Otimização do Processo de Montagem de Binóculos *Rangefinder*

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Especialização em Automação



Afonso Carvalhais Valente Campos Lopes

Orientador: Professor Joaquim Gabriel Magalhães Mendes

Supervisor na Empresa: Fernando Pontes Oliveira

Junho 2021

Agradecimentos

À comunidade Leica Portugal, dedico um imenso agradecimento pela disponibilidade desta frutuosa experiência. Agradeço também ao meu orientador, Fernando Pontes, pelo constante apoio proporcionado e sempre de boa vontade. Reconheço a imensa importância da sua presença e contribuição. Destaco também o Eng. Pedro Ramos, Eng. Nuno Barros, Eng. Diogo Prata, Eng. Vitória Martins, Joaquim Rafael e Bruno Fernandes, por possibilitarem, motivarem e contribuírem para a concretização de todas as minhas ambições. Por último, a toda a equipa da secção *Rangefinder* e da Ferramentaria pela vasta partilha de conhecimento.

À minha família e aos meus amigos, pelo incondicional apoio e por me fazerem crescer a nível pessoal. Aos meus pais e ao meu irmão, sempre presentes, dedico um inexprimível agradecimento.

A todos os professores que me permitiram adquirir os conhecimentos aplicados. Ao meu orientador, Professor Joaquim Gabriel, por ter acompanhado o processo de elaboração da dissertação e pela disponibilidade e vontade demonstrada durante o estágio.

Resumo

A presente dissertação, realizada em âmbito empresarial em pareceria com a empresa Leica - Aparelhos Óticos de Precisão, S. A., intitulada "Otimização do processo de Montagem de Binóculos *Rangefinder*", foi desenvolvida com o intuito de melhorar o processo de montagem dos produtos *rangefinder* que circulam nas três linhas de montagem, nas quais se inseriu o estágio, sendo correspondentes aos binóculos Geovid II e Geovid III e aos CRF (*Compact Rangefinders*).

Deu-se início ao projeto com o estudo do processo de montagem. Focou-se desde o início numa das três linhas de montagem, correspondente à do CRF, por apresentar maior potencial para melhorias. Percorreram-se os postos das diversas etapas de montagem, cujas tarefas foram parcialmente executadas, de modo a apreender da melhor forma o seu funcionamento e suas particularidades.

Tratando-se de um procedimento maioritariamente manual, desde uma fase inicial procurou-se validar e implementar a automatização de algumas etapas, recorrendo a um robô de colagem. Foi assim desenvolvida a principal componente do presente trabalho, ao projetar, elaborar e programar procedimentos de colagem automáticos, implementando-os posteriormente nas linhas de montagem em estudo. Dando lugar aos novos métodos e dispensando os procedimentos manuais, verificou-se uma significativa redução do tempo das colagens, bem como resultados uniformes e de alta repetibilidade. Ao dar continuidade à melhoria de procedimentos de colagem, conferiu-se uma nova dimensão à implementação anterior ao desenvolver bases para colagens de múltiplos componentes num só ciclo de colagem, tornando novamente o processo mais rápido e eficiente.

Para além das melhorias alcançadas nos diferentes procedimentos de colagem otimizados, foram também desenvolvidas e implementadas diversas melhorias noutros processos das três linhas de montagem. Destaca-se o desenvolvimento de um sistema para ativação de uma estufa UV, para o qual se programou um PLC e se projetou um circuito elétrico, de modo a possibilitar a ativação do sistema durante diferentes tempos de funcionamento e a sinalizar o seu funcionamento com uma luz sinalizadora LED. Desenvolveu-se também uma base para verificação de alinhamento dos autocolantes com o logótipo da empresa para auxiliar a colagem dos mesmos, de modo a evitar rejeições do produto motivadas pela incorreta colocação do autocolante. Foram alterados e desenvolvidos suportes para soldadura de modo a serem usados em diversas etapas das linhas de montagem. Relativamente ao robô anteriormente utilizado, foram desenvolvidas outras melhorias de processo e de aproveitamento do robô, ao projetar uma nova plataforma móvel para acoplamento de ferramentas-base de colagem. Por último, decorreu também uma contribuição para o arranque de produção e montagem de um novo modelo, ao projetar e implementar um procedimento de colagem automático e ao realizar ferramentas de auxilio à montagem.

Abstract

This dissertation carried out in partnership with the company Leica - Aparelhos Óticos de Precisão, SA, entitled "Optimization of the Binoculars Assembly Process Rangefinder", was developed with the aim of improving the assembly process of the rangefinder products: Geovid II and Geovid III binoculars and CRF (Compact Rangefinders).

The project began with the study of the assembly process. Since the beginning, it was focused on one of the three assembly lines, the one that produced CRF, as it seemed to present the greatest potential for improvement. The study carried out through the work stations from the different stages of assembly, that have also been partially elaborated, in order to retain each particularity and functioning of the different operations.

Since the assembly appeared to be mostly a manual procedure, from an early stage there was an intention to validate and implement the automation of some operations, using a dispensing robot. Thus, the main component of this project was developed: by designing, elaborating and programming automatic dispensing procedures, and implementing them in the assembly lines under study, replacing the manual gluing procedures, there was a significant reduction in the process duration, as well as uniform results with high repeatability. Continuing the improvement of gluing procedures, with the develompmente of bases for dispensing glue in multiple components in a single dispensing cycle, it was achieved a faster and more efficient process.

In addition to the mentioned improvements regarding different optimized gluing procedures, several improvements were also developed and implemented in other processes on the three assembly lines. Starting with the development of a system for activating a UV stove, for which a PLC was programmed and an electrical system was designed, in order to enable activation for different operating times and to signalize with an LED light during the operating time. A tool was also developed to check the alignment of the stickers with the company logo to help the workers stick them with the correct orientation, in order to avoid product rejections caused by the incorrect placement of the sticker. Some tools to assist welding processes in various stages of each assembly line were also developed and produced. Regarding the previously used dispensing robot, other improvements were developed during this project, such as the design of a new robot base for tool coupling. Finally, there was also a contribution to the start of the production and assembly of a new model, by designing and implementing an automatic gluing procedure and by creating tools to aid its assembly.

Índice

1 Introdução **1**
1.1 Enquadramento 1
1.2 Enquadramento do projeto na empresa e motivações 1
1.3 Objetivos 3
1.4 Estrutura da dissertação 3

2 Referencial teórico **5**
2.1 Binóculo 5
2.1.1 Componentes de um binóculo 5
2.1.2 Lentes oculares e objetivas 6
2.1.3 Prismas 9
2.2 Sistema eletrónico *Rangefinder* 14
2.3 Robô *Desktop Janome* JR3303 18
2.3.1 Especificações do aparelho 18
2.3.2 Programação do robô 20
2.3.3 Calibração de ferramenta para determinação do TCP 21

3 Identificação do produto e do processo de montagem **23**
3.1 Carcaça completa 25
3.1.1 Subgrupo ocular 25
3.1.2 Subgrupo carcaça 26
3.1.3 Subgrupo carcaça completa 27
3.2 Subgrupo tampa da pilha 27
3.3 Chassi com ótica 28
3.3.1 Subgrupo colimador 28
3.3.2 Subgrupo chassi com ótica 29
3.4 Chassi completo 30
3.4.1 Encaixe dos componentes eletrónicos 30
3.4.2 Ajuste do laser no recetor 31
3.4.3 Ajuste das luzes LED 32
3.4.4 Ajuste angular 33
3.5 Produto final (subgrupo CRF 3500.COM) 34
3.5.1 Verificação da estanquecidade 34
3.5.2 Montagem final e embalamento 35

4 Automatização do processo de colagem **37**
4.1 Introdução 37
4.2 Caso 1 - Espelho colimador (CRF) 37
4.2.1 Apresentação 37
4.2.2 Alteração da ferramenta 39
4.2.3 Programação do processo de colagem 41
4.2.4 Análise de qualidade de colagem 45
4.3 Caso 2 - Lente objetiva do laser (Geovid II) 49

4.3.1 Apresentação . . . 49
4.3.2 Desenho da ferramenta . . . 50
4.3.3 Definição do Processo de Fabrico . . . 51
4.3.4 A impressora 3D *stratasys* F270 . . . 51
4.3.5 Análise do produto final . . . 53
4.3.6 Procedimento de colagem . . . 54
4.3.7 Análise de qualidade de colagem . . . 55
4.4 Sumário . . . 59

5 Multiplicação do processo de colagem 61
5.1 Introdução . . . 61
5.2 Caso 1 - Lente objetiva do laser (Geovid II) . . . 61
5.2.1 Medição do mecanismo de fixação da ferramenta no robô . . . 61
5.2.2 Desenho da ferramenta . . . 62
5.2.3 Produção dos componentes da ferramenta . . . 63
5.2.4 Alteração da ferramenta . . . 63
5.2.5 Controlo de cotas do produto final . . . 65
5.2.6 Procedimento de colagem e conclusões . . . 65
5.3 Caso 2 - Lentes da objetiva (CRF) . . . 66
5.3.1 Desenho 3D da ferramenta . . . 67
5.3.2 Produção da ferramenta . . . 68
5.3.3 Procedimento de colagem . . . 68
5.4 Sumário . . . 69

6 Outras melhorias de ferramentas e de processos 71
6.1 Implementação de um sistema de acionamento da estufa UV . . . 71
6.1.1 Programação do sistema . . . 72
6.1.2 Circuito elétrico . . . 75
6.1.3 Implementação e comparação dos sistemas . . . 76
6.2 Base para verificação de alinhamento . . . 77
6.3 Ferramentas suporte para soldar . . . 78
6.3.1 Fresagem para remoção de material . . . 78
6.3.2 Impressão 3D de ferramentas suporte . . . 79
6.4 Melhorias de processos de colagem pelo robô *Janome* . . . 81
6.4.1 Colagem automática de lentes objetivas (Geovid II) . . . 81
6.4.2 Desenvolvimento e implementação de uma placa base para o robô *Janome* . . . 84
6.5 Contribuição no arranque de produção de um novo modelo (Geovid III) 87
6.5.1 Automatização e multiplicação do processo de colagem de lentes da manga . . . 88
6.5.2 Construção de grades transportadoras de lentes . . . 88
6.6 Sumário . . . 89

7 Conclusões e trabalhos futuros **91**
7.1 Conclusões 91
7.2 Trabalhos futuros 92

Índice de Figuras

1 Atuais instalações da Leica Portugal. (imagem de [3]) 1
2 Diagrama de produção dos instrumentos óticos produzidos na fábrica. . 2
3 Planta do Departamento de Montagem, destacando-se a vermelho a linha de montagem na qual se inseriu o estudo, a verde a secção da qual provinham os equipamentos eletrónicos e a azul a secção da qual provinham os componentes mecânicos. 2
4 Binóculo Leica - Geovid III, destacando os componentes a serem enunciados. 5
5 Comportamento do feixe luminoso ao atravessar uma lente do tipo convergente. (adaptado de [7]) 6
6 Comportamento do feixe luminoso ao atravessar uma combinação de lentes do tipo convergente. (adaptado de [7]) 7
7 Transformação da imagem real na imagem ampliada. (adaptado de [6]) 7
8 Comparação visual entre uma lente sem revestimento (à esquerda) e uma lente com o revestimento *multicoating* (à direita). (imagem de [6]) . . . 8
9 Esquematização do efeito de refleção numa lente sem revestimento juntamente com a imagem obtida (à esquerda) e efeito da aplicação do revestimento (à direita). (adaptado de [8]) 8
10 Percurso de um feixe luminoso em prismas telhado ou *roof* (à esquerda) e em prismas *porro* (à direita). (adaptado de [11]) 9
11 Comparação do sistema de focagem de um mecanismo com prismas *roof* (à esquerda) e *porro* (à direita). (adaptado de [12]) 10
12 Esquematização dos feixes luminosos de um CRF. (imagem de [13]) . . 11
13 Esquematização dos feixes luminosos do CRF produzido na fábrica. . . 12
14 Esquematização dos diferentes tipos de feixes no prisma. 12
15 Esquema funcional de um prisma *Porro-Perger*. (adaptado de [14]) . . 13
16 Comparação estética entre aparelhos binoculares com sistemas de prismas *Porro-Perger* e *Roof*. (adaptado de [15]) 13
17 Exemplo de medição de distância pelos olhos de um utilizador do produto. (adaptado de [15]) 14
18 Método de medição adequado em função da distância. (adaptado de [19]) 14
19 Diagrama de blocos do funcionamento de um *rangefinder*. (imagem de [16]) 15
20 Placa elétrica de um CRF com destaque para os componentes fundamentais. 15
21 Encaixe da placa elétrica no corpo do CRF. 17
22 Feixe de luz de um CRF legendado. 17
23 Robô estudado e utilizado durante o estágio. (imagem de [21]) 18
24 Tabela de especificações do robô Janome de 3 eixos JR3303, modelo disponibilizado. (adaptado de [21]) 19
25 Apresentação dos eixos do robô (à esquerda) e esquema da plataforma de trabalho do robô (à direita). (adaptado de [21] e [22]) 19

26 Representação da consola do robô (à esquerda) e exemplos de comandos de posicionamento e movimento do robô (à direita). (adaptado de [22]) 20
27 Ferramenta de calibração de ponta. 21
28 Árvore de produtos da setor *Sport Optics*. (adaptado de [15]) 23
29 *Compact Rangefinder - Rangemaster* CRF3500.COM. (imagem de [15]) 24
30 Estrutura do *Compact Rangefinder* (CRF). 25
31 Montagem dos diferentes componentes da objetiva com a respetiva legenda. 26
32 Ocular colado. 26
33 Colagem do logótipo e da identificação do modelo. 27
34 Aplicação de um O-ring no conjunto ocular (à esquerda) e encaixe do ocular completo na carcaça (à direita). 27
35 Montagem da tampa da casa da pilha. 28
36 Montagem do espelho no casquilho (à esquerda) e componentes colados (à direita). 28
37 Processo de colagem manual do espelho colimador no casquilho. 28
38 Esquematização de montagem das lentes e do chassi na grade de trabalho. 29
39 Montagem do sistema de prismas no chassi (à esquerda) e do espelho colimador (à direita). 29
40 Esquema de um CRF com destaque e legenda nos componentes óticos encaixados no chassi. 30
41 Preparação e montagem da placa *bluetooth* no chassi. 30
42 Inserção de cablagem da placa de pressão à placa eletrónica principal. . 31
43 Demonstração em esquema do ajuste da placa recetora e da placa laser. 31
44 Esquematização do feixe do laser emissor com legenda nos componentes a serem ajustados. 32
45 Esquematização da focagem das luzes LED ao roscar o casquilho com o espelho colimador (à esquerda) e demonstração em esquema do procedimento (à direita). 32
46 Demonstração em esquema do ajuste das luzes LED. 33
47 Esquematização do ajuste angular. 33
48 Encaixe do chassi na carcaça. 34
49 Mecanismo para verificação de estanquecidade. 34
50 Encaixe do parafuso final (à esquerda) e da borracha do ocular, da tampa da pilha e da tampa frontal do CRF (à direita). 35
51 Produto resultante do processo de montagem. 35
52 Procedimento de colagem manual, destacando a necessidade de inclinação da agulha de modo contornar a garra de fixação da ferramenta. 37
53 Verificação da colisão da ponta de seringa de pequena dimensão (à esquerda) e resultado obtido ao utilizar uma seringa de ponta comprida (à direita). 38
54 Comparação entre a colagem numa só trajetória (à esquerda) e por segmentos (à direita). 39
55 Esquema do encaixe de uma ferramenta na base do robô (à esquerda) e procedimento de colagem nessa base (à direita). 40

56 Representação da base da ferramenta de colagem projetada (à esquerda) em relação às áreas de trabalho do robô, destacadas no esboço da base e no *layout* do robô (à direita). 40
57 Comparação entre uma ferramenta no estado inicial (em cima) e outra com a alteração efetuada (em baixo). 41
58 Esquematização dos quatro pontos de interesse para a programação de colagem (apresentados a amarelo no esquema à esquerda) e demonstração do procedimento de colagem automático por segmentos (à direita). . . . 41
59 Obtenção da posição correspondente ao centro do casquilho por *jogging*. 42
60 Esquematização da sequência dos passos de programação (passos 1 a 4). A vermelho apresenta-se o movimento gerado no passo correspondente e a azul as trajetórias definidas nos passos anteriores. 43
61 Esquematização da sequência dos passos de programação (passos 5 e 6). A vermelho apresenta-se o movimento gerado no passo correspondente e a azul as trajetórias definidas nos passos anteriores. 43
62 Consola do robô (*teaching pedant*) destacando o ponto central da circunferência calculado anteriormente. 44
63 Esquematização do percurso de colagem (a cor verde) e divisão dos espelhos colados em três conjuntos (a cor vermelha e com numeração). . . 45
64 Estufa UV em funcionamento. 45
65 Observação ao estereomicroscópio de uma amostra de cada grupo definido na Figura 63 após a colagem. 46
66 Procedimento de ajuste de focagem das luzes LED através da roscagem do casquilho portador do espelho colimador (à esquerda) e demonstração em esquema do procedimento (à direita). 47
67 Verificação do ajuste de focagem de diferentes amostras. A imagem no canto inferior direito, destacada a cor verde, corresponde a uma unidade colada manualmente. As restantes imagens correspondem a diferentes amostras coladas automaticamente pelo robô *Janome*, sendo que na imagem do canto inferior esquerdo apresenta-se não só o alvo como também os algarismos indicadores de distância da medição *rangefinder*. 47
68 Ensaio realizado para verificar a resistência da colagem. 48
69 Desenho 2D do casquilho e da lente objetiva do laser com destaque no desfasamento dos eixos do centro de circunferência da base do casquilho e da lente. 49
70 Desenho 2D (à esquerda) e 3D (à direita) da ferramenta. 51
71 Impressora stratasys F270. 51
72 Definição da disposição da peça a imprimir no software (à esquerda) e consola da impressora (à direita). 52
73 Produto Impresso. 52
74 *Water Works* - mistura para dissolver o filamento suporte (à esquerda) e tanque para dissolução (à direita). 53
75 Produto final - ferramenta suporte de colagem das lentes objetivas do laser (Geovid II). 53

76 Observação do filamento da peça auxiliar através de um estereomicroscópio. 54
77 Observação do filamento da peça principal através de um estereomicroscópio. 54
78 Lentes provenientes do Departamento de Ótica (esquerda) e casquilhos provenientes do Departamento de Mecânica (direita). 55
79 Procedimento de colagem pelo do robô. 55
80 Ferramenta auxiliar para medição de estanquecidade. 56
81 Colocação de peso para auxiliar o processo. 57
82 Ajuste do laser no recetor de diferentes amostras. A imagem no canto inferior direito, destacada a cor verde, corresponde à assinatura de laser padrão, sendo a mesma emitida através de uma lente objetiva colada manualmente. 57
83 Lente colada manualmente, destacando na imagem do lado esquerdo uma falha de colagem. 58
84 Lente colada usando o robô *Janome*. 59
85 Mesa de trabalho do robô *Janome* com limitação em destaque. 61
86 Desenho 3D de duas ferramentas inseridas numa caixa de transporte *standard*. 62
87 Desenho 3D da ferramenta de colagem de lentes para o Geovid II destacando um pino. 63
88 Chapa de alumínio após corte e pré-acabamento superficial nas faces laterais. Na imagem à direita são identificadas por números as superfícies com diferentes tipos de acabamento. 63
89 Resultado obtido após a alteração. 64
90 Produto final - ferramenta suporte de múltiplas colagem (80x) das lentes objectivas do laser (Geovid II). 64
91 Verificação de cotas pelo aparelho *Tesa Hite*. 65
92 Colagem múltipla das lentes objetivas do laser do Geovid II. 65
93 Ferramenta-base (à esquerda) e procedimento de colagem (à direita) anteriormente usados. 66
94 Casquilho da objetiva de um CRF com a linha de molde em destaque a vermelho (à esquerda) e apresentação em observação ao estereomicroscópio (à direita). 66
95 Ferramenta produzida totalmente em PVC demonstrando falta de planeza na superfície base. 67
96 Desenho 3D da ferramenta criada. 68
97 Furação na fresadora da placa PVC (à esquerda) e produto final (à direita). 68
98 Procedimento de colagem antes (à esquerda) e depois (à direita) da implementação da ferramenta. 69
99 Preenchimento da caixa de transporte de casquilhos antes (à esquerda) e depois (à direita) da implementação da ferramenta projetada. 70
100 Comando da estuda UV (à esquerda) e a estufa (à direita). 71
101 Diagrama de tempo do funcionamento pretendido. 73
102 Mini PLC utilizado. (imagem de [28]) 73

103 Diagrama de programação em *funtion block*. 74
104 Teste em modo simulação do programa em *funtion block*, estando apresentadas a verde as variáveis acionadas. Os valores de tempo nos temporizadores apresentam-se em segundos. 74
105 Sistema elétrico a implementar no mecanismo da estufa. 75
106 Sistema de acionamento da estufa original (à esquerda) e modificado (à direita). 76
107 Comparação entre a sinalização de funcionamento no sistema anterior (à esquerda) e no implementado (à direita). 76
108 Medição da altura do texto do logótipo da empresa num binóculo Geovid II (à esquerda) e num CRF (à direita). 77
109 Desenho 3D da ferramenta (à esquerda) e demonstração funcional (à direita). 77
110 Desenho 3D da ferramenta antes (à esquerda) e depois (à direita) da alteração. 78
111 Desenho 3D da ferramenta antes (à esquerda) e depois (à direita) da alteração. 78
112 Ferramenta suporte após alterações (à esquerda) e demonstração da sua vantagem estrutural (à direita). 79
113 Ferramenta suporte após remoção de massa. 79
114 Ferramenta a ser replicada (à esquerda) e réplica (à direita). 80
115 Ferramenta após impressão (à esquerda) e furação (à direita). 80
116 Ferramenta após adição de uma película antiderrapante. 81
117 Ferramenta suporte para soldadura projetada (à esquerda) e finalizada (à direita). 81
118 Ferramenta para centragem de coordenadas no robô. 82
119 Representação do desenho 3D em corte da ferramenta de suporte de colagem anteriormente utilizada (à esquerda) e a projetada (à direita). 83
120 Procedimento de colagem entre a lente objetiva e a manga recorrendo à ferramenta suporte anteriormente utilizada (à esquerda) e à projetada (à direita). 83
121 Comparação da qualidade de colagem entre a lente objetiva e a manga recorrendo à ferramenta suporte anteriormente utilizada (à esquerda) e à projetada (à direita). 84
122 Esquema do método de fixação de ferramentas de colagem na placa móvel do robô *Janome*, com destaque a cor azul no mecanismo de calibração. 85
123 Base móvel do robô (na imagem do topo) e sistema projetado para implementar na base do robô (na imagem inferior). Apresenta-se a numeração dos componentes desta imagem. 85
124 Batente projetado (à esquerda) e implementado na base movél do robô (à direita). 86
125 Novo *layout* implementado no robô *Janome*. 86

126 Vista lateral do novo sistema implementado no robô, na qual se observa que a placa cinzenta serve de apoio ao mecanismo de calibração (imagem da esquerda) e encaixe de uma ferramenta no novo sistema do robô. . . 87
127 Desenho 3D da ferramenta (à esquerda) e dois exemplares do produto final numa caixa de transporte (à direita). 88
128 Construção de uma grade transportadora de lentes. 89

Índice de Tabelas

1 Exemplos de comandos de programação do robô. 20
2 Definição dos três pontos de colagem de secção. 42
3 Resultado do teste à estanquecidade de 10 amostras (Medições de pressão em Pa). 56
4 Comparação da duração de processos de colagem (minutos:segundos) antes e depois da implementação do espelhos colimadores (CRF) e das lentes objetivas do laser (Geovid II). 59
5 Resultado da medição do diâmetro de 8 unidades. 66
6 Comparação da duração dos processos de montagem, colagem e transporte (minutos:segundos) antes e depois da implementação das lentes objetivas do laser (Geovid II) e das lentes oculares (CRF). 69
7 Comparação das valores de massa antes e depois da alteração. 79

Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

ADC - *Analog to Digital* Converter (conversor analógico digital)

APD - *Avalanche Photodiode* (fotodíodo de avalanche)

ASA - *Acrylonitrile Styrene Acrylate* (acrilonetrilo estireno acrilato)

AU - *Arbeitsunterweisung* (instrução de trabalho)

CAD - *Computer-Aided Design* (desenho assistido por computador)

CNC - *Computer Numerical Control* (controlo numérico computorizado)

CRF - *Compact Rangefinder*

DC - *Direct Current* (corrente contínua)

FDM - *Fused Deposition Modelin*g (modelagem de deposição fundida)

LED - *Light-emitting Diode* (díodo emissor de luz)

PLC - *Power Line Communication* (controlador lógico programável)

PLD - *Pulsed Laser Diode*

POM - *Polyoxymethylene* (polióxido de metileno)

PVC - *Polyvinyl Chlorid* (policloreto de vinila)

QSR - *Quick Support Release* (material de suporte solúvel)

SNR - *Signal-to-Noise Ratio* (relação sinal ruído)

TCP -*Tool Center Point*

TOF - *Time-of-Flight* (tempo de voo)

UV - Ultravioleta

1 Introdução

Nesta dissertação, incluída no plano de estudos do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, foi desenvolvido o presente trabalho em contexto empresarial na empresa Leica - Aparelhos Óticos de Precisão, S.A..

1.1 Enquadramento

Em 1869, Ernst Leitz compra a firma *Kellner*, considerada um instituto ótico, o que deu início à história da Leica. Durante o ano de 1900 foram produzidos 4000 microscópios, valor que duplicou em menos de uma década. Foi assim que, partindo de uma pequena oficina, se atingiu o reconhecimento e a dimensão atual da empresa [1].

Entre 1905 e 1930 decorreu a invenção e desenvolvimento da câmara Leica 35 mm. Apesar de ser designada como primeira câmara 35mm, esta invenção foi precedida por outras criações de outros produtores. No entanto, dado o imenso destaque do produto Leica, é correto afirmar que a fotografia 35mm que hoje existe é descendente direta da câmara Leica 35 mm [1], [2].



Fig. 1. Atuais instalações da Leica Portugal. (imagem de [3])

Em 1973 é fundada a Leica - Aparelhos Ópticos de Precisão, como uma extensão da Ernst Leitz Wetzlar GmbH, em Vila Nova de Famalicão, cidade onde se mantém o estabelecimento até ao momento (apresenta-se na Figura 1). Sempre em constante crescimento, atualmente a fábrica é constituída por três departamentos principais: Mecânica, Ótica e Montagem [3].

1.2 Enquadramento do projeto na empresa e motivações

Os principais produtos que circulam nas linhas de montagem da empresa são as máquinas fotográficas digitais e analógicas, binóculos de observação, binóculos *rangefinder*, objetivas e miras telescópicas. Todos estes instrumentos óticos completam o mesmo percurso, correspondendo à produção e montagem de componentes óticos, mecânicos e eletrónicos até chegar ao produto final, como exposto no diagrama da Figura 2.

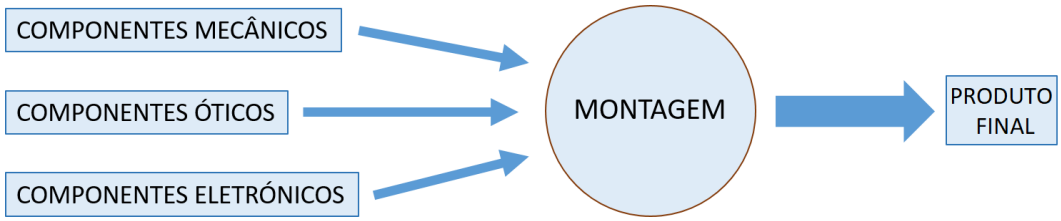


Fig. 2. Diagrama de produção dos instrumentos óticos produzidos na fábrica.

Na Figura 3 apresenta-se a planta do Departamento de Montagem, onde se evidencia a existência de duas amplas salas: a sala limpa e a semi-limpa. Na sala limpa são realizadas as operações que requerem melhores condições climatéricas e de limpeza, bem como as de finalização do processo de montagem e embalamento de produto, de modo a garantir a qualidade do produto final.

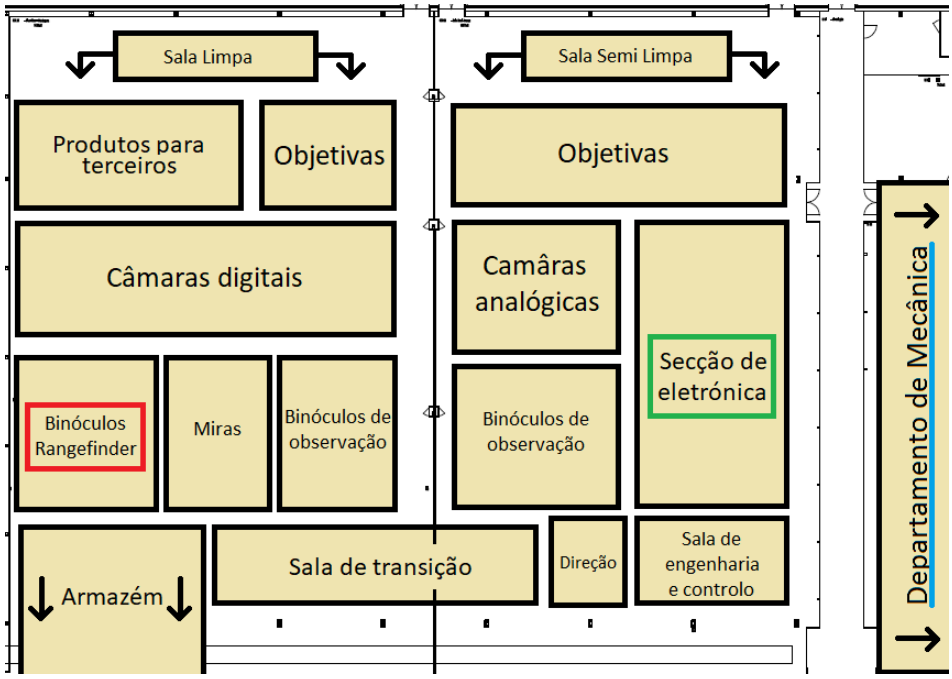


Fig. 3. Planta do Departamento de Montagem, destacando-se a vermelho a linha de montagem na qual se inseriu o estudo, a verde a secção da qual provinham os equipamentos eletrónicos e a azul a secção da qual provinham os componentes mecânicos.

Na Figura 3 apresenta-se destacado a azul o Departamento de Mecânica, no qual se insere o setor da Ferramentaria, local de fabrico das ferramentas projetadas pelos engenheiros de produção do Departamento de Montagem.

Apesar da existência do Departamento de Mecânica na fábrica, Departamento homónimo do curso no qual se insere a atual dissertação, o projeto centra-se no Departamento de Montagem. É efetivamente adequada a ligação de um praticante de engenharia mecânica ao referido Departamento, dada a necessidade de constante inovação e melhoria de diversos processos e ferramentas que potenciam a produtividade da fábrica.

Para além desta compatibilidade, menciona-se também o interesse pela empresa e pela marca, estando associada a produtos óticos, nomeadamente máquinas fotográficas, de alta qualidade e valor.

1.3 Objetivos

O estágio realizado e intitulado "Otimização do processo de montagem de binóculos *Rangefinder*", surge da constante procura de melhorias de processo na montagem dos produtos da referida empresa. Dando uso aos conhecimentos e ferramentas adquiridos durante o percurso académico, com especial destaque para os provenientes da vertente de automação, pretendia-se atingir melhorias significativas e visíveis que não só resultariam num aumento da produtividade da empresa, como também na satisfação por parte dos operadores do Departamento de Montagem com a introdução de novas ferramentas e procedimentos ergonómicos. Tendo sido disponibilizado um robô cartesiano, definiu-se como principal objetivo automatizar procedimentos de colagem manuais, e otimizar os restantes processos realizados recorrendo ao robô. Aplicando os conhecimentos de modelação 3D e de conceção e fabrico, pretendia-se também desenvolver e produzir diversos tipos de ferramentas para implementar nas linhas de montagem.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação é dividida em 7 capítulos. Começando pela "Introdução", o presente capítulo, é exposto o enquadramento do projeto e as motivações, bem como os objetivos do mesmo.

No segundo capítulo, denominado "Referencial teórico", expõe-se de forma breve e sucinta o fundamento dos sistemas ótico e *rangefinder* enquadrados no produto em estudo. É também apresentado e descrito o robô estudado e utilizado durante o estágio.

O terceiro capítulo, intitulado "Identificação do produto e do processo de montagem", é destinado à apresentação de um dos produtos elaborados nas linhas de montagem nas quais se inseriu o estágio. São também expostas as principais etapas do processo de montagem, consoante as quais se realizou a procura de otimização de processo.

Terminando a identificação do processo de montagem, dá-se início à componente experimental ao iniciar o capítulo 4, "Automatização do processo de colagem". É exposto o estudo realizado em dois processos distintos de colagem manual, procurando-se implementar um procedimento automático recorrendo ao robô anteriormente exposto. Visando otimizar o processo automático de colagem, no capítulo 5, "Multiplicação do processo de colagem", é exposto o procedimento que confere uma segunda dimensão à abordagem anterior, ao projetar, elaborar e programar colagens de múltiplos elementos num só ciclo de funcionamento do robô, utilizando ferramentas-base como suporte.

Com o intuito de expor as restantes melhorias implementadas durante o estágio, no capítulo 6, denominado "Outras melhorias de ferramentas e de processos", é exposto o procedimento de estudo, projeção e elaboração de diversas melhorias implementadas

com sucesso. Optou-se pela separação entre este conjunto de diversas e variadas melhorias e as expostas nos dois capítulos anteriores pelo facto de se ter considerado que a abordagem de automatização e multiplicação de processo apresentava uma maior relevância, e por ter sido o principal foco durante o estágio.

Por último, apresenta-se no capítulo 8, "Conclusões e trabalhos futuros", as conclusões retiradas do projeto na sua totalidade, englobando as principais conclusões de cada capítulo experimental, bem como as perspectivas e propostas de trabalhos futuros.

2 Referencial teórico

2.1 Binóculo

O binóculo é considerado um instrumento ótico de ampliação de imagem, sendo um aparelho de observação. O facto de ser constituído por dois conjuntos de lentes, de modo a ser utilizado em simultâneo pelos dois olhos do observador, confere a sensação de profundidade, ao ser possível visualizar uma imagem tridimensional [4].

2.1.1 Componentes de um binóculo

Na Figura 4 apresenta-se um aparelho binocular Leica do modelo Geovid III. Os principais componentes encontram-se destacados e numerados, sendo que posteriormente apresenta-se a sua legenda.



Fig. 4. Binóculo Leica - Geovid III, destacando os componentes a serem enunciados.

Legenda da Figura 4 [5]:

1. Lentes oculares - lentes responsáveis pela ampliação da imagem recebida, junto às quais se posiciona o olho do utilizador;
2. Lentes objetivas - lentes de maior diâmetro localizadas na extremidade do aparelho ótico, sendo a sua função a captação de luz;
3. Sistema de focagem - ao rodar o casquilho, ajusta a focagem de ambos os barris dos binóculos, regulando as dioptrias de observação dos olhos do observador;

4. Sistema de dioptrias - permite o ajuste da focagem de cada lado dos binóculos individualmente, de modo a compensar as diferenças de dioptrias entre os olhos do utilizador;

5. Sistema de prismas - objeto transparente composto por superfícies retas que desempenha a função de inversão da imagem, de modo a fornecer a correta percepção ao utilizador.

Dos componentes enunciados, destacam-se os que constituem o sistema ótico: as lentes, objetivas e oculares, e o sistema de prismas. Seguidamente será exposto com maior detalhe o funcionamento destes elementos.

2.1.2 Lentes oculares e objetivas

As lentes oculares e objetivas são ambas do tipo convergente. Estas são convexas em ambas as faces, uma vez que a secção de maior diâmetro corresponde à central, diminuindo ao aproximar das bordas. Este formato provoca a convergência dos feixes de raios paralelos incididos num ponto focal [6], [7]. Na Figura 5 apresenta-se em esquema o comportamento de um feixe luminoso atravessando este tipo de lentes.

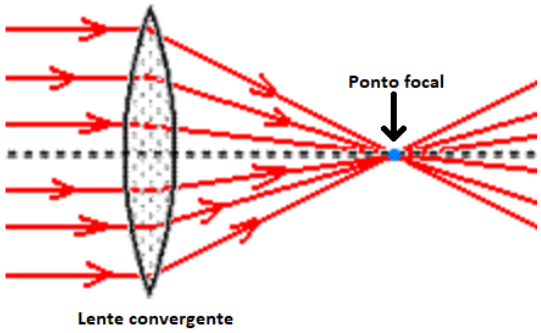


Fig. 5. Comportamento do feixe luminoso ao atravessar uma lente do tipo convergente. (adaptado de [7])

Ampliação e abertura

Os binóculos são caracterizados pelo produto entre a ampliação e abertura. No caso do modelo Geovid III 8x42 está-se perante um sistema ótico que amplia a imagem consoante o fator de multiplicação 8, enquanto que o número 42 é referente à abertura de captação da imagem, correspondendo à medida em milímetros do diâmetro das lentes objetivas [5], [6].

No caso destes aparelhos, o fenómeno de ampliação é obtido pela combinação de duas lentes distanciadas de modo a que o ponto focal seja coincidente, como demonstra em esquema a Figura 6 [6].

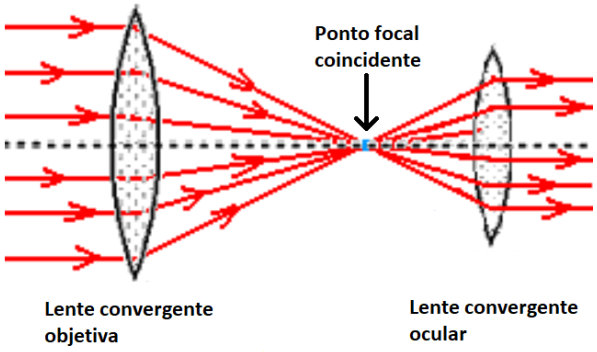


Fig. 6. Comportamento do feixe luminoso ao atravessar uma combinação de lentes do tipo convergente. (adaptado de [7])

A Figura 7 representa em esquema o fenómeno de ampliação associada à consequência de inversão da imagem. Novamente apresenta-se o ponto focal comum (apresentado com a letra "a" na mesma Figura), que garante que a imagem visualizada através de ambas as lentes se encontre focada. A ampliação resulta da combinação de refrações da trajetória do feixe luminoso da imagem real provocada pela disposição das lentes.

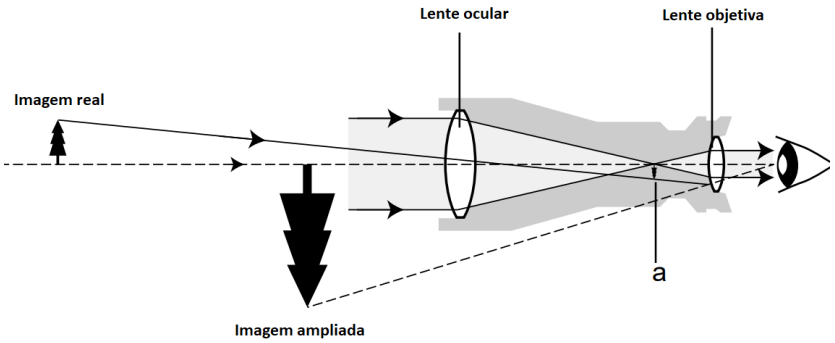


Fig. 7. Transformação da imagem real na imagem ampliada. (adaptado de [6])

Revestimento anti-reflexo

Um componente a destacar nesta secção corresponde ao revestimento aplicado nos diversos tipos de lentes, denominado *multicoating*. A sua função é minimizar o fenómeno de reflexão dos feixes luminosos incidentes, potenciando a refração. Deste modo obtém-se uma imagem de melhor qualidade e luminosidade [6].

Focando na Figura 8 e observando a lente do lado esquerdo, ao não possuir o mencionado revestimento, esta apresenta uma tonalidade clara fruto da reflexão da luz. Ao observar a lente à direita, conclui-se que a mesma foi submetida à aplicação dos revestimentos anti-reflexos, ao apresentar uma tonalidade mais escura conferida pelo fenómeno de refração.

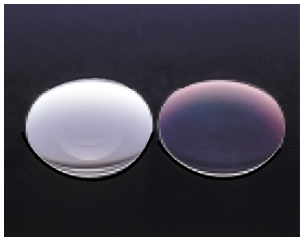


Fig. 8. Comparação visual entre uma lente sem revestimento (à esquerda) e uma lente com o revestimento *multicoating* (à direita). (imagem de [6])

Já na Figura 9, apresenta-se em esquema a consequência da aplicação do revestimento na trajetória do feixe de luz, bem como o efeito obtido na imagem captada. Apesar de estar associado ao funcionamento de uma máquina fotográfica, o seu efeito é semelhante ao da visualização através de um aparelho binocular.

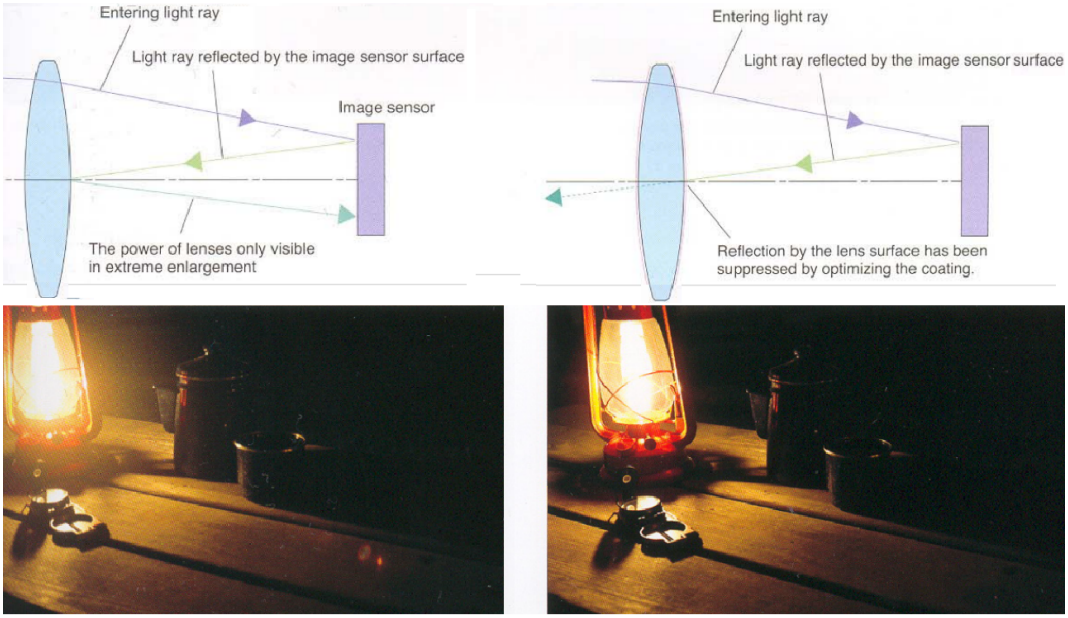


Fig. 9. Esquematização do efeito de refleção numa lente sem revestimento juntamente com a imagem obtida (à esquerda) e efeito da aplicação do revestimento (à direita). (adaptado de [8])

2.1.3 Prismas

Os prismas são componentes óticos de vidro, de superfícies transparentes e polidas, em formas geometricamente adequadas para o efeito ótico pretendido [9]. Num contexto binocular, um prisma desempenha como principal função a inversão da imagem

É possível dividir os prismas utilizados em binóculos em dois tipos principais: prismas *roof* e prismas *porro*. Os prismas *porro* surgiram no século XIX e são considerados os prismas tradicionais; correspondiam ao design mais popular até ao surgimento dos prismas *roof* [10]. Para além das características funcionais que distinguem estes dois tipos de sistemas, destaca-se em primeiro lugar a diferença visual entre os dois tipos de binóculos, já que nos aparelhos que contêm sistema de prismas *porro* o eixo do feixe luminoso sofre um deslocamento significativo [11], fenómeno apresentado em destaque na Figura 10.

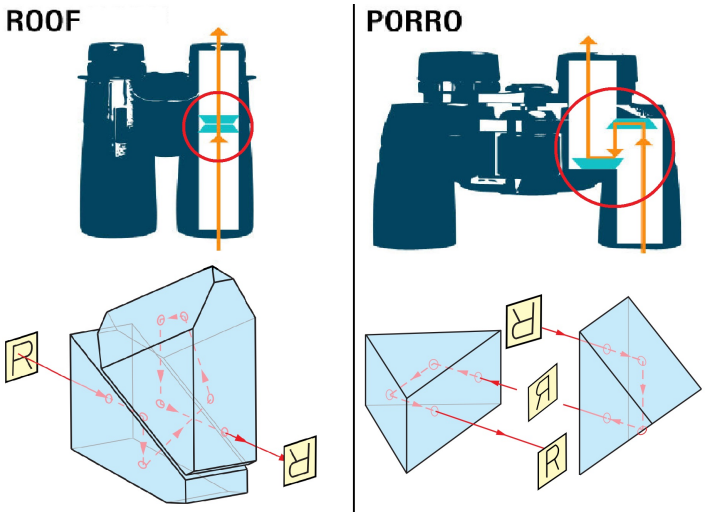


Fig. 10. Percurso de um feixe luminoso em prismas telhado ou *roof* (à esquerda) e em prismas *porro* (à direita). (adaptado de [11])

Apesar dos prismas *roof* serem os mais populares em binóculos modernos, é importante enunciar a sua principal desvantagem. Observando os esquemas dos feixes luminosos da Figura 10, é possível identificar que o sistema de prismas *roof* provoca 6 reflexões de modo a inverter a imagem, enquanto que os prismas *porro* provocam apenas 4 para realizar o mesmo fenómeno. Dado o maior número de reflexões do feixe no caso dos prismas *roof*, ocorre uma maior perda de luminosidade da imagem a ser observada. Para compensar este efeito, é necessária a aplicação de um revestimento, o que torna a sua produção mais cara e complexa [10].

