



Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Otimização do processo produtivo de um equipamento de corte a laser

Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Especialização em Construção e Manutenção de
Equipamentos Mecânicos

Autor

André Miguel Oliveira Marques

Orientadores

Luis Manuel Ferreira Roseiro

Raquel Almeida de Azevedo Faria



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, maio de 2025

RESUMO

A crescente competitividade no setor da mobilidade sustentável, particularmente na produção de quadros para bicicletas elétricas, exige a otimização dos processos produtivos para garantir maior eficiência e inovação. Este é o caso da empresa 'Triangle's, que produz quadros em alumínio para bicicletas elétricas, com recurso a tecnologia de ponta no seu processo produtivo.

No contexto da produção de quadros pela 'Triangle's, identificou-se uma oportunidade de melhoria associada a um dos equipamentos de corte de tubo com recurso a tecnologia laser. Assim, foi definido como objetivo deste trabalho desenvolver e propor a otimização do processo produtivo de um equipamento de corte a laser existente na empresa, de modo a permitir o corte do tubo a 360°

Este trabalho apresenta uma revisão contextualizada da tecnologia de corte a laser, abordando os princípios fundamentais, os diferentes tipos de laser disponíveis e as suas aplicações industriais. Descreve também uma avaliação dos materiais resistentes ao corte a laser, permitindo selecionar a opção mais eficaz para garantir a segurança e durabilidade da estrutura em ambiente fabril.

Posteriormente, são apresentadas várias hipóteses de solução para o desafio em estudo, sendo realizada uma análise sistemática das soluções possíveis, que culmina na seleção e desenvolvimento da abordagem mais adequada. O projeto do sistema de rotação e suporte, inclui a seleção de componentes móveis e o estudo analítico e numérico do veio estrutural, o qual assume primordial relevância no contexto desta solução.

Este trabalho contribui para a evolução da tecnologia de corte a laser na indústria das duas rodas, propondo uma solução inovadora e aplicável ao processo de fabrico atual.

Palavras-chave: Indústria das duas rodas, bicicletas elétricas, otimização de processos, corte a laser, inovação industrial

ABSTRACT

Increasing competitiveness in the sustainable mobility sector, particularly in the production of frames for electric bicycles, requires optimizing production processes to ensure greater efficiency and innovation. Triangle's company, which produces aluminum frames for electric bicycles, is concerned with implementing cutting-edge technology in its production process.

In the context of frame production by Triangle's, an opportunity for improvement was identified associated with one of the tube-cutting equipment using Laser technology. Therefore, the objective of this work was defined as developing and proposing the optimization of the production process of the laser-cutting equipment existing in the company, allowing the tube to be cut in 360°.

This work presents a contextualized review of laser cutting technology, covering the fundamental principles, the different types of lasers available and their industrial applications. It also describes an evaluation of materials resistant to laser cutting, allowing you to select the most effective option to ensure the safety and durability of the structure in a factory environment.

Subsequently, several solution hypotheses are presented for the challenge under study, and a systematic analysis of possible solutions is carried out, which culminates in the selection and development of the most appropriate approach. The project includes the design of a rotation and support system, which includes the selection of mobile components and the analytical and numerical study of the structural axis, which assumes primary relevance in the context of this solution.

This work contributes to the evolution of laser cutting technology in the two-wheel industry, proposing an innovative solution applicable to the current manufacturing process.

Keywords: Two-wheel industry, electric bicycles, process optimization, laser cutting, industrial innovation

Keywords: E-bike industry, electric bicycles, process optimization, laser cutting, industrial innovation

AGRADECIMENTOS

No decorrer do meu percurso académico, sempre tive o apoio de inúmeras pessoas que contribuíram, não só para o meu bem-estar a todos os níveis como também para o meu sucesso académico. Gostaria de agradecer aos meus pais Nuno Marques e Ana Oliveira que sempre me apoiaram e me providenciaram todos os meios necessários para levar avante esta fase da minha vida, e me ouviram e compreenderam todas as minhas dificuldades, gostaria de agradecer também à minha tia Fernanda Marques que me deu uma casa em Coimbra durante estes 5 anos, aos meus colegas de curso nomeadamente ao Paulo Martinho, Pedro Esperança, Tiago Dias e Constança Ribeiro, que sempre estiveram para os bons e maus momentos. Agradeço também à empresa Triangle's por me providenciar todos os meios necessários para a realização deste projeto e por acreditar nas minhas capacidades, nomeadamente ao meu chefe João Reis que orientou este projeto dentro da empresa dando sempre todo o apoio que precisei para a realização do mesmo tanto a nível profissional como a nível pessoal, agradeço também a minha equipa de projeto que contribuiu a todos os níveis para a realização do mesmo. Um especial obrigado a uma amiga, que me acompanhou desde o início e nunca me deixou desistir mesmo parecendo impossível, tendo assim contribuído para o meu sucesso académico e pessoal. A todos que de alguma forma, por mais pequena que seja, fizeram parte deste percurso um grande obrigado.

ÍNDICE

Resumo	i
<i>Abstract</i>	ii
Agradecimentos	iii
Índice.....	iv
Índice de Tabelas	vi
Índice de Figuras	vii
Lista de Siglas e Acrónimos.....	ix
Lista de Símbolos.....	x
1 Introdução	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 A Triangle's.....	1
1.3 Objetivos	2
1.4 Estrutura do relatório	3
2 Enquadramento.....	4
2.1 Enquadramento teórico.....	4
2.1.1 O corte a laser.....	4
2.1.2 Tipos de lasers.....	6
2.1.3 Desenvolvimento tecnológico	8
2.1.4 Aplicações industriais.....	10
2.1.5 Materiais resistentes ao corte a laser	12
2.2 Estado da Arte.....	13
2.2.1 Tipos de máquinas disponíveis no mercado	14
3 Caso de estudo	17
3.1 Corte a laser na Triangle's	17
3.2 Identificação do problema	19
3.3 Contextualização do problema com a realidade de produção	19
3.4 Soluções possíveis	21
3.4.1 Análise das soluções.....	22
3.4.2 Matriz de seleção da solução.....	23
3.5 Solução selecionada.....	26
3.5.1 Sistema de rotação.....	27

*Otimização do processo produtivo de um
equipamento de corte a laser*

3.5.2	Sistema de suporte externo	32
3.5.3	Sistema de suporte interno	34
3.6	Estudo numérico do veio de rotação	35
3.7	Seleção do material resistente ao corte a laser	45
4	Conclusões e proposta de trabalhos futuros	47
Referências bibliográficas		49
Anexos		51
Anexo A – Capacidade de corte Laser Next 1530		51
Apêndices		52
Apêndice A – Simulação com a malha de menor dimensão (3mm)		52
Apêndice B – Simulação com a malha de maior dimensão (8 mm).....		53
Apêndice C – Desenhos técnicos 2D dos componentes da estrutura.....		54

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Análise de vantagens e desvantagens de cada solução	23
Tabela 3.2 - Classificação ponderada de critérios.....	25
Tabela 3.3 - - Características mecânicas do aço AISI 1045 (Fonte: Triangle's).....	37
Tabela 3.4 – Variação do deslocamento máximo em função da dimensão da malha – estudo de convergência	43
Tabela 3.5 - Capacidade de corte Laser Next 1530 (Fonte -Prima Power).....	46
Tabela 3.6 – Refletividade e condutividade térmica do cobre e do aço ao carbono (Isabel & Sá, 2017).....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Funcionamento do corte a laser (Ferreira, 2024).....	6
Figura 2.2 – Visualização dos 5 eixos da máquina de corte a laser (Wrights Plastics, 2019).....	15
Figura 2.3 - Sistema de inclinação da área de trabalho Ciclo Fapril (Fonte: Ciclo Fapril)	16
Figura 3.1 - Prima Power Laser Next Evo LN1530 (Prima Power, 2024).....	17
Figura 3.2 – Visualização 3D do equipamento laser em estudo, com detalhe na área de carregamento de peças e área de trabalho	18
Figura 3.3 - Mesa Rotativa.....	18
Figura 3.4 - Quadro e DT TEN24	19
Figura 3.5 - Posições de corte atuais	20
Figura 3.6 - 1ª posição de corte e os cortes efetuados	20
Figura 3.7 - 2ª posição de corte.....	20
Figura 3.8 - Posição de corte para 1ª solução.....	21
Figura 3.9 - Posição de corte para a 4ª solução.....	22
Figura 3.10 - Fluxograma matriz de seleção.....	24
Figura 3.11 - Estrutura desenvolvida para o corte a laser, sistema de rotação, sistema de suporte interno, sistema de suporte externo.....	26
Figura 3.12 - Jig standard utilizado no corte a laser, e placa de interface	27
Figura 3.13 - Posição inicial de corte do tubo.....	27
Figura 3.14 - Sistema de rotação.....	28
Figura 3.15 - Chumaceira PDRC20	28
Figura 3.16 - Cilindro de rotação 1845714 DRVS-16-180-P	29
Figura 3.17 - Engate veio cilindro	31
Figura 3.18 – a) Batente desbloqueado, b) Batente bloqueado.....	31
Figura 3.19 - Sistema de suporte exterior	32
Figura 3.20 - 1ª posição de corte.....	32
Figura 3.21 - 2ª posição de corte.....	33
Figura 3.22 - Suportes em posição de rotação	33
Figura 3.23 - Suporte externo em posição de corte	34
Figura 3.24 - Posicionamento pelo batente.....	34

Figura 3.25 - Sistema de suporte interno	35
Figura 3.26 – a) Sistema em atuação, b) Sistema em posição de recuo	35
Figura 3.27 - Modelo 3D com visualização das solicitações ao veio (dimensões em mm)	36
Figura 3.28 – Estrutura simplificada	37
Figura 3.29 – Diagrama de corpo livre do veio	37
Figura 3.30 – Diagrama de esforços cortantes (N)	38
Figura 3.31 – Diagrama de momentos fletores (N)	38
Figura 3.32 – Diagrama utilizado no cálculo do deslocamento (dimensões em mm)	40
Figura 3.33 – Diagrama com a ação do momento fletor.....	40
Figura 3.34 – Diagrama com a ação da força vertical.....	40
Figura 3.35 – Representação do elemento tetraédrico parabólico com 10 nós (Bashkirov et al., 2021).....	42
Figura 3.36 - Estrutura simplificada para o estudo	42
Figura 3.37 - Estrutura com malha de 8 mm	43
Figura 3.38 - Distribuição das tensões equivalentes de von Mises na malha de 8 mm	44
Figura 3.39 – Distribuição de deslocamentos resultantes na malha de 8 mm	44
Figura 3.40 - Proteção do veio.....	45

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

Nd-YAG	Neodymium-doped yttrium aluminium garnet
CNC	Controlo Numérico Computorizado
CAD	Computer-aided design
DT	Down tube
SI	Sistema Internacional de Unidades
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymer
FEA	Finite Element Analysis

LISTA DE SÍMBOLOS

Alfabeto latino

f	Frequência [Hz]
t	Tempo [s]
I_{SR}	Momento de inércia da secção em rotação [kg m ²]
m	Massa [kg]
r	Raio [m]
I_{veio}	Momento inércia do veio [kg m ²]
$I_{componente}$	Momento inércia do componente [kg m ²]
I_{total}	Momento inércia total [kg m ²]
$T_{inercia}$	Binário devido ao momento inércia [N m]
T_{atr}	Binário gerado pelo atrito [N m]
$f_{estatico}$	Coefficiente atrito estático das chumaceiras
P_{total}	Peso total do veio [N]
r_c	Raio interior das chumaceiras [m]
T_{total}	Binário total [N m]
n	Coefficiente de segurança
$T_{cilindro}$	Binário do cilindro selecionado [N m]
P_T	Força exercida devido à massa do tubo [N]
P_E	Força exercida devido à massa da estrutura interior do tubo [N]
p	Pressão [bar]
F_{CL}	Força exercida devido a pressão de corte do equipamento [N]
A	Área da extremidade do corte a laser [m ²]
R_{Ay}	Reação de A em y [N]
R_{Ax}	Reação de A em x [N]
R_{By}	Reação de B em y [N]
F_T	Somatório de P_E , P_T e F_{CL} [N]
M_T	Somatório dos momentos gerados pelas forças P_E , P_T e F_{CL} [N m]

*Otimização do processo produtivo de um
equipamento de corte a laser*

EC	Esforços cortantes [N]
M_f	Momento fletor [N m]
M_{max}	Momento fletor máximo [N m]
c	Distancia do eixo neutro á fibra mais distante [m]
I	Momento inércia da secção transversal [m ⁴]
L	Comprimento da secção [m]
E	Módulo de young [GPa]

Alfabeto grego

ω	Velocidade angular [rad/s]
ω_f	Velocidade angular final [rad/s]
ω_i	Velocidade angular inicial [rad/s]
α	Aceleração angular [rad/s ²]
σ	Tensão máxima [Pa]
σ_c	Tensão de cedência [Pa]
δ	Deslocamento [m]
δ_{max}	Deslocamento máximo [m]

1 INTRODUÇÃO

Desde a sua fundação em 2015, a empresa Triangle's - Cycling Equipments S.A. tem-se destacado pela inovação e excelência na produção de quadros de alumínio para *e-bikes*, recorrendo a tecnologias avançadas e processos automatizados, sendo atualmente uma referência mundial. A configuração dos quadros envolve a utilização de tubo de alumínio, cortado com recurso a tecnologia laser. Este trabalho pretende contribuir para o aperfeiçoamento do processo de corte de tubo através de tecnologia laser atualmente em utilização nesta empresa.

1.1 Motivação

Com o aumento da competitividade no setor das duas rodas, especialmente na produção de quadros para bicicletas elétricas, tornou-se essencial otimizar os processos internos de produção de componentes. Atendendo à condição de colaborador da empresa Triangle's, e tendo em conta a identificação da necessidade de otimização do processo de corte a laser, foi proporcionada a possibilidade de realizar um trabalho de projeto com este enquadramento. Assim, a motivação deste trabalho passou por desenvolver e propor a otimização do processo produtivo de um equipamento de corte a laser existente na empresa, com o objetivo de permitir o corte a 360°.

1.2 A Triangle's

A Triangle's- Cycling Equipments S.A., fundada em 2015, emergiu como uma força motriz no cenário da produção de quadros em alumínio para *e-bikes*, posicionando-se na vanguarda da inovação e excelência no setor. Com uma abordagem visionária e um compromisso inabalável com a qualidade, a empresa tornou-se referência ao incorporar tecnologia de ponta no seu processo de fabrico.

Destacando-se como a única fábrica no mundo que recorre a um avançado processo de soldadura completamente robotizado na produção de quadros de bicicleta em alumínio, a Triangle's estabeleceu um padrão inigualável de automação e precisão. Com uma área coberta de aproximadamente 29.000 m², a empresa não apenas investe constantemente em novas áreas e capacidade industrial, mas também está comprometida em responder à crescente procura dos clientes e demais *stakeholders*.

A ambição da Triangle's é notável, almejando produzir um total de um milhão de quadros desde a sua criação até 2027. Para alcançar esse objetivo, a empresa planeia expansões significativas nas suas instalações fabris, mantendo-se fiel à adoção de tecnologias de vanguarda e processos inovadores.

O compromisso da Triangle's com a sustentabilidade e a mobilidade verde é evidente, não apenas nas suas metas ambiciosas, mas também na integração de diferentes processos industriais, como soldadura, CNC (Comando Numérico Computorizado), tratamento térmico, polimento e pintura. Essa abordagem holística pretende ir de encontro aos requisitos de cada cliente, oferecendo quadros de bicicleta que não apenas respondem, mas ultrapassam as expectativas.

A empresa não é apenas uma fabricante de quadros; é uma arquiteta da inovação. A Triangle's tem-se destacado ao posicionar-se como um parceiro comprometido com a satisfação do cliente e a sustentabilidade, recrutando profissionais que não apenas contribuem com propostas de valor, mas também apresentam soluções únicas.

A visão da Triangle's vai além de simplesmente produzir quadros de *e-bikes*. A empresa aspira redefinir os padrões do setor, combinando design e qualidade para impulsionar uma experiência única e inspiradora para todos aqueles que escolhem *e-bikes* com quadros fabricados pela Triangle's. (Triangles, 2024)

1.3 Objetivos

Este estudo tem como principal objetivo a otimização do processo produtivo associado a um equipamento de corte a laser existente na empresa. Para alcançar este propósito, foram definidas as seguintes etapas:

- Realizar uma análise detalhada do processo produtivo atual, com o intuito de identificar problemas e dificuldades existentes. Esta análise deve igualmente contemplar a definição dos objetivos que a nova solução deve cumprir, considerando tanto a perspetiva do projetista como a do utilizador final;
- Desenvolver um método estruturado para a seleção da solução mais adequada;
- Desenvolvimento da estrutura selecionada, incluindo uma avaliação rigorosa por parte do utilizador e do projetista, de modo a assegurar o cumprimento dos objetivos previamente definidos.
- Finalmente, é imprescindível validar estruturalmente a referida estrutura, fazendo uma análise estrutural de forma a garantir que se encontram reunidas as condições necessárias para a sua produção.

Este percurso metodológico assegura uma abordagem científica e sistemática para a implementação da solução proposta.

1.4 Estrutura do relatório

O presente relatório de projeto está dividido em quatro capítulos. No primeiro capítulo é feito um enquadramento do trabalho, descrevendo-se como surgiu a oportunidade de realizar este projeto, assim como os seus objetivos.

No segundo capítulo é feito um enquadramento teórico relativamente ao processo de fabrico e a tecnologia utilizada em contexto de fábrica.

No terceiro capítulo, apresenta-se uma descrição pormenorizada do problema, das soluções propostas e da escolha de uma solução. Descreve-se detalhadamente o desenvolvimento da solução, bem como a análise dos componentes da estrutura final, recorrendo ao método dos elementos finitos.

No quarto capítulo, apresenta-se uma conclusão final sobre o trabalho realizado e elencam-se as perspetivas de trabalhos futuros.

2 ENQUADRAMENTO

O presente capítulo apresenta o enquadramento teórico e contextual do projeto, cujo objetivo passa pela otimização do processo produtivo de um equipamento de corte a laser. Inicialmente, é realizado um enquadramento ao conceito de corte a laser, incluindo os fundamentos teóricos subjacentes, os diversos tipos de laser existentes e os avanços tecnológicos associados à sua evolução. Adicionalmente, são exploradas as principais aplicações industriais da tecnologia, com destaque para a sua versatilidade e eficiência em diferentes setores, bem como para os desafios impostos pelos materiais de elevada resistência ao corte a laser.

Posteriormente, é efetuada uma análise ao estado da arte no domínio dos equipamentos de corte a laser, abordando os diferentes tipos de máquinas disponíveis no mercado. Esta análise visa identificar as principais características técnicas e funcionais das soluções atualmente existentes, de forma a estabelecer uma base sólida que permita compreender as limitações e potencialidades a serem consideradas no desenvolvimento da solução proposta neste projeto.

2.1 Enquadramento teórico

2.1.1 O corte a laser

O laser, cuja sigla em inglês significa "*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*" (Amplificação de Luz por Emissão Estimulada de Radiação), é atualmente sinónimo de máxima eficiência e qualidade no processamento de materiais. O uso desta tecnologia revolucionou diversas indústrias devido à sua capacidade de realizar diversas operações com precisão e velocidade.

O feixe de laser, ao ser direcionado para a superfície do material, permite realizar diferentes ações, como corte, fusão, soldadura e até mesmo evaporar material. Isto é possível devido à capacidade única do laser de produzir feixes de luz altamente concentrados que carregam grandes quantidades de energia através de longas distâncias.

No processamento de metais, o feixe de laser pode atingir temperaturas extremamente elevadas na zona de incidência, permitindo um controlo preciso e eficiente do processo. Essa versatilidade e capacidade de trabalho em diversos materiais tornam o laser uma ferramenta fundamental em muitas indústrias, desde a fabricação de peças de precisão até à personalização de produtos em larga escala.

O laser tornou-se uma tecnologia fundamental em diversas áreas, onde se inclui a indústria aeroespacial, metalomecânica, naval e automóvel. Na construção naval, por exemplo, aproximadamente 40% a 50% do tempo gasto na construção de navios é dedicado à correção e remoção de distorções. O laser desempenha um papel crucial

Otimização do processo produtivo de um equipamento de corte a laser

nesse contexto, oferecendo precisão e eficiência no processo.(Brito Gonçalves & Gordo José, 2005)

O corte é uma das maiores aplicações do laser em indústrias que utilizam esse equipamento. A capacidade de realizar cortes com alta precisão a grandes velocidades, juntamente com a capacidade de ajustar as configurações sem contato físico com a peça, faz do laser a ferramenta ideal para o corte de chapas finas. Essa precisão é essencial, especialmente em setores onde tolerâncias apertadas e qualidade superior são requisitos fundamentais.

Além do corte, o laser também é usado em processos de soldadura, marcação, perfuração e tratamento superficial, contribuindo significativamente para a eficiência e qualidade nas operações industriais. A sua versatilidade e capacidade de automação tornam-no uma escolha valiosa em ambientes de produção modernos.

O princípio do corte a laser pode ser sumarizado do seguinte modo:

- Um feixe laser de alta intensidade é produzido na fonte;
- Este feixe é focado na superfície do material através de um sistema ótico;
- A mancha focal é geralmente muito pequena (0.1 a 0.2 mm de diâmetro), produzindo-se assim densidades de energia muito elevadas;
- Este feixe de elevada densidade aquece rapidamente o material na zona de interação, acima do seu ponto de fusão, em toda a espessura da peça;
- A injeção de gás coaxial pressurizado expelle o material fundido da zona de interação, obtendo-se a separação das suas partes;
- O deslocamento relativo do material e da fonte de energia permite gerar o corte.

O processo de corte a laser de estado gasoso envolve a emissão controlada de energia para excitar os eletrões presentes num gás, geralmente dióxido de carbono (CO₂). A excitação dos mesmos leva à formação de um feixe de luz concentrado. Este feixe é direcionado por meio de espelhos e lentes óticas concentrando-o num ponto focal. Nesse ponto, a intensidade é tão alta que o material é fundido, vaporizado ou removido, dependendo da sua natureza. O controlo preciso da potência do laser, e outros parâmetros, possibilita o corte preciso de uma variedade de materiais, tornando este método amplamente utilizado em várias indústrias.

O corte de metais por laser recorre ao uso do azoto ou do oxigénio.

O feixe é focado no local pretendido através de lentes, provocando a fusão do material, tal como ilustrado na Figura 2.1.

O gás assistido (diferente do gás usado como meio) é injetado co axialmente através do corte para remover o material acumulado.(Santos et al., 1993)

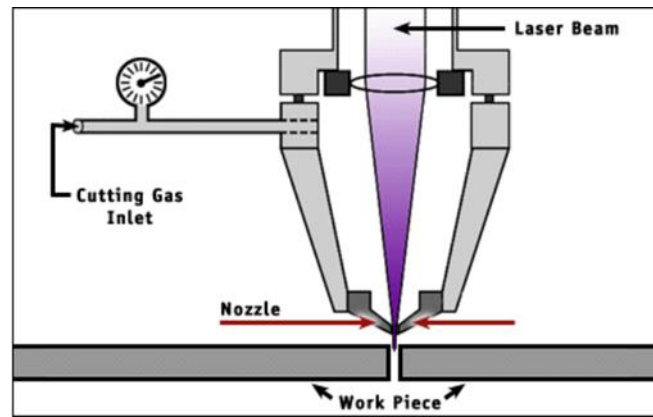


Figura 2.1 - Funcionamento do corte a laser (Petring, 2013)

2.1.2 Tipos de lasers

Atualmente na Triangle's para corte de tubos em alumínio é utilizado o corte a laser por fibra ótica, sendo este o utilizado neste projeto.

Na indústria do corte a laser, existem vários tipos de corte disponíveis, que são escolhidos de acordo com a sua aplicação específica. Esses tipos de corte a laser são selecionados conforme a utilização prevista, garantindo a adequação do método ao material e ao objetivo do processo. Estes incluem:

- Laser de CO₂

Utilizado principalmente para cortar materiais não metálicos e metais finos, o laser de dióxido de carbono (CO₂) é conhecido pela sua eficiência e capacidade de corte em alta velocidade. Este tipo de laser opera na faixa de comprimentos de onda de 10,6 micron. (Chryssolouris, 1991)

Funcionam com lentes que focam o feixe, permitindo feixes de potência superior em relação a outros tipos de laser, atingindo potências até 50 kW e oferecendo uma eficiência que varia entre 5 e 10%.

Em alguns sistemas, devido às altas potências produzidas, as próprias lentes são refrigeradas. O feixe produzido é de luz infravermelha, o que significa que não é visível ao olho humano. Por isso, é comum a troca para um feixe de baixa potência visível ao olho humano durante o processamento da peça, para o seu alinhamento.

Os raios laser de CO₂ são direcionados à peça através lentes. No entanto, os sistemas de corte tridimensionais disponíveis para lasers de CO₂ são relativamente mais limitados, quando comparados com outros tipos de lasers, devido à necessidade de sistemas de refrigeração, manutenção regular e profundidade de penetração limitada. Os lasers de CO₂ são mais frequentemente utilizados no corte horizontal deitado em duas dimensões.

O laser de CO₂ permite cortar aços até 40 mm e chapas de aço inoxidável até 32 mm de espessura.

Otimização do processo produtivo de um equipamento de corte a laser

Dentro dos sistemas de laser de CO₂ existem:

- Lasers de fluxo axial lento;
- Lasers de fluxo axial rápido.

Lasers de fluxo axial lento, foram os primeiros a ser aplicados industrialmente. Neste laser a mistura ativa flui na direção em que se dá a propagação do feixe. O calor excedentário é removido por condução através de um fluido de refrigeração. Estes tipos de lasers são caracterizados por uma baixa eficácia, exigindo assim grandes comprimentos de tubo. A potência máxima emitida é cerca de 60 W/m a 100 W/m.

Lasers de fluxo axial rápido são caracterizados pela alta velocidade a que o gás flui (cerca de 200 m/s) segundo o eixo de um tubo de pequeno diâmetro na direção de propagação do feixe. O arrefecimento é efetuado por convecção forçada. A grande vantagem deste aumento da velocidade do gás é um aumento da sua capacidade para remover o calor, permitindo obter potências geradas e emitidas superiores ao anterior. Neste tipo de lasers conseguem-se extrair cerca de 600 W/m. A excitação do meio pode ser feita por corrente contínua ou radio frequência.

- Laser de fibra

No corte a laser de fibra, um feixe de laser altamente concentrado é gerado por um laser de fibra. Este feixe é direcionado para a superfície do material a ser cortado através de um sistema de lentes e espelhos. O feixe aquece o material a uma temperatura extremamente elevada, resultando na fusão, vaporização ou combustão do mesmo, resultando num corte limpo e preciso. Os lasers de fibra utilizam fibras óticas dopadas com elementos como érbio, itérbio ou neodímio, que amplificam a luz e geram um feixe de laser na faixa do infravermelho. Este feixe é então transmitido através de um cabo de fibra ótica até à cabeça de corte, onde é focalizado num ponto extremamente pequeno, permitindo cortes muito finos e detalhados. (Chryssolouris, 1991)

- Laser Nd-YAG

Laser de Nd-YAG (Neodymium-Doped Yttrium Aluminum Garnet): Utilizado tanto para corte como para soldadura, este tipo de laser é eficaz em cortar materiais metálicos e cerâmicos. A sua alta densidade de potência permite cortes precisos em materiais mais espessos. O esquema de funcionamento é idêntico ao do laser de CO₂. No entanto, a estrutura dos níveis de energia nestes lasers é mais complexa do que nos lasers de CO₂. O laser Nd-YAG emite comprimentos de onda de 1,06 µm através de fibras óticas, o que permite uma maior facilidade na manipulação dos softwares e oferece potências até 5 kW. A eficiência deste laser é relativamente baixa,

situando-se entre 2% e 5%, devido a perdas na fonte de potência, conversão incompleta da energia fornecida pela fonte de alimentação, perdas na transferência da luz laser para o varão e absorção incompleta da luz pelos íons Nd^{3+} . (Santos et al., 1993)

2.1.3 Desenvolvimento tecnológico

Os avanços tecnológicos no corte a laser têm-se concentrado em aumentar a precisão, a velocidade de corte e a eficiência energética, bem como em expandir a gama de materiais que podem ser cortados.

O uso de lasers de alta potência permite cortes mais rápidos e a capacidade de cortar materiais mais espessos. Recentemente, lasers com potências superiores a 10 kW tornaram-se comuns em aplicações industriais. A alta intensidade do feixe de laser pode fundir e vaporizar a maioria dos materiais conhecidos, o que torna o processo de corte a laser uma técnica favorável. Este método de processamento oferece boas características de corte, tais como um corte estreito, uma pequena zona afetada pelo calor em altas velocidades de corte, ausência de tensões mecânicas na borda cortada, operação extremamente silenciosa em comparação com técnicas concorrentes, e facilidade de automação (Keles et al., 2010).

A automação de processos industriais tem desempenhado um papel fundamental na modernização de diversas áreas da indústria, especialmente quando associada a sistemas CNC. No contexto das máquinas de corte a laser, esta integração tem promovido uma melhoria significativa na eficiência, precisão e versatilidade, resultando em avanços importantes nos processos produtivos.

A automação consiste na utilização de tecnologias que permitem a realização de processos industriais com mínima intervenção humana, o que permite que as máquinas operem com um elevado grau de autonomia. No corte a laser, a automação inclui desde a alimentação automática de materiais até ao manuseamento pós-processo, bem como a monitorização contínua dos sistemas, ajustando os parâmetros em tempo real. Este controlo proporciona maior consistência e rigor na qualidade dos cortes, garantindo produtos mais uniformes.

O Comando Numérico Computorizado (CNC) é uma técnica que possibilita o controlo preciso de máquinas através de instruções codificadas, geralmente derivadas de modelos CAD (Computer-Aided Design). Em máquinas de corte a laser, o sistema CNC controla o movimento da cabeça do laser, regula a potência do feixe e ajusta parâmetros como a velocidade de corte e o foco, proporcionando cortes de elevada precisão. Isto permite a execução de projetos complexos com um nível de detalhe difícil de alcançar por métodos manuais. (Uppada et al., 2024)

A integração de sistemas CNC com automação em máquinas de corte a laser representa um avanço significativo na produção moderna, oferecendo alta precisão, eficiência e flexibilidade. Com aplicações que abrangem diversos setores industriais, esta tecnologia está a transformar os processos produtivos e a otimizar as operações

Otimização do processo produtivo de um equipamento de corte a laser

fabris. Embora existam desafios a superar, como os custos iniciais e a formação especializada, o potencial de crescimento e inovação neste campo sugere um futuro promissor para a automação industrial assistida por CNC em máquinas de corte a laser.

O corte a laser é amplamente utilizado em várias indústrias devido à sua capacidade de realizar cortes precisos em materiais diversos, como metais, plásticos e compósitos. No entanto, a eficácia deste processo depende, não apenas da potência do feixe de laser, mas também de tecnologias auxiliares, como a assistência a gás. A adição de gases durante o corte a laser é essencial para melhorar a qualidade dos cortes, aumentar a eficiência e garantir a remoção eficaz de resíduos.

Durante o processo de corte a laser, o calor gerado cria uma zona afetada pelo calor, que pode resultar em deformações ou irregularidades na extremidade do corte. Para minimizar estes efeitos e otimizar o processo, a assistência a gás é frequentemente utilizada.

O gás de assistência desempenha um papel crucial no corte a laser, desempenhando as seguintes funções:

- **Remoção de Resíduos:** O gás é expelido a alta pressão através do bocal da máquina, removendo os resíduos derretidos ou vaporizados gerados pelo corte. Isto mantém a área de corte limpa e previne a formação de escória nos bordos da peça, melhorando a qualidade do corte;
- **Proteção da Ótica:** A emissão de gás ajuda a proteger as lentes e outros componentes óticos do sistema de corte a laser, evitando que partículas de material se depositem na superfície das lentes e degradem a precisão do corte;
- **Melhoria da Qualidade do Corte:** Dependendo do tipo de gás utilizado, o processo de oxidação pode ser promovido ou inibido. A utilização de certos gases, como o oxigénio, aumenta a reação de combustão, intensificando a energia disponível para o corte e resultando em bordos mais limpos e precisos;
- **Controle da Temperatura:** A assistência a gás também ajuda a dissipar o calor gerado pelo feixe de laser, reduzindo a zona afetada pelo corte e minimizando deformações térmicas no material (Chen et al., 2001)

Existem vários tipos de gases de assistência, cada um com propriedades específicas que influenciam o desempenho do corte a laser. Os principais gases utilizados incluem:

- **Oxigénio (O₂):** O oxigénio é frequentemente utilizado no corte de metais como aço carbono. A presença de oxigénio promove a oxidação, que ajuda a aumentar a temperatura do corte devido à reação exotérmica, acelerando o processo e melhorando a qualidade dos bordos. No entanto, o uso excessivo de oxigénio pode causar uma maior zona afetada pelo corte e afetar a precisão do corte;

- Azoto (N_2): O azoto é utilizado para prevenir a oxidação, especialmente em materiais como aço inoxidável e alumínio. Este gás não reage com o material, permitindo cortes mais limpos e sem descoloração. O azoto é ideal para situações onde a qualidade do bordo é uma prioridade, embora possa aumentar o tempo de corte comparativamente ao oxigénio;
- Árgon (Ar): O árgon é utilizado menos frequentemente, mas é benéfico para metais reativos como titânio e magnésio. Este gás inerte evita a formação de óxidos e protege o material contra reações químicas indesejadas.

O corte a laser com assistência a gás é uma tecnologia essencial para garantir a qualidade, velocidade e precisão nos processos de manufatura industrial. A seleção correta do gás e a sua aplicação eficiente podem melhorar significativamente os resultados, minimizando defeitos e aumentando a produtividade. Embora existam desafios, como os custos adicionais e a complexidade técnica, as vantagens desta tecnologia superam os obstáculos, tornando-a uma escolha preferida em diversas indústrias. (Chryssolouris, 1991)

2.1.4 Aplicações industriais

O corte a laser é aplicado em uma variedade de sectores industriais devido à sua versatilidade e precisão.

