

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Otimização do processo de montagem de binóculos

João Eduardo Rebelo Lopes

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica
Especialização em Produção, Conceção e Fabrico

Orientador: Prof. João Manuel R. S. Tavares (FEUP/DEMec)
Supervisor na Empresa: Bruno Fernandes

Setembro 2021

Resumo

Com a crescente competitividade no mercado atual, e elevados padrões de qualidade e excelência, torna-se imprescindível, não só ter um produto que satisfaça as expectativas e necessidades dos clientes, mas também que o seu processo de fabrico e montagem seja robusto. Neste sentido, as empresas procuram uma melhoria contínua dos seus processos, para serem capazes de garantir, de forma eficiente, os requisitos dos produtos, resultados financeiros sólidos, redução de desperdícios e maior produtividade.

A presente dissertação, foi realizada no âmbito empresarial, em parceria com a empresa Leica - Aparelhos Óticos de Precisão, S.A., que se dedica à produção de aparelhos óticos de precisão, e desenvolvida com o intuito de otimizar o processo de montagem dos binóculos, com um enfoque particular nos da família Ultravid HD-Plus. Sendo que a principal missão da empresa é a de entregar ao cliente um produto de excelência, revela-se fundamental garantir que os seus processos o reflitam.

Inicialmente, foi realizado um estudo das principais características dos binóculos e dos diferentes processos que lhe estão associados, de forma a entender o seu funcionamento e particularidades. Este conhecimento, aliado ao acompanhamento do processo de fabrico dos seus componentes e das suas linhas de montagem, permitiu identificar algumas variáveis que afetam a qualidade final do produto, conduzindo à sua rejeição final.

Após análise da categoria de defeitos que arrecadava maiores percentagens no controlo de qualidade final, destacaram-se os defeitos de qualidade dos componentes óticos, constituindo as “partículas de sujidade” uma das categorias mais afetadas, responsável por percentagens de rejeição final elevadas.

Da análise e estudo efetuado, verificou-se alguma controvérsia relativamente a este tema, na medida em que se considera não ser viável uma montagem manual sem a libertação de partículas de sujidade. Todavia, pretendeu-se mostrar neste estudo que, ainda que não seja possível eliminá-las por completo, é exequível reduzir a sua libertação e, em paralelo, proceder à sua captação, otimizando processos. Neste sentido, foram utilizados alguns procedimentos, metodologias e mecanismos que, uma vez testados, com resultados positivos, permitiram concluir que, se forem implementados de forma combinada, continuada e consistente, em mais larga escala, e sujeitos a uma supervisão cuidada, potenciarão resultados mais positivos.

Palavras-Chave: Montagem; Qualidade; Binóculos; Partículas de sujidade.

Abstract

With the ever-rising competitiveness and quality standards in the global market, it is essential for enterprises to develop products that not only meet the application's demands, but also have robust manufacturing and assembly processes. Therefore, producers have a constant drive to improve their processes to efficiently achieve these objectives, as well as solid financial results, waste reduction, and higher productivity.

This dissertation was developed in a business setting with Leica – Aparelhos Óticos de Precisão, S.A. and assesses the optimization of the assembly process of binoculars, with particular focus on the Ultravid HD - Plus family. This enterprise produces precision optical devices and since its mission is to deliver excellent final products, the processes must fundamentally reflect that.

As a first approach, a study was conducted to find out the main characteristics of Binocular and the associated manufacturing process to understand the principles and particularities. In combination with a thorough study of the whole process, it was possible to identify which variables affect the final quality of the product, leading to its rejection.

Then, an analysis was made to find out what type of defects were commonly detected during quality control. One of the problems was the presence of dust particles, which was also reported to be one of the main rejection causes.

This conclusion proved to be controversial since it is not considered viable to have a manual assembly without releasing dust particles. However, experiments were conducted to prove that even though these particles cannot be eliminated, it is possible to both mitigate their release and capture them, leading to process optimization. Procedures, methodologies, and mechanisms were developed and verified to achieve this goal and will allow for further improvements if they are implemented in a continuous, consistent, and big-scale fashion, with proper process control.

Key words: Assembly; Quality Control; Binocular; Dust Particles.

Agradecimentos

A realização desta dissertação não seria possível sem o apoio e incentivo de várias pessoas que me acompanharam ao longo desta caminhada, às quais pretendo deixar o meu especial agradecimento.

Ao meu orientador, Prof. Doutor João Tavares, pela paciência, disponibilidade e suporte prestado na orientação do caminho a seguir, na realização deste trabalho.

Ao meu supervisor da empresa Bruno Fernandes, pela confiança, incentivo e orientação que facilitou todo o trabalho desenvolvido.

À empresa Leica, S.A., pela oportunidade de ingressão na sua estrutura e pelas condições e recursos excelentes que me disponibilizou para a elaboração desta Dissertação.

A toda uma grande equipa de trabalho, da qual destaco o Eng. Pedro Ramos, Eng. Nuno Barros, Eng. Daniela Dias, Eng. Vitória Martins, Fernando Pontes e Eng. Rui Silva.

A todos os colaboradores das secções por onde passei que, de uma maneira ou de outra, contribuíram para a minha integração e me ajudaram a superar muitos desafios dentro da empresa.

Aos meus pais e à minha irmã, pelo constante incentivo e apoio que se revelaram importantes, não só na realização deste trabalho, mas em todo o percurso académico, até aqui.

A todos os meus amigos e colegas de curso, pelos momentos de diversão e entreaajuda nos períodos mais difíceis do percurso, que também contribuíram para me fazer sentir que valeu a pena!

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Breve história da empresa	1
1.2	Contexto atual da unidade.....	2
1.3	Enquadramento e objetivos	3
1.4	Metodologia	4
1.5	Estrutura da Dissertação.....	4
2	Fundamentos	7
2.1	Introdução	7
2.2	Instrumentos óticos de observação à distância.....	7
2.3	Binóculos	8
2.3.1	Ampliação	9
2.3.2	Diâmetro da objetiva	10
2.3.3	Pupila de saída.....	11
2.3.4	Campo de imagem.....	12
2.3.5	“Eye relief”.....	13
2.3.6	Focagem	13
2.3.7	Compensação de dioptrias.....	14
2.4	Componentes óticos	15
2.4.1	Lentes	16
2.4.2	Prismas	18
2.4.3	Aberrações óticas	19
2.4.4	Revestimentos dos componentes óticos	22
2.5	Processos produtivos dos componentes dos binóculos	24
2.5.1	Secção Ótica.....	24
2.5.2	Secção Mecânica.....	26
2.6	Qualidade	30
2.7	Metodologia 5S	31
2.8	Microscopia eletrónica de varrimento.....	32
2.9	Sumário	33
3	Secção de Montagem: Produtos e linhas de montagem estudados	35
3.1	Introdução	35
3.2	Secção de Montagem	35

3.3	Binóculos de observação: Ultravid HD – Plus.....	37
3.3.1	Características gerais da família de binóculos Ultravid HD – Plus	38
3.3.2	Linhas de montagem	40
3.4	Controlo da qualidade	44
3.4.1	Qualidade mecânica	45
3.4.2	Qualidade ótica.....	45
3.4.3	Funções óticas	46
3.4.4	Ajustagem binocular	46
3.4.5	Teste de estanquicidade.....	49
3.4.6	Enchimento com azoto	51
3.4.7	Rastreabilidade	52
3.5	Rejeição do produto final	52
3.6	Sumário	53
4	Testagem de soluções para redução de partículas de sujidade	55
4.1	Introdução	55
	Partículas de sujidade.....	56
4.2	Desenvolvimento de caixa de aspiração.....	60
4.2.1	Enquadramento	60
4.2.2	Procedimento.....	61
4.2.3	Análise de resultados.....	63
4.3	Teste de lavagem das molas por ultrassons.....	65
4.3.1	Enquadramento	65
4.3.2	Procedimento.....	66
4.3.3	Análise de resultados.....	68
4.4	Teste de binóculos com Planatol	68
4.4.1	Enquadramento	68
4.4.2	Procedimento.....	69
4.4.3	Análise de resultados.....	76
4.5	Desenvolvimento de mecanismo para teste de estanquicidade	77
4.5.1	Enquadramento	77
4.5.2	Procedimento.....	77
4.5.3	Modelação do mecanismo.....	82
4.5.4	Análise de resultados.....	87
4.6	Identificação de partículas de sujidade nas oculares	90
4.6.1	Enquadramento	90
4.6.2	Procedimento.....	91
4.6.3	Análise de resultados.....	92
4.7	Sumário	93

