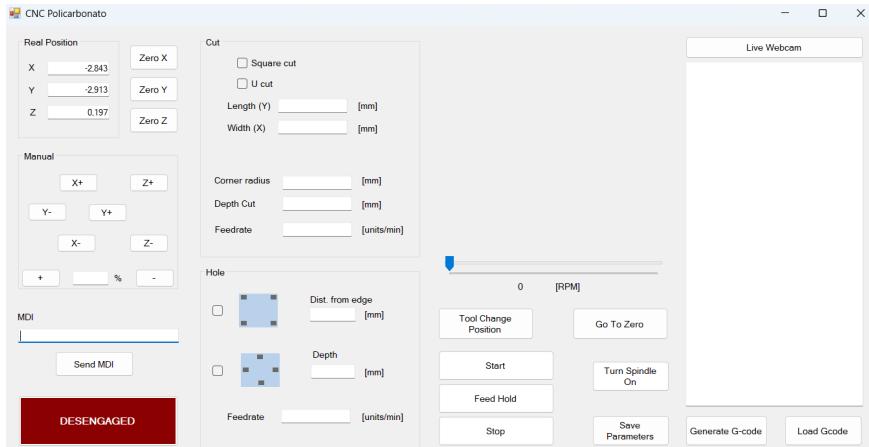


Figura 2.20: Janela de Definições: Página de Controlo da Fresadora CNC

### Janela de Controlo da Máquina de Laser - Modo Manual

Esta janela (Figura 2.21) proporciona ao utilizador a capacidade de deslocar os eixos da máquina, além de permitir o ajuste do foco do motor da cabeça do laser em incrementos que variam de 0.001 mm a 1 mm. Para realizar essa operação, o utilizador só precisa selecionar o tamanho do incremento desejado e, em seguida, utilizar um simples clique para realizar o deslocamento, seja na direção positiva ou negativa.

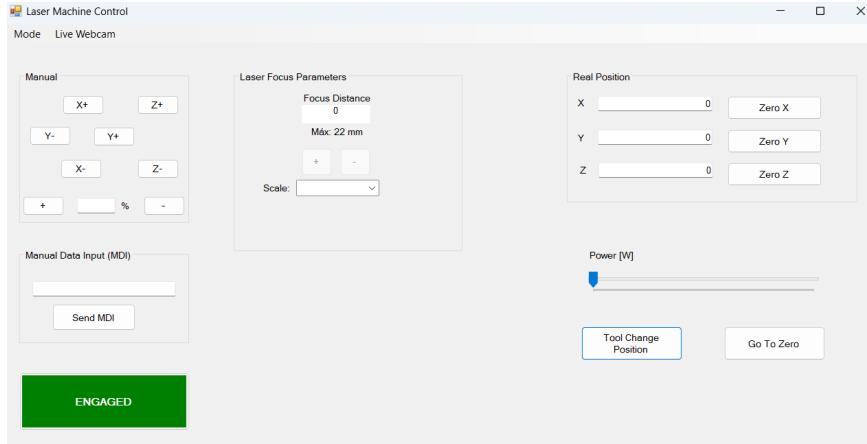


Figura 2.21: Janela de Definições: Página de Controlo da Máquina de Laser - Modo Manual

### Janela de Controlo da Máquina de Laser - Modo Automático

Esta janela (Figura 2.22) é a mais complexa de todas, pois oferece ao utilizador uma ampla gama de funcionalidades. Além de permitir o carregamento de programas para o mach3, ela também possibilita a criação de programas a partir de templates.

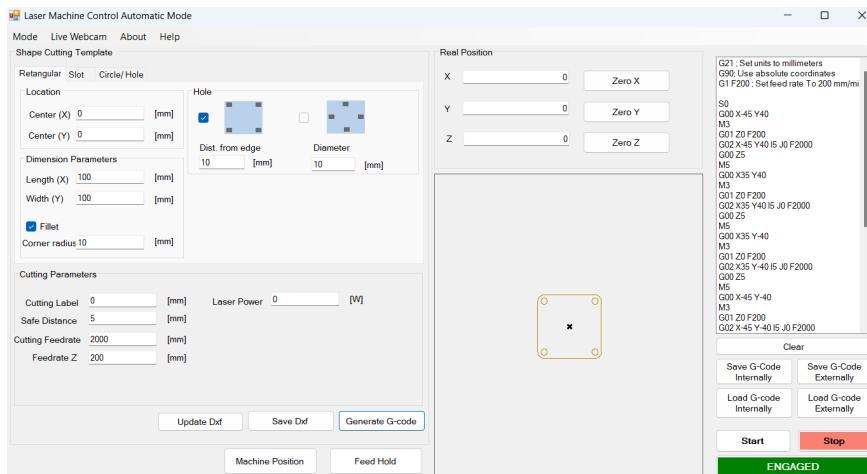


Figura 2.22: Janela de Definições: Página de Controlo da Máquina de Laser - Modo Automático

### Janela de Programas Gravados na Base de Dados

Esta janela (Figura 2.23) oferece a funcionalidade de visualização dos programas gravados, permitindo ao utilizador filtrar por projeto, utilizador que realizou o armazenamento e nome. Além disso, é possível fazer o carregamento posterior desses programas para o Mach3.