Em contrapartida, os prismas do tipo *porro* incorporados num aparelho binocular apresentam como maior desvantagem o procedimento de focagem. Nestes tipos de binóculos o mecanismo de focagem é localizado no exterior do binóculo, ao contrário de um sistema *roof*, no qual é realizado internamente. Na Figura 11 demonstra-se esta particularidade. Pelo facto de conter um sistema de focagem externo ao aparelho, o binóculo fica vulnerável a danos estruturais derivados da sua utilização, que dão origem a desvios do eixo de observação da imagem. Tal fenómeno não ocorre tão facilmente nos aparelhos com mecanismo de focagem interno [10], [12].



Fig. 11. Comparação do sistema de focagem de um mecanismo com prismas *roof* (à esquerda) e *porro* (à direita). (adaptado de [12])

Sistema de prismas de um CRF

Na Figura 12 apresenta-se em esquema o percurso dos diferentes feixes luminosos de um *Compact Rangefinder* (CRF), mecanismo que será apresentado posteriormente. Quando o utilizador observa a imagem através das lentes oculares (3), o feixe luminoso realiza a trajetória apresentada no sistema de prismas (2) de modo a inverter a imagem. Este fenómeno tem como função contrariar o efeito realizado pela objetiva (1), que proporciona a ampliação da imagem, mas inverte a mesma.

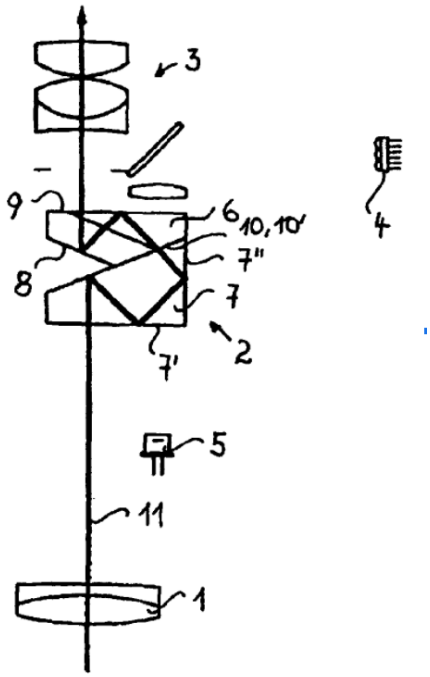


Fig. 12. Esquematização dos feixes luminosos de um CRF. (imagem de [13])

O sistema de prismas é constituído por um prisma *roof* (6) que contém duas superfícies inclinadas. A superfície identificada pelo número (8) está orientada de modo a assegurar que o feixe luminoso fica perpendicular ao plano da superfície base (9), e a superfície (10) é caracterizada pela sua essencial particularidade de atuar distintamente consoante os diferentes tipos de feixe. Na Figura 13 apresenta-se a esquematização dos feixes de um CRF da Leica, simplificada na Figura 14. A mesma superfície permite a passagem da luz visível enquanto que reflete a luz laser. Este fenómeno é essencial, dado que a luz laser é altamente prejudicial para a visão do olho humano. Considerando ainda a mesma face do prisma e destacando a superfície do seu lado interior (10'), a que se encontra do lado do conjunto ocular (3), constata-se que, ao contrário da superfície do lado exterior, ela reflete o feixe de luz do LED (fenómeno observado no terceiro esquema da Figura 14). Assegura também a correta observação dos valores lidos e apresentados no *display* LED, ao refletir a imagem [13].

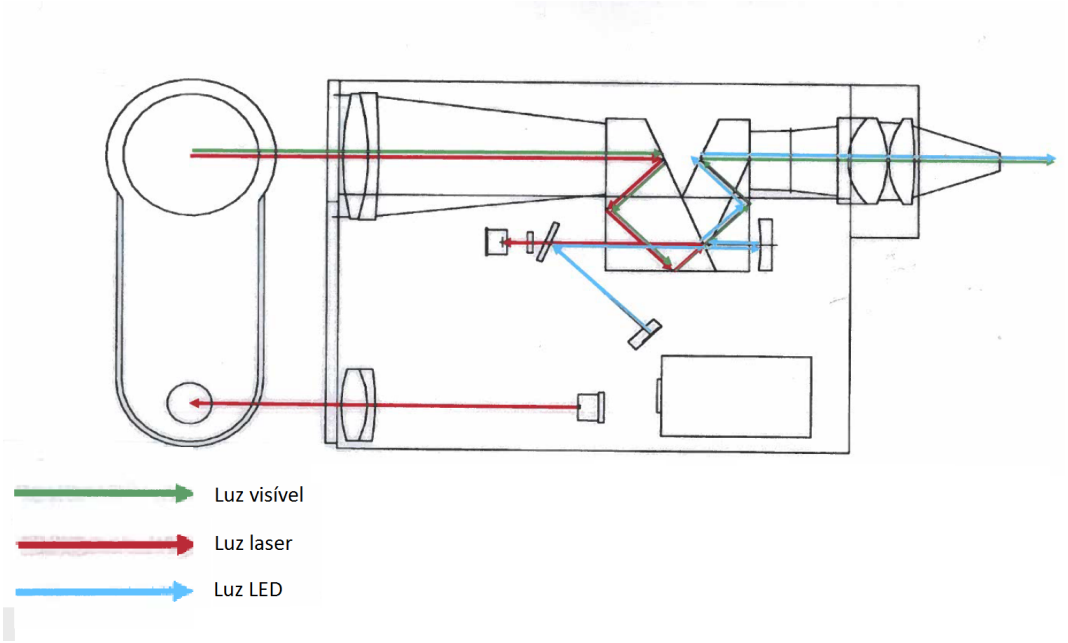


Fig. 13. Esquematização dos feixes luminosos do CRF produzido na fábrica.

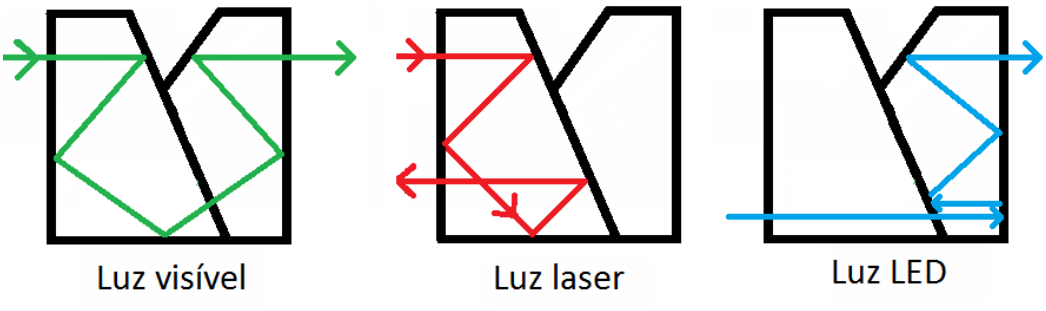


Fig. 14. Esquematização dos diferentes tipos de feixes no prisma.

É importante referir que o esquema apresentado na Figura 12 difere do esquema da Figura 13 no que toca à posição do *display* emissor LED. Ambas as invenções foram projetadas pelo Dr. Andreas Perger, sendo que a segunda imagem apresenta a versão mais atualizada e de acordo com a qual ocorre a produção dos CRF.

Sistema de prismas de um Geovid HD-B

Na tentativa de combinar as vantagens dos tipos de prismas apresentados anteriormente, o inventor Dr. Perger apresenta uma solução ao expor o sistema de prismas *Porro-Perger*. Ao projetar a sua invenção pretendeu manter o pequeno número de reflexões, característica dos prismas tradicionais *Porro*, atenuando o evidente deslocamento do feixe evidenciado na Figura 10 [14]. Na Figura 15 apresenta-se o esquema da invenção.

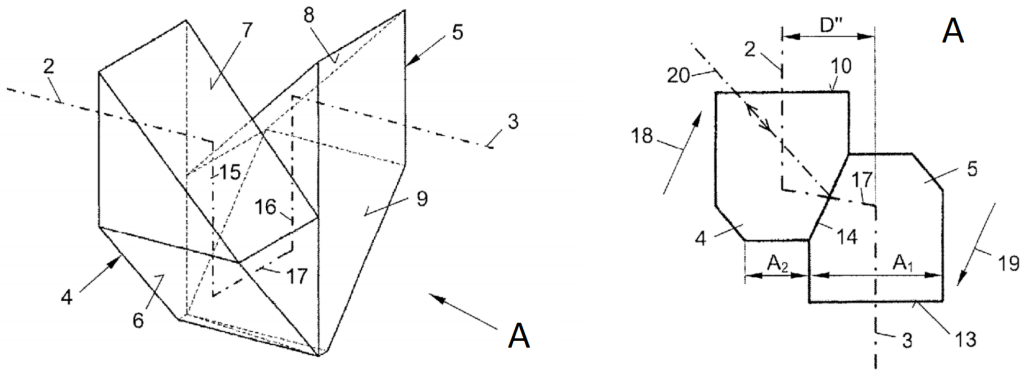


Fig. 15. Esquema funcional de um prisma *Porro-Perger*. (adaptado de [14])

Ao observar a Figura 16 pode concluir-se que a diferença visual entre os aparelhos binoculares apresentados não é significativa, comparando com a diferença estrutural dos binóculos *roof* e *porro* apresentada na Figura 10. Este sistema de prismas é atualmente utilizado nos binóculos Geovid III do modelo HD-B.

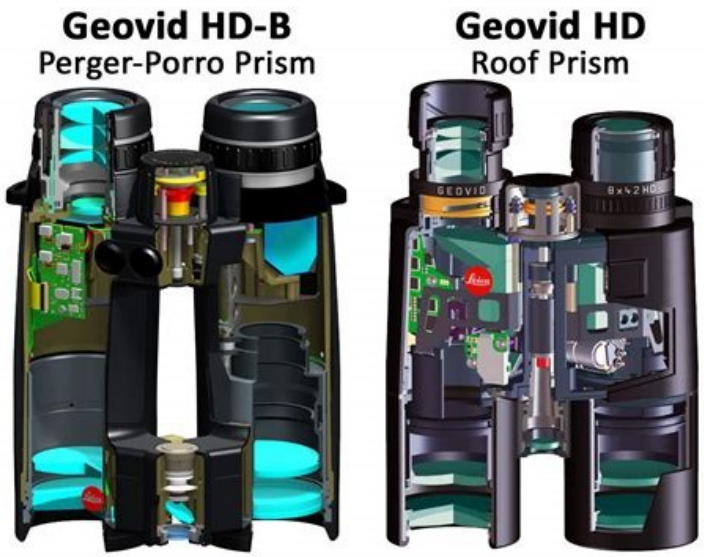


Fig. 16. Comparação estética entre aparelhos binoculares com sistemas de prismas *Porro-Perger* e *Roof*. (adaptado de [15])

2.2 Sistema eletrónico *Rangefinder*

Os produtos óticos Leica da secção *Rangefinder* são compostos por um sistema eletrónico *rangefinder*, também designado por telemetria. Corresponde a um sistema de medição de distância com diversas utilizações, como por exemplo a caça, a sensorização de robôs ou veículos autónomos e as medições de longas distâncias em contextos militares [16]. Para além dos casos enunciados, destaca-se a utilização desta tecnologia no golfe. A Leica investe também neste desporto ao produzir o modelo *Pinmaster Pro* [17]. Na Figura 17 apresenta-se um exemplo de medição de distância aquando da observação através de um aparelho *rangefinder* do modelo referido.



Fig. 17. Exemplo de medição de distância pelos olhos de um utilizador do produto. (adaptado de [15])

A vantagem deste método de medição de distância em comparação com os alternativos, como por exemplo o método de triangulação, corresponde à possibilidade de obter um resultado de alta precisão e não ambíguo através de uma única medição [18]. Para além disso, é também considerado o método mais adequado para medir longas distâncias [19], como demonstra a Figura 18.

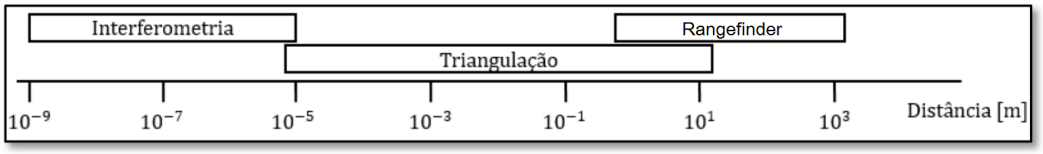


Fig. 18. Método de medição adequado em função da distância. (adaptado de [19])

O procedimento de medição de distância baseia-se no principio TOF, *time-of-flight* ou tempo de voo, segundo o qual se procede à medição do tempo de voo do feixe de luz laser emitido pelo aparelho. Este reflete no alvo de medição e regressa ao recetor, também localizado no aparelho. Apresenta-se a equação realizada para a obtenção da medição:

$$d = \frac{c \times t_{TOF}}{2} \tag{1}$$

Medindo apenas o valor TOF durante o processo, é possível obter a distância entre o alvo e o aparelho (d), ao ser conhecido o valor constante da velocidade da luz (c) [16]. Destaca-se que a distância (d) corresponde a metade do produto, dado que o tempo de voo é relativo à "viagem" de ida e volta. Na Figura 19 apresenta-se o diagrama de blocos de funcionamento de um aparelho *rangefinder*.

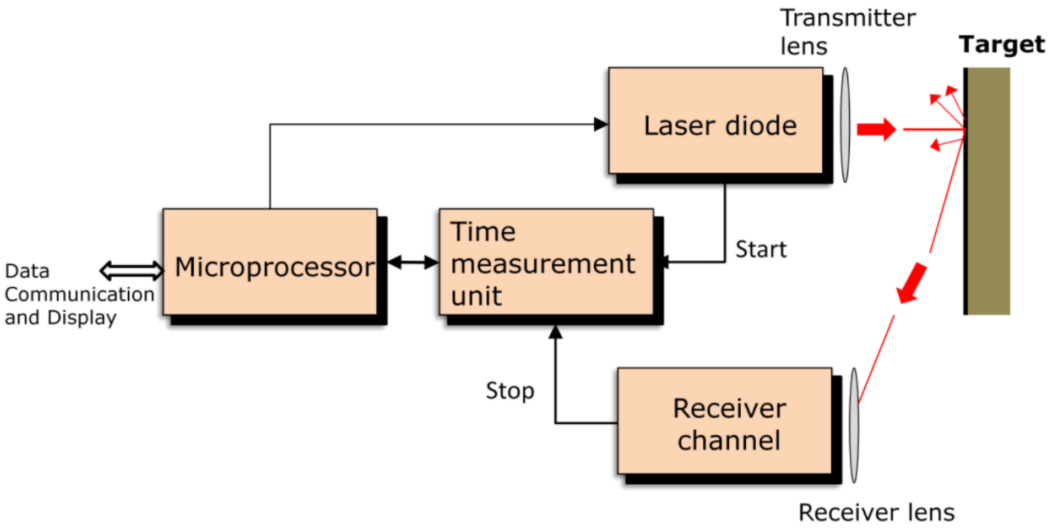


Fig. 19. Diagrama de blocos do funcionamento de um *rangefinder*. (imagem de [16])

Com o intuito de esclarecer o funcionamento do sistema apresentado, expõe-se a placa electrónica principal de um CRF, juntamente com outros componentes acoplados à mesma.

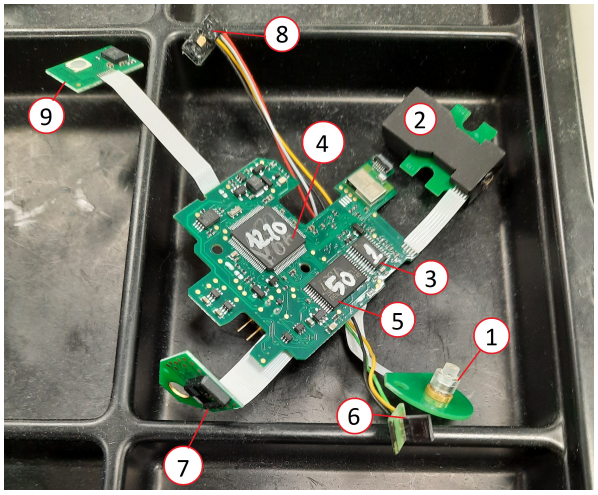


Fig. 20. Placa elétrica de um CRF com destaque para os componentes fundamentais.

Em seguida, apresentam-se descritos os elementos numerados na Figura 20 [16]:

1. Emissor - o circuito emissor ou de transmissão do sinal é constituído por um díodo laser pulsado, ou *pulsed laser diode* (PLD). Inclui um circuito condutor para guiar o feixe do laser emissor, bem como para garantir que o feixe é emitido durante poucos nanosegundos;
2. Recetor - o circuito transmissor é constituído por um fotodíodo de avalanche, ou *avalanche photodiode* (APD) que tem como função detetar o sinal;
3. Conversor anaógico-digital - permite a leitura do tempo entre o momento de emissão e receção do sinal laser. Este componente pode também ser designado por conversor tempo-digital, ou *time to digital converter* (TDC);
4. Microprocessador - através deste elemento é possível obter o valor da distância, sendo este calculado pelo tempo (TOF);
5. Memória - componente responsável não só por garantir a memória da configuração do aparelho (calibrada durante a fase de produção), como também por memorizar a última medição realizada;
6. Sensor de intensidade de luz - garante o ajuste da intensidade dos LEDs em função da luminosidade do ambiente;
7. LED - emissão das luzes que permitem ao utilizador visualizar o alvo e os algarismos que definem a distância até ao objeto a ser medido, como apresentado na Figura 17;
8. Placa de pressão - tem como funcionalidade a medição da pressão;
9. Placa dos botões - permitem ao utilizador a realização de medições. É também nesta placa que se insere um acelerómetro, para medir a inclinação, e uma bússola, para medir a direção da medição.

A placa eletrónica é encaixada no corpo do aparelho de observação, tal como demonstrado na Figura 21.

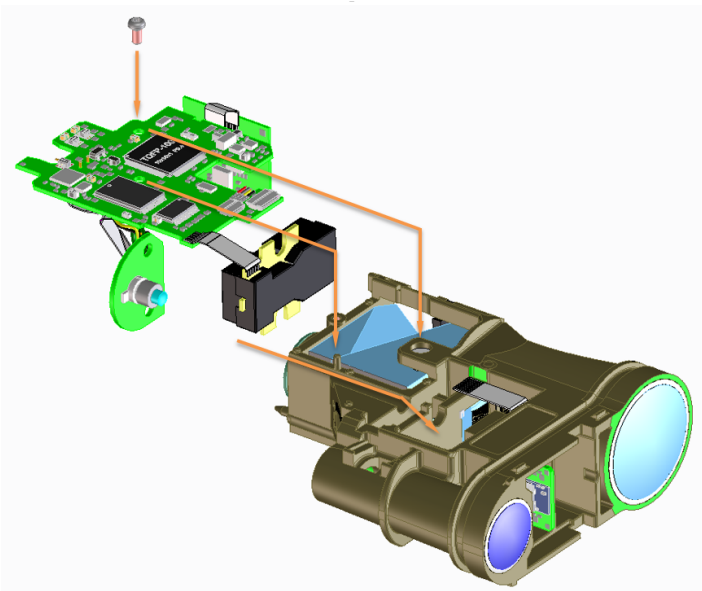


Fig. 21. Encaixe da placa elétrica no corpo do CRF.

Na Figura 22 encontra-se esquematizado novamente o sistema dos feixes luminosos, desta vez destacando os componentes com números correspondentes aos elementos anteriormente enumerados. Com o número (1) identifica-se a localização da placa emissora PLD, sendo que o feixe da luz laser (representado a vermelho) atinge o alvo e regressa pela objetiva atingindo a placa recetora APD (2) após ser direcionado para a mesma, através do conjunto de prismas óticos. Quanto ao feixe das luzes LED (representado a azul), este é emitido na placa com o número (7), sendo que, através das reflexões provocadas pelos espelhos e prismas, é dirigido ao conjunto ocular para permitir a sua correta visualização ao utilizador.

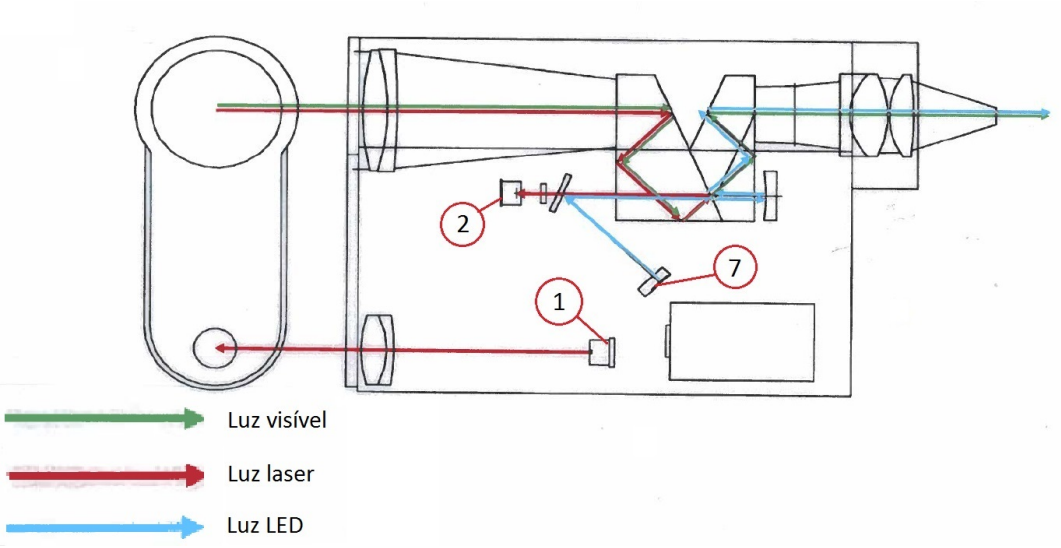


Fig. 22. Feixe de luz de um CRF legendado.

2.3 Robô *Desktop Janome* JR3303

O robô disponibilizado e estudado na fábrica (Figura 23) é designado por *Janome JR3303 - Desktop Robot*. Sendo considerado um robô cartesiano, é constituído por três eixos de translação (x, y e z). É um robô de baixo custo e alta *performance* e contém motores passo-a-passo de 5 fases com *drivers* de micro passo [20]. Os robôs deste modelo poderão ser configurados para dois tipos de funções: aparafusar ou depositar cola. O robô disponibilizado foi configurado para ser um robô de colagem, ou *dispensing robot*.



Fig. 23. Robô estudado e utilizado durante o estágio. (imagem de [21])

2.3.1 Especificações do aparelho

Na tabela que se segue, apresentada na Figura 24, encontram-se expostas as especificações do robô disponibilizado: JR3303. Os algarismos "3" presentes na designação correspondem, por esta ordem, ao número de série (3000), à área de trabalho (300x320 (mm^2)) e ao número de eixos.

Item		Model JR3303
Operating Range	X & Y Axes	300x320mm
	Z Axis	100mm
Maximum Portable Load	X Axis (Workpiece)	15kg
	Y Axis (Tool)	7kg
Maximum Speed (PTP Drive)*2 [ ]=Settable Speed Range	X & Y Axes	900mm/sec [9~900mm/sec]
	Z Axis	400mm/sec [4~400mm/sec]
Maximum Speed(CP Drive)*2 [ ]=Settable Speed Range	X, Y, Z Combined	850mm/sec [0.1~850mm/sec]
Repeatability*3	X & Y Axes	±0.007mm
	Z Axis	±0.007mm
External Dimensions W×D×H (Excluding Protrusions)		560×535×659mm
Robot Weight		35kg

Fig. 24. Tabela de especificações do robô Janome de 3 eixos JR3303, modelo disponibilizado. (adaptado de [21])

A designação atribuída pelos fabricantes (*Desktop Robot*) justifica-se pelo facto de ser um equipamento pouco volumoso e leve a ponto de ser possível a sua instalação numa secretária de trabalho, sendo também de programação muito intuitiva. Observando as especificações do equipamento, apresentadas na tabela anterior, verifica-se que o robô ocupa um volume de 560x535x659 (mm^3) e que a capacidade de carga solidária aos eixos x e y corresponde a 15 kg e 7 kg, respetivamente. Na Figura 25 identificam-se os eixos de trabalho do robô e apresentam-se em esquema as dimensões da mesa móvel do mesmo.

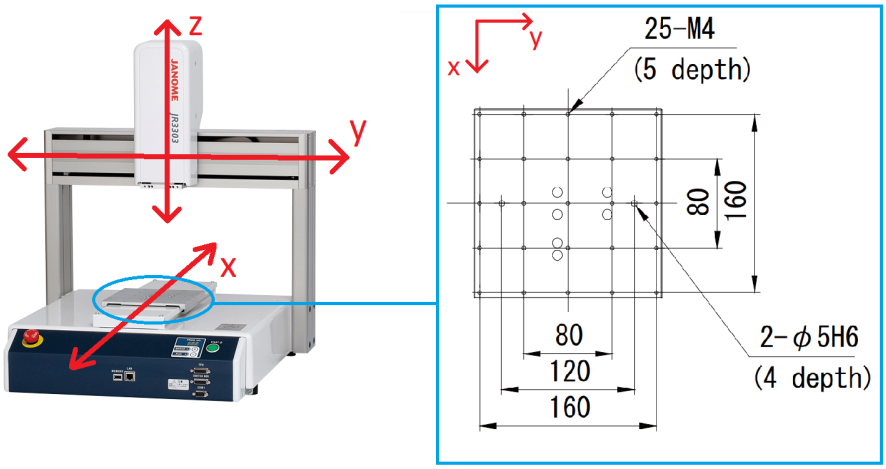


Fig. 25. Apresentação dos eixos do robô (à esquerda) e esquema da plataforma de trabalho do robô (à direita). (adaptado de [21] e [22])

2.3.2 Programação do robô

A programação do robô é realizada através de uma consola, ou *teaching pedant*, de utilização intuitiva. São programadas as trajetórias ao definir os pontos de interesse através do método *jogging*, ou de introdução de coordenadas absolutas, limitadas pela área de trabalho do robô. Na Figura 26 apresenta-se um esquema da consola com legenda, bem como uma lista de comandos a associar aos pontos definidos durante a programação.

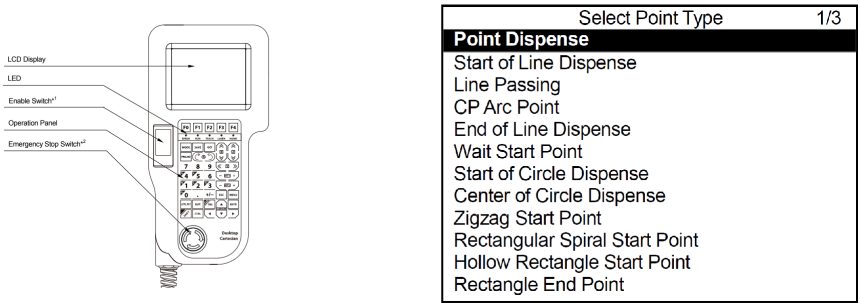


Fig. 26. Representação da consola do robô (à esquerda) e exemplos de comandos de posicionamento e movimento do robô (à direita). (adaptado de [22])

Na Tabela 1 são especificados dois exemplos de comandos de programação. Ao atribuí-los a dois pontos de interesse num procedimento de colagem, como, por exemplo, o centro da trajetória pretendida e a posição da cavidade a inserir cola, e ao indicar o ângulo de rotação e velocidade do movimento, programa-se um movimento circular durante o qual ocorre deposição de cola.

Tabela 1. Exemplos de comandos de programação do robô.

Imagem	Nome do comando	Função
	*Start of Cicle Dispense*	Define o ponto inicial de um movimento circular
	*Center of Circle Dispense*	Define o ponto central do círculo de trajetória

2.3.3 Calibração de ferramenta para determinação do TCP

O robô *Janome* contém um suporte para acoplamento de ferramenta, sendo que, no caso das linhas de montagem a que este estudo se refere, apenas são acopladas seringas. Tanto os tubos como os bicos das seringas utilizadas na colagem de componentes são descartáveis, o que implica a utilização de diferentes pontas de ferramenta no robô. De modo a ser possível determinar o TCP (*Tool Center Point*) para cada ferramenta acoplada ao robô, recorre-se a um mecanismo de calibração de ferramenta que permite ajustar o valor de coordenadas. Deste modo, é possível que diferentes ferramentas com dimensões distintas realizem os mesmos movimentos nas mesmas coordenadas sem modificar a programação das trajetórias [20]. Na Figura 27 apresenta-se o mecanismo de calibração mencionado que permite a configuração do posicionamento de diferentes agulhas e proporcionar sempre as mesmas trajetórias.

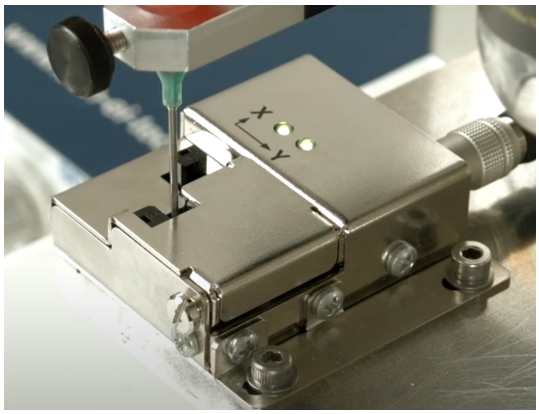


Fig. 27. Ferramenta de calibração de ponta.

3 Identificação do produto e do processo de montagem

Uma vez apresentada a empresa e o funcionamento genérico da tecnologia em questão, passa-se à apresentação do setor sobre o qual decorreu o estudo e a otimização de processo: Sport Optics.

Fundamentalmente pode-se dividir o mencionado setor em três partes: Miras e *Spotting Scopes*, Binóculos de Observação e aparelhos *Rangefinder* (Figura 28).

O presente trabalho é referente às linhas de montagem dos produtos *Rangefinder*, estando repartidos em três subgrupos, que por sua vez poderão ser divididos por diferentes modelos:

- CRF - *Compact Rangefinder*
  - CRF 2400;
  - CRF 2800;
  - CRF 3500;
  - Pinmaster Pro;
- Geovid II
  - Geovid R;
- Geovid III
  - Geovid 3200.COM;
  - Geovid HD-R 2700;

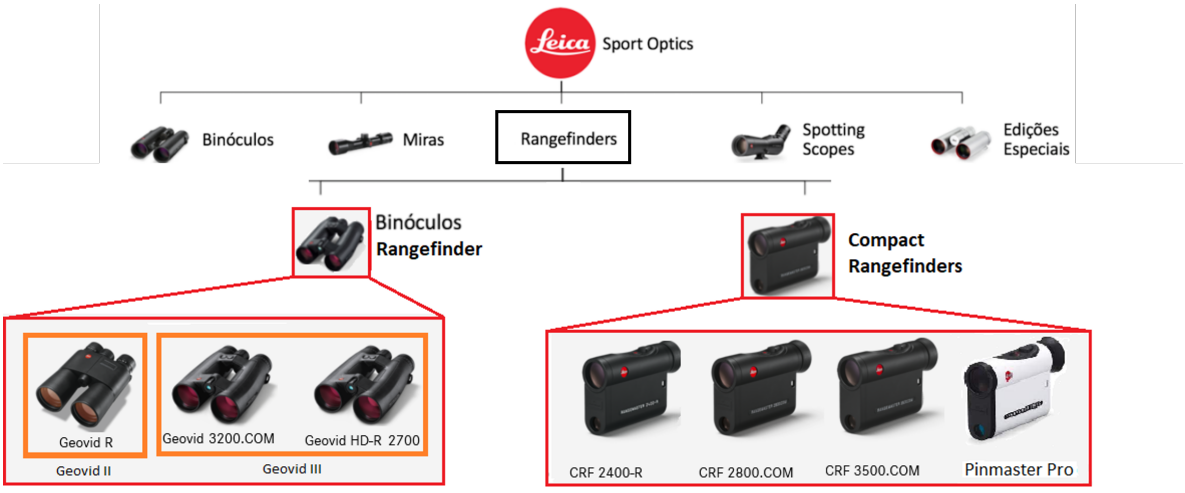


Fig. 28. Árvore de produtos da setor *Sport Optics*. (adaptado de [15])

Torna-se relevante expor o processo de montagem a ser estudado e otimizado durante o projeto. Assim sendo, será parcialmente apresentada nesta secção a linha de montagem referente ao produto CRF, mencionando as principais etapas, bem como as que foram alvo de estudo. Corresponde à linha onde ocorreu uma maior intervenção durante o estágio, quer a nível de execução dos processos de montagem, quer a nível de implementação de ferramentas e melhorias de processo. Na Figura 29 pode-se observar um dos produtos elaborados nesta linha: *Compact Rangefinder* - Rangemaster CRF 3500.COM.



Fig. 29. *Compact Rangefinder* - *Rangemaster* CRF3500.COM. (imagem de [15])

Optou-se por expor este modelo ao invés de qualquer outro *Compact Rangefinder* por corresponder ao topo de gama da linha onde se insere, apresentando a totalidade das funcionalidades disponíveis do produto: ampliação de imagem, medição de distância, dos ângulos de inclinação e direção, da pressão e funcionalidade *Bluetooth*.

De modo a ser possível expor o processo, apresenta-se na Figura 30 a esquematização dos componentes do mencionado produto. Tal como indicado na legenda, apresentam-se a verde os grupos fornecidos pela secção de eletrónica e a amarelo os do Departamento de Ótica. À exceção dos mencionados conjuntos, todos os componentes são montados no Departamento de Montagem. Em seguida, será exposto de forma superficial o processo de montagem do produto em destaque.

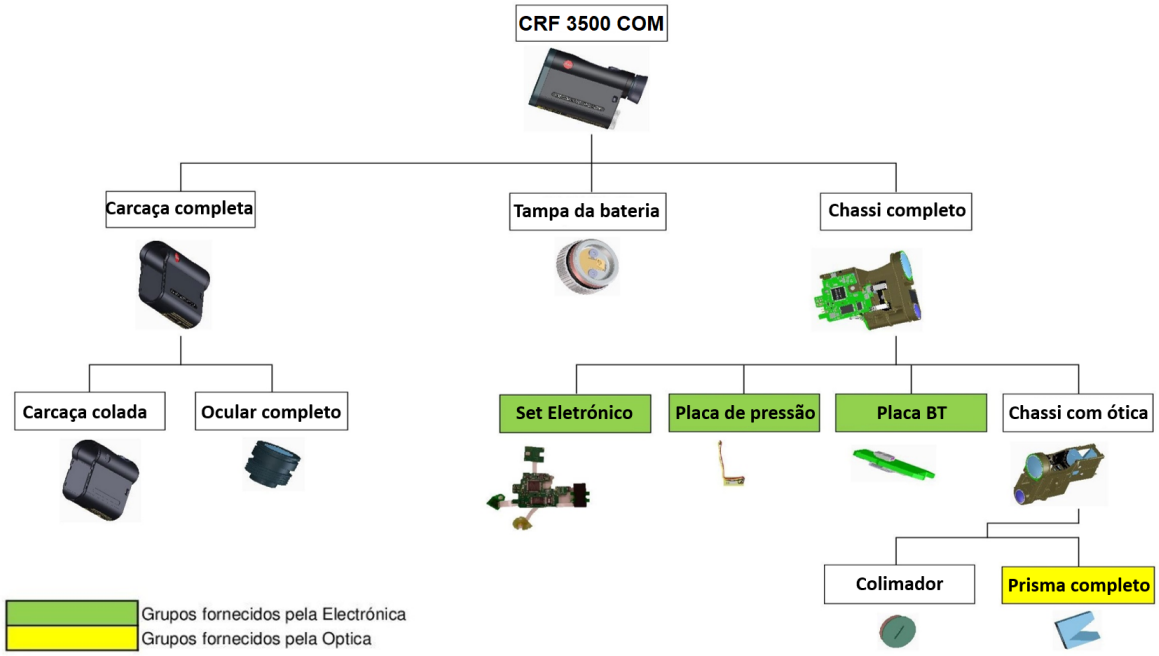


Fig. 30. Estrutura do *Compact Rangefinder* (CRF).

3.1 Carcaça completa

3.1.1 Subgrupo ocular

Os conjuntos de lentes oculares, bem como qualquer outro tipo de lentes, chegam à linha de montagem vindos do Departamento de Ótica. Na referida secção, os diversos tipos de lentes e elementos óticos são produzidos, tratados com revestimentos próprios e limpos. Seguem em caixas para serem facilmente transportados e distribuídos pelo Departamento de Montagem. Apesar de ser assegurada uma limpeza antes da fase inicial do processo do montagem, cabe sempre ao operador assegurar que as lentes avançam para os postos seguintes da linha de montagem num estado de limpeza rigoroso. Assim, a primeira etapa da montagem do conjunto de lentes oculares consiste na limpeza das lentes, no caso de terem surgido partículas aquando do transporte ou manuseamento das mesmas. De seguida, procura-se qualquer tipo de defeito nas lentes, como riscos ou falhas de revestimento que possam ter passado despercebidas durante as etapas de controlo de qualidade que antecederam esta fase.

Na Figura 31 apresenta-se o encaixe do conjunto de lentes nos casquilho, conjunto este responsável pela ampliação da imagem quando se observa através da ocular, como exposto anteriormente.

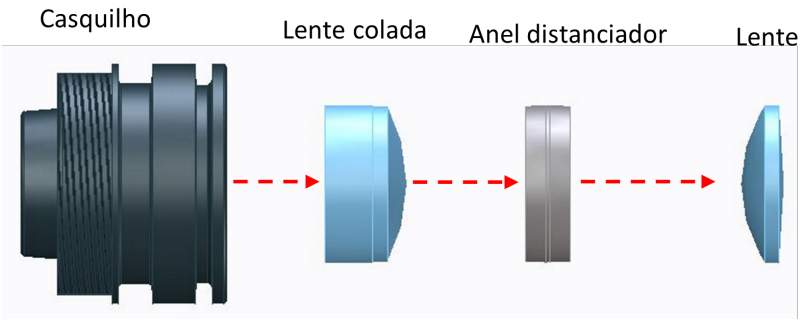


Fig. 31. Montagem dos diferentes componentes da objetiva com a respetiva legenda.

Após efetuada a montagem do conjunto ocular, procede-se à colagem das lentes no casquilho. Esta é realizada na superfície superior recorrendo a uma cola de polissulfeto, como apresentado na Figura 32, que é previamente preparada consoante as propriedades pretendidas. A colagem decorre de forma automática no robô *Janome*.

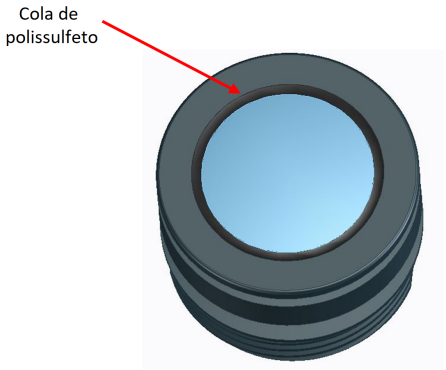


Fig. 32. Ocular colado.

3.1.2 Subgrupo carcaça

Limpam-se as superfícies de colagem da carcaça para posteriormente aplicar uma cola nas áreas de colagem da placa identificadora do modelo. Após arejar durante 5 minutos procede-se à colagem. É também nesta etapa que se cola a placa com o logótipo da empresa, como apresentado na Figura 33.

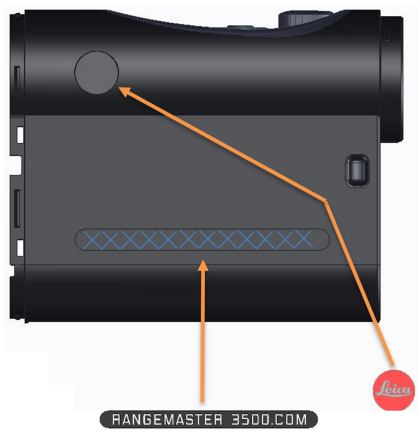


Fig. 33. Colagem do logótipo e da identificação do modelo.

3.1.3 Subgrupo carcaça completa

Estando finalizados os subgrupos ocular e carcaça, procede-se ao encaixe do casquilho na carcaça. Dado que se pretende um produto final estanque, é adicionado um O-ring na cavidade projetada para o efeito e só posteriormente se procede ao encaixe, etapas estas apresentadas na Figura 34.

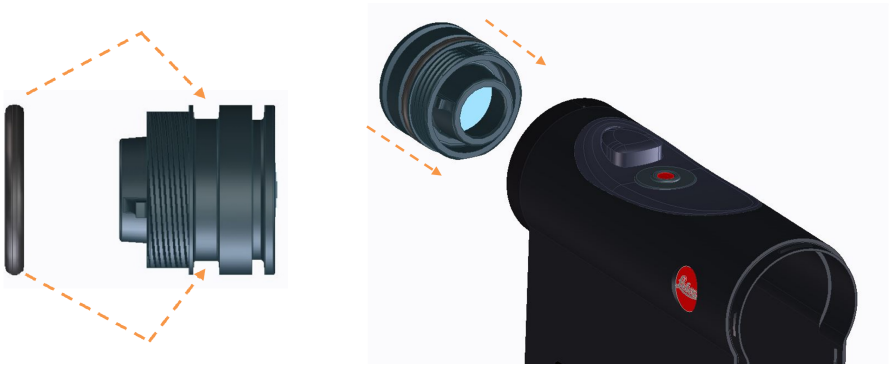


Fig. 34. Aplicação de um O-ring no conjunto ocular (à esquerda) e encaixe do ocular completo na carcaça (à direita).

3.2 Subgrupo tampa da pilha

Novamente combinando os elementos provenientes do Departamento de Mecânica, procede-se à montagem da tampa da pilha, como esquematizado na Figura 35. À semelhança do elemento anteriormente exposto, também é aplicado um O-ring de modo a conferir estanquecidade ao produto final.

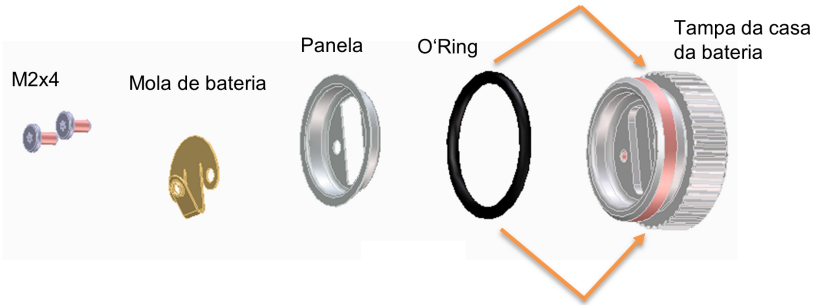


Fig. 35. Montagem da tampa da casa da pilha.

3.3 Chassi com ótica

3.3.1 Subgrupo colimador

Procede-se ao encaixe do espelho colimador, proveniente do Departamento de Ótica, no casquilho, proveniente do Departamento de Mecânica (Figura 36). Aplica-se uma cola UV num procedimento de colagem manual, recorrendo a uma ferramenta suporte, como demonstrado na Figura 37. Estando terminado o processo de colagem, coloca-se a ferramenta numa estufa UV, na qual decorre uma secagem rápida da cola.

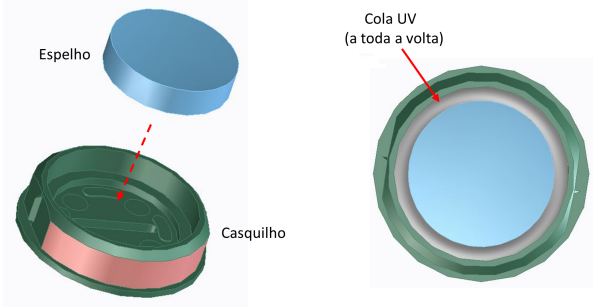


Fig. 36. Montagem do espelho no casquilho (à esquerda) e componentes colados (à direita).

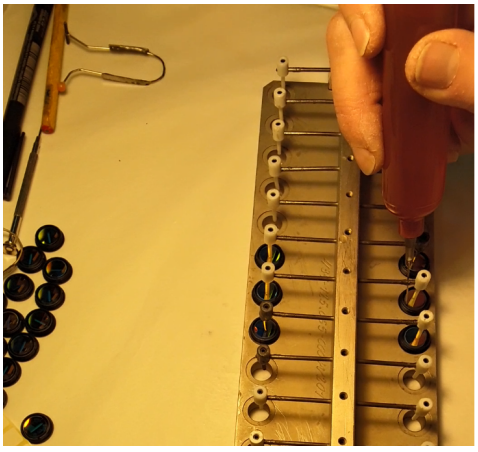


Fig. 37. Processo de colagem manual do espelho colimador no casquilho.

3.3.2 Subgrupo chassi com ótica

Colocam-se os chassis, as lentes objetivas e as lentes objetivas do laser nas grades de lavagem, para posteriormente realizar o encaixe dos três elementos num suporte de colagem, como representado na Figura 38.

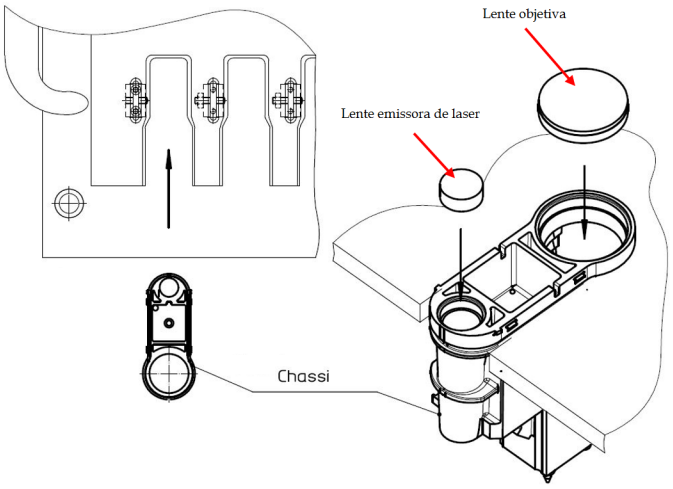


Fig. 38. Esquematização de montagem das lentes e do chassi na grade de trabalho.