5	Outras soluções desenvolvidas	95
5.1	Introdução	95
5.2	Correção de falha na ajustagem binocular	95
5.2.1	Enquadramento	95
5.2.2	Procedimento.....	96
5.3	Aplicação da metodologia 5S.....	101
5.3.1	Enquadramento	101
5.3.2	Procedimento.....	101
5.4	Corte de esponjas com máquina de gravação a laser	104
5.4.1	Enquadramento	104
5.4.2	Procedimento.....	104
5.5	Desenvolvimento de base de fixação para desaperto de objetivas.....	105
5.5.1	Enquadramento	105
5.5.2	Procedimento.....	106
5.6	Sumário	107
6	Conclusões e trabalhos futuros	109
	Referências.....	111
	Anexo A	I
	Anexo B	IX
	Anexo C	XXI
	Anexo D	XXVII

Lista de figuras

Figura 2.1 - Classificação dos instrumentos óticos de observação à distância.	8
Figura 2.2 - Componentes de um binóculo (adaptado de [6]).	9
Figura 2.3 - Diferentes ampliações [9].	10
Figura 2.4 - Diâmetro da objetiva [9].	10
Figura 2.5 - Pupila de saída [9].	11
Figura 2.6 - Campo de imagem [12].	12
Figura 2.7 - Campos de imagem distintos [12].	12
Figura 2.8 - <i>Eye relief</i> curto vs <i>Eye relief</i> coincidente com o <i>Eyepoint</i> (adaptado de [9]).	13
Figura 2.9 - Sistema de focagem central (adaptado de [13]).	14
Figura 2.10 - Olhos com miopia e hipermetropia (adaptado de [14]).	14
Figura 2.11 - Botão de ajustagem para a compensação das dioptrias (a) e botão de focagem (b) (adaptado de [15]).	15
Figura 2.12 - Imagens visualizadas com as lentes de um binóculo (adaptada de [17]).	15
Figura 2.13 - Tipos de lentes convergentes [7].	16
Figura 2.14 - Raios incidentes numa lente convergente (F - Ponto focal objecto; F' - ponto focal imagem) [16].	17
Figura 2.15 - Tipos de lentes divergentes [7].	17
Figura 2.16 - Raios incidentes numa lente divergente (F - Ponto focal objecto; F' - ponto focal imagem) [16].	18
Figura 2.17 - Prisma de Telhado (à esquerda) e de Porro (à direita) [19].	18
Figura 2.18 - Representação da aberração esférica [22].	20
Figura 2.19 - Representação da aberração coma [23].	20
Figura 2.20 - Representação da aberração estigmatismo (1- Ponto focal horizontal; 2- Ponto focal vertical) (adaptado de [23]).	21
Figura 2.21 - Representação da aberração curvatura de campo [23].	21
Figura 2.22 - Representação de aberração positiva (1- imagem afasta-se do centro) aberração negativa (2- imagem aproxima-se do centro) [23].	22

Figura 2.23 - Representação da aberração cromática [23].	22
Figura 2.24 - Caminho de luz numa lente (setas a tracejado representam reflexões secundárias) [24].	23
Figura 2.25 - Luz transmitida e refletida em lentes sem revestimento e com revestimento (adaptado de [3]).	23
Figura 2.26 - Etapas para obtenção de um binóculo completo.	24
Figura 2.27 - Alguns processos de fabrico executados na secção Ótica (adaptado de [25]).	25
Figura 2.28 - Processos de fabrico (adaptado de [25]).	27
Figura 2.29 - Os 5S (Adaptado de [38]).	32
Figura 3.1 - Secção de Montagem da empresa.	36
Figura 3.2 - Modelos de binóculos Ultravid HD-Plus (adaptado de [15]).	37
Figura 3.3 - Modelos de binóculos de observação (adaptado de [15]).	37
Figura 3.4 - Categorias de produtos no setor <i>Sport Optics</i> (adaptado de [15]).	38
Figura 3.5 - Componentes do Ultravid HD-Plus (adaptado de [15]).	39
Figura 3.6 - Vista em corte do binóculo modelo Ultravid HD-Plus 7x42 [15].	40
Figura 3.7 - Planta da secção de Montagem, destacando-se a vermelho as linhas de montagem onde decorreu o estudo.	40
Figura 3.8 - Subgrupos mecânicos: união dos corpos e grupo de acionamento.	41
Figura 3.9 - Colagem de tampas aos corpos dos binóculos.	41
Figura 3.10 - Montagem dos subgrupos oculares.	41
Figura 3.11 - Montagem do prisma ao corpo do binóculo.	42
Figura 3.12 - Montagem das oculares ao corpo do binóculo com prisma.	43
Figura 3.13 - Fixação das mangas de focagem ao transportador.	43
Figura 3.14 - Montagem das objetivas ao corpo do binóculo.	44
Figura 3.15 - Fluxograma do controlo de qualidade final do Ultravid HD - Plus [42].	45
Figura 3.16 - Placa de testes para comparação subjetiva de defeitos de superfície [mm].	46
Figura 3.17 - Excentricidade do casquilho de uma ocular (adaptado de [4]).	47
Figura 3.18 - Erros de colimação (adaptado de [4]).	47
Figura 3.19 - Medição de um desvio de uma lente por um autocolimador (adaptado de [43]).	48

Figura 3.20 - Imagens obtidas no colimador na ajustagem binocular.....	48
Figura 3.21 - Fita cola de proteção contra sujidades colada sobre o furo roscado presente na tampa.	49
Figura 3.22 - Adaptador usado no teste de estanquidade para roscar ao corpo do binóculo (1 – O-ring de vedação; 2 – Rosca).	50
Figura 3.23 - Roscagem do adaptador ao furo roscado, existente numa metade do corpo do binóculo.	50
Figura 3.24 - Furo roscado existente na tampa que é colada ao corpo do binóculo (1- parede interna para esmagamento do o-ring do adaptador).	50
Figura 3.25 - Ligação da mangueira do aparelho ao adaptador.	51
Figura 3.26 - Cartão de rastreabilidade do Ultravid HD-Plus.....	52
Figura 3.27 - Taxa de Rejeição Final Ultravid HD-Plus 2020/2021.....	53
Figura 4.1 - Frequência das categorias de defeitos registados no CQ dos modelos do Ultravid HD-Plus.	55
Figura 4.2 - Percentagem de defeitos na categoria de defeitos óticos.....	56
Figura 4.3 - Frequência do defeito sujidade, em cada localização do binóculo Ultravid HD-Plus.	57
Figura 4.4 - Registos da amostragem do Ultravid HD-Plus 50.....	58
Figura 4.5 - Registos da amostragem do Ultravid HD-Plus 32.....	59
Figura 4.6 - Componentes da caixa de aspiração.	61
Figura 4.7 - Componentes da base inferior.	62
Figura 4.8 - Bases personalizadas a cada modelo com reentrâncias para acoplar o o-ring.....	62
Figura 4.9 - Base de aspiração para Ultravid HD-Plus 32.	63
Figura 4.10 - Base de aspiração para Ultravid HD-Plus 50.	63
Figura 4.11 - Bases desenvolvidas para outros modelos (Leica Trinovid e Leica Noctivid).....	64
Figura 4.12 - Colocação de tampas para salvaguardar a limpeza do interior dos corpos.....	64
Figura 4.13 - Montagem do parafuso e da mola no transportador.	66
Figura 4.14 - Pêlos encontrados nas molas.	66
Figura 4.15 - Lavagem das molas na máquina de lavagem por ultrassons.	68
Figura 4.16 - Objetiva do Ultravid HD-Plus 50.	69
Figura 4.17 - Partículas de sujidade nas roscas do corpo do Ultravid.....	70

Figura 4.18 - Partículas soltas resultantes da roscagem da objetiva ao corpo do binóculo.....	70
Figura 4.19 - Motor <i>Schneider Electric</i> (a - Escova de nylon; b - Escova abrasiva).....	71
Figura 4.20 - Substância líquida usada para colar sujidades (Planatol HW 730).	72
Figura 4.21 - Tampa de corpo com Planatol aplicado.....	72
Figura 4.22 - Maior reflexão de luz em zona com Planatol.	73
Figura 4.23 - Localização do diafragma.	73
Figura 4.24 - Diafragma com planatol aplicado com pincel.	74
Figura 4.25 - Máquina de colagem de lentes.	74
Figura 4.26 - Aplicação do Planatol na máquina de colagem (agulha adaptada).....	75
Figura 4.27 - Diferenças obtidas na aplicação do Planatol.	75
Figura 4.28 - Suportes criados para armazenamento dos diafragmas com Planatol.	76
Figura 4.29 - Mecanismo para realizar o teste de estanquicidade aos binóculos Ultravid HD-Plus.	77
Figura 4.30 - Partículas de Sujidade encontradas no interior do adaptador (1 – vista do interior 2 – imagem 1 ampliada).	78
Figura 4.31 - Observação à estereolupa das imperfeições do furo roscado.	78
Figura 4.32 - Verificação da tolerância do furo roscado, usando calibres de rosca.	79
Figura 4.33 - Dados da verificação da tolerância do furo roscado usando calibres de rosca.	79
Figura 4.34 - Libertação de partículas nas tampas aprovadas.	80
Figura 4.35 - Verificação da rosca do adaptador, com recurso a calibres de rosca em anel.	80
Figura 4.36 - Partículas de sujidade libertadas aquando da roscagem do adaptador nas tampas.	81
Figura 4.37 – Dados da verificação da roscagem e análise de partículas de sujidade, usando o adaptador.	81
Figura 4.38 - Mecanismo para realização do teste de estanquicidade.....	82
Figura 4.39 - Conjunto de peças responsáveis por realizar a vedação (1- Alavanca de aperto; 2- Perno roscado; 3- Porcas sextavadas; 4- Peça de ligação; 5- O-ring).	83
Figura 4.40 - Local de vedação: método inicial (1); mecanismo (2).	83
Figura 4.41 - Estrutura do mecanismo de realização do teste de estanquicidade (1- Base; 2- Torres; 3- Peça para fixação da alavanca de aperto; 4- Peças para o encaixe dos suportes dos binóculos).	84
Figura 4.42 - Encaixe no mecanismo da base do Ultravid HD-Plus 42 e 50.	85