	Id	Name	Project	Comments	Saved_by_User
▶	1	caixa_furos	2306		admin
	2	placa_furacao	2305	Peça de mo...	admin
	3	slot_para_v...	2305	Slot para de...	admin
	4	ciclo_furacao	2305		jorgeeribeiro
	5	placa	2306		jorgeeribeiro
*	6	ciclo_fureca...	2305		jorgeeribeiro

Figura 2.23: Janela de Programas Gravados na Base de Dados

#### 2.7.4 Base de Dados

Foi essencial criar uma base de dados para o programa, uma vez que é necessário armazenar informações dos utilizadores, seu histórico e os programas salvos.

Neste projeto, optamos por utilizar uma base de dados SQL hospedada em um servidor da Microsoft Azure, permitindo o uso sincronizado da aplicação em qualquer computador. Além disso, decidimos criar uma segunda base de dados que será anexada à raiz do programa, para garantir uma opção alternativa no caso de encerramento do serviço. Para isso, bastará apenas modificar o caminho da base de dados no projeto do Visual Studio.

Decidiu-se fazer um diagrama de dependências funcionais (DFD) com o objetivo de normalizar a base de dados. O DFD é uma representação gráfica que identifica as dependências entre os atributos de uma tabela, auxiliando no processo de normalização.

A normalização é um conjunto de técnicas para organizar dados e reduzir redundâncias. Visa eliminar anomalias, inconsistências e melhorar a integridade dos dados. Ao criar um DFD, identificam-se relações entre atributos e a melhor forma de organizar tabelas, evitando duplicação desnecessária de dados. Resulta em uma base de dados mais eficiente para armazenar, recuperar e manipular informações.

A Figura 2.25 representa o diagrama de dependências funcionais.

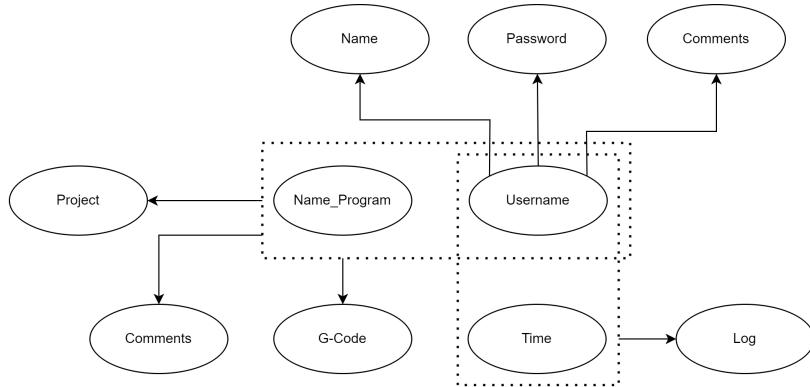


Figura 2.24: Diagrama de Dependências Funcionais

Verifica-se que a relação universal  $R(\text{Username}, \text{Time}, \text{Name}, \text{Password}, \text{Comments}, \text{Log}, \text{NameProgram}, \text{Project}, \text{Comments}, \text{G-Code})$  não está normalizada porque os determinantes da relação não são chaves candidatas da relação logo, segue-se a normalização.

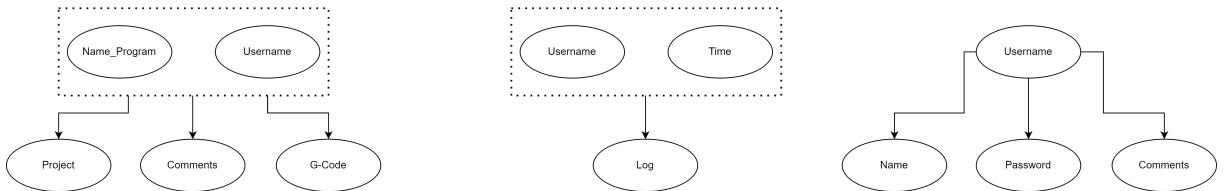


Figura 2.25: Diagrama de Dependências Funcionais de Sub-Relações Normalizado

Pode-se afirmar que agora que todas as sub-relações estão normalizadas. De seguida criou-se as tabelas necessárias: Para a primeira sub-relação, table\_gcode\_programs, para a segunda sub-relação, user\_history e a terceira, table\_users.

## 2.8 Ensaios e demonstração de funcionalidades

### 2.8.1 Demonstração da Aplicação

Para testar o motor de foco no interior da cabeça laser foi necessário conectar os cabos de controlo do motor ao controlador deste. Devido á funcionalidade do motor possuir um encoder foi possível testar com sucesso o que havia sido feito numa das aulas práticas com a versão miniatura do laser, sendo que nesta versão não tínhamos acesso a um encoder. Assim foi possível ajustar-se a posição de foco tendo-se observado o movimento da escala que se encontra na face frontal da cabeça laser.