Após o encaixe é realizado o controlo das lentes já inseridas nas cavidades do chassi, de modo a garantir e assegurar a limpeza antes do processo de colagem. Procede-se à colagem automática das lentes com uma cola UV e posteriormente insere-se a grade na estufa UV para secar a cola, finalizando o processo.

De modo a completar a inserção do sistema ótico no chassi, procede-se ao encaixe do conjunto de prismas óticos e do espelho colimador, como apresentado na Figura 39.

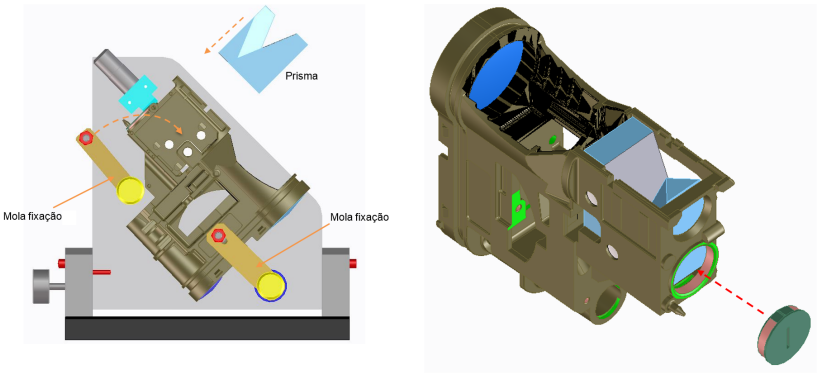


Fig. 39. Montagem do sistema de prismas no chassi (à esquerda) e do espelho colimador (à direita).

Na Figura 40 apresenta-se o esquema estrutural de um CRF com destaque nos componentes óticos encaixados no chassi.

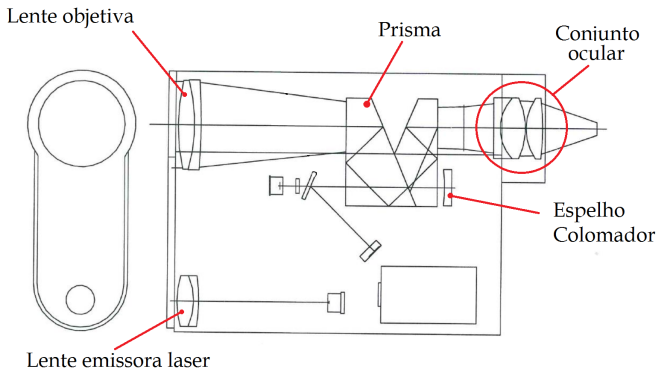


Fig. 40. Esquema de um CRF com destaque e legenda nos componentes óticos encaixados no chassi.

3.4 Chassi completo

3.4.1 Encaixe dos componentes eletrónicos

Estando o sistema ótico totalmente inserido no chassi, procede-se à montagem dos componentes provenientes da secção de eletrónica. Como anteriormente exposto na Figura 21, é montada a placa eletrónica principal que inclui todos os componentes comuns a todos os modelos dos CRF. Tratando-se do modelo topo de gama, para além dos componentes funcionais da placa principal são também acrescentadas as placas de *bluetooth* e de pressão. Na Figura 41 apresenta-se a conexão da placa *bluetooth* na banda flexível para posteriormente ser encaixada no chassi.

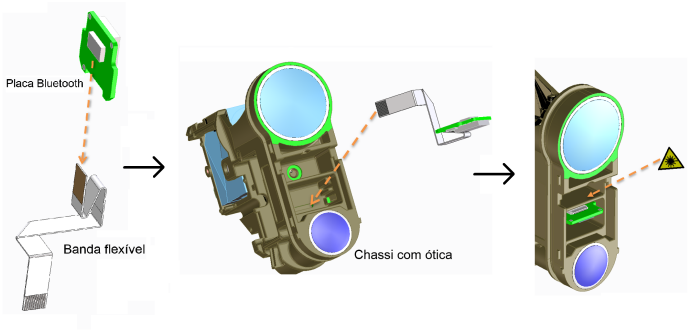


Fig. 41. Preparação e montagem da placa *bluetooth* no chassi.

Na Figura 42 apresenta-se a conexão da placa de leitura de pressão à placa principal através da soldadura da cablagem.

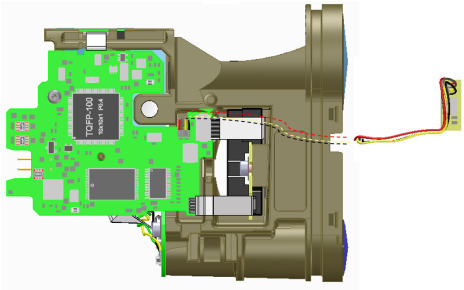


Fig. 42. Inserção de cablagem da placa de pressão à placa eletrónica principal.

3.4.2 Ajuste do laser no recetor

Aliviando os parafusos da placa alvo, move-se ligeiramente a mesma de modo a centrar o fotodíodo (APD) no campo de imagem definido pelo diafragma, apresentado na parte superior da Figura 43.

De seguida, procede-se ao ajuste do feixe de luz laser em relação ao APD, apresentado na parte inferior da Figura 43. Para tal, soltam-se novamente os parafusos de fixação da placa emissora de laser e move-se aa mesma até à obtenção de um posicionamento do feixe em alinhamento com o fotodíodo (APD) da placa recetora. Em ambos os casos, após o ajuste, apertam-se novamente os parafusos de fixação, de modo a assegurar que os elementos mantêm a sua posição.

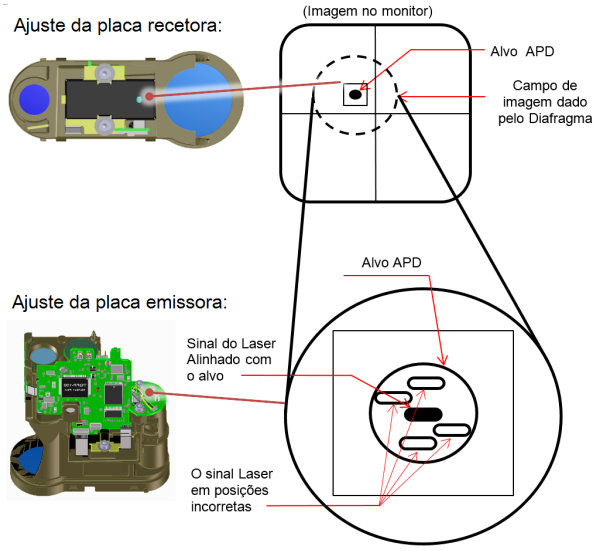


Fig. 43. Demonstração em esquema do ajuste da placa recetora e da placa laser.

Recorrendo mais uma vez ao esquema dos feixes luminosos de um CRF, e demonstrando apenas o feixe de luz laser, na Figura 44 destacam-se com legenda os elementos ajustados nesta etapa de montagem. Após este processo, é assegurado que o aparelho é capaz de realizar a medição *rangefinder* de qualquer objeto posicionado dentro do limite de alcance predefinido.

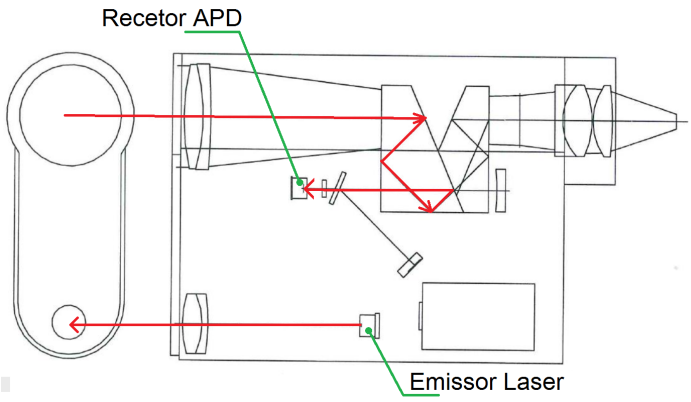


Fig. 44. Esquematização do feixe do laser emissor com legenda nos componentes a serem ajustados.

3.4.3 Ajuste das luzes LED

A função do espelho colimador, como o nome indica, é colimar o feixe da luz LED ao tornar paralelas as trajetórias das diferentes partículas constituintes do feixe luminoso. Para além da mencionada função, o seu posicionamento define o grau de focagem da luz LED, dado que, ao roscar o espelho colimdaor, este é deslocado linearmente segundo o eixo de rotação, o que resulta numa alteração da focagem. Este procedimento é apresentado na Figura 45.

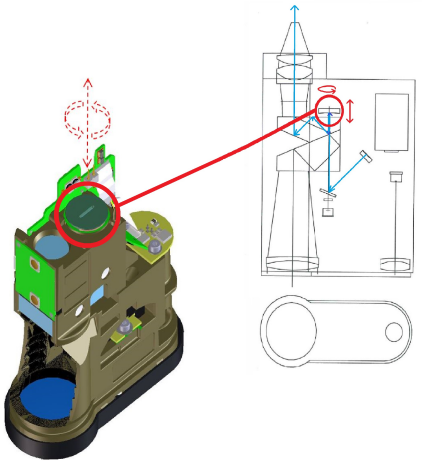


Fig. 45. Esquematização da focagem das luzes LED ao roscar o casquilho com o espelho colimador (à esquerda) e demonstração em esquema do procedimento (à direita).

À semelhança dos processos de ajuste de feixes anteriormente expostos, ao manipular o posicionamento da placa emissora da luz LED é também posicionado o alvo LED, procurando-se centrá-lo em relação ao feixe de luz laser, como apresentado na Figura 46. Assim assegura-se que os feixes de luz LED e luz laser ficam colineares ao feixe de luz visível, segundo o qual o utilizador irá visualizar o campo de imagem.

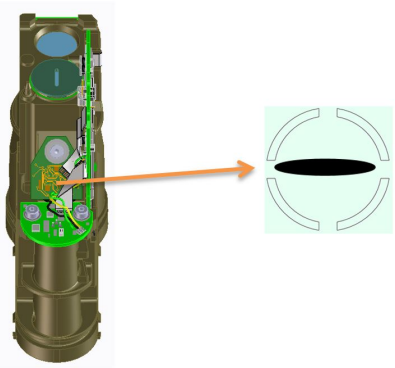


Fig. 46. Demonstração em esquema do ajuste das luzes LED.

3.4.4 Ajuste angular

Uma das funcionalidades de um CRF corresponde à identificação da inclinação do aparelho durante a medição, o que posteriormente vai permitir, por exemplo, a realização de cálculos balísticos, na caça, ou de compensações angulares de tacadas na prática do golfe. Esta funcionalidade é garantida por um acelerómetro, estando este inserido na placa eletrónica dos botões.

Nesta etapa é realizado o ajuste angular ao definir o posicionamento do aparelho em três ângulos de inclinação distintos: -60°, 0° e 60°, como apresentado na Figura 47, na qual os números identificam os ângulos correspondentes à ordem enunciada.

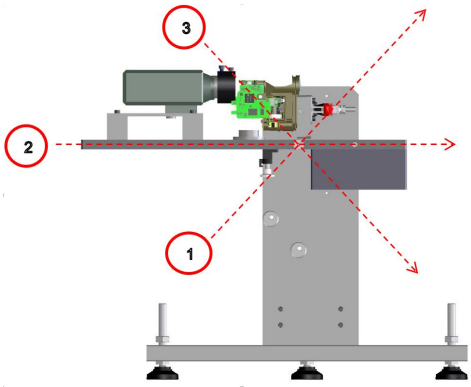


Fig. 47. Esquematização do ajuste angular.

3.5 Produto final (subgrupo CRF 3500.COM)

Estando completos os conjunto do chassi e da carcaça, procede-se ao encaixe de ambos os componentes com a aplicação de um anel de vedação, de modo a garantir um produto final estanque (Figura 48).

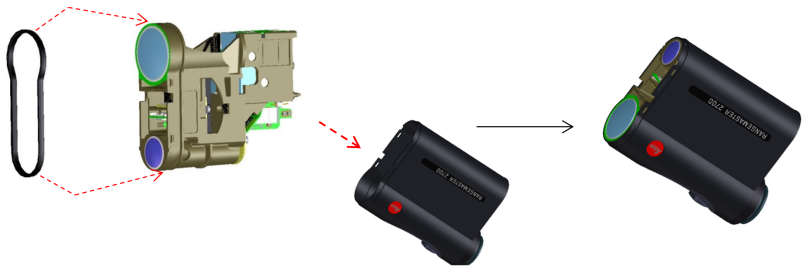


Fig. 48. Encaixe do chassi na carcaça.

3.5.1 Verificação da estanquecidade

Nesta etapa é posta à prova a funcionalidade que até agora foi frequentemente referida, em função da qual se tornou necessário assegurar a total vedação na fixação dos componentes exteriores. Procede-se ao teste de estanquecidade, realizado através da remoção do ar do interior do CRF, isto é, gerando vácuo. Para o encaixe na ferramenta, apresentada na Figura 49, procede-se de forma a que a ponta do tubo do aparelho de vácuo fique inserida no interior do CRF pela única cavidade que se encontra aberta nesta etapa. É submetido a um programa previamente estabelecido que deteta a variação de pressão desde o momento em que se gerou vácuo até ao fim de um tempo também pré-estabelecido. Caso seja obtido um valor de fuga superior a 16 Pa, o teste é considerado negativo e procede-se à tentativa de reparação do mesmo, procurando-se eliminar qualquer fuga.

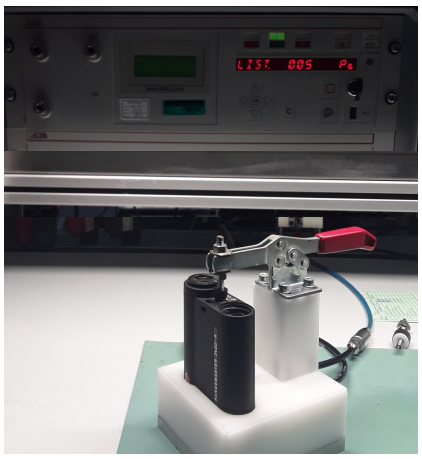


Fig. 49. Mecanismo para verificação de estanquecidade.

3.5.2 Montagem final e embalamento

Na Figura 50 apresenta-se a etapa na qual se aperta um parafuso na cavidade utilizada para a medição da estanquecidade. Destaca-se a importância do O-ring, na medida em que se trata do único orifício não verificado no teste de estanquecidade. Posteriormente, procede-se ao encaixe da borracha do ocular, da tampa da pilha e da tampa frontal do aparelho.



Fig. 50. Encaixe do parafuso final (à esquerda) e da borracha do ocular, da tampa da pilha e da tampa frontal do CRF (à direita).

Por último, e após a verificação da limpeza do produto final, o mesmo é embalado para posteriormente ser distribuído. Apresenta-se o produto resultante na Figura 51.



Fig. 51. Produto resultante do processo de montagem.

4 Automatização do processo de colagem

4.1 Introdução

Durante uma extensa fase inicial do estágio foi estudado, acompanhado e parcialmente elaborado o processo de montagem exposto no capítulo anterior, procurando-se, como o título do presente trabalho indica, a otimização do processo. É reconhecido todo o valor desta abordagem ao tema dado que só dessa forma seria possível adquirir uma total perceção dos processos nos quais se pretendia intervir.

4.2 Caso 1 - Espelho colimador (CRF)

4.2.1 Apresentação

O processo de colagem do espelho colimador de um CRF (*Compact Rangefinder*), como apresentado no capítulo anterior, ocorria de forma manual. A função deste componente é refletir e colimar o feixe de luz LED de modo a que o mesmo fique focado ao observar através do conjunto ocular. Apresenta-se o estudo realizado com o intuito de automatizar o processo recorrendo ao robô *Janome* anteriormente exposto.

Começando pela análise do processo, este decorre com o uso de uma ferramenta, tendo sido anteriormente apresentada na Figura 37.

Pelo facto de se tratar de um conjunto de pequenas dimensões, sendo o diâmetro do espelho de 10 mm, e já que o batente do casquilho que albergava o mesmo correspondia a um degrau de 0.5 mm, estava-se perante um processo sensível e meticuloso. De modo a assegurar que o espelho não sofria qualquer deslocação durante o processo de colagem, a ferramenta utilizada continha umas garras acopladas a pinos de POM (*Polyoxymethylene* ou polióxido de metileno), que pressionavam o conjunto a ser colado e garantiam a fixação entre os componentes e dos mesmos à ferramenta. Deste modo, procedia-se à inserção da cola e, sem remover as unidades coladas do mecanismo de fixação, levava-se a ferramenta à estufa, proporcionando a secagem da cola com os componentes devidamente encaixados.

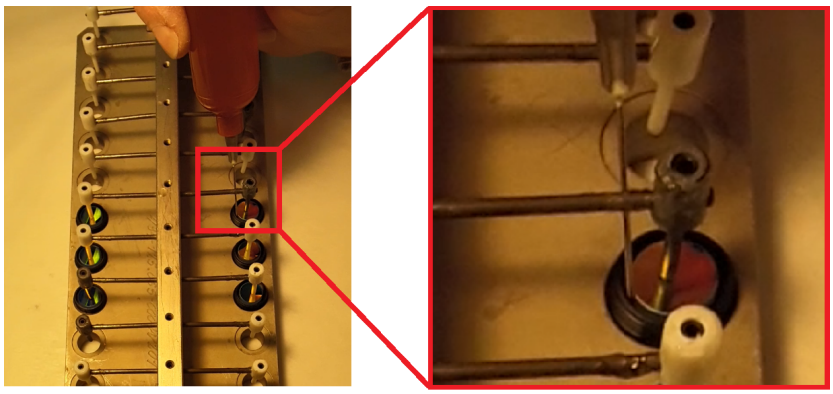


Fig. 52. Procedimento de colagem manual, destacando a necessidade de inclinação da agulha de modo contornar a garra de fixação da ferramenta.

Na Figura 52 mostra-se o mecanismo de fixação anteriormente descrito, enfatizando a necessidade de inclinação da agulha de modo a ser possível atingir todo o perímetro de colagem. Este pormenor é considerado relevante ao ter sido identificado, na altura, como o único obstáculo à implementação do procedimento de colagem automático, já que o robô *Janome* trabalha unicamente com a ferramenta perpendicular ao plano de colagem. Porém, ao testar a colagem usando o robô, verificou-se que a existência dos pinos de POM impossibilitava o acesso da agulha à cavidade na qual se depositaria a cola. Como mostrado na Figura 53 à esquerda, o componente de plástico da agulha colidia com o pino de fixação, impossibilitando a aproximação à cavidade. Apesar de as agulhas para seringas disponibilizadas para a colagem automática serem de pequeno comprimento, verificou-se que as mesmas eram cortadas na fábrica de modo a serem de uso mais prático. Deste modo, foi possível obter agulhas no seu estado inicial, ou seja, com o comprimento total, e contornou-se a situação levantada. Na mesma Figura e do lado direito apresenta-se a utilização de uma agulha com o comprimento total.

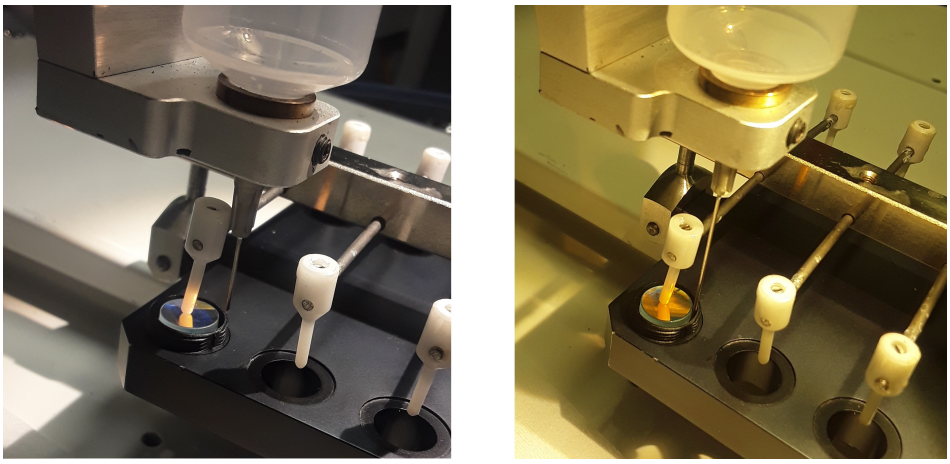


Fig. 53. Verificação da colisão da ponta de seringa de pequena dimensão (à esquerda) e resultado obtido ao utilizar uma seringa de ponta comprida (à direita).

Visando contornar o obstáculo inicialmente exposto, fruto da existência de uma garra que tornava necessário inclinar agulha de modo a atingir todo o perímetro de colagem, propôs-se a seguinte solução: sabendo que se tratava de um componente localizado no interior do aparelho, como se apresentou anteriormente na Figura 40, não era necessário conferir ao componente a característica de estanquecidade, ou seja, não haveria qualquer impedimento a que a colagem se realizasse apenas parcialmente e não em todo o perímetro. Assim, e após ser averiguado o ângulo morto do perímetro provocado pela existência da garra, projetou-se a colagem numa só trajetória de 290 graus, como se observa na Figura 54 à esquerda.

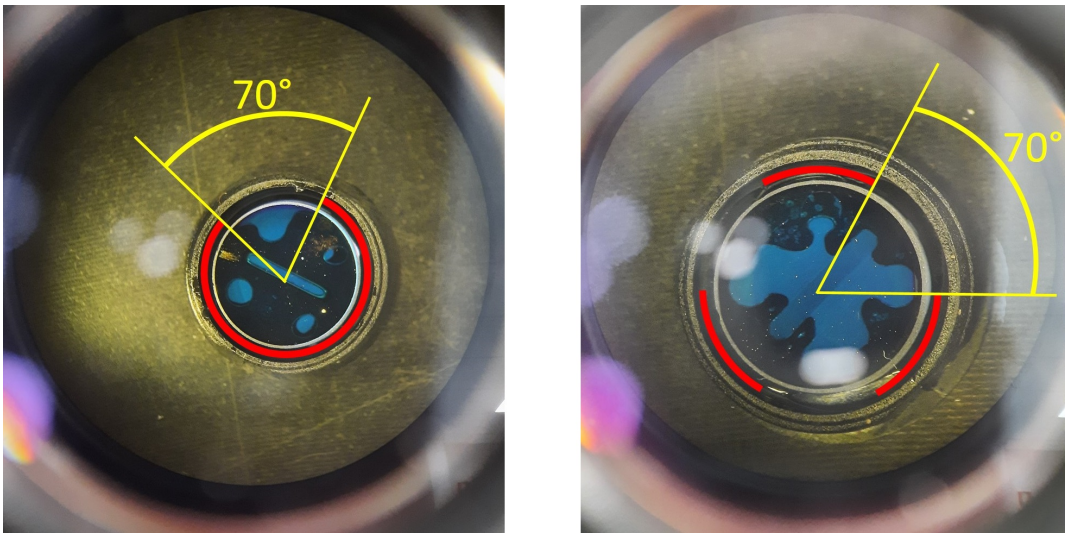


Fig. 54. Comparação entre a colagem numa só trajetória (à esquerda) e por segmentos (à direita). Apresenta-se a vermelho a zona de deposição de cola.

Observando e analisando a amostra colada numa só trajetória, pode-se verificar que, apesar de ter migrado para a superfície inferior do espelho, a cola não atingiu na sua totalidade o ângulo de 70 graus.

De modo a uniformizar a colagem para evitar fenónemos de *tilting*, ou inclinação do espelho, projetou-se um procedimento de colagem em três segmentos de 50 graus com 70 graus de desfasamento. Na Figura 54 à direita apresenta-se uma unidade colada pelo método exposto e verifica-se que foi atingido o pretendido efeito de uniformidade, mantendo a qualidade de colagem. Salienta-se que o fenómeno de migração da cola para a zona inferior dos espelhos não causa qualquer efeito negativo no funcionamento do componente, dado que, ao haver uma constante pressão na ligação entre o conjunto,é garantido o correto posicionamento do espelho.

4.2.2 Alteração da ferramenta

De modo a possibilitar o encaixe da ferramenta na base do robô, começou-se por estudar o método anteriormente utilizado. Todas as ferramentas de colagem utilizadas no robô *Janome* eram fixadas no mesmo através do encaixe entre duas cabeças cilíndricas de parafusos roscados na placa móvel do robô e duas guias previamente inseridas na ferramenta. Na Figura 55 apresenta-se um esquema do encaixe.

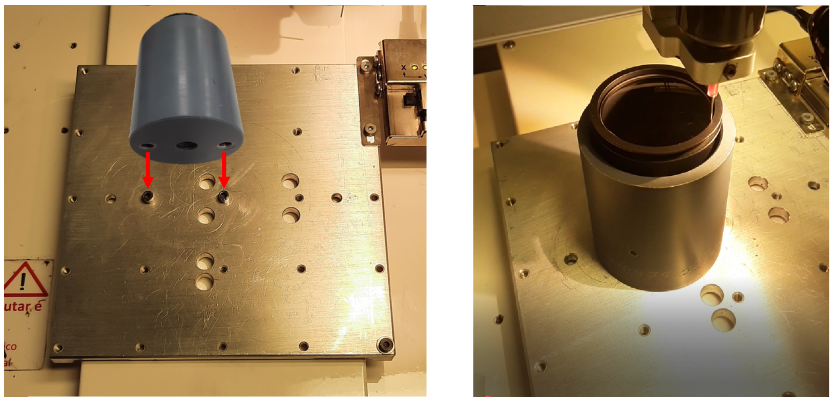


Fig. 55. Esquema do encaixe de uma ferramenta na base do robô (à esquerda) e procedimento de colagem nessa base (à direita).

Projetou-se então um sistema de fixação compatível com os meios existentes. Porém, e de modo a minimizar a folga do encaixe devido ao grande comprimento da ferramenta, optou-se por afastar a posição dos parafusos e por dispô-los verticalmente. Na Figura 56 apresenta-se o desenho 3D da ferramenta com as guias inseridas, na imagem da esquerda. Já na imagem à direita pode-se observar, destacados a cor azul, os pontos de fixação pretendidos na placa móvel do robô. Em ambas as imagens destacam-se os limites da área da placa do robô (quadrado no interior) e da área de trabalho (retângulo no exterior). Foi compatibilizando estas duas áreas que se projetou o local de inserção das guias na ferramenta.

Apesar de já existirem ferramentas-base para colagem manual, para projetar a alteração procedeu-se ao desenho 3D da ferramenta em computador. Assim, e recorrendo ao software de modelação 3D Creo Elements [23], procedeu-se ao desenho (Anexo B - Desenho da ferramenta suporte de colagem dos espelhos colimadores do produto CRF).

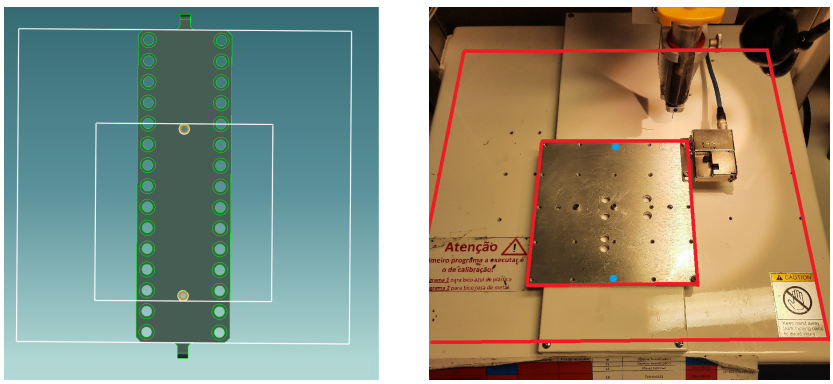


Fig. 56. Representação da base da ferramenta de colagem projetada (à esquerda) em relação às áreas de trabalho do robô, destacadas no esboço da base e no *layout* do robô (à direita).

Estando finalizado o desenho e recorrendo aos fornecedores da Ferramentaria, foi possível obter a ferramenta com a alteração projetada, apresentada na Figura 57.

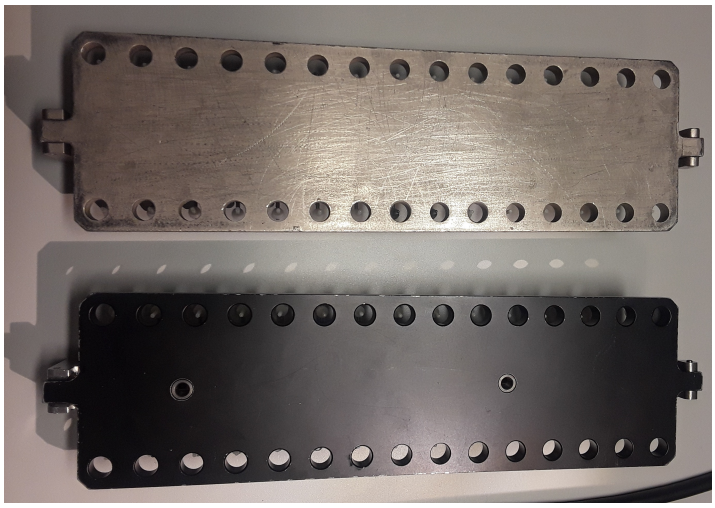


Fig. 57. Comparação entre uma ferramenta no estado inicial (em cima) e outra com a alteração efetuada (em baixo).

4.2.3 Programação do processo de colagem

Estando pronta a ferramenta com as guias de encaixe, procedeu-se à programação do processo de colagem. Tal como foi anteriormente exposto, a colagem seria realizada por três segmentos, sendo que, de modo a proceder à programação, foram definidos os quatro pontos de interesse. Na Figura 58, à esquerda, são expostos a cor amarela os pontos de início de colagem de cada segmento e o ponto do centro das circunferências, expondo também o respetivo ângulo. Na mesma Figura, e nas três imagens da direita, apresenta-se a trajetória por segmentos pretendida.

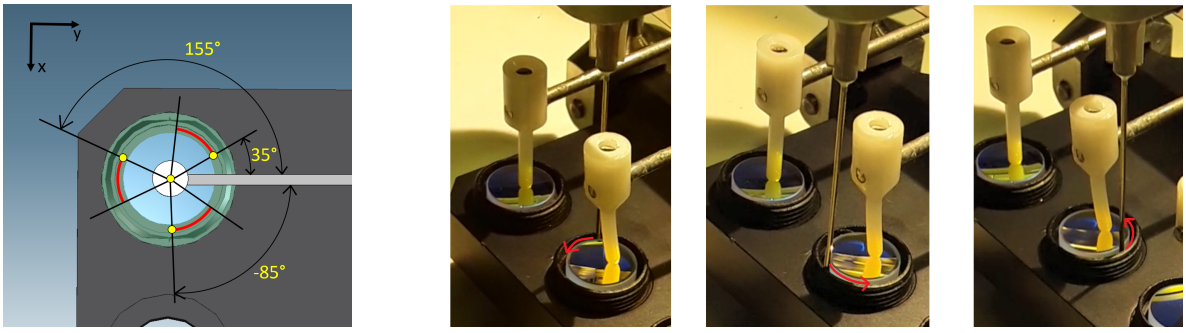


Fig. 58. Esquematização dos quatro pontos de interesse para a programação de colagem (apresentados a amarelo no esquema à esquerda) e demonstração do procedimento de colagem automático por segmentos (à direita).

Assim, procedeu-se à programação da trajetória do robô pela combinação do método *jogging* com o cálculo relativo das coordenadas.

De modo a determinar o ponto correspondente ao centro de circunferência, procedeu-se à manipulação dos três eixos do robô *Janome* pelo método *jogging* até ao centro geométrico do casquilho a ser colado, como apresentado na Figura 59.

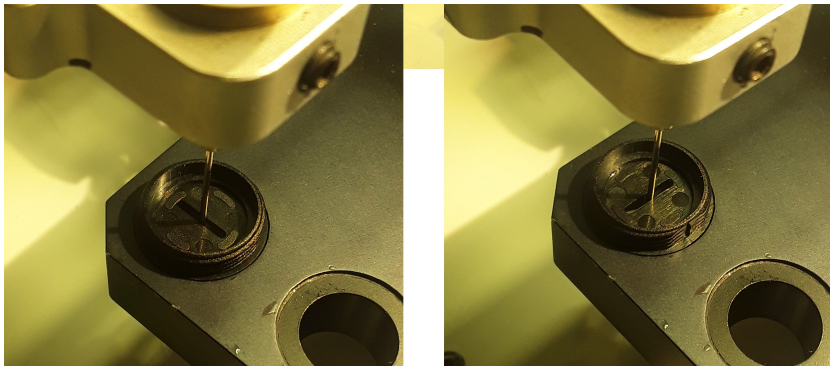


Fig. 59. Obtenção da posição correspondente ao centro do casquilho por *jogging*.

Obtiveram-se assim as coordenadas do ponto central da trajétoria de colagem.

$$(x; y) = (9{,}9; 125{,}495) \tag{2}$$

Posteriormente, e recorrendo novamente ao método de *jogging*, levou-se a ponta da ferramenta do robô até à cavidade onde seria depositada a cola, movendo-a apenas no eixo y. Salienta-se que o posicionamento em relação ao eixo z foi obtido nesta etapa, sendo que se optou por ocultá-lo durante a demonstração por se manter constante durante todo o processo de colagem. Obtiveram-se as seguintes coordenadas:

$$(x; y) = (9{,}9; 119{,}719) \tag{3}$$

Define-se então o raio como:

$$r = \sqrt{(9{,}9 - 9{,}9)^2 + (125{,}495 - 119{,}719)^2} = 5{,}776\ [mm] \tag{4}$$

Obtêm-se assim os ponto de início de deposição de cola de cada segmento:

$$(x; y) = (9{,}9 - 5{,}776 \times sen(\theta); 125{,}495 + 5{,}776 \times cos(\theta)) \tag{5}$$

Tabela 2. Definição dos três pontos de colagem de secção.

θ	sen(θ)	cos(θ)	x [mm]	y [mm]
35°	0,574	0,819	6,48	130,15
155°	0,423	-0,906	7,457	120,262
-85°	-0,996	0,087	15,653	125,998

Tendo definido os pontos de colagem de cada segmento, apresentados na Tabela 2, procede-se à programação do robô de colagem.

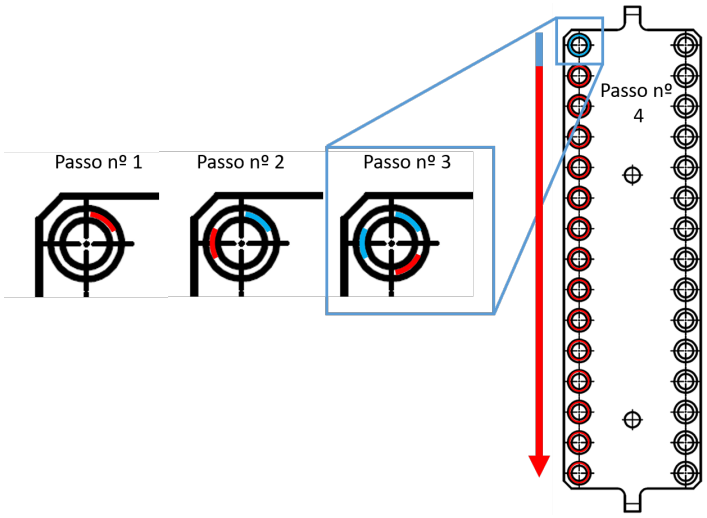


Fig. 60. Esquematização da sequência dos passos de programação (passos 1 a 4). A vermelho apresenta-se o movimento gerado no passo correspondente e a azul as trajetórias definidas nos passos anteriores.

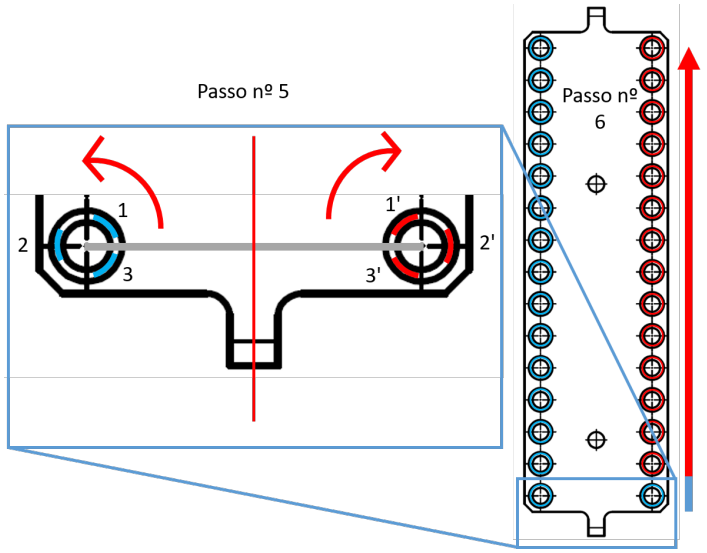


Fig. 61. Esquematização da sequência dos passos de programação (passos 5 e 6). A vermelho apresenta-se o movimento gerado no passo correspondente e a azul as trajetórias definidas nos passos anteriores.

A enumeração que se segue descreve as etapas de programação do movimento do robô em função do número de passos esquematizados nas Figuras 60 e 61:

- Passo nº 1 - definição do primeiro arco correspondente ao primeiro segmento de colagem de 50 através dos pontos anteriormente definidos: o ponto de início de arco e o de centro de circunferência (apresentado na Figura 62 pelo visor da consola *teaching pedant*);

- Passo nº 2 - definição do segundo arco, seguindo o método do Passo nº 1;
- Passo nº 3 - definição do terceiro arco, novamente seguindo o método dos passos anteriores;
- Passo nº 4 - através da função *Block Editing - copy block points*, copiou-se o procedimento de colagem por secções definido por todos os pontos criados até esta fase (3 pontos por segmento, resultando em 6 pontos) de modo a replicar o processo para as restantes circunferências da coluna. Inseriu-se como *offset* no eixo vertical a distância entre as circunferências;
- Passo nº 5 - recorrendo à função *Block Editing - mirror block points*, espelhou-se o movimento executado no procedimento de colagem do elemento inferior da primeira coluna, segundo o eixo destacado a cor vermelha. Neste processo recorreu-se à função *mirror* ao invés de *copy* de modo a contornar o obstáculo apresentado a cinzento na imagem da esquerda da Figura 58 e na Figura 61. Desta forma, adapta-se a rotação contra-relógio (1-2-3) para a rotação no sentido dos ponteiros de relógio (1'-2'-3'), como se demonstra no esquema relativo a esta etapa. Outra particularidade a apontar é que se optou por realizar este procedimento apenas na colagem do elemento inferior da coluna, de modo a garantir uma trajetória menos demorada. Caso se tivesse espelhado a colagem de todos os elementos da coluna, o robô, após colar o elemento inferior da primeira coluna, iria deslocar-se até ao elemento superior da segunda coluna, demorando mais tempo entre colagens. A Figura 63 evidencia a cor verde a trajetória projetada e considerada ótima;
- Passo nº 6 - novamente através da função *Block Editing - copy block points*, copiou-se o procedimento de colagem por secções definido no Passo nº 5 e replicou-se para as restantes circunferências da coluna, finalizando a programação de colagem dos espelhos colimadores.

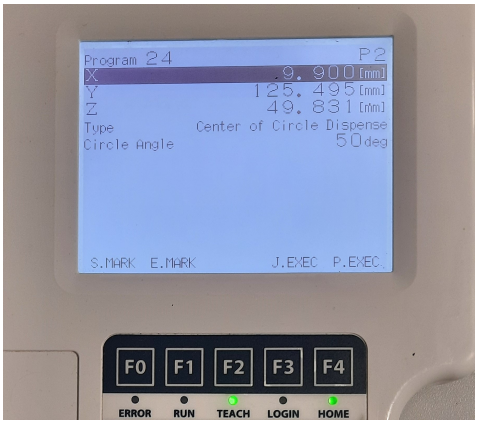


Fig. 62. Consola do robô (*teaching pedant*) destacando o ponto central da circunferência calculado anteriormente.

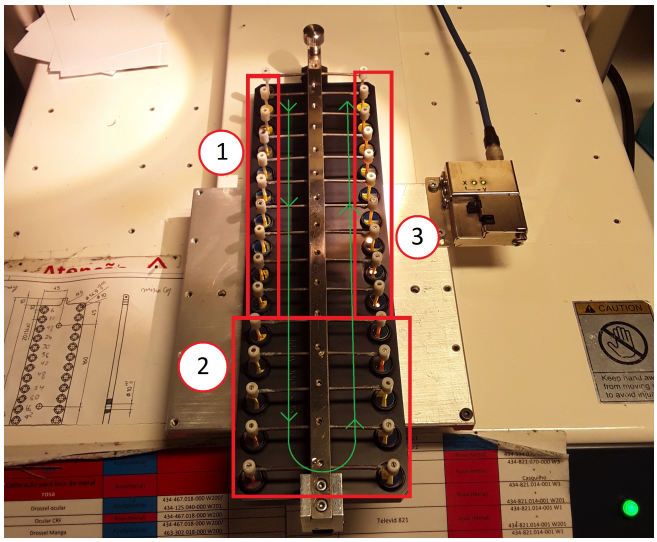


Fig. 63. Esquematização do percurso de colagem (a cor verde) e divisão dos espelhos colados em três conjuntos (a cor vermelha e com numeração).

4.2.4 Análise de qualidade de colagem

Uniformidade do processo

Com o intuito de analisar o resultado do procedimento automático de colagem, dividiram-se as unidades coladas em três conjuntos distintos, numerados na Figura 63. É relevante recordar que, de modo a garantir a secagem da cola UV, foi necessário submeter os componentes a uma secagem rápida, ao colocar base de colagem numa estufa UV. Na Figura 64 apresenta-se a estufa, sendo que a mesma é programada para realizar secagens rápidas.



Fig. 64. Estufa UV em funcionamento.

Na Figura 65 apresenta-se uma amostra de cada um dos conjuntos mencionados e expostos na Figura 63.

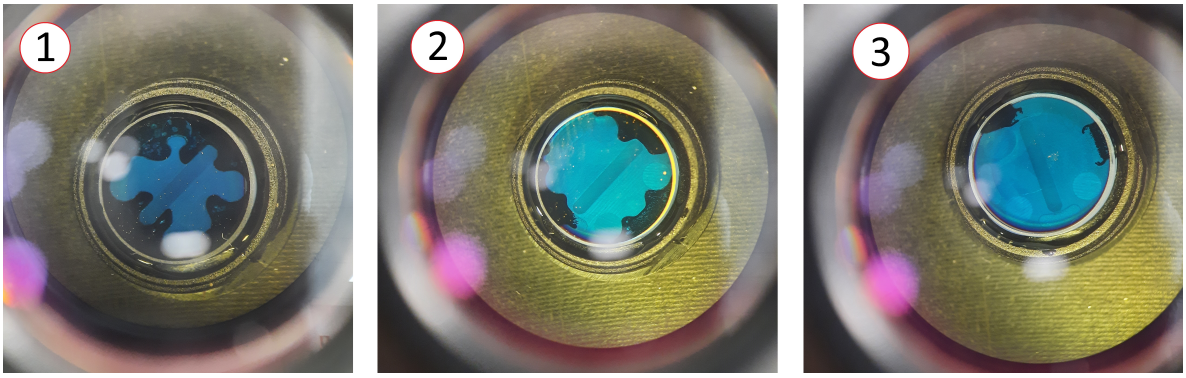


Fig. 65. Observação ao estereomicroscópio de uma amostra de cada grupo definido na Figura 63 após a colagem.

As amostras foram estudadas após terem sido submetidas à secagem rápida na estufa UV, facto que ocorreu imediatamente após o processo de colagem. Analisando o resultado, conclui-se que as amostras que pertenciam ao conjunto número (1), correspondendo ao início da trajetória, apresentam não só uma quantidade superior de cola na superfície inferior do espelho em relação às restantes amostras, como também uma maior homogeneidade radial. No conjunto intermédio (2), nota-se que a cola não se espalhou de forma a que se verificasse visualmente uma uniformidade, sendo este fenómeno ainda mais evidente nas amostras do conjunto do final da trajetória (3). Assim, concluiu-se que, de modo a obter resultados de distribuição de cola radialmente uniformes, procurando a simetria radial, seria necessário aguardar antes de se proceder à secagem, garantindo que a cola se espalhasse no espaço inferior ao espelho, sendo tal fenómeno não prejudicial ao funcionamento pretendido do componente.

Verificação do ajuste de focagem

Estando concluído o procedimento de colagem, identificaram-se todas as amostras coladas para posteriormente se proceder ao teste funcional do componente. Trata-se da verificação funcional do ajuste de focagem, no qual se ajusta a posição do espelho de modo a obter uma visualização das luzes LED de forma focada, à semelhança do que se expôs anteriormente no capítulo "Identificação do produto e do processo de montagem".

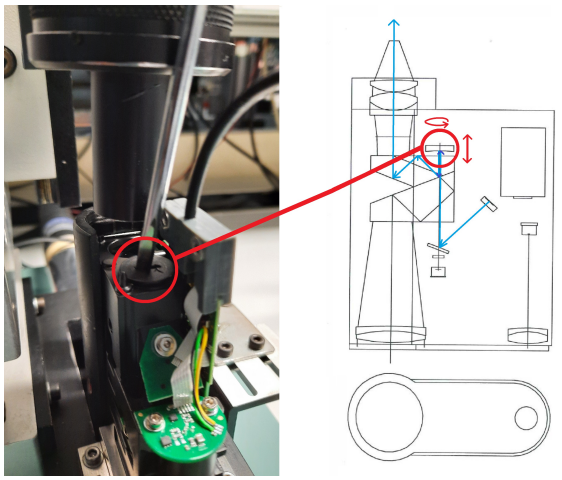


Fig. 66. Procedimento de ajuste de focagem das luzes LED através da roscagem do casquilho portador do espelho colimador (à esquerda) e demonstração em esquema do procedimento (à direita).