Figura 4.43 - Encaixe no mecanismo da base do Ultravid HD-Plus 32.....	86
Figura 4.44 - Encaixe e fixação das bases para binóculos (1- Pernos de fixação; 2- Guia para entrada justa do corpo do binóculo; 3- Reentrância para encaixe no perno; 4- Perno para realizar o batente correto).....	86
Figura 4.45 - Alinhamento do furo roscado com o eixo da alavanca de aperto.....	87
Figura 4.46 - Comparação de registos: método inicial vs método novo (Ultravid HD-Plus 50).	88
Figura 4.47 - Comparação de registos: método inicial vs método novo (Ultravid HD-Plus 32).	89
Figura 4.48 - Amostras recolhidas.	91
Figura 4.49 - Locais onde foram recolhidas as partículas de sujidade e materiais analisados (a - Ocular 10x32; b - Ocular 8x32).	91
Figura 4.50 - Montagem das lentes da ocular no casquilho.	92
Figura 4.51 - Calibre para verificação da tolerância da cota interna do casquilho.	93
Figura 5.1 - Família de binóculos Trinovid.....	96
Figura 5.2 - Diagrama causa-efeito para análise do problema na ajustagem binocular.	96
Figura 5.3 - Verificação do desvio angular do eixo ótico do sistema de prismas no autocolimador (a – Autocolimador; b – Ecrã de visualização do eixo ótico; c – Sistema de prismas; d – Espelho retificado).....	97
Figura 5.4 - Procedimento para verificação do eixo ótico do sistema de prismas montado no corpo do binóculo.	98
Figura 5.5 - Zonas onde vai ficar apoiado/fixado o sistema de prismas.	98
Figura 5.6 - Pormenor do desenho técnico do corpo do binóculo.....	99
Figura 5.7 - Procedimento para medição de cotas dos corpos dos binóculos.	99
Figura 5.8 - Verificação da excentricidade de um casquilho da ocular, com comparador de alavanca.	100
Figura 5.9 - Seleção e remoção de materiais desnecessários para os postos de trabalho.....	101
Figura 5.10 - Substituição de caixas de armazenamento com dimensões inadequadas, por armário compacto, fechado e mais organizado.....	102
Figura 5.11 - Suporte para frascos de limpeza.	102
Figura 5.12 - Bases de esponja criadas com a máquina de gravação a laser.....	104
Figura 5.13 - Utilização da máquina de gravação a laser Speedy 300 da Trotec.....	105
Figura 5.14 - Ferramenta de aperto/desaperto das objetivas.	106

Figura 5.15 - Solução criada de fixação do binóculo, para o aperto/desaperto das objetivas... 106

Lista de tabelas

Tabela 1 - Duração média das etapas dos binóculos Ultravid [minutos]	59
Tabela 2 - Passagem da escova de nylon e escova abrasiva nas roscas dos meios corpos e casquilho da objetiva	71

Abreviaturas e Símbolos

CNC - Controlo Numérico Computorizado (*Computer Numerical Control*)

CQ - Controlo de Qualidade

EDS - Espectrómetro de raios X de Energia Dispersiva (*Energy Dispersive Spectroscopy*)

HD - Alta Definição (*High Definition*)

HDC - Revestimento de alta durabilidade (*High Durability Coated*)

ISO - Organização Internacional de Padronização (*International Organization for Standardization*)

IT - Instrução de Trabalho

MEV - Microscopia Eletrónica de Varrimento

POM - Polióxido de Metileno (*Polyoxymethylene*)

PVC - Policloreto de Vinilo (*Polyvinyl Chlorid*)

1 Introdução

Esta Dissertação, incluída no plano de estudos do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, foi desenvolvida em contexto prático empresarial, na Leica – Aparelhos Óticos de Precisão, S.A., uma multinacional com sede na Alemanha, que se dedica à produção de materiais óticos de luxo, como máquinas fotográficas, objetivas, binóculos e miras.

O trabalho foi desenvolvido no departamento da Montagem da empresa, e o principal objetivo foi a otimização do processo de montagem de binóculos, partindo da avaliação dos principais problemas relacionados com o aparecimento de partículas de sujidade nos componentes óticos da família de binóculos Ultravid HD-Plus, até à proposta, testagem e implementação de medidas, conducentes à redução da rejeição final destes produtos.

Este capítulo inicia-se com uma breve apresentação da história da empresa e do contexto atual da unidade de Vila Nova de Famalicão, seguindo-se o enquadramento e objetivos do trabalho, bem como a metodologia seguida, a culminar na apresentação da estrutura da Dissertação.

1.1 Breve história da empresa

Em 1849, na pequena cidade de Wetzlar, na Alemanha, foi fundada a organização que, entregando-se inicialmente à produção de microscópios, veio a ser palco do nascimento da primeira câmara fotográfica de 35 mm, revolucionando o mundo da fotografia. Responsável por um conjunto alargado de desenvolvimentos e inovações, deu origem à marca Leica que se impôs, de maneira incontornável, pela sua qualidade e prestígio, sendo reconhecida, até aos nossos dias.

A Leica - Aparelhos Óticos de Precisão, S.A. foi fundada, em 1973, em Vila Nova de Famalicão, como uma extensão da Ernst Wetzlar GmbH, contando, ao fim do primeiro ano de laboração, com 84 trabalhadores. Em 2013, à data da comemoração dos seus 40 anos, foram inauguradas as novas instalações na freguesia de Lousado, da mesma cidade.

A sua sede, sediada na cidade e país de origem, é responsável pela definição de políticas gerais e estratégicas da empresa, bem como pelas análises de posicionamento de mercado, satisfação de clientes finais, análises da concorrência, etc., cabendo à administração da Unidade, em Vila Nova de Famalicão, a gestão local da estrutura.

O crescimento da empresa foi acontecendo na sequência do alargamento programado da gama de produtos: de uma produção inicial de algumas peças mecânicas e óticas, foi-se evoluindo até à produção e montagem de câmaras fotográficas, binóculos, objetivas e miras telescópicas, que são, na sua maioria, enviados para a casa mãe. Para além da Produção, a empresa conta com processos de desenvolvimento e Customer Care, que operam em parceria com a casa mãe.

1.2 Contexto atual da unidade

A Leica está posicionada no mercado de forma bastante particular e detém uma imagem que se destaca, claramente reconhecida como produtora de aparelhos de elevada precisão e elevados padrões de qualidade. Isto promove uma cultura de exigência, refletida nos objetivos definidos para o seu Sistema de Gestão de Qualidade.

A contextualização da unidade e a definição de estratégias que definem o seu rumo são essencialmente geridas pela casa-mãe, sendo que a análise dos riscos associados ao processo que possam influenciar a qualidade do produto e/ou a satisfação do cliente é realizada num âmbito mais operativo e específico, por esta unidade da Leica [1].

Os clientes Leica procuram um produto de elevados padrões de qualidade e possuem uma paixão particular pela fotografia e observação. A opção pela Leica, cujos clientes têm uma média de idades que ronda os cinquenta anos, advém, não só da razão, mas também da emoção [1].

Neste momento, a unidade conta com a colaboração de mais de 800 pessoas com elevado grau de competência e experiência. É constituída por três secções produtivas, nomeadamente, a secção Mecânica, a secção Ótica e a secção de Montagem, mas ainda pelas secções de Desenvolvimento e Gestão dos Projetos, da Qualidade, Ferramentaria, Logística, Manutenção e Administrativa, que acompanham e enaltecem a produção nas suas diversas vertentes. Cada uma destas secções está a cargo de um chefe de secção, responsável pelas diversas decisões inerentes a cada uma delas, sendo que, nas secções produtivas existem os responsáveis de grupo, nível abaixo dos chefes de secção, que são responsáveis por um determinado grupo de trabalho ou por linhas de montagem.