De seguida procedeu-se á configuração dos inputs recebidos dos sensores dos limites de foco da cabeça, havendo então dois, um limite superior e um limite inferior que se conectou ás entradas input 1 e 2 do mach3 de forma a poder-se controlar de forma segura o foco.

### 2.8.2 Demonstração do Movimento dos Eixos e Motor de Foco

  Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

### 2.8.3 Demonstração do Controlo da Fonte do Laser

  Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

## **Capítulo 3**

# **Conclusão e Trabalho Futuro**

Em conclusão, podemos afirmar que todos os objetivos deste projeto foram alcançados com sucesso. A máquina de corte laser construída é capaz de cortar chapas de aço e policarbonato de forma eficiente e precisa, atendendo às demandas do setor de fabricação de quadros elétricos.

Além disso, este projeto permitiu aprofundar os nossos conhecimentos na utilização do software EPLAN para a realização de projetos elétricos, bem como na área da análise estrutural e simulação FEA. O nosso nível de programação em Visual Basic também melhorou, o que nos permite desenvolver aplicações mais avançadas e personalizadas no futuro.

Destaca-se também a importância de ter tido contacto com o ambiente de trabalho existente no chão de fábrica, o que nos proporcionou uma visão mais ampla sobre as necessidades e desafios enfrentados pelas empresas do setor. Este projeto foi um grande desafio, mas permitiu-nos aplicar os conhecimentos teóricos aprendidos na sala de aula em um ambiente prático e real.

Como referido anteriormente, devido à data de entrega de alguns componentes não nos foi possível montar todos os componentes e testar o funcionamento real do sistema de corte, pelo que os trabalhos futuros para a conclusão deste projeto passarão pela integração da fonte laser e demonstração das suas funcionalidades.

Considerando tudo isso, com este projeto adquirimos experiência e habilidades importantes que serão de vital importância no nosso futuro laboral.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

# Anexo 1 - Projeto estrutural

Exemplo de anexo. Nem todos os projetos o contemplarão.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

## **Anexo 2 - Projeto elétrico**

Exemplo de anexo. Nem todos os projetos o contemplarão.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

## **Anexo 3 - Diagramas de programação**

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

## **Anexo ... -**

Outros eventuais anexos

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

# Referências

- [1] Jeff Hecht. «A short history of laser development». Em: *Appl. Opt.* 49.25 (set. de 2010), F99–F122. doi: 10.1364/AO.49.000F99. URL: <https://opg.optica.org/ao/abstract.cfm?URI=ao-49-25-F99>.
- [2] G Írsel e BN Güzey. «Comparison of laser beam, oxygen and plasma arc cutting methods in terms of their advantages and disadvantages in cutting structural steels». Em: *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 2130. 1. IOP Publishing. 2021, p. 012022.
- [3] Vinicius Geraldo de Lima et al. «Design de uma máquina de corte a laser que utiliza da tecnologia cnc com materiais de baixo custo». Em: (2018).
- [4] Matheus Borges Dias. «Proposta de desenvolvimento de uma máquina de corte a laser para facilitar a prototipagem». Em: (2015).
- [5] Karel Kellens et al. «Energy and resource efficiency of laser cutting processes». Em: *Physics Procedia* 56 (2014), pp. 854–864.
- [6] Flemming O Olsen. «Laser cutting from CO<sub>2</sub> laser to disc or fiber laser—possibilities and challenges». Em: *International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics*. Vol. 2011. 1. Laser Institute of America. 2011, pp. 6–15.
- [7] A. Kratky, D. Schuöcker e G. Liedl. «Processing with kW fibre lasers: advantages and limits». Em: *XVII International Symposium on Gas Flow, Chemical Lasers, and High-Power Lasers*. Ed. por Rui Vilar et al. Vol. 7131. International Society for Optics and Photonics. SPIE, 2009, pp. 493–504. doi: 10.1117/12.816655. URL: <https://doi.org/10.1117/12.816655>.
- [8] J Powell e AFH Kaplan. «A technical and commercial comparison of fiber laser and CO<sub>2</sub> laser cutting». Em: *International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics*. Vol. 2012. 1. Laser Institute of America. 2012, pp. 277–281.
- [9] *BT240 Product Manual*. [https://storage.by.prom.st/276905\\_raytools\\_bt240s.pdf](https://storage.by.prom.st/276905_raytools_bt240s.pdf). Accessed: 2023-03-11.
- [10] S. Morais. *Desenho Técnico Básico 3*. Vol. 26. PORTO EDITORA, 2017.
- [11] A. M. Godinho Completo e F. J. Malheiro Queirós de Melo. *Introdução ao Projeto Mecânico*. Vol. 2. ENGEBOOK, 2019.