Realizando o ajuste nos aparelhos CRF em que foram encaixadas todas as amostras, visualizou-se o efeito traduzido pela qualidade da focagem das luzes LED, tendo-se concluído que o comportamento verificado era semelhante ao obtido ao incluir num CRF um conjunto dos componentes colados manualmente. Na Figura 67 apresentam-se três amostras diferentes do ajuste realizado com componentes da amostragem estudada, sendo a quarta imagem, a do canto inferior direito, correspondente a um ajuste de um conjunto colado manualmente.

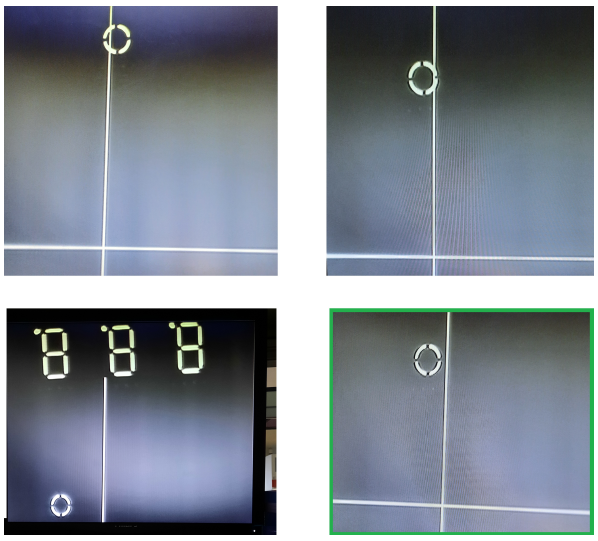


Fig. 67. Verificação do ajuste de focagem de diferentes amostras. A imagem no canto inferior direito, destacada a cor verde, corresponde a uma unidade colada manualmente. As restantes imagens correspondem a diferentes amostras coladas automaticamente pelo robô *Janome*, sendo que na imagem do canto inferior esquerdo apresenta-se não só o alvo como também os algarismos indicadores de distância da medição *rangefinder*.

Teste de resistência

Por último, foi também estudada a resistência da colagem entre os componentes, tendo-se submetido diferentes amostras coladas por segmentos à aplicação da pressão provocada por um esforço vertical até 50 N distribuído pela área da cavidade do casquilho. Foram também submetidas ao ensaio unidades coladas manualmente com o intuito de comparar o comportamento de ambos os casos. Na Figura 68 apresenta-se o mecanismo utilizado para o ensaio.

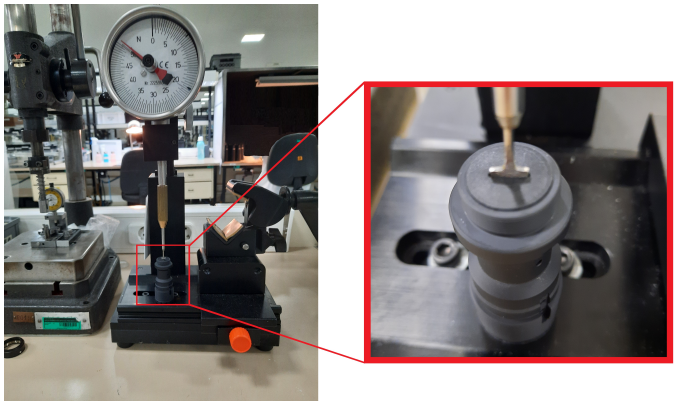


Fig. 68. Ensaio realizado para verificar a resistência da colagem.

Nenhum dos espelhos colados nos casquilhos, quer manualmente, quer automaticamente, submetidos ao teste sofreu rotura nem separação entre componentes, sendo que a força máxima aplicável disponibilizada pelo mecanismo utilizado correspondia a 50 N. Dado que se trata de um componente estático localizado no interior do produto, estando protegido ao ser roscado ao chassi, conclui-se que não haverá esforços superiores ao valor testado e superado.

Ao provar que o método em análise era funcional, tendo-se verificado um resultado positivo em todos os testes para todos os conjuntos colados automaticamente, validou-se o procedimento automático e posteriormente implementou-se o mesmo na linha de montagem de CRF.

4.3 Caso 2 - Lente objetiva do laser (Geovid II)

4.3.1 Apresentação

Um dos maiores desafios abraçados durante o estágio será exposto na presente secção e corresponde à automatização do processo de colagem da lente objetiva do laser dos binóculos Geovid II. Este processo encontra-se inserido na linha de montagem na qual se produzem todos os binóculos Geovid II, sendo o processo comum para todos os modelos da mencionada linha de montagem. De modo a validar esta ambição, começou-se por analisar os impedimentos à automatização do processo. Seguidamente expõe-se os três obstáculos identificados, bem como a solução encontrada para os contornar:

- Excentricidade das lentes
  - De modo a fixar os componentes no robô, o método recorrentemente utilizado consistia no encaixe macho-fêmea de uma base na plataforma móvel do robô na qual se inserem os componentes a serem colados, sendo que a base correspondia à fêmea e o casquilho a ser colado correspondia ao macho (Figura 55). Neste conjunto em particular, e observando a Figura 69, acontece que a excentricidade entre a lente e a base do casquilho torna impossível a colocação do conjunto num suporte-fêmea centrando a lente e, consequentemente, a trajetória de colagem. Isto resultaria na existência de uma infinidade de posições de encaixe, o que impossibilitaria a programação da colagem;
  - Este problema foi contornado ao realizar a fixação pelo furo existente na peça, estando este alinhado com a lente. Assim, garantir-se-ia que, para qualquer orientação de fixação da peça, a posição da lente não variaria. Foi então projetada uma ferramenta para servir de suporte durante o processo, incluindo um batente macho para realizar o encaixe no furo do casquilho;

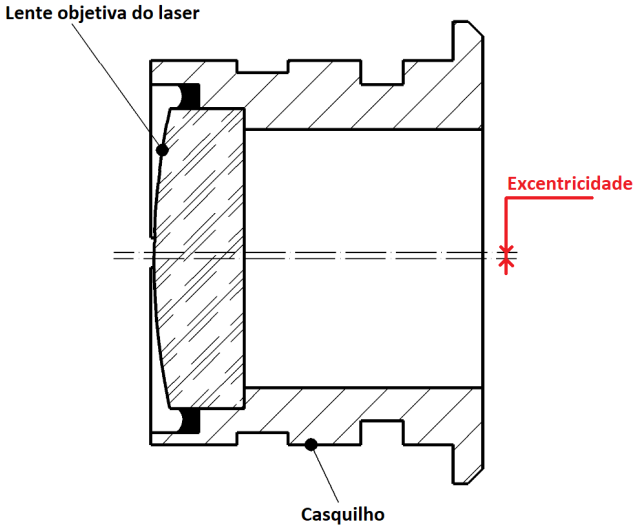


Fig. 69. Desenho 2D do casquilho e da lente objetiva do laser com destaque no desfasamento dos eixos do centro de circunferência da base do casquilho e da lente.

- Necessidade de inclinação da ferramenta de colagem
  - Observando o processo manual, verificou-se que o operador inclinava a seringa de modo a atingir a cavidade na extremidade da lente. Tal movimento não seria possível recorrendo ao robô *Janome*, dado que este apenas trabalha com a ferramenta perpendicular ao plano de colagem;
  - A tentativa de contorno deste problema consistiu na utilização de uma ponta de seringa de cola mais fina do que a utilizada durante o processo manual. Trata-se de uma ponta metálica de 0,9 mm de diâmetro de ponta. A cavidade existente na colagem da lente é inferior, de 0,8mm. Assim, foi necessário assegurar um afastamento entre a cota da ponta da emissora de cola e a da cavidade existente, de modo a não danificar a lente nem o casquilho;
- Sensibilidade da cola à exposição à luz
  - O processo é realizado com uma cola UV, sendo altamente sensível à exposição UV, solidificando facilmente quando exposta à mínima intensidade de radiação. Tal fenómeno era contornado no processo manual com a existência de um reservatório isolado no posto de trabalho. No caso do processo automático, seria obrigatório utilizar um tubo de cola como ferramenta do robô, que ficaria exposto a radiações UV proporcionadas pelo ambiente envolvente;
  - Inicialmente, o problema foi solucionado ao cobrir os tubos de cola transparentes usando fita cola opaca. Posteriormente foram disponibilizadas seringas com superfícies isoladoras de raios ultravioleta.

Ultrapassando os obstáculos enunciados, foi possível dar continuidade ao projeto. Pode-se dividir a atual subsecção nas seguintes etapas de procedimento:

- Desenho da ferramenta;
- Definição do processo de fabrico;
- Produção da ferramenta;
- Procedimento de colagem;
- Análise de qualidade da colagem.

4.3.2 Desenho da ferramenta

Novamente recorrendo ao software de modelação 3D, elaborou-se o desenho (Anexo C - Desenho da ferramenta suporte de colagem das lentes objectivas do laser do produto Geovid II). Na figura 70 apresenta-se o esboço da ferramenta.

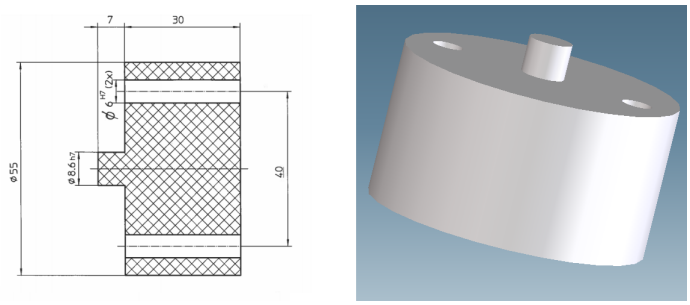


Fig. 70. Desenho 2D (à esquerda) e 3D (à direita) da ferramenta.

4.3.3 Definição do Processo de Fabrico

Optou-se pelo fabrico com recurso à impressão 3D, devido ao baixo custo, ao facto de não necessitar de recorrer a outras ferramentas de elevada taxa de ocupação e à ausência de necessidade de toleranciamento e alta precisão de cotas, tratando-se de uma base protótipo para averiguar a viabilidade de automatização do processo. Outro motivo para a utilização deste processo de fabrico residiu na sua simplicidade e possibilidade de imediata produção, o que permitiu obter a peça em menos de duas horas.

Como mencionado, a peça obtida não foi produzida tendo em conta o rígido toleranciamento projetado, dadas as limitações do processo. Os diâmetros da peça final corresponderam a diâmetros nominais e as tolerâncias nas cotas lineares também não foram tidas em conta.

4.3.4 A impressora 3D *stratasys* F270

A impressora (apresentada na Figura 71) é do tipo FDM (*Fused Deposition Modeling*), correspondendo a uma das tecnologia mas comuns para prototipagem rápida. O método baseia-se na deposição de material fundido numa plataforma suspensa [24].

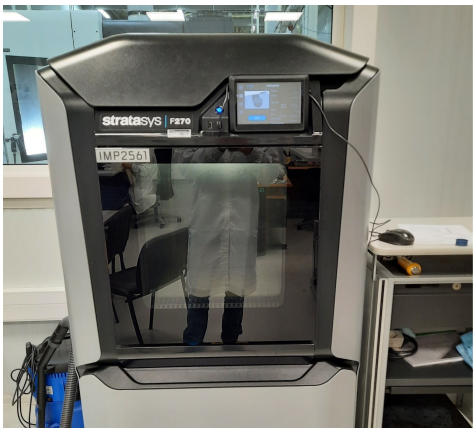


Fig. 71. Impressora stratasys F270.

Na Figura 72 apresenta-se, à esquerda, a imagem de um computador em comunicação com a impressora através do *software* GrabCAD Print ™, programa através do qual

se pode controlar e utilizar a impressora de forma intuitiva, contendo uma aplicação do tipo CAD (*computer-aided design*) [25]. É também neste aplicativo que se define a disposição da peça a ser impressa, sendo que, ao definir a posição e orientação da mesma, se procura um equilíbrio ideal entre tempo de processo, quantidade de filamento gasto e qualidade de acabamento superficial. Na mesma Figura, no lado direito, apresenta-se a consola acoplada à própria impressora, na qual se dá início ao processo após ter havido a comunicação entre o computador e o aparelho.

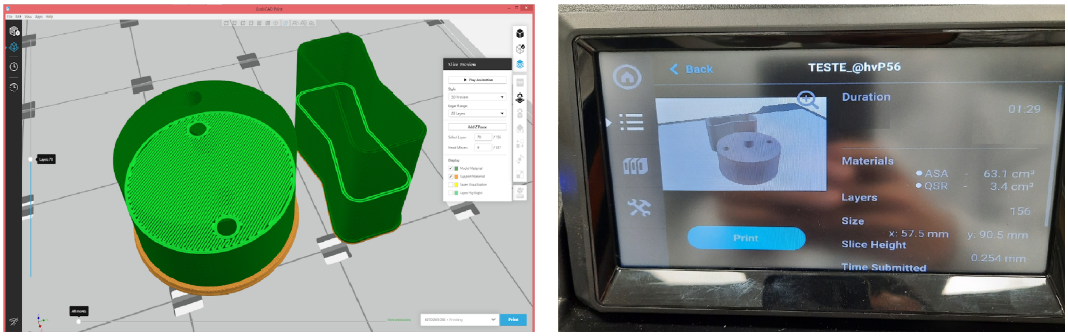


Fig. 72. Definição da disposição da peça a imprimir no software (à esquerda) e consola da impressora (à direita).

A impressora combina dois tipos de filamento:

- 2 bobinas de filamento ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate) - filamento principal;
- 2 bobinas de filamento suporte solúvel QSR (Quick Support Release) - serve como apoio à produção da peça final, sendo que na etapa que se segue à impressão é dissolvido, resultando apenas o material de filamento principal.

O filamento suporte QSR serve como auxílio de impressão quando existem geometrias impossíveis de se suportarem, à semelhança de alicerces.

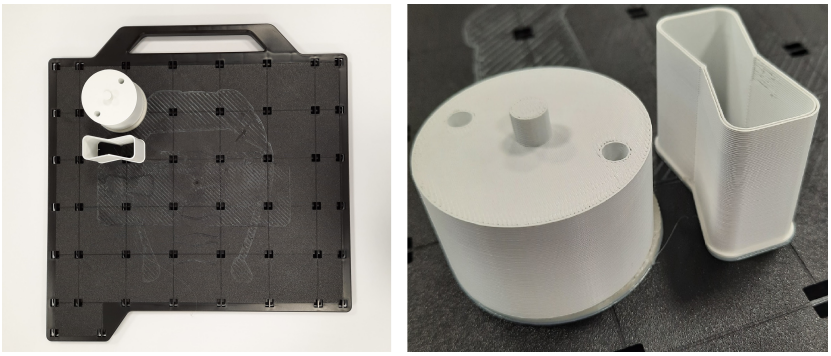


Fig. 73. Produto Impresso.

Pode-se observar na Figura 73 o produto após o processo de impressão. À semelhança do que se observou na imagem projetada no *software* da Figura 72, verifica-se que se recorreu à produção de uma peça auxiliar em simultâneo com a peça principal. Este

processo serve para assegurar uma transição suave entre os dois diferentes tipos de filamento. Assegura a limpeza da ponta da ferramenta ao realizar a purga da cabeça quando há transição de material para material-suporte e vice-versa.

Tendo a impressão terminado, como etapa final do processo resta dissolver o filamento suporte (QSR) ao mergulhar a peça obtida numa mistura de água e *waterworks soluble concentrate* (apresentado na Figura 74).



Fig. 74. *Water Works* - mistura para dissolver o filamento suporte (à esquerda) e tanque para dissolução (à direita).

Ao mergulhar a peça nesta solução, resulta apenas a peça desenhada e impressa no filamento principal (ASA), apresentada na Figura 75.

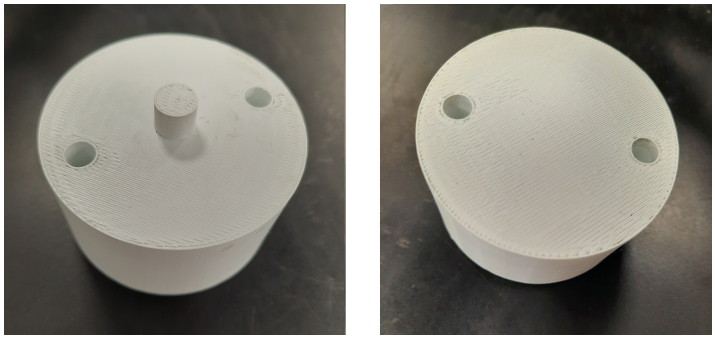


Fig. 75. Produto final - ferramenta suporte de colagem das lentes objetivas do laser (Geovid II).

4.3.5 Análise do produto final

Na Figura 76 apresenta-se uma imagem obtida através de observação via estereomicroscópio da peça auxiliar que foi produzida em simultâneo com a peça principal. Verifica-se que, na secção onde ocorre a transição de filamento, a deposição de filamento ASA (de cor mais clara) ocorrera de forma pouco uniforme durante o início do trajeto da ferramenta. Assim, garante-se que qualquer tipo de defeito na deposição de filamento de material ocorrerá na peça auxiliar, e não na peça principal. Neste caso em

concreto, apenas foi necessário o uso de filamento suporte na base da peça, com o intuito de conferir uma boa planeza à superfície. Assim, a única transição entre filamento suporte e filamento ASA ocorre na parte inferior. Conclui-se que nesta impressão não seria necessário elevar a peça auxiliar até à cota do topo da peça principal, dado que não voltou a ocorrer transição de material. Porém, como geralmente é necessário realizar várias transições, e para demonstrar o processo recorrente, optou-se por imprimir a peça auxiliar na sua totalidade.

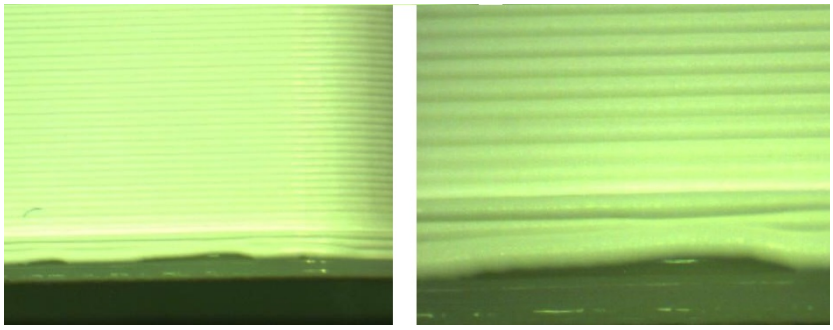


Fig. 76. Observação do filamento da peça auxiliar através de um estereomicroscópio.

Ao completar o circuito na peça auxiliar, é garantido que a peça principal não apresenta qualquer tipo de defeito, ao verificar-se que a deposição de filamento já está uniformizada. Na Figura 77, apresenta-se a suavidade da transição entre filamentos na peça final, após a realização da limpeza da ponta da ferramenta.

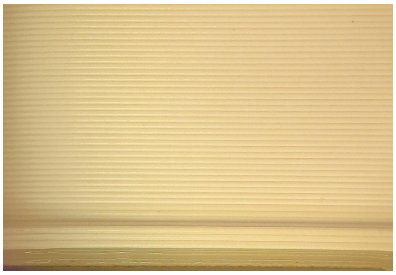


Fig. 77. Observação do filamento da peça principal através de um estereomicroscópio.

4.3.6 Procedimento de colagem

Depois de se obter a ferramenta projetada, procedeu-se ao encaixe das lentes provenientes do Departamento de Ótica nos casquilhos provenientes do Departamento de Mecânica (Figura 78), sendo que ambos os componentes foram previamente lavados.

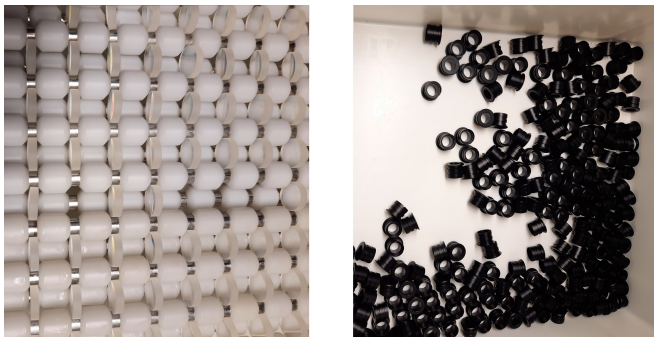


Fig. 78. Lentes provenientes do Departamento de Ótica (esquerda) e casquilhos provenientes do Departamento de Mecânica (direita).

Procedeu-se à programação do robô para a realização da colagem, tendo sido usado o método exposto na secção anterior. Na Figura 79 apresenta-se o *layout* do robô.

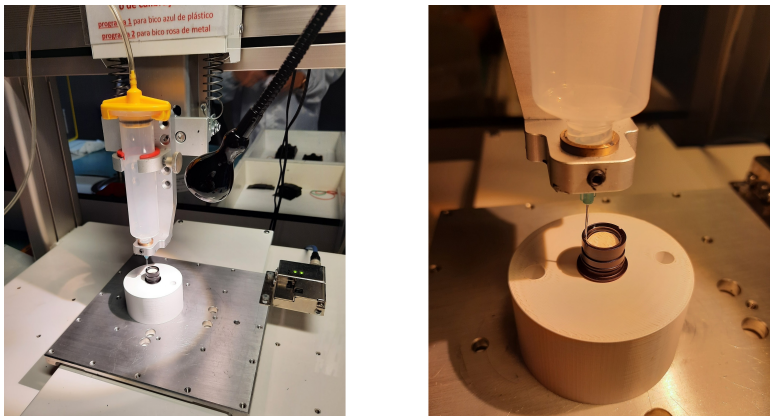


Fig. 79. Procedimento de colagem pelo do robô.

4.3.7 Análise de qualidade de colagem

De modo a acompanhar as lentes e os casquilhos trabalhados ao longo do percurso na linha de montagem, identificaram-se os binóculos que continham os componentes colados pelo método a ser testado.

Teste de estanquecidade

Ao contrário do caso dos espelhos colimadores apresentado anteriormente, as lentes objetivas do laser dos binóculos Geovid II correspondem a um componente localizado no exterior do aparelho, o que implica que a colagem entre as lentes e o casquilho deverá ser estanque. De modo a analisar este parâmetro, submeteram-se as amostras coladas pelo robô *Janome* ao teste de estanquecidade exposto no capítulo anterior. Na Figura 80 apresenta-se a ferramenta utilizada para auxiliar a medição de potenciais fugas.

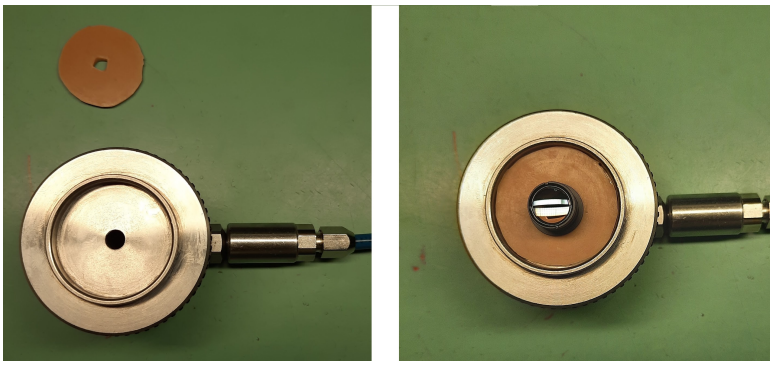


Fig. 80. Ferramenta auxiliar para medição de estanquecidade.

À semelhança do processo de medição exposto anteriormente, é removido todo o ar no interior do casquilho, gerando vácuo, e é medida a pressão final do interior do mesmo. Ao haver qualquer falha de cola, entraria ar, aumentando a pressão final no seu interior. Sabendo que o valor de pressão final máximo admissível para considerar o componente estanque é de 16 Pa, foram realizadas as seguintes medições:

Tabela 3. Resultado do teste à estanquecidade de 10 amostras (Medições de pressão em Pa).

Nº de amostra	Medição 1	Medição 2	Medição 3
1	3	-	-
2	8	-	-
3	22	4	-
4	26	1	-
5	24	22	4
6	7	-	-
7	4	-	-
8	6	-	-
9	22	8	-
10	26	1	-

Na Tabela 3 apresentam-se as medições de pressão das fugas de 10 amostras coladas pelo robô. Verificou-se que em todos os ensaios nos quais se obteve um valor de pressão não aceitável na primeira medição (Medição 1, tendo sido realizada pousando o casquilho na ferramenta), as fugas ocorriam pela parte inferior da base do casquilho. Isto foi comprovado ao realizar uma segunda medição (Medição 2) durante a qual se colocou um peso no casquilho, como apresentado na Figura 81, antes de ativar a sucção de ar, obtendo-se um resultado positivo. Pode-se concluir que ao pressionar o casquilho na base para medição se simulava um encaixe estanque do casquilho nos binóculos. No caso do único valor anormal registado após a colocação do peso sobre o casquilho, verificou-se que o motivo da não conformidade provinha da existência de partículas na película antiderrapante. Após a limpeza da mesma, realizou-se uma nova medição (Medição 3), tendo-se obtido um resultado positivo. Assim, todas as amostras estudadas provaram ser estanques.

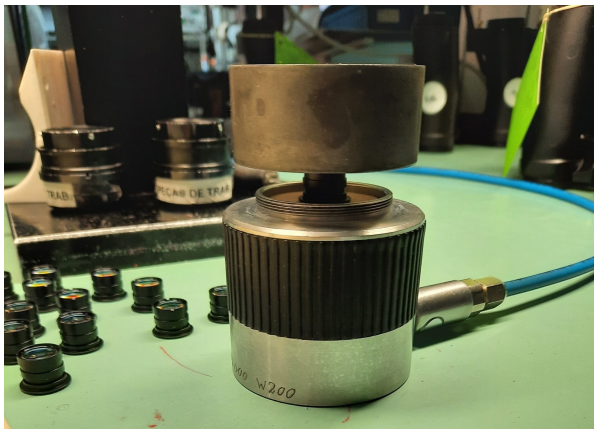


Fig. 81. Colocação de peso para auxiliar o processo.

Verificação do feixe de laser e fenómeno *tilt*

A lente tem como função direcionar e colimar a luz laser que permite identificar a distância ao alvo, ao tornar um conjunto de feixes divergentes provenientes do emissor laser em feixes paralelos e uniformes. Após a realização da colagem das lentes, é realizado, à semelhança da linha de montagem de um CRF, um ajuste laser-recetor, no qual se alinha o feixe com o centro da placa recetora. De modo a averiguar o correto funcionamento do produto, verificou-se que o ajuste se encontrava de acordo com o padrão definido e obtido ao utilizar conjuntos colados manualmente.

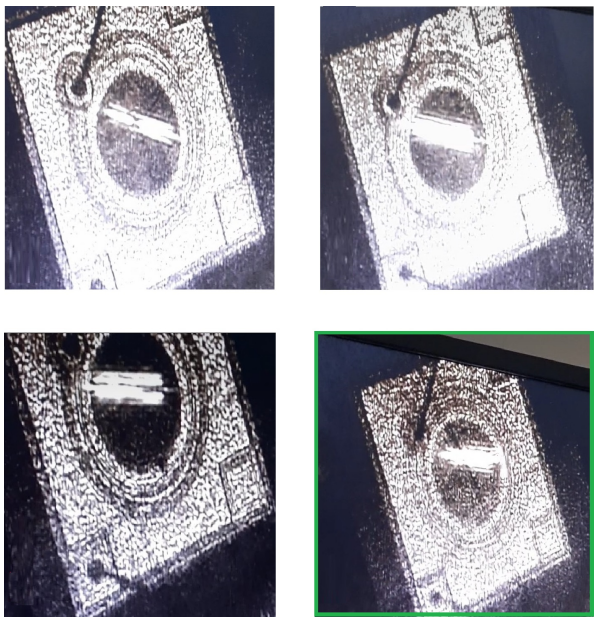


Fig. 82. Ajuste do laser no recetor de diferentes amostras. A imagem no canto inferior direito, destacada a cor verde, corresponde à assinatura de laser padrão, sendo a mesma emitida através de uma lente objetiva colada manualmente.

Verificou-se que todas as amostras apresentavam uniformidade entre elas e entre o padrão aceitável. Comparando a imagem dos feixe de laser testados (alguns dos quais se pode observar na Figura 82) com a imagem padrão (apresentada na mesma Figura com destaque a cor verde), confirmou-se que todas as amostras foram aprovadas nesta etapa.

Quanto ao fenómeno "tilt" que, como o nome indica, está associado à inclinação da lente, foi também aprovado em todas as unidades da amostra através de controlo visual. Este poderia existir ao ocorrer infiltração da cola através da base da lente, ou devido a um incorreto encaixe da lente no casquilho. Para além do controlo visual, o facto de todas as amostras apresentarem uma correta assinatura do laser emitido no alvo, mantendo-se este centrado com a placa recetora, também valida o estudo.

Comparação visual

Por último, apresenta-se a comparação visual entre uma lente colada manualmente (Figura 83) e outra colada pelo robô *Janome* (Figura 84). É possível identificar a irregularidade de distribuição de cola, ao notar que a cavidade do casquilho apresenta menos cola num dos lados (destacado na imagem da esquerda) e um excesso no outro (apresentado na imagem de direita). Por último, destaca-se também a sujidade da lente na referida Figura.

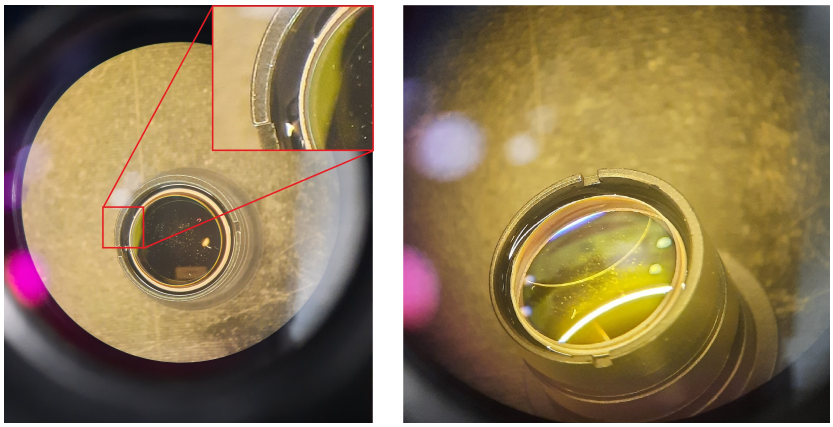


Fig. 83. Lente colada manualmente, destacando na imagem do lado esquerdo uma falha de colagem.

Seguidamente, apresenta-se na Figura 84 uma amostra colada automaticamente pelo robô *Janome*. Pode-se constatar que a distribuição de cola é uniforme e que não apresenta falhas.

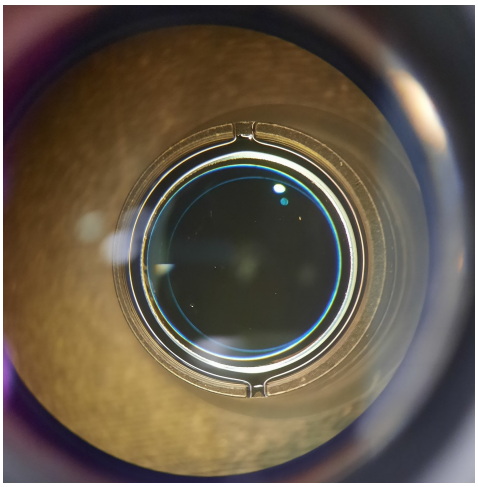


Fig. 84. Lente colada usando o robô *Janome*.

4.4 Sumário

Apresenta-se o sumário relativo aos dois Casos expostos de automatização do processo de colagem. Começando pelo mais evidente, ao ser mensurável, expõe-se na Tabela 4 a comparação dos tempos de colagem antes e depois das implementações.

Tabela 4. Comparação da duração de processos de colagem (minutos:segundos) antes e depois da implementação do espelhos colimadores (CRF) e das lentes objetivas do laser (Geovid II).

Amostra	Duração antes	Duração depois
30x CRF colimador	10:12	3:27
1x Geovid II laser	0:10	0:07

Redução percentual do tempo de colagem:

- CRF espelho colimador: 66%
- Geovid II lente objetiva do laser: 30%

Para além dos significativos ganhos de tempo de processo, foi assegurada a qualidade ao analisar as unidades comparando-as com os padrões anteriormente estabelecidos. É importante apontar os elevados ganhos de homogeneidade de processo ao gerar um evidente incremento da repetibilidade do mesmo. Por último, também se beneficia imensamente ao dispensar o processo de colagem manual, estando provado que a constante realização do procedimento de colagem pode gerar lesões aos operadores, tais como tendinites.

Relativamente à lente objetiva do laser dos binóculos Geovid II, ao verificar que as amostras coladas passaram os três testes funcionais, foi possível dar continuidade ao projeto de forma ainda mais ambiciosa, através da criação de uma ferramenta suporte

para múltiplas unidades, estando esse estudo relatado no capítulo seguinte, "Multiplicação do processo de colagem".

5 Multiplicação do processo de colagem

5.1 Introdução

Durante a fase de estudo na qual foi observada a utilização do robô cartesiano, concluiu-se que não se estava a dar uso ao seu completo potencial, ao verificar que o robô apenas estava a ser programado para realizar a colagem de um elemento de cada vez, com a exceção do procedimento de colagem de múltiplos espelhos colimadores implementado e exposto no capítulo anterior. Com o intuito de otimizar o processo de montagem, foi estudada a viabilidade de realização de múltiplas colagens num só ciclo do robô. Assim, e tendo por base as medições da área de trabalho do robô, procurou-se atingir a máxima eficiência do processo.

5.2 Caso 1 - Lente objetiva do laser (Geovid II)

5.2.1 Medição do mecanismo de fixação da ferramenta no robô

Torna-se necessário estabelecer dois conceitos distintos: a área de trabalho total do robô (definida no catálogo), e a área de trabalho útil do robô, tendo sido definida devido a certas limitações na área de trabalho total.

Na Figura 85 apresenta-se a limitação existente relativamente à área de trabalho do robô *Janome*. Esta é condicionada pela existência do mecanismo de calibração da ferramenta. Como mencionado anteriormente, o movimento do eixo "x" do robô é garantido através da translação da plataforma de trabalho. Tal fenómeno implica que o mecanismo de calibração se desloque solidariamente com a plataforma.

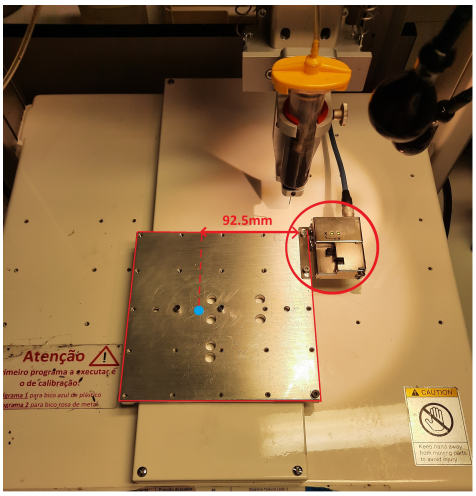


Fig. 85. Mesa de trabalho do robô *Janome* com limitação em destaque.

Antes de esboçar a ferramenta para múltiplas colagens, definiu-se o centro geométrico pretendido (ponto azul apresentado na Figura 85) e mediu-se a distância entre este e o mecanismo de calibração. É relevante mencionar que o centro geométrico definido não

corresponde ao centro geométrico da plataforma de trabalho do robô. Isto justifica-se pelo facto de se pretender que os parafusos adjacentes ao ponto azul servissem de guias para a peça, à semelhança de todas as ferramentas-suporte anteriormente projetadas para acoplar à plataforma (excluindo novamente o caso da invenção apresentada no capítulo anterior, da colagem de múltiplos espelhos colimadores do CRF). Isto poderia implicar que parte da ferramenta ficasse fora dos extremos da plataforma, mas, atendendo à vasta área de contacto, não seria problemático. Nessa mesma Figura (85) é destacado o mecanismo de calibração do robô de colagem, que se apresenta como obstáculo ao encaixe. Ao deslocar o centro geométrico da ferramenta a ser projetada para a esquerda, beneficia-se de um maior aproveitamento da área de trabalho do robô. Para além da limitação geométrica enunciada, também se pretendia que fosse possível transportar os objetos a serem colados numa caixa *standard*. Conciliando a área útil do robô com as dimensões normalizadas da caixa, projetou-se a ferramenta-base de forma a caberem dois exemplares numa caixa de transporte, como demonstrado na Figura 86.

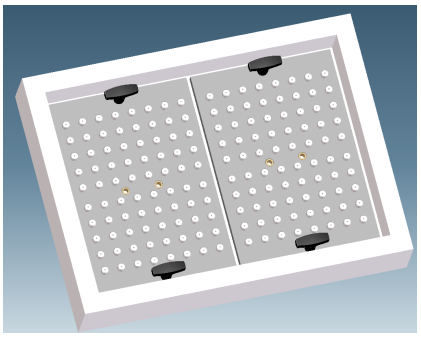


Fig. 86. Desenho 3D de duas ferramentas inseridas numa caixa de transporte *standard*.

5.2.2 Desenho da ferramenta

À semelhança do procedimento de fixação do casquilho apresentado no capítulo anterior, projetou-se uma base na qual se iriam inserir 80 pinos para suportar os casquilhos a serem colados (Anexo D - Desenho da ferramenta suporte de múltiplas colagem (80x) das lentes objectivas do laser do produto Geovid II). Optou-se por esta quantidade com o intuito de que fosse possível inserir e remover os casquilhos dos pinos de forma cómoda, deixando um desfasamento suficientemente grande para caberem os dedos do operador. É também relevante mencionar que se optou por produzir os pinos em POM, externamente à placa base de alumínio, ao invés de maquinar uma placa de maiores dimensões, para facilitar o processo de fabrico e minimizar o custo. Na Figura 87 apresenta-se o desenho 3D destacando um pino. Por último, acrescenta-se que os pinos foram projetados com um furo passante ao centro de modo a permitir a circulação do ar aquando do encaixe do casquilho com a lente na ferramenta. Não existindo um furo, ao fixar um casquilho com a lente encaixada no pino, a lente sairia da sua posição, devido à criação de vácuo.

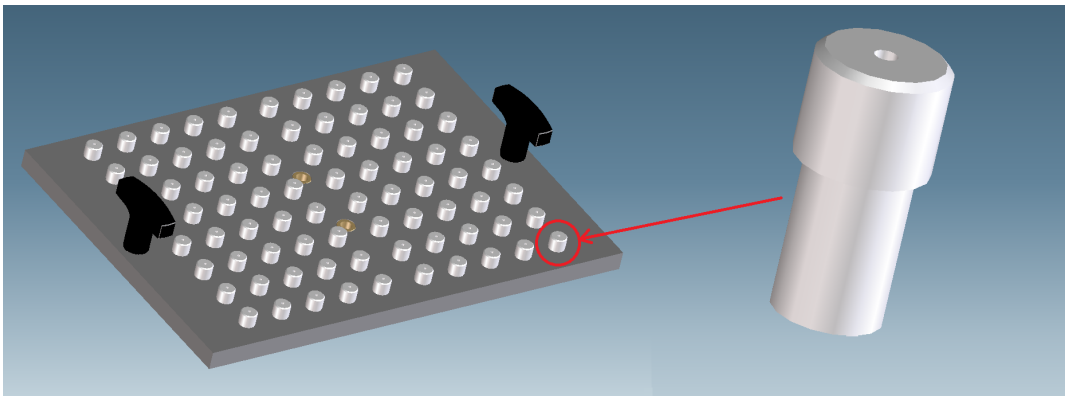


Fig. 87. Desenho 3D da ferramenta de colagem de lentes para o Geovid II destacando um pino.

5.2.3 Produção dos componentes da ferramenta

Foram produzidos os pinos de POM por torneamento. Relativamente à base de alumínio, recorreu-se a uma chapa normalizada de espessura de 10mm. Deste modo, as superfícies superiores e inferiores apresentariam um bom acabamento superficial. Quanto às superfícies laterais, foi também possível usufruir do acabamento superficial de duas das faces, ao aproveitar o canto da chapa. Deste modo, procedeu-se ao corte da chapa normalizada e ao pré-acabamento das restantes superfícies. Na Figura 88 apresenta-se o material, estando destacada com o número (1) uma das superfícies de corte com pré acabamento, e com o número (2) uma das superfícies originais da chapa fornecida, identificando-se facilmente o acabamento superficial.

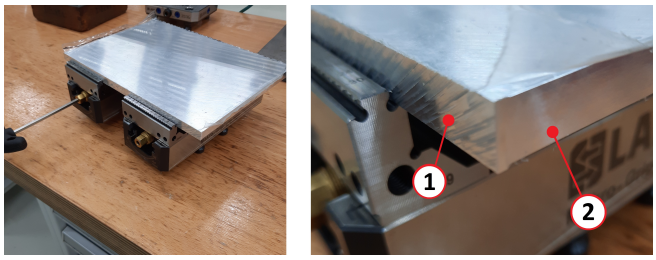


Fig. 88. Chapa de alumínio após corte e pré-acabamento superficial nas faces laterais. Na imagem à direita são identificadas por números as superfícies com diferentes tipos de acabamento.

Recorrendo a uma fresadora CNC DMU 40 eVo linear de 5 eixos [26] procedeu-se à fresagem da placa de modo a conferir um bom acabamento e os furos projetados. Numa fase inicial carregou-se o ficheiro do desenho 3D da peça a ser trabalhada no *software* em comunicação com a fresadora e definiram-se as etapas de maquinagem.

5.2.4 Alteração da ferramenta

Apesar de ter sido cumprido o toleranciamento solicitado, a dimensão do diâmetro dos pinos não era suficiente para fixar o casquilho a ser colado; apesar de ter sido conferida a folga projetada entre os componentes, o ajustamento permitia a rotação do casquilho

ao haver contacto com a seringa de colagem, o que impossibilitava a colagem das lentes usando o robô. Inicialmente realizou-se a tentativa de programar o movimento da seringa sem haver contacto direto com o casquilho, elevando a cota de deposição de cola. Porém, concluiu-se que, dada a elevada viscosidade da cola, tal procedimento não seria possível. A cola, ao ser expelida sem contacto direto com o casquilho, realizava o movimento descendente de forma irregular e demorada, não atingindo a cavidade para a qual era apontada.

Tendo em conta a limitação dimensional do canal entre o casquilho e a lente a ser colada, particularidade mencionada no início desta secção como obstáculo à implementação de colagem através do robô, e concluindo que a seringa necessitava de descer até à cota do casquilho, tornou-se evidente que deveria ser realizado um ajuste ao aperto do encaixe do casquilho nos pinos.

Para solucionar o problema enunciado, optou-se por alterar os pinos ao abrir uma ranhura para inserir um *o'ring*, de modo a impossibilitar a rotação do casquilho após o encaixe. No Anexo E, "Desenho da alteração do pino para a ferramenta de múltiplas colagens (80x) das lentes objectivas do laser do produto Geovid II", apresenta-se o desenho da alteração pretendida.



Fig. 89. Resultado obtido após a alteração.

Procedeu-se ao aproveitamento dos pinos anteriormente produzidos para realizar as alterações na peça, ao abrir uma cavidade e posteriormente inserir um *o'ring*, como demonstra a Figura 89. O produto final apresenta-se na Figura 90.

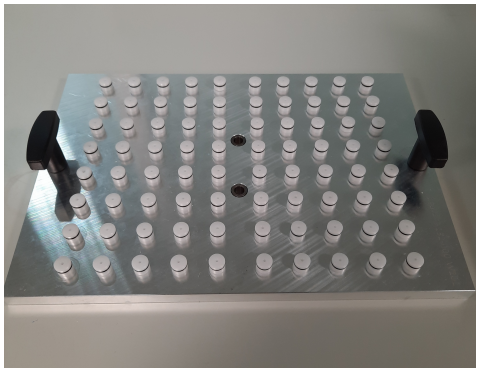


Fig. 90. Produto final - ferramenta suporte de múltiplas colagem (80x) das lentes objectivas do laser (Geovid II).

5.2.5 Controlo de cotas do produto final

De modo a analisar a ferramenta obtida, para verificar se corresponde ao desenho projetado a nível de toleranciamento, recorre-se ao aparelho de controlo de cotas *Tesa Hite*, apresentado na Figura 91, trata-se de um aparelho de alta precisão [27]. Na Figura apresentada é demonstrada a medição da espessura da base de alumínio nas duas extremidades da peça (na imagem central e na imagem à direita), de modo a analisar não só a dimensão, como também o paralelismo solicitado no desenho 2D, tendo-se verificado que as medidas estavam dentro das tolerâncias definidas.



Fig. 91. Verificação de cotas pelo aparelho *Tesa Hite*.

5.2.6 Procedimento de colagem e conclusões

Estando a ferramenta pronta e funcional, procedeu-se à programação de colagem recorrendo ao método anteriormente exposto. Na figura 92 pode-se observar o *layout* da ferramenta, estando esta fixa na plataforma móvel do robô.