1.3 Enquadramento e objetivos

Atualmente, na indústria dos aparelhos óticos de precisão é grande a competitividade, pelo que a excelência dos produtos finais constitui a principal prioridade. Desta forma, é necessário uma preocupação constante das organizações para que os produtos estejam em conformidade com os requisitos e se registre uma maior eficácia em todos os processos de produção.

Uma das gamas de produtos desenvolvidos e fabricados na empresa são os produtos da linha *Sport Optics*. O presente trabalho, desenvolvido na secção de Montagem, com a colaboração do departamento de Qualidade, focou-se numa área da *Sport Optics*, nomeadamente nas linhas de montagem dos binóculos de observação e, mais concretamente, nos binóculos da família Ultravid HD-Plus.

Nesta secção reúnem-se os produtos finais de todas as secções da empresa, sendo fundamental haver um elevado rigor nos requisitos destas peças bem como no processo produtivo, em si. Apesar do controlo de qualidade ser transversal a todos os processos produtivos da unidade, é nesta secção onde, de facto, se procede à confirmação final dos parâmetros de qualidade delimitados pela empresa.

Na linha de montagem dos binóculos da família Ultravid HD-Plus, verificou-se que existe uma elevada taxa de rejeição final, pelo que a necessidade de retrabalhos consequente, acaba por envolver desperdício de tempo e recursos. Após a observação e análise efetuada, entendeu-se que para esta taxa elevada concorriam um conjunto de fatores, nomeadamente associados aos trabalhos de manipulação e limpeza dos componentes, limpeza e organização do espaço e peças que não estão dentro das tolerâncias estabelecidas. Desta forma, a implementação de medidas que reduzam estes retrabalhos, para além de diminuir a probabilidade de rejeição final, vão otimizar os tempos de montagem em cada posto de trabalho, com efeitos positivos na produção diária.

Numa fase inicial, procedeu-se ao conhecimento dos produtos de forma detalhada, através da observação dos processos de fabrico dos seus componentes na secção Mecânica e Ótica da empresa. Já na secção de Montagem, houve um maior acompanhamento das várias etapas, com execução de algumas delas, o que possibilitou uma mais ampla compreensão do funcionamento do binóculo de observação, dos mecanismos e procedimentos usados na sua montagem, assim como detetar algumas dificuldades e problemas inerentes a cada posto de trabalho que pudessem potenciar o aparecimento de partículas de sujidade nos seus componentes óticos e, em consequência, provocar a sua rejeição final.

1.4 Metodologia

Uma vez conhecida a atividade da empresa e tomado conhecimento do enquadramento do produto a ser estudado, assim como do respetivo processo produtivo, a metodologia seguida na presente Dissertação, foi a seguinte:

- Definição objetiva dos problemas existentes na linha de montagem final da família de binóculos do Ultravid HD-Plus, através da observação dos postos de trabalho e estudo dos registos de rejeição final do produto.
- Recolha de dados para posterior análise das possíveis causas dos problemas e elaboração de amostragens iniciais para quantificar e avaliar, com mais detalhe, cada problema e não conformidade. Nesta fase, o acompanhamento do processo de montagem foi fundamental para perceber as possíveis melhorias a implementar.
- Desenvolvimento de propostas de otimização e realização de estudos para averiguar e quantificar a viabilidade das mesmas, de forma a justificar a sua implementação futura.
- Comparação dos registos de rejeição final analisados pelo Controlo de Qualidade, antes e após a implementação das otimizações, e concluir se o objetivo de diminuição da taxa de rejeição final foi atingido.

1.5 Estrutura da Dissertação

Esta Dissertação está organizada em mais 5 capítulos e 4 anexos, para além da Introdução:

- Capítulo 2: Fundamentos. Neste capítulo faz-se uma breve introdução à evolução dos instrumentos óticos de observação à distância, prosseguindo-se com a caracterização de um binóculo e apresentação das suas características principais. De seguida, abordam-se os componentes óticos que o integram, assim como aberrações óticas associadas e revestimentos aplicados. Apresentam-se ainda alguns processos para a obtenção dos componentes dos binóculos, realizados na secção Ótica e na secção Mecânica. Finalmente, expõe-se o conceito de qualidade, a metodologia 5S e a microscopia eletrónica de varrimento.
- Capítulo 3: Secção de Montagem: produtos e linhas de montagem estudados. Apresentação da secção de Montagem da empresa, da família de binóculos estudada e das respetivas linhas de montagem.
- Capítulo 4: Testagem de soluções para redução de partículas de sujidade. Desenvolvimento de caixa de aspiração, teste de lavagem das molas por ultrassons, teste de binóculos com Planatol, desenvolvimento de mecanismo para teste de estanquicidade e identificação de partículas de sujidade nas oculares.

- Capítulo 5: Outras soluções desenvolvidas. Apresentam-se outro tipo de soluções implementadas nas linhas de montagem dos binóculos de observação, designadamente resolução de problemas na ajustagem binocular, aplicação da metodologia 5S, corte de esponjas com máquina de gravação a laser e desenvolvimento de base de fixação para desaperto de objetivas.
- Capítulo 6: Conclusões e trabalhos futuros. Sumário das conclusões retiradas de todo o trabalho apresentado.
- Anexos: Desenhos técnicos de conjunto e 2D das ferramentas e mecanismos criados, imagens recolhidas no MEV e os espectros EDS.

2 Fundamentos

2.1 Introdução

Neste capítulo, foi realizada uma breve apresentação dos instrumentos óticos de observação à distância (a sua evolução), dos binóculos, desde os seus componentes óticos às suas características funcionais e técnicas.

Num primeiro momento, abordaram-se os componentes óticos que os integram, assim como aberrações óticas associadas e revestimentos aplicados. Apresentaram-se ainda alguns processos produtivos dos componentes dos binóculos que decorrem na secção Ótica e na secção Mecânica da empresa.

Finalmente, foram abordados o conceito de qualidade, a metodologia de gestão 5S e a microscopia eletrónica de varrimento.

2.2 Instrumentos óticos de observação à distância

Os instrumentos óticos de observação à distância evoluíram rapidamente, desde a invenção do telescópio, em 1608, por Hans Lipperhay, na Holanda. O desenvolvimento dos binóculos começou quase em simultâneo, no entanto, enquanto o telescópio atingiu a configuração moderna, em aproximadamente 100 anos, só passados quase 300 anos, é que apareceram os binóculos com prismas, tal como os que conhecemos atualmente. Este atraso pode ser explicado pelo facto dos binóculos não serem apenas a junção de dois telescópios, mas apresentarem desafios significativos de engenharia, tais como, o alinhamento dos eixos óticos dos dois telescópios deve ser paralelo e colimado, as duas ampliações devem estar coincidentes e a necessidade de se ajustar a distância interpupilar para que corresponda à do utilizador [2].

Em 1609, surgiu a ótica Galileana, inventada por Galileu Galilei, que utiliza uma lente convexa na objetiva e uma côncava na ocular, não necessitando com esta conjugação, da utilização de prisma para corrigir a imagem invertida. Os binóculos que apresentam esta ótica são mais compactos e leves, contudo, o campo de visão não é muito amplo, tendo, também, as áreas periféricas não focadas e a sua ampliação não ultrapassa as 4x [2, 3].

Em 1611, Johannes Kepler inventou o telescópio astronômico cuja forma convexa das lentes das oculares e objetivas proporcionavam um campo de visão bastante amplo. No entanto, a não utilização de prisma no trajeto ótico resultava numa imagem invertida para o observador. Assim, em 1645, Anton Maria Schyrleus de Rheita utilizou uma combinação de lentes com o intuito de obter imagens eretas (não invertidas) para criar um telescópio terrestre com uma ampliação e campos de visão aceitáveis [2].

O primeiro binóculo com prismas foi inventado em 1854 por Ignatio Porro. Estes binóculos permitem a correção da imagem invertida e, ao mesmo tempo, a redução do caminho ótico, tornando o binóculo mais compacto. Juntamente com a utilização de lentes convexas na objetiva, é conseguido um campo de visão mais amplo e com maior ampliação. Mais tarde, em 1897, surgiu, numa empresa em Wetzlar (Alemanha), uma nova configuração de sistema de prismas eretos com a incorporação de superfícies em forma de telhado nos binóculos [2]. Existem, assim, dois tipos de binóculos de prisma: o prisma Porro e o prisma Roof.

Os instrumentos de observação à distância classificam-se de acordo com a sua utilização, configuração ótica e mecânica, desde o telescópio até ao binóculo prismático, conforme se pode observar na Figura 2.1.