A aplicação do corte a laser na indústria automóvel é vasta e abrangente, incluindo:

- Componentes estruturais: O corte a laser é utilizado na produção de chassis, painéis de carroçaria, longarinas e outras estruturas que exigem alta precisão dimensional e acabamento superficial. A tecnologia permite a criação de formas complexas e a otimização do uso de materiais, reduzindo o peso dos veículos;
- Peças de motor: Blocos de motor, cabeçotes e outras peças são produzidas e marcadas com o auxílio do corte a laser, garantindo maior precisão, repetibilidade e rastreabilidade nos processos de produção;
- Sistemas de escape: Tubos de escape e coletores são cortados com alta precisão, otimizando o fluxo de gases e reduzindo o ruído;
- Componentes interiores: Painéis de instrumentos, molduras de portas e outras peças interiores são produzidas com o corte a laser, permitindo a criação de designs complexos e a personalização dos veículos. (Marques, 2023)

A aplicação do corte a laser na indústria aeroespacial é vasta e abrangente, incluindo:

- Fabrico de fuselagens e asas: O corte a laser permite obter peças complexas e leves, como painéis de fuselagem e nervuras de asa com alta precisão e

Otimização do processo produtivo de um equipamento de corte a laser

acabamento superficial. A tecnologia possibilita a otimização do uso de materiais compósitos, como fibra de carbono, que são amplamente utilizados na indústria aeroespacial;

- Componentes de motores: Pás de turbina, discos de compressor e outras peças de motores a jato são fabricadas com o auxílio do corte a laser, garantindo maior precisão e resistência às altas temperaturas e tensões;
- Satélites e foguetes: O corte a laser é utilizado na produção de componentes de satélites, como painéis solares, antenas e estruturas de suporte. Na indústria de foguetes, o corte a laser é fundamental para a fabricação de boquilhas, tanques de combustível e outras peças que exigem alta precisão e resistência;
- Ferragens e fixadores: O corte a laser permite a produção de parafusos, porcas, rebites e outros elementos de fixação com geometrias complexas e tolerâncias mínimas, garantindo a segurança e confiabilidade das estruturas. (Woofee Laser, 2023)

O corte a laser encontra diversas aplicações na indústria eletrônica, destacando-se as seguintes:

- Fabrico de circuitos impressos: O corte a laser é utilizado para criar perfurações, ranhuras e contornos precisos em placas de circuito impresso, permitindo a montagem de componentes eletrônicos de forma eficiente e confiável; (Dimakin, 2024)
- Produção de componentes eletrônicos: O corte a laser é empregue na produção de diversos componentes eletrônicos, como conectores, chaves, dissipadores de calor e outros, garantindo alta precisão dimensional e acabamento superficial; (Woofee Laser, 2023)
- Microeletrônica: O corte a laser é utilizado em processos de microfabricação para a criação de dispositivos eletrônicos em escala microscópica, como sensores e atuadores; (Ian Gibson et al., 2014)
- Embalagem de componentes eletrônicos: O corte a laser é utilizado para a produção de embalagens personalizadas para componentes eletrônicos, como bandejas e caixas, garantindo proteção e organização durante o transporte e armazenamento. (Trotec Laser, 2024)

O corte a laser encontra diversas aplicações na indústria das duas rodas, destacando-se as seguintes:

- Chassis e estruturas: O corte a laser permite a criação de chassis e estruturas de motocicletas e bicicletas com geometrias complexas e precisas, otimizando a distribuição de peso e a rigidez;

- Componentes de motor: O corte a laser é utilizado no fabrico de diversas peças de motor, como protetores térmicos, suportes e carcaças, garantindo alta precisão e acabamento superficial;
- Peças de suspensão: O corte a laser permite a fabrico de componentes de suspensão, como braços oscilantes e pratos, com geometrias personalizadas e tolerâncias mínimas;
- Acessórios personalizados: O corte a laser é utilizado na produção de uma ampla variedade de acessórios personalizados para motociclos e bicicletas, como protetores de motor, pedaleiras, manetes e suportes para GPS. (Dimakin, 2024)

2.1.5 Materiais resistentes ao corte a laser

Alguns materiais apresentam maior resistência ao corte a laser, exigindo ajustes nos parâmetros do processo ou o uso de tecnologias complementares. De seguida são apresentados alguns materiais que oferecem maior resistência ao corte a laser, os desafios envolvidos e as soluções para superá-los.

Devido às suas propriedades físicas e químicas, alguns materiais apresentam maior dificuldade de corte a laser, entre eles destacam-se:

- Metais de alta liga: Aços inoxidáveis austeníticos, ligas de titânio e superligas à base de níquel apresentam alta refletividade e condutividade térmica, o que dificulta a absorção da energia do laser e a formação da fusão;
- Cerâmicos técnicos: Materiais como alumínio, nitreto de silício e carboneto de tungstênio possuem alta dureza e ponto de fusão, exigindo alta potência do laser e parâmetros de corte específicos;
- Materiais compósitos: A heterogeneidade dos materiais compósitos, como fibra de carbono reforçada em polímero (CFRP), dificulta a previsão do comportamento do material durante o corte a laser, exigindo ajustes finos nos parâmetros de corte.

Desafios envolvidos no corte a laser devido ao tipo de material:

- Reflexão do feixe laser: Materiais com alta refletividade, como metais polidos, dificultam a absorção da energia do laser, reduzindo a eficiência do processo de corte;
- Condutividade térmica: Materiais com alta condutividade térmica dissipam rapidamente o calor gerado pelo laser, dificultando a formação da fusão e a separação do material;
- Microestruturas complexas: Materiais com microestruturas complexas, como cerâmicas e compósitos, podem apresentar diferentes comportamentos durante o corte a laser, exigindo ajustes nos parâmetros do processo.

Otimização do processo produtivo de um equipamento de corte a laser

Para superar os desafios do corte a laser de materiais resistentes, diversas soluções podem ser adotadas, onde se inclui:

- **Potência do laser:** O uso de lasers de maior potência permite aumentar a densidade de energia incidente no material, facilitando a fusão e a separação;
- **Auxílio de gás:** A utilização de gases assistentes, como oxigénio ou azoto durante o processo de corte pode melhorar a qualidade do corte e aumentar a velocidade de remoção do material;
- **Varredura do feixe laser:** A variação da velocidade e do padrão de varredura do feixe laser pode otimizar o processo de corte para diferentes materiais e espessuras;
- **Pré-aquecimento do material:** O pré-aquecimento do material antes do corte pode reduzir a diferença de temperatura entre a zona de corte e a zona não cortada, melhorando a qualidade do corte;
- **Uso de tecnologias complementares:** A combinação do corte a laser com outras tecnologias, como a decapagem ou a maquinação, pode ser utilizada para melhorar a qualidade do corte e reduzir os tempos de processamento. (Chryssolouris, 1991)

2.2 Estado da Arte

O corte a laser tem sido amplamente adotado em diversos setores industriais, onde se inclui o das duas rodas.

Na indústria das bicicletas, o processo de corte a laser é utilizado em várias etapas da produção, desempenhando um papel crucial na fabricação de componentes com alta precisão e qualidade. Proporciona cortes limpos, precisos e repetíveis, fatores essenciais para garantir a qualidade final do produto, a eficiência na produção e a competitividade no mercado.

A estrutura das bicicletas modernas é composta principalmente por tubos, e a utilização de tubos como esqueleto oferece duas vantagens principais: a leveza e a resistência mecânica, características fundamentais para o desempenho e a durabilidade das bicicletas.

Os materiais mais comuns utilizados nos tubos de bicicletas incluem ligas de alumínio, titânio, aço crómio-molibdénio e fibra de carbono. Estes materiais oferecem uma ampla gama de possibilidades de design e estruturais, permitindo inovações tecnológicas significativas no processamento e na fabricação de bicicletas.

A máquina de corte de tubos a laser, por sua vez, é uma ferramenta essencial neste processo, utilizando tecnologia de ponta para realizar cortes de alta precisão em diversos perfis de tubos. Este tipo de máquina combina tecnologias avançadas, como

CNC, corte a laser e mecânica de precisão, resultando numa ferramenta de alta tecnologia capaz de responder às exigências da indústria moderna.

As características que tornam o corte de tubos a laser tão atrativo incluem o seu profissionalismo, alta velocidade, precisão, eficiência e baixo custo de manutenção e dos consumíveis. Além disso, em comparação com os processos de corte tradicionais, o corte a laser oferece várias vantagens significativas. A secção de corte dos tubos processados com laser é mais suave, permitindo que as peças cortadas sejam prontamente utilizadas para soldadura, o que reduz a necessidade de etapas adicionais de processamento, como perfuração e dobra. Este método não só diminui o número de processos necessários, como também aumenta a eficiência da produção e assegura uma alta qualidade das peças cortadas. (Wellelaser, 2024)

O corte a laser tem sido uma escolha preferencial na indústria das bicicletas, promovendo a inovação e a melhoria contínua no desenvolvimento de produtos de alto desempenho e qualidade superior, podendo ser utilizado em:

- **Corte de Tubos e Perfis:** O corte a laser é amplamente utilizado para cortar tubos e perfis de metais como alumínio, aço e titânio, que são usados para fabricar os quadros das bicicletas. A precisão do corte a laser permite que os tubos sejam cortados com ângulos e formas complexas, essenciais para garantir a geometria correta do quadro e a qualidade das soldas subsequentes;
- **Produção de Componentes Pequenos:** O corte a laser é utilizado para fabricar peças menores, como suportes, placas de fixação, patilhas de mudança e outros componentes metálicos. A precisão do laser permite a produção de peças com tolerâncias muito apertadas, garantindo a compatibilidade e o funcionamento adequado dessas partes na bicicleta;
- **Personalização de Design:** A tecnologia de corte a laser também é utilizada para personalizar componentes, como gravação de logotipos, números de série, ou designs específicos nos quadros e em outras partes da bicicleta. Isso é especialmente importante em modelos de alta gama, onde a estética e a identidade visual são cruciais;
- **Protótipos e Peças Personalizadas:** Na fase de desenvolvimento de novos modelos de bicicletas, o corte a laser permite a rápida prototipagem de peças e a criação de componentes personalizados, adaptados a necessidades específicas de design ou ergonomia. (Chryssolouris, 1991)

2.2.1 Tipos de máquinas disponíveis no mercado

Geralmente, numa máquina de corte a laser 3D, existem três eixos lineares (X, Y, Z) e dois eixos de rotação (A, B). Assim, as coordenadas da posição da cabeça de corte e as coordenadas vetoriais no sistema de coordenadas da máquina podem ser expressas por coordenadas de 5 eixos (X, Y, Z, A, B).

Otimização do processo produtivo de um equipamento de corte a laser

Atualmente o mercado disponibiliza máquinas de corte a laser de 5 e de 6 eixos. O processo de corte de uma máquina de corte a laser de 5 eixos consiste no movimento da cabeça de corte ao longo dos eixos X, Y e Z, enquanto roda e oscila ao longo dos eixos A e B, respectivamente. No desenvolvimento deste projeto, será implementado um 6º eixo numa máquina de corte a laser de 5 eixos, dado que o investimento numa máquina de 6 eixos seria muito elevado e não se justificaria, considerando que a sua utilização não seria suficiente para compensar esse custo. (Xu et al., 2014)

As máquinas de corte a laser de 5 eixos permitem a movimentação da mesa em cinco eixos simultaneamente: X, Y, Z, A e B. (Blue Elephant, 2023). O eixo A permite a rotação em torno do eixo X, enquanto o eixo B permite a rotação em torno do eixo Y estando estes ilustrados na Figura 2.2. (Central Projotec, 2024). Isso possibilita cortes mais complexos e precisos, especialmente em peças com geometrias irregulares. (Blue Elephant, 2023)

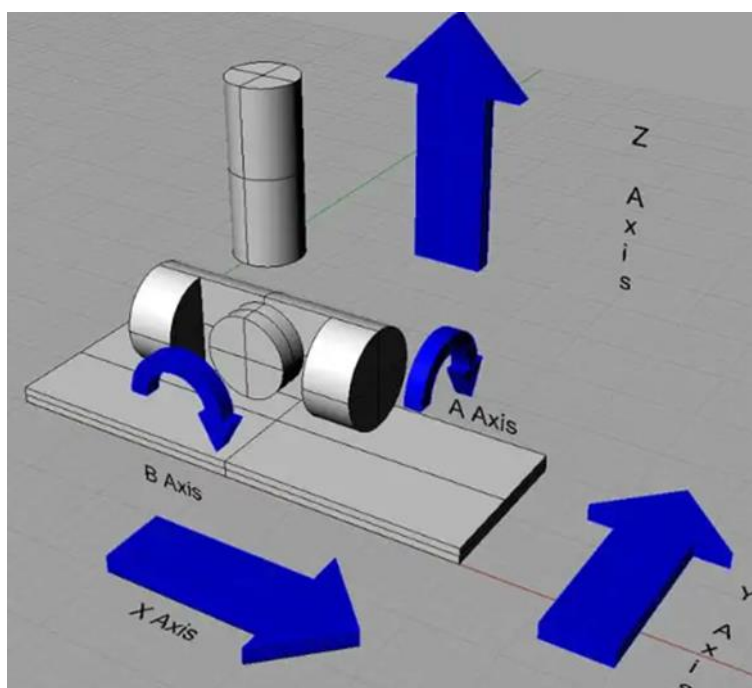


Figura 2.2 – Visualização dos 5 eixos da máquina de corte a laser (Wrights Plastics, 2019)

As máquinas de corte a laser de 6 eixos adicionam um sexto eixo que não existe nas máquinas de 5 eixos, geralmente rotulado como C, que permite a rotação em torno do eixo Z. Isso aumenta ainda mais a flexibilidade e a precisão, permitindo cortes em todas as direções e ângulos, sem a necessidade de reposicionar a peça. (Central Projotec, 2024)

Podem ser destacadas 3 diferenças de uma máquina de 6 eixos relativamente às de 5 eixos:

- **Complexidade de Movimento:** As máquinas de 6 eixos oferecem um movimento adicional em comparação com as de 5 eixos, o que permite cortes mais complexos e precisos;

- Flexibilidade: As máquinas de 6 eixos são mais flexíveis, pois podem cortar peças em qualquer orientação sem a necessidade de reposicionamento;
- Aplicações: As máquinas de 6 eixos são ideais para aplicações que requerem alta precisão e complexidade, como a fabricação de peças aeroespaciais e médicas. (Central Projectec, 2024)

Importa referir que no mercado foi identificada uma adaptação semelhante, feita numa máquina de corte a laser de 5 eixos, implementada na empresa Ciclo Fapril. Esta empresa desenvolveu um sistema pneumático que permite a inclinação da base de trabalho, tal como se pode observar na Figura 2.3. Este sistema, apesar de ser semelhante ao que se pretende neste projeto, apresenta limitações de utilização, não permitindo o acesso necessário para o corte de qualquer tubo desejado.

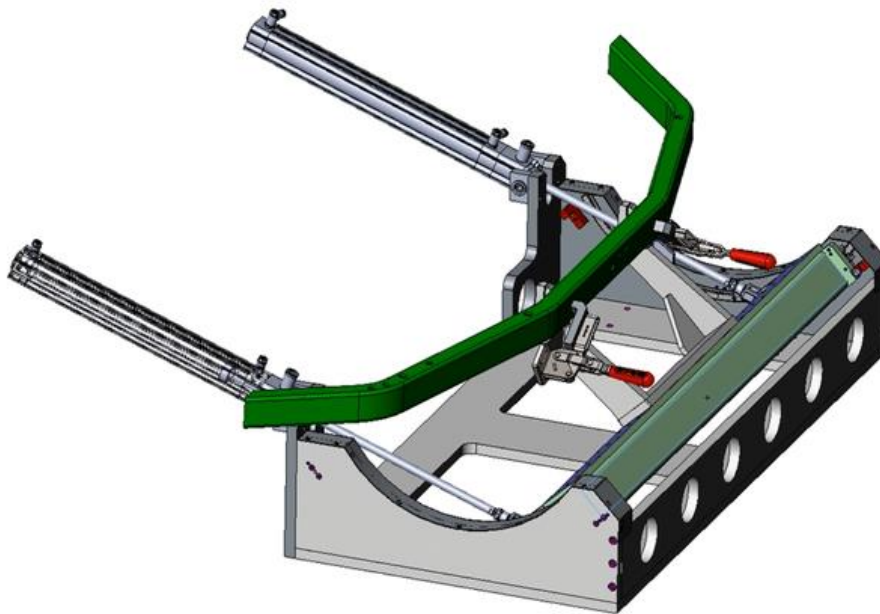


Figura 2.3 - Sistema de inclinação da área de trabalho Ciclo Fapril (Fonte: Ciclo Fapril)

3 CASO DE ESTUDO

3.1 Corte a laser na Triangle's

O processo de corte a laser é uma operação fundamental na empresa Triangle's. Todos os quadros de bicicletas elétricas passam por este processo, sendo em média utilizado em 15000 componentes por mês. Na empresa existem 4 equipamentos de corte a laser utilizados para este objetivo. O equipamento que serve de motivação a este projeto é designado como Prima Power Laser Next Evo LN1530, Figura 3.1.



Figura 3.1 - Prima Power Laser Next Evo LN1530 (Prima Power, 2024)

O Laser Next é equipado com uma mesa giratória de alta precisão com servo motor e codificador absoluto. Este equipamento utiliza uma tecnologia de corte a laser por fibra ótica, sendo que o gás injetado para expelir o material é o azoto. A estrutura de suporte é em granito sintético, utilizando métodos de otimização topológica de última geração, o que proporciona movimentos suaves e regulares da máquina. Tem a capacidade de corte sobre 5 eixos, 3 eixos de translação e 2 eixos de rotação na cabeça de corte, tendo as seguintes amplitudes:

- X = 3050 mm;
- Y = 1530 mm;
- Z = 612 mm;
- A = 360° contínuos;
- B = +/- 135°.

Recorrendo ao Software Creo, foi efetuado um levantamento 3D da geometria do equipamento, que se apresenta na Figura 3.2, com o objetivo de analisar o volume disponível para o desenvolvimento do projeto.

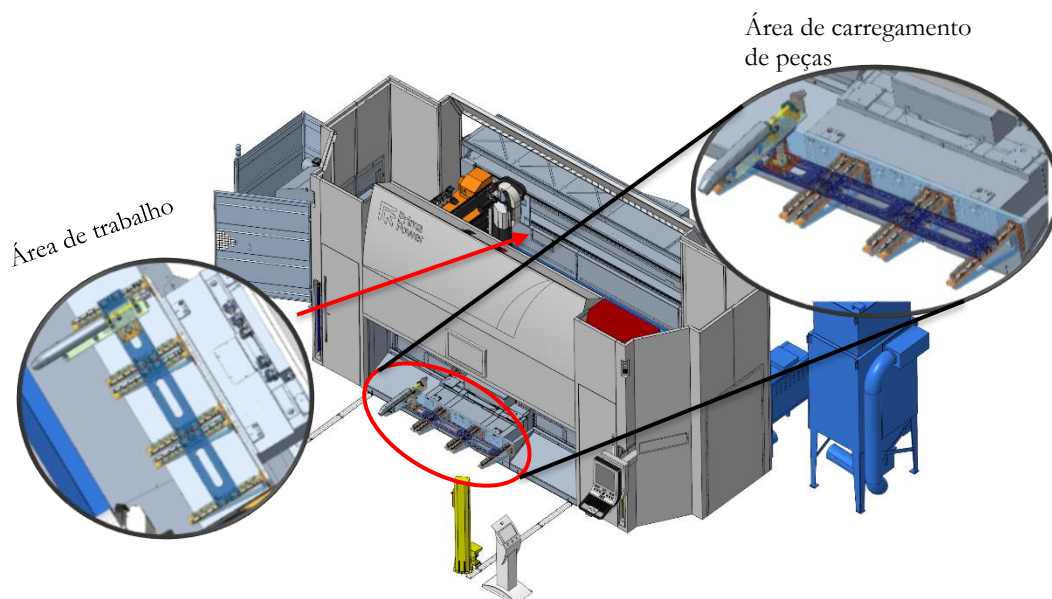


Figura 3.2 – Visualização 3D do equipamento laser em estudo, com detalhe na área de carregamento de peças e área de trabalho

Este equipamento está também munido de uma mesa rotativa que permite minimizar os tempos de carga e descarga de peças, sendo assim possível combinar o tempo de corte com o tempo de carga e descarga de cada tubo, ou seja, enquanto o equipamento está em tempo de ciclo o operador está a colocar novas peças para serem cortadas, o que faz com que o tempo de paragem da máquina seja mínimo.

Os tempos referidos não foram analisados neste projeto, no entanto este estudo já foi efetuado internamente.

Na Figura 3.3 apresenta-se o modelo 3D da mesa rotativa. (Prima Power, 2024)

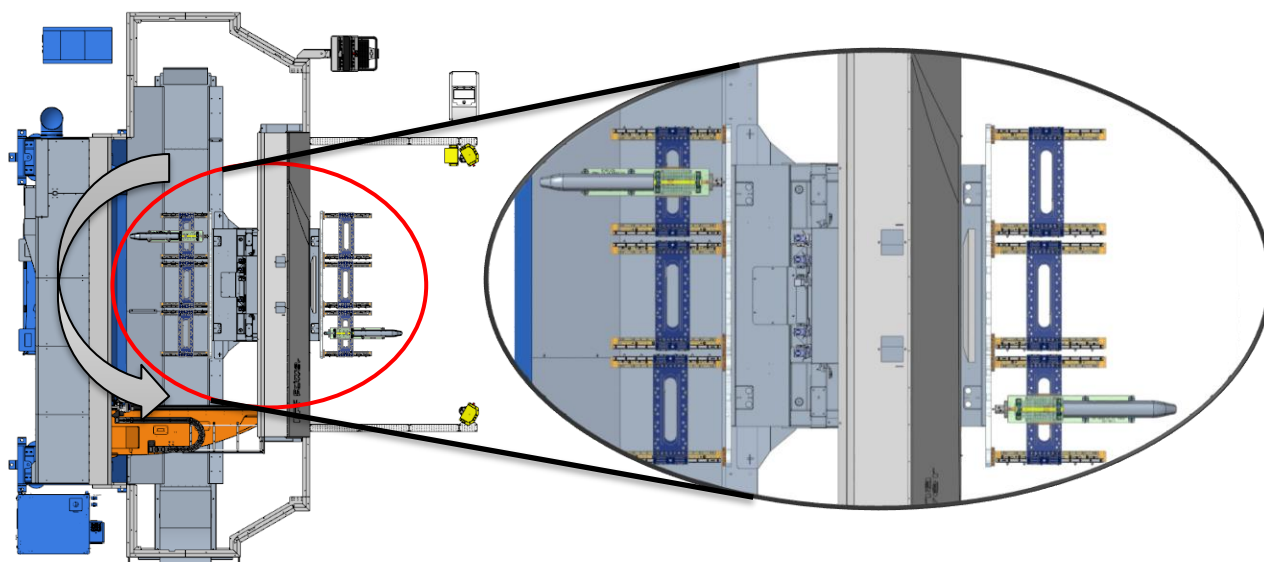


Figura 3.3 - Mesa Rotativa

3.2 Identificação do problema

Tal como referido anteriormente, a empresa Triangle's possui quatro equipamentos de corte a laser de 5 eixos, utilizados para fabricar quadros com tubos de formas complexas. No entanto, alguns tubos necessitam de ser cortados na parte superior e inferior, operação que os equipamentos de 5 eixos não conseguem realizar num único ciclo, visto uma das faces do tubo ficar sempre sem acesso para o corte da mesma. Atualmente, a solução adotada passa por realizar dois apertos para cada tubo, resultando numa diminuição do rendimento do posto de trabalho.

Uma possível solução para aumentar a eficiência seria desenvolver estruturas específicas de suporte para os tubos que permitam o corte na parte superior e inferior num único ciclo. Isso eliminaria a necessidade de dois apertos para cada tubo, possibilitando o corte de dois tubos num único ciclo de trabalho. Uma solução destas permite melhorar o tempo de ciclo e aumentar a precisão de corte entre apertos. Uma das grandes melhorias passa pela eliminação de um processo anterior, realizado em outra máquina. Para implementar essa solução, seria necessário projetar suportes especializados que permitissem o acesso adequado à parte superior e inferior dos tubos durante o processo de corte. Isso poderia envolver ajustes nos suportes existentes ou o desenvolvimento de novos dispositivos que atendam a essas necessidades específicas.

Além disso, é importante considerar a segurança e precisão do processo ao implementar qualquer alteração, sendo recomendável envolver engenheiros, especialistas em segurança e operadores de máquinas no projeto de modificações para garantir que o novo sistema corresponde aos padrões de qualidade e segurança.

3.3 Contextualização do problema com a realidade de produção

Este projeto é desenvolvido para o caso específico do DT TEN24, designação de um componente inserido num quadro em produção, que se ilustra na Figura 3.4

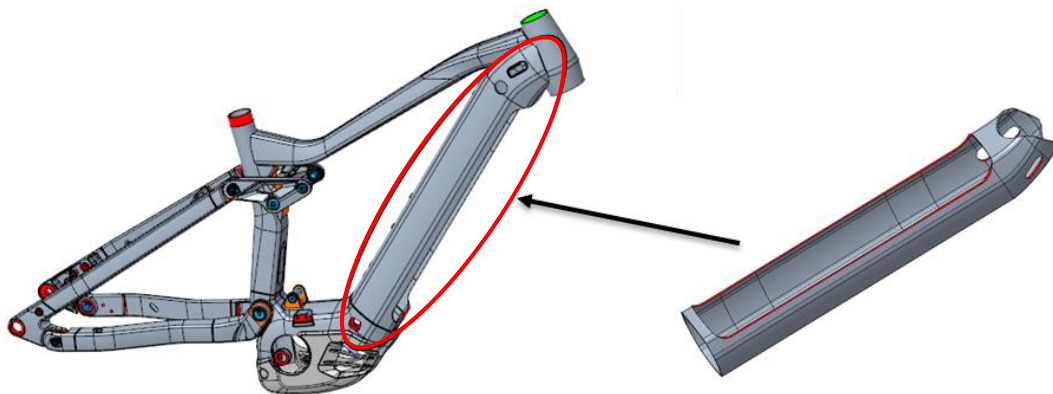


Figura 3.4 - Quadro e DT TEN24

Neste processo é utilizado um sistema com 2 apertos para o corte do tubo. Este layout é ilustrado na Figura 3.5.

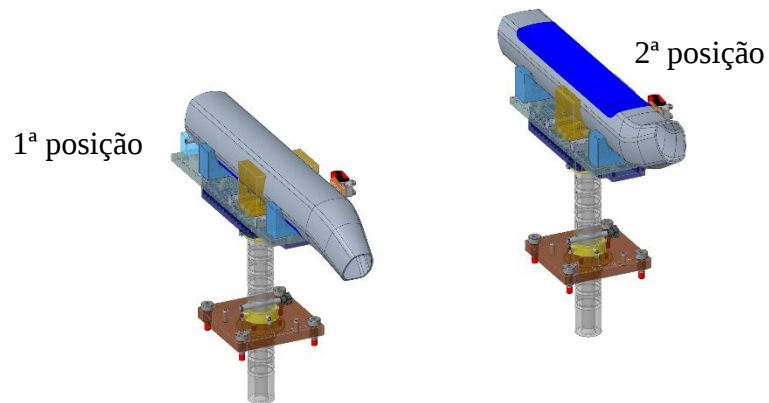


Figura 3.5 - Posições de corte atuais

No primeiro aperto são feitas as furações na parte superior e lateral do tubo e o escanado na parte frontal. Os mesmos estão salientados na Figura 3.6.

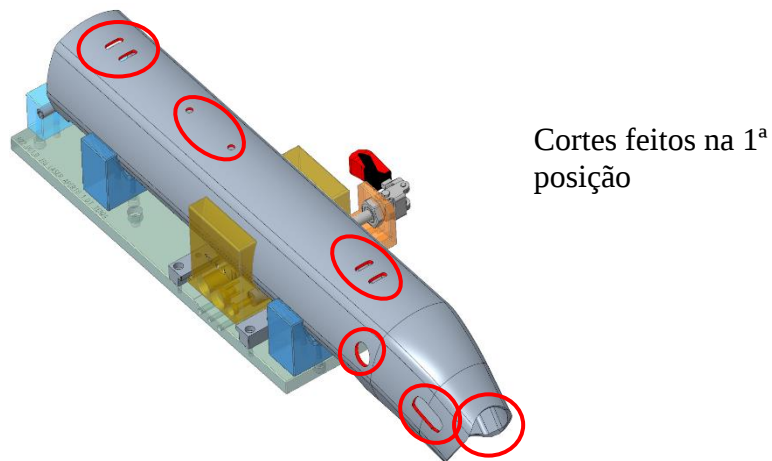


Figura 3.6 - 1ª posição de corte e os cortes efetuados

No segundo aperto é feita a caixa da tampa da bateria, conforme salientado na Figura 3.7.

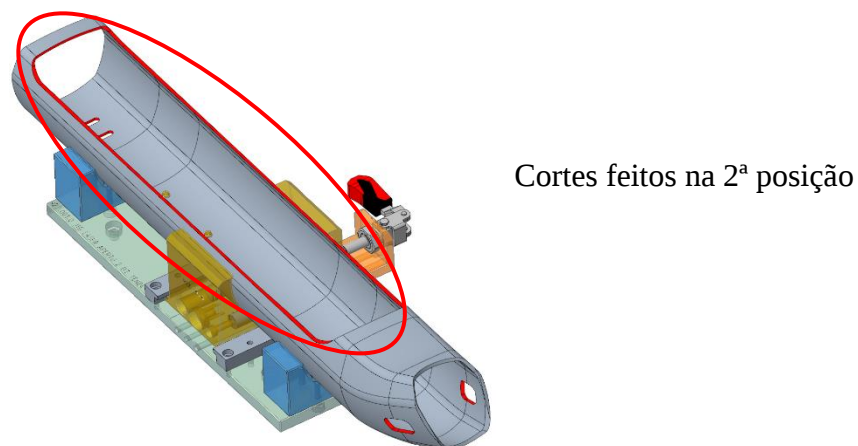


Figura 3.7 - 2ª posição de corte

3.4 Soluções possíveis

Após a análise do problema foram identificadas 4 soluções possíveis para a otimização do procedimento:

- Rotação Automática: Aplicação de um cilindro de rotação para a rotação do tubo de modo a permitir o corte da parte superior e da parte inferior num só ciclo.

Esta solução implicaria o desenvolvimento de uma estrutura que suportasse todas as cargas envolvidas no processo, visto que o cilindro é uma peça frágil que não está preparada para suportar este tipo de solicitação. Implicaria também a implementação de um sistema pneumático para controlo do cilindro e fixação do tubo. Para esta opção ser viável o tubo teria de ser apertado pelo seu interior utilizando um sistema pneumático, para não bloquear nenhuma zona de corte exterior do tubo para máxima versatilidade deste processo. Teria de ser tido em conta também que o aperto interior do tubo não poderá coincidir com zonas de corte, tendo sempre em conta o material utilizado nessas peças. Na Figura 3.8 é ilustrada a posição de corte para este tipo de solução.



Figura 3.8 - Posição de corte para 1ª solução

- Rotação automática com sistema de montagem posterior: esta solução seria muito semelhante á rotação automática, sendo a diferença a necessidade de desenvolvimento de uma estrutura exterior ao *gabarit* da máquina para fazer o posicionamento do tubo numa estrutura que iria encaixar no *gabarit* da máquina.

Esta solução, permite utilizar a mesma posição de corte do atual sistema, apenas seria feita a rotação automática da peça.

- Rotação Manual. Implementar uma rotação manual do tubo utilizando a mesma disposição apresentada na solução anterior.

Neste caso a estrutura seria muito semelhante à anterior, mas seria manual, ou seja, não seria necessário implementar um cilindro de rotação.

- Aperto na Vertical: Implementar uma mudança da disposição do tubo, sendo este posicionado na vertical.

Esta solução é apresentada na Figura 3.9. Permitiria o corte total do tubo com uma estrutura simples, sem cilindro de rotação, em que as cargas aplicadas seriam menores. Seria implementado um sistema pneumático de fixação do tubo.



Figura 3.9 - Posição de corte para a 4ª solução

3.4.1 Análise das soluções

Uma análise comparativa às soluções é descrita na Tabela 3.1, onde se apresentam as vantagens e desvantagens associadas a cada uma.

Após a análise de cada solução, foi possível concluir que a rotação manual será de descartar, dado que a estrutura mecânica envolvida é similar à necessária para a rotação automática.

A rotação automática seria uma solução viável visto permitir um corte completo do tubo. Em contrapartida exige um estudo extenso da estrutura mecânica, do sistema pneumático e do sistema elétrico. Para além disso, não permite um corte contínuo completo em 360° do tubo visto o eixo de rotação aplicado não trabalhar de forma síncrona com os restantes eixos da máquina. Assim, a máquina teria de parar o ciclo, fazer a rotação do tubo e só depois continuar.

Otimização do processo produtivo de um equipamento de corte a laser

O aperto na vertical aparenta ser a solução mais viável. Permite o corte contínuo em 360° do tubo. A estrutura de suporte poderá ser relativamente simples dado os baixos esforços a considerar. Em contrapartida existe uma restrição dimensional que não permite a rotação da mesa de rotação com o tubo montado na vertical. Existe também uma restrição de corte da máquina que não permite a rotação da cabeça de corte mais que 135° o que significa 45° com a horizontal do tubo.

Tabela 3.1 - Análise de vantagens e desvantagens de cada solução

	Vantagens	Desvantagens
Rotação Manual	Simplicidade do sistema pneumático e elétrico, rapidez de fabrico	A nível estrutural seria semelhante á rotação automática, teria sempre de haver uma paragem para o operador rodar o tubo
Rotação Automática	Versatilidade do processo, possibilidade de evitar processo de corte do tubo antes do corte a laser	Complexidade da estrutura mecânica aplicada, o eixo aplicado não é síncrono com o resto dos eixos
Aperto na Vertical	Simplicidade mecânica da estrutura, baixos esforços envolvidos, versatilidade no corte do tubo, permite o corte contínuo de 360° do tubo	Dimensão do tubo em relação ao volume de corte da máquina
Rotação Automática com Sistema de Montagem Posterior	Versatilidade do processo, possibilidade de evitar processo de corte do tubo antes do corte a laser, estrutura simplificada na máquina e com mais espaço para corte	Complexidade da estrutura mecânica aplicada, o eixo aplicado não é síncrono com o resto dos eixos, necessidade de uma estrutura adicional

3.4.2 Matriz de seleção da solução

A tomada de decisão foi auxiliada pela utilização de uma matriz de decisão para a seleção de soluções. A Figura 3.10 esquematiza os passos a seguir de modo a selecionar a solução mais adequada.

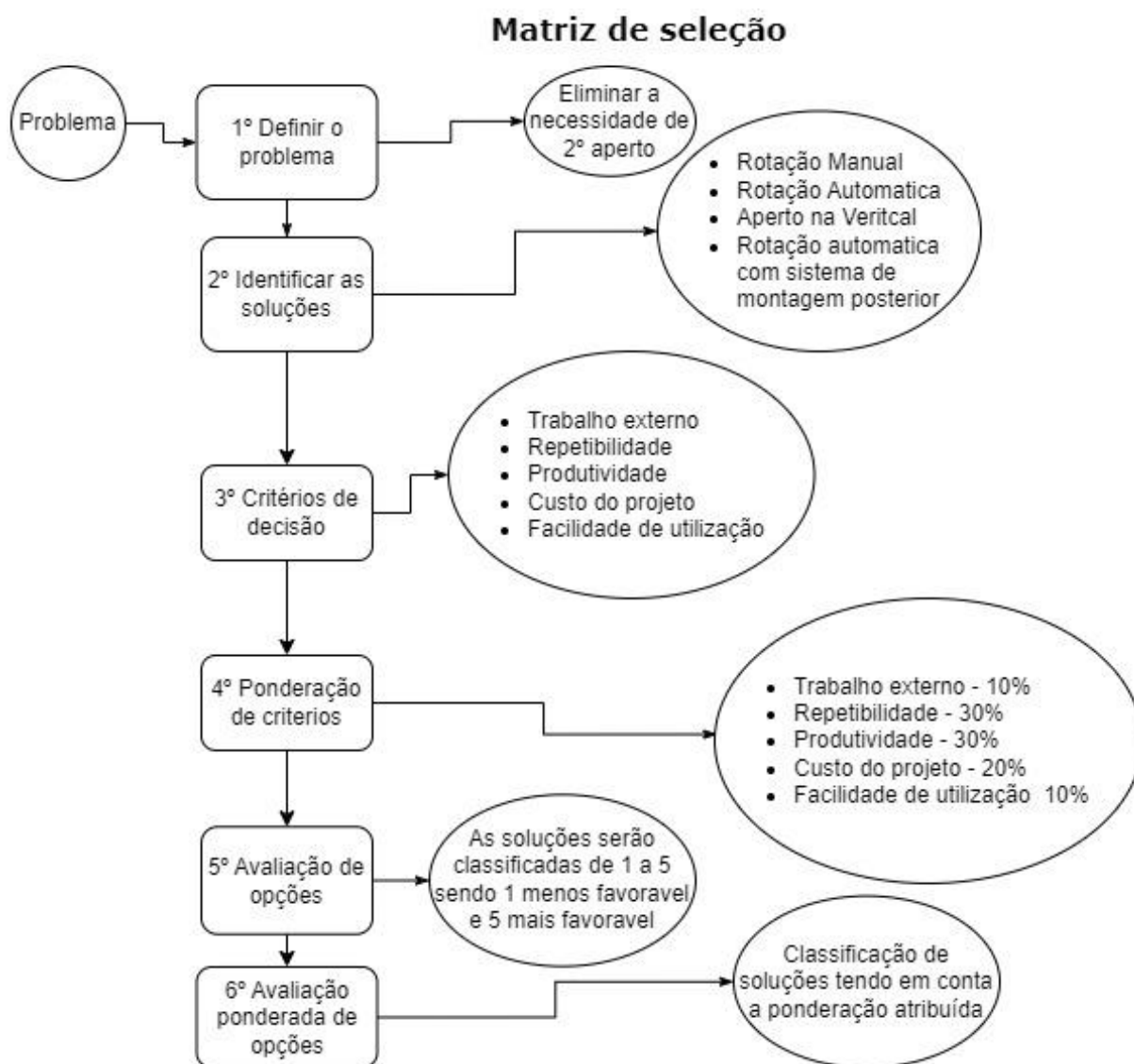


Figura 3.10 - Fluxograma matriz de seleção

Em primeiro lugar é definido o problema, que consiste na necessidade de eliminar o segundo aperto. As opções consideradas incluem a rotação manual, rotação automática, aperto na vertical e rotação com sistema de montagem posterior. Em seguida, identificam-se os critérios de decisão, que abrangem a eliminação da necessidade do segundo aperto do tubo, o trabalho externo realizado pelo operador durante o processo, a repetibilidade do processo, o custo de produção e manutenção do projeto e a facilidade de utilização do pronto de vista do operador.