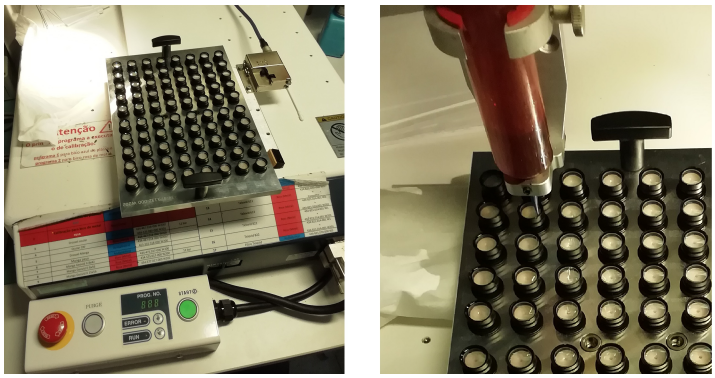


Fig. 92. Colagem múltipla das lentes objetivas do laser do Geovid II.

Procedeu-se novamente à identificação e rastreio das unidades coladas e, à semelhança dos testes realizados anteriormente na colagem individual de lentes objetivas do laser Geovid II, todas as unidades se revelaram funcionais.

5.3 Caso 2 - Lentes da objetiva (CRF)

O segundo Caso de multiplicação do processo de colagem é referente às lentes oculares da objetiva do CRF. Na Figura 93 apresenta-se a ferramenta-base anteriormente utilizada para colar automaticamente uma unidade de cada vez.

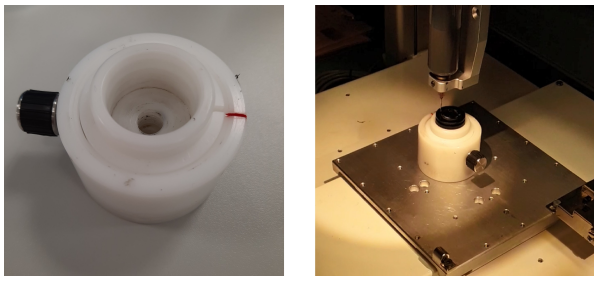


Fig. 93. Ferramenta-base (à esquerda) e procedimento de colagem (à direita) anteriormente usados.

De modo a produzir uma ferramenta-base para múltiplas colagens, procedeu-se à medição do diâmetro exterior do casquilho, com o intuito de projetar batentes fêmea para encaixes macho-fêmea, à semelhança do método utilizado na base de colagem individual.

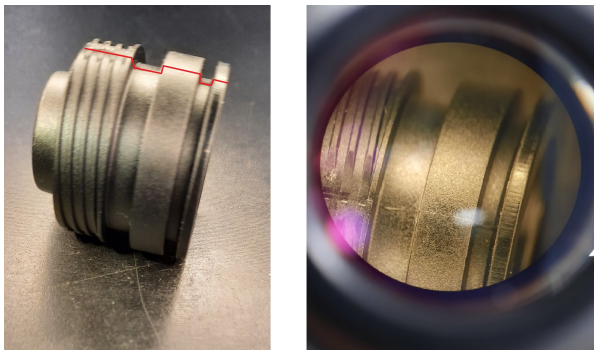


Fig. 94. Casquilho da objetiva de um CRF com a linha de molde em destaque a vermelho (à esquerda) e apresentação em observação ao estereomicroscópio (à direita).

Tabela 5. Resultado da medição do diâmetro de 8 unidades.

Nº de amostra	Resultado da Medição do diâmetro	Resultado da medição do diâmetro na secção com saliência
1	25,83	25,87
2	25,83	25,88
3	25,84	25,90
4	25,83	25,89
5	25,82	25,87
6	25,83	25,88
7	25,82	25,87
8	25,84	25,88

Ao contrário do sucedido no Caso anterior, a seringa não iria entrar em contacto com os componentes durante o procedimento de colagem automático. No entanto, pretendia-se que o casquilho ficasse fixo na ferramenta-base de modo a existir apenas uma posição de encaixe tornando-a compatível com o movimento do robô. Através da medição do diâmetro na secção crítica, a da linha de molde, destacada a vermelho na Figura 94, verificou-se que a tendência de variação do diâmetro em relação ao valor nominal (25,9 mm) era entre 0 e -0,03 mm, sendo o valor médio próximo de -0,02 mm.

Analisando a amostragem da Tabela 5 e consultando os fornecedores, optou-se por utilizar a tolerância de ±0,02 sobre o diâmetro nominal do casquilho, para assegurar a fixação da peça. A base serviria de suporte fêmea para o encaixe dos casquilhos, o que determinou a procura de um diâmetro tendencialmente superior. Evita-se também demasiada folga para excluir possibilidade de encaixe do casquilho em diferentes posições. Por muito pequena que fosse a diferença, poderia comprometer a precisão da colagem.

5.3.1 Desenho 3D da ferramenta

Dado o significativo volume da ferramenta, foi inicialmente projetada de forma a ser totalmente constituída pelo polímero PVC (*Polyvinyl Chlorid* ou policloreto de vinila), procurando as vantagens de baixo custo e de facilidade de maquinagem. No entanto, ao considerar a função da ferramenta, evidencia-se a exigência de uma apertada tolerância de paralelismo entre as faces superior e inferior, dado que a ferramenta serviria de suporte para a colagem automática de múltiplas lentes, e a programação do robô de colagem seria realizada pressupondo a uniformidade de cota entre todos os casquilhos. Pelo historial de ferramentas produzidas anteriormente, que pode ser confirmado com o exemplo exposto na Figura 95, era possível concluir que as placas PVC trabalhadas na fresadora facilmente sofriam flexão na superfície base. É evidente que isso poderia ser corrigido ao retificar a superfície após ter sido trabalhada; porém, tal fenómeno voltaria a ocorrer no decurso da utilização da ferramenta.

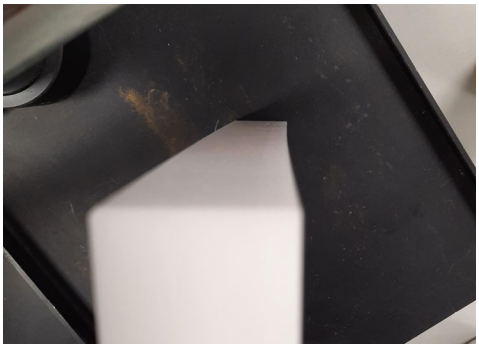


Fig. 95. Ferramenta produzida totalmente em PVC demonstrando falta de planeza na superfície base.

Assim, optou-se pela solução de encaixe entre a superfície PVC fresada e uma base de alumínio, como apresentado na Figura 96. Esta serviria de suporte e conferiria o paralelismo requerido entre as superfícies durante um longo período de vida útil.

Apresenta-se o desenho 2D da ferramenta no Anexo F - "Desenho da ferramenta suporte de múltiplas colagem (35x) das lentes oculares do produto CRF".

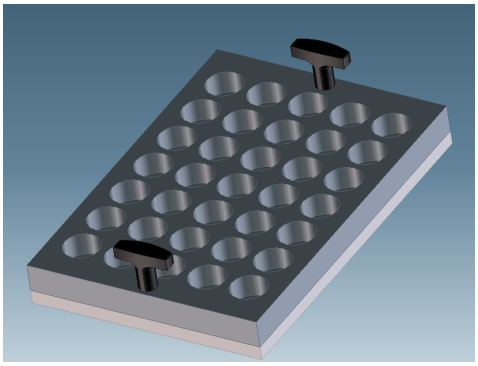


Fig. 96. Desenho 3D da ferramenta criada.

5.3.2 Produção da ferramenta

Recorrendo mais uma vez à fresadora CNC de 5 eixos, procedeu-se ao fabrico da ferramenta. Na Figura 97, à esquerda, pode-se observar o procedimento de fresagem da placa de PVC, tendo sido posteriormente produzida a placa de alumínio que serviria de base. Na mesma figura e do lado direito apresenta-se o produto final.



Fig. 97. Furação na fresadora da placa PVC (à esquerda) e produto final (à direita).

5.3.3 Procedimento de colagem

Obtendo a ferramenta projetada, foi novamente programado o procedimento de colagem. Na Figura 98 apresenta-se, à esquerda, o *layout* do robô ao colar uma lente de cada vez, como era realizado antes da implementação, e à direita o procedimento programado e realizado na ferramenta-base projetada.

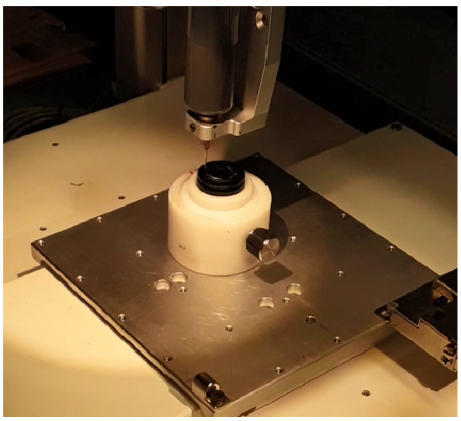



Fig. 98. Procedimento de colagem antes (à esquerda) e depois (à direita) da implementação da ferramenta.

5.4 Sumário

Apresenta-se na Tabela 6 a comparação temporal antes e depois das implementações.

Tabela 6. Comparação da duração dos processos de montagem, colagem e transporte (minutos:segundos) antes e depois da implementação das lentes objetivas do laser (Geovid II) e das lentes oculares (CRF).

Amostra	Duração antes	Duração depois
80x Geovid II laser	40:00	19:15
35x CRF ocular	8:02	3:55

Redução percentual do tempo de processo:

- Geovid II lente objetiva do laser: 52%
- CRF lentes oculares: 51%

Enquanto que o balanço de tempos apresentado no Sumário do capítulo "Automatização do processo de colagem" era relativo apenas ao tempo de colagem, na presente análise, e de modo a ser possível captar totalmente o impacto da implementação, englobam-se também os tempos de montagem da lente no casquilho e de colocação do conjunto colado nas caixas transportadoras. Aponta-se como evidente melhoria, tal como foi mencionado no início do atual capítulo, a dupla função das bases de colagem, ao verificar a facilidade de utilização e a compatibilidade entre os processos de transporte e de colagem dos casquilhos usando as ferramentas projetadas. Na Figura 99 apresenta-se a alteração referida (para o caso das oculares do CRF), sendo que, tanto antes como depois da alteração, era transportado o mesmo número de casquilhos.

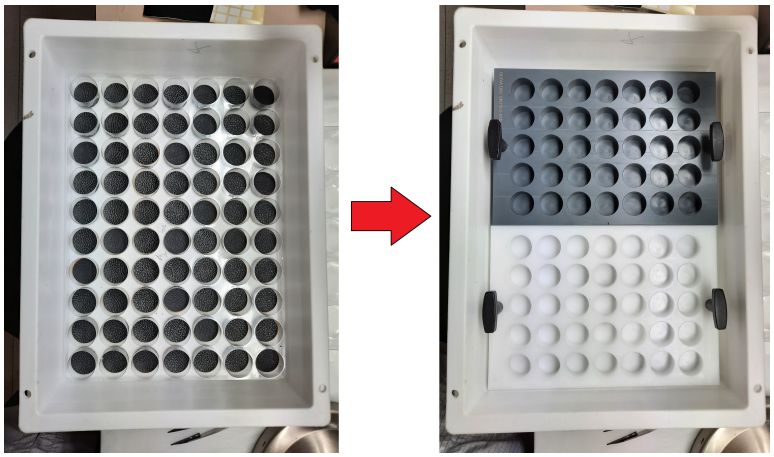


Fig. 99. Preenchimento da caixa de transporte de casquilhos antes (à esquerda) e depois (à direita) da implementação da ferramenta projetada.

Por último, e de modo a implementar as alterações de processos de colagem nas linhas de montagem, foram realizados manuais de instruções provisórios para serem seguidos até que as alterações fossem oficialmente inseridas nos planos de montagem. No anexo A - "Guião de procedimento de operação para a colagem das lentes oculares do CRF recorrendo ao robô *Janome*" apresenta-se o guião de procedimento elaborado para o caso das lentes oculares do CRF.

6 Outras melhorias de ferramentas e de processos

Na presente secção apresentam-se diversos tipos de melhorias implementadas nas linhas de montagem nas quais decorreu o estágio. São fruto não só do estudo das diferentes etapas de montagem, como também de sugestões e solicitações de diferentes membros da equipa.

6.1 Implementação de um sistema de acionamento da estufa UV

Como mencionado anteriormente em diversas etapas, certas colagens de componentes, nomeadamente as colagens realizadas com cola UV, requerem exposição à luz UV de modo a serem submetidas a secagens rápidas, completando o processo de colagem. Um dos alvos de estudo durante o estágio foi precisamente a estufa na qual se realizava este processo, apresentada na Figura 100.

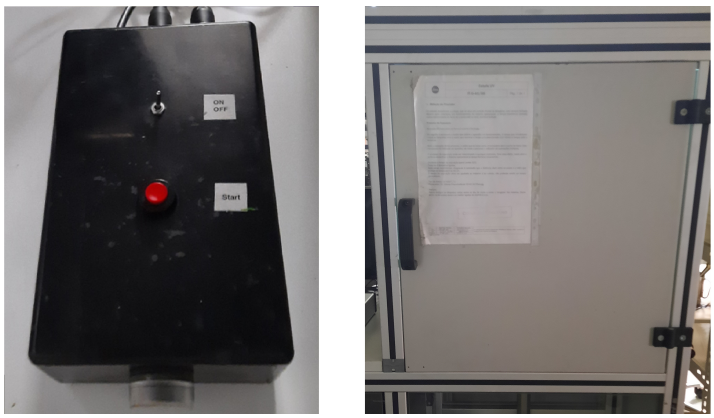


Fig. 100. Comando da estuda UV (à esquerda) e a estufa (à direita).

Trata-se de um botão que, quando acionado, alimenta uma eletroválvula, que por sua vez, provoca a abertura de um conjunto de cortinas mecânicas de modo a permitir a passagem dos raios de luz UV. Após o acionamento do botão, a estufa funciona durante 3 minutos, devido a um sistema elétrico que retém a eletroválvula pilotada durante esse tempo.

A estufa UV é um mecanismo comum às 3 linhas de montagem nas quais se inseriu o estudo, sendo que, no momento em que foi projetado o sistema original, apenas existiam secagens com a duração de 5 minutos. Com o surgimento de novos produtos e novas necessidades de meios de secagem, surgiram também novos componentes que após o procedimento de colagem requeriam tempos de exposição à luz UV de 3 minutos. De modo a compatibilizar as necessidades de todos processos, regulou-se o temporizador associado ao sistema anteriormente descrito para 3 minutos. Assim, no caso das secagens com duração de 3 minutos, procedia-se à realização de um ciclo, enquanto que no caso dos restantes componentes se realizavam dois ciclos.

Outro alvo de estudo dizia respeito à sinalização da estufa, sendo que, no sistema mencionado, o estado de funcionamento da estufa se identificava apenas pela luminosidade

das bordas da porta da mesma. Porém, dado que o sistema era de uso comum para 3 linhas de montagem, diversos postos de trabalho cujos trabalhadores recorriam à estufa não permitiam a visibilidade da mesma, o que implicava que os trabalhadores necessitassem de se deslocar para perceber se a estufa se encontrava livre ou em utilização.

Exemplificando, e expondo os casos mais evidentes, um trabalhador num posto de trabalho distante do sistema apresentado, ao terminar o processo de colagem, desloca-se até à estufa para proceder à secagem de 5 minutos e depara-se com a estufa em funcionamento. Terá de se deslocar novamente até ao seu posto de trabalho para posteriormente regressar à estufa, ou poderá pousar as unidades a serem secadas perto da estufa de modo a serem lá colocadas pelo trabalhador que irá recolher os produtos que estavam a ocupá-la. Esta segunda opção implicaria depender de outras pessoas e poderia não resultar no procedimento correto de secagem. Para além da logística de iniciação do processo, e dado que se trata de uma colagem de 5 minutos, e consequentemente de dois ciclos, é necessário que, ao fim do tempo do primeiro ciclo, o trabalhador se desloque até à estufa para iniciar o segundo ciclo. Mais uma vez, teria de se deslocar sem saber se a estufa já tinha terminado o tempo da primeira etapa ou não.

Pela análise da situação exposta, e com vista a solucioná-la, projetou-se um sistema com dois botões de entrada (um para a estufa funcionar 3 e outro para 5 minutos), adicionando também uma luz LED sinalizadora em paralelo com o sistema de acionamento da estufa, de modo a sinalizar o estado de funcionamento do sistema numa posição suficientemente alta de forma a ser visível em todos os postos de trabalho que necessitavam de recorrer à estufa.

Procurando dar continuidade ao projeto enunciado, e recorrendo aos meios disponibilizados, optou-se por utilizar um PLC (Controlador lógico programável). Apesar de poderem existir soluções menos complexas, foi pelo referido método que se optou, não só porque o mencionado aparelho estava disponível na fábrica, mas também porque seria possível aplicar os conhecimentos adquiridos no mestrado de automação. Por último, refere-se também que o aparelho é de alimentação de 24 Volts, sendo compatível com os restantes componentes a serem inseridos no sistema.

6.1.1 Programação do sistema

Numa fase inicial, definiu-se o diagrama de tempo do funcionamento projetado, exposto na Figura 101. Apresentam-se os dois Botões que acionariam a estufa e o *Output* que serviria de alimentação para a eletroválvula e para a luz LED.

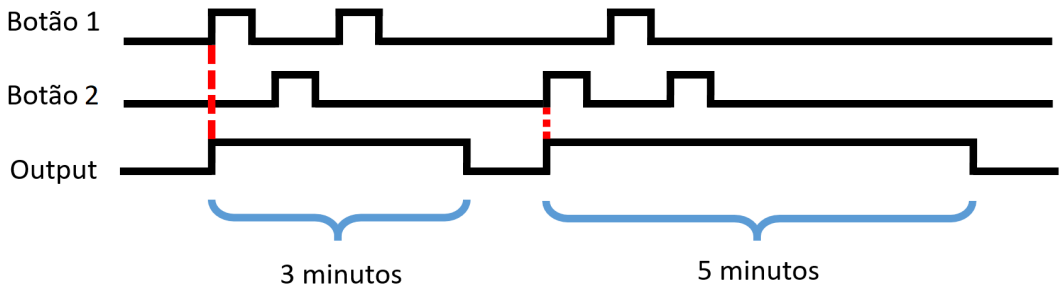


Fig. 101. Diagrama de tempo do funcionamento pretendido.

Estando definido o sistema, deu-se seguimento ao projeto recorrendo ao PLC Barth STG-800, apresentado na Figura 102.



Fig. 102. Mini PLC utilizado. (imagem de [28])

Ao estudar o funcionamento do PLC, concluiu-se que este continha duas entradas digitais (*input* 4 e 5), sendo as restantes analógicas. Quanto aos elementos de saída, utilizou-se a saída também digital *output 1* [28]. Na equação que se segue apresenta-se, recorrendo à álgebra booleana, o funcionamento pretendido, sendo que os *inputs* 4 e 5 correspondem, respetivamente, aos botões 1 e 2 e o *output 1* corresponde ao *output* anteriormente definido.

$$OUT1 = IN4 \bullet \overline{OUT1} + IN5 \bullet \overline{OUT1} = (IN4 + IN5) \bullet \overline{OUT1} \tag{6}$$

Por último, e recorrendo à linguagem de programação compatível com o PLC, programou-se em *function block* o sistema projetado, apresentado na Figura 103.

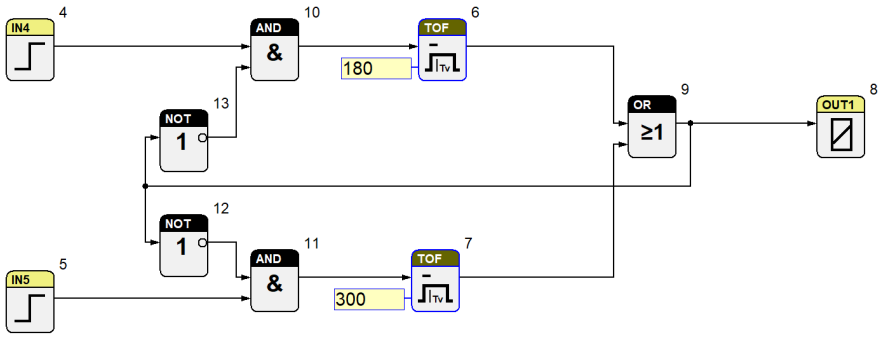


Fig. 103. Diagrama de programação em *funtion block*.

Após a realização do programa, procedeu-se, recorrendo ao modo de simulação no *software* disponibilizado, à verificação do seu funcionamento. Na Figura 104 apresenta-se o sistema no estado em que a estufa já se encontra em funcionamento por 3 minutos (180 segundos), sendo que se procederá à sua explicação. O número correspondente a cada bloco encontra-se apresentado na Figura 104 no seu canto superior direto.

O tempo de funcionamento da estufa durante os 3 minutos é assegurado pelo temporizador *off-delay* (bloco número 6), tendo sido previamente acionado pelo botão 1, ou *input 4* (bloco número 4). No estado apresentado na Figura em estudo destaca-se que, uma vez tendo sido acionado o *output* (bloco número 8), ao pressionar qualquer um dos dois botões (blocos 4 e 5), não haverá qualquer influência no atual ciclo da estufa, particularidade projetada no diagrama de tempo anteriormente exposto e garantida pela condição da negação do *output* (blocos 12 e 13), como condição necessária à ativação de ambos os temporizadores (blocos 6 e 7).

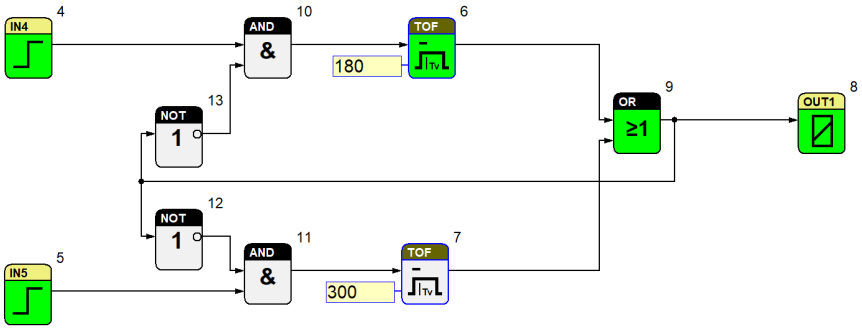


Fig. 104. Teste em modo simulação do programa em *funtion block*, estando apresentadas a verde as variáveis acionadas. Os valores de tempo nos temporizadores apresentam-se em segundos.

6.1.2 Circuito elétrico

Estando o PLC programado e testado, procedeu-se à inserção do mesmo num circuito elétrico de modo a realizar a funcionalidade pretendida. Na Figura seguinte apresenta-se em esquema o circuito implementado.

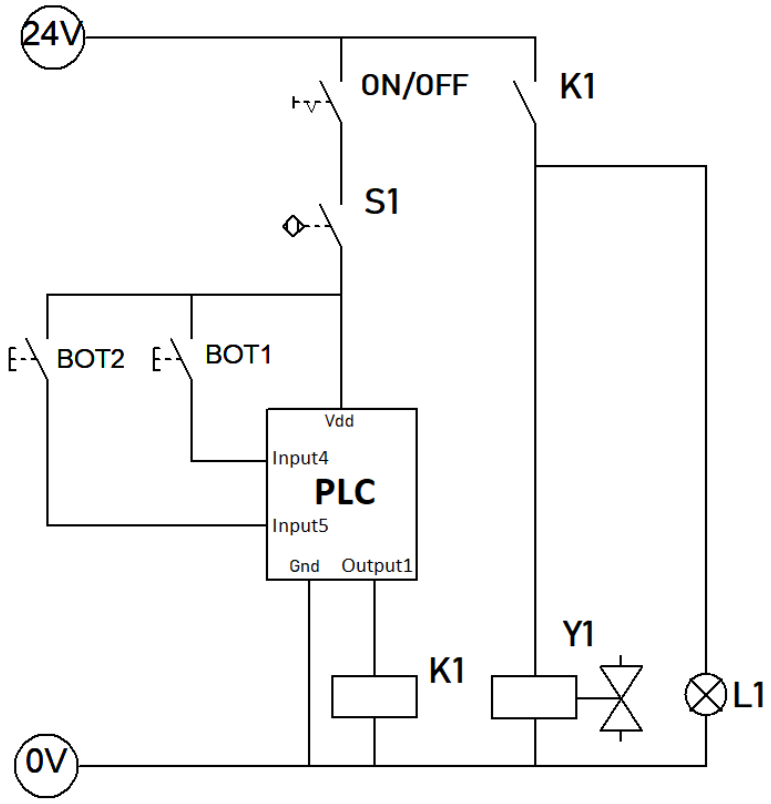


Fig. 105. Sistema elétrico a implementar no mecanismo da estufa.

Focando no PLC *Barth*, identifica-se que a alimentação do mesmo é proveniente de uma fonte DC de 24 Volts, dependendo simultaneamente de dois contactos, ON/OFF e S1, apresentados na Figura 105. Uma vez que estão em série, é necessário que ambos os interruptores permitam a passagem da corrente de modo a alimentar o PLC. O primeiro corresponde a um interruptor de acionamento manual, enquanto que o segundo é de acionamento eletrónico através de um sensor de proximidade que atua com o fecho da porta da estufa. Assim, enquanto a porta se encontrar aberta, garante-se que a estufa não se encontra em funcionamento, ao não haver atuação do contacto S1, mantendo-se este aberto. Em paralelo com o PLC apresentam-se os botões de acionamento, estando o Botão 1 (Bot1) e o botão 2 (Bot2) associados às entradas *Inputs* 4 e 5, respetivamente, tal como projetado. Por último, o sinal de saída (*Output1*) é dirigido para a bobina de um relé para posteriormente ocorrer a ligação do contacto de ativação da eletroválvula (acionada pelo solenoide Y1) e da luz LED implementada (L1). Justifica-se a necessidade de utilização de um relé (K1) estando a bobina e a alimentação do contacto associados à mesma fonte DC de modo a garantir que a alimentação, quer

do acionamento do solenoide, quer da luz LED, é diretamente proveniente da fonte de alimentação com a intensidade de corrente necessária.

6.1.3 Implementação e comparação dos sistemas

Uma vez testados o programa e o circuito elétrico, procedeu-se à inserção dos componentes numa caixa, apresentada no lado direito da Figura 106, e à implementação da mesma na estufa UV.



Fig. 106. Sistema de acionamento da estufa original (à esquerda) e modificado (à direita).

Apesar de aparentar ser uma pequena alteração no sistema de acionamento da estufa, ao passar a haver duas opções de tempo de secagem poupa-se tempo pelos motivos enunciados anteriormente. Também é reconhecido o valor e a utilidade do método de sinalização implementado ao ter sido comprovado que a localização do sinal luminoso era visível para todos os operadores dos diferentes postos de trabalho que recorrem à estufa UV. Na Figura 107 mostra-se a estufa antes da implementação (à esquerda), sendo apenas através da luminosidade da estufa e só sendo visível para quem se localizava perto da mesma, com o sistema implementado (à direita). Por último, menciona-se também que, ao ter sido inserido no sistema um PLC, se abrem portas para possíveis ajustes de temporização caso surjam alterações ou até novos processos de secagem, permitindo também, se necessário, a adição de outras funcionalidades.

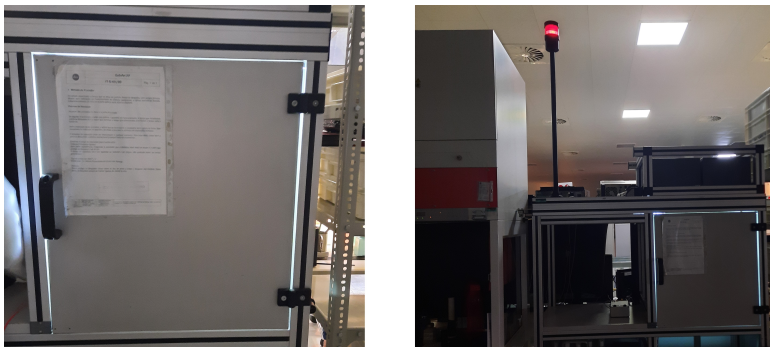


Fig. 107. Comparação entre a sinalização de funcionamento no sistema anterior (à esquerda) e no implementado (à direita).

6.2 Base para verificação de alinhamento

Este projeto surge da seguinte premissa: vários produtos montados na fábrica e posteriormente entregues aos clientes eram devolvidos devido à insatisfação quanto à orientação da placa autocolante do logótipo da empresa. A etapa na qual se procedia à colagem da mesma era seguida de um controlo visual para verificar a orientação da placa. Estando perante uma análise subjetiva, e sendo que, em alguns casos, o posicionamento da placa se localizava em superfícies inclinadas e distantes de qualquer referência geométrica, havia uma certa vulnerabilidade no processo.

Com o intuito de minimizar a ocorrência do tipo de defeito enunciado, projetou-se uma base para verificação do alinhamento, tendo como referência a linha de texto dos caracteres do logótipo. Numa fase inicial averiguou-se o estado dos binóculos durante o procedimento de colagem a nível de componentes, de modo a ser possível implementar uma ferramenta nesse posto. Seguidamente, e recorrendo ao desenho 3D das unidades, mediu-se a distância entre a superfície de apoio dos binóculos nas condições correspondentes à etapa mencionada e o autocolante, como apresentado na Figura 108.



Fig. 108. Medição da altura do texto do logótipo da empresa num binóculo Geovid II (à esquerda) e num CRF (à direita).

Por último, projetou-se a ferramenta com uma base de PVC na qual se fixava uma placa transparente de acrílico. Procedeu-se à abertura de rasgos na placa, de modo a simular linhas de leitura para orientar o texto do logótipo da empresa, como demonstra a Figura 109. Apresenta-se o desenho 2D no Anexo G - "Desenho da base para verificação de alinhamento".

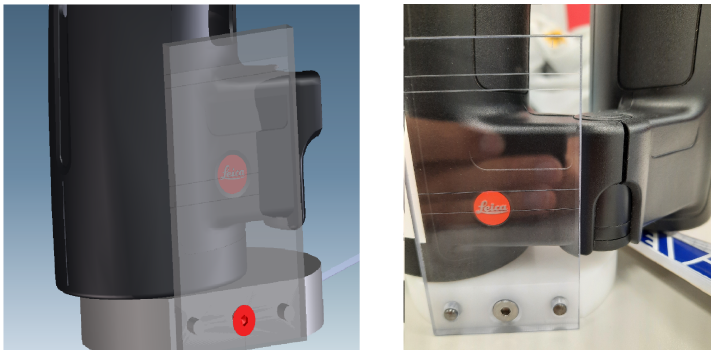


Fig. 109. Desenho 3D da ferramenta (à esquerda) e demonstração funcional (à direita).

6.3 Ferramentas suporte para soldar

Consoante as necessidades e solicitações de trabalhadores nas linhas de montagem, foram projetadas ou alteradas diferentes ferramentas, sendo que, em todos os casos, se procedeu à execução do desenho 3D das peças, de modo a serem compatíveis com processos CNC e de impressão 3D mencionados nos capítulos anteriores. As quatro ferramentas que se seguem servem de suporte para diferentes componentes das linhas de montagem, sendo atualmente utilizadas pelos técnicos de reparação em processos de soldadura. Apresentam-se em anexo os desenhos técnicos 2D das ferramentas no Anexo H - "Desenho das ferramentas suporte para soldadura".

6.3.1 Fresagem para remoção de material

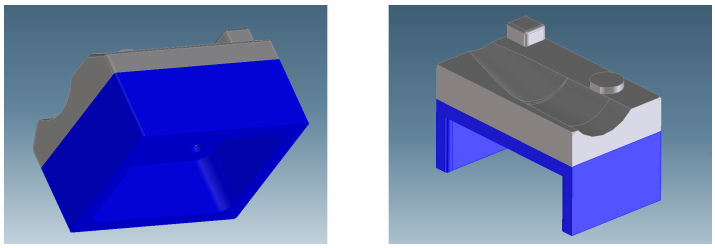


Fig. 110. Desenho 3D da ferramenta antes (à esquerda) e depois (à direita) da alteração.

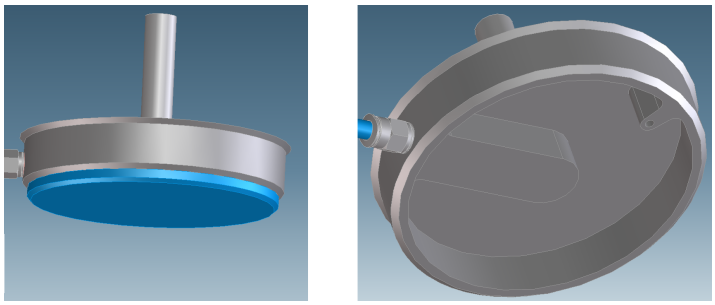


Fig. 111. Desenho 3D da ferramenta antes (à esquerda) e depois (à direita) da alteração.

Em ambos os casos apresentados, optou-se pelo processo de fresagem para remoção de material da base. No caso da ferramenta apresentada na Figura 110, ao remover o volume procurou-se tornar a utilização e manuseamento da ferramenta mais práticos. Removendo as camadas laterais da base, torna-se possível pousar a ferramenta lateralmente, disponibilizando o espaço de trabalho útil do estereomicroscópio, como demonstrado na Figura 112 à direita.

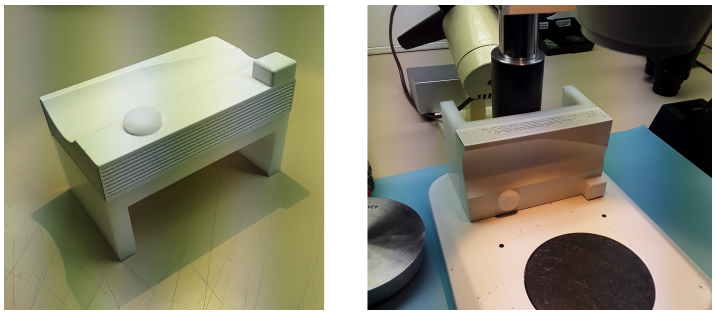


Fig. 112. Ferramenta suporte após alterações (à esquerda) e demonstração da sua vantagem estrutural (à direita).

Relativamente à ferramenta apresentada na Figura 111, a alteração teve como único objetivo tornar a ferramenta mais leve. Apresenta-se na Figura 113 a ferramenta obtida após o processo de fresagem.



Fig. 113. Ferramenta suporte após remoção de massa.

Para além da significativa redução da massa, apresentada na Tabela 7, outro aspeto positivo não previsto da alteração provém da redução da altura da placa a ser soldada. O decréscimo da cota de trabalho permite ao operador pousar a mão na mesa enquanto solda, sem ser necessário esticar forçadamente os dedos da mão.

Tabela 7. Comparação das valores de massa antes e depois da alteração.

Massa Antes	Massa Depois	Redução percentual
1,724 kg	0,629 kg	63,5%

6.3.2 Impressão 3D de ferramentas suporte

Replicou-se a ferramenta apresentada na Figura 114 de modo a aumentar a produtividade da linha de montagem. Até haver uma segunda ferramenta, os dois trabalhadores de reparação usavam a mesma, sendo que durante as fases de produção mais elevada havia períodos em que ao alternar era necessário aguardar para proceder à soldadura que

requeria o suporte. Não havendo possibilidade de trabalhar em simultâneo, aumentava-se o tempo de processo.

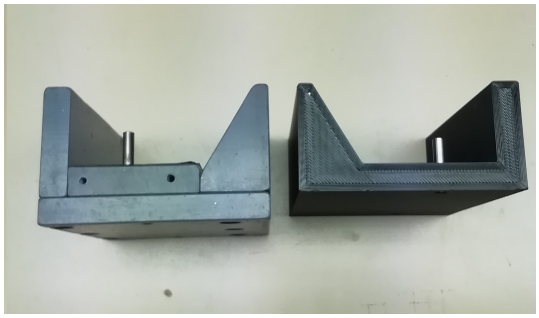


Fig. 114. Ferramenta a ser replicada (à esquerda) e réplica (à direita).

Apesar de a estrutura da ferramenta existente ser constituída por 4 peças distintas, optou-se pela impressão 3D de uma só peça, de modo a ser produzida de forma mais económica e menos demorada.

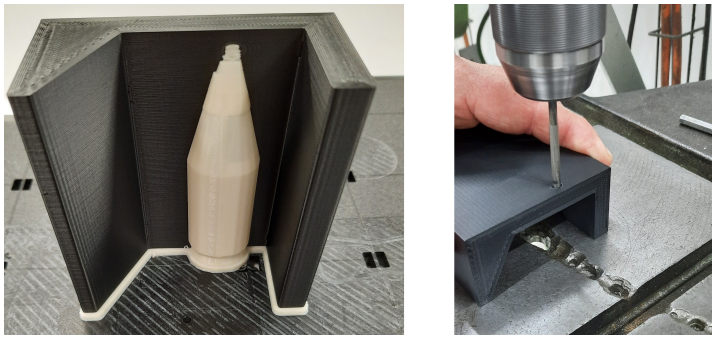


Fig. 115. Ferramenta após impressão (à esquerda) e furação (à direita).

Tal como é apresentado na Figura 115 à esquerda, projetou-se a impressão com a disposição lateral para garantir melhor acabamento nas superfícies úteis. Pode-se notar na mesma Figura a diferença da qualidade de acabamento entre as superfícies laterais e a superior. Ao dispor a peça desta forma, tornou-se necessário recorrer ao filamento auxiliar de modo a possibilitar a existência dos dois furos passantes. De cor branca, são visíveis as camadas de filamento QSR, sendo que, à semelhança do processo de impressão anteriormente descrito, foram dissolvidas, sobrando apenas o filamento útil.

Seguidamente, procedeu-se ao acabamento do furo de modo a suavizar a superfície interior e a garantir o correto toleranciamento projetado. Face às limitações do processo de impressão 3D, o furo apresentava o diâmetro nominal, ficando apenas garantido o toleranciamento ao recorrer a uma furadora. Após esta etapa encaixaram-se os pinos por aperto recorrendo a uma cola UV para garantir a fixação.

Concluiu-se que a opção de configuração da peça durante a impressão, que tornou o processo mais demorado e levou a um maior consumo de filamento, revelou a sua utilidade ao analisar o produto final.



Fig. 116. Ferramenta após adição de uma película antiderrapante.

Por último, após a utilização da ferramenta foi notado que a base deslizava com facilidade em relação à mesa de trabalho do reparador. Tal não era sentido com a ferramenta original, dado que o material que a compunha (POM) impedia o deslizamento ao conferir mais atrito. Assim, e recorrendo a uma película de cola de dupla face, adicionou-se uma película antiderrapante, como apresentado na Figura 116.

Para além da réplica da ferramenta anteriormente enunciada, foi também projetado e produzido em impressão 3D um suporte para soldadura para o CRF, apresentado na Figura 117.

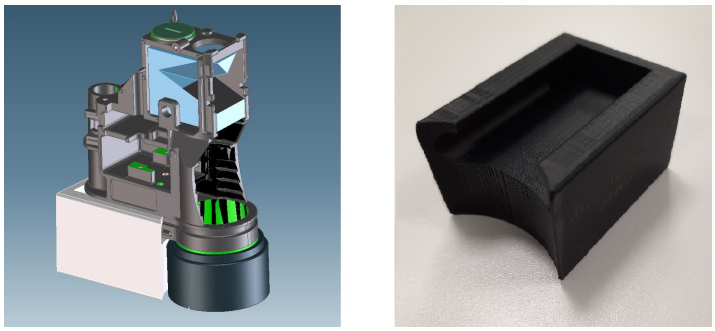


Fig. 117. Ferramenta suporte para soldadura projetada (à esquerda) e finalizada (à direita).

6.4 Melhorias de processos de colagem pelo robô *Janome*

6.4.1 Colagem automática de lentes objetivas (Geovid II)

Durante o estágio foi também alcançada a melhoria do procedimento de colagem das objetivas dos binóculos Geovid II, procedimento este realizado com recurso ao robô *Janome*. A ferramenta de colagem, ao realizar a trajetória circular contornando a lente da objetiva, colidia com a manga na qual era inserida a lente. Analisando este procedimento, verificou-se que o percurso circular do robô era excêntrico em relação ao objeto a ser colado, sendo que o desfasamento do eixo de rotação provocava não só a colisão com a peça, como também a irregularidade de distribuição de cola. A correção de tal irregularidade de disposição de cola requeria intervenção do operador, o que

retardava significativamente o processo, contrariando o propósito da automatização do mesmo.

Ajuste de programação

De modo a solucionar a questão enunciada, e sabendo que o problema residia na excentricidade entre as circunferências de trajetória e da cavidade onde seria inserida a cola, alterou-se a programação de colagem de modo a definir um correto centro de circunferência. Recorreu-se a uma ferramenta para centragem com uma marca no centro geométrico da peça em relação às duas cabeças de parafuso usadas como batentes no robô, tal como representado na Figura 118.

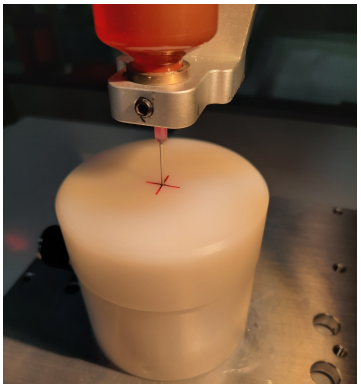


Fig. 118. Ferramenta para centragem de coordenadas no robô.

Procedeu-se à alteração do programa de colagem, ajustando a posição do centro da circunferência em função do centro calibrado da peça utilizada. Deste modo, assegurava-se que o centro da trajetória circular corresponderia ao centro do casquilho.

Apesar da mencionada alteração, verificou-se que, independentemente de a trajetória circular ser concêntrica à da lente a ser colada, seria necessário que a agulha entrasse em contacto com a manga. Justifica-se pelo facto de a cavidade onde seria depositada a cola ser de espessura inferior ao diâmetro da agulha, o que implicava a necessidade de projetar um afastamento entre a cota da ponta da emissora de cola e a da cavidade da manga (fenómeno semelhante ao verificado no Caso de "Multiplicação do processo de colagem" referente às lentes objetivas do laser do Geovid II). De modo a não danificar a lente e a assegurar que a cola atingia a cavidade, tornava-se necessário projetar uma trajetória tangente à manga.

Desenvolvimento de uma ferramenta suporte para colagem de lentes objetivas (Geovid II)

Tal como mencionado anteriormente, e de modo a inserir a cola na cavidade entre os componentes, foi projetado o movimento circular da agulha de modo a que a mesma entre em contacto com a manga numa trajetória tangente. Na Figura 119 à esquerda e em vista de corte, com a cor verde, apresenta-se a ferramenta de suporte para a

colagem. Verifica-se que a fixação da manga ocorre apenas na zona imediatamente superior ao batente. Tal particularidade causava uma ligeira inclinação do eixo da manga em relação ao da trajetória de colagem aquando do contacto da agulha com a manga, o que resultava num procedimento de colagem defeituoso e irregular. Na mesma Figura, e do lado direito, apresenta-se a ferramenta projetada com o intuito de resolver este problema.

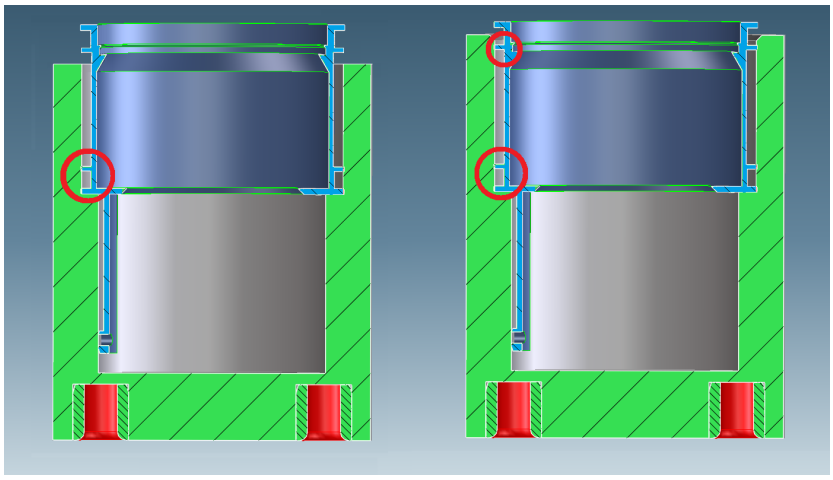


Fig. 119. Representação do desenho 3D em corte da ferramenta de suporte de colagem anteriormente utilizada (à esquerda) e a projetada (à direita).

Na Figura 119 compara-se a ferramenta anteriormente utilizada com a projetada, sendo que na segunda se elevou a superfície envolvente da manga, de modo a assegurar que a mesma serviria de batente também no topo do suporte, como destacado na Figura. A ferramenta original terá sido projetada de modo a permitir ao operador a fácil remoção da manga após terminado o processo de colagem. Não ignorando esta questão, e de modo a compatibilizá-la com o novo design, abriu-se uma cavidade para possibilitar o manuseamento do componente, como se pode observar na Figura 120 à direita. Apresenta-se o desenho da ferramenta no Anexo I - "Desenho da ferramenta suporte de colagem das lentes objetivas dos binóculos Geovid II".

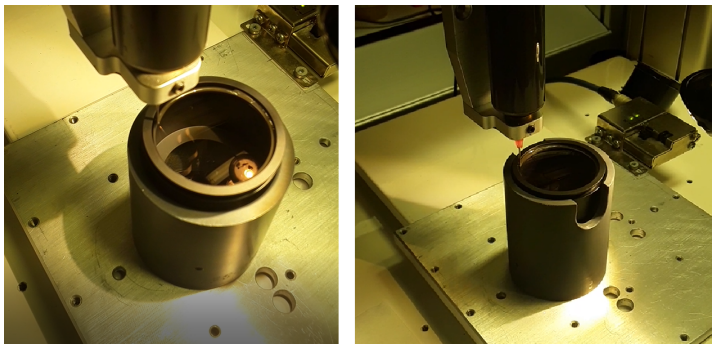


Fig. 120. Procedimento de colagem entre a lente objetiva e a manga recorrendo à ferramenta suporte anteriormente utilizada (à esquerda) e à projetada (à direita).