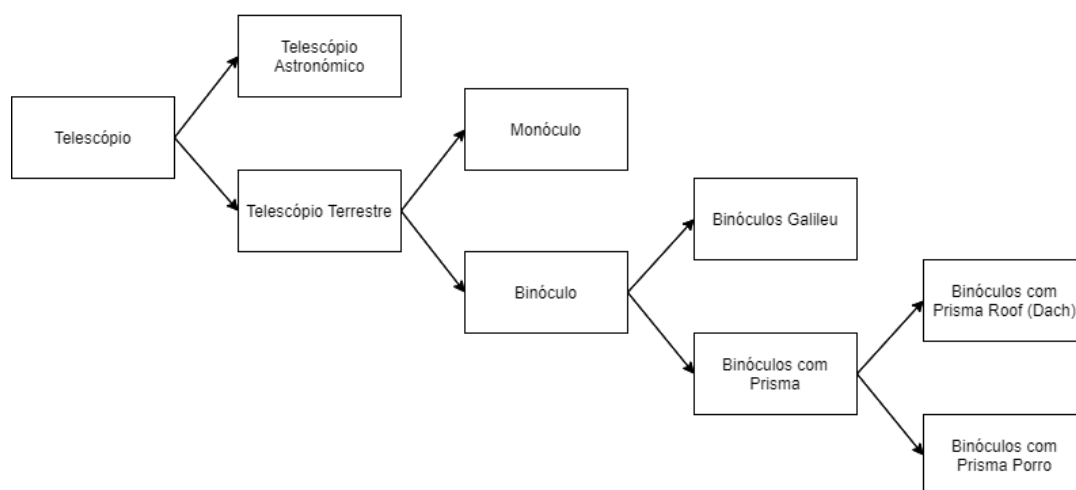


Figura 2.1 - Classificação dos instrumentos óticos de observação à distância.

2.3 Binóculos

Um binóculo é usado para ver um objeto distante, simultaneamente com os dois olhos. A imagem visualizada parece maior ou ampliada, quando comparado com a imagem vista a olho nu, permitindo observar com um maior detalhe. O binóculo é constituído por dois pequenos telescópios refratores unidos por um sistema articulado, que permite adequar estes dois pequenos

telescópios à distância entre pupilas do observador, também conhecida como distância interpupilar. Os eixos óticos destes dois componentes são nominalmente paralelos [4].

A lente ou conjunto de lentes que ficam viradas para o objeto a observar são as objetivas, enquanto que as lentes mais próximas do olhos são as oculares. Para uma melhor qualidade de ótica, a objetiva é constituída por duas lentes ou mais lentes, enquanto que as oculares costumam ter entre três a cinco lentes. Entre as objetivas e as oculares existe um sistema de prismas, que corrige a imagem e torna o comprimento dos binóculos mais curto. Compõe também o binóculo um dispositivo de focagem e outro de compensação da diferença de dioptrias que pode existir entre cada olho (Figura 2.2) [5].

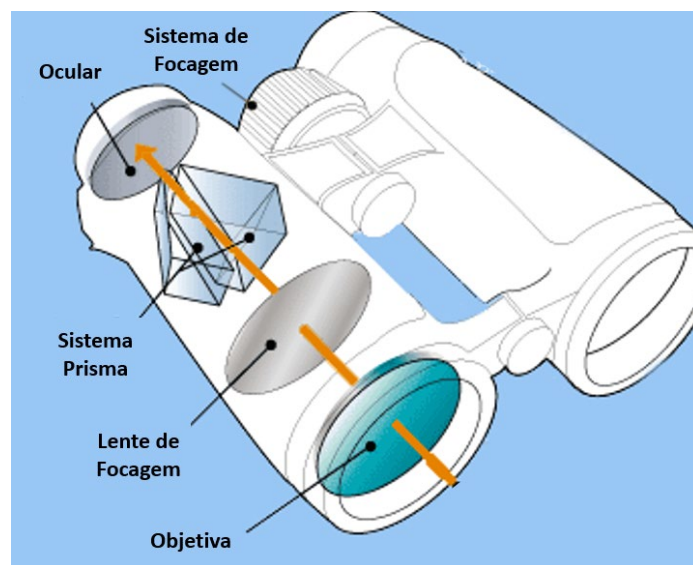


Figura 2.2 - Componentes de um binóculo (adaptado de [6]).

Em seguida, são apresentadas as características funcionais dos binóculos que o tornam num produto ótico com uma utilização muito específica.

2.3.1 Ampliação

Ampliação é o rácio entre o tamanho aparente de um objeto e o que um observador vê a olho nu. Por exemplo, um objeto a 800 metros de distância visto através de binóculos com ampliação de 8x parece igual, em tamanho, a um objeto de 100 metros de distância visto a olho nu. Quanto maior a ampliação, maior será a instabilidade de imagem, porque será mais sensível aos movimentos da mão do utilizador, por isso recomenda-se a utilização de tripés para binóculos de grande ampliação (Figura 2.3) [7]. A ampliação pode ser calculada da seguinte forma:

$$\text{Ampliação} = \frac{\text{Diâmetro efetivo das lentes da objetiva}}{\text{Diâmetro da pupila de saída}} \quad (1)$$

Todos os binóculos têm normalmente impressos no seu corpo uma indicação numérica do género “8x50” e “10x50”. O primeiro número indica a ampliação (“8x” significa que o objeto parecerá oito vezes maior através do binóculo) e o segundo é o diâmetro da pupila de entrada em milímetros (diâmetro da lente frontal da objetiva) [8].



Figura 2.3 - Diferentes ampliações [9].

2.3.2 Diâmetro da objetiva

Relativamente ao diâmetro da pupila de entrada/lente frontal da objetiva (também conhecido como abertura), este afeta a quantidade de luz que entra nos binóculos, podendo estar diretamente relacionada com o fator de visibilidade do binóculo (Figura 2.4). Também, quanto maior for este diâmetro maior e mais pesado vai ser o binóculo, aumentando assim o esforço para a sua utilização, por longos períodos de tempo [7, 10].



Figura 2.4 - Diâmetro da objetiva [9].

A indicação numérica já mencionada (por exemplo 10x42), indica, também, qual o fator de visibilidade associado ao binóculo, que consiste na quantidade de detalhe observável por uma determinada medida de binóculos. Considerando uma qualidade de ótica exatamente igual, uns binóculos 10x42 (visibilidade de 420) conseguem observar maior detalhe do que uns 7x50

(visibilidade de 350). No caso de uma qualidade ótica diferente, a maior abertura dá mais resolução, mas não necessariamente a imagem mais contrastada ou mais agradável, pois lentes com melhor qualidade numa menor abertura, geralmente ganham nessas características, a lentes de pior qualidade e numa maior abertura [7, 9].

Os binóculos são classificados de acordo com o diâmetro da lente objetiva. No caso de diâmetros abaixo de 25 milímetros são considerados binóculos do tipo *Compact*, caso o diâmetro se encontre entre 30 e 50 milímetros é um binóculo padrão e no caso de ter acima de 50 milímetros então consideram-se como sendo binóculos para observação astronômica.

2.3.3 Pupila de saída

Toda a luz que entra pelas objectivas tem de chegar à retina dos nossos olhos, caso contrário existe um desperdício de parte da luz admitida pela objectiva. Após atravessar todo o sistema óptico do binóculo, e antes de chegar ao olho do observador, o diâmetro do feixe luminoso passa por um mínimo (Figura 2.5), na chamada pupila de saída, que não deverá exceder o da pupila do olho, para que o globo ocular receba toda a luz captada pela objectiva [11].



Figura 2.5 - Pupila de saída [9].

O diâmetro da pupila de saída é calculado da seguinte forma:

$$\text{Diâmetro da pupila de saída} = \frac{\text{Diâmetro efetivo das lentes da objetivas}}{\text{Ampliação}} \quad (2)$$

Desta forma, pode-se dizer que num binóculo “10x50”, dividindo 50 por 10, obtêm-se uma pupila de saída de 5 mm.

Se um binóculo tiver maior ampliação do que outro e o diâmetro efetivo das lentes das objetivas do mesmo diâmetro, a mesma luz espalha-se por uma área maior na retina, originando uma imagem que embora seja maior, é menos luminosa. Com uma menor ampliação a imagem será mais luminosa. Contudo, a ampliação não pode, para uma dada abertura, ser inferior a um

certo valor, pois, no caso da ampliação ser demasiado baixa, a pupila de saída ficará maior que a pupila do olho e, por conseguintes, não é aproveitada toda a luz captada pelas objectivas. Como a pupila ocular adaptada à escuridão (num indivíduo jovem) atinge cerca de 7 mm de diâmetro, na observação astronómica a pupila de saída do binóculo não deverá exceder esses 7 mm. Se o diâmetro efetivo das lentes das objetivas for de 40 mm a ampliação não deverá ser inferior a cerca de “6x”, pois $40/6 = 6,7$ e um diâmetro efetivo das lentes das objetivas com abertura de 50 mm não deverá ter ampliação inferior a “7x”, visto que $50/7 = 7,1$ [11, 12].