Os critérios de decisão foram estabelecidos com as seguintes ponderações: trabalho externo (10%), repetibilidade (30%), produtividade (30%), custo do projeto (20%) e facilidade de utilização (10%). Estes critérios foram definidos em articulação com o responsável do equipamento e o responsável de projeto, de maneira a avaliar todas as necessidades.

Otimização do processo produtivo de um equipamento de corte a laser

As soluções são então classificadas de 1 a 5, onde para o critério de trabalho externo, 1 indica que o operador tem varias operações a realizar para além de colocar e retirar o tubo na máquina, 5 indica que o operador apenas coloca o tubo no início do processo e retira o tubo no final do processo; para o critério de repetibilidade, 1 baixa repetibilidade e 5 elevada repetibilidade, sendo que um tubo que no início do processo é posicionado e apenas é retirado no final terá elevada repetibilidade e um tubo que é inicialmente posicionado e durante o processo necessita de uma mudança de posição manual terá baixa repetibilidade; para o critério produtividade, 1 indica um maior tempo de processo e 5 indica um menor tempo de processo em relação às outras soluções; para o critério custo do projeto, 1 indica um maior custo e 5 indica um menor custo em relação às outras soluções e para o critério facilidade de utilização 1 indica que o operador tem dificuldade na utilização e surgem frequentemente dúvidas e 5 indica que o operador tem facilidade na utilização e que raramente surgem dúvidas.

Por fim, as opções são avaliadas com base na ponderação atribuída a cada critério.

Este processo sistematiza a seleção de soluções ao considerar múltiplos critérios e ponderar cada um deles de acordo com sua importância relativa.

Tabela 3.2 - Classificação ponderada de critérios

Critério	Peso	Rotação Manual	Rotação Automática	Aperto na Vertical	Rotação Automática com Gabarit
Trabalho externo	10%	2	5	5	3
Repetibilidade	30%	3	4	5	4
Produtividade	30%	2	4	5	3
Custo do projeto	20%	4	3	5	2
Facilidade de utilização	10%	2	4	5	3
Total	100%	2,7	3,9	5	3,1

A análise dos resultados da Tabela 3.2 conduziu à opção pelo aperto vertical como solução a considerar, com uma pontuação de 5 em 5. Assim, foi iniciado o processo com vista à implementação desta opção. No entanto, foi identificada uma restrição de altura na máquina, onde a janela de passagem tem uma altura inferior à do tubo. Deste modo, esta opção acabou por ser descartada, ainda assim foi considerada inicialmente pois o objetivo é futuramente aplicar este sistema para outros tubos, podendo ser esta opção viável. Tendo isto em conta foi escolhida a rotação automática para a implementação, com uma pontuação de 3,9 em 5.

3.5 Solução selecionada

Após a análise efetuada anteriormente sobre o problema, foi desenvolvida a solução apresentada na Figura 3.11. Esta solução integra um sistema de chumaceiras acionado por um cilindro pneumático que permite a rotação do tubo em 180°. Inclui também um sistema de suporte inferior que se recolhe por meio de atuadores pneumáticos para facilitar a rotação do tubo. Além disso, conta com um sistema de aperto interno do tubo, igualmente acionado por pneumáticos, e um sistema de indexação da posição de rotação, também operado pneumaticamente.

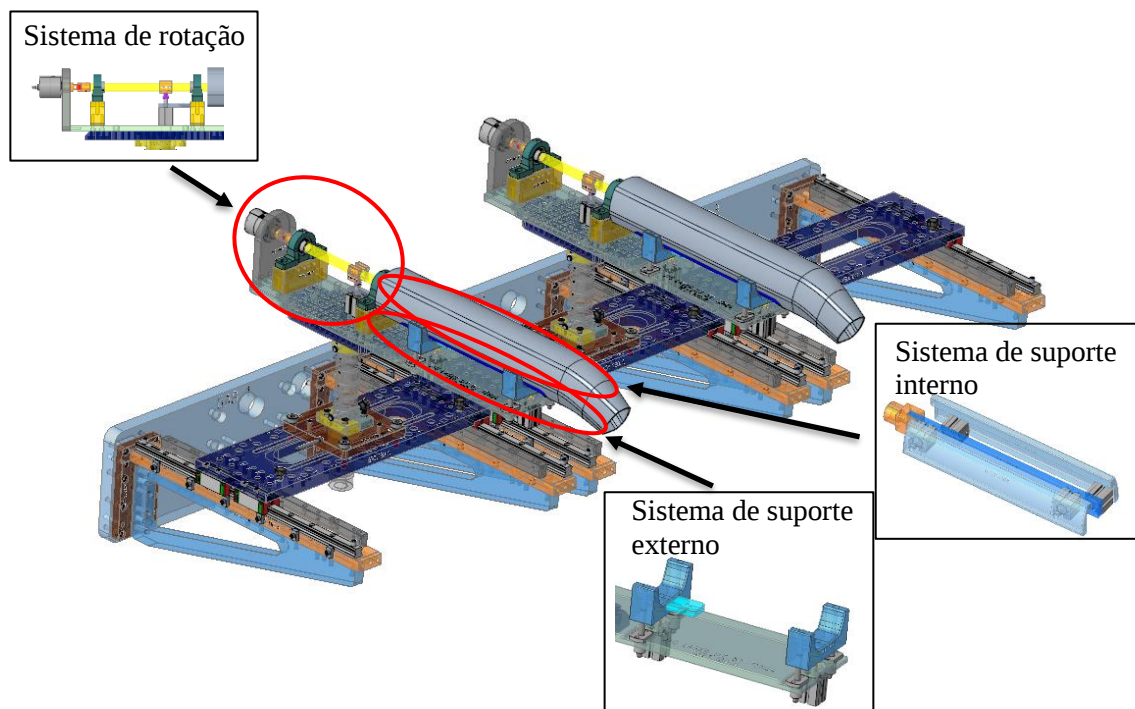


Figura 3.11 - Estrutura desenvolvida para o corte a laser, sistema de rotação, sistema de suporte interno, sistema de suporte externo

De seguida, é apresentada a metodologia de desenvolvimento da estrutura, destacando-se os pontos-chave nesse processo. No desenvolvimento da estrutura foi considerada uma estrutura de base desenvolvida pela Triangle's sendo atualmente utilizada em todos os *jigs* de corte a laser, e que se pode observar na Figura 3.12. Esta estrutura permite movimentação em X, Y e Z, sendo assim versátil para a adaptação a qualquer situação apenas desenvolvendo a estrutura que faz a ligação com a placa de interface salientada na Figura 3.12.

Otimização do processo produtivo de um equipamento de corte a laser

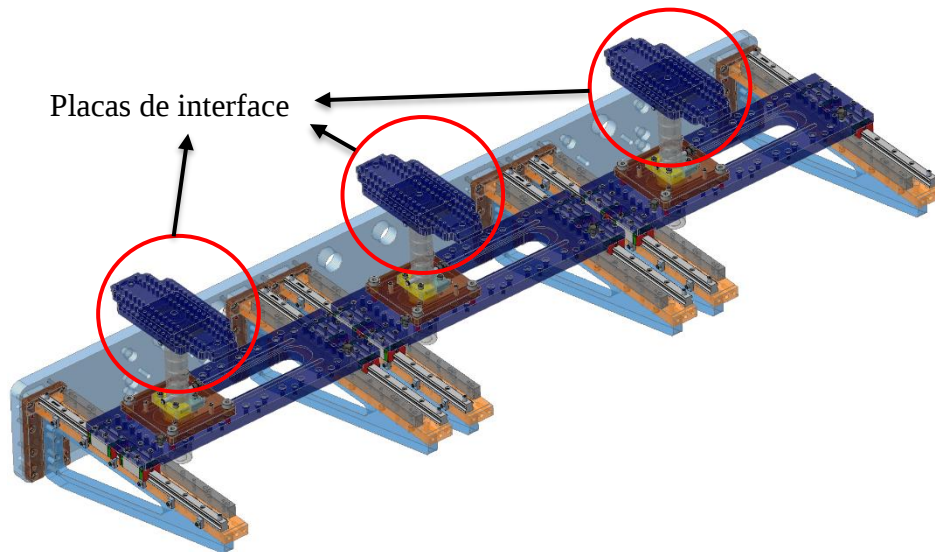


Figura 3.12 - Jig standard utilizado no corte a laser, e placa de interface

Tendo por base essa estrutura, iniciou-se a definição da posição do tubo para o corte, conforme ilustrado na Figura 3.13.

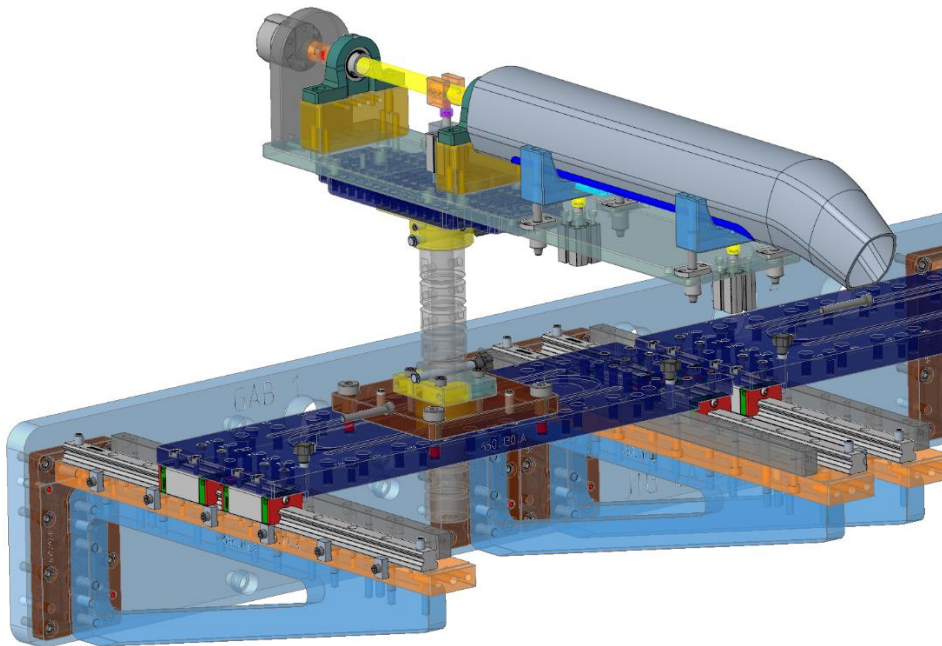


Figura 3.13 - Posição inicial de corte do tubo

3.5.1 Sistema de rotação

Após a escolha da posição do tubo, desenvolveu-se um sistema de rotação do tubo, conforme demonstrado na Figura 3.14. Este sistema permite a rotação do tubo em 180° permitindo assim o acesso tanto à parte superior como à parte inferior do tubo.

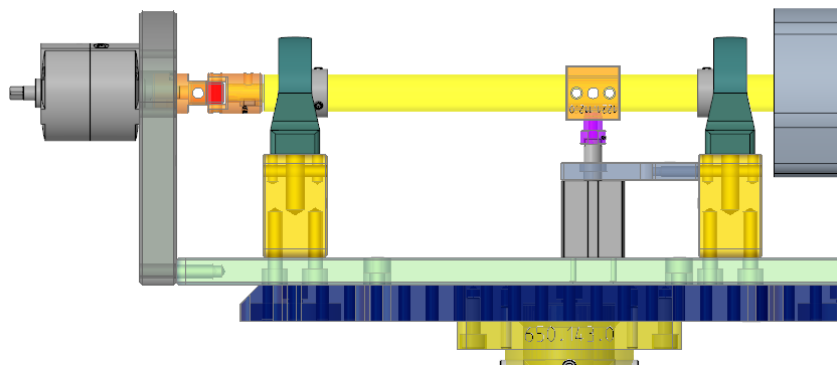


Figura 3.14 - Sistema de rotação

O sistema considera chumaceiras com a referência PDRCP20, representadas em modelo 3D na Figura 3.15, este componente é frequentemente utilizado em várias estruturas da fábrica, as chumaceiras serão os componentes responsáveis por suportar toda a carga aplicada no veio, que será o componente crítico deste projeto.

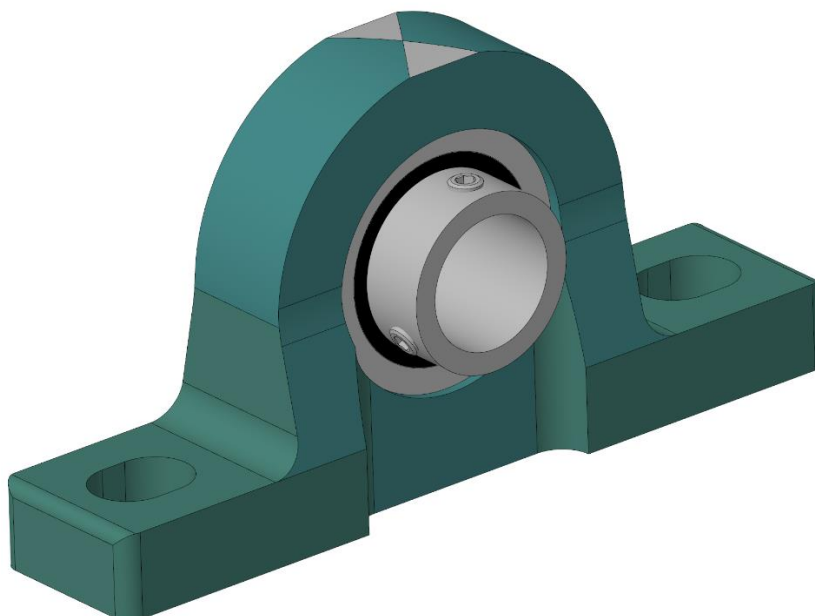


Figura 3.15 - Chumaceira PDRCP20

Foi considerado um cilindro de rotação pneumático de referência 1845714 DRVS-16-180-P ilustrado na Figura 3.16, que permite uma rotação de 0° a 180°. Este cilindro incorpora batentes físicos internos, que garantem a paragem da rotação com elevada precisão, um aspeto crucial para este projeto, uma vez que é necessário garantir a posição entre o corte superior e o corte inferior.

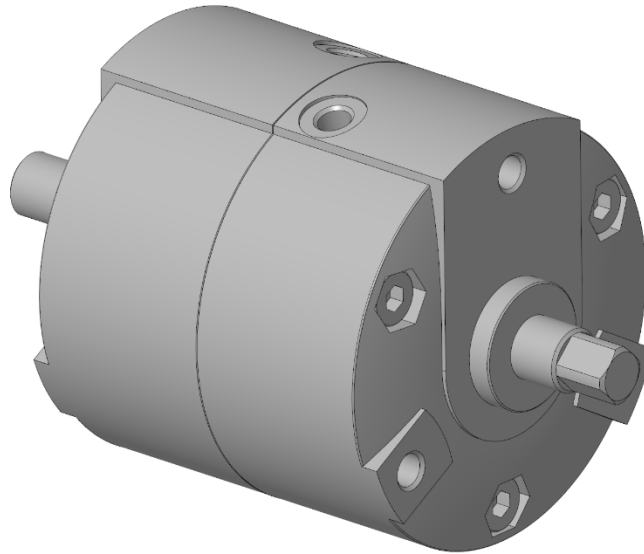


Figura 3.16 - Cilindro de rotação 1845714 DRVS-16-180-P

Na seleção deste cilindro, foi considerada a massa do tubo em *raw* (tubo de compra antes do corte a laser), bem como a massa do sistema de aperto do tubo e todos os componentes acoplados ao veio.

O cilindro tem possibilidade de atingir 3 Hz a 6 bar de pressão. Assim, convertendo para radianos por segundo, tal como se apresenta na equação (3.1), obtém-se o cálculo da velocidade angular:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 3 = 18,85 \text{ rad/s} \quad (3.1)$$

Foi definido que a velocidade pretendida será 17 rad/s, sendo que o cilindro parte de uma posição de repouso e atinge a sua velocidade final em 1 s. Esta velocidade foi selecionada tendo em conta que não queremos um início de movimento nem uma paragem que possa afetar a estabilidade do tubo. Deste modo, é necessário calcular a aceleração angular, sendo que a velocidade inicial é 0 rad/s e a velocidade final é 9,5 rad/s. Utilizando a equação (3.2), tendo em conta que α é a aceleração angular, ω_f é a velocidade angular final, ω_i é a velocidade angular inicial e t é o tempo desde a posição de repouso até atingir a velocidade final, obtém-se o resultado.

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_i}{t} = \frac{17 - 0}{1} = 17 \text{ rad/s}^2 \quad (3.2)$$

Posteriormente é necessário calcular o momento inércia das 2 secções, utilizando a equação (3.3), sendo que I é o momento inércia da secção em rotação, m é a massa do componente e r é o raio da secção:

$$I_{SR} = mr^2 \quad (3.3)$$

Calculando o momento inércia do veio em rotação obtemos $I_{veio} = 1,08 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2$

$$I_{veio} = 1,084 \times 0,01^2 = 1,08 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2$$

Calculando o momento inércia do componente em rotação obtemos $I_{componente} = 7,8 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$

$$I_{componente} = 3,121 \times 0,05^2 = 7,8 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$$

Adicionando os momentos inércia calculados ficamos com o momento inércia total, sendo este $I_{total} = 7,9 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$

É necessário calcular o binário devido ao momento inércia, utilizando a equação (3.4), sendo $T_{inércia}$ o binário devido ao momento inércia, o I_{total} o momento inércia total do sistema e o α a aceleração angular.

$$T_{inércia} = I_{total} \times \alpha = 7,9 \times 10^{-3} \times 17 = 0,13 \text{ N m} \quad (3.4)$$

É necessário também calcular o binário devido ao atrito nas chumaceiras. Utilizando a equação 3.5, sendo T_{atr} o binário gerado pelo atrito, $f_{estático}$ o coeficiente de atrito estático das chumaceiras, (Misumi, 2025), P_{total} o peso total do veio e do componente e r_c o raio interior das chumaceiras, obtem-se

$$T_{atr} = f_{estatico} \times P_{total} \times r_c = 0,005 \times 41,24 \times 0,015 = 0,0031 \text{ N m} \quad (3.5)$$

Apesar do valor ser muito inferior ao binário devido ao momento inercia, o mesmo foi ainda assim considerado para a análise.

Calculando então o binário total, obtém-se pela equação (3.6).

$$T_{total} = T_{atr} + T_{inercia} = 0,0031 + 0,13 = 0,1331 \text{ N m} \quad (3.6)$$

O cilindro selecionado tem um binário de 2 N m, obtendo-se assim um coeficiente de segurança de 15, tal como se mostra na equação

$$n = \frac{T_{cilindro}}{T_{total}} = \frac{2}{0,13} = 15 \quad (3.7)$$

Otimização do processo produtivo de um equipamento de corte a laser

Este resultado demonstra que o cilindro apresenta uma margem de segurança significativamente elevada em relação ao binário necessário para o seu funcionamento. Isto permite que este sistema seja aplicável para outros tubos que possam ter a necessidade de rotação tendo diferentes geometrias e massas.

O cilindro em questão foi selecionado do fornecedor Festo que fornece componentes pneumáticos á empresa. (Festo, 2024)

Importa referir que o cilindro não foi desenhado para suportar qualquer tipo de carga axial no veio e as chumaceiras foram selecionadas também com esse propósito. Assim, foi necessário desenvolver um engate para o cilindro, ilustrado na Figura 3.17, projetado de maneira a absorver algum movimento axial na extremidade do veio que encaixa no cilindro.

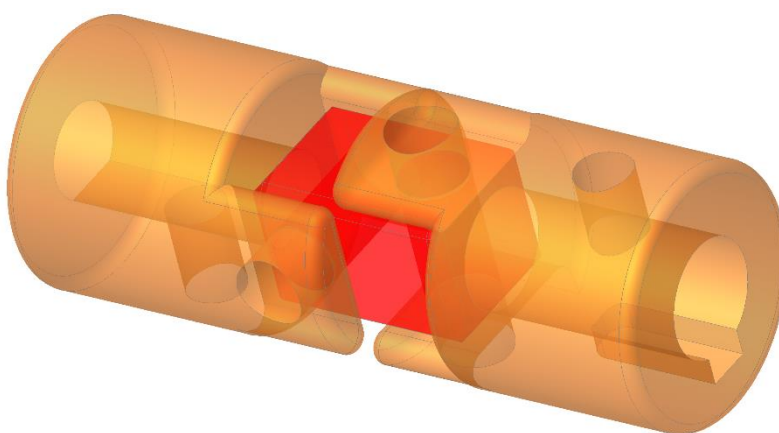


Figura 3.17 - Engate veio cilindro

Embora o cilindro de rotação utilize um batente interno físico para limitar a rotação, considerou-se necessário desenvolver um batente externo para garantir a posição do tubo após a rotação. Conforme ilustrado na Figura 3.18, durante a rotação do tubo, o batente recua por meio de um cilindro pneumático.

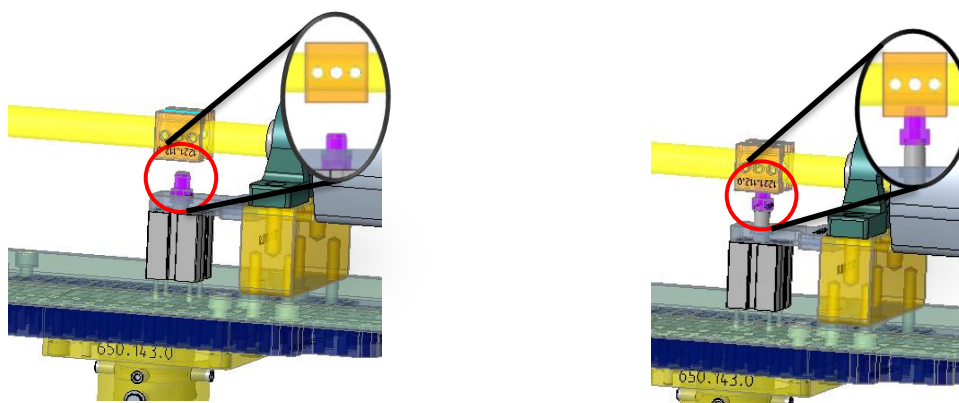


Figura 3.18 – a) Batente desbloqueado, b) Batente bloqueado

3.5.2 Sistema de suporte externo

O tubo é fixado pelo seu interior, e, para garantir o correto posicionamento inicial, foi desenvolvido um sistema específico de suporte e posicionamento, ilustrado na Figura 3.19.

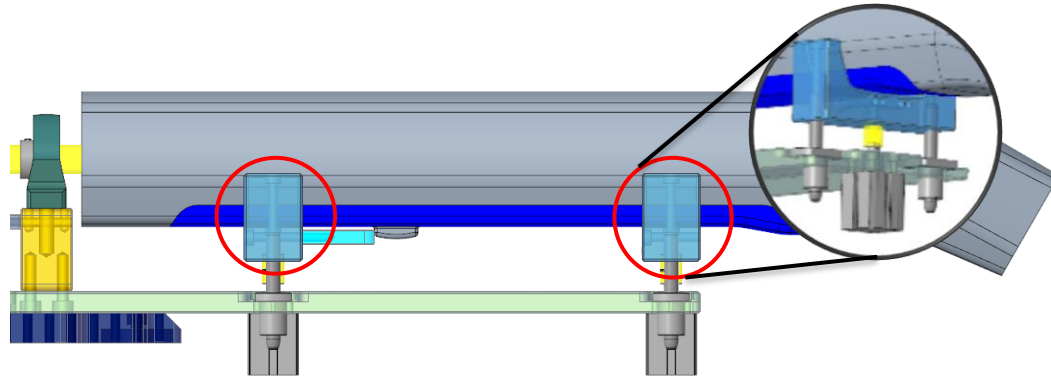


Figura 3.19 - Sistema de suporte exterior

Este sistema concede suporte ao tubo tanto na primeira posição de corte (Figura 3.20) como na segunda posição de corte (Figura 3.21).

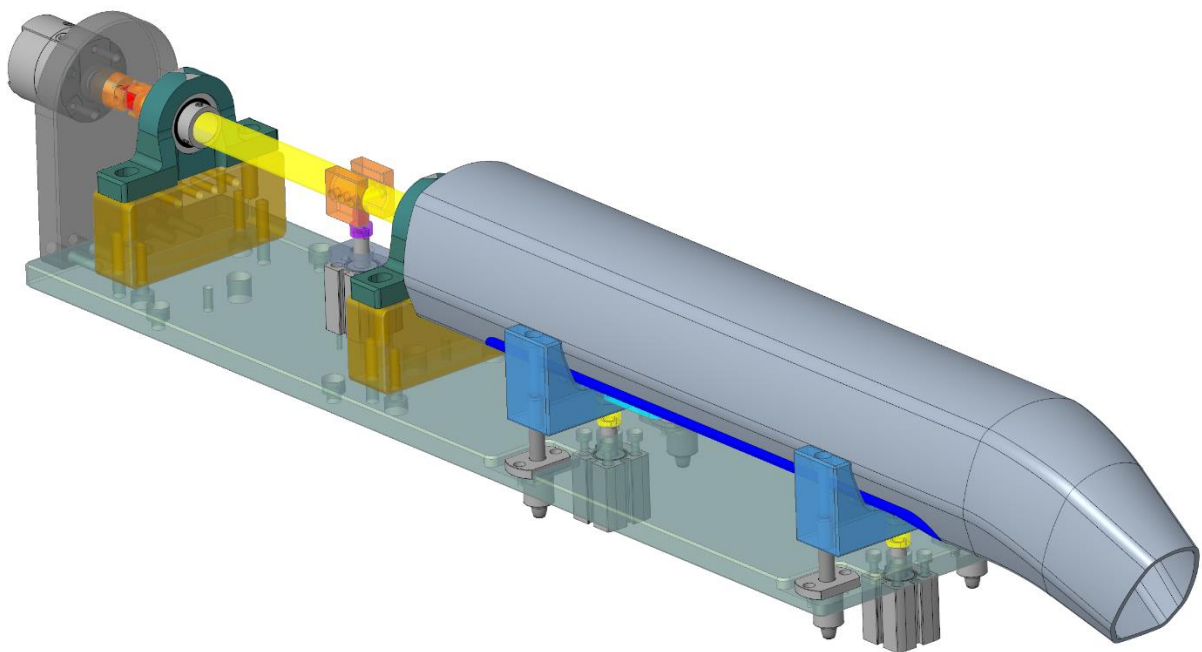


Figura 3.20 - 1ª posição de corte

*Otimização do processo produtivo de um
equipamento de corte a laser*

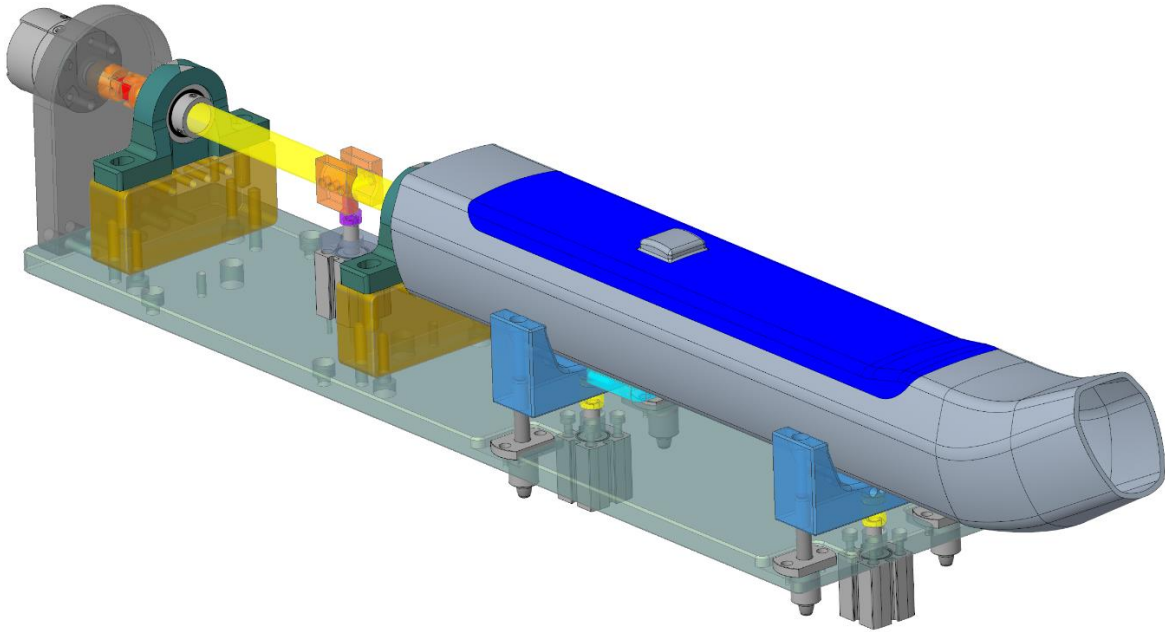


Figura 3.21 - 2ª posição de corte

O sistema contém dois suportes que sustentam o tubo, fixos a dois cilindros pneumáticos. Após o corte e a fixação do tubo pelo seu interior, essas “camas” recolhem para permitir a rotação do mesmo, tal como ilustrado na Figura 3.22.

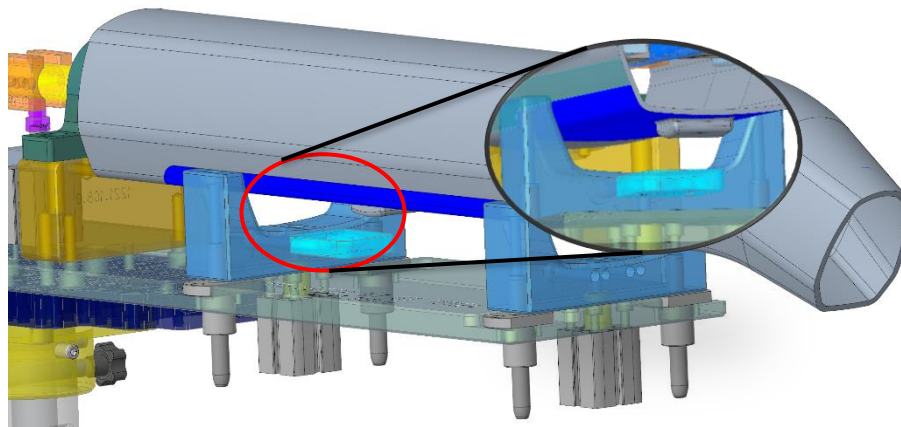


Figura 3.22 - Suportes em posição de rotação

Após o 1º corte, os suportes exteriores avançam novamente e suportam o tubo também na 2ª posição de corte como se pode observar na Figura 3.23.

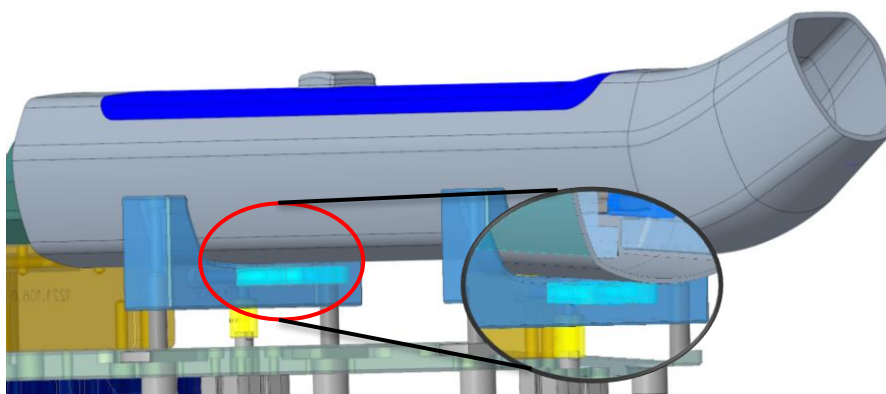


Figura 3.23 - Suporte externo em posição de corte

Integrado nos suportes, foi projetado um batente que posiciona o tubo longitudinalmente, como ilustrado na Figura 3.24. Esta peça serve como batente para uma saliência presente no tubo em *ram*.

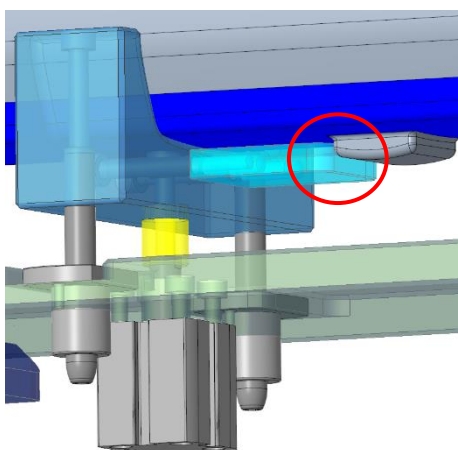


Figura 3.24 - Posicionamento pelo batente

3.5.3 Sistema de suporte interno

Para o sistema de suporte interior, foi desenvolvido um mecanismo acionado pneumaticamente que permite a fixação do tubo pelo interior (Figura 3.25), sem comprometer nenhuma das áreas de corte necessárias.

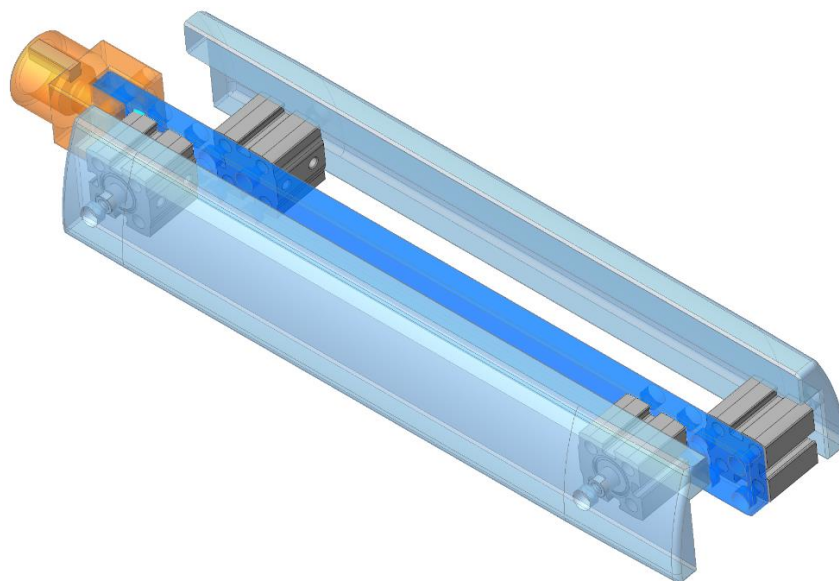


Figura 3.25 - Sistema de suporte interno

O sistema é acionado por 4 cilindros pneumáticos, exercendo cada um uma força máxima de 121 N a 6 bar. As representações em corte do sistema, em posição de avanço e em posição de recuo, podem ser visualizadas na Figura 3.26.