Obtendo a ferramenta projetada, programou-se o robô de modo a que a agulha realizasse uma trajetória circular tangente à manga. Como previsto, obteve-se um resultado positivo ao verificar a uniformidade e qualidade da colagem entre os componentes. Na Figura 120 comparam-se os procedimentos e na Figura 121 os resultados finais da colagem dos componentes para ambos os casos apresentados. Em ambas as Figuras, e do lado esquerdo, apresenta-se a falha enunciada, que ocorria frequentemente ao utilizar a ferramenta antiga. Devido à insuficiente eficácia da fixação da manga, era necessário afastar a agulha da manga, para evitar o deslocamento do conjunto que era permitido pela folga do encaixe, resultando na distribuição não uniforme de cola, e, por vezes, na deposição de cola em cima das lentes.

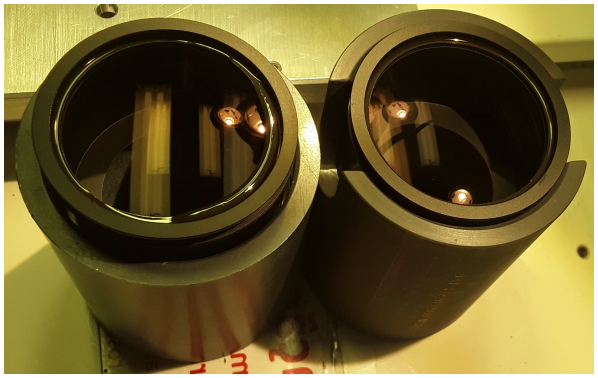


Fig. 121. Comparação da qualidade de colagem entre a lente objetiva e a manga recorrendo à ferramenta suporte anteriormente utilizada (à esquerda) e à projetada (à direita).

6.4.2 Desenvolvimento e implementação de uma placa base para o robô *Janome*

No presente estudo expõe-se uma melhoria referente ao sistema do robô *Janome*. Surge da observação e análise do funcionamento do mecanismo de fixação, sendo o mesmo realizado pelo encaixe das ferramentas em duas cabeças de parafuso, como apresenta em esquema a Figura 122. Pode-se constatar que o posicionamento das ferramentas de colagem em relação à base do robô é imperfeito, ao depender da posição das cabeças de dois parafusos que são roscados na base. Também foi verificado que, ao trocar a posição dos dois parafusos, deixava de ser possível realizar o encaixe. Simultaneamente, era notado que as ferramentas de pequenas dimensões oscilavam ao colidir com o robô em movimento, fenómeno provocado pela pequena altura de contacto do guiamento, limitada pela cabeça do parafuso de apenas 4 mm. Dado que as guias acopladas às ferramentas de colagem tinham uma altura de 10 mm, existia uma margem para melhoria. Por último, aponta-se que o mecanismo de calibração solidário à placa do robô *Janome*, destacado com um círculo de cor azul na mesma Figura, estava fixo apenas lateralmente, ficando sujeito à flexão. Qualquer deslocamento deste mecanismo levaria a uma incorreta calibração da ponta de seringa, gerando significativas alterações nas trajetórias de colagem do robô.

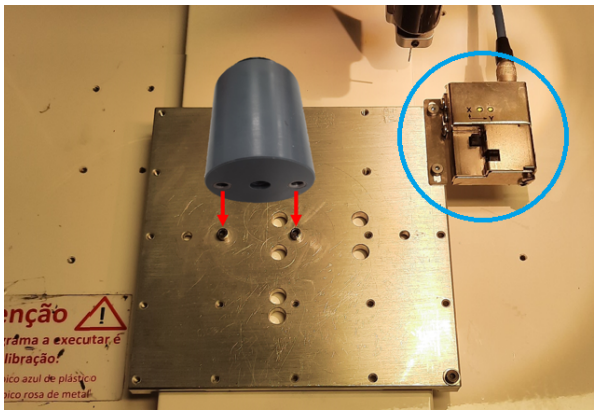


Fig. 122. Esquema do método de fixação de ferramentas de colagem na placa móvel do robô *Janome*, com destaque a cor azul no mecanismo de calibração.

Assim, projetou-se uma placa base para acoplar à placa móvel do robô *Janome* (Anexo J - Desenho da base para implementação no robô *Janome*), procurando melhorar os fatores enunciados. Na Figura seguinte, apresenta-se o desenho 3D do sistema de fixação do robô existente e o sistema projetado com numeração atribuída aos componentes.

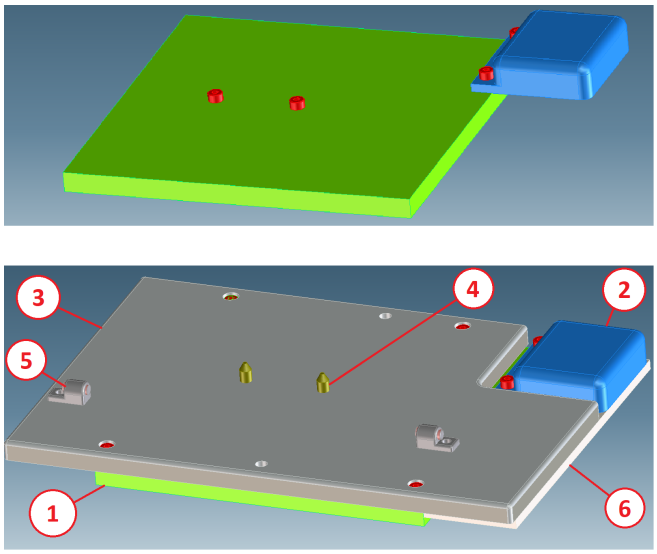


Fig. 123. Base móvel do robô (na imagem do topo) e sistema projetado para implementar na base do robô (na imagem inferior). Apresenta-se a numeração dos componentes desta imagem.

Começando pelos elementos comuns ao sistema existente e ao idealizado, identifica-se na Figura 123, a cor verde e de forma simplificada, a placa móvel do robô (1), na qual se encontra encaixado o mecanismo de calibração (2), apresentado a cor azul. Na imagem inferior, correspondente ao sistema idealizado, apresenta-se a placa projetada (3), estando a mesma fixada na placa móvel por quatro parafusos. Foram abertos quatro furos passantes, para os quatro pontos de fixação de ferramentas de colagem, nos quais se inseririam dois pinos torneados (4), apresentando no topo um perfil cónico

de modo a facilitar o encaixe. Com esta alteração, seria também facilitada a troca de posicionamento do batente no robô: enquanto que anteriormente seria necessário desaparafusar os parafusos e voltar a aparafusá-los nos outros locais de fixação, com a alteração do sistema basta trocar manualmente a posição dos pinos.

Apesar de a fixação ser assegurada ao guiar as ferramentas de suporte de colagem por dois pinos (4), devido a uma folga mínima entre as guias e os pinos ocorria uma ligeira variação do posicionamento das ferramentas de múltiplas colagens, que eram notadas devido às suas grandes dimensões. Com o intuito de assegurar um posicionamento constante, foram também projetados batentes (5) com êmbolos esféricos de mola localizados na base, de modo a serem compatíveis com o tamanho *standard* de ferramentas de múltiplas colagens definido anteriormente. Também serviriam para localizar o posicionamento das ferramentas de colagem e facilitar o seu encaixe. Na Figura 124 apresenta-se o desenho 3D deste componente, bem como a sua função após implementado.

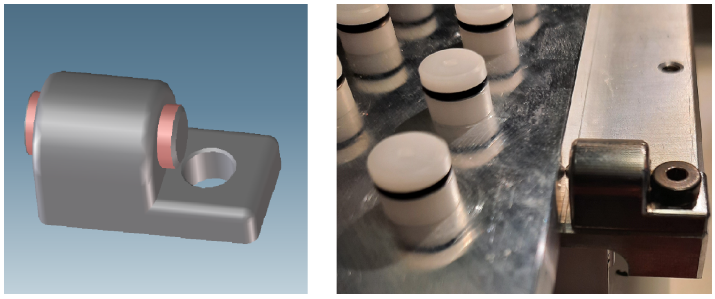


Fig. 124. Batente projetado (à esquerda) e implementado na base movél do robô (à direita).

Apesar de a base ter sido projetada com dois batentes, acabou por se utilizar apenas um deles, ao verificar a redundância da presença de ambos. Definiu-se a direção do batente que deveria permanecer na base ao estudar qual das posições estáticas da folga assegurava um paralelismo entre as ferramentas de colagem e os eixos de trabalho do robô.

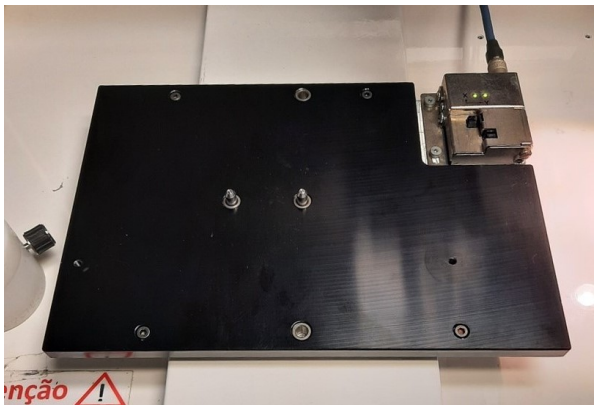


Fig. 125. Novo *layout* implementado no robô *Janome*.

Uma vez produzido o sistema de fixação, montou-se o mesmo na base móvel do robô, obtendo o *layout* apresentado na Figura 125. Na Figura 126, do lado esquerdo, apresenta-se o efeito pretendido de suporte do mecanismo de calibração, através da placa número (6) apresentada na Figura 123. Deste modo, assegura-se que o mecanismo se mantém na sua correta posição. Do lado direito da Figura 126 pode-se observar a ferramenta projetada para múltiplas colagens de lentes oculares apoiada na nova base do robô. É relevante apontar que o novo sistema conferiu uma maior área de contacto entre a base e as ferramentas do tamanho *standard*.

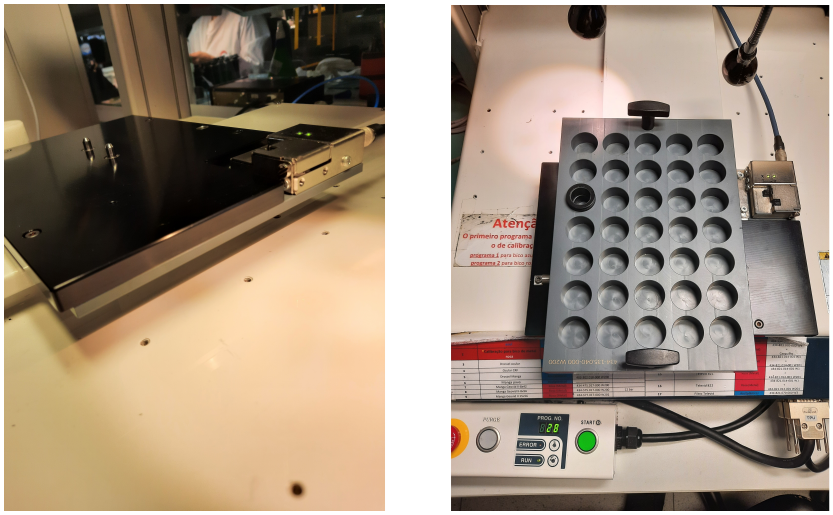


Fig. 126. Vista lateral do novo sistema implementado no robô, na qual se observa que a placa cinzenta serve de apoio ao mecanismo de calibração (imagem da esquerda) e encaixe de uma ferramenta no novo sistema do robô.

Por último, é de referir que ao projetar a base para o robô foi tida em conta a massa do sistema a implementar, dadas as limitações do próprio robô. Antes de produzir o sistema, e recorrendo às ferramentas de análise de materiais do programa de modelação 3D utilizado, previu-se, com alguma margem de erro, uma massa de todos os componentes a adicionar de cerca de 3 kg, sendo a ferramenta de suporte de colagem mais pesada de 4 kg. No caso mais crítico, haveria menos de 10 kg aplicados na base móvel do robô, sendo o valor máximo suportável, já apresentado juntamente com as especificações do aparelho, de 15 kg.

6.5 Contribuição para o arranque de produção de um novo modelo (Geovid III)

Nesta secção será exposto o trabalho realizado no âmbito da introdução de um novo modelo numa das linhas de montagem em que se inseriu o presente estágio, a dos binóculos Geovid III. Antes do arranque da produção do mesmo é preciso assegurar que existem as ferramentas necessárias para que os operadores consigam realizar os diferentes procedimentos de montagem de forma correta e eficiente. Para tal, procede-se à projeção e desenvolvimento de ferramentas e processos de modo a que o procedimento

de montagem esteja definido e agilizado aquando do começo de produção.

6.5.1 Automatização e multiplicação do processo de colagem de lentes da manga

Apresenta-se novamente a metodologia aplicada nos capítulos anteriores de automatização e multiplicação de processo de colagem. Apesar da semelhança em relação aos temas anteriormente expostos, esta etapa é incluída na atual secção pelo facto de se inserir num conjunto de implementações e melhorias com um objetivo comum: a contribuição para o arranque da montagem de um novo produto. Outro motivo que torna esta atividade distinta das restantes reside no facto de que antes desta implementação não existia qualquer processo oficialmente utilizado na colagem destas lentes, por se tratar de um projeto em fase inicial.

Assim, e seguindo os moldes anteriormente expostos, projetou-se e implementou-se o processo de colagem automático em ferramentas-base para múltiplas colagens. Na Figura 127 apresenta-se o desenho 3D no *software* de modelação, bem como o resultado final após a produção da ferramenta. Apresenta-se também o desenho 2D da ferramenta no Anexo K - "Desenho da ferramenta suporte de múltiplas colagens (12x) das lentes da manga do produto Geovid III em desenvolvimento".

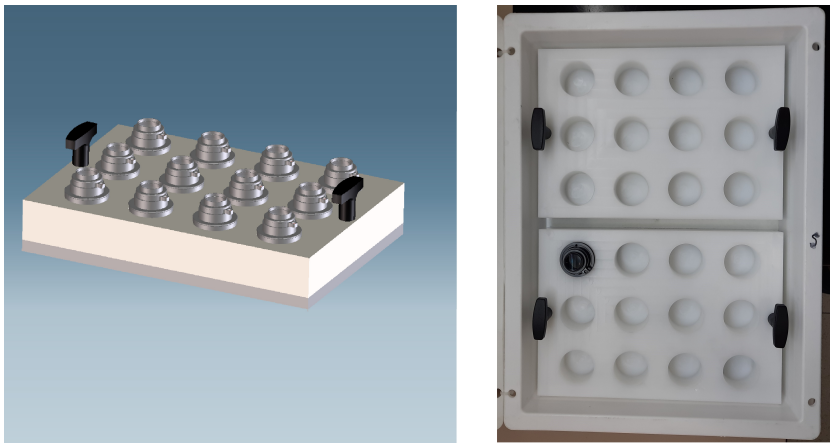


Fig. 127. Desenho 3D da ferramenta (à esquerda) e dois exemplares do produto final numa caixa de transporte (à direita).

6.5.2 Construção de grades transportadoras de lentes

Como mencionado anteriormente, todas as lentes provenientes do Departamento de Ótica são submetidas a um processo de lavagem antes de serem utilizadas na montagem. São colocadas em grades transportadoras e inseridas num mecanismo de lavagem automática. De modo a possibilitar a lavagem e o transporte das lentes do novo modelo Geovid III, foram construídas grades para cada tipo de lentes. Durante o estágio contribuiu-se ao construir três grades diferentes, sendo uma delas apresentada na Figura 128.

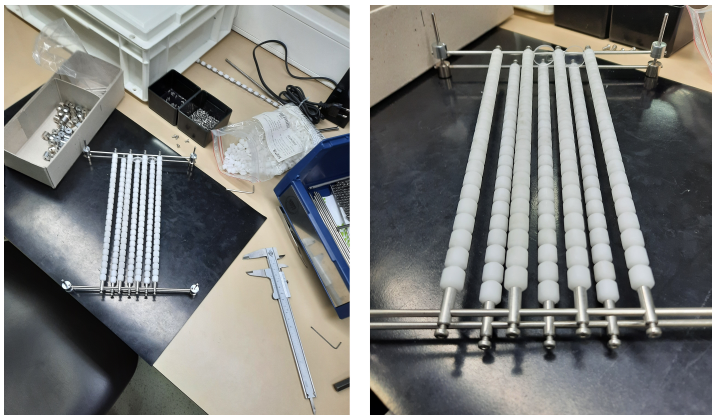


Fig. 128. Construção de uma grade transportadora de lentes.

6.6 Sumário

Apesar de não serem traduzíveis em resultados palpáveis ou numéricos, é reconhecido o valor e utilidade não só por todas as implementações terem correspondido à função idealizada e projetada, como também pela satisfação notada nos operadores que trabalham com as ferramentas e processos nos quais ocorreu alguma intervenção.

No que toca à contribuição para o arranque de um novo modelo Geovid III, considerou-se verdadeiramente desafiante e frutuosa a participação no desenvolvimento de novas ferramentas e processos, ao terem sidos desenvolvidos de raiz e sem ter por base implementações anteriores.

7 Conclusões e trabalhos futuros

7.1 Conclusões

Este trabalho foi desenvolvido no Departamento de Montagem, no qual os processos realizados aparentavam ser maioritariamente manuais, conferindo aos produtos Leica um maior prestígio e reconhecimento ao ser garantida a qualidade individual e única em cada produto. Porém, ao estudar as diferentes etapas de colagem passíveis de automatização sem comprometer a marca de água característica da empresa, e estudando o robô cartesiano disponibilizado, alcançou-se com sucesso a automatização de diferentes processos. Foram também postas à prova as capacidades de programação ao desenvolver diversos programas para o robô em estudo, e ao programar e implementar um PLC num sistema eletrónico.

Dada a limitação do tempo do estágio e a necessidade de compatibilizar o procedimento experimental com a escrita da dissertação, é reconhecido o patamar de otimização alcançado durante o estágio realizado, ao terem sido atingidas melhorias significativas que resultaram num aumento da produtividade. Simultaneamente, é também reconhecida e valorizada a satisfação por parte dos operadores do Departamento de Montagem ao terem sido introduzidas novas ferramentas e procedimentos ergonómicos.

Por último, é relevante mencionar que a atual situação pandémica, da qual deriva um certo afastamento social, dificultou a comunicação e interação entre os elementos em constante colaboração durante este período. Apesar da conotação individual do presente trabalho, considera-se imprescindível para a sua realização a existência dos diferentes alicerces que constituem a comunidade Leica, desde os técnicos do Departamento de Montagem aos fornecedores da Ferramentaria do Departamento de Mecânica. Destaca-se o exemplar comportamento da referida comunidade face ao período atípico que se viveu durante este estágio, que proporcionou uma constante sensação de segurança aquando das atividades presenciais realizadas.

7.2 Trabalhos futuros

Dada a dimensão da fábrica na qual o estágio decorreu, é de mencionar a evidente imensidão de potenciais melhorias ainda não exploradas.

Relativamente ao aproveitamento do robô *Janome*, e começando pelo mais evidente face ao presente trabalho, salienta-se a implementação da automatização e multiplicação de processos de colagem noutras linhas e setores da fábrica como uma potencial melhoria, dado já ter sido provada a sua viabilidade. Lança-se também o mote para a adição de um novo eixo de rotação associado a um braço robótico, no qual seria fixada a peça a colar, possibilitando percursos em trajetórias atualmente inexequíveis, de forma a permitir a colagem de unidades mais complexas.

Menciona-se também a intenção de desenvolver uma base de dados de reserva de recurso, em formato físico ou digital, na qual se inseriria o tempo disponível para utilização do robô e se calendarizariam as necessidades diárias ou semanais de cada procedimento de colagem de modo a planificar e otimizar a utilização do mesmo. Tal método não fazia falta até terem sido implementados os procedimentos de colagem expostos, uma vez que existia uma baixa taxa de utilização do robô.

Por último, é proposta a elaboração de um guião de programação para projetar trajetórias de múltiplas colagens, de modo a permitir que o processo desenvolvido seja replicado por outras entidades da equipa do Departamento de Montagem.

Referências

[1] E. Puts, *Leica Compendium - The Company - The Cameras - The Lenses by Erwin Puts*. 2011.

[2] A. Kuber, "The development of 35 mm photography," 2002. DOI: https://web.archive.org/web/20061202193202/http://www.timesphotojournal.com/july2002/firstframes.html.

[3] Leica. "Uma cronologia de sucesso," [Online]. https://www.leica.pt/leica-uma-cronologia-de-sucesso/. (acedido: 12.05.2021).

[4] B. Leo, "O binóculo, esse desconhecido," *INAPE*, 2014.

[5] B. Lizadas, *Birder's Guide to Gear*. 2013, ISBN: "http://bit.ly/2GieoRQ".

[6] Canon, "Binoculars - technology guide," 2000.

[7] CREF, "Distância focal equivalente para as lentes de um telescópio," 2015.

[8] Canon, *EF LENS WORK III, The Eyes of EOS*. 2009.

[9] Edmund Optics. "Optical prism application examples."

[10] Celestron, "How to choose and use birding optics," 2013.

[11] Edmund Optics. "Introduction to optical prisms."

[12] J. Bouton, "Birding with my leica optics," 2010.

[13] A. Perger, "Prism system for image reversal in a visual observation path," *European Patent EP1069442A3*, 2000.

[14] A. Perger, "Porro prism," *US Patent 13/309,665*, 2011.

[15] Leica. "Sport optics," [Online]. https://en.leica-camera.com/SPORT-OPTICS. (acedido: 15.04.2021).

[16] M. Lopez, "Design and development of a low cost and lightweight laser rangefinder," *Tese de Mestrado*, 2012.

[17] Leica, "Leica pinmaster II pro - instructions," 2016.

[18] P. Palojärvi, "A 250-MHz BiCMOS receiver channel with leading edge timing discriminator for a pulsed time-of-flight laser rangefinder," 2005.

[19] J. Fonseca, "Sistemas de medida de distância utilizando laseres e as suas aplicações," 2016.

[20] Janome. "Jr3000 series, basic information," [Online]. https://www.janomeie.com/products/desktop_robot/jr3000_series_ap-d/index.html. (acedido: 12.04.2021).

[21] Janome. "Jr3000 series - desktop robot catalogue," 2017.

[22] Janome. "Jr3000 JC3 - teaching pendant operation," 2015.

[23] Creo. "Elements," [Online]. https://www.ptc.com/en/products/creo/elements-direct. (acedido: 10.05.2021).

[24] P. Dudek, "FDM 3D printing technology in manufacturing composite elements," *Archives of met-alurgy and materials*, vol. 58, pp. 1415–1418, 2013.

[25] Stratasys, "F123 series: Reliable, repeatable, exceptional 3D printers," 2017.

[26] DMG MORI. "DMU eVo series," [Online]. https://pdf.directindustry.com/pdf/dmg-mori/dmu-evo-series/5973-779411-_11.html. (acedido: 31.03.2021).

[27] TESA, "Tesa-hite® 400/700," 2009.

[28] BARTH, "Mini-PLC STG-800: Manual," 2017.

Anexo A

Guião de procedimento de operação para a colagem das lentes oculares do CRF recorrendo ao robô *Janome*

Orientação de encaixe

Fixar a ferramenta: orientar o número da ferramenta no canto inferior esquerdo, em relação ao utilizador.



Figura 1 – Orientação da ferramenta

Para facilitar o encaixe, guiar a marca da ferramenta pela seta desenhada na base do robô.

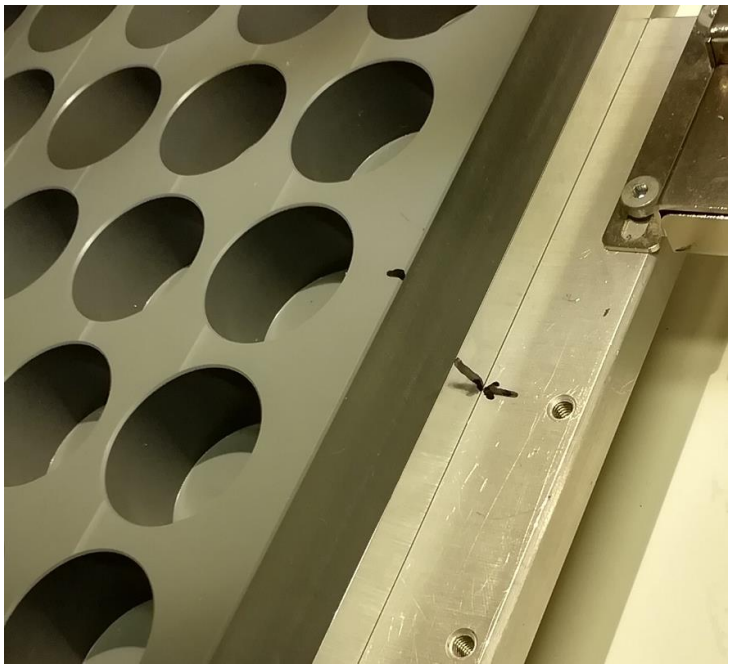


Figura 2 - Guia de encaixe

Trajetória de Colagem

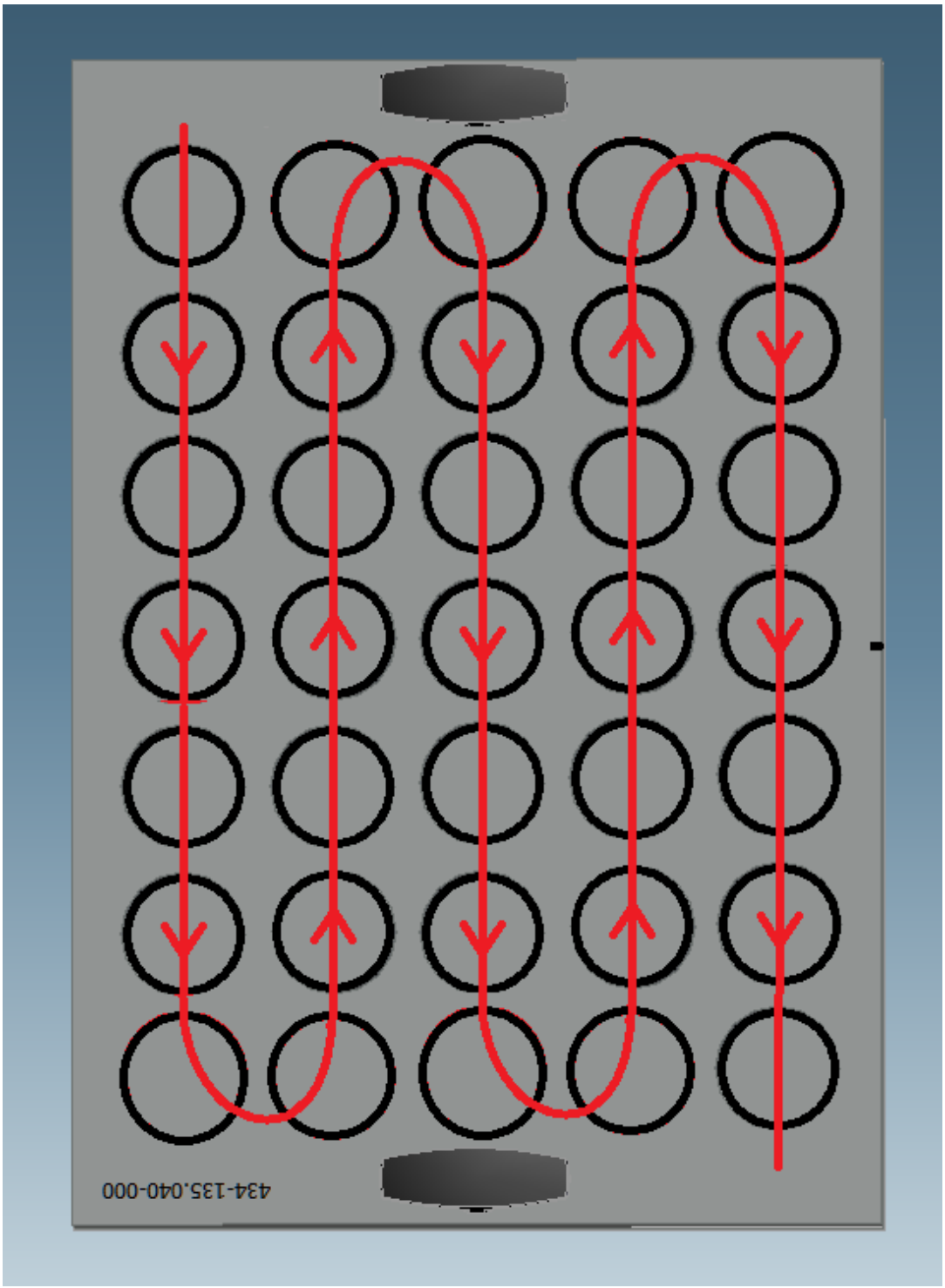


Figura 3 – Trajetória de colagem

Colagem

Programa **nº 28**

IMPORTANTE: Disposição dos casquilhos conforme a trajetória do robô (Figura 3).

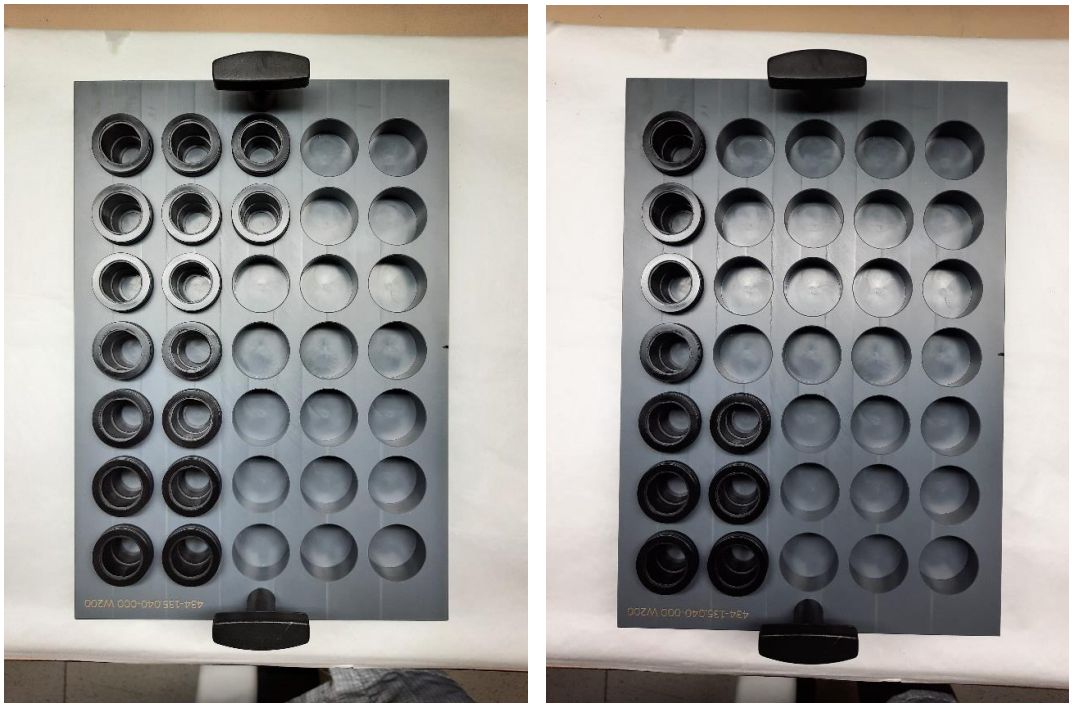


Figura 4 - Exemplos de disposição de um número de casquilhos inferior ao valor total disponível.

O programa termina apenas quando o robô cumpre a trajetória na sua totalidade. Para realizar a colagem de uma quantidade inferior de casquilhos, dispor os mesmos consoante a trajetória do robô e terminar o programa manualmente através do "Procedimento de Paragem" (apresentado na próxima página).

Procedimento de paragem

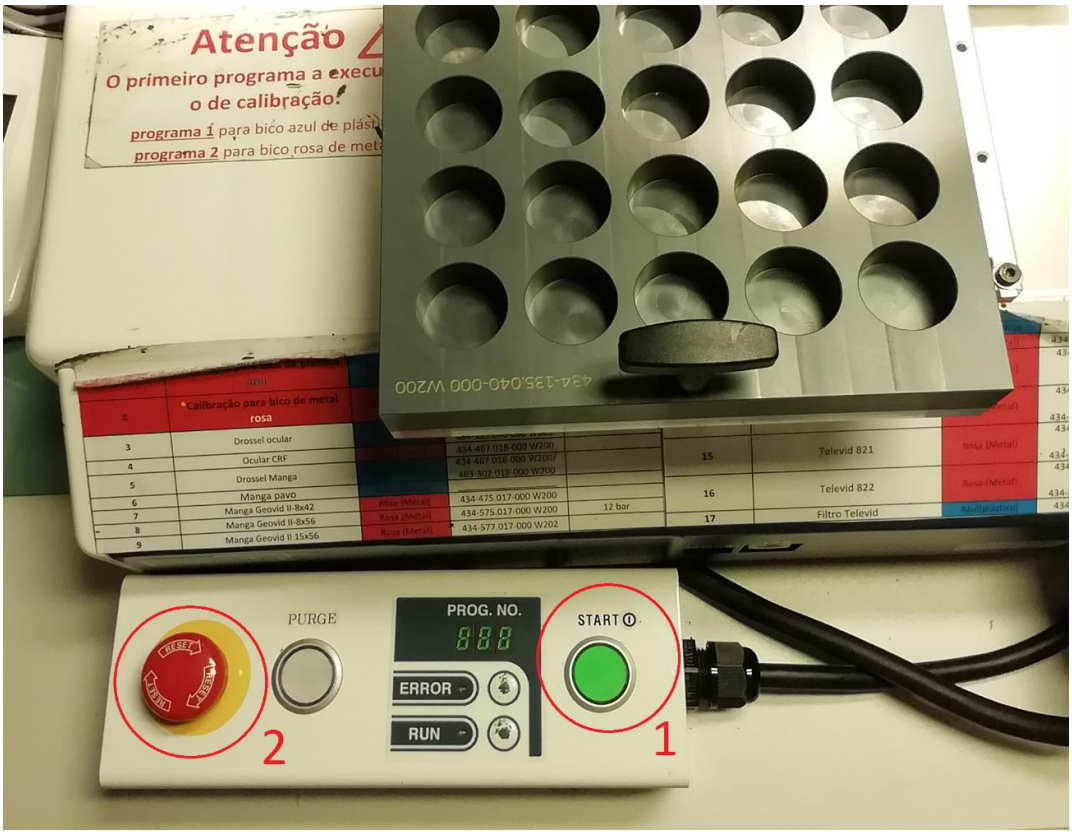


Figura 5 – Procedimento de paragem

1. Pressionar o botão **“start”** durante a colagem do último casquilho (botão 1)
    - Ao concluir a última colagem, o robô termina o movimento;

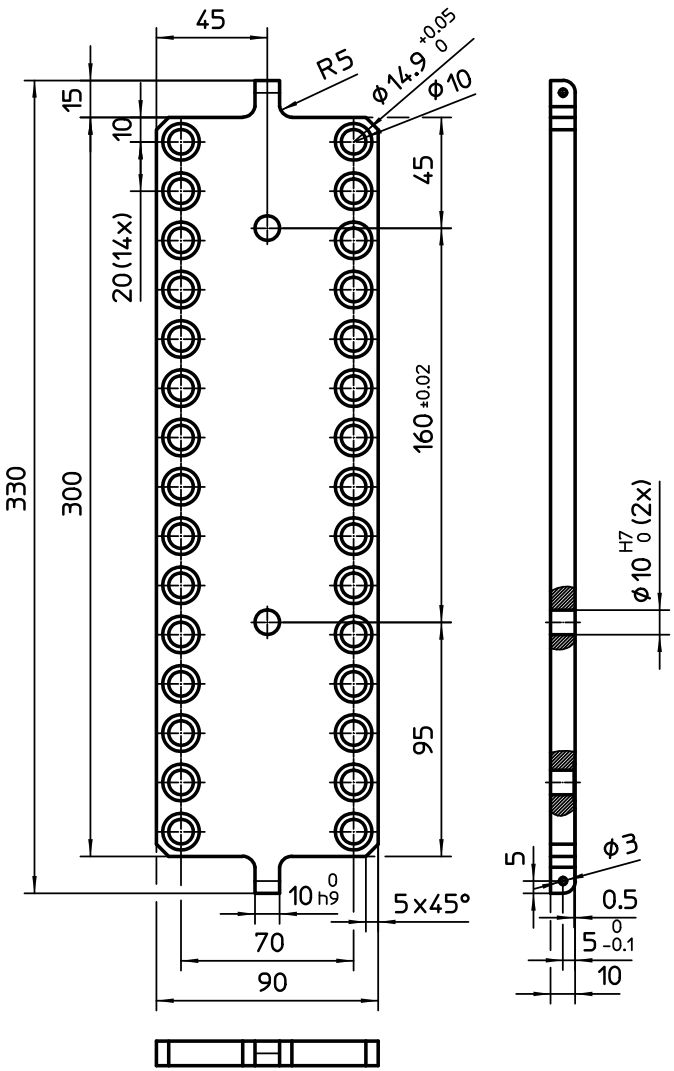
2. Pressionar o botão **“stop”** (botão 2)
    - A seringa sobe, afastando-se da ferramenta. O botão “stop” fica preso na posição pressionada;

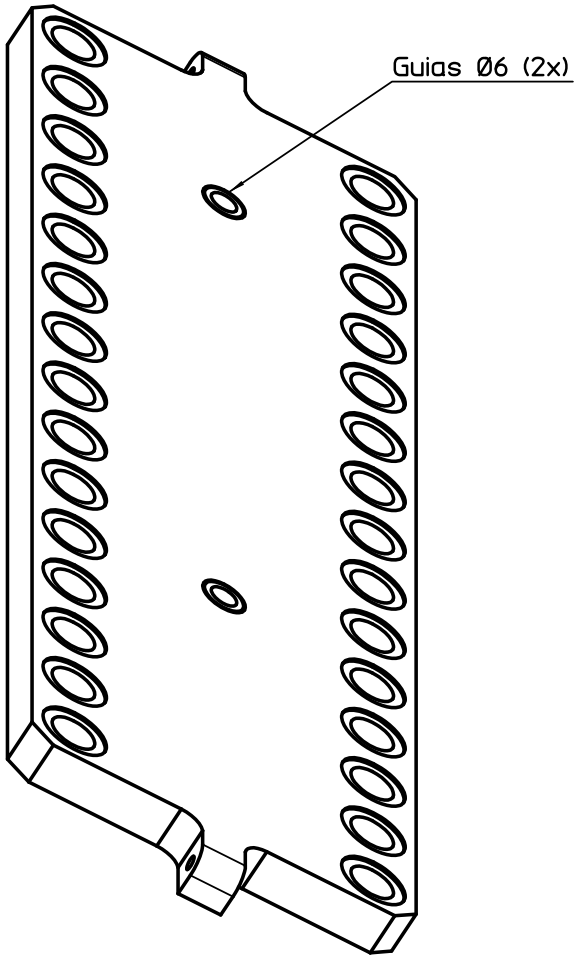
3. Roscar o botão **“stop”** (botão 2) de modo a que se solte;

4. Pressionar novamente o botão **“start”** (botão 1) para levar o robô para a sua posição de repouso.

Anexo B

Desenho da ferramenta suporte de colagem dos espelhos colimadores do produto CRF

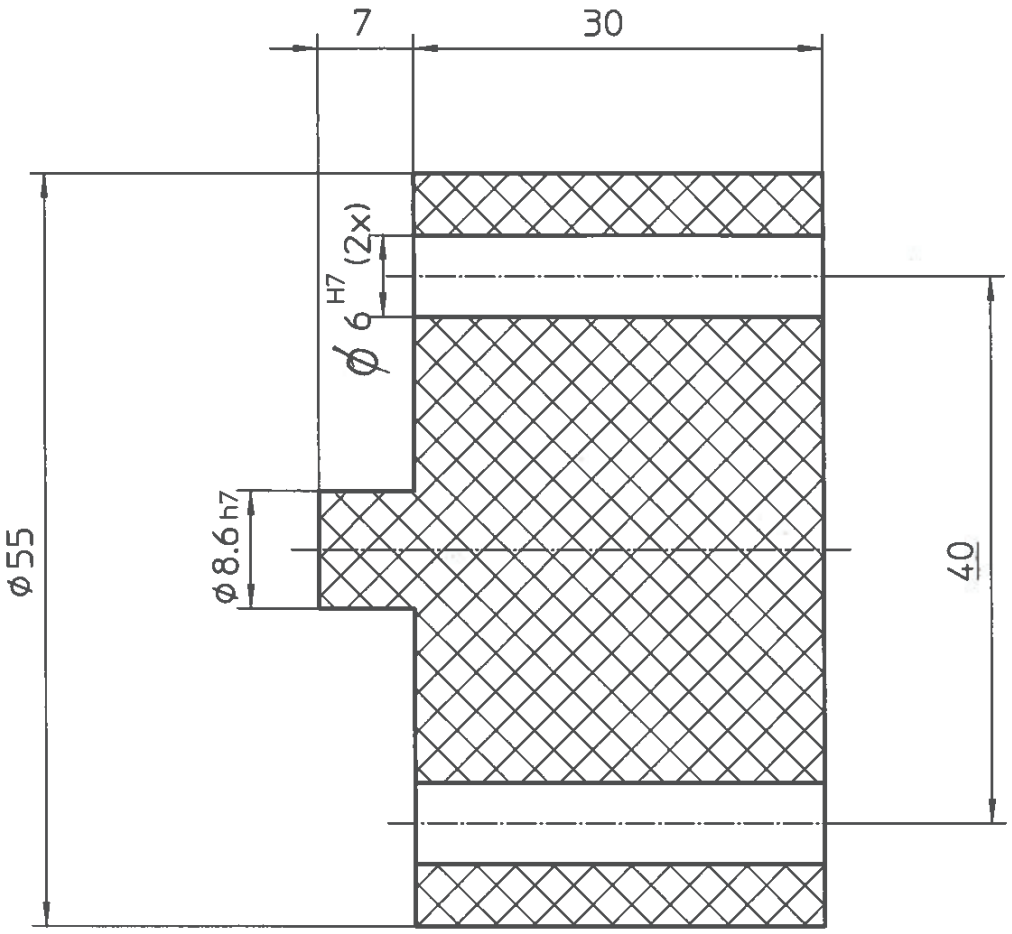

45
R5
ø14.9 +0.05 0
ø10
15
10
45
20 (14x)
160 ±0.02
330
300
95
ø10 H7 0 (2x)
ø3
5
0.5
5 0 -0.1
10
10 h9 0
5x45°
70
90


Guias Ø6 (2x)

1:1

Anexo C

Desenho da ferramenta suporte de colagem das lentes objectivas do laser do produto Geovid II

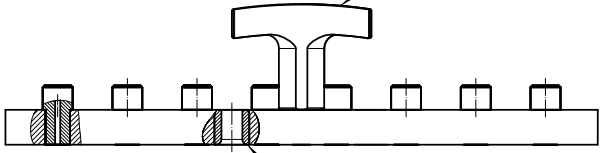


2:1

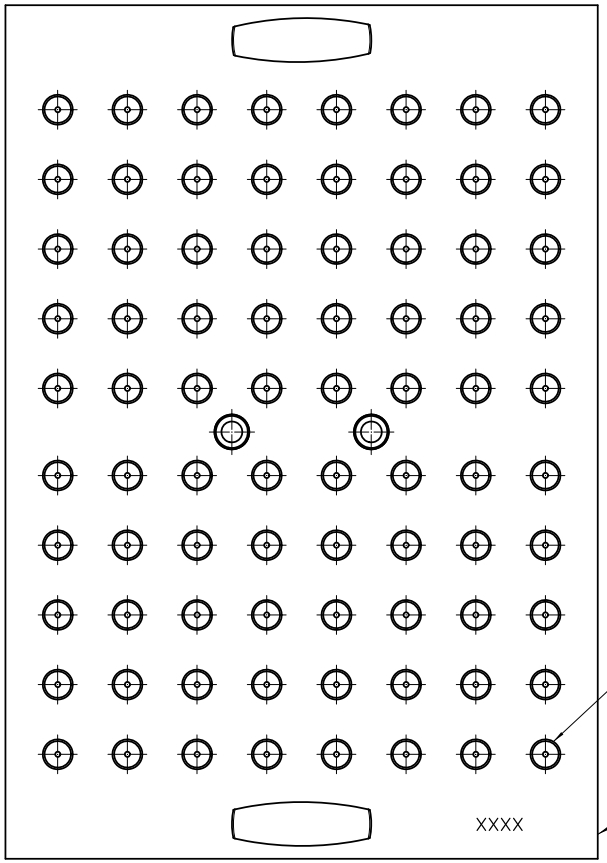
Anexo D

Desenho da ferramenta suporte de múltiplas colagem (80x) das lentes objectivas do laser do produto Geovid II

2x Pega em T - Norelem T06649-24005x15 com alteração: reduzir 5mm ao comprimento no M5