2.3.4 Campo de imagem

O campo de imagem, também denominado de campo de visão, consiste no tamanho da “janela” observada através de um binóculo a uma distância de 1000 metros (Figura 2.6). Este parâmetro é determinado pela abertura da ocular e pela forma dos prismas incorporados no sistema ótico do binóculo [7, 9].

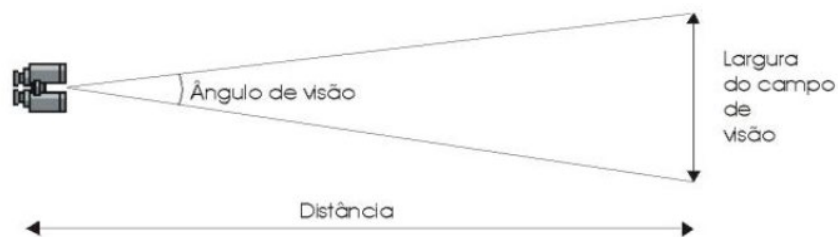


Figura 2.6 - Campo de imagem [12].

Alguns binóculos são especialmente projetados para proporcionar um grande campo de imagem pela utilização de lentes oculares grande-angular, fazendo com que seja muito mais fácil identificar objetos à primeira vista (

Figura 2.7) [12].

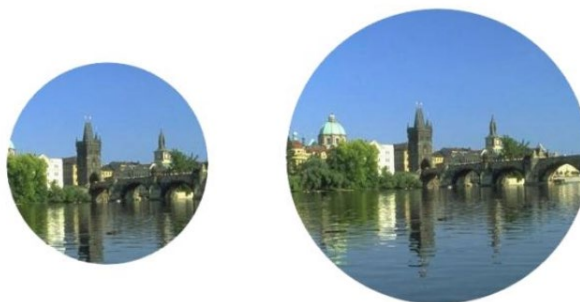


Figura 2.7 - Campos de imagem distintos [12].

2.3.5 “Eye relief”

O *eye relief* é a distância da superfície externa da lente da ocular até a posição onde a pupila de saída é formada (*eyepoint*). Se o *eye relief* é demasiado curto, não é possível colocar o olho no *eyepoint*, o que pode resultar na ocorrência do efeito vinheta ilustrado na primeira imagem da Figura 2.8. Se este for suficientemente grande, os utilizadores com óculos podem usar os binóculos e observar o campo de imagem sem o efeito vinheta ilustrado na segunda imagem da Figura 2.8 [9].

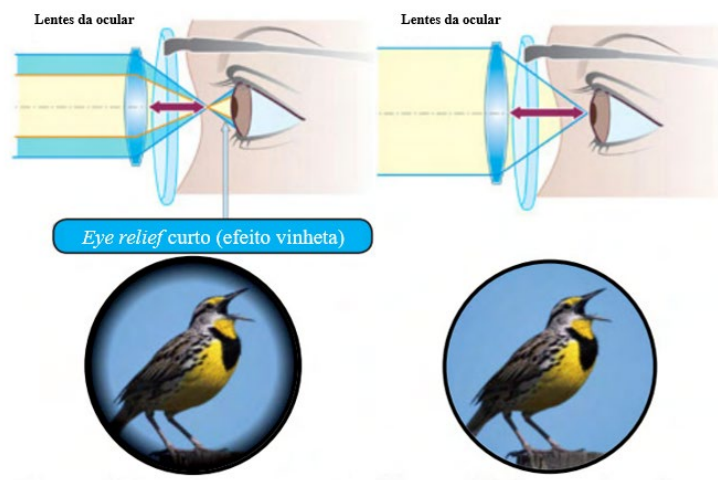


Figura 2.8 - *Eye relief* curto vs *Eye relief* coincidente com o *Eyepoint* (adaptado de [9]).

2.3.6 Focagem

Um binóculo, porque tem a capacidade de focar a diferentes distâncias, permite a visualização de imagens nítidas. Para esse efeito, existem dois tipos de sistema, o de focagem central, habitualmente mais usado, e o de focagem individual [13].

O sistema de focagem central (Figura 2.9) é caracterizado por um botão/anel de focagem, situado no eixo da articulação entre as duas metades do binóculo. Este mecanismo permite acionar os dois eixos inseridos nas duas metades do binóculo e movimentar axialmente as mangas de focagem, obtendo-se uma focagem simultânea para os dois olhos, o que o torna vantajoso para uma observação, em que o ponto de focagem esteja constantemente a mudar [8].



Figura 2.9 - Sistema de focagem central (adaptado de [13]).

Já nos binóculos com um sistema de focagem individual, em que cada uma das oculares tem a sua própria focagem, é necessário realizar a focagem para cada olho individualmente antes de se iniciar a observação, dispendendo-se mais tempo no ajuste [13].

2.3.7 Compensação de dioptrias

Um olho míope não consegue focar adequadamente num alvo distante, porque a sua distância focal é muito curta. Num olho hipermetrópico a distância focal é muito longa [4]. Na Figura 2.10, explicam-se estes erros refrativos do globo ocular.



Figura 2.10 - Olhos com miopia e hipermetropia (adaptado de [14]).

Para que um objeto distante visto pelos binóculos esteja em foco para qualquer um desses olhos com erros refrativos do globo ocular, o feixe que entra no olho deve ser ligeiramente divergente para um olho com miopia e ligeiramente convergente para um olho com hipermetropia. As capacidades de foco dos olhos de cada utilizador varia, portanto, exigem diferentes quantidades de compensação para trazer uma imagem focada através de um binóculo. Os desvios da condição colimada são medidos em dioptrias e são positivos ou negativos. Este ajuste de dioptria não corrige o astigmatismo do utilizador, sendo necessárias lentes de contacto ou óculos [4].

Para fazer este ajuste, num primeiro momento, é necessário olhar através dos binóculos com apenas um olho. Dependendo das indicações de cada modelo de binóculo, dever-se-á iniciar a observação pelo olho esquerdo ou pelo olho direito. Por exemplo, se a visualização ocorrer pelo

olho esquerdo, é focada a imagem do lado esquerdo com o botão de focagem central. Seguidamente, é necessário certificar que a imagem do olho direito também está focada. Caso tal não aconteça, dever-se-á focar o lado direito usando a botão de ajustagem para a compensação das dioptrias (Figura 2.11).



Figura 2.11 - Botão de ajustagem para a compensação das dioptrias (a) e botão de focagem (b) (adaptado de [15]).

2.4 Componentes óticos

Os binóculos são constituídos por um sistema ótico que engloba dois tipos de componentes: os prismas e as lentes que estão na constituição das oculares, mangas e objetivas. Estes componentes estão centrados num único eixo, denominado de eixo ótico. Isto quer dizer que a posição e tamanho da imagem final formada pelo sistema ótico pode ser determinada através do traçado de raios para cada lente. A imagem formada por uma lente torna-se o objecto (real ou virtual) para a lente a seguir e assim sucessivamente (Figura 2.12) [16].

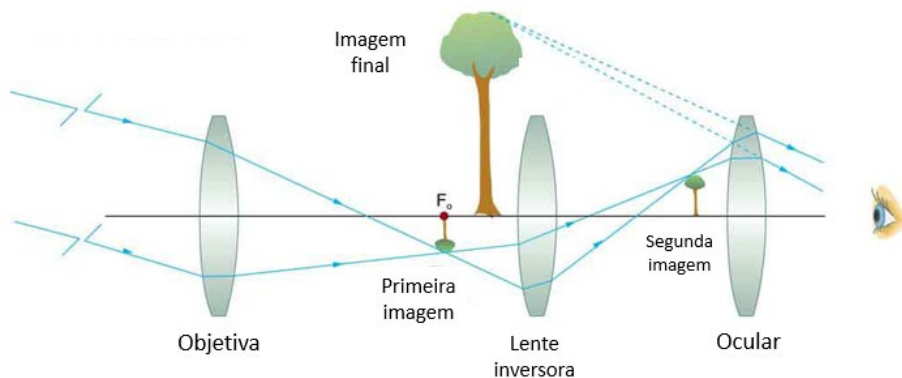


Figura 2.12 - Imagens visualizadas com as lentes de um binóculo (adaptada de [17]).

A qualidade de imagem de um binóculo depende de alguns fatores destes componentes, nomeadamente, alinhamento do eixo ótico, qualidade das lentes, tratamento dado à superfícies e qualidade do prisma. Contudo, no caso de uma fraca estabilidade mecânica do corpo e do mecanismo de focagem, esta qualidade não é totalmente assegurada [7].