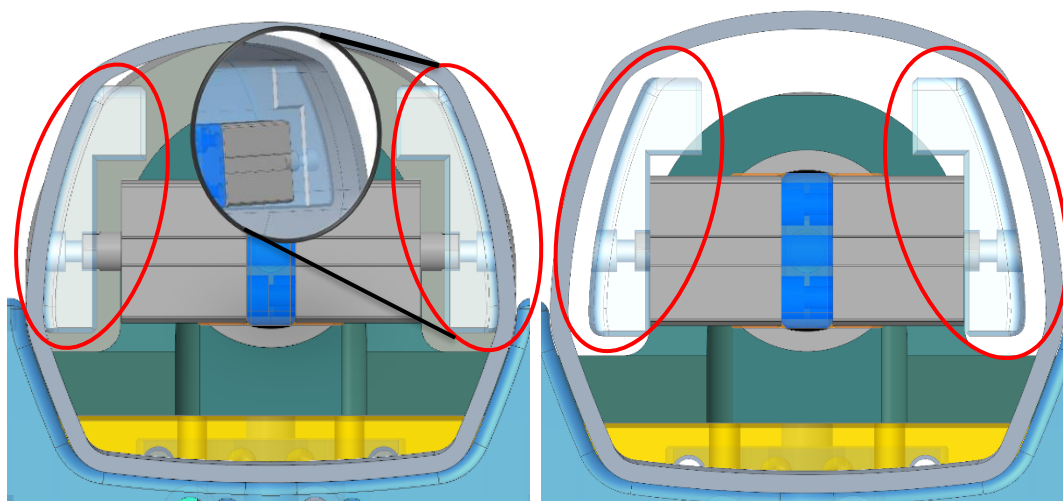


Figura 3.26 – a) Sistema em atuação, b) Sistema em posição de recuo

3.6 Estudo numérico do veio de rotação

O veio que permite a rotação e faz o acoplamento ao cilindro de rotação é o componente crítico, merecendo atenção especial e obrigando a uma análise mais cuidadosa. A Figura 3.27 apresenta o modelo 3D do sistema, sendo possível identificar as solicitações a que está submetido. No desenvolvimento deste projeto foram utilizados vários materiais para cada componente, podendo os mesmos ser visualizados nos desenhos técnicos de cada peça, apresentados no Apêndice C.

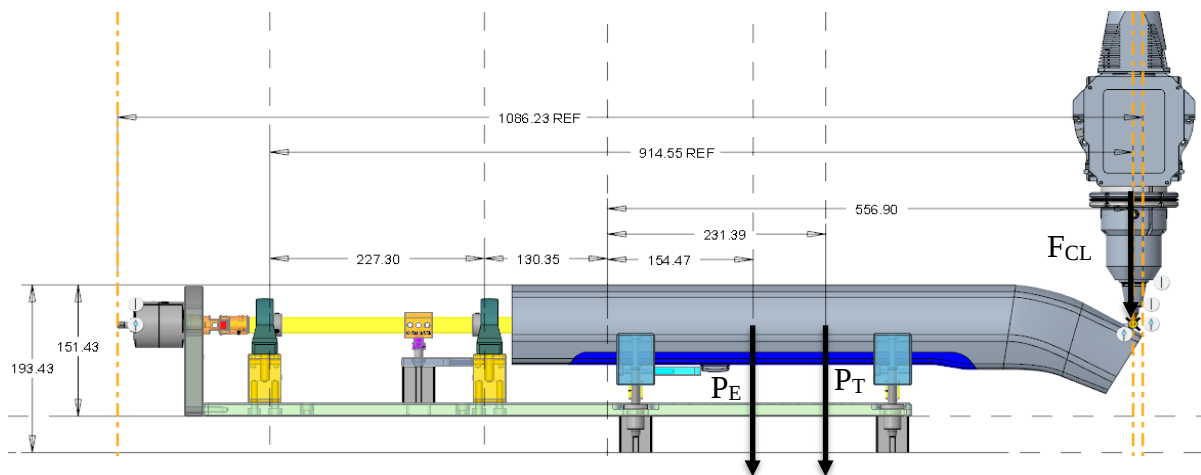


Figura 3.27 - Modelo 3D com visualização das solicitações ao veio (dimensões em mm)

Na figura 3.29, P_E representa a força exercida devido à massa da estrutura interior do tubo, P_T representa a força exercida devido à massa do tubo colocado na estrutura antes do corte, ambas aplicadas no centro de massa do componente e F_{CL} representa a força exercida devido a pressão de corte do equipamento.

O modelo em estudo apresenta múltiplos apoios que não foram considerados, dado tratar-se de um problema hiperestático. No entanto, considerou-se essencial proceder a uma análise do veio de rotação e dos dois apoios inferiores do tubo, assumindo que esta representaria a condição mais crítica. Nesta avaliação, determinou-se que o veio não apresenta problemas de estabilidade, uma vez que se encontra devidamente sustentado.

Para o estudo deste componente foi considerado que a estrutura se encontra em carga máxima, adicionando ainda um coeficiente de segurança de 1,5, (Europeenne & Norm, 2006). Este coeficiente fornece uma margem de segurança, assegurando que a estrutura possa suportar solicitações superiores às previstas, aumentando a segurança e a robustez do projeto. Foram também desconsiderados os suportes inferiores nesta análise com o objetivo de analisar a possibilidade de cortar um tubo que não seja possível suportar nas 2 posições de corte.

Considerou-se a massa do tubo em *raw* com 1,63 kg e a massa da estrutura de suporte interior com 1,36 kg, que, através da 2ª Lei de Newton, resultaram em solicitações de $P_T = 16 \text{ N}$ e $P_E = 13,3 \text{ N}$, respetivamente. Adicionalmente, considerando a pressão de corte do laser como 10 bar para esta aplicação e o diâmetro de 2,2 mm da extremidade de corte, a força exercida devido à pressão de corte foi de $F_{CL} = 3,8 \text{ N}$.

O cálculo analítico ao veio é realizado partindo de uma simplificação feita à estrutura, tal como ilustrado na Figura 3.28.

Otimização do processo produtivo de um equipamento de corte a laser

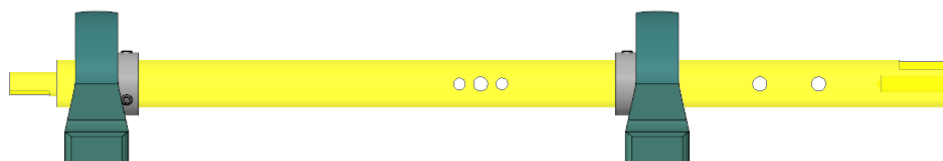


Figura 3.28 – Estrutura simplificada

O veio em estudo tem um diâmetro de 30 mm, sendo em Aço AISI 1045, cujas principais características mecânicas se apresentam na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - - Características mecânicas do aço AISI 1045 (Fonte: Triangle's)

Aço AISI 1045	
Tensão de cedência	530 MPa
Módulo de <i>Young</i>	210 GPa
Coefficiente de Poisson	0,29

O diagrama simplificado do veio é apresentado na Figura 3.29, considerando-se bi apoiado e com solicitação na sua extremidade livre. Embora as duas chumaceiras devam ser consideradas como apoio duplo, de modo a simplificar a resolução, a chumaceira mais afastada é considerada como apoio duplo e a chumaceira junto do troço do veio em balanço como apoio simples. Esta abordagem, apesar de simplificada, majora as condições de projeto. F_T representa o somatório de P_E , P_T e F_{CL} equivalente a 33,13 N, M_T representa o somatório dos momentos gerados pelas forças mencionadas anteriormente, equivalente a 8,08 N m

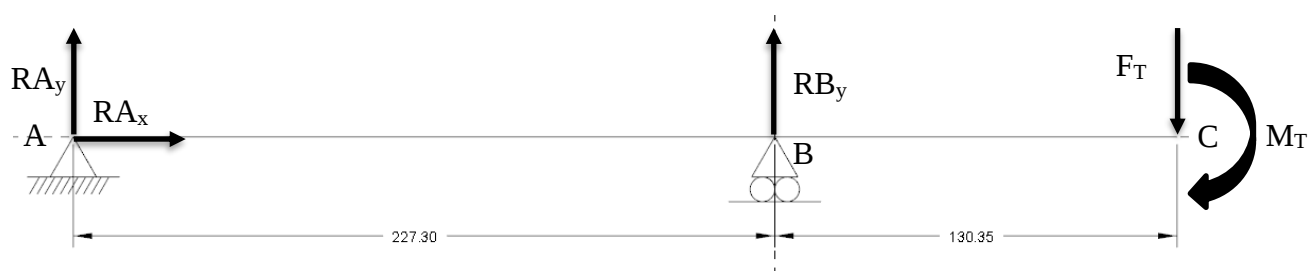


Figura 3.29 – Diagrama de corpo livre do veio

Procedendo ao equilíbrio do sistema, obtêm-se as reações nos apoios, tal como se apresenta no sistema de equações (3.8):

$$\begin{aligned}
\sum F_x &= 0 \\
\sum F_y &= 0 (=) \begin{cases} RA_x = 0 \\ RA_y + RB_y - F_T = 0 \\ -RB_y \times 0,23 + F_T \times 0,36 + M_T = 0 \end{cases} \\
\sum M_A &= 0
\end{aligned} \tag{3.8}$$

$$(=) \begin{cases} RA_x = 0 \text{ N} \\ RA_y = -53,85 \text{ N} \\ RB_y = 86,98 \text{ N} \end{cases}$$

A Figura 3.30 apresenta a visualização gráfica dos esforços cortantes no veio.

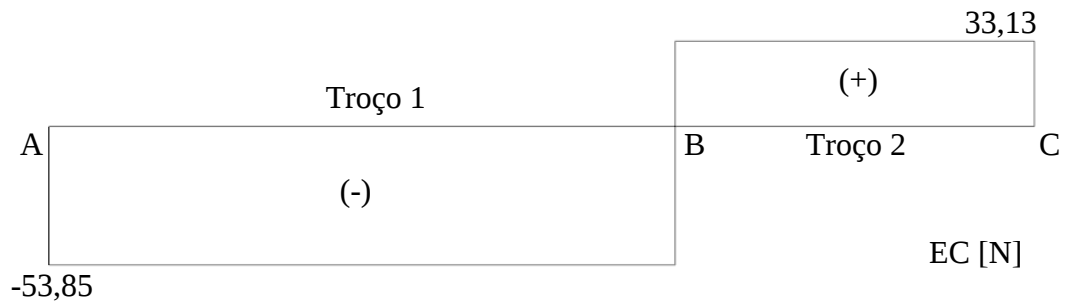


Figura 3.30 – Diagrama de esforços cortantes (N)

O diagrama dos momentos fletores é ilustrado na Figura 3.31:

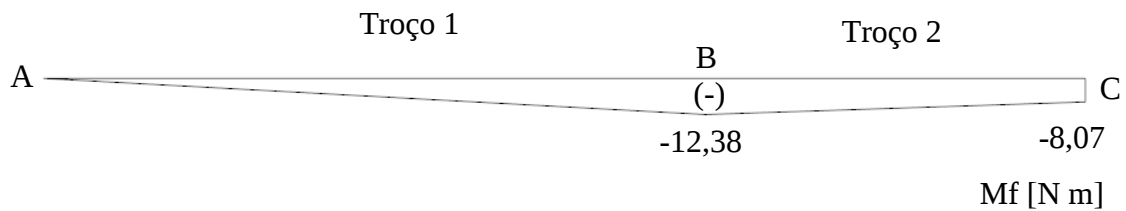


Figura 3.31 – Diagrama de momentos fletores (N)

Para o cálculo dos momentos fletores é necessário fazer a integração do correspondente aos esforços cortantes em cada trecho. Assim:

Troço 1 ($0 \leq x \leq 0,23$)

$$M_1(x = 0) = 0$$

$$M_1(x) = \int -53,85 \, dx = -53,85 * x + C_1$$

$$C_1 = 0$$

$$M_1(x = 0,23) = -53,85 \times 0,23 = -12,38 \text{ Nm}$$

Troço 2 ($0 \leq x \leq 0,13$)

$$M_2(x = 0) = -12,38 \text{ Nm}$$

$$M_2(x) = \int 33,13 \, dx = 33,13 * x + C_2$$

$$C_2 = -12,38$$

$$M_2(x = 0,13) = 33,13 \times 0,13 - 12,38 = 8,07 \text{ N m}$$

Com base na análise realizada, conclui-se que o momento fletor máximo ocorre no ponto B, apresentando um valor de 8,07 N m.

Este resultado permite calcular a tensão normal máxima nesta seção, recorrendo à equação (3.9):

$$\sigma = \frac{M_{max} \times c}{I} \quad (3.9)$$

onde σ é a tensão normal máxima, M_{max} é o momento fletor máximo, c é a distância do eixo neutro à fibra mais distante e I é o momento inércia da secção transversal. Usando a equação (3.10) obtém-se o valor de I , e tendo em conta que o veio em estudo tem 30 mm de diâmetro, c assume 0.015m.

$$I = \frac{\pi}{4} \times r^4 = \frac{\pi}{4} \times 0,015^4 = 3,98 \times 10^{-8} \text{ m}^4 \quad (3.10)$$

Assim, o valor da tensão normal máxima será de 4,67 MPa

$$\sigma = \frac{12,38 \times 0,015}{3,98 \times 10^{-8}} = 4,67 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Sabendo que o coeficiente de segurança é 1,5, e utilizando a equação (3.11):

$$\sigma < \frac{\sigma_c}{n} (=) 4,67 < \frac{530}{1,5} (=) 4,67 \text{ MPa} < 353 \text{ MPa} \quad (3.11)$$

Pode-se afirmar que o veio suporta as solicitações a que está submetido, garantindo a resistência mecânica adequada.

Adicionalmente é calculado o deslocamento máximo na extremidade do veio utilizando o diagrama representado na Figura 3.32:

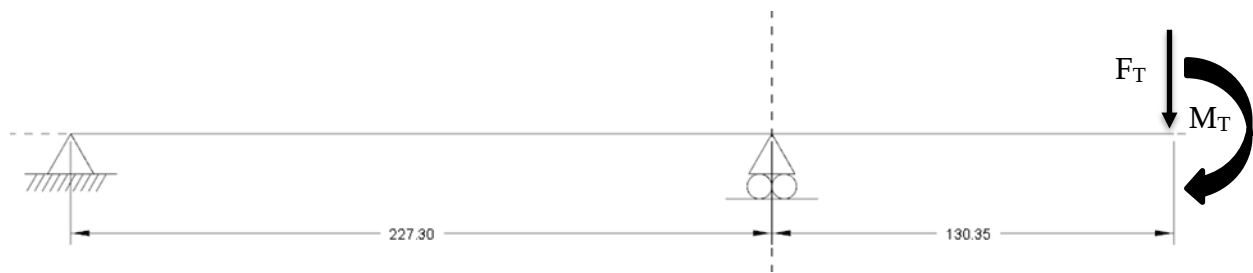


Figura 3.32 – Diagrama utilizado no cálculo do deslocamento (dimensões em mm)

Para o cálculo do deslocamento máximo, recorre-se ao método da sobreposição, sendo a estrutura dividida em 2 partes, representadas na Figura 3.33 e Figura 3.34, cada uma correspondente a um tipo de solicitação.

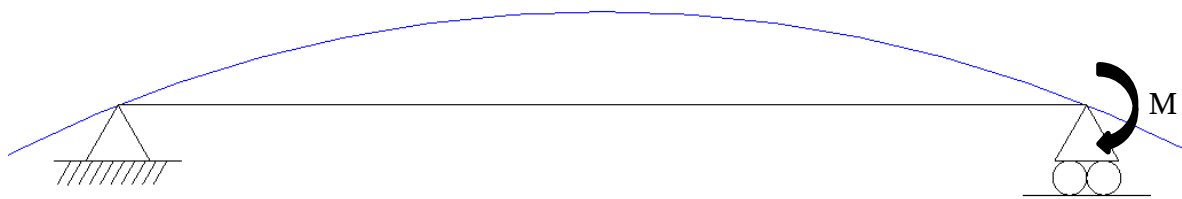


Figura 3.33 – Diagrama com a ação do momento fletor

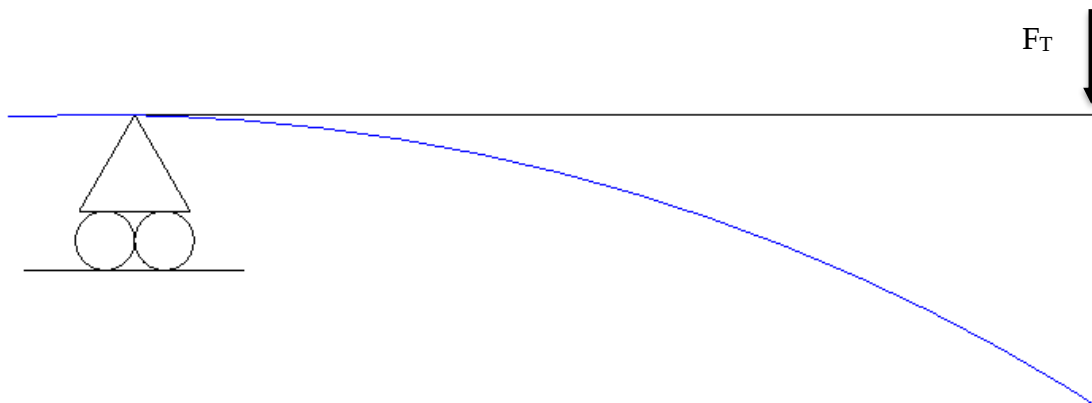


Figura 3.34 – Diagrama com a ação da força vertical

Assim, pode-se calcular o deslocamento máximo (δ) a partir da equação (3.12), onde M_{max} é o momento fletor máximo calculado anteriormente, L é o comprimento do veio, E o módulo de Young, I o momento inércia da secção transversal e F_T a força aplicada na extremidade do veio:

$$\delta = -\frac{M_{max} \times L^2}{9 \times \sqrt{3} * E * I} - \frac{F_T \times L^3}{3 \times E \times I} \quad (3.12)$$

$$\delta = -1,10 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Concluindo, observamos uma deflexão máxima na extremidade do veio de $1,10 \times 10^{-2}$ mm no sentido negativo. Sendo este valor inferior ao comprimento da extremidade

livre do veio (130,35 mm) a dividir pelo limite máximo admissível de 300 considera-se que o veio apresenta uma rigidez adequada para a aplicação. (Europeenne & Norm, 2006)

Seguidamente, procedeu-se à análise estrutural do veio utilizando o método dos elementos finitos.

A análise de elementos finitos FEA é uma técnica fundamental na engenharia estrutural, permitindo a resolução de problemas complexos que envolvem comportamento estrutural e resistência de materiais. Este método consiste na subdivisão de uma estrutura em elementos finitos discretos, cada um com propriedades específicas, facilitando a análise detalhada de cada componente e da estrutura como um todo. A precisão dos resultados obtidos através da FEA depende da qualidade da malha gerada e da precisão dos modelos matemáticos utilizados.

Na análise de elementos finitos FEA, a criação da malha é um passo crucial para a precisão dos resultados. A malha consiste em subdividir a geometria do objeto de estudo em pequenos elementos, que podem assumir tipologias distintas, dependendo da geometria em estudo. Cada um desses elementos é interconectado por nós, formando uma rede que cobre toda a estrutura a ser analisada (O.C. Zienkiewicz & R.L. Taylor, 2000).

O objetivo da malha é transformar a geometria complexa de uma estrutura contínua num conjunto discreto de elementos mais simples, onde as equações diferenciais que descrevem o comportamento físico do material podem ser resolvidas numericamente. Quanto mais refinada a malha, ou seja, quanto menores e mais numerosos os elementos, maior será a precisão dos resultados, embora isso também aumente o custo computacional (Bathe, 1996).

No contexto da análise de elementos finitos FEA, a convergência de resultados refere-se à aproximação progressiva das soluções numéricas obtidas por meio do refinamento da malha em relação à solução exata do problema. A convergência é um aspeto fundamental, pois garante que os resultados da simulação sejam representativos e precisos, permitindo a validação e a confiabilidade do modelo.

A convergência é alcançada quando, ao aumentar o número de elementos da malha (ou reduzir o tamanho dos elementos), os resultados da FEA se estabilizam e não apresentam variações significativas. (O.C. Zienkiewicz & R.L. Taylor, 2000).

O modelo de elementos finitos foi implementado com recurso ao software Solidworks. Tendo em conta o funcionamento do componente, considerou-se suficiente proceder a uma análise estática linear. Para isso foram considerados elementos tetraédricos parabólicos com 10 nós e 3 graus de liberdade por nó, correspondentes aos deslocamentos nos 3 eixos ortogonais representado na Figura 3.35.

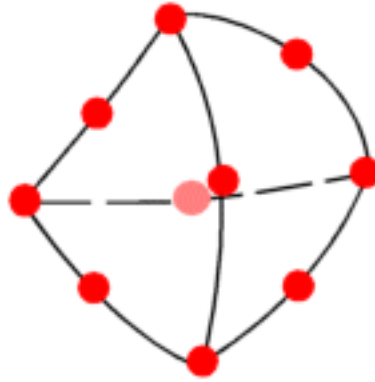


Figura 3.35 – Representação do elemento tetraédrico parabólico com 10 nós (Bashkirov et al., 2021)

A geometria foi simplificada, conforme se pode observar na Figura 3.36, tendo sido constrangidos os graus de liberdade necessários na superfície de encosto às chumaceiras, sendo a chumaceira mais perto do ponto de aplicação da carga considerada com apoio simples e a chumaceira mais distante como apoio duplo, tal como explicado na análise através do método analítico. A condição de carga considera 3 cargas remotas aplicadas em relação a extremidade do veio.

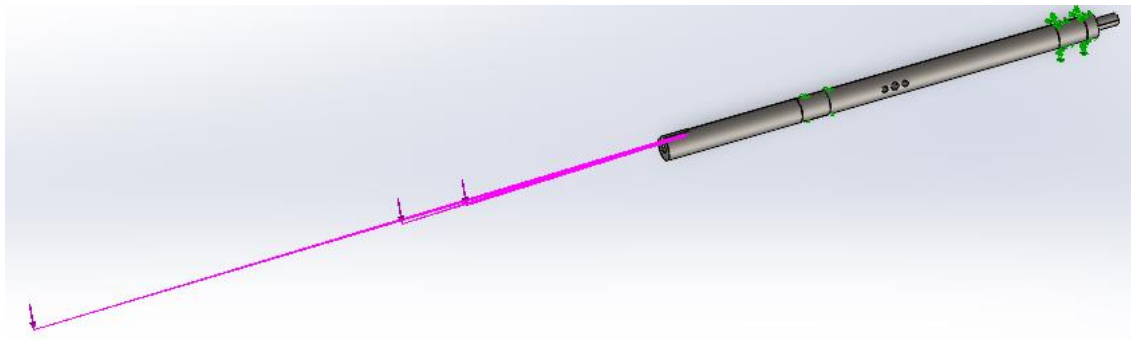


Figura 3.36 - Estrutura simplificada para o estudo

Foi feito um estudo de convergência de malha, variando a dimensão do elemento entre 3 mm e 8 mm, com incrementos de 1 mm. A Figura 3.37 mostra a malha para uma das situações consideradas. O estudo de convergência considera a análise da energia elástica de deformação, tendo por base o deslocamento máximo resultante para cada estudo.

Otimização do processo produtivo de um equipamento de corte a laser

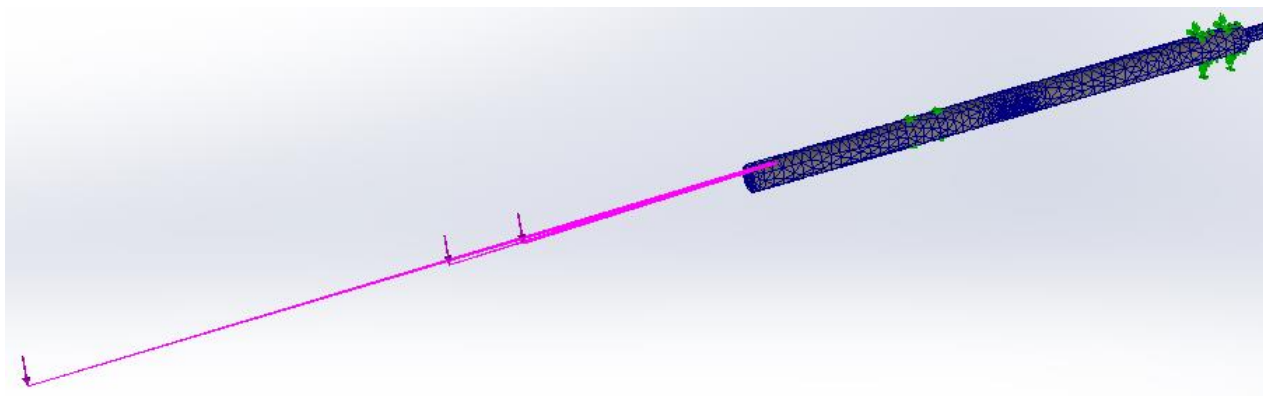


Figura 3.37 - Estrutura com malha de 8 mm

A Tabela 3.4 são apresentados, para cada situação analisada, os valores do deslocamento máximo resultante, bem como o desvio observado na transição da malha de 8 mm para a malha de 3 mm, relativamente ao valor previamente determinado. Verifica-se uma tendência de convergência nos deslocamentos, evidenciando uma estabilização dos resultados obtidos.

Tabela 3.4 – Variação do deslocamento máximo em função da dimensão da malha – estudo de convergência

<i>Malha (mm)</i>	<i>Número elementos</i>	<i>Deslocamento máximo (mm)</i>	<i>Desvio deslocamentos (%)</i>
8	9734	0,0643	
7	9813	0,0643	0,05%
6	11799	0,0643	0,02%
5	16425	0,0647	0,53%
4	23786	0,0648	0,20%
3	40873	0,0648	0,08%

Assim, por razões de custo computacional, opta-se por considerar o modelo correspondente à dimensão de 8 mm para o elemento, visto ter sido obtida a convergência de valores de deslocamento.

A Figura 3.38 apresenta a distribuição das tensões equivalentes de von Mises no componente. É possível observar que o valor máximo é de 35,76 MPa, esta tensão ocorre imediatamente a seguir ao segundo apoio considerado. A tensão de cedência do material é de 530 MPa, o que tendo em conta o coeficiente de segurança de 1,5 é considerado 353 MPa tal como calculado anteriormente. Verificando que 35,76 MPa é inferior aos 353 MPa, pode-se considerar que este componente apresenta a resistência mecânica adequada para a aplicação considerada.

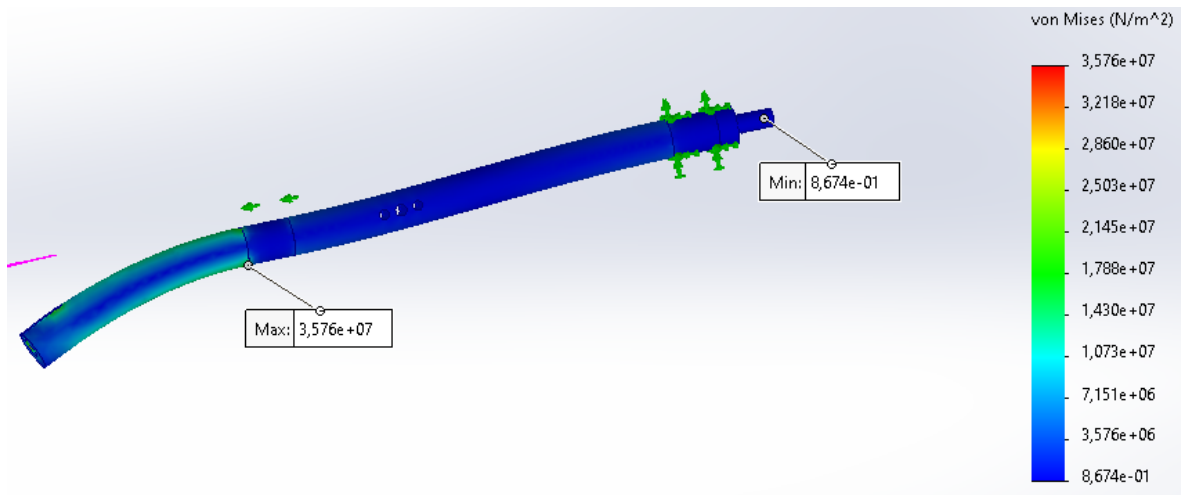


Figura 3.38 - Distribuição das tensões equivalentes de von Mises na malha de 8 mm

A Figura 3.39 apresenta a distribuição dos deslocamentos resultantes no componente, sendo possível observar o valor máximo de 0,0643 mm.

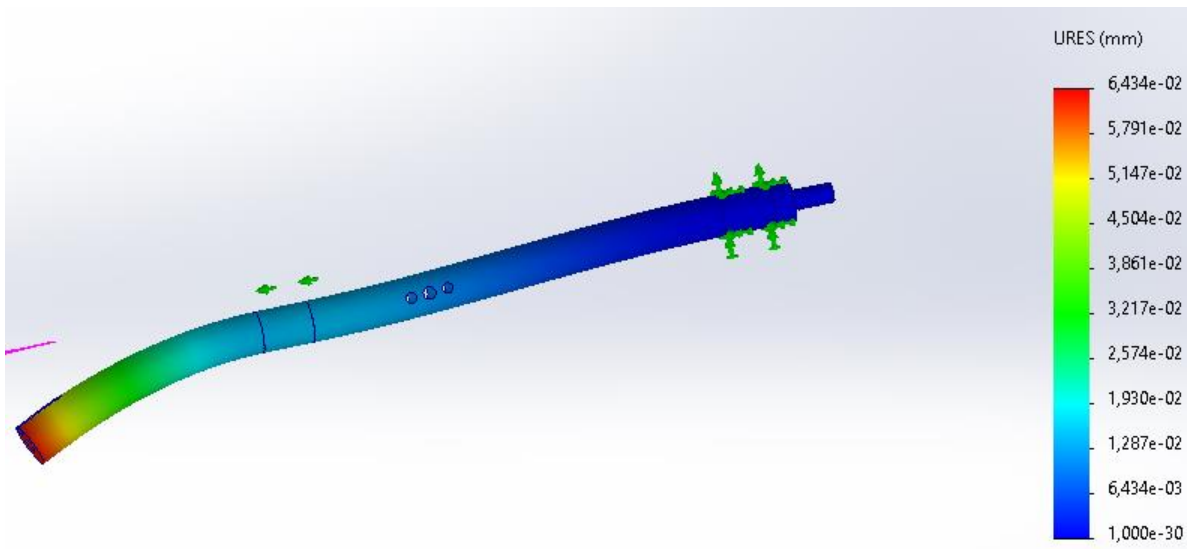


Figura 3.39 – Distribuição de deslocamentos resultantes na malha de 8 mm

Estabelecendo a relação entre o vão livre da estrutura (L) 130,35 mm e o limite máximo admissível 300, este deve ser superior ao valor máximo do deslocamento (δ_{max}) 0,064. Deste modo, analisando a equação (3.9) pode-se considerar que o componente apresenta a rigidez mecânica adequada para a aplicação. (Europeenne & Norm, 2006)

$$\delta_{max} \leq \frac{L}{300} \quad (3.13)$$

$$0,064 \leq 0,44$$

Nos Apêndices A e B é possível visualizar os resultados obtidos com as malhas de menores e maiores dimensões. Estes resultados fornecem uma análise comparativa crucial para avaliar a precisão e a eficácia do modelo de elementos finitos utilizado.

3.7 Seleção do material resistente ao corte a laser

Para este projeto, é necessária a seleção de um material que seja resistente ao corte a laser, evitando assim danos aos componentes mecânicos da estrutura. Anteriormente, foram analisadas características importantes que esse material deve possuir, tais como elevada refletividade, elevada condutividade térmica, elevada resistência à temperatura, baixa deformação térmica e capacidade de manter a integridade estrutural durante o processo de corte. Essas propriedades garantem que o material escolhido não comprometa a precisão e a funcionalidade da estrutura, assegurando um desempenho robusto e confiável.

Na Figura 3.40 é possível visualizar a proteção desenvolvida para o veio utilizado, esta é fixa utilizando 2 parafusos M6.

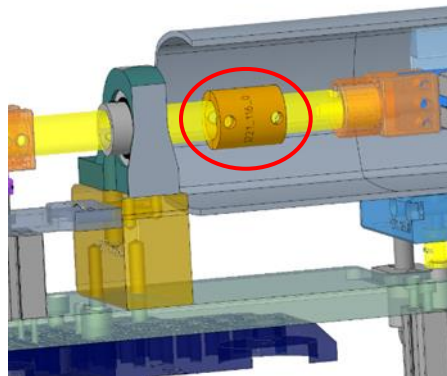


Figura 3.40 - Proteção do veio

A análise da Tabela 3.5 permite concluir que o laser em questão não apresenta capacidade para cortar cobre e aço ao carbono utilizando o gás oxigênio, que é aplicado no corte de ligas de alumínio. No Anexo A, encontram-se descritas diversas opções de materiais e tipos de gás que o laser pode efetivamente cortar.

Tabela 3.5 - Capacidade de corte Laser Next 1530 (Fonte -Prima Power)

Material	Espessura (mm)	Tipo de gás	Habilitado a cortar
Ligas de alumínio	1 a 4	O ₂	Sim
Aço ao carbono			Não
Aço inoxidável	1 a 6		Sim
Cobre			Não
Latão			Sim

Tendo o aço ao carbono e o cobre como opção analisou-se a condutividade térmica e a refletividade de cada um, estando essas características ilustradas na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Refletividade e condutividade térmica do cobre e do aço ao carbono (Isabel & Sá, 2017)

Material	Refletividade	Condutividade térmica
Cobre	Alta (até 95% na luz visível dependendo da superfície)	400
Aço ao carbono	Baixa (absorve mais radiação do que reflete)	50

Conclui-se, portanto, que o cobre é o material mais indicado para a produção das peças de proteção, devido à sua condutividade térmica, e à sua refletividade, a sua capacidade de resistência ao corte a laser com oxigênio e a sua possibilidade de ser maquinado.

4 CONCLUSÕES E PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

A necessidade sentida pela Triangle's no processo de corte a laser deu origem a este projeto, o qual consistia na melhoria do processo de corte a laser de um componente, situação que, no contexto do funcionamento atual obriga a dois apertos.

Foi feita uma análise do processo produtivo atual, definindo pontos de melhoria, utilizados para definir os critérios que a nova estrutura deveria cumprir. Foram tidos em conta: Eliminar a necessidade do 2º aperto, trabalho externo, repetibilidade, produtividade, custo do processo e facilidade de utilização.

Foram esboçadas e analisadas várias soluções para a resolução do problema. Tendo critérios definidos e a lista de soluções possíveis, uma matriz de seleção permitiu escolher a solução mais vantajosa, considerando o contexto da sua aplicação.

Após a seleção da solução, foi descrito o processo de desenvolvimento do sistema que permite a aplicação de um sexto eixo no equipamento de corte a laser.

Desenvolveu-se um sistema de rotação, que permite a rotação do tubo em 180°. Este sistema é atuado por meio de um cilindro de rotação e contempla também um posicionador para garantir a posição e a repetibilidade do sistema. Utiliza também um sistema de aperto interior do componente atuado pneumaticamente, que concede todo o acesso exterior ao tubo para o seu processamento. Por último, desenvolveu-se um sistema de suporte e posicionamento exterior do tubo atuado também pneumaticamente que garante o correto posicionamento do tubo antes de ser fixado pelo interior. Este sistema garante também suporte durante o corte.

Posteriormente, verificou-se analiticamente veio, tendo sido obtida uma tensão normal máxima no veio de 4,67 MPa e uma deflexão máxima na extremidade do veio de 0,011 mm. Considerando que a tensão normal admissível do material, tendo em conta o coeficiente de segurança utilizado, é de 353 MPa, conclui-se que o veio apresenta a resistência e rigidez mecânica adequadas.

Realizou-se ainda uma análise estática linear ao veio, tendo sido considerado o peso próprio da estrutura, o peso do tubo e a pressão de corte do laser. Foi implementado um modelo de elementos finitos, com recurso ao software Solidworks. Os resultados obtidos mostraram uma tensão máxima de von Mises de 35,76 MPa e um deslocamento máximo de 0,064 mm. Analisando estes resultados conclui-se que o veio apresenta a resistência e rigidez mecânica adequadas.