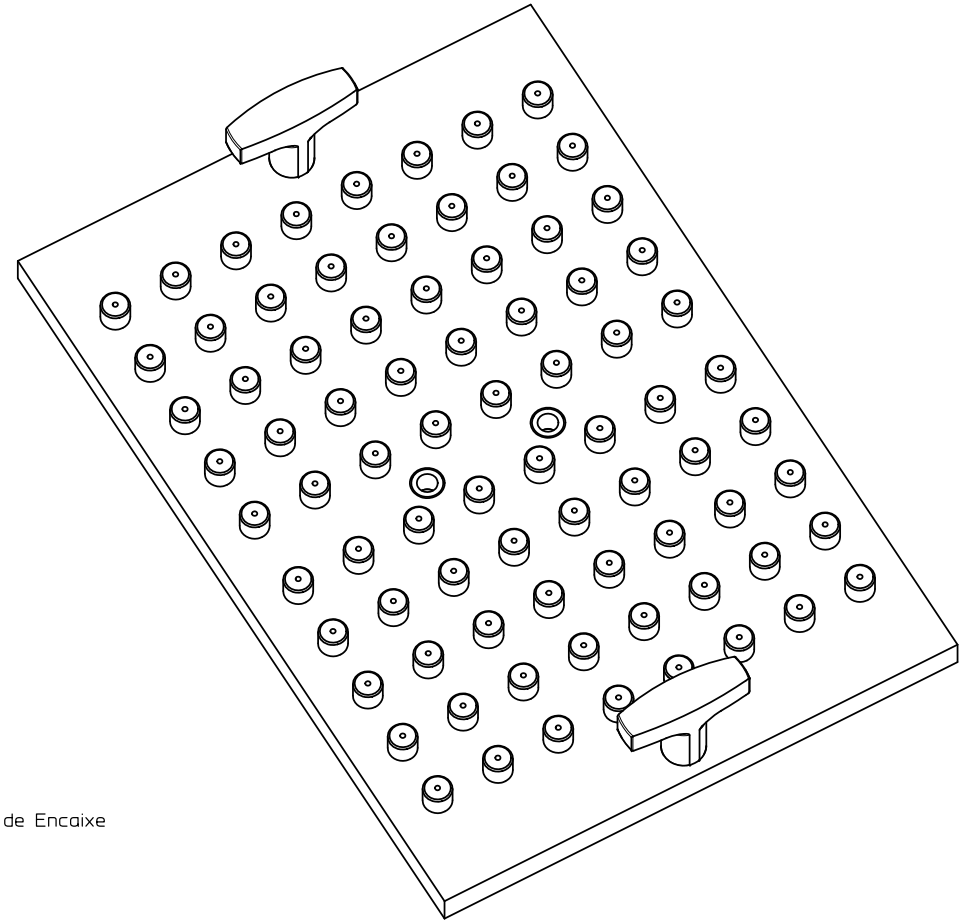


2x Guia de Furar ZBA 6x10 DIN 179

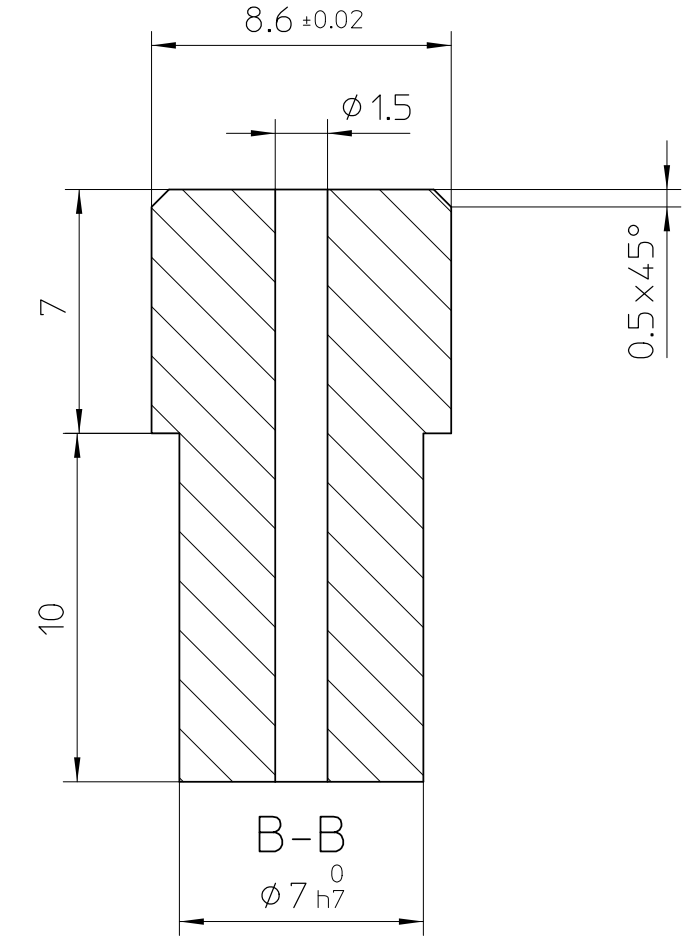


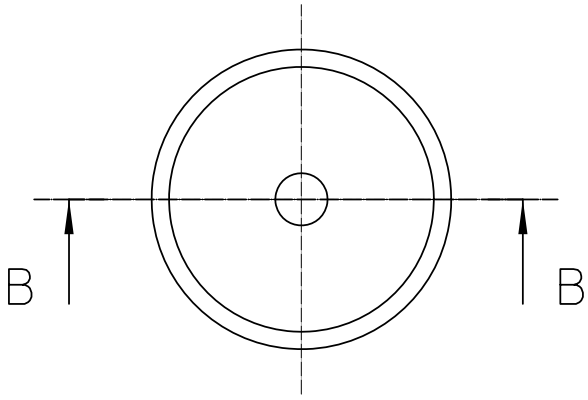
80x Pino de Encaixe

Placa Base

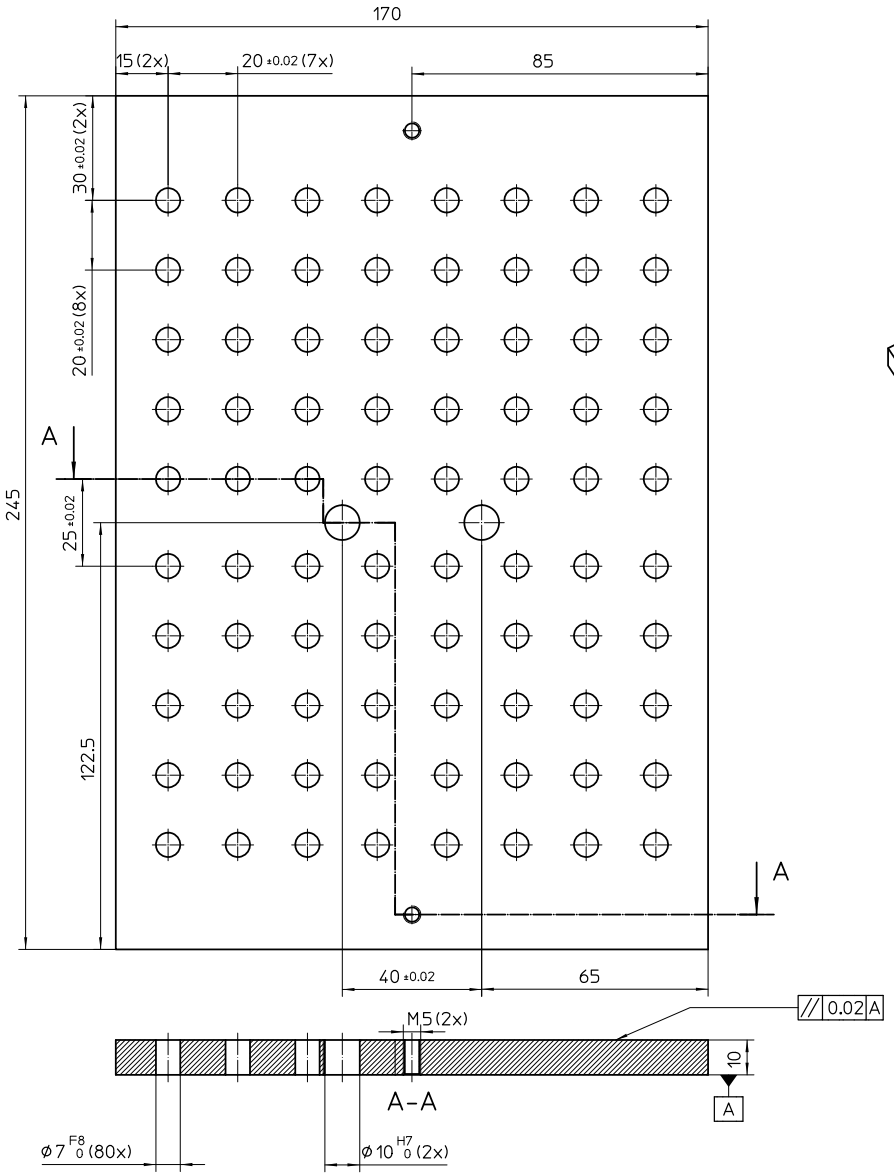


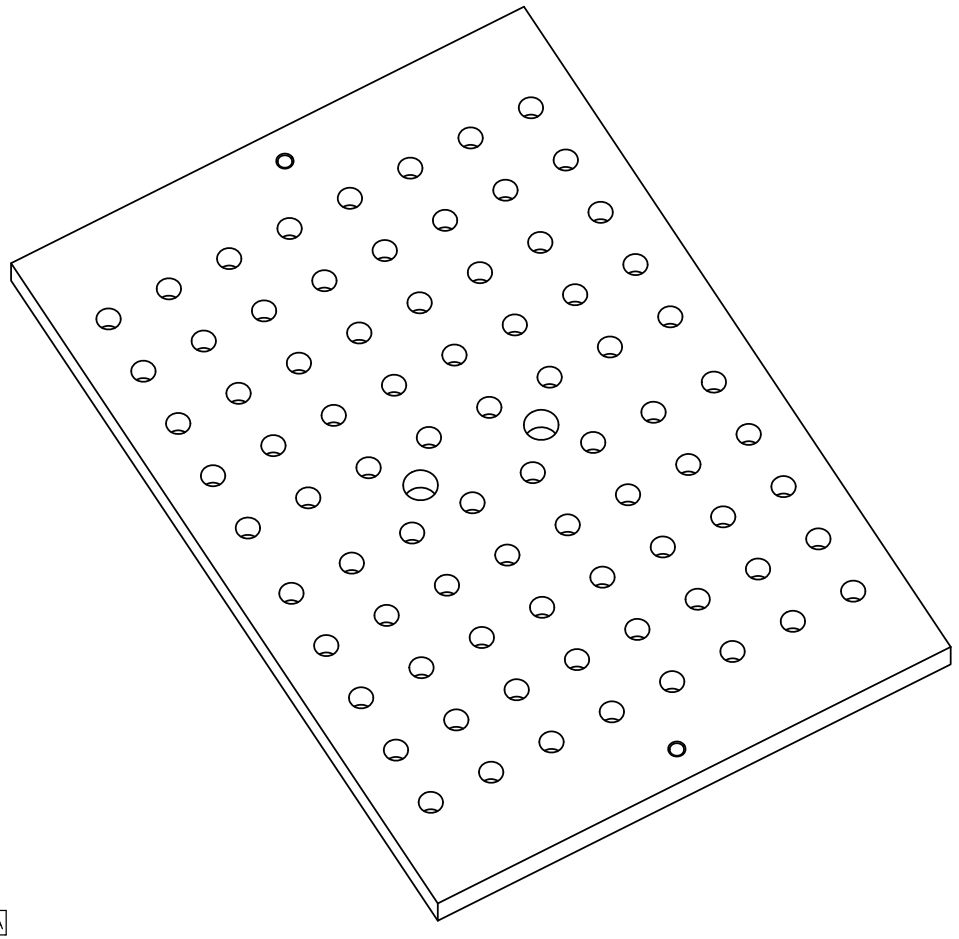
D1





D2

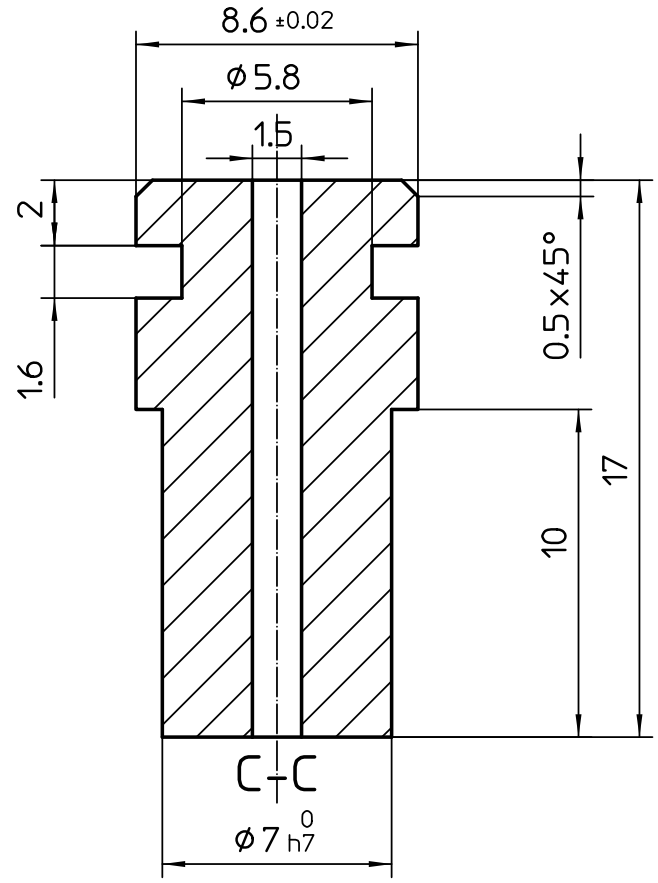

170
15 (2x)
20 ±0.02 (7x)
85
30 ±0.02 (2x)
20 ±0.02 (8x)
A
245
25 ±0.02
122.5
A
40 ±0.02
65
M5 (2x)
// 0.02 A
10
A
A-A
ø7 F8 0 (80x)
ø10 H7 0 (2x)

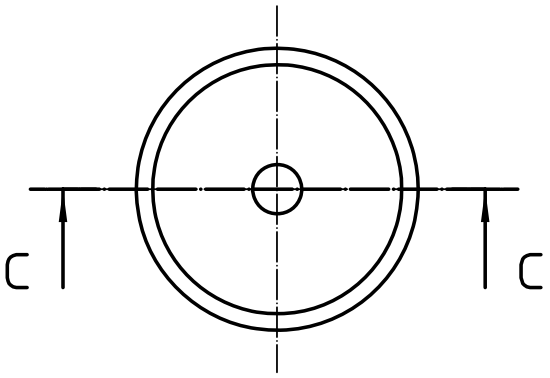


D3

Anexo E

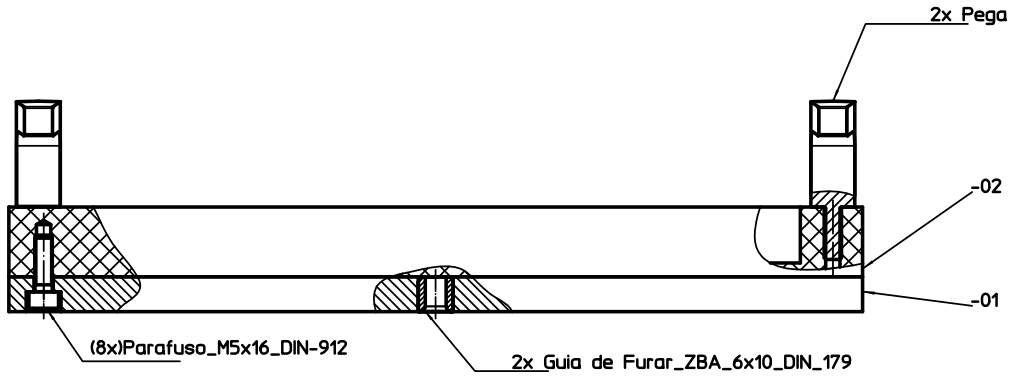
Desenho da alteração do pino para a ferramenta de múltiplas colagem (80x) das lentes objectivas do laser do produto Geovid II

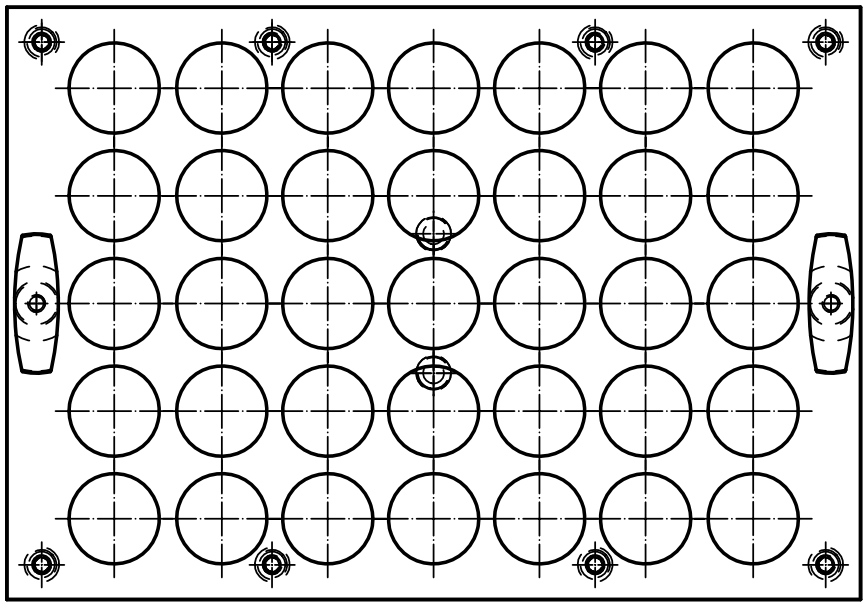

8.6 ±0.02
ø5.8
1.5
2
1.6
0.5x45°
17
10
C-C
ø7 h7 0

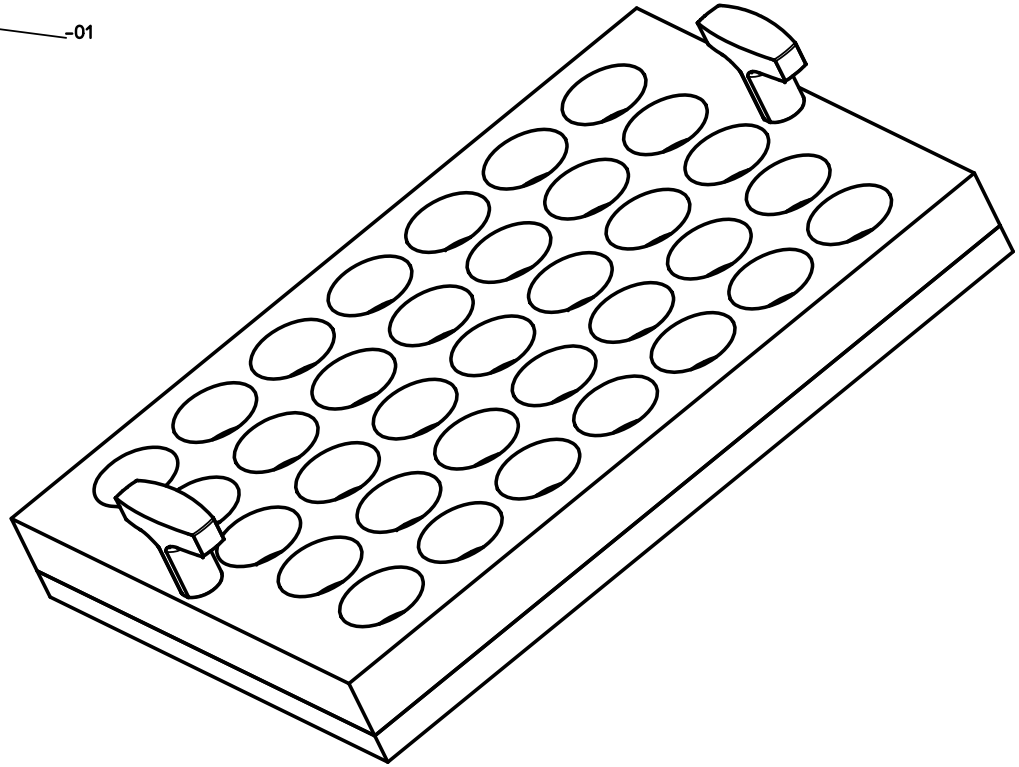

C
C

Anexo F

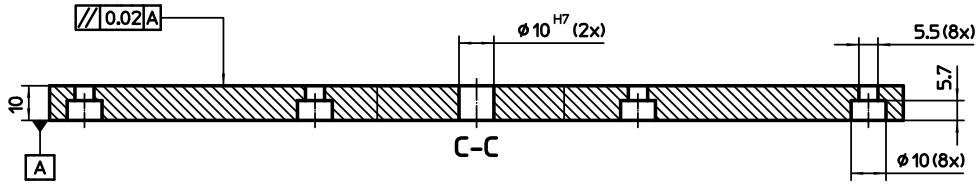
Desenho da ferramenta suporte de múltiplas colagem (35x) das lentes oculares do produto CRF

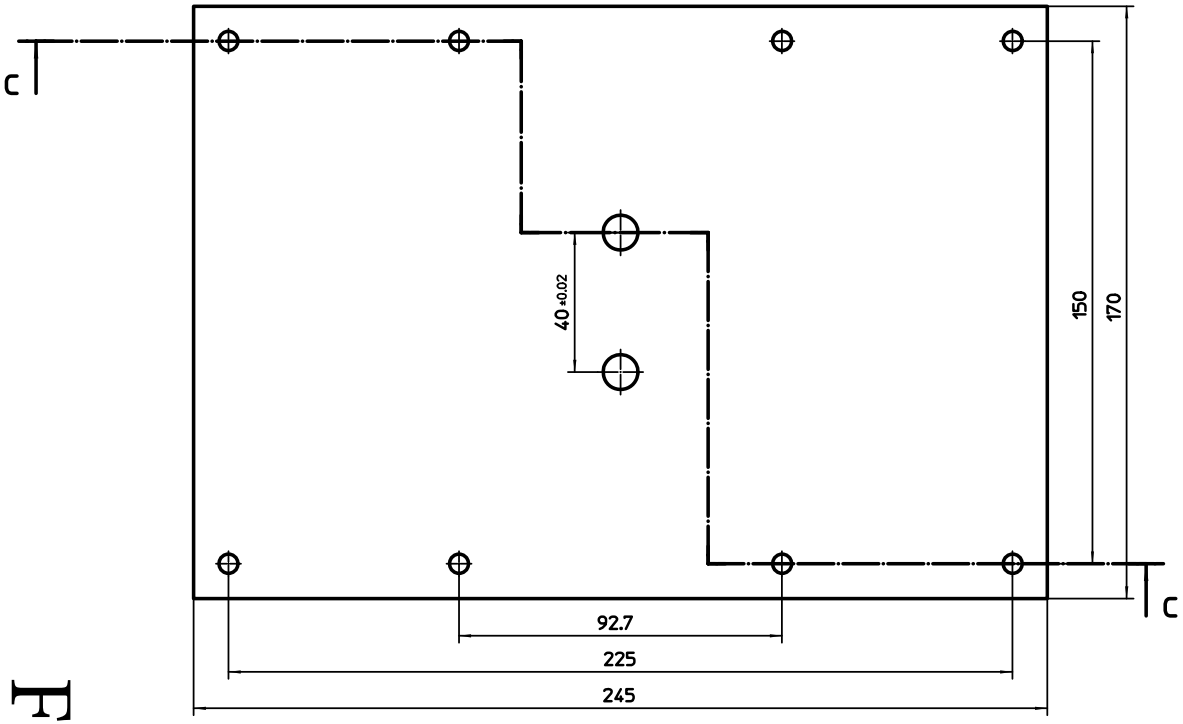

2x Pega em T - Norelem T06649-24005x15
-02
-01
(8x)Parafuso_M5x16_DIN-912
2x Guia de Furar_ZBA_6x10_DIN_179



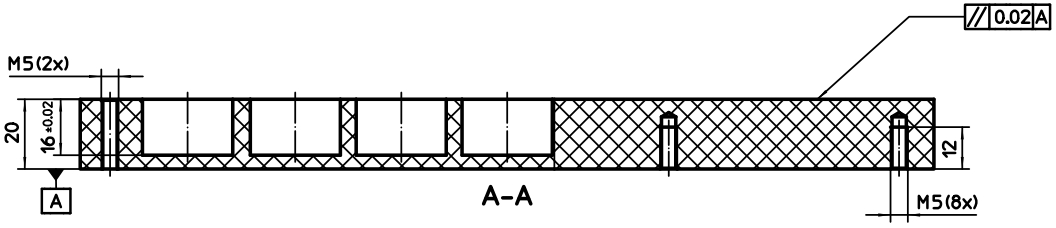


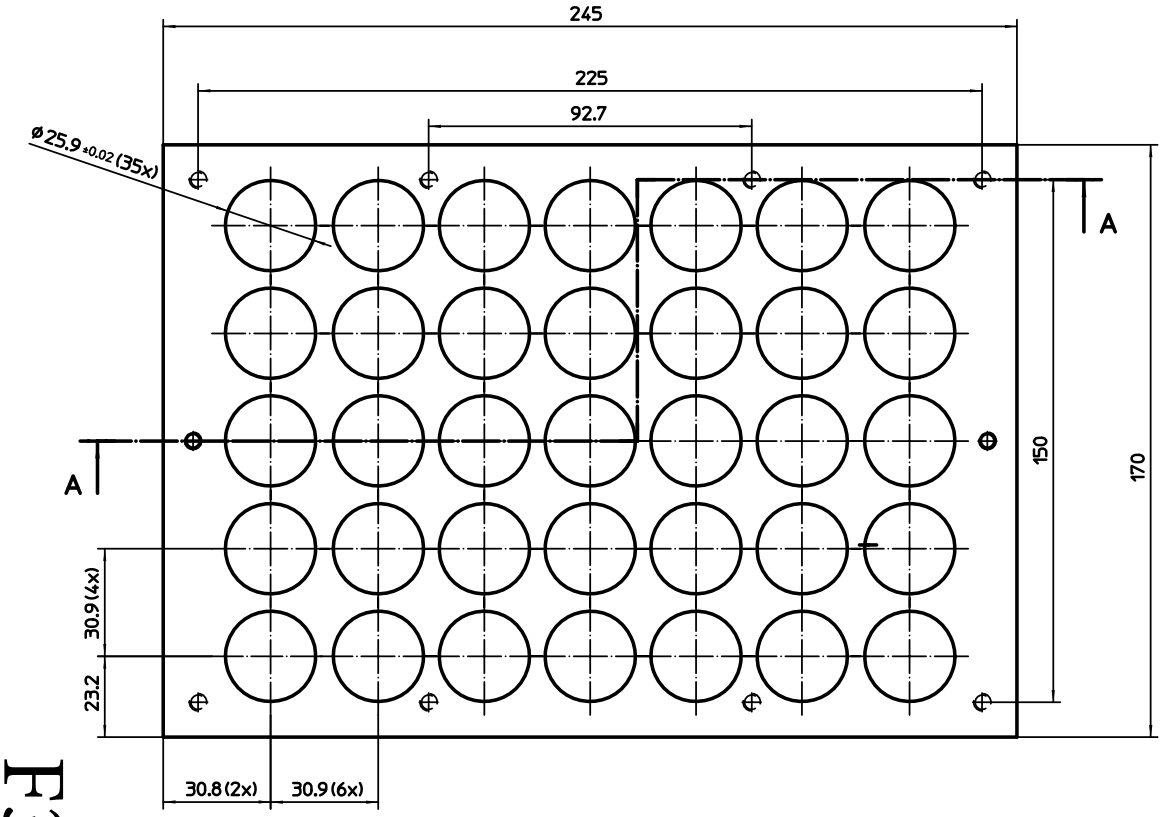
F1

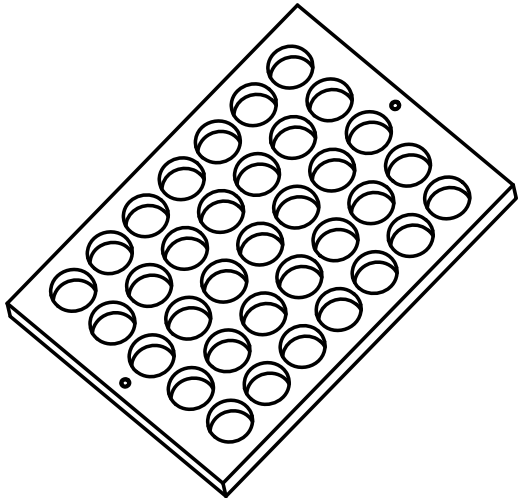




F2


M5 (2x)
20
16 ±0.02
A
A–A
// 0.02 A
12
M5 (8x)


245
225
92.7
Ø 25.9 ±0.02 (35x)
A
A
150
170
30.9 (4x)
23.2
30.8 (2x)
30.9 (6x)