2.4.1 Lentes

As lentes são meios transparentes limitados por duas superfícies curvas ou uma curva e outra plana. Estes elementos óticos que atuam por refração, introduzem descontinuidades no meio em que a luz se propaga inicialmente, reconfigurando a distribuição da energia transmitida, independentemente da frequência da luz [7, 16]. Estas podem ser simples, se só constituídas por um elemento, tendo apenas duas superfícies refratoras. Quando há mais que um elemento disposto em série, podem ser dubletos (duas lentes) e tripletos (três lentes). Todavia, estas lentes em série, quando coladas, são consideradas como uma lente única, adquirindo assim características próprias, resultante da soma dos efeitos óticos de cada lente [10].

De seguida, serão abordados os vários tipos de lentes:

Lentes convergentes

Neste tipo de lentes a parte média é mais grossa que os bordos (Figura 2.13). Estas lentes dividem-se ainda em 3 tipos [7]:

- Lentes plano-convexas - limitadas por uma face plana e por uma face esférica convexa;
- Lentes biconvexas - limitadas por duas faces esféricas convexas;
- Lentes menisco-convexas - limitadas por duas faces esféricas, sendo uma côncava e outra convexa.

Lentes plano-convexas Lentes biconvexas Lentes menisco-convexas

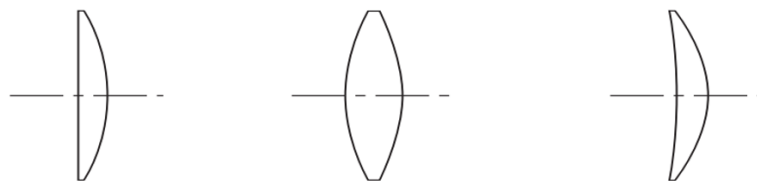


Figura 2.13 - Tipos de lentes convergentes [7].

Para estas lentes, como se pode observar na Figura 2.14, os raios que partem do ponto focal objecto, F , depois de atravessarem a lente ficam paralelos ao eixo ótico (a tracejado), enquanto

que os raios paralelos ao eixo óptico (a cheio) depois de atravessarem a lente convergem para o ponto focal imagem, F' [16].

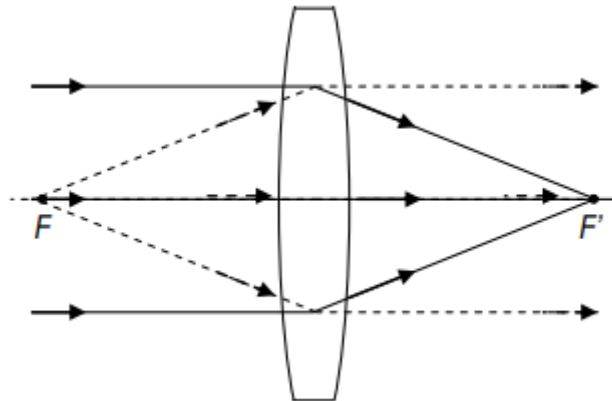


Figura 2.14 - Raios incidentes numa lente convergente (F - Ponto focal objecto; F' - ponto focal imagem) [16].

Lentes divergentes

Este tipo de lentes são esféricas de bordos espessos, que transformam um feixe de raios paralelos ao eixo principal num feixe divergente [7].

As lentes divergentes dividem-se em 3 tipos (Figura 2.15):

- Lentes plano-côncavas - limitadas por uma face plana e por uma face esférica côncava;
- Lentes bicôncavas - limitadas por duas faces esféricas côncavas;
- Lentes menisco-côncavas - limitadas por duas faces esféricas, sendo uma côncava e outra convexa, de raios de curvatura diferentes.

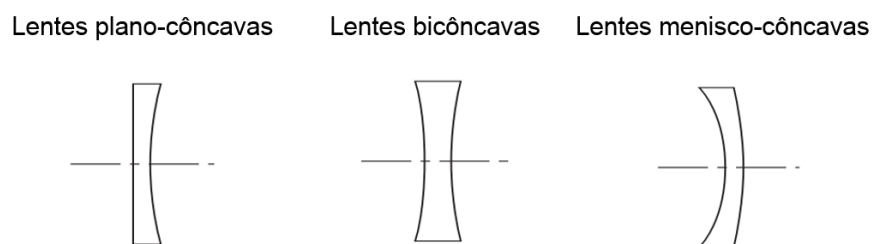


Figura 2.15 - Tipos de lentes divergentes [7].

Para estas lentes, como se pode observar na Figura 2.16, os raios paralelos ao eixo óptico (a cheio) depois de atravessarem a lente divergem de tal forma que os seus prolongamentos se cruzem no ponto focal objecto, F , enquanto que os raios que incidam na lente de tal forma que

os seus prolongamentos se cruzem no ponto focal imagem, F' , depois de atravessarem a lente tornam-se paralelos ao eixo óptico (a tracejado) [16].

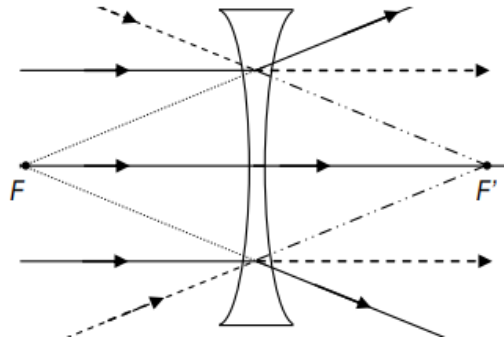


Figura 2.16 - Raios incidentes numa lente divergente (F - Ponto focal objecto; F' - ponto focal imagem) [16].

2.4.2 Prismas

Os prismas são elementos óticos geométricos que podem assumir um grande número de funções diferentes em ótica. A mais frequente função de um prisma é a usada nos instrumentos óticos de observação, consiste no controlo da orientação de uma imagem ou da direção de propagação de um feixe de luz [18].

Nos binóculos, com o intuito de produzir imagens direitas, isto é, uma correção da imagem invertida causada pelas lentes que os constituem, e para tornar os aparelhos mais compactos, são usados sistemas inversores de prismas. Este controlo da orientação de uma imagem é garantida pelas superfícies retas e polidas destes componentes, usando a refração nas superfícies de entrada e saída e reflexão nas superfícies intermédias [7, 10]. Estes componentes podem ser de dois tipos, como se pode observar na Figura 2.17. A linha representa, em ambos os binóculos, a direção do feixe de luz.

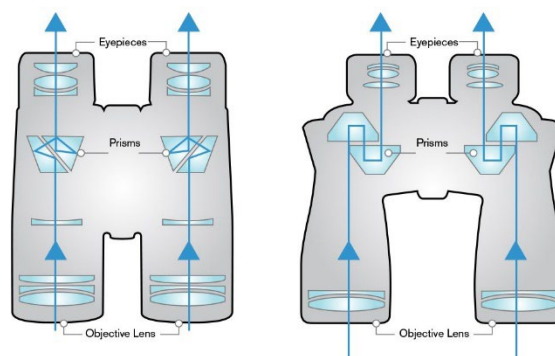


Figura 2.17 - Prisma de Telhado (à esquerda) e de Porro (à direita) [19].

Os prismas de Porro surgiram no século XIX e foram o design mais popular até ao aparecimento dos prismas de Telhado. Esta configuração é a melhor para as observações astronómicas, pois permite a máxima luminosidade da imagem e o mais amplo campo visual. Os binóculos com prismas de Porro reconhecem-se facilmente, pois o eixo de cada ocular não está no prolongamento do eixo da objectiva correspondente. Desta forma, os binóculos com estes prismas, costumam ter maiores dimensões. Os prismas de Telhado são a solução mais cara e mais compacta que a anterior, embora geralmente as imagens sejam menos luminosas e o campo visual mais estreito. Os binóculos deste tipo reconhecem-se pelo facto de terem cada ocular no prolongamento do eixo da objectiva correspondente (a distância entre os centros das oculares é igual à distância entre os centros das objectivas) [19]. A diferença de luminosidades entre estes prismas, deve-se ao facto do prisma de telhado ter uma lente extra e de sofrer seis reflexões, enquanto que o prisma de Porro sofre quatro. Esta situação faz com que o prisma de telhado não disponha de uma reflexão interna total, não havendo, assim, uma máxima transmissão. O maior custo financeiro do prisma de telhado deve-se ao facto de ser necessária a utilização de uma tecnologia avançada para o seu processamento com precisão, em prol da qualidade de imagem e nitidez pretendidas [20].