Com base nas análises realizadas observam-se diferenças nos valores obtidos entre os dois métodos. O estudo analítico indicou uma tensão normal máxima de 4,37 MPa e uma deflexão máxima de 0,011 mm na extremidade do veio. Por outro lado, a análise estrutural através do método dos elementos finitos revelou uma tensão máxima de von Mises de 35,76 MPa e um deslocamento máximo de 0,064 mm. Essas diferenças podem ser atribuídas a vários fatores, como por exemplo as simplificações e condições de carga consideradas na definição de ambos os modelos. Ainda assim

a análise através do método analítico revelou uma tensão máxima no segundo apoio e a análise através do método de elementos finitos revelou uma tensão máxima imediatamente a seguir ao segundo apoio.

Posteriormente, foi necessário desenvolver uma proteção para o interior do tubo, a fim de evitar danos nas peças internas durante o processo de corte. Analisando a tabela do fornecedor e considerando as propriedades que a proteção deveria possuir, concluiu-se que o material indicado seria o cobre, devido à utilização de oxigénio neste processo de corte.

Após estas etapas, concluiu-se que o sistema preenche todos os requisitos indicados inicialmente e que irá atender às necessidades do processo.

O sistema desenvolvido não foi produzido devido ao tempo limitado para a realização deste projeto.

No futuro, será realizado uma revisão ao sistema para permitir a aplicação de *zero points* (sistema de troca rápida de ferramenta) tanto no veio de rotação como no sistema de suporte inferior com o objetivo de permitir um engate rápido e preciso, um batente que permita a indexação de rotação de 90° em 90° para mais versatilidade no tipo de tubo a cortar será também uma melhoria a implementar, juntamente com um conjunto de fichas de engate rápido que acomodem ligações pneumáticas e elétricas para a fácil troca dos sistemas acoplados nos *zero points*.

Estas melhorias tornam o sistema de rotação numa estrutura universal no processo de corte a laser, permitindo o acoplamento rápido e preciso de qualquer estrutura desenhada especificamente para um tubo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bashkirov, A. V., Glotov, V. V., Bobylkin, I. S., Balashov, Y. S., & Kushnarev, A. S. (2021). The influence of a 3D model of a radio electronic component on thermal simulation. *Journal of Physics: Conference Series*, 2096(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2096/1/012052>
- Bathe, K. (1996). *Finite Element Procedures in Engineering Analysis* Bathe K.J.
- Blue Elephant. (2023). *O que é a usinagem 5 eixos?* <https://pt.elephant-cnc.com/blog/what-is-5-axis-machining/>
- Brito Gonçalves, & Gordo José. (2005). *Engenharia e Arquitectura Naval TECNOLOGIA DE ESTALEIRO*.
- Central Projetec. (2024). *Usinagem CNC de 3, 4, 5 ou 6 Eixos – Diferenças*. <https://centralprojetec.com.br/usinagem-cnc/>
- Chen, K., Yao, Y. L., & Modi, V. (2001). Gas Dynamic Effects on Laser Cut Quality. *Journal of Manufacturing Processes*, 3(1), 38–49. [https://doi.org/10.1016/S1526-6125\(01\)70032-1](https://doi.org/10.1016/S1526-6125(01)70032-1)
- Chrysosolouris, G. (1991). *Laser Machining*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4084-4>
- Dimakin. (2024). *Como Funciona o Corte a Laser? - Dimakin*. <https://www.dimakin.pt/como-funciona-o-corte-a-laser/>
- Europeenne, N., & Norm, E. (2006). *EUROPEAN STANDARD Eurocode 3-Design of steel structures-Part 2: Steel Bridges*.
- Festo. (2024). *Atuador de um quarto de volta DRVS-16-180-P | Festo PT*. <https://www.festo.com/pt/pt/a/1845714/?q=1845714%7E%3AfestoSortOrderScore&d>
- Ian Gibson, David Rosen, & Brent Stucker. (2014). *Additive Manufacturing Technologies*.
- Isabel, H., & Sá, O. (2017). *Universidade do Minho Escola de Ciências*.
- Keles, O., Oner, U., Keles¹, O., & Oner², U. (2010). A Study of the Laser Cutting Process: Influence of Laser Power and Cutting Speed on Cut Quality. Em *Lasers in Eng* (Vol. 20). <https://www.researchgate.net/publication/287091525>
- Marques, S. (2023). *A Revolução do Corte a Laser no Setor Automotivo | Tudo no blog da SM*. <https://serafimmarques.com/corte-a-laser-setor-automotivo/>
- Misumi. (2025). *PDRCP20 | Pillow Blocks / Cast Iron from MISUMI | MISUMI*. <https://uk.misumi-ec.com/vona2/detail/110302643840/?PNSearch=PDRCP20&HissuCode=PDRCP20&Keyword=PDRCP20&list=SuggestPreview&searchFlow=suggest2productshist>
- O.C. Zienkiewicz, & R.L. Taylor. (2000). *The Finite Element Method Fifth edition Volume 1: The Basis*.
- Petring, D. (2013). Developments in hybridisation and combined laser beam welding technologies. *Handbook of Laser Welding Technologies*, 478–504. <https://doi.org/10.1533/9780857098771.3.478>
- Prima Power. (2024). *The Laser | 3D line Cutting-edge technology for real-world applications*.
- Santos, J. F. O., Quintino, L., & Niranda, R. M. (1993). *Corte por Laser*.
- Triangles. (2024). *Triangle's - Cycling Equipments, S.A: sobre nós | LinkedIn*. <https://www.linkedin.com/company/triangles-cycling/about/>
- Trotec Laser. (2024). *Aplicações a laser | Trotec Laser*. <https://www.troteclaser.com/pt-pt/aplicacoes-a-laser>

- Uppada, S., Surya, V., Macharla, T., Kumar Madugula, M., Phanindra, M., & Sai, K. (2024). Advancements in CNC Laser Cutting Machines: Revolutionizing Precision Manufacturing. Em *International Journal of Research Publication and Reviews Journal* homepage: www.ijrpr.com (Vol. 5, Número 1). www.ijrpr.com
- Wellelaser. (2024). *O corte a laser de tubos na fabricação de bicicletas - Welle Laser*. <https://wellelaser.com/o-corte-a-laser-de-tubos-na-fabricacao-de-bicicletas/>
- Woofee Laser. (2023). *Aplicação do Laser na Fabricação Aeroespacial - Conhecimento*. <https://pt.woofeelaser.com/info/application-of-laser-in-aerospace-manufacturin-89789721.html>
- Wrights Plastics. (2019). *What is 5-axis CNC | CNC machining services from Wrights Plastics*. <https://www.wrightsplastics.co.uk/what-is-5-axis-cnc/>
- Xu, H., Hu, J., & Wu, W. (2014). Optimization of 3D laser cutting head orientation based on the minimum energy consumption. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 74(9–12), 1283–1291. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6080-4>

APÊNDICES

Apêndice A – Simulação com a malha de menor dimensão (3mm)

No apêndice, é ilustrada a distribuição de tensões e deslocamentos no modelo numérico em estudo, utilizando uma malha de 3 mm.

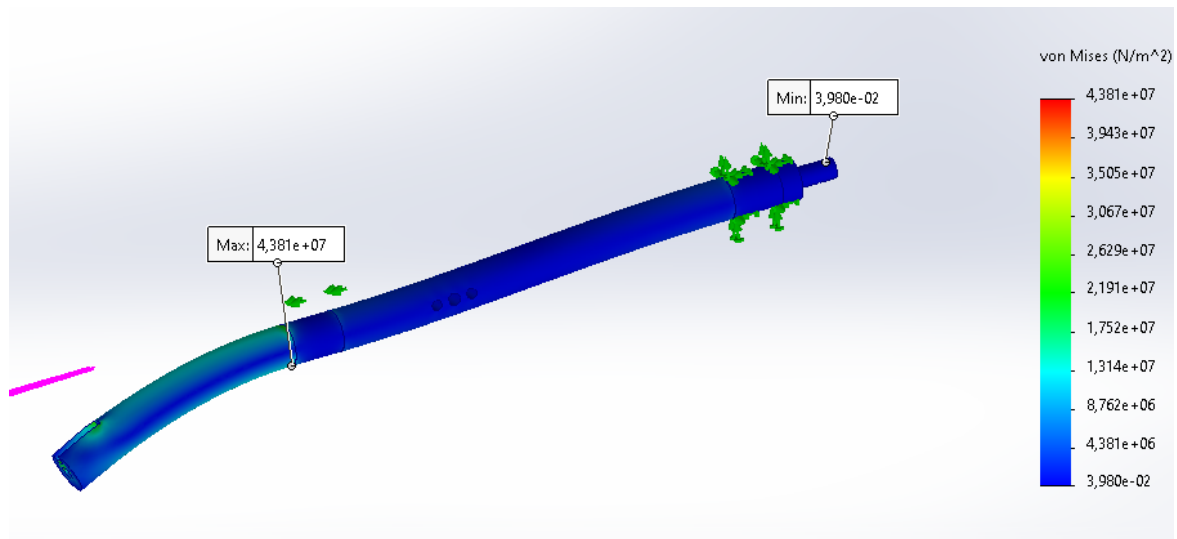


Figura A.1 - Tensões na malha de 3 mm

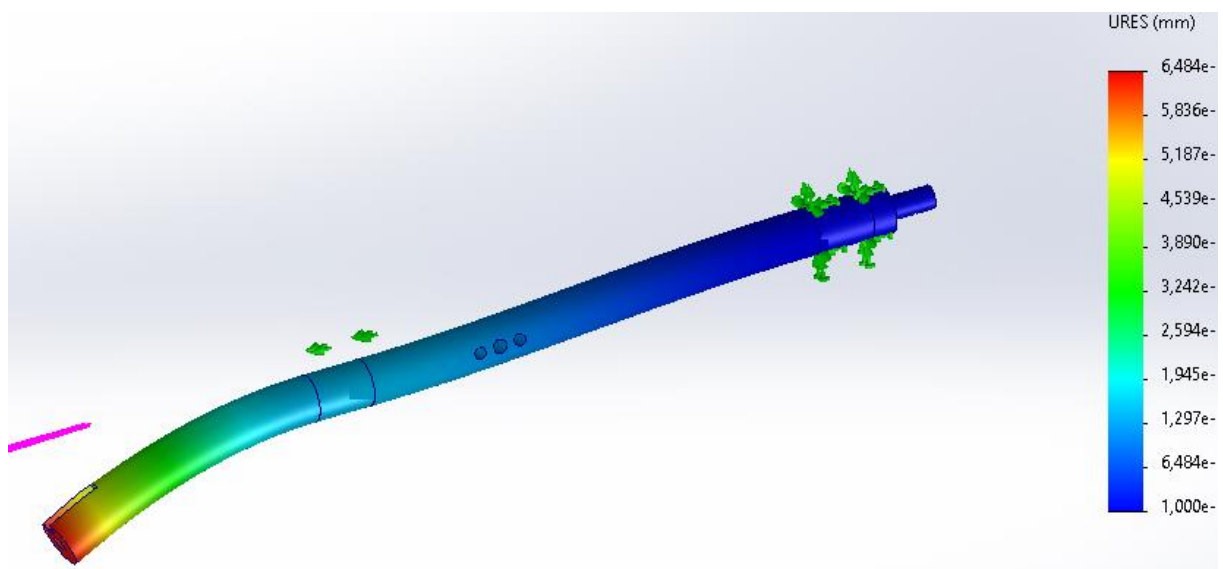


Figura A.2 - Deslocamentos na malha de 3 mm

Apêndice B – Simulação com a malha de maior dimensão (8 mm)

No apêndice, é ilustrada a distribuição de tensões e deslocamentos no modelo numérico em estudo, utilizando uma malha de 8 mm.

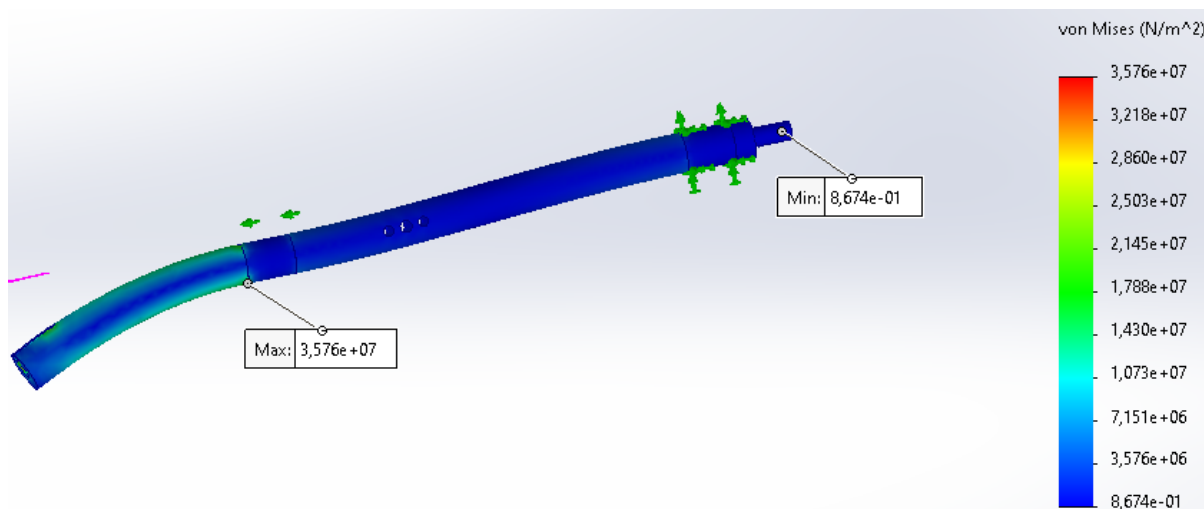


Figura B.1 - Tensões na malha de 8 mm

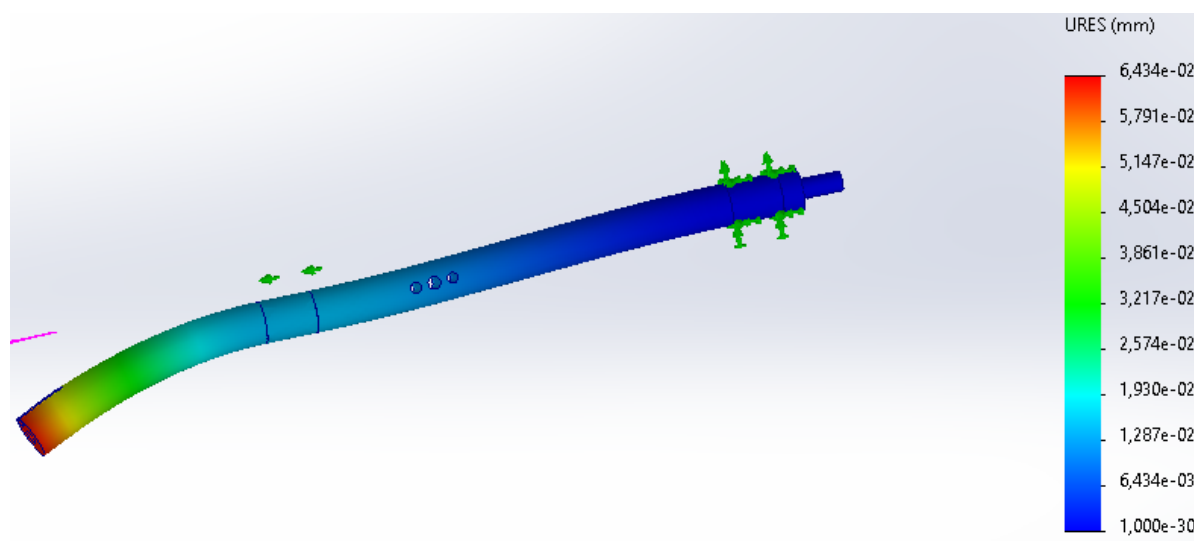


Figura B.2 - Deslocamentos na malha de 8 mm

Apêndice C – Desenhos técnicos 2D dos componentes da estrutura

No apêndice, são ilustrados os desenhos 2D de todos os componentes que integram a estrutura desenvolvida.



**Instituto Superior
de Engenharia**

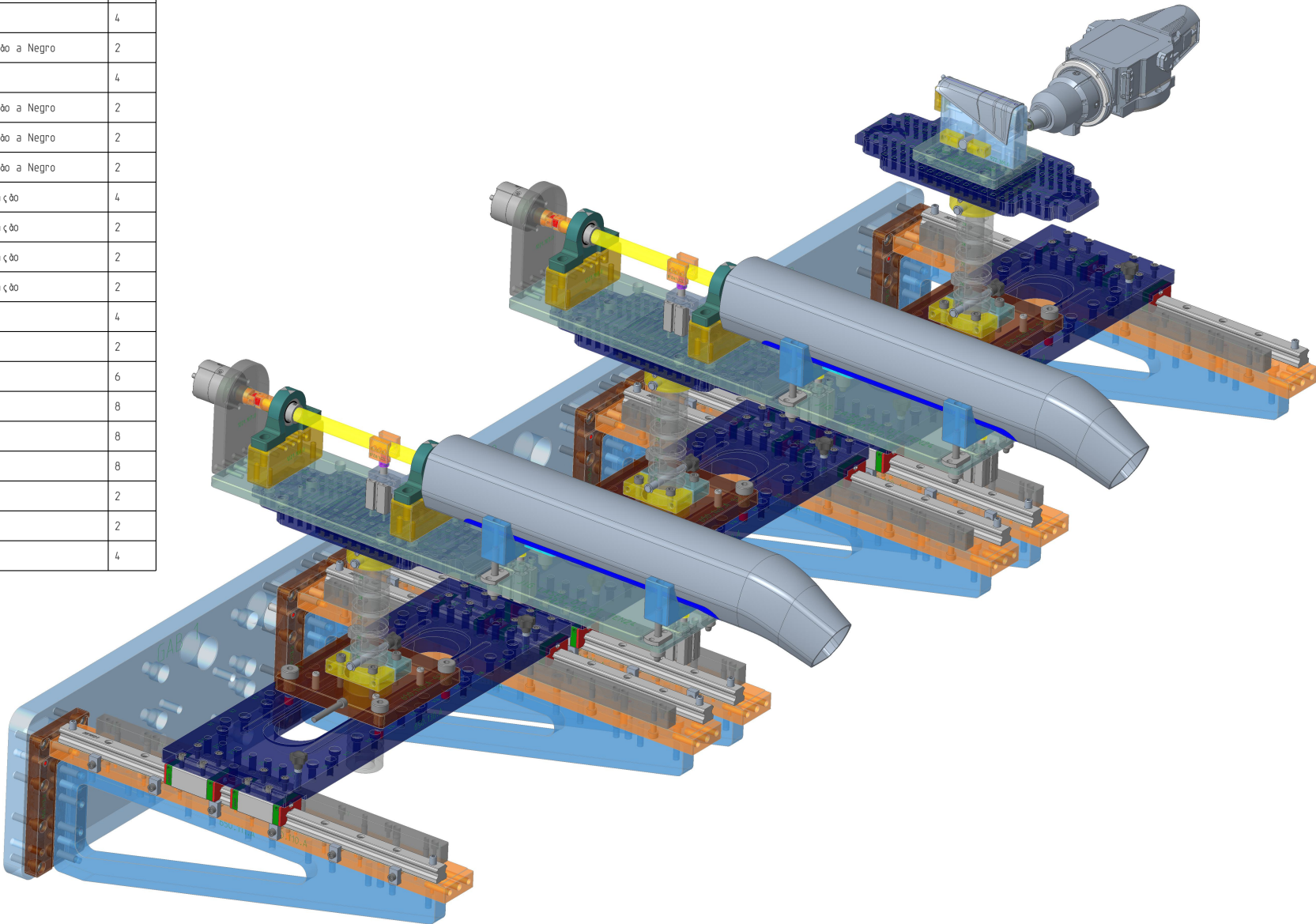
Politécnico de Coimbra

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

A3

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: Todos os direitos de propriedade nos estão reservados. Proibido copiar ou de deixar em poder de terceiros sem nossa permissão escrita.

Item	Name	Number	Reference	Manufacturer	Supplier	Peso	Material	Treatment	Qtt.
1	1221_001_0	922.001.0			-	133681.868	-	-	2
2	1221_010_0	1221.010.0			-	116703.632	-	-	2
3	1221_011_0	1221.011.0			-	1.366	-	-	2
4	1221_012_0	1221.012.0			-	0.125	-	-	2
5	1221_100_0	1221.100.0		-	-	4.595	EN-AW 7075	-	2
6	1221_101_0	1221.101.0		-	-	116703.525	Veio Relif e Temp Série W	-	2
7	1221_102_0	1221.102.0		-	-	0.241	EN-AW 5083	-	2
8	1221_103_0	1221.103.0		-	-	0.192	Ertalon 6 SA	-	4
9	1221_104_0	1221.104.0		-	-	0.198	DIN CK 45/F10	Oxidação a Negro	2
10	1221_105_0	1221.105.0		-	-	0.191	Ertalon 6 SA	-	4
11	1221_106_0	1221.106.0		-	-	0.008	EN-AW 5083	-	4
12	1221_107_0	1221.107.0		-	-	2.044	DIN CK 45/F10	Oxidação a Negro	2
13	1221_108_0	1221.108.0		-	-	0.629	EN-AW 5083	-	4
14	1221_109_0	1221.109.0		-	-	0.057	DIN CK 45/F10	Oxidação a Negro	2
15	1221_110_0	1221.110.0		-	-	0.014	DIN CK 45/F10	Oxidação a Negro	2
16	1221_111_0	1221.111.0		-	-	0.052	DIN CK 45/F10	Oxidação a Negro	2
17	1221_112_0	1221.112.0		-	-	0.052	W Nr 2311	Nitruração	4
18	1221_113_0	1221.113.0		-	-	0.011	W Nr 6582/FR3	Nitruração	2
19	1221_114_0	1221.114.0		-	-	0.179	W Nr 2311	Nitruração	2
20	1221_115_0	1221.115.0		-	-	0.136	W Nr 2311	Nitruração	2
21	1221_116_0	1221_116_0		-	-	0.054	Cobre. 99.9	-	4
22	1845714_DRVS-16-180-P		DRVS-16-180-P	FESTO	FESTO	0.891	-	-	2
23	8076336_ADN-S-20-20-I-P-A		ADN-S-20-20-I-P-A	FESTO	FESTO	0.299	-	-	6
24	8076392_ADN-S-16-5-I-P-A				-	0.135	-	-	8
25	C-LHFC 10	-	LHFC 10	MISUMI	MISUMI	0.000		-	8
26	E_1034_10X80_1		E 1034 10X80	MEUSBURGER	MEUSBURGER	0.045	-	-	8
27	KEDF6-20	-		-	-	0.006	DIN CK 45/F10	-	2
28	KES4-10	-		-	-	0.001	DIN CK 45/F10	-	2
29	PDRCP20		PDRCP20	MISUMI	MISUMI	0.625	-	-	4

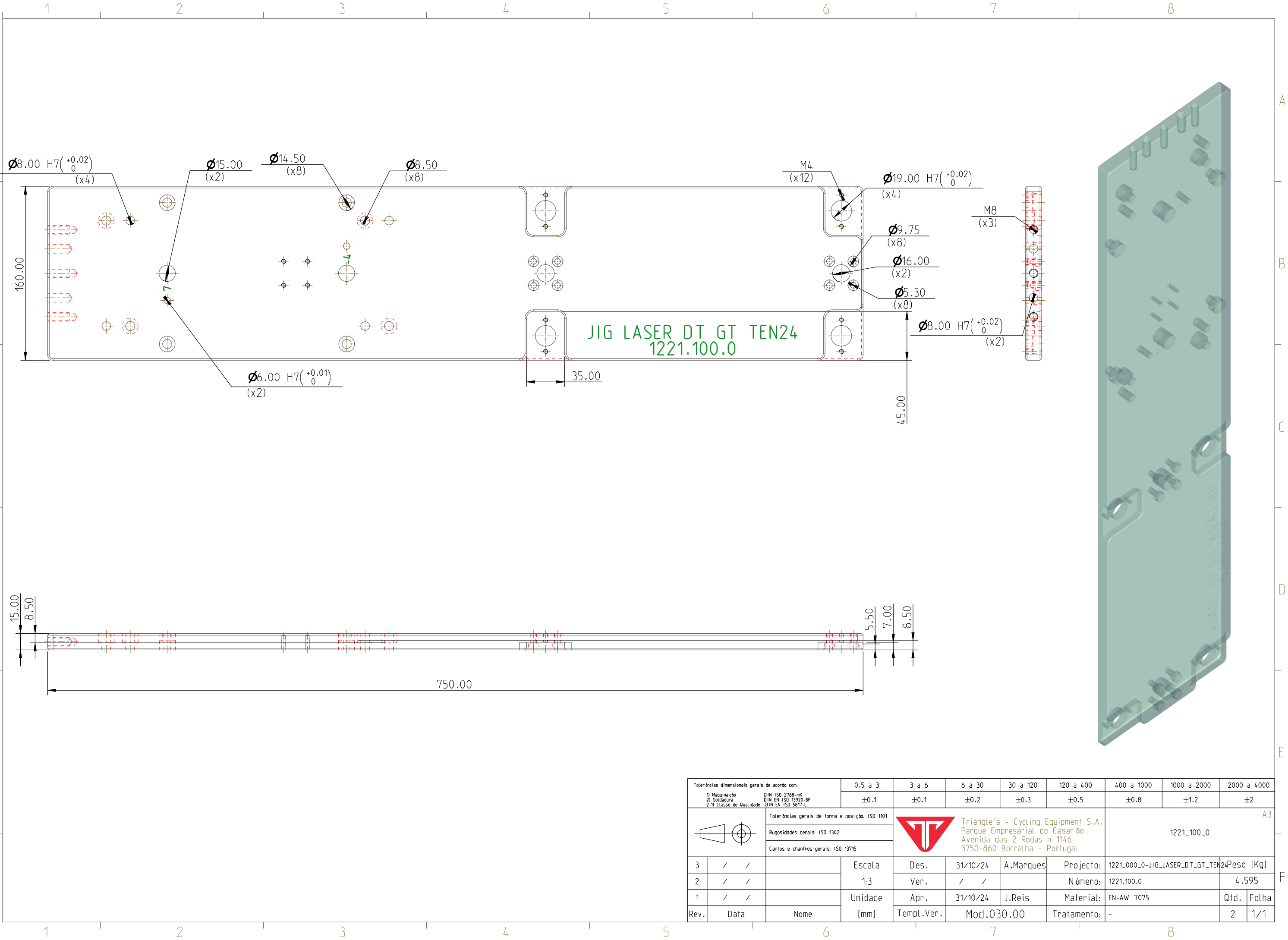


Tolerâncias dimensionais gerais de acordo com: 1) Maquinação DIN ISO 2768-mK 2) Soldadura DIN EN ISO 18920-BF 2.1) Classe de Qualidade DIN EN ISO 5817-C			0.5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000				
			±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2				
		Tolerâncias gerais de forma e posição: ISO 1101						Triangle's - Cycling Equipment S.A. Parque Empresarial do Casarão Avenida das 2 Rodas n.º 1146 3750-860 Borrinha - Portugal			1221_000_0		A3	
Rugosidades gerais: ISO 1302														
Cantos e chanfros gerais: ISO 13715														
3	/	/	Escala 1:7	Des.	31/10/24	A.Marques	Projecto:	1221_000_0-JIG_LASER_DT_GT_TEN24		Peso [Kg]		335193.135		
2	/	/		Ver.	/	/	Número:							
1	/	/	Unidade	Apr.	31/10/24	J.Reis	Material:	-		Qtd.	Folha			
Rev.	Data	Nome	[mm]	Templ.Ver.	Mod.030.00		Tratamento:	-		0	1/1			

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: All rights reserved.
also regarding any disposal, exploitation, editing,
distribution, as well as in the event of applications for
industrial property rights.

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: Todos os
direitos de propriedade nos estão reservados.
Proibido copiar ou de deixar em poder de terceiros
sem nossa permissão escrita.

A3

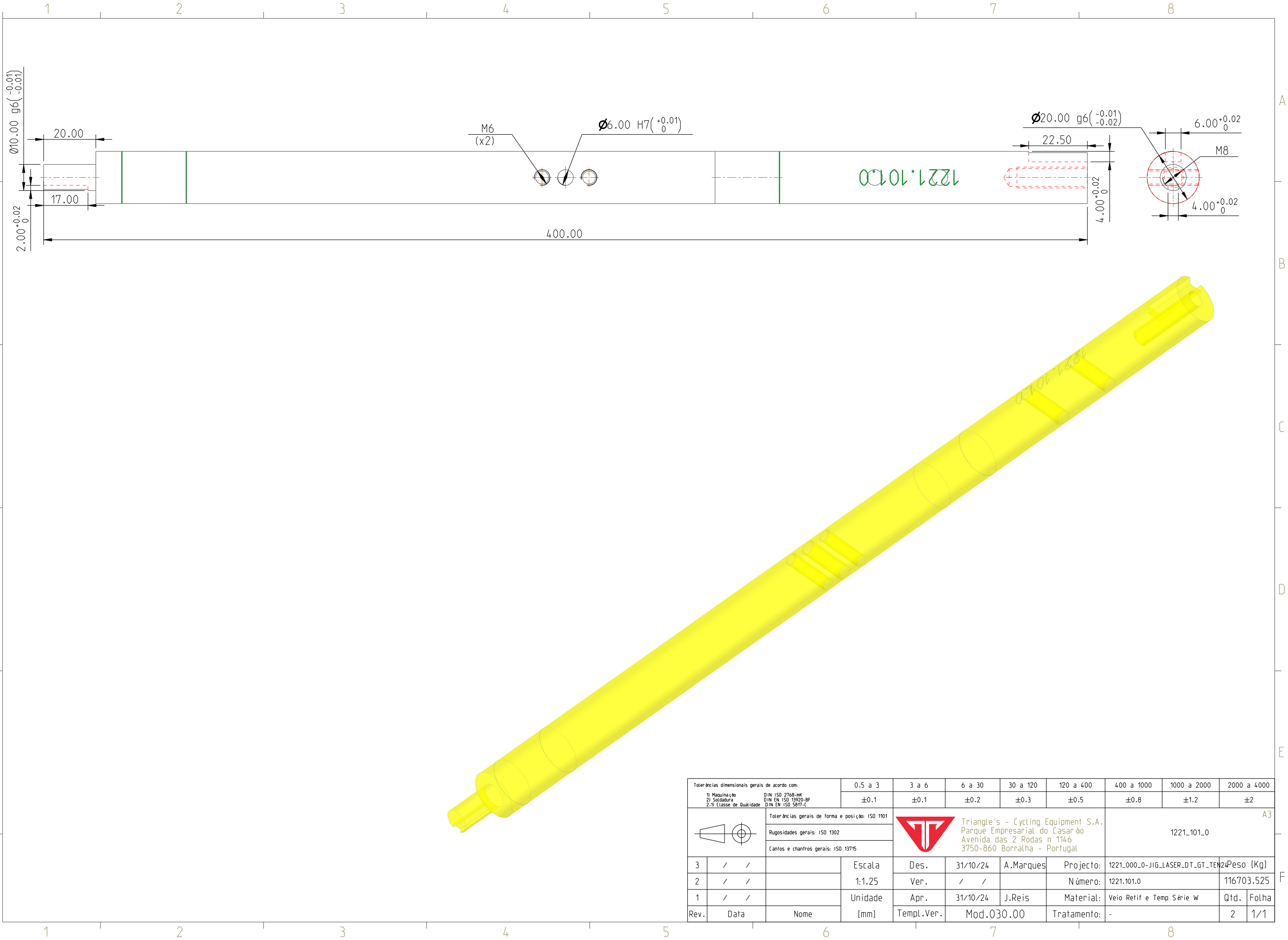


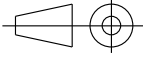
Tolerâncias dimensionais gerais de acordo com:			0.5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000					
1) Maquinção 2) Soldadura 2.1) Classe de Qualidade			DIN ISO 2768-mK DIN EN ISO 18920-BF DIN EN ISO 5817-C	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2				
			Tolerâncias gerais de forma e posição: ISO 1101						Triangle's - Cycling Equipment S.A. Parque Empresarial do Casarão Avenida das 2 Rodas n.º 1146 3750-860 Borrinha - Portugal			1221_100_0		A3	
			Rugosidades gerais: ISO 1302												
			Cantos e chanfros gerais: ISO 13715												
3	/	/	Escala	Des.	31/10/24	A.Marques	Projecto:	1221.000.0-JIG_LASER_DT_GT_TEN24			Peso [Kg]				
2	/	/		1:3	Ver.	/	/	Número:	1221.100.0			4.595			
1	/	/	Unidade	Apr.	31/10/24	J.Reis	Material:	EN-AW 7075			Qtd.	Folha			
Rev.	Data	Nome		[mm]	Templ.Ver.	Mod.030.00		Tratamento:	-			2	1/1		

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: Todos os direitos de propriedade nos estão reservados. Proibido copiar ou de deixar em poder de terceiros sem nossa permissão escrita.

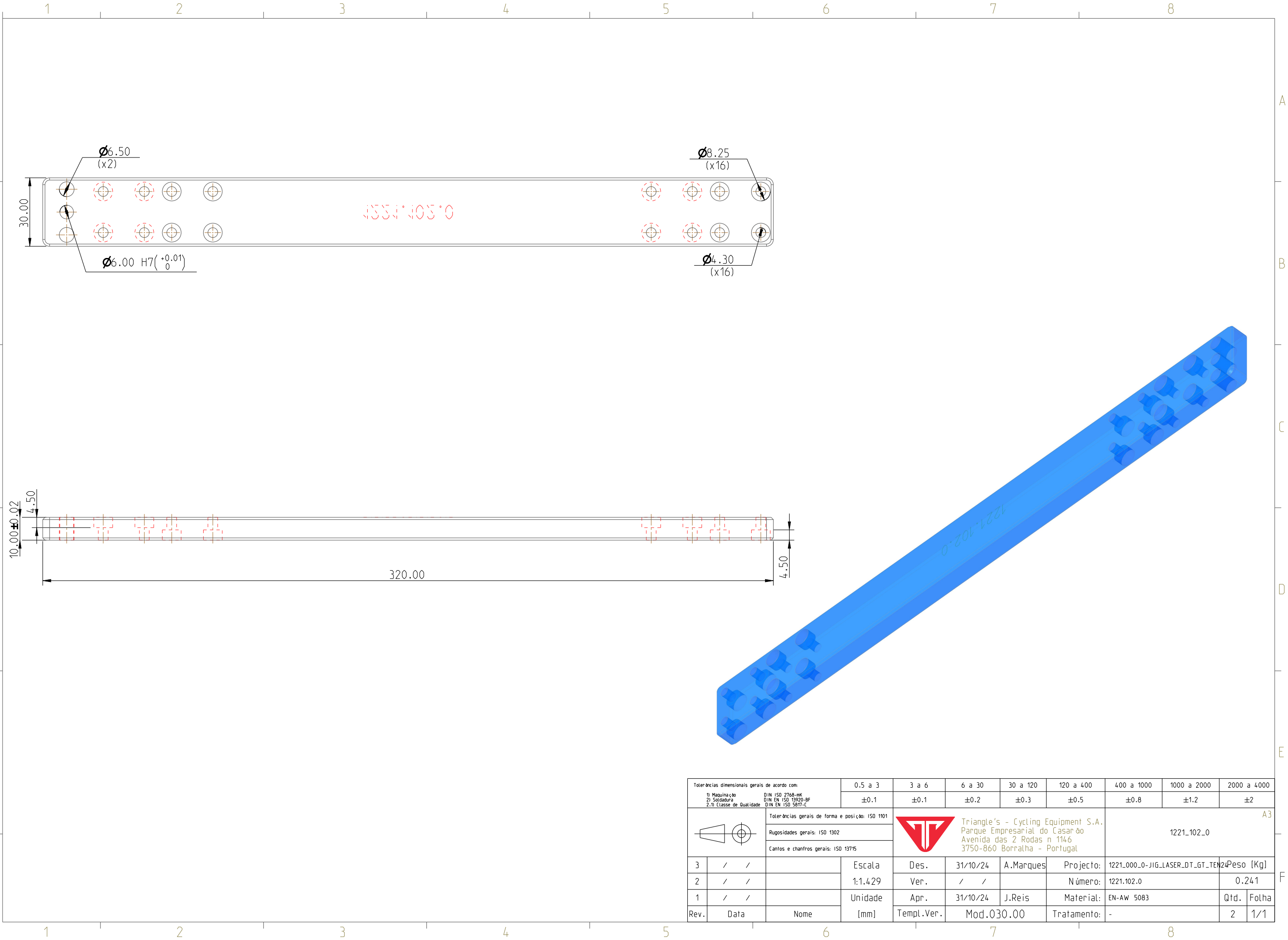
A3

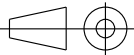


Tolerâncias dimensionais gerais de acordo com: 1) Maquinação DIN ISO 2768-mK 2) Soldadura DIN EN ISO 13920-BF 2.1) Classe de Qualidade DIN EN ISO 5817-C			0.5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000
			±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2
 Tolerâncias gerais de forma e posição: ISO 1101 Rugosidades gerais: ISO 1302 Cantos e chanfros gerais: ISO 13715			 Triangle's - Cycling Equipment S.A. Parque Empresarial do Casarão Avenida das 2 Rodas n.º 1146 3750-860 Borrinha - Portugal						1221_101_0 A3	
3	/	/	Escala 1:1.25	Des.	31/10/24	A.Marques	Projecto:	1221.000_0-JIG_LASER_DT_GT_TEN24	Peso [Kg]	
2	/	/		Ver.	/	/	Número:	1221.101.0	116703.525	
1	/	/	Unidade [mm]	Apr.	31/10/24	J.Reis	Material:	Veio Retif e Temp Série W	Qtd.	Folha
Rev.	Data	Nome		Templ.Ver.	Mod.030.00		Tratamento:	-	2	1/1

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: Todos os direitos de propriedade nos estão reservados. Proibido copiar ou de deixar em poder de terceiros sem nossa permissão escrita.