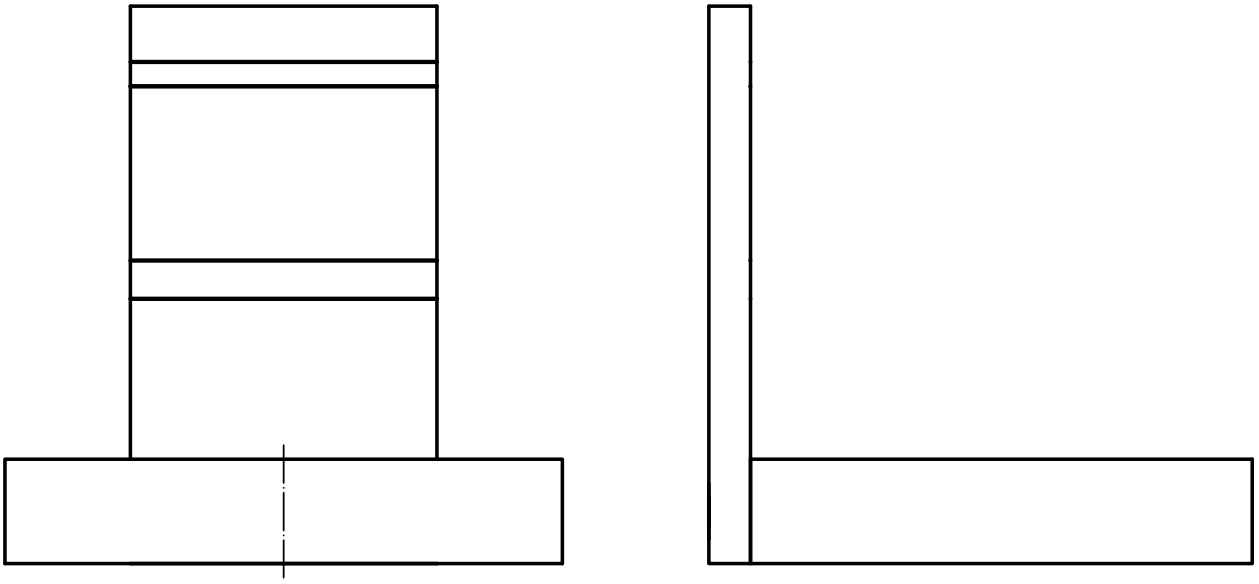


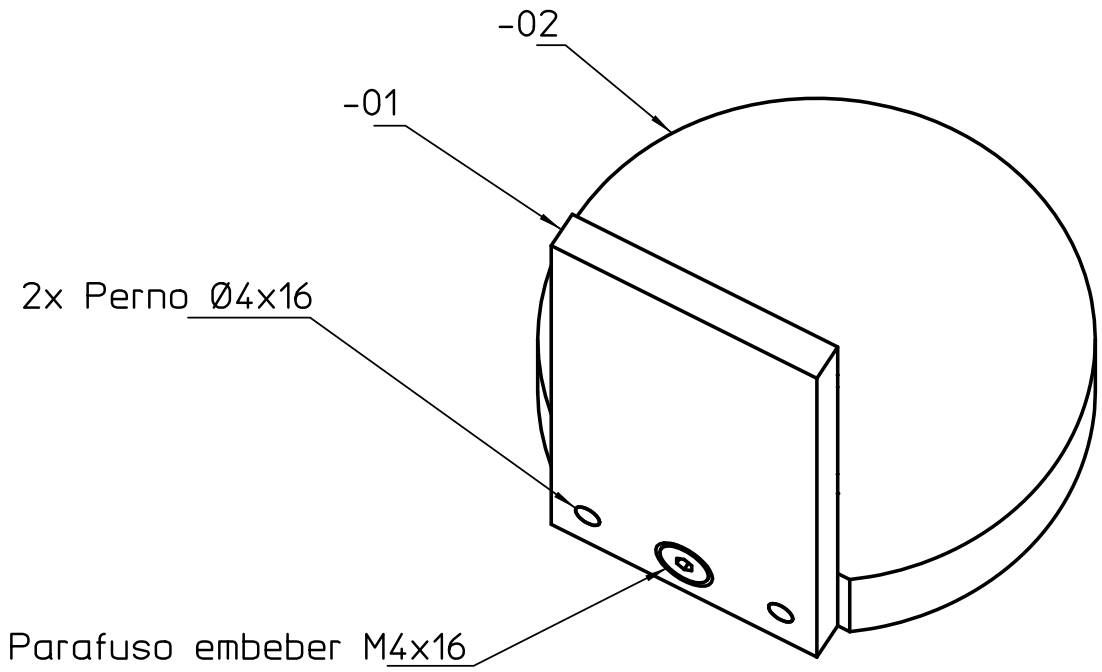
1:2

F3

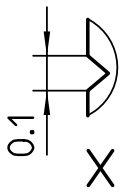
Anexo G

Desenho da base para verificação de alinhamento

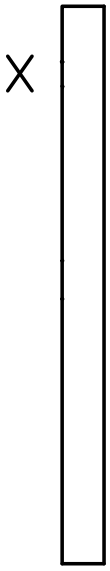


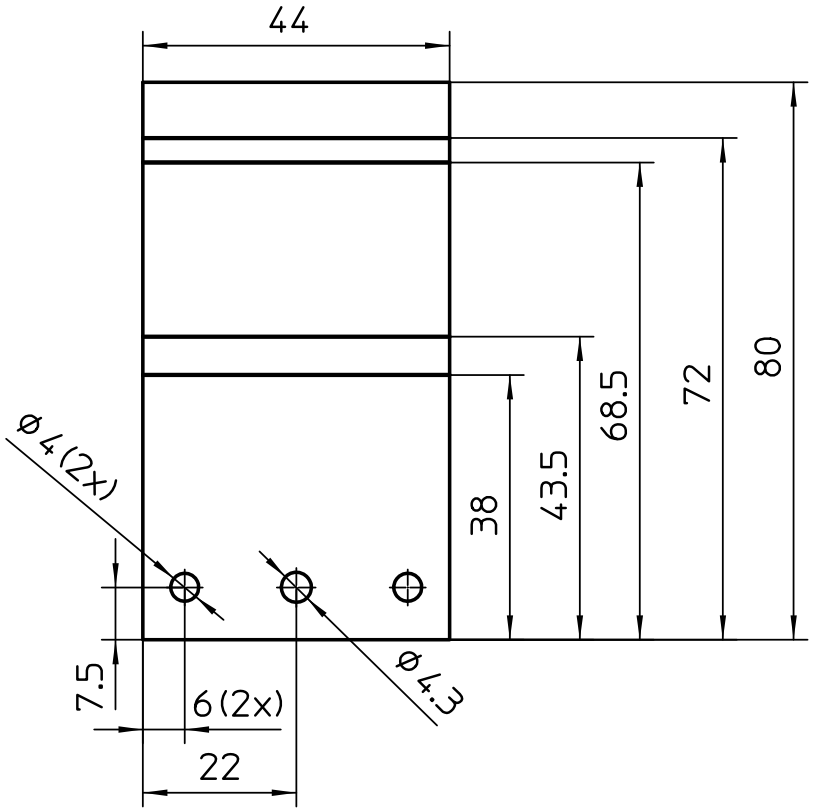


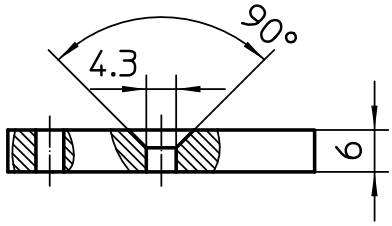
G1



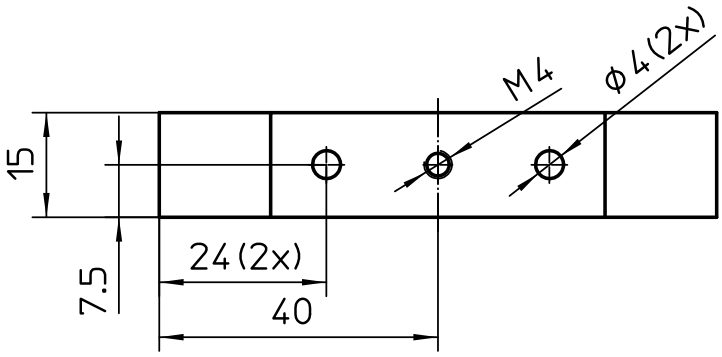
50:1

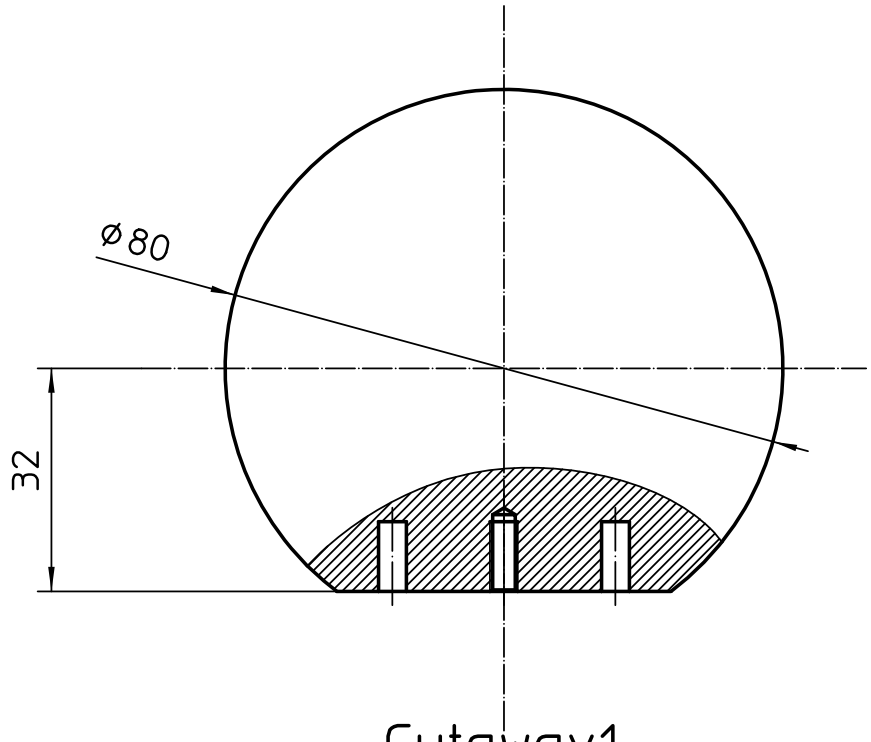






G2





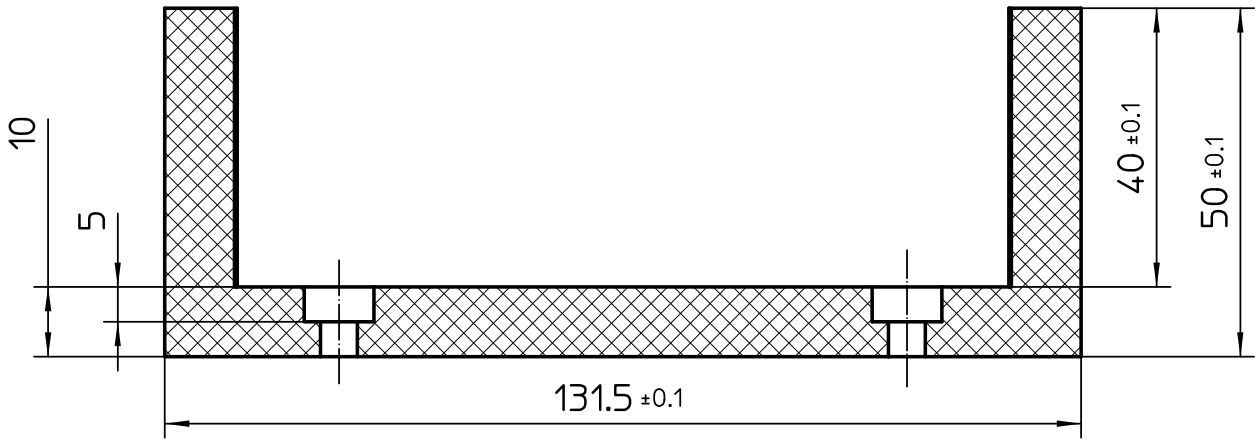
Cutaway1

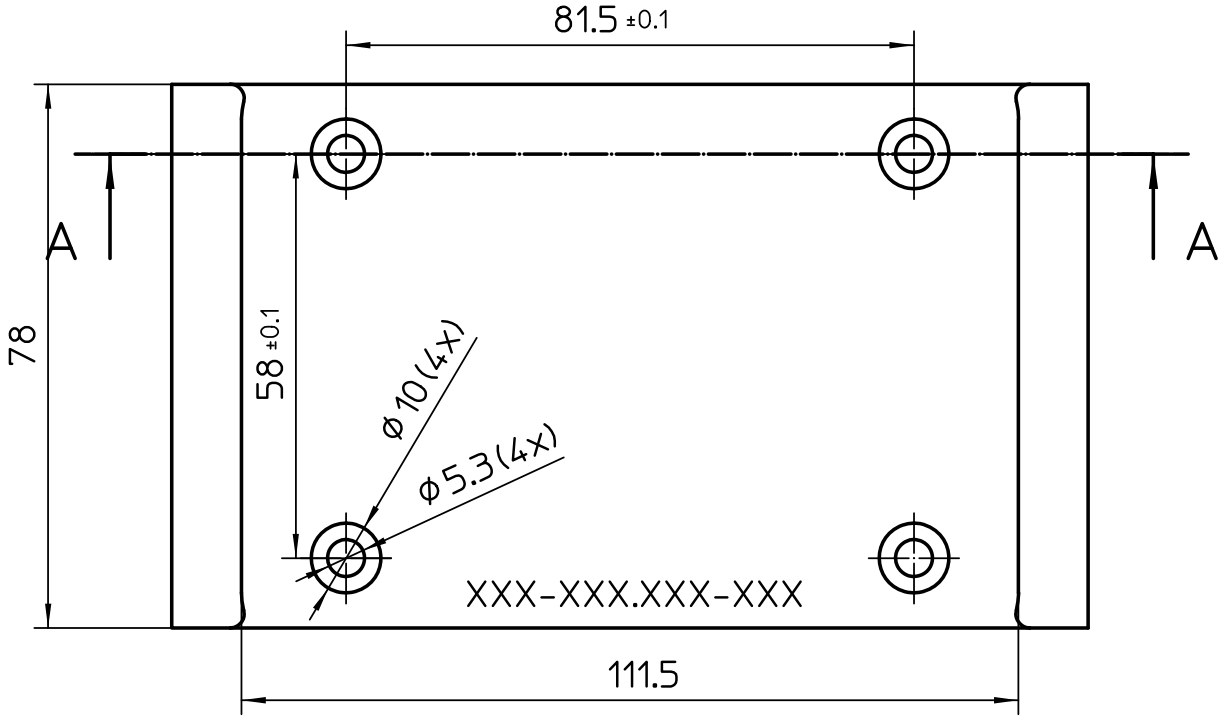
G3

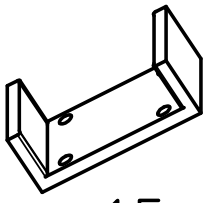
Anexo H

Desenho das ferramentas suporte para soldadura

A–A

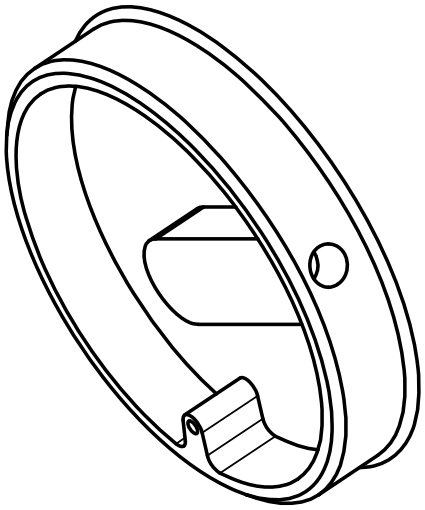

10
5
40 ±0.1
50 ±0.1
131.5 ±0.1


81.5 ±0.1
A
A
78
58 ±0.1
ϕ10(4x)
ϕ5.3(4x)
XXX-XXX.XXX-XXX
111.5

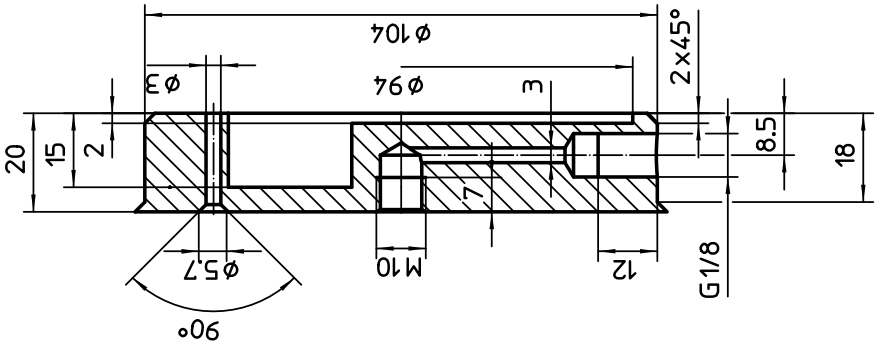


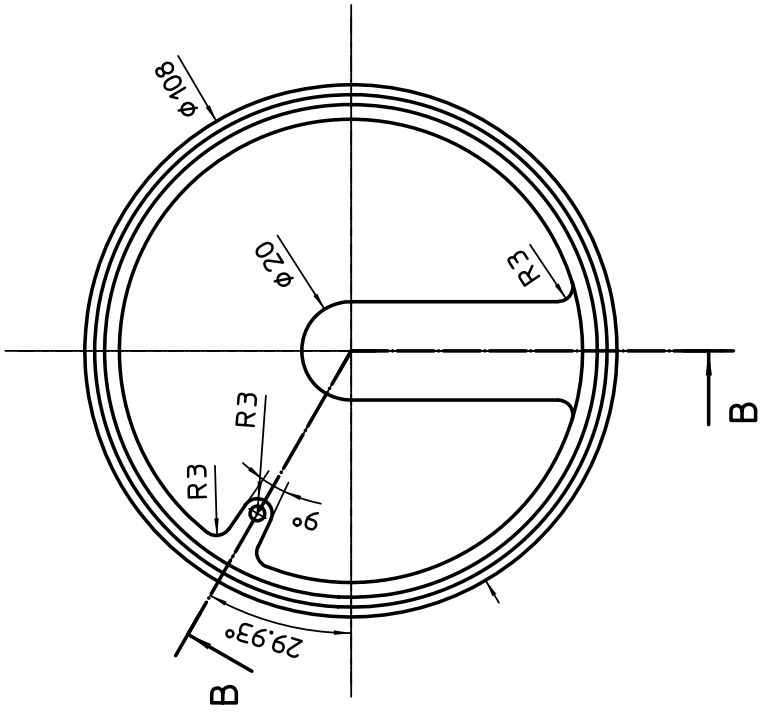
1:5

H1

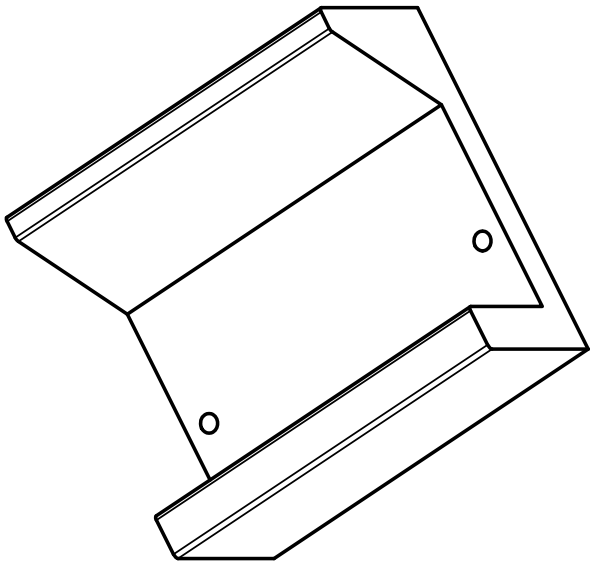


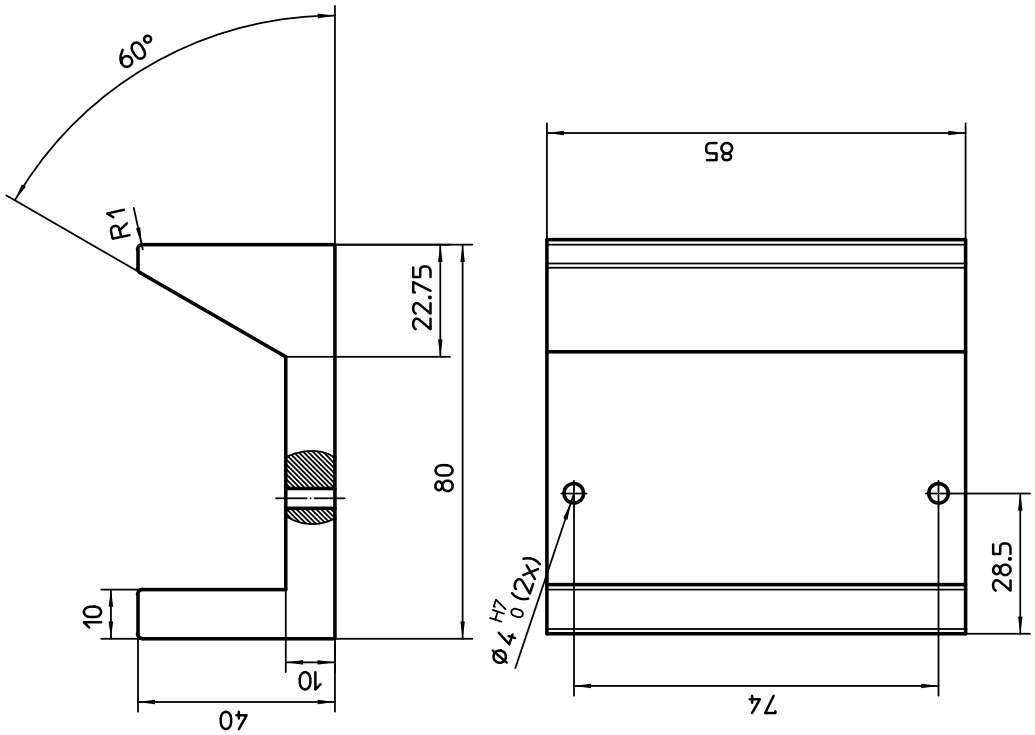
B-B


ø104
ø3
ø94
3
2x45°
20
15
2
8.5
18
7
ø5.7
M10
12
G1/8
90°

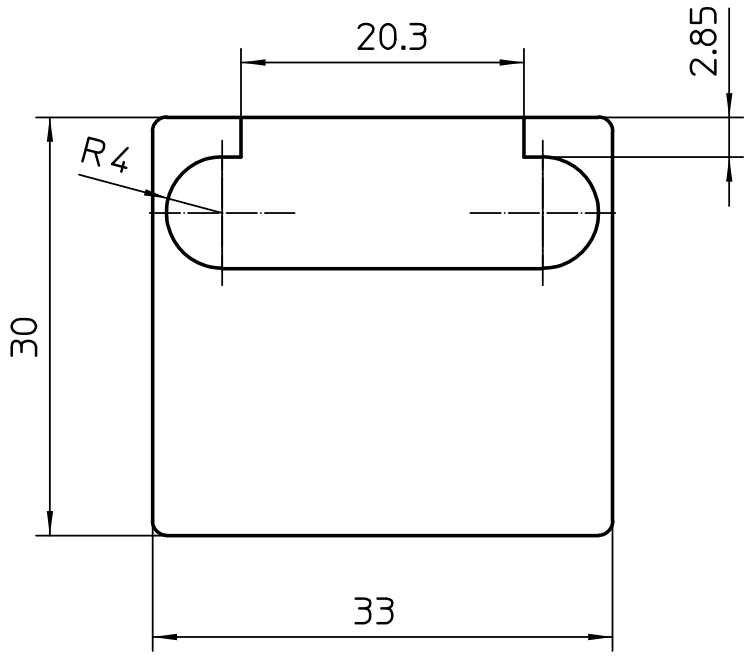

ø108
ø20
R3
R3
R3
9°
29.93°
B
B

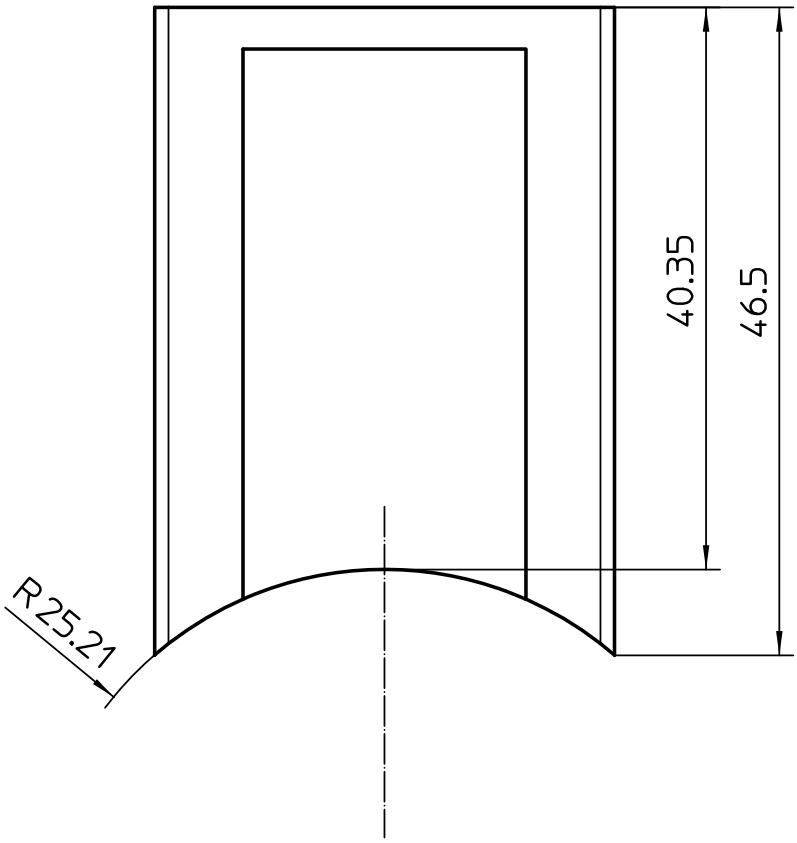
H2

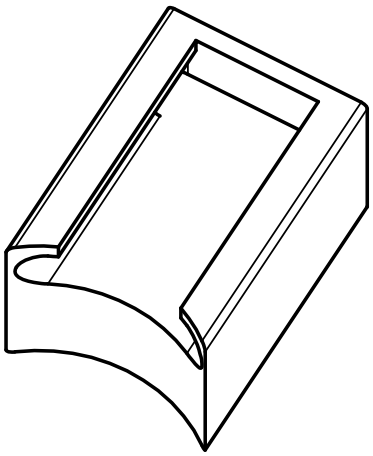




H3





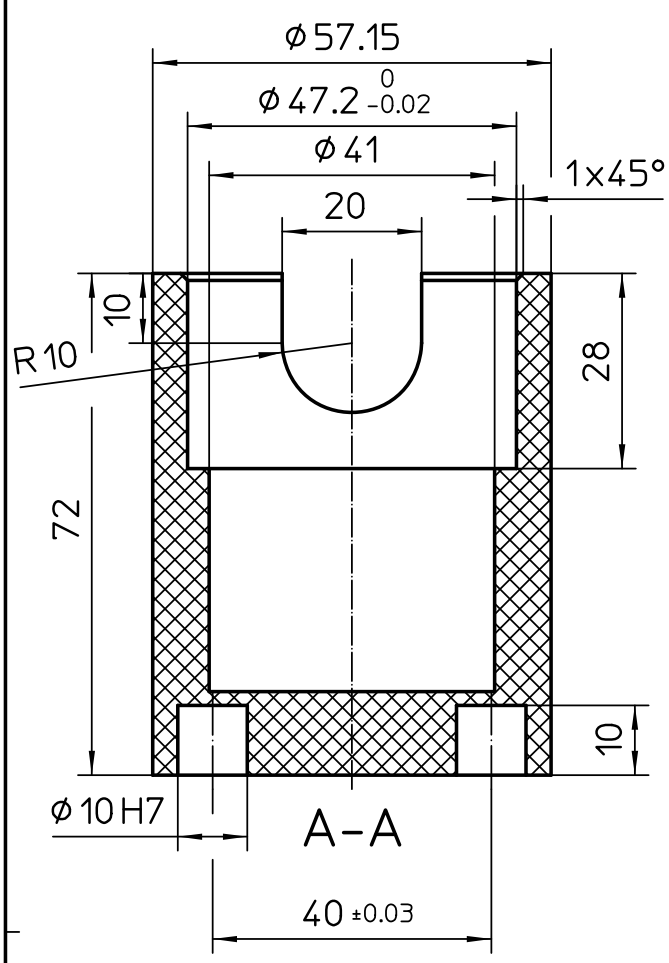


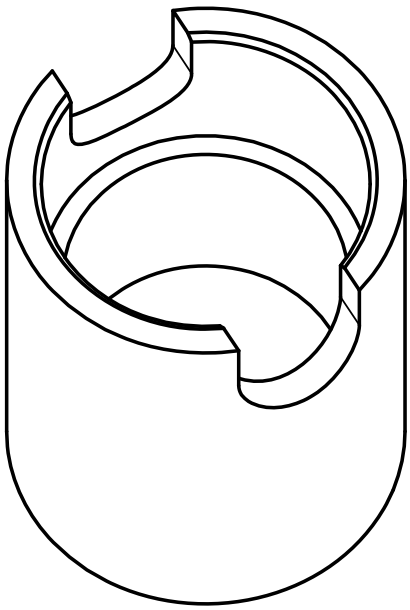
1:1

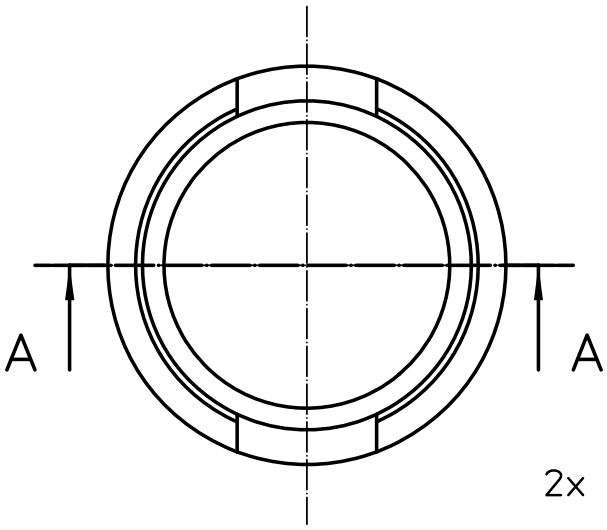
H4

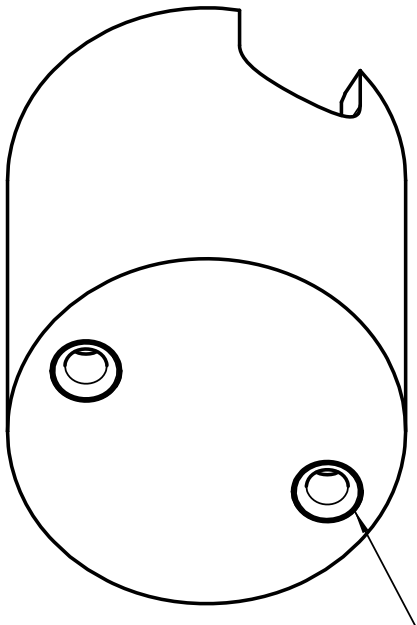
Anexo I

Desenho da ferramenta suporte de colagem das lentes objetivas dos binóculos Geovid II





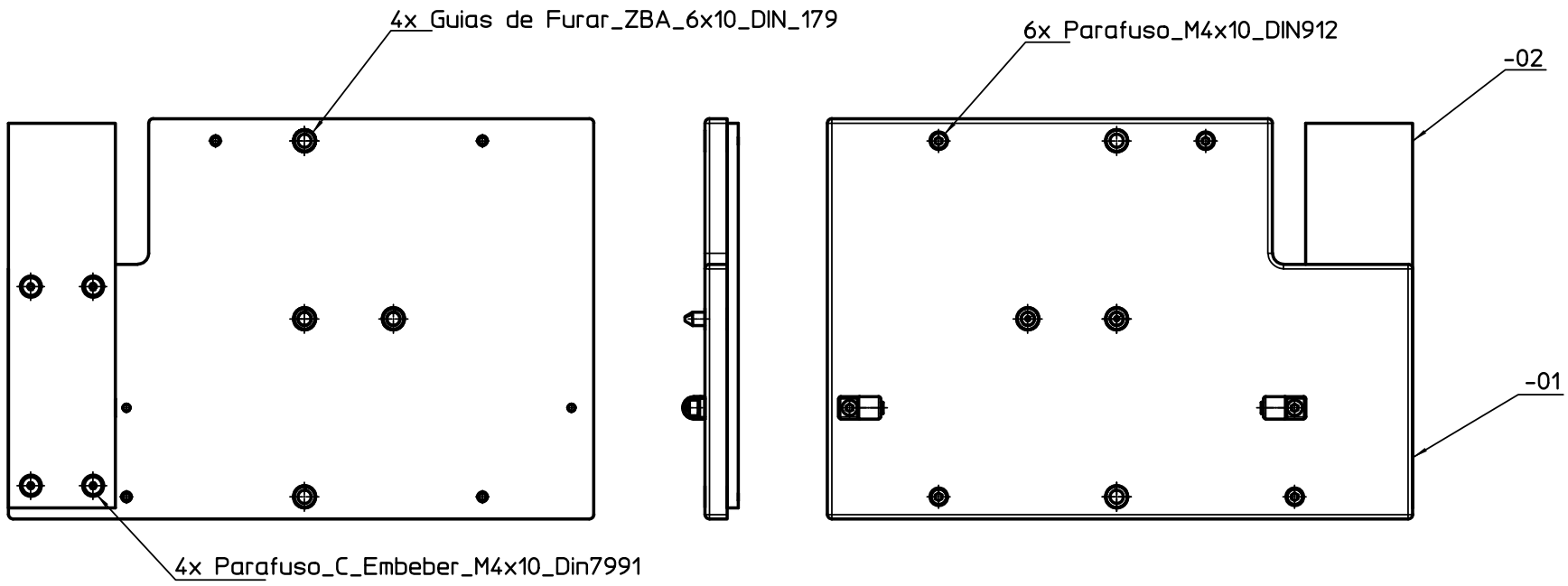


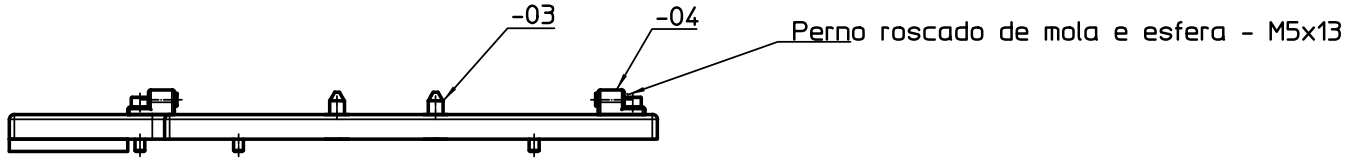


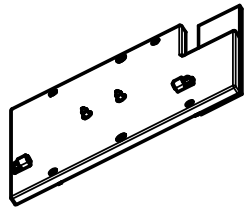
2x Guia de Furar_ZBA_6x10_DIN_179

Anexo J

Desenho da base para implementação no robô *Janome*

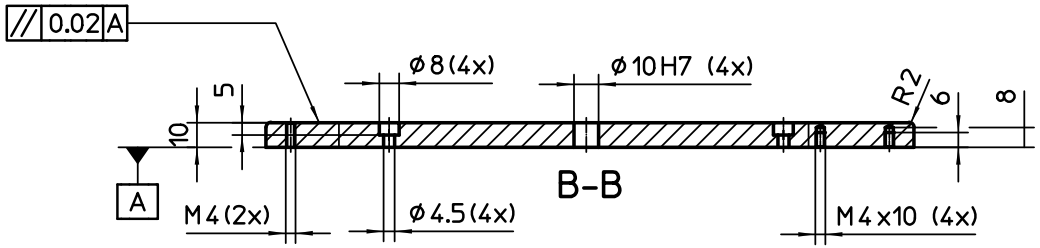

4x Guias de Furar_ZBA_6x10_DIN_179
6x Parafuso_M4x10_DIN912
-02
-01
4x Parafuso_C_Embeber_M4x10_Din7991

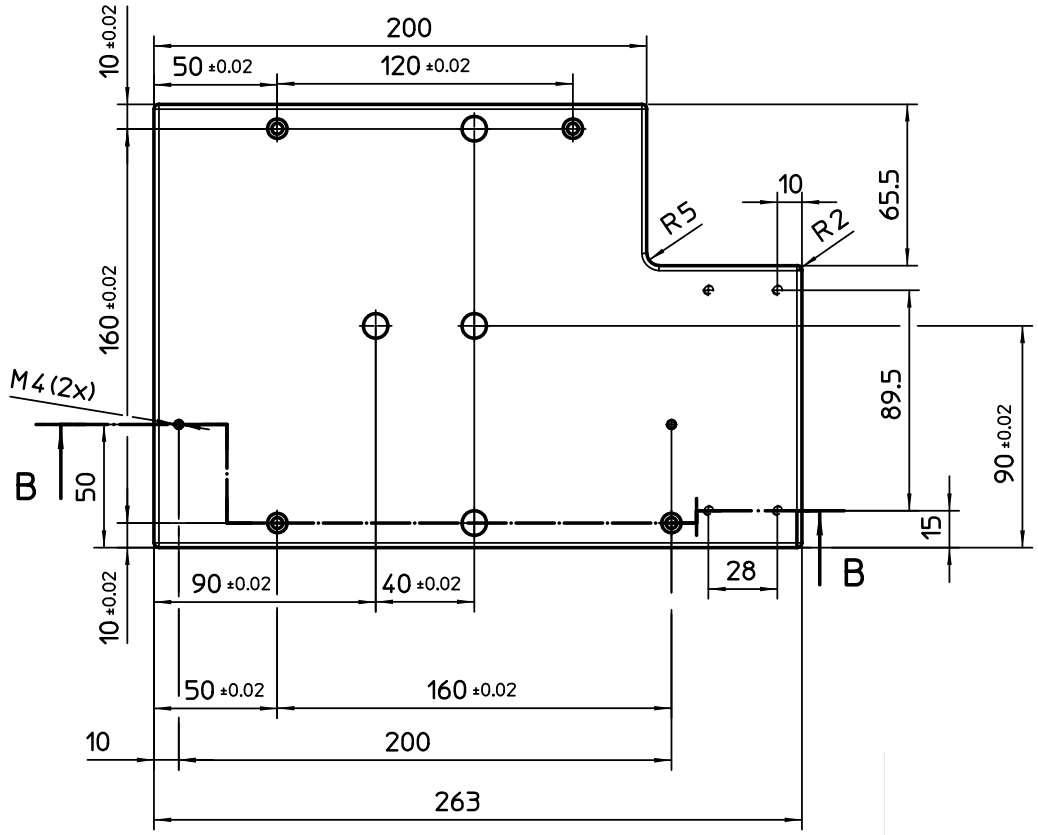

-03
-04
Perno roscado de mola e esfera - M5x13

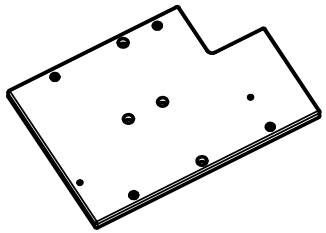


1:5

11

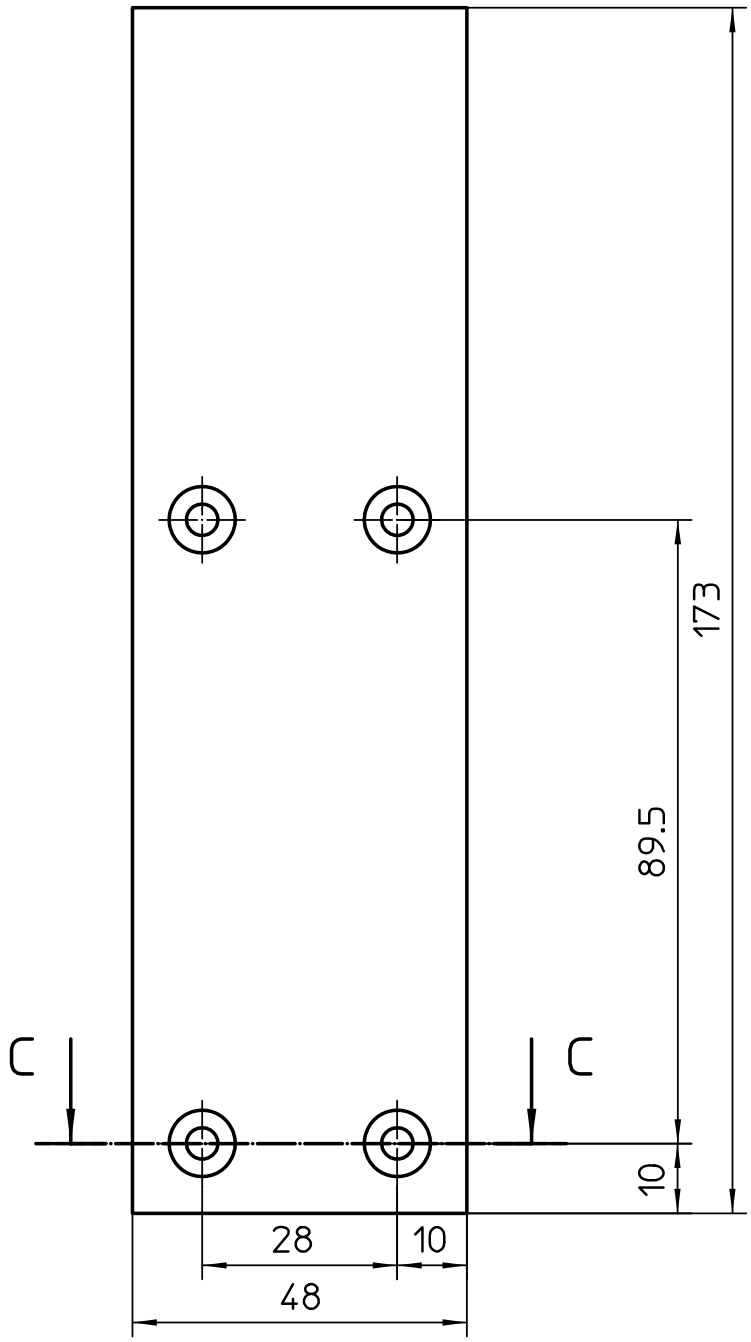

// 0.02 A
ø8 (4x)
ø10H7 (4x)
R2
5
10
6
8
A
M4 (2x)
ø4.5 (4x)
B–B
M4x10 (4x)

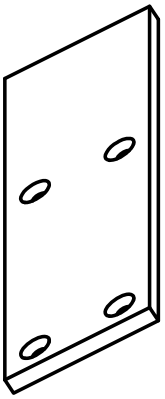

200
10 ±0.02
50 ±0.02
120 ±0.02
10
R5
R2
65.5
160 ±0.02
M4 (2x)
89.5
90 ±0.02
B
50
15
28
B
90 ±0.02
40 ±0.02
10 ±0.02
50 ±0.02
160 ±0.02
10
200
263



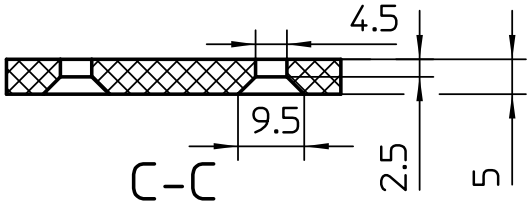
1:5

J2

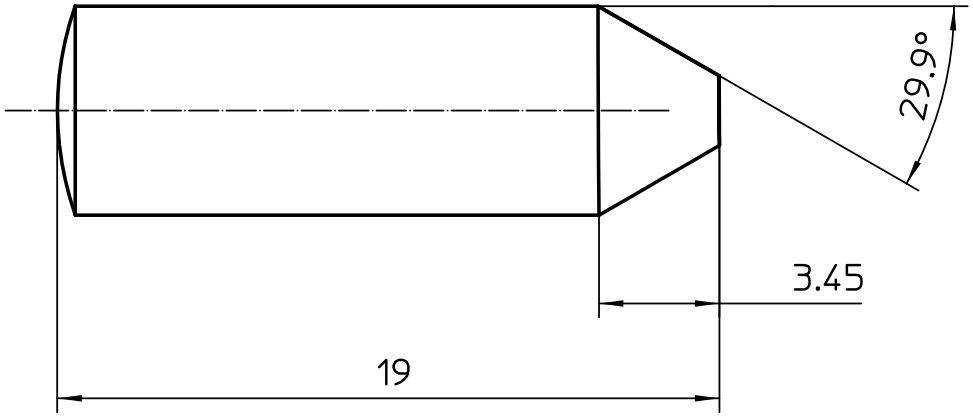


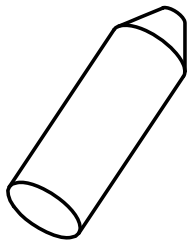


1:2



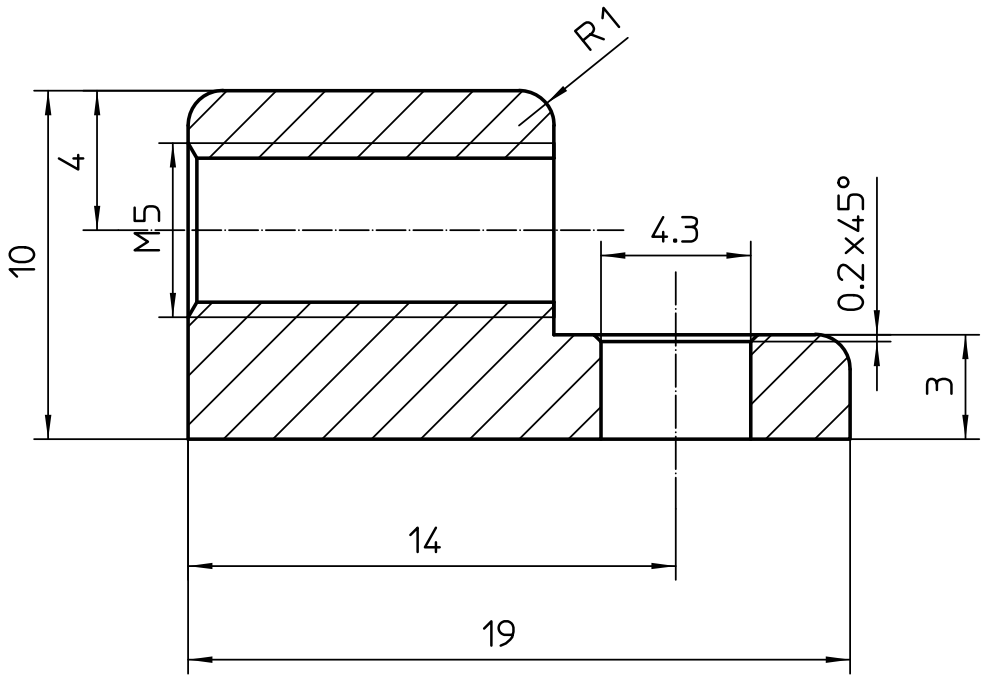
J3



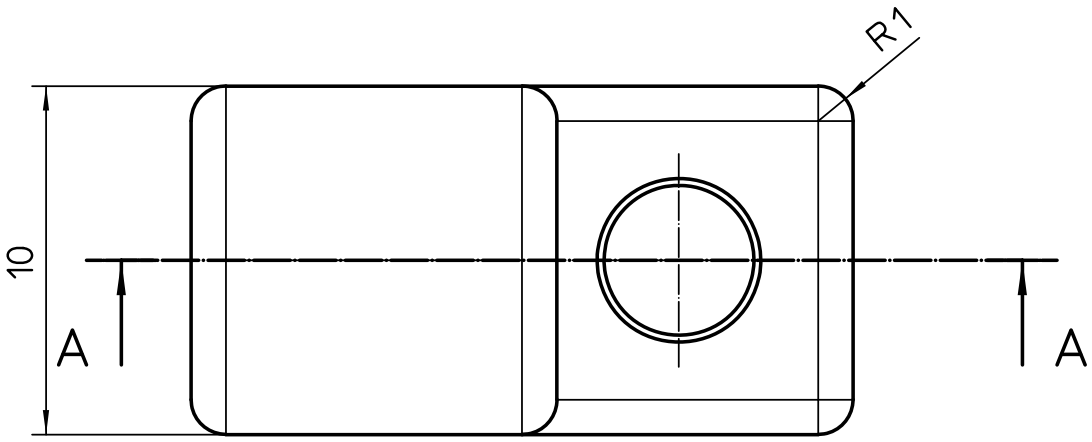


2:1

J4



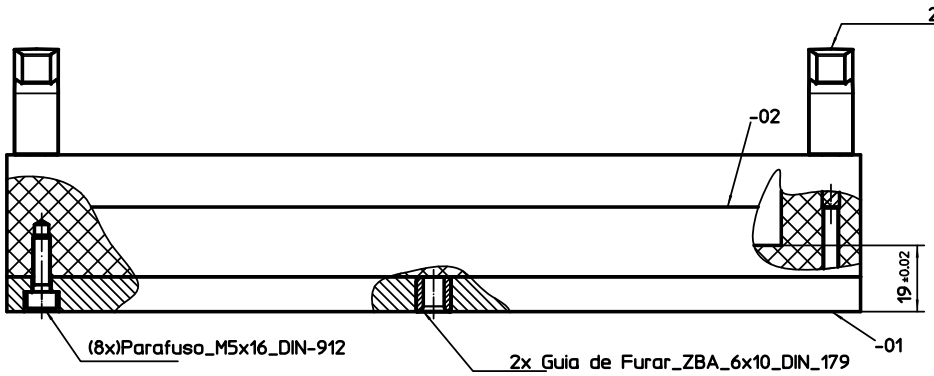
A–A

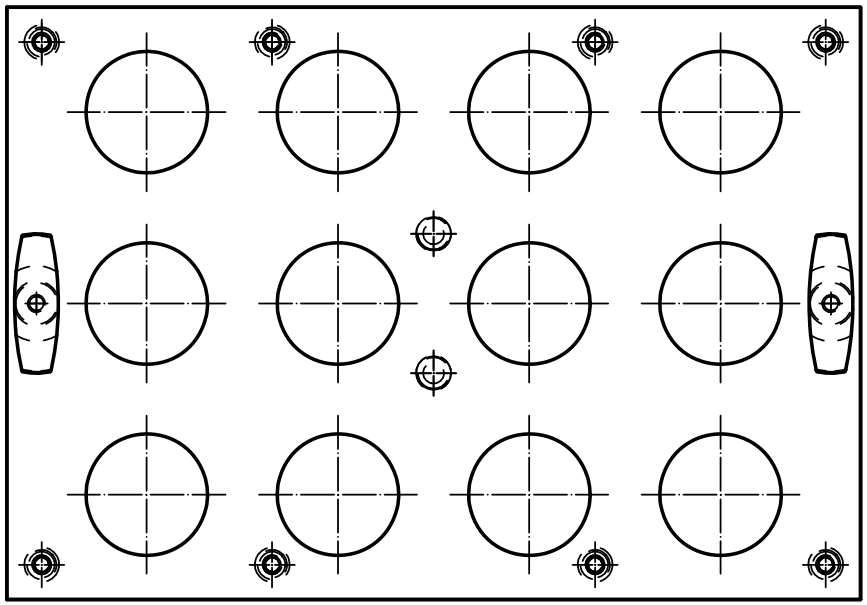


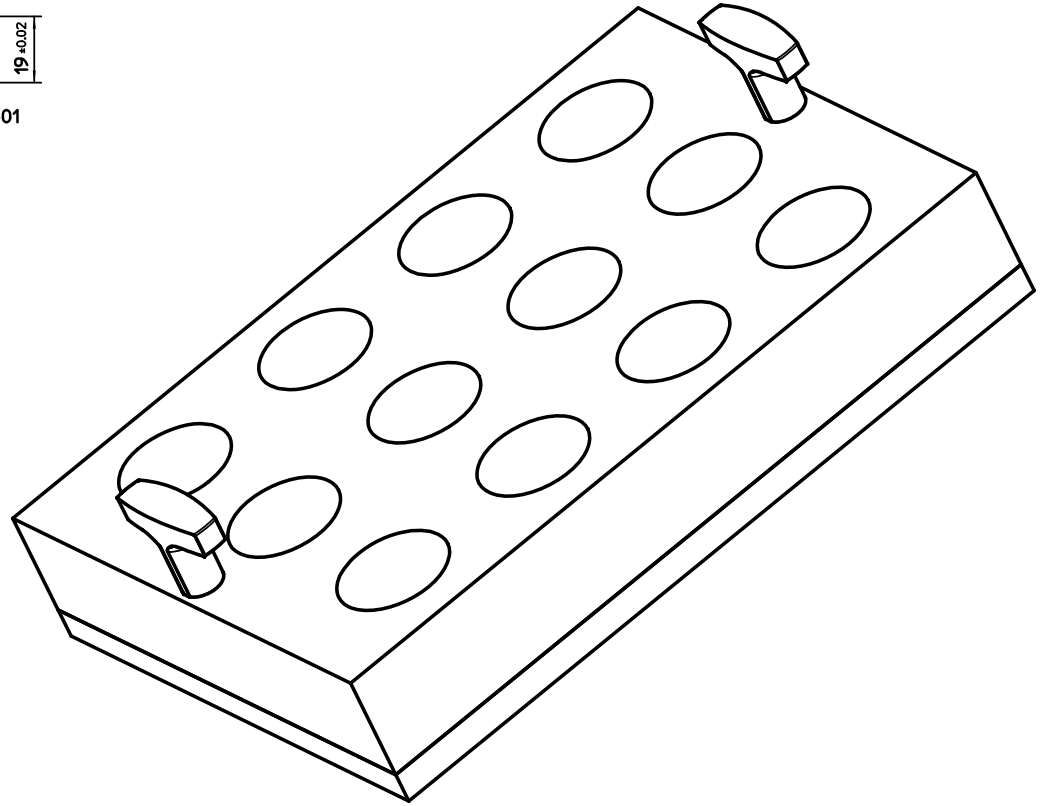
J5

Anexo K

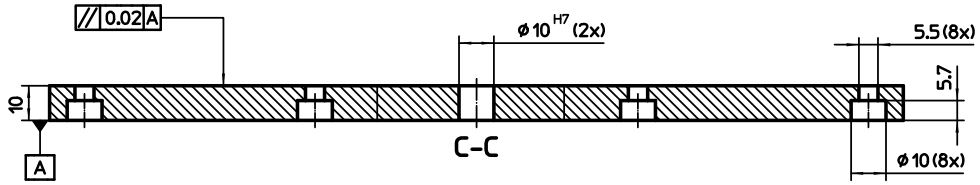
Desenho da ferramenta suporte de múltiplas colagens (12x) das lentes da manga do produto Geovid III em desenvolvimento

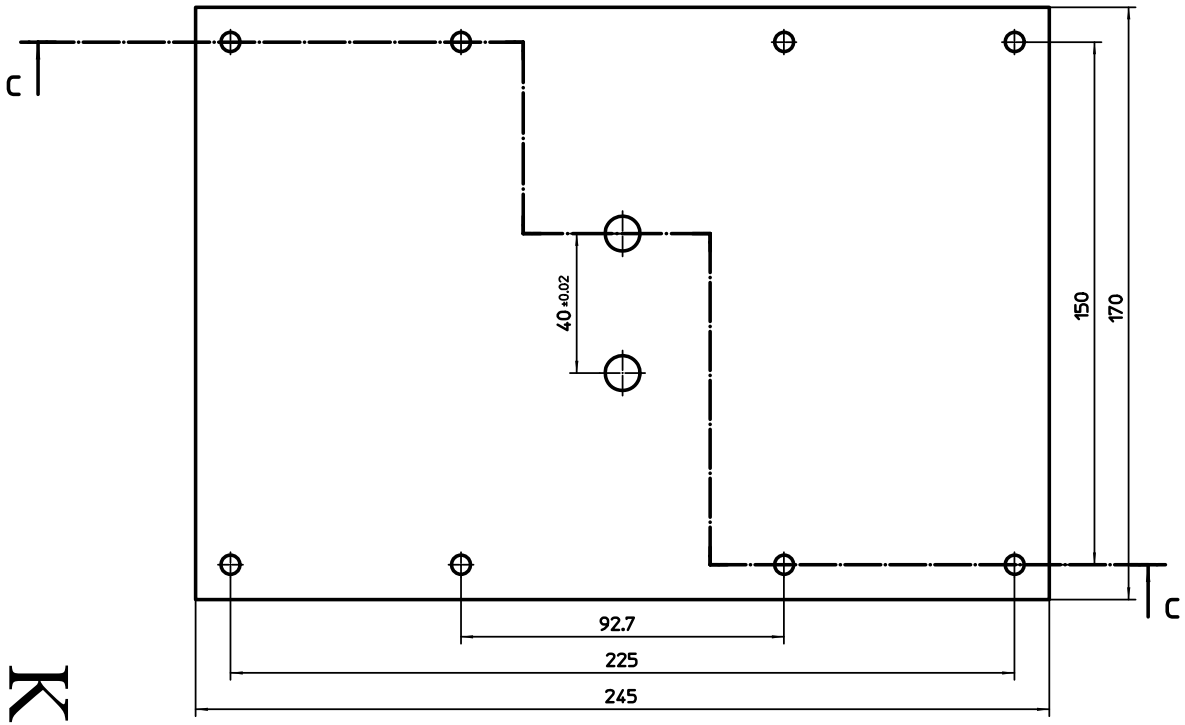

2x Pega em T - Norelem T06649-24005x15
-02
19 +0.02
-01
(8x)Parafuso_M5x16_DIN-912
2x Guia de Furar_ZBA_6x10_DIN_179





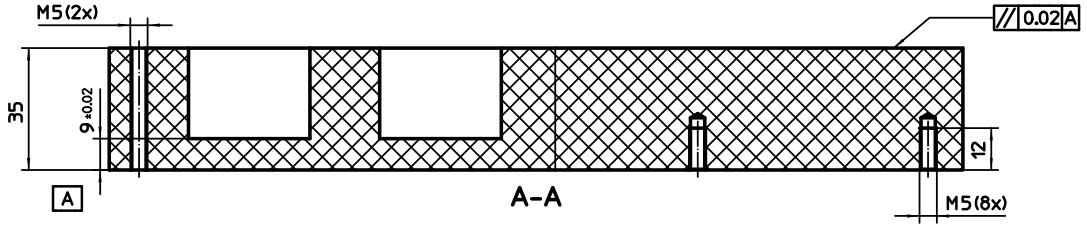
K1

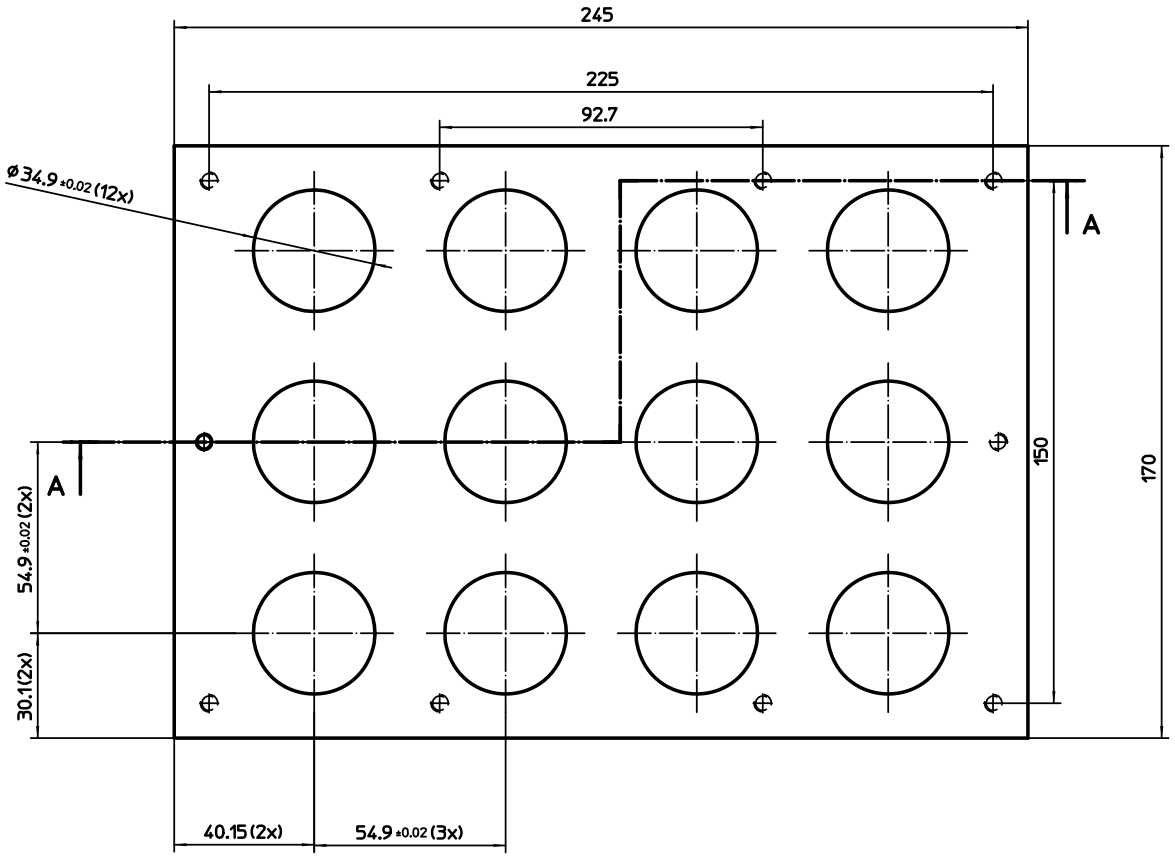


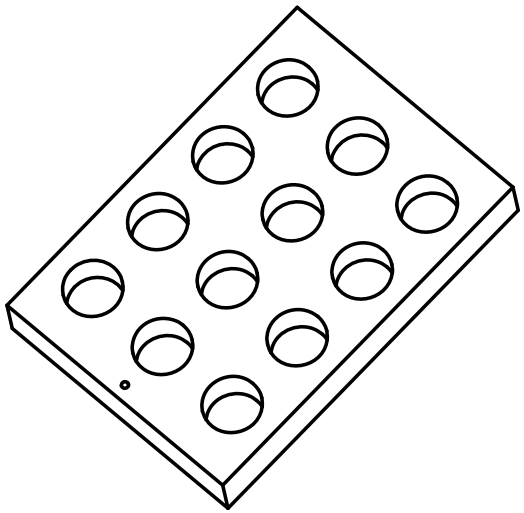


K2

K3


M5(2x)
// 0.02 A
35
9 ±0.02
12
A
A–A
M5(8x)


245
225
92.7
Ø34.9 ±0.02 (12x)
A
A
150
170
54.9 ±0.02 (2x)
30.1 (2x)
40.15 (2x)
54.9 ±0.02 (3x)



1:2