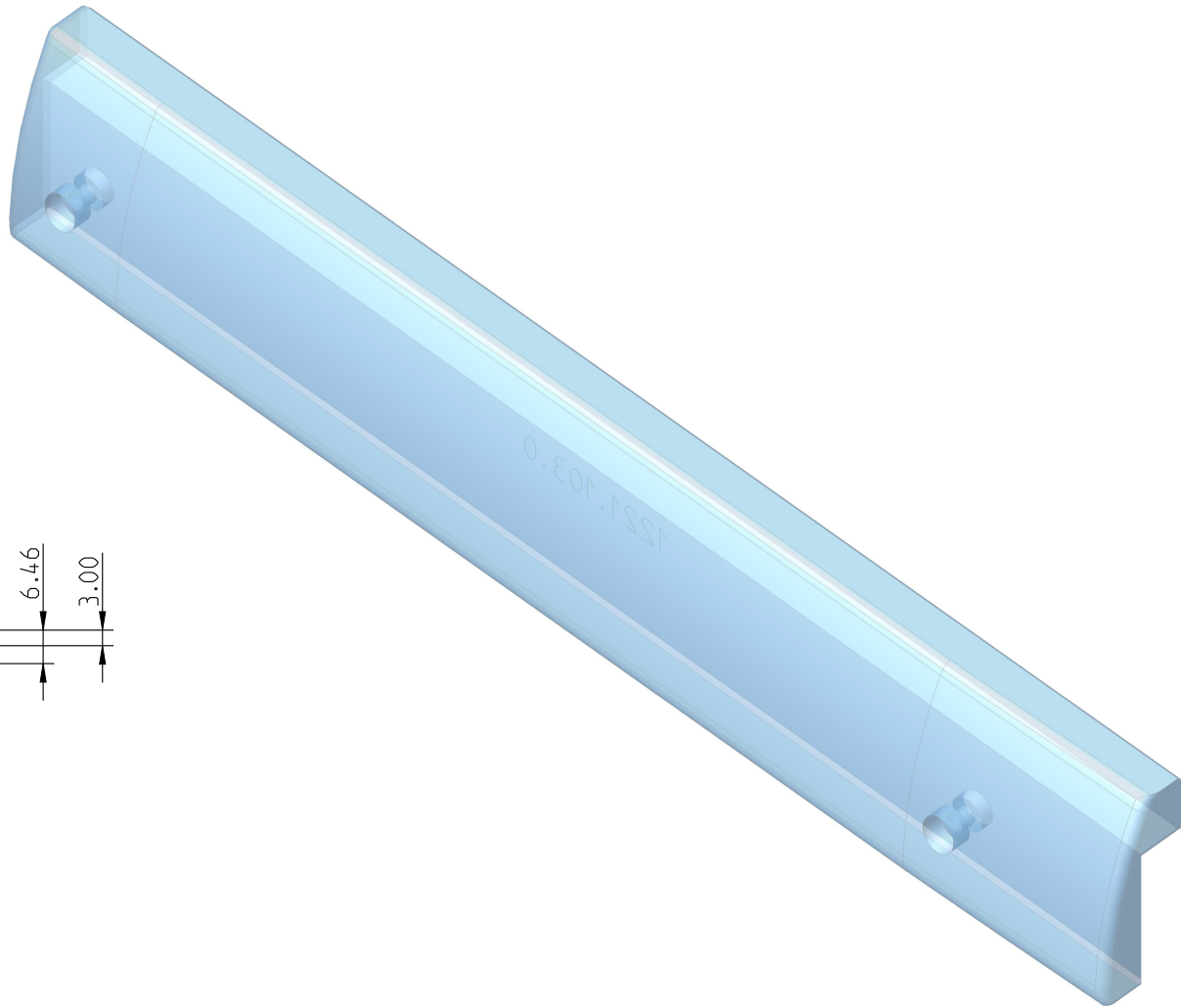
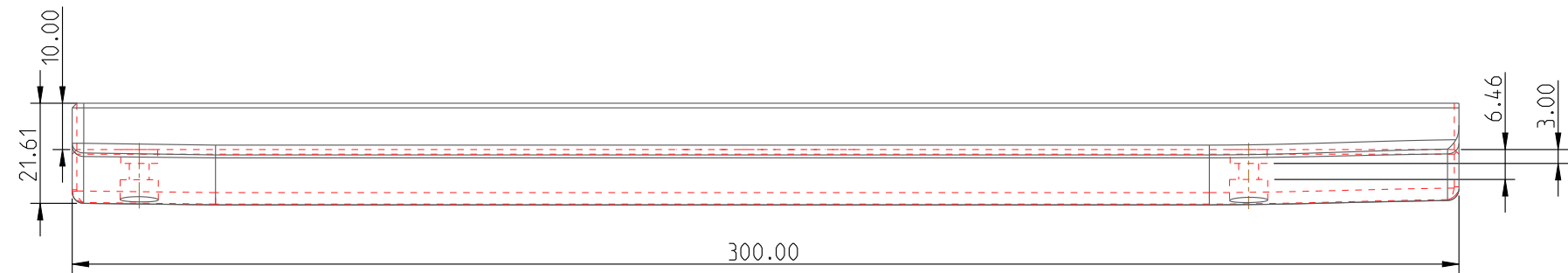
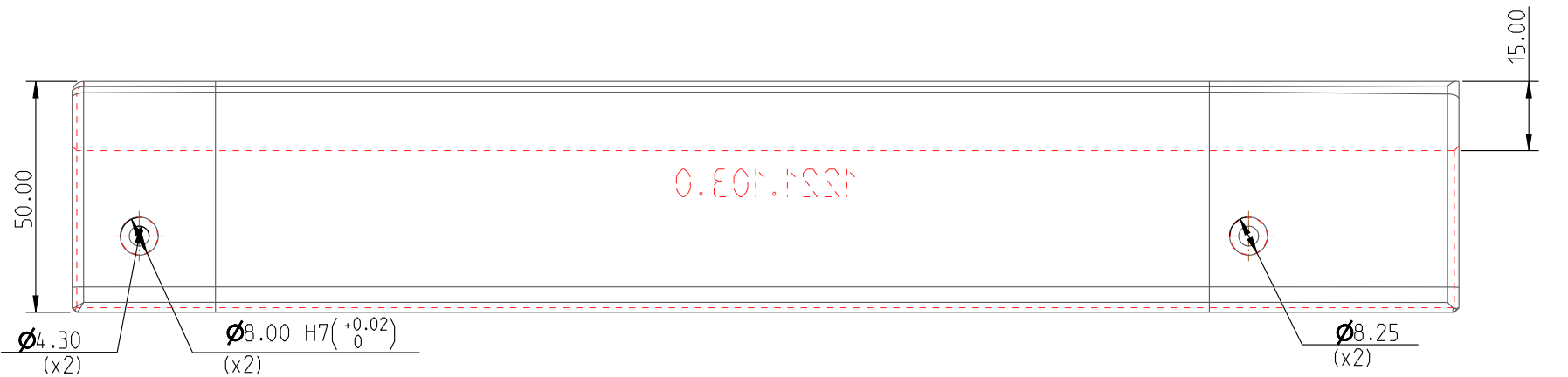


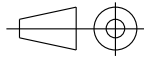
Tolerâncias dimensionais gerais de acordo com: 1) Maquinação DIN ISO 2768-mK 2) Soldadura DIN ISO 18920-BF 2.1) Classe de Qualidade DIN EN ISO 5817-C				0.5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000				
				±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2				
				Tolerâncias gerais de forma e posição: ISO 1101				 Triangle's - Cycling Equipment S.A. Parque Empresarial do Casarão Avenida das 2 Rodas n.º 1146 3750-860 Borrinha - Portugal				1221_102_0		A3	
				Rugosidades gerais: ISO 1302											
				Cantos e chanfros gerais: ISO 13715											
3	/	/	Escala	Des.	31/10/24	A.Marques	Projecto:	1221.000_0-JIG_LASER_DT_GT_TEN24	Peso [Kg]						
2	/	/		1:1.429	Ver.	/	/	Número:	1221.102.0	0.241					
1	/	/	Unidade	Apr.	31/10/24	J.Reis	Material:	EN-AW 5083			Qtd.	Folha			
Rev.	Data	Nome		[mm]	Templ.Ver.	Mod.030.00		Tratamento:	-			2	1/1		

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: Todos os direitos de propriedade nos estão reservados. Proibido copiar ou de deixar em poder de terceiros sem nossa permissão escrita.

A3

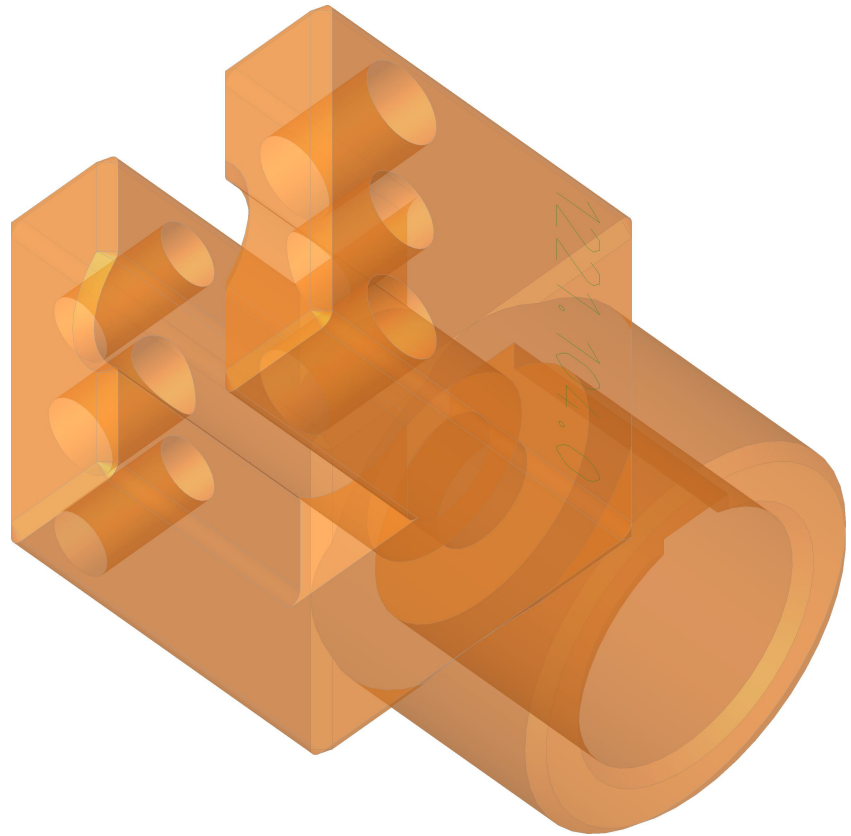
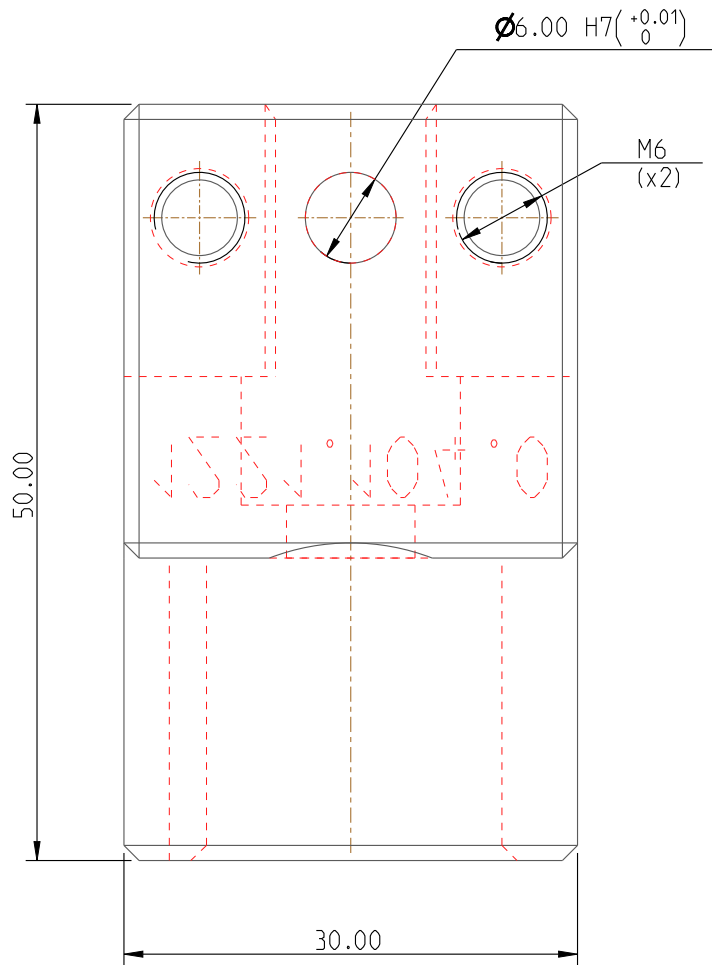
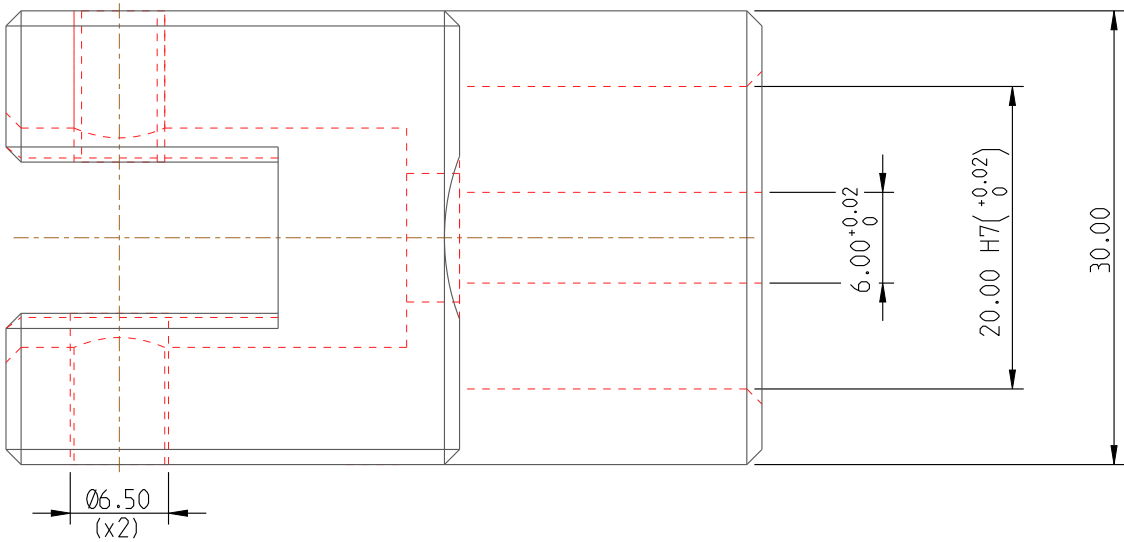
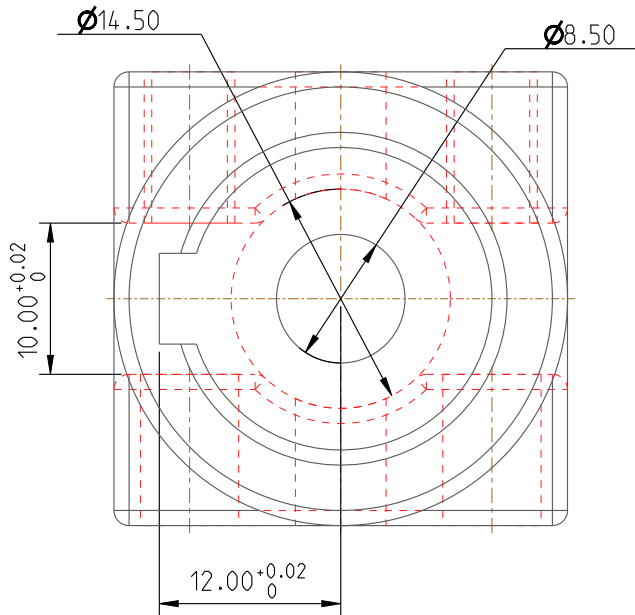


Tolerâncias dimensionais gerais de acordo com: 1) Maquinação DIN ISO 2768-mK 2) Soldadura DIN EN ISO 13920-BF 2.1) Classe de Qualidade DIN EN ISO 5817-C				0.5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000		
				±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2		
		Tolerâncias gerais de forma e posição: ISO 1101				 Triangle's - Cycling Equipment S.A. Parque Empresarial do Casarão Avenida das 2 Rodas n.º 1146 3750-860 Borrinha - Portugal				1221_103_0		A3	
Rugosidades gerais: ISO 1302													
Cantos e chanfros gerais: ISO 13715													
3	/	/	Escala	Des.	31/10/24	A.Marques	Projecto:	1221.000_0-JIG_LASER_DT_GT_TEN24		Peso [Kg]			
2	/	/		1:1.429	Ver.	/	/	Número:	1221.103.0		0.192		
1	/	/	Unidade	Apr.	31/10/24	J.Reis	Material:	Ertalon 6 SA		Qtd.	Folha		
Rev.	Data	Nome		[mm]	Templ.Ver.	Mod.030.00		Tratamento:	-		4	1/1	

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: Todos os direitos de propriedade nos estão reservados. Proibido copiar ou de deixar em poder de terceiros sem nossa permissão escrita.

A3

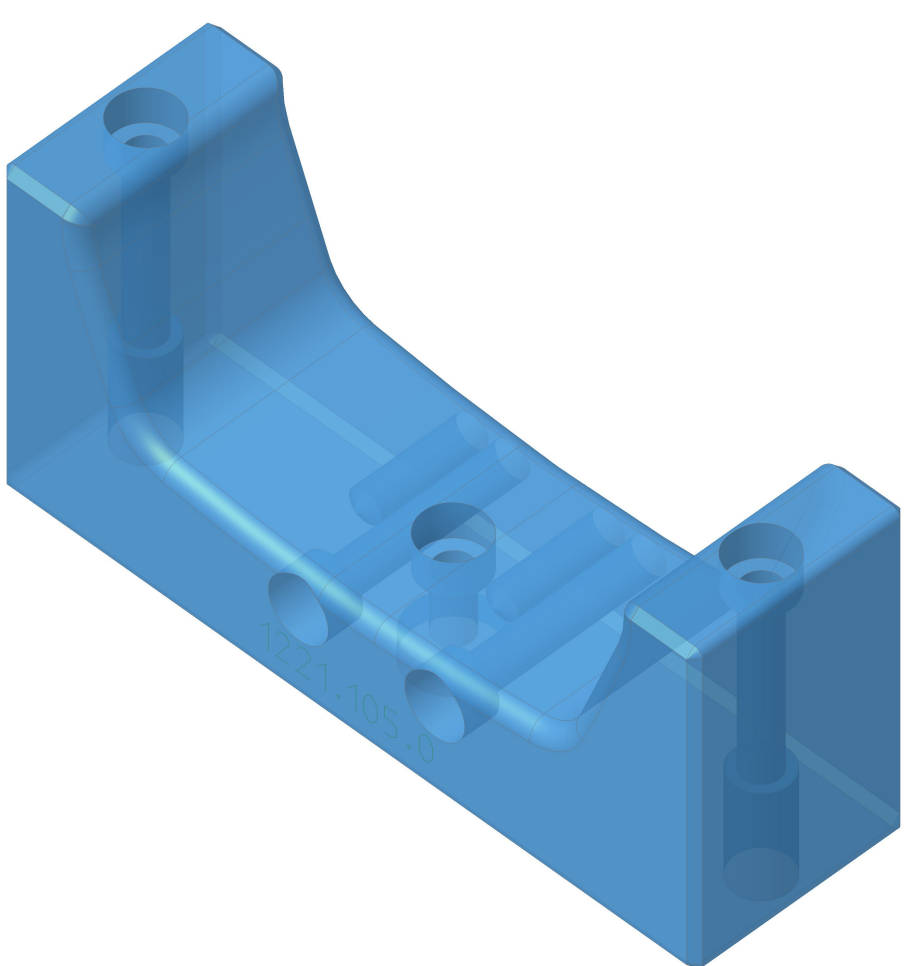
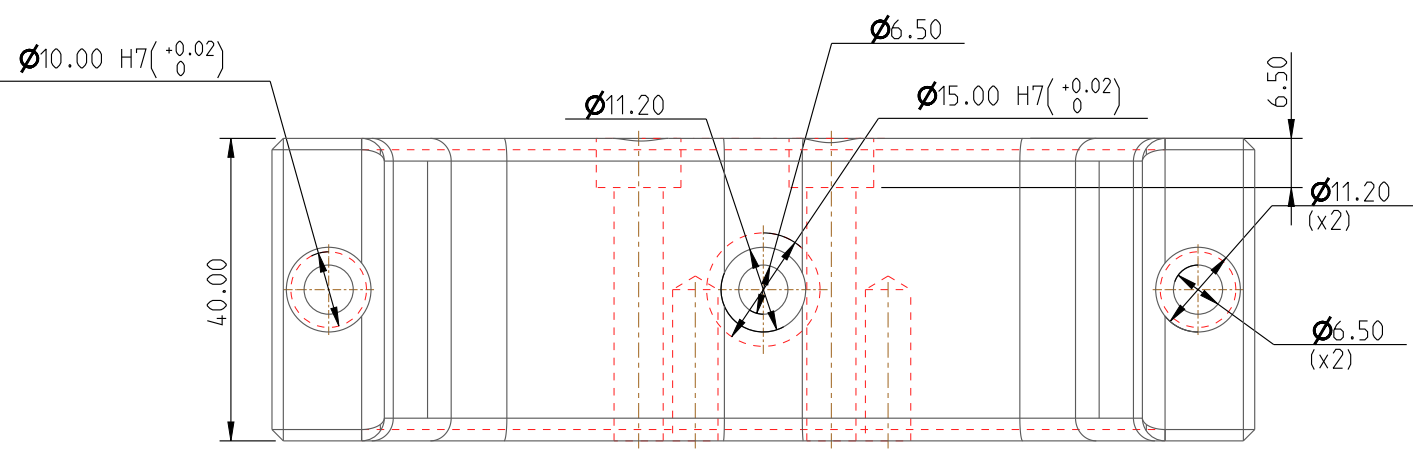
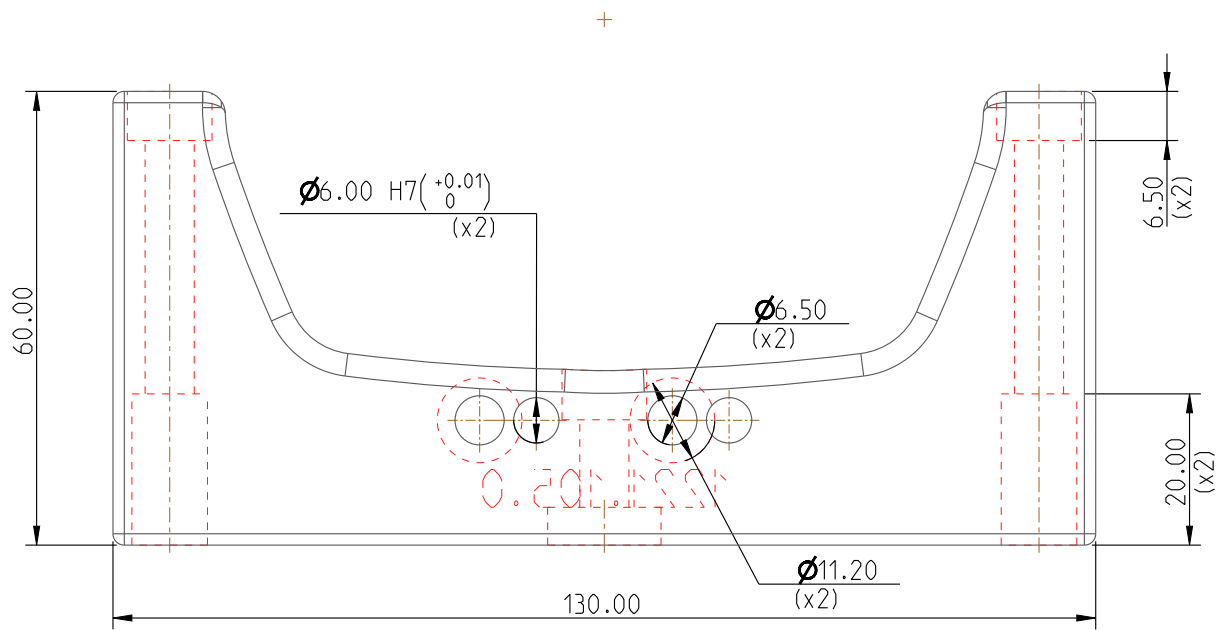


Tolerâncias dimensionais gerais de acordo com: 1) Maquinação DIN ISO 2768-mK 2) Soldadura DIN EN ISO 13920-BF 2.1) Classe de Qualidade DIN EN ISO 5817-C			0.5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000	
			±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	
		Tolerâncias gerais de forma e posição: ISO 1101			 Triangle's - Cycling Equipment S.A. Parque Empresarial do Casarão Avenida das 2 Rodas n.º 1146 3750-860 Borrinha - Portugal			1221_104_0			A3
		Rugosidades gerais: ISO 1302									
		Cantos e chanfros gerais: ISO 13715									
3	/	/	Escala 2:1	Des.	31/10/24	A.Marques	Projecto:	1221.000_0-JIG_LASER_DT_GT_TEN24	Peso [Kg]		
2	/	/		Ver.	/	/	Número:	1221.104_0	0.198		
1	/	/	Unidade	Apr.	31/10/24	J.Reis	Material:	DIN CK 45/F10	Qtd.	Folha	
Rev.	Data	Nome	[mm]	Templ.Ver.	Mod.030.00		Tratamento:	Oxidação a Negro	2	1/1	

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: All rights reserved.
also regarding any disposal, exploitation, editing,
distribution, as well as in the event of applications for
industrial property rights.

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: Todos os
direitos de propriedade nos estão reservados.
Proibido copiar ou de deixar em poder de terceiros
sem nossa permissão escrita.

A3

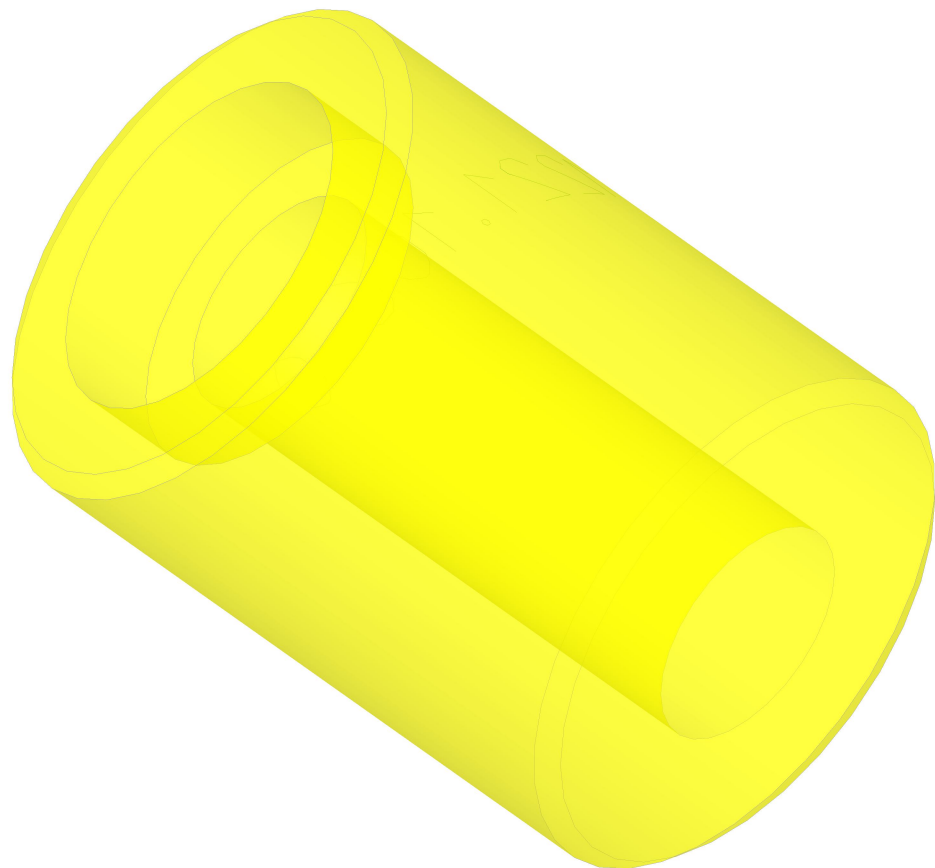
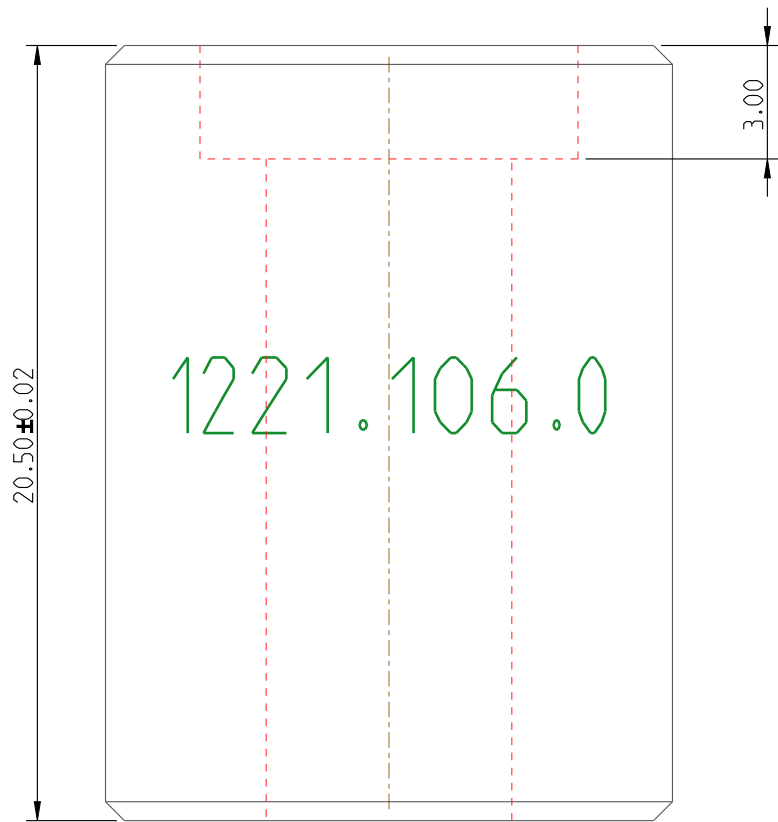
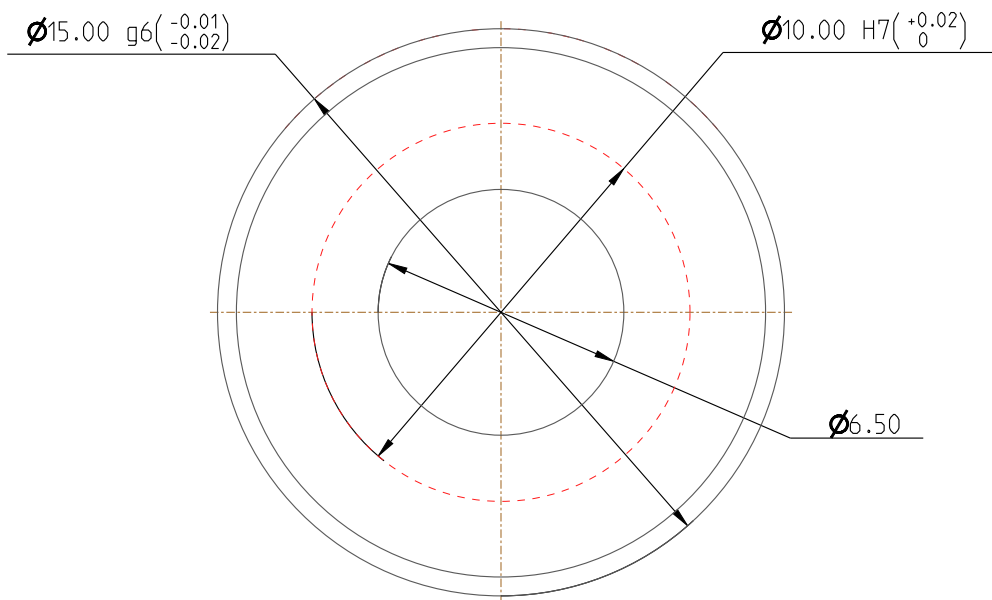


Tolerâncias dimensionais gerais de acordo com:			0.5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000	
1) Maquinação	DIN ISO 2768-mK		±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	
2) Soldadura	DIN EN ISO 13920-BF										
2.1) Classe de Qualidade	DIN EN ISO 5817-C										
	Tolerâncias gerais de forma e posição: ISO 1101				Triangle's - Cycling Equipment S.A. Parque Empresarial do Casarão Avenida das 2 Rodas n.º 1146 3750-860 Borralha - Portugal			1221_105_0			A3
	Rugosidades gerais: ISO 1302										
	Cantos e chanfros gerais: ISO 13715										
3	/	/	Escala	Des.	31/10/24	A.Marques	Projecto:	1221.000_0-JIG_LASER_DT_GT_TEN24		Peso [Kg]	
2	/	/		1:1	Ver.	/	/	Número:	1221.105.0		0.191
1	/	/	Unidade	Apr.	31/10/24	J.Reis	Material:	Ertalon 6 SA		Qtd.	Folha
Rev.	Data	Nome		[mm]	Templ.Ver.	Mod.030.00		Tratamento:	-		4

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: Todos os direitos de propriedade nos estão reservados. Proibido copiar ou de deixar em poder de terceiros sem nossa permissão escrita.

A3

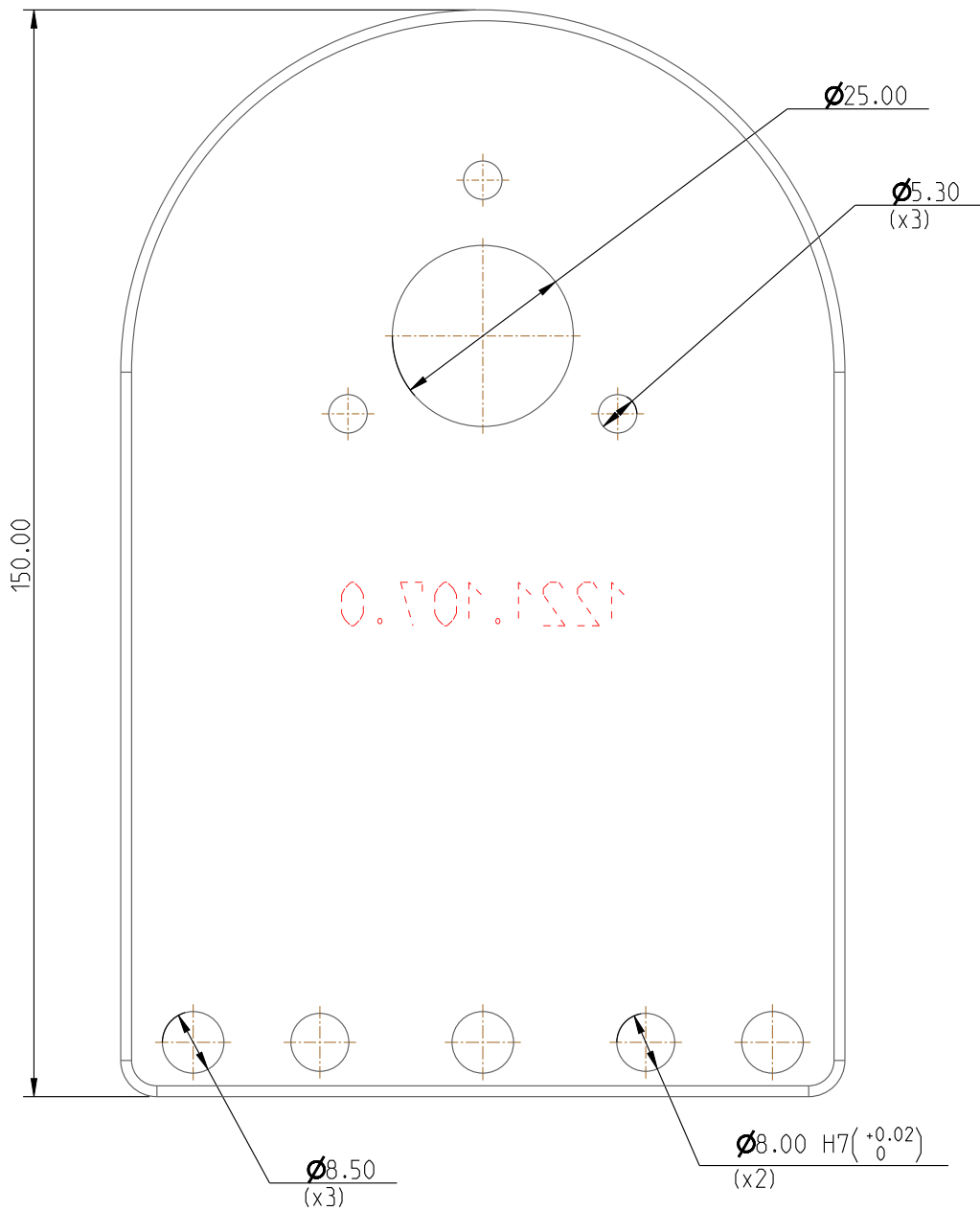


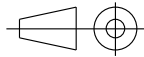
Tolerâncias dimensionais gerais de acordo com: 1) Maquinação DIN ISO 2768-mK 2) Soldadura DIN EN ISO 13920-BF 2.1) Classe de Qualidade DIN EN ISO 5817-C			0.5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000			
			±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2			
			Tolerâncias gerais de forma e posição: ISO 1101				 Triangle's - Cycling Equipment S.A. Parque Empresarial do Casarão Avenida das 2 Rodas n 1146 3750-860 Borrinha - Portugal				1221_106_0		A3
			Rugosidades gerais: ISO 1302										
			Cantos e chanfros gerais: ISO 13715										
3	/	/	Escala 5:1	Des.	31/10/24	A.Marques	Projecto:	1221.000_0-JIG_LASER_DT_GT_TEN24			Peso [Kg]		
2	/	/		Ver.	/	/		Número:	1221.106.0			0.008	
1	/	/		Unidade	Apr.	31/10/24	J.Reis	Material:	EN-AW 5083			Qtd. Folha	
Rev.	Data	Nome	[mm]	Templ.Ver.	Mod.030.00		Tratamento:	-			4	1/1	

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

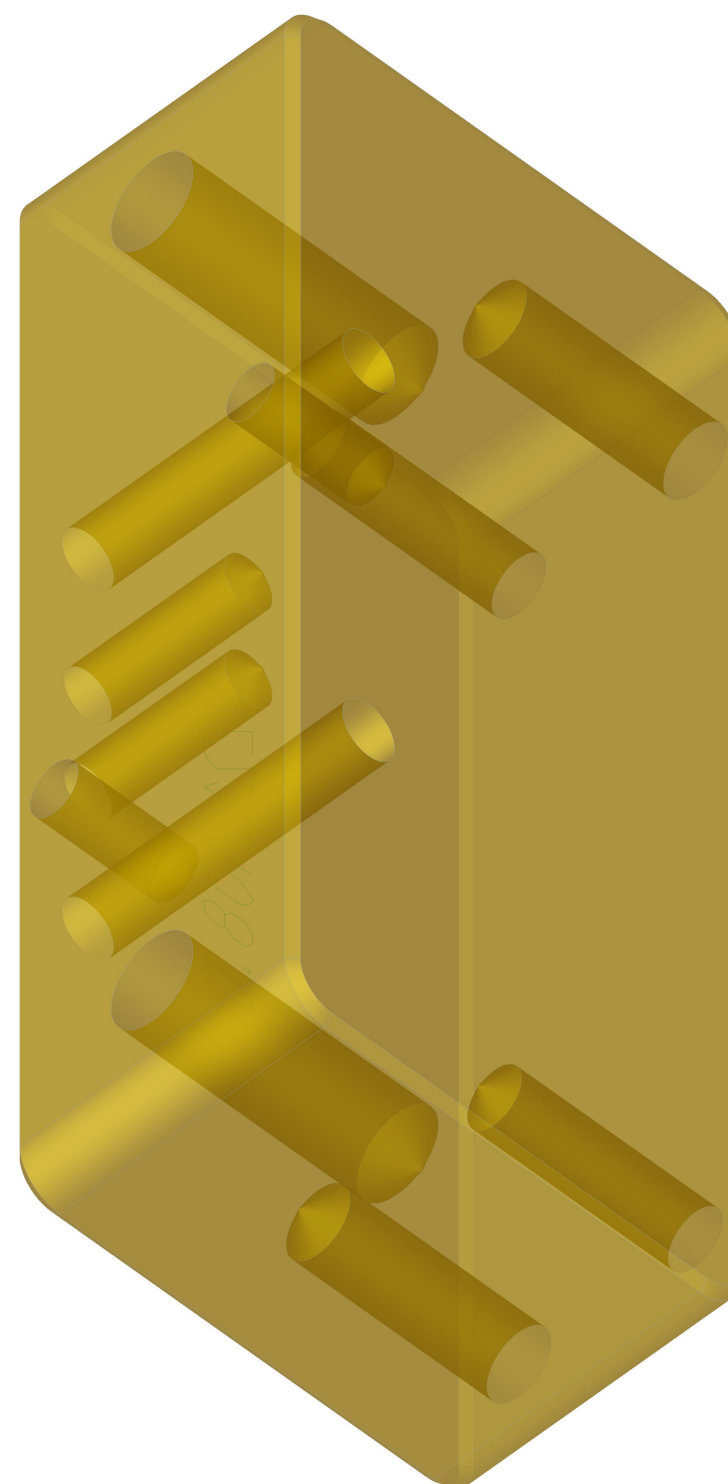
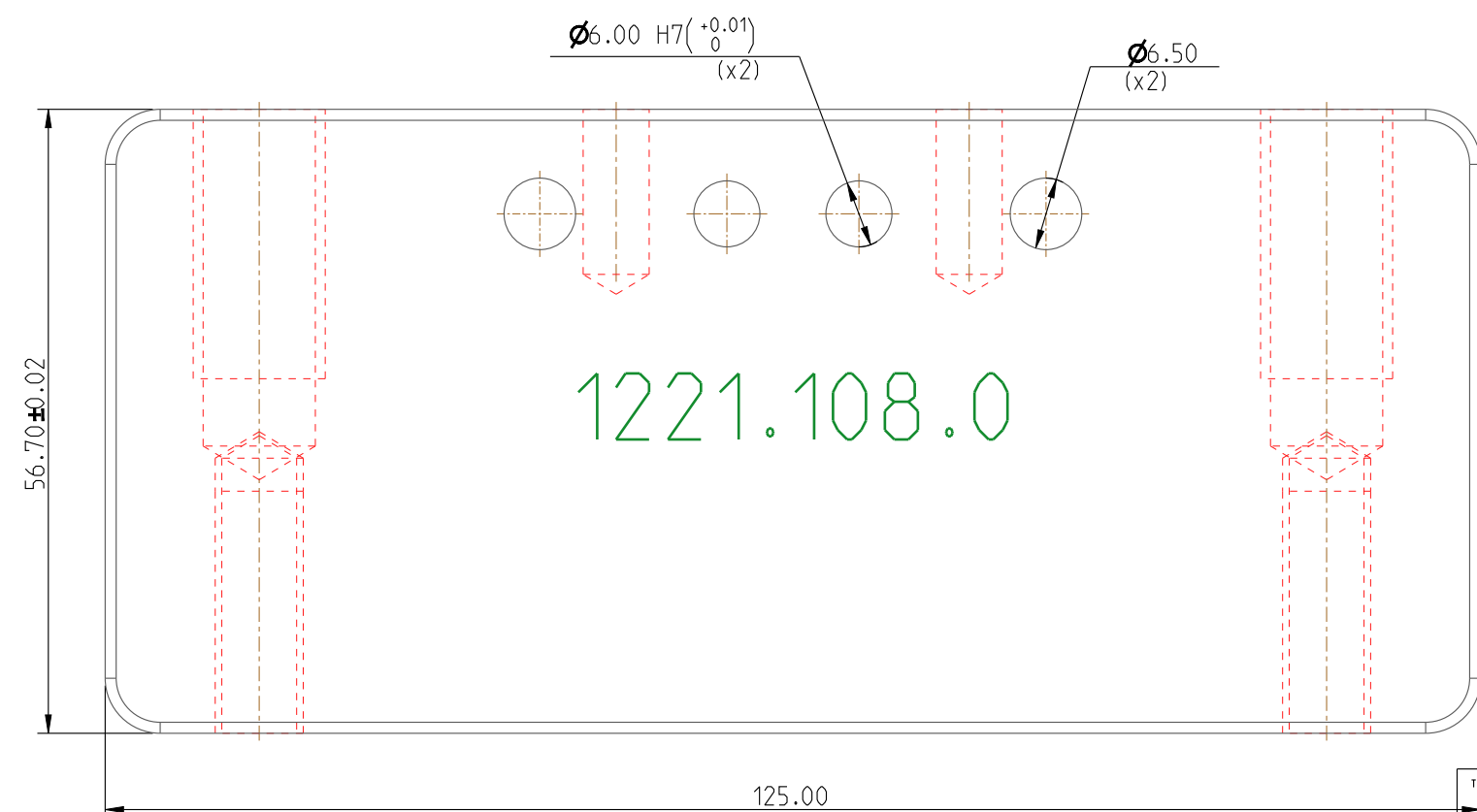
Triangle's - Cycling Equipment S.A.: Todos os direitos de propriedade nos estão reservados. Proibido copiar ou de deixar em poder de terceiros sem nossa permissão escrita.

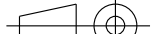
A3



Tolerâncias dimensionais gerais de acordo com: 1) Maquinação DIN ISO 2768-mK 2) Soldadura DIN EN ISO 13920-BF 2.1) Classe de Qualidade DIN EN ISO 5817-C			0.5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000			
			±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2			
			Tolerâncias gerais de forma e posição: ISO 1101			 Triangle's - Cycling Equipment S.A. Parque Empresarial do Casarão Avenida das 2 Rodas n.º 1146 3750-860 Borrinha - Portugal			1221_107_0			A3	
			Rugosidades gerais: ISO 1302										
			Cantos e chanfros gerais: ISO 13715										
3	/	/	Escala 1:1	Des.	31/10/24	A.Marques	Projecto:	1221.000_0-JIG_LASER_DT_GT_TEN24		Peso [Kg]			
2	/	/		Ver.	/	/	Número:	1221.107.0		2.044			
1	/	/	Unidade	Apr.	31/10/24	J.Reis	Material:	DIN CK 45/F10		Qtd.	Folha		
Rev.	Data	Nome	[mm]	Templ.Ver.	Mod.030.00		Tratamento:	Oxidação a Negro		2	1/1		

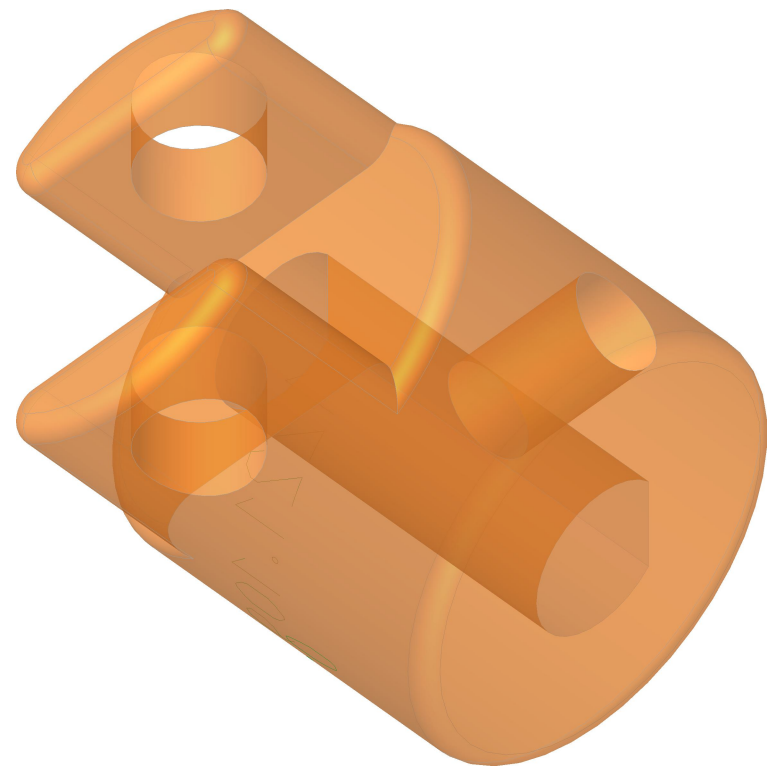
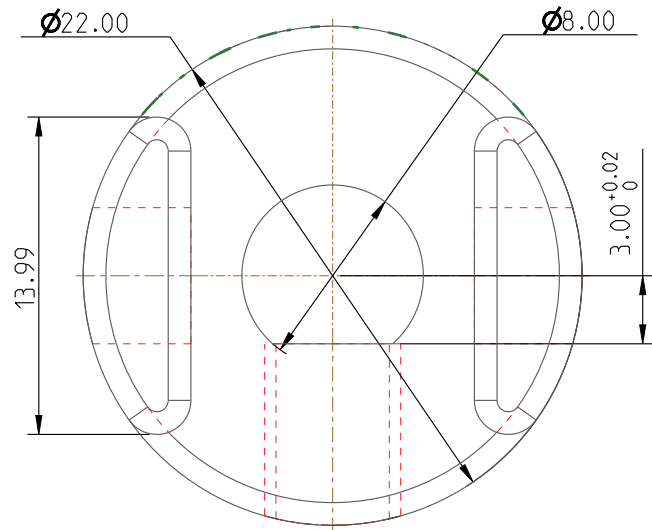
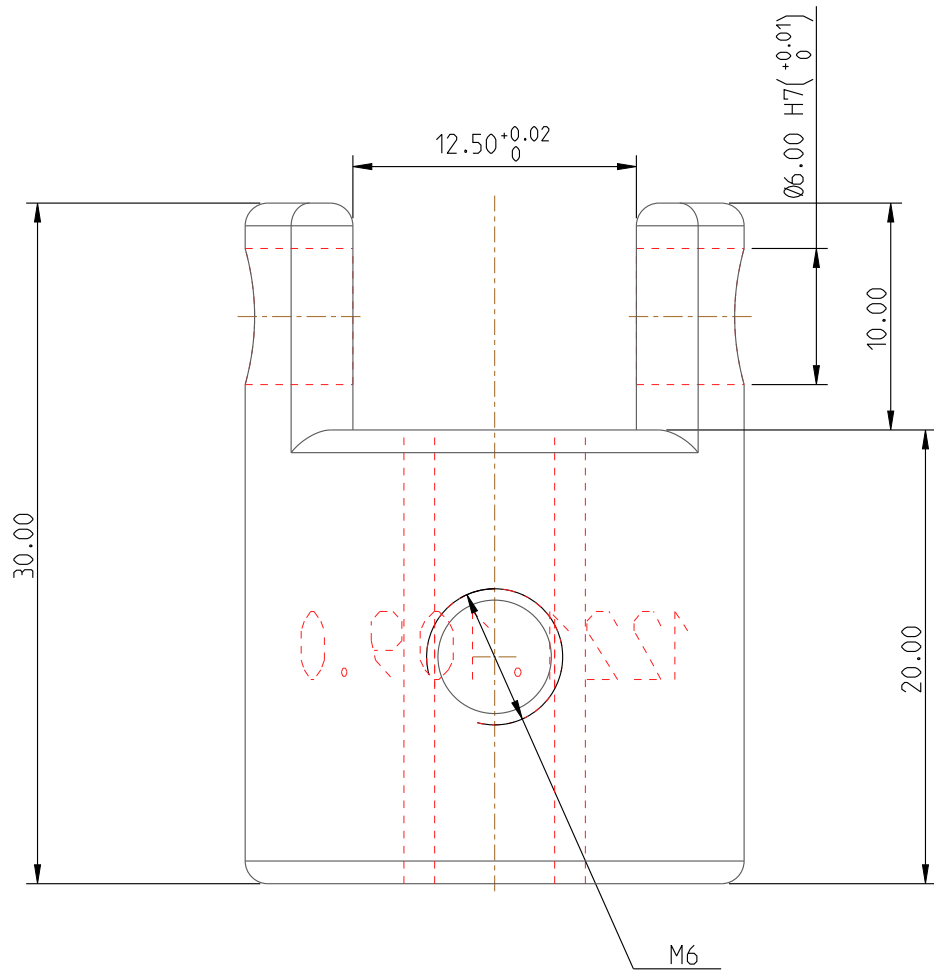
Triangle's - Cycling Equipment S.A.: Todos os direitos de propriedade nos estão reservados. Proibido copiar ou de deixar em poder de terceiros sem nossa permissão escrita.

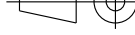


Tolerâncias dimensionais gerais de acordo com:			0.5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000	
1) Maquinção 2) Soldadura 2.1 Classe de Qualidade			DIN ISO 2768-mk DIN EN ISO 13920-BF DIN EN ISO 5817-C	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2
			Tolerâncias gerais de forma e posição: ISO 1101		Triangle's - Cycling Equipment S.A. Parque Empresarial do Casarão Avenida das 2 Rodas n.º 1146 3750-860 Borralha - Portugal			1221_108_0			A3
			Rugosidades gerais: ISO 1302								
			Cantos e chanfros gerais: ISO 13715								
3	/	/	Escala	Des.	31/10/24	A.Marques	Projecto:	1221.000.0-JIG-LASER-DT-GT-TEN24		Peso [Kg]	
2	/	/		1.5:1	Ver.	/	/	Número:	1221.108.0		0.629
1	/	/	Unidade	Apr.	31/10/24	J.Reis	Material:	EN-AW 5083		Qtd. Folha	
Rev.	Data	Nome	[mm]	Templ.Ver.	Mod.030.00		Tratamento:	-		4 1/1	

A3

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: Todos os direitos de propriedade nos estão reservados. Proibido copiar ou de deixar em poder de terceiros sem nossa permissão escrita.

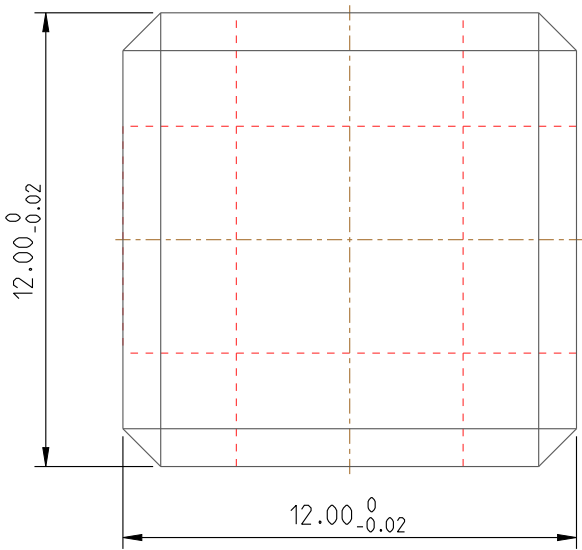
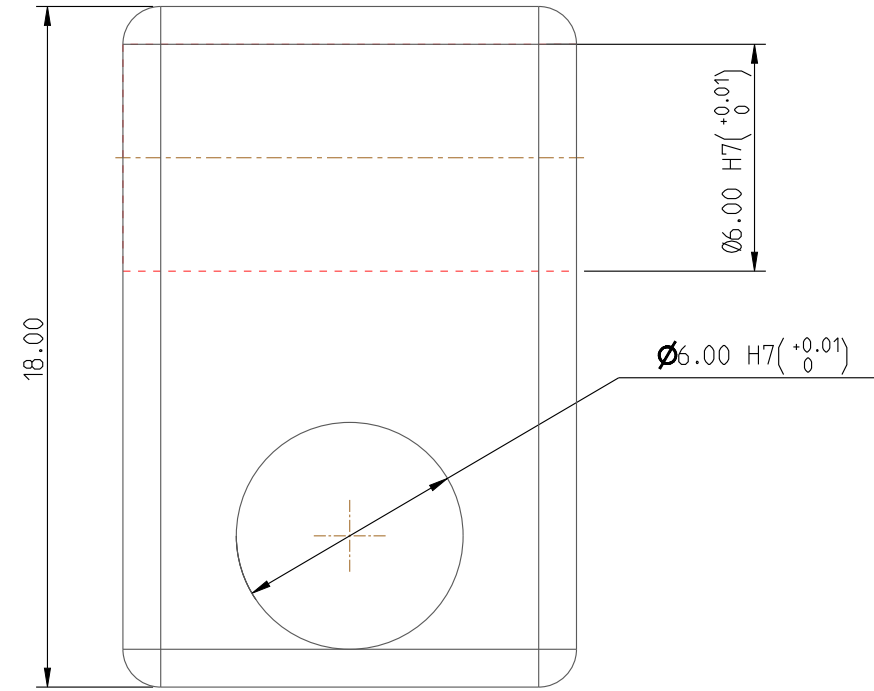


Tolerâncias dimensionais gerais de acordo com:			0.5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000	
1) Máquinação 2) Soldadura 2.1 Classe de Qualidade			DIN ISO 2768-mK DIN EN ISO 19920-BF DIN EN ISO 5817-C	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2
			Tolerâncias gerais de forma e posição: ISO 1101		 Triangle's - Cycling Equipment S.A. Parque Empresarial do Casarão Avenida das 2 Rodas n.º 1146 3750-860 Borrinha - Portugal			1221_109_0			A3
			Rugosidades gerais: ISO 1302								
			Cantos e chanfros gerais: ISO 13715								
3	/	/	Escala 3:1	Des.	31/10/24	A.Marques	Projecto:	1221_000_0-JIG_LASER_DT_GT_TEN24		Peso [Kg]	
2	/	/		Ver.	/	/		Número:	1221.109.0		0.057
1	/	/		Unidade	Apr.	31/10/24	J.Reis	Material:	DIN CK 45/F10		Qtd. Folha
Rev.	Data	Nome	[mm]	Templ.Ver.	Mod.030.00		Tratamento:	Oxidação a Negro		2 1/1	

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: Todos os direitos de propriedade nos estão reservados. Proibido copiar ou de deixar em poder de terceiros sem nossa permissão escrita.

A3



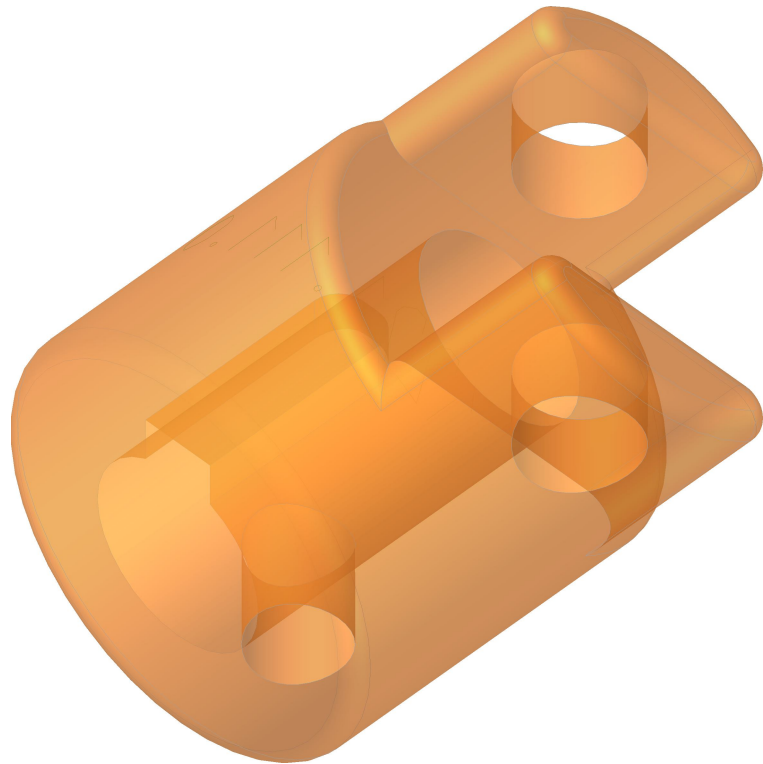
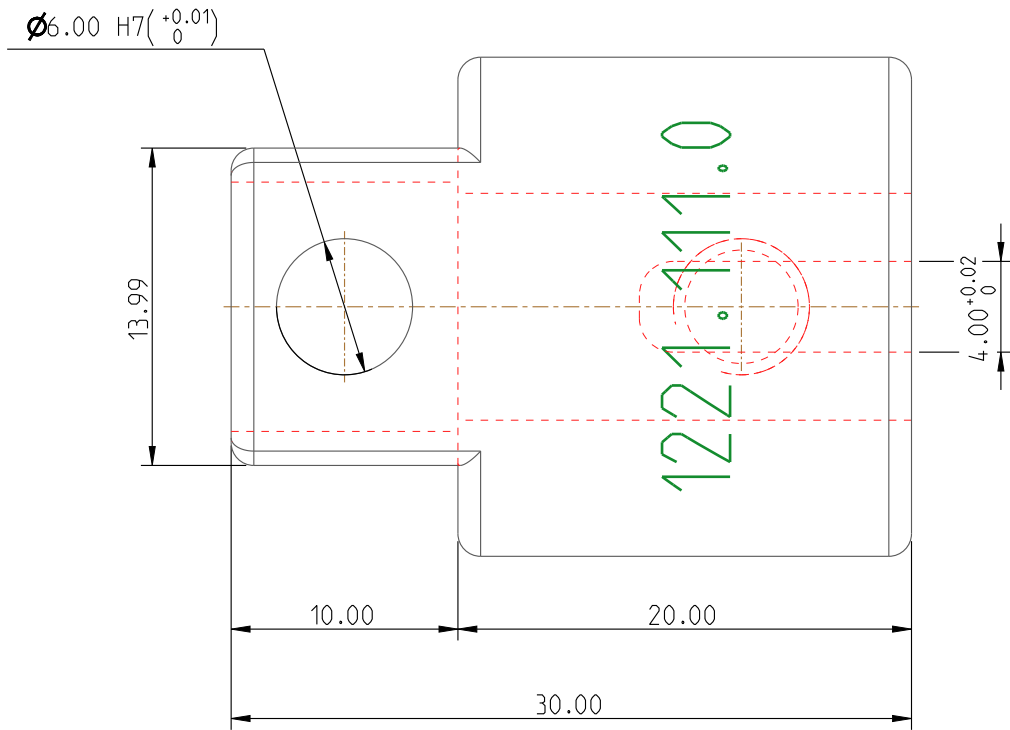
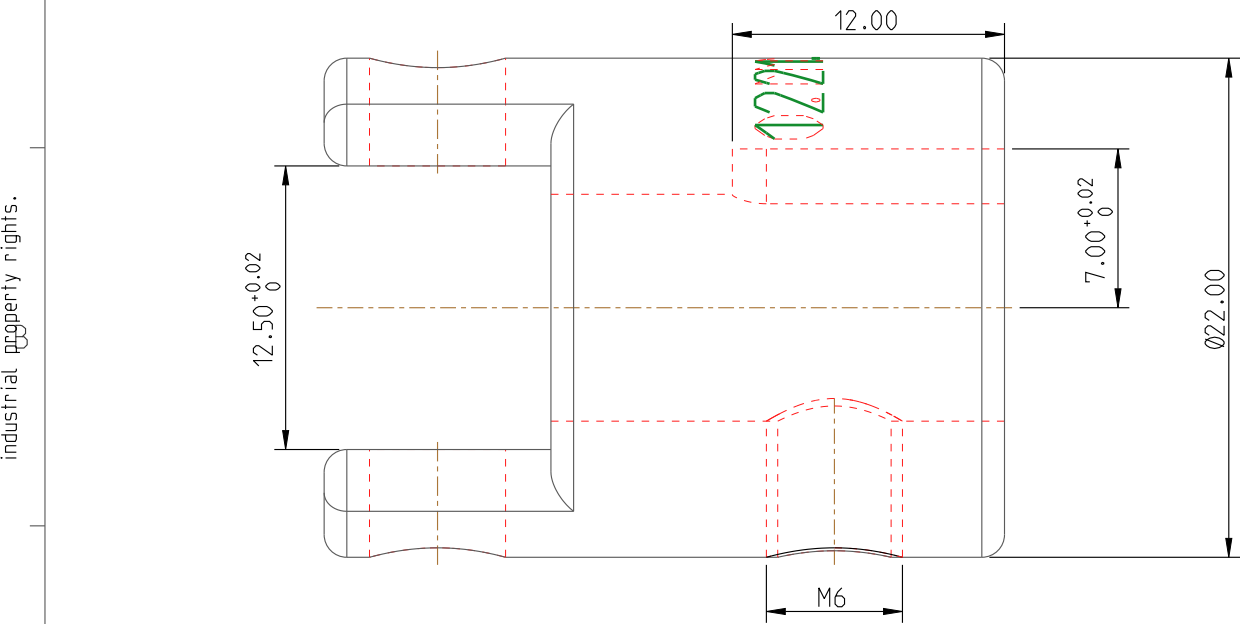
Tolerâncias dimensionais gerais de acordo com:			0.5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000				
1) Maquinação	DIN ISO 2768-mK		±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2				
2) Soldadura	DIN EN ISO 13920-BF													
2.1) Classe de Qualidade	DIN EN ISO 5817-C													
			Tolerâncias gerais de forma e posição: ISO 1101						Triangle's - Cycling Equipment S.A. Parque Empresarial do Casarão Avenida das 2 Rodas n.º 1146 3750-860 Borrinha - Portugal		1221_110_0		A3	
			Rugosidades gerais: ISO 1302											
			Cantos e chanfros gerais: ISO 13715											
3	/	/	Escala	Des.	31/10/24	A.Marques	Projecto:	1221.000_0-JIG_LASER_DT_GT_TEN24		Peso [Kg]				
2	/	/		Ver.	/	/	Número:	1221.110.0		0.014				
1	/	/	Unidade	Apr.	31/10/24	J.Reis	Material:	DIN CK 45/F10		Qtd.	Folha			
Rev.	Data	Nome		[mm]	Templ.Ver.	Mod.030.00		Tratamento:	Oxidação a Negro		2	1/1		

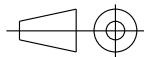
Triangle's - Cycling Equipment S.A.: All rights reserved.
also regarding any disposal, exploitation, editing,
distribution, as well as in the event of applications for
industrial property rights.

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: Todos os
direitos de propriedade nos estão reservados.
Proibido copiar ou de deixar em poder de terceiros
sem nossa permissão escrita.

A3

A

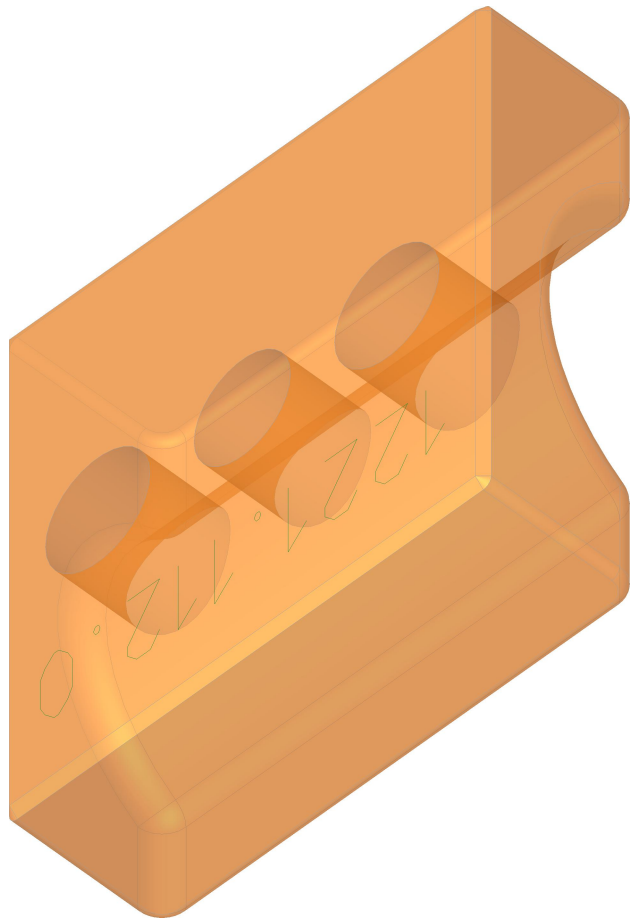
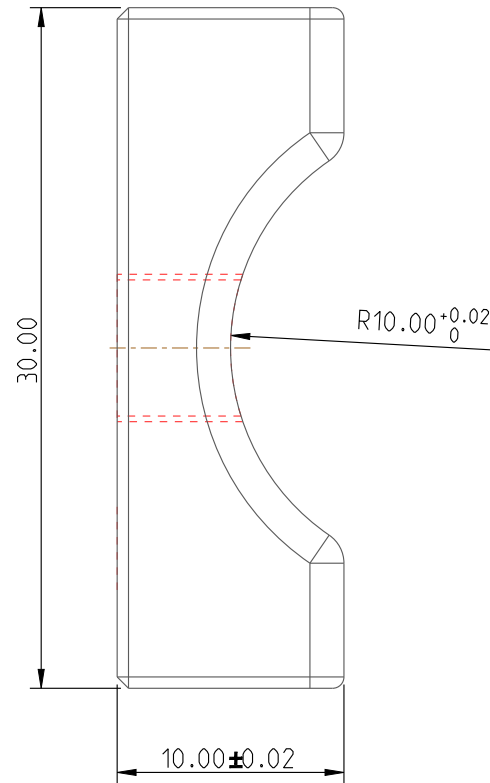
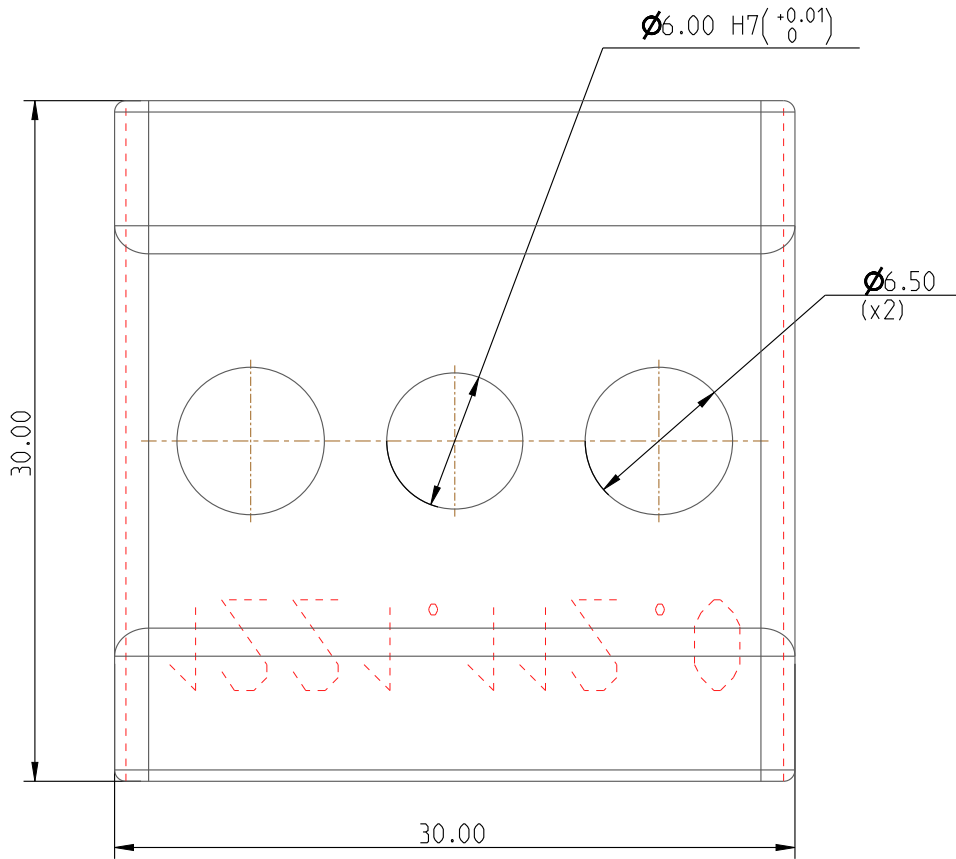


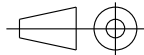
Tolerâncias dimensionais gerais de acordo com: 1) Maquinação DIN ISO 2768-mK 2) Soldadura DIN EN ISO 13920-BF 2.1) Classe de Qualidade DIN EN ISO 5817-C			0.5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000			
			±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2			
			Tolerâncias gerais de forma e posição: ISO 1101				 Triangle's - Cycling Equipment S.A. Parque Empresarial do Casarão Avenida das 2 Rodas n.º 1146 3750-860 Borrinha - Portugal			1221_111_0		A3	
			Rugosidades gerais: ISO 1302										
			Cantos e chanfros gerais: ISO 13715										
3	/	/	Escala 3:1	Des.	31/10/24	A.Marques	Projecto:	1221_000_0-JIG_LASER_DT_GT_TEN24		Peso [Kg]			
2	/	/		Ver.	/	/		Número:	1221.111.0		0.052		
1	/	/	Unidade [mm]	Apr.	31/10/24	J.Reis	Material:	DIN CK 45/F10		Qtd.	Folha		
Rev.	Data	Nome		Templ.Ver.	Mod.030.00		Tratamento:	Oxidação a Negro		2	1/1		

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: All rights reserved.
also regarding any disposal, exploitation, editing,
distribution, as well as in the event of applications for
industrial property rights.

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: Todos os
direitos de propriedade nos estão reservados.
Proibido copiar ou de deixar em poder de terceiros
sem nossa permissão escrita.

A3

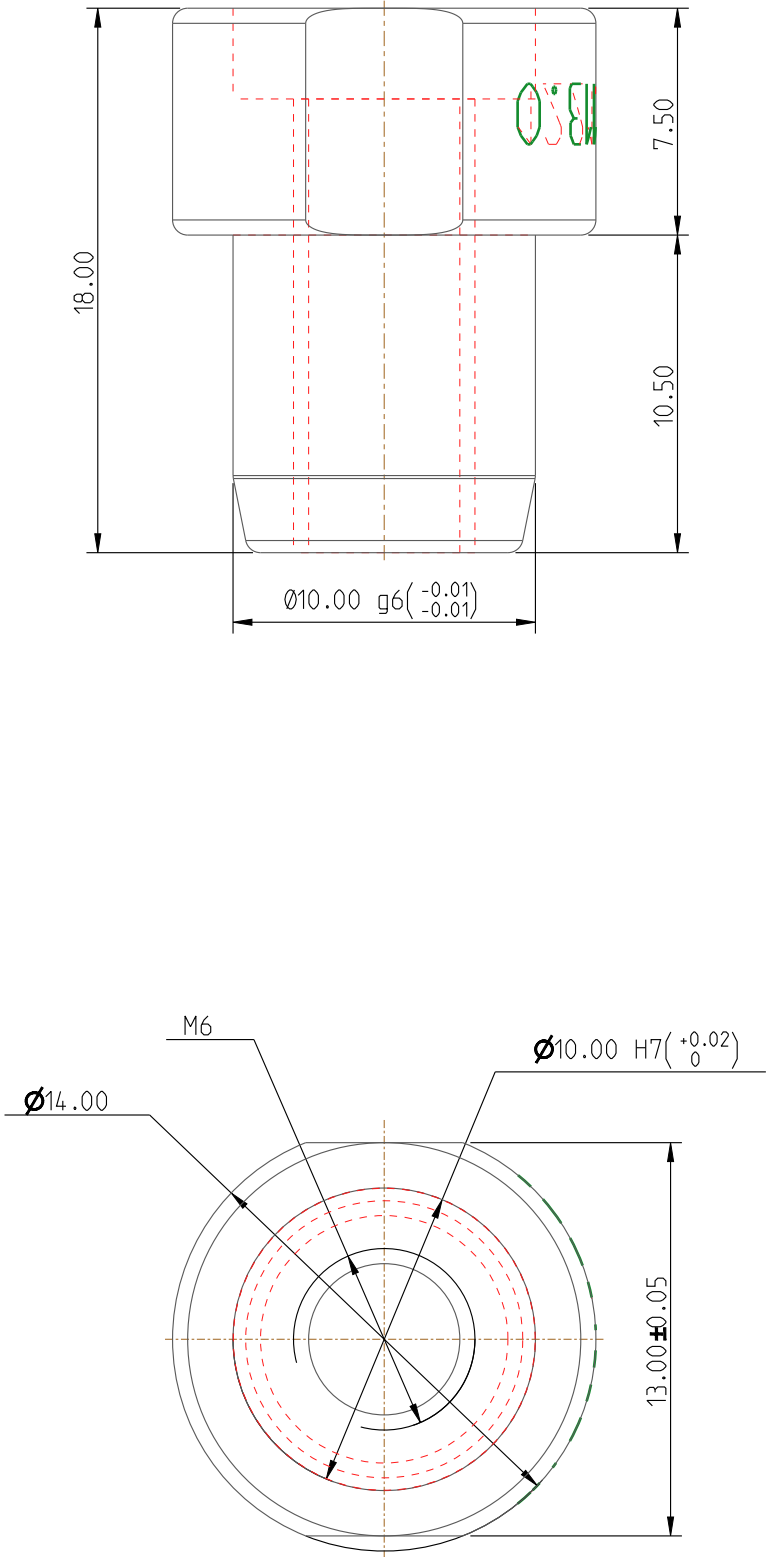


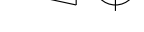
Tolerâncias dimensionais gerais de acordo com: 1) Maquinação 2) Soldadura 2.1) Classe de Qualidade			DIN ISO 2768-mK DIN EN ISO 13920-BF DIN EN ISO 5817-C			0.5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000		
			±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2					
			Tolerâncias gerais de forma e posição: ISO 1101						Triangle's - Cycling Equipment S.A. Parque Empresarial do Casarão Avenida das 2 Rodas n.º 1146 3750-860 Borrinha - Portugal			1221_112_0		A3	
Rugosidades gerais: ISO 1302															
Cantos e chanfros gerais: ISO 13715															
3	/	/	Escala 3:1			Des.	31/10/24	A.Marques	Projecto:	1221.000.0-JIG_LASER_DT_GT_TEN24			Peso [Kg]		
2	/	/				Ver.	/	/	Número:	1221.112.0			0.052		
1	/	/	Unidade [mm]			Apr.	31/10/24	J.Reis	Material:	W Nr 2311			Qtd.	Folha	
Rev.	Data	Nome				Templ.Ver.	Mod.030.00			Tratamento:	Nitruração			4	1/1

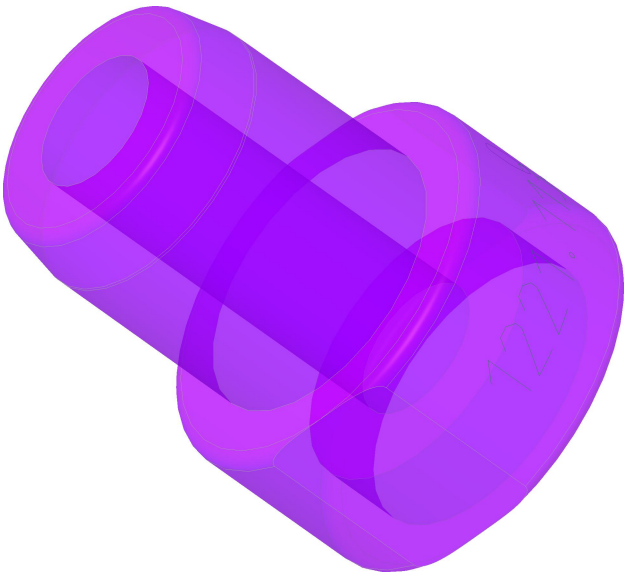
Triangle's - Cycling Equipment S.A.: All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: Todos os direitos de propriedade nos estão reservados. Proibido copiar ou de deixar em poder de terceiros sem nossa permissão escrita.

A3

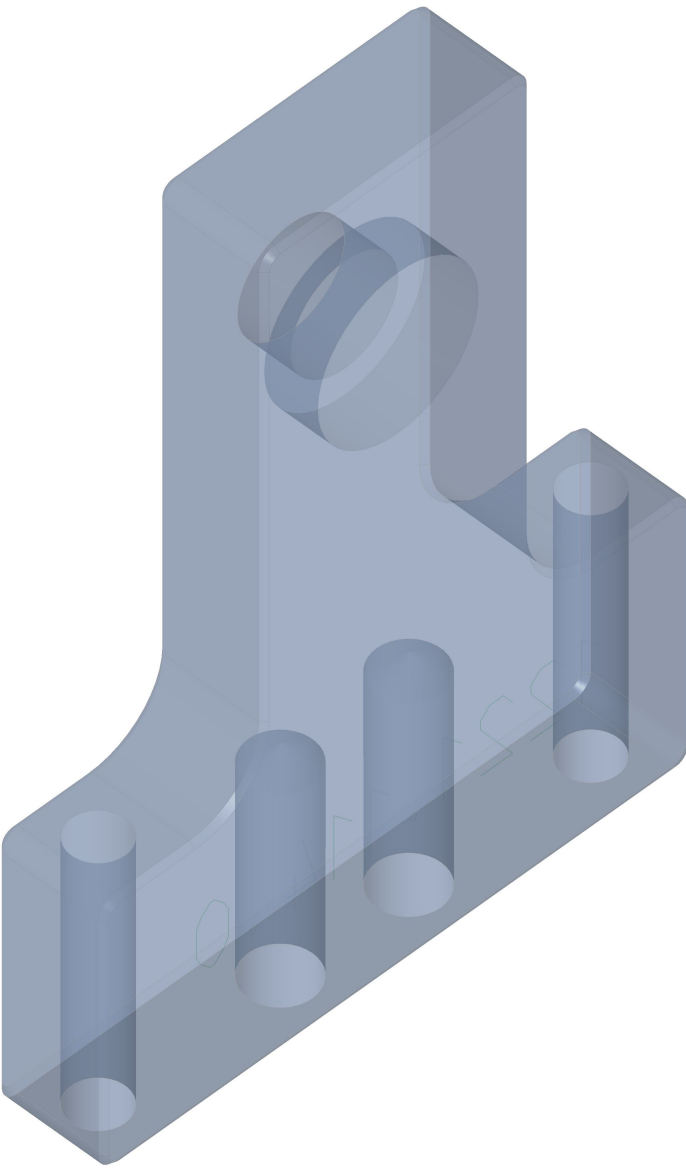
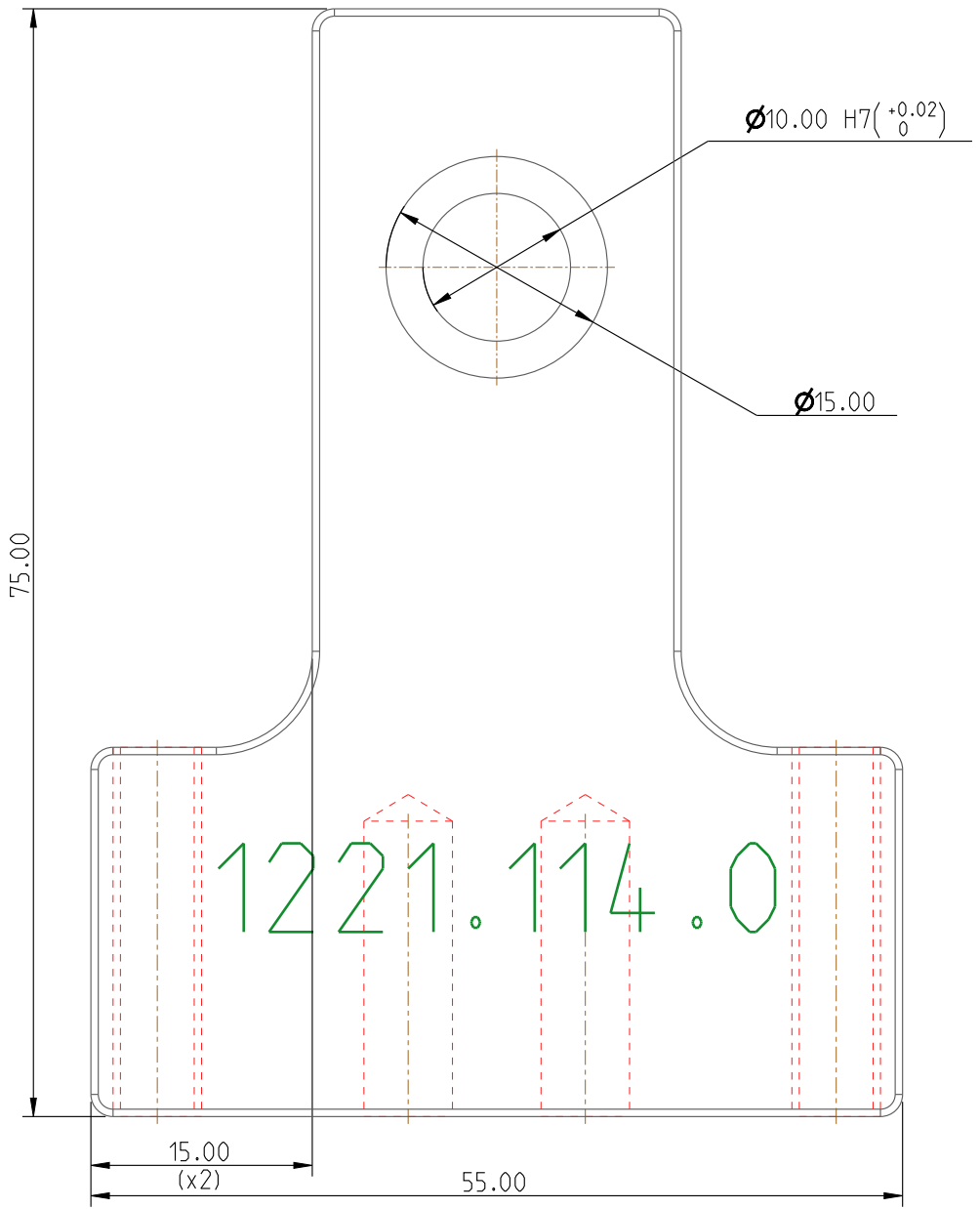


Tolerâncias dimensionais gerais de acordo com: 1) Maquinação 2) Soldadura 2.1) Classe de Qualidade			DIN ISO 2768-mK DIN EN ISO 13920-BF DIN EN ISO 5817-C			0.5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000		
						±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2		
			Tolerâncias gerais de forma e posição: ISO 1101			 Triangle's - Cycling Equipment S.A. Parque Empresarial do Casarão Avenida das 2 Rodas n.º 1146 3750-860 Borrinha - Portugal						1221_113_0		A3	
			Rugosidades gerais: ISO 1302												
			Cantos e chanfros gerais: ISO 13715												
3	/	/	Escala 4:1			Des.	31/10/24	A.Marques	Projecto:	1221.000_0-JIG_LASER_DT_GT_TEN24		Peso [Kg]			
2	/	/				Ver.	/	/	Número:	1221.113.0		0.011			
1	/	/	Unidade [mm]			Apr.	31/10/24	J.Reis	Material:	W Nr 6582/FR3		Qtd.	Folha		
Rev.	Data	Nome				Templ.Ver.	Mod.030.00		Tratamento:	Nitruração		2	1/1		



Triangle's - Cycling Equipment S.A.: All rights reserved.
also regarding any disposal, exploitation, editing,
distribution, as well as in the event of applications for
industrial property rights.

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: Todos os
direitos de propriedade nos estão reservados.
Proibido copiar ou de deixar em poder de terceiros
sem nossa permissão escrita.

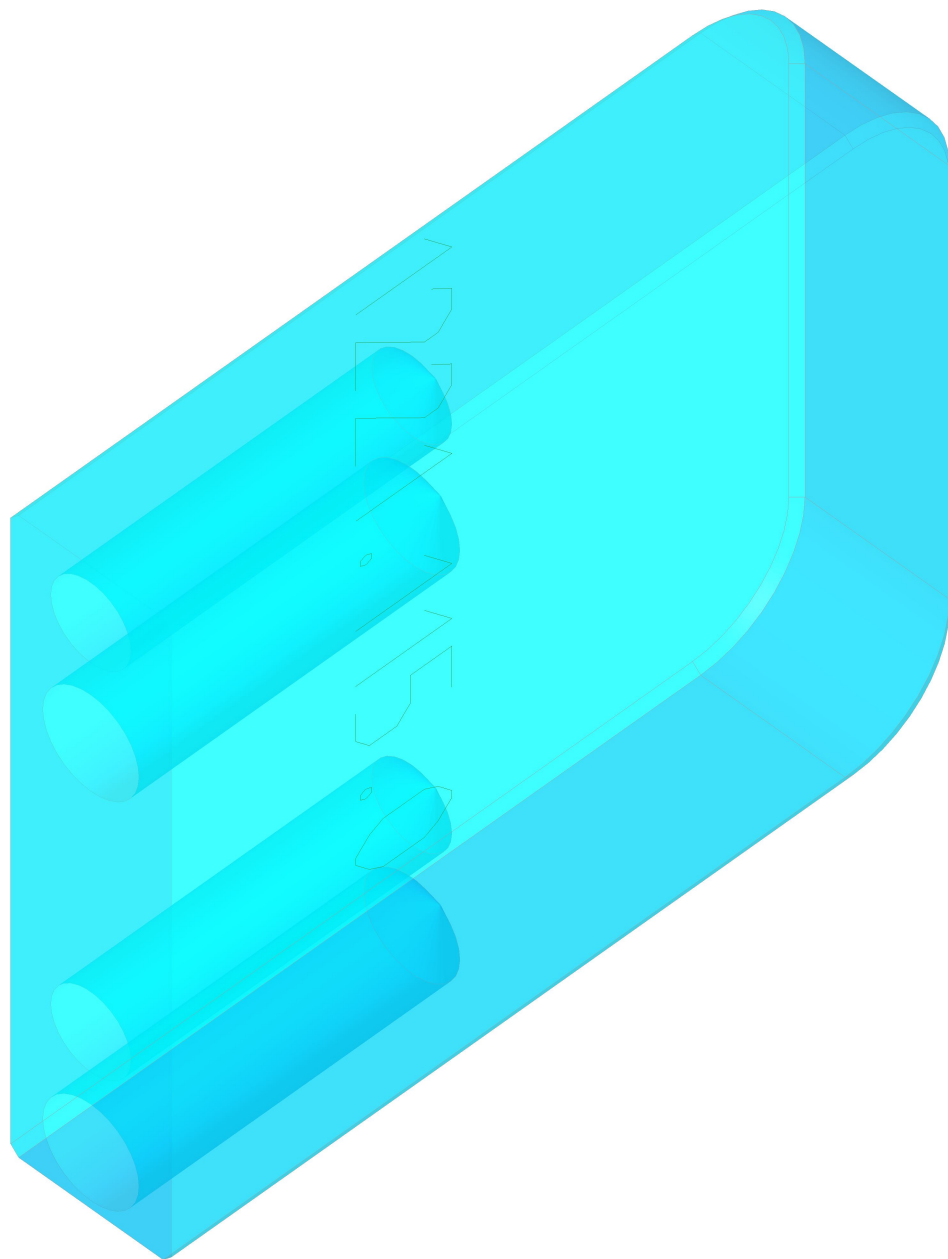
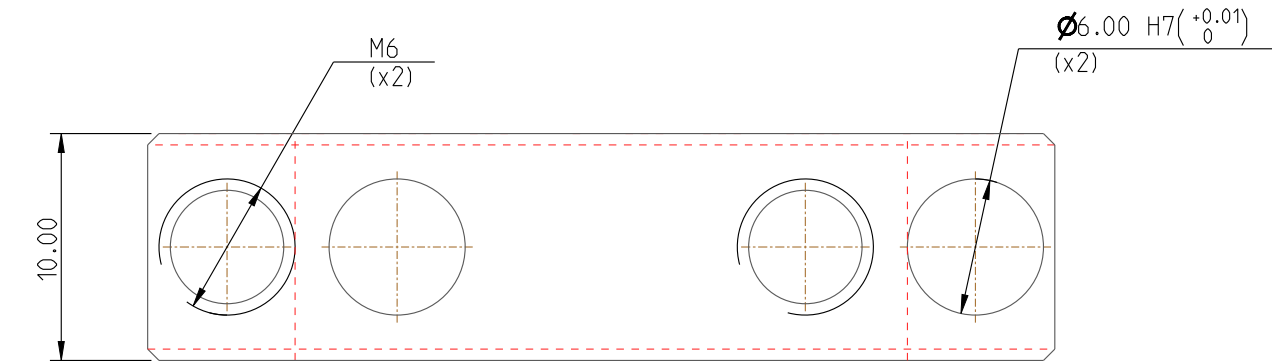
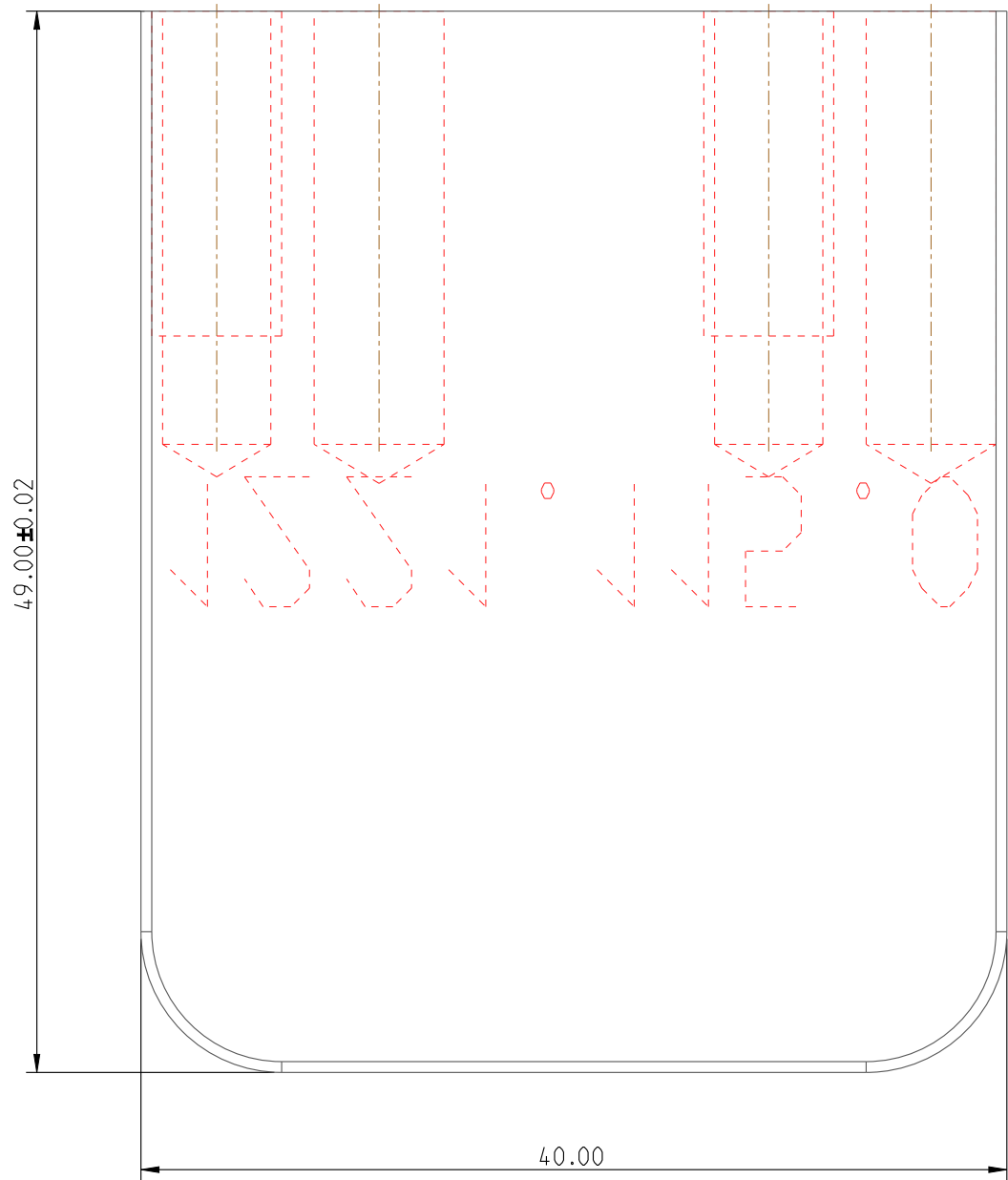


Tolerâncias dimensionais gerais de acordo com:			0.5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000		
1. Maquinação 2. Soldadura 2.1 Classe de Qualidade			DIN ISO 2768-mK DIN EN ISO 13920-BF DIN EN ISO 5817-C	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	
			Tolerâncias gerais de forma e posição: ISO 1101			 Triangle's - Cycling Equipment S.A. Parque Empresarial do Casarão Avenida das 2 Rodas n.º 1146 3750-860 Borrinha - Portugal			1221_114_0			A3
			Rugosidades gerais: ISO 1302									
			Cantos e chanfros gerais: ISO 13715									
3	/	/	Escala	Des.	31/10/24	A.Marques	Projecto:	1221.000_0-JIG_LASER_DT_GT_TEN24	Peso [Kg]			
2	/	/		2:1	Ver.	/	/	Número:	1221.114.0	0.179		
1	/	/	Unidade	Apr.	31/10/24	J.Reis	Material:	W Nr 2311	Qtd.	Folha		
Rev.	Data	Nome	[mm]	Templ.Ver.	Mod.030.00		Tratamento:	Nitrução	2	1/1		

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: All rights reserved.
also regarding any disposal, exploitation, editing,
distribution, as well as in the event of applications for
industrial property rights.

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: Todos os
direitos de propriedade nos estão reservados.
Proibido copiar ou de deixar em poder de terceiros
sem nossa permissão escrita.

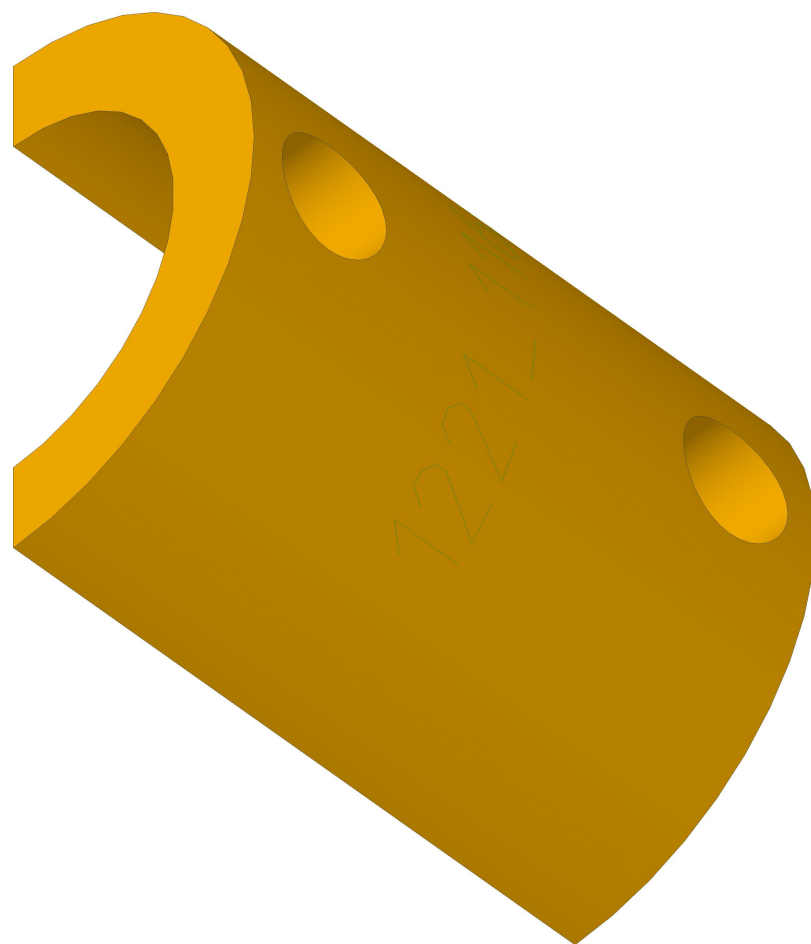
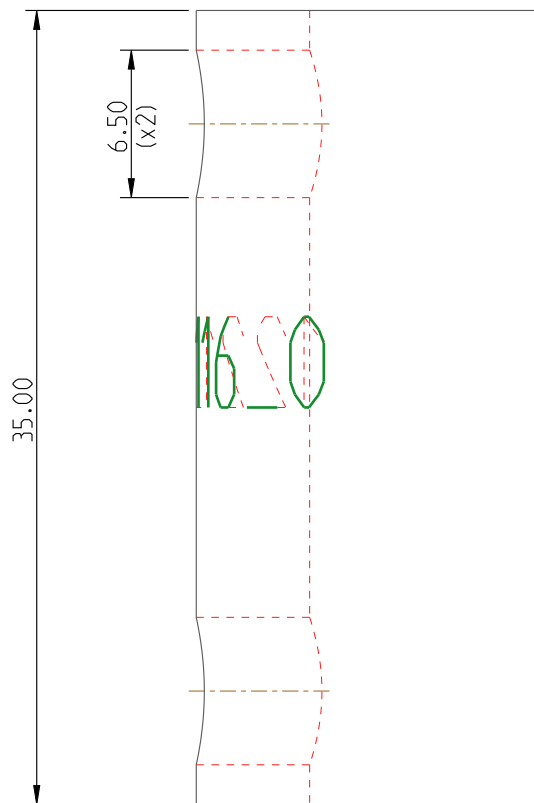
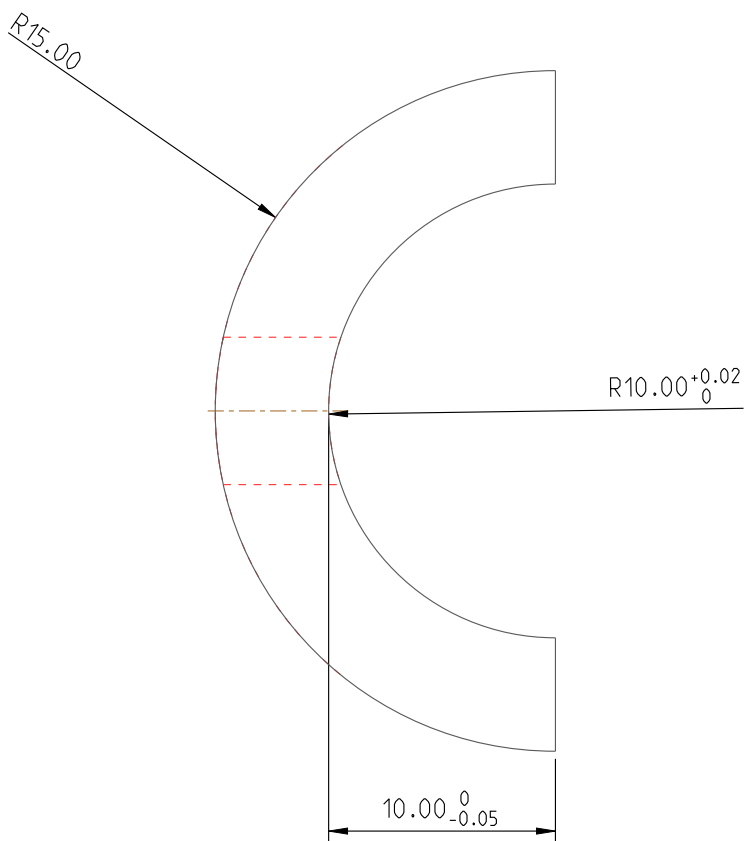
A3

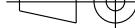
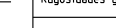


Tolerâncias dimensionais gerais de acordo com: 1) Maquinação 2) Soldadura 2.1) Classe de Qualidade			DIN ISO 2768-mK DIN EN ISO 19920-BF DIN EN ISO 5817-C			0.5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000	
			±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2				
			Tolerâncias gerais de forma e posição: ISO 1101						Triangle's - Cycling Equipment S.A. Parque Empresarial do Casarão Avenida das 2 Rodas n 1146 3750-860 Borralha - Portugal			1221_115_0		A3
Rugosidades gerais: ISO 1302														
Cantos e chanfros gerais: ISO 13715														
3	/	/	Escala 3:1			Des.	31/10/24	A.Marques	Projecto:	1221_000_0-JIG_LASER_DT_GT_TEN24			Peso [Kg]	
2	/	/				Ver.	/	/	Número:	1221.115.0			0.136	
1	/	/	Unidade			Apr.	31/10/24	J.Reis	Material:	W Nr 2311			Qtd.	Folha
Rev.	Data	Nome	[mm]			Templ.Ver.	Mod.030.00		Tratamento:	Nitruração			2	1/1

A3

Triangle's - Cycling Equipment S.A.: Todos os direitos de propriedade nos estão reservados. Proibido copiar ou de deixar em poder de terceiros sem nossa permissão escrita.



Tolerâncias dimensionais gerais de acordo com:				0.5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000	
1) Maquinção 2) Soldadura 2.1 Classe de Qualidade				DIN ISO 2768-mK DIN EN ISO 1920-BF DIN EN ISO 5817-C	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2
		Tolerâncias gerais de forma e posição: ISO 1101 Rugosidades gerais: ISO 1302 Cantos e chanfros gerais: ISO 13715			 Triangle's - Cycling Equipment S.A. Parque Empresarial do Casarão Avenida das 2 Rodas n 1146 3750-860 Borralha - Portugal				1221_116_0			A3
3	/	/	Escala	Des.	31/10/24	A.Marques	Projecto:	1221.000.0-JIG-LASER-DT-GT-TEN2		Peso [Kg]		
2	/	/		3:1	Ver.	/	/	Número:	1221.116.0		0.054	
1	/	/	Unidade	Apr.	31/10/24	J.Reis	Material:	Cobre. 99.9		Qtd.	Folha	
Rev.	Data	Nome	[mm]	Templ.Ver.	Mod.030.00		Tratamento:	-		4	1/1	



**Instituto Superior
de Engenharia**

Politécnico de Coimbra