2.4.3 Aberrações óticas

O fabrico de instrumentos óticos de qualidade requer o uso de tecnologia avançada, especialmente na obtenção dos vidros óticos e no tratamento a que são submetidos. Este processo exige muita atenção e minúcia, tendo em vista a minimização das aberrações que se verificam, dado que não é possível eliminá-las totalmente. Dentro das aberrações óticas existem as monocromáticas e as cromáticas [12].

2.4.3.1 Aberrações monocromáticas

As aberrações monocromáticas provocam mudanças relacionadas com a forma da imagem, e compreendem a aberração esférica, coma, astigmatismo, curvatura do campo, distorção e aberração cromática.

Aberração esférica

A aberração esférica ocorre em lentes esféricas ou espelhos, porque estes não concentram os raios de uma fonte luminosa no mesmo ponto focal, mas em pontos diferentes ao longo do eixo óptico (Figura 2.18). Esta aberração reduz o contraste de imagens e degrada os detalhes, podendo ser reduzida com o uso de diafragmas ou com a combinação de lentes convergentes e divergentes [7, 21].

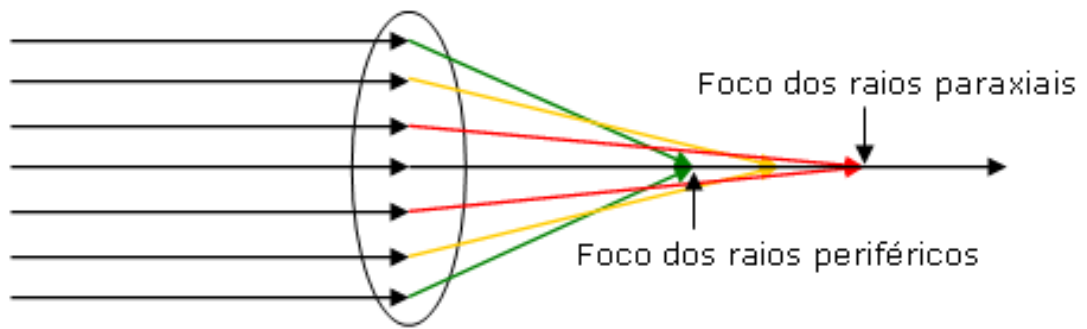


Figura 2.18 - Representação da aberração esférica [22].

Aberração coma

A aberração coma afeta os raios de uma fonte luminosa que não incide paralelamente ao eixo óptico, mas com um determinado ângulo (Figura 2.19). Quando os raios incidentes atingem a lente com um certo ângulo de incidência, esses raios individuais não são refletidos para o mesmo ponto focal. Esta aberração pode ser minimizada de forma semelhante à aberração esférica [7, 21].

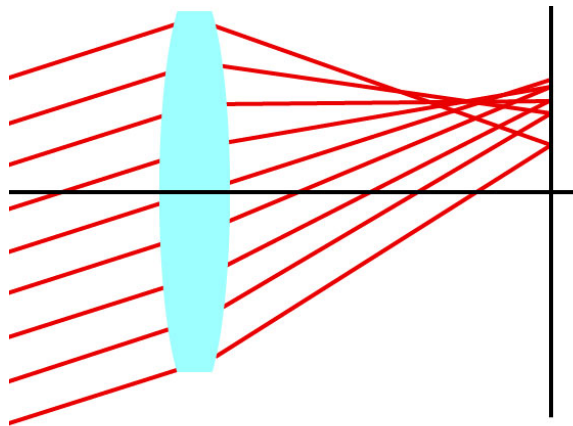


Figura 2.19 - Representação da aberração coma [23].

Aberração estigmatismo

O astigmatismo é outra aberração que afeta os raios de um ponto fora do eixo óptico. Verifica-se quando uma lente esférica possui uma distância focal horizontal diferente da vertical (Figura 2.20). A imagem de um sistema ótico com astigmatismo apresenta então duas distâncias focais pertencentes a dois planos diferentes [7].

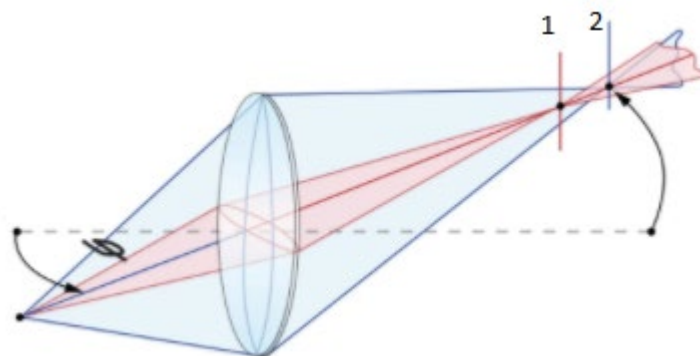


Figura 2.20 - Representação da aberração estigmatismo (1- Ponto focal horizontal; 2- Ponto focal vertical) (adaptado de [23]).

Aberração curvatura de campo

Quando a luz é focada através de uma lente curva, o plano de imagem produzido pela lente será uma superfície curva em vez de uma superfície plana (Figura 2.21). A correção para esta aberração consiste na utilização de lentes de sinal contrário, pois a curvatura de campo é negativa para uma lente positiva e positiva para uma lente negativa [7, 21].

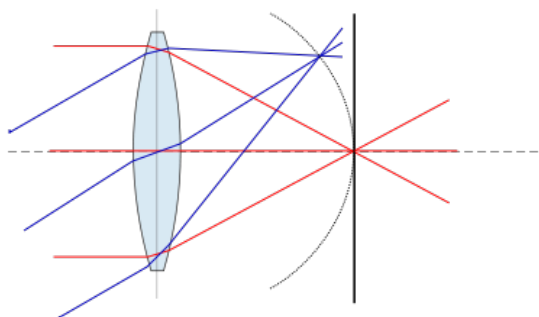


Figura 2.21 - Representação da aberração curvatura de campo [23].

Aberração distorção

Ocorre do facto de zonas distintas das lente revelarem distâncias focais diferentes, logo ampliações distintas. Na ausência de qualquer outra aberração, a distorção manifesta-se através de uma deformação de imagem, mais acentuadamente. Existem dois tipos de distorção: positiva e negativa. Na positiva cada imagem pontual afasta-se radialmente do centro e os pontos mais distantes afastam-se ainda mais rapidamente, enquanto que na distorção negativa em vez de um afastamento, ocorre uma aproximação do centro (Figura 2.22) [7].

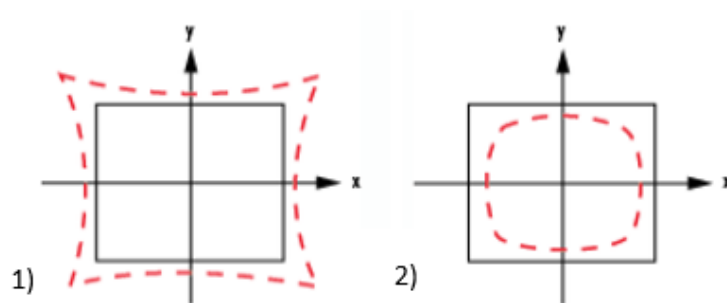


Figura 2.22 - Representação de aberração positiva (1- imagem afasta-se do centro) aberração negativa (2- imagem aproxima-se do centro) [23].

2.4.3.2 Aberração cromática

A aberração cromática ocorre quando um raio de luz de menor comprimento de onda converge primeiro do que um raio de luz com um maior comprimento de onda. Desta forma, uma lente que sofre aberração cromática tem diferentes distâncias focais para cada cor (Figura 2.23). Esta aberração afeta a nitidez e gera contornos com cores alteradas [7].

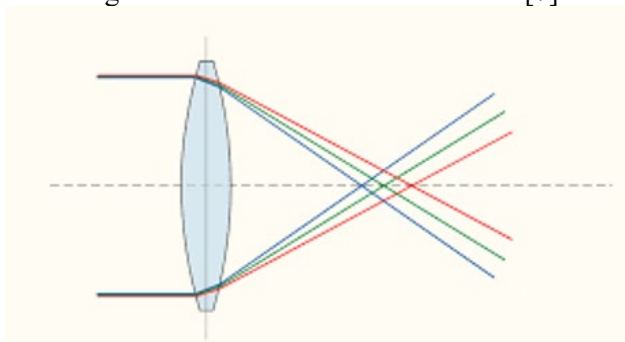


Figura 2.23 - Representação da aberração cromática [23].

2.4.4 Revestimentos dos componentes óticos

O revestimento ótico é o resultado do tratamento dado aos componentes óticos, feito pela deposição física de filmes finos – PVD (*Physical Vapor Deposition*), com características antirreflexo. A sua função é reduzir o índice de reflexão e consequentemente aumentar a transmissão de luz, pois um binóculo não apresenta um fator de transmissão de luz de 100%. Quando a luz entra na lente, parte desta é refletida logo na superfície frontal (reflexão secundária). A luz transmitida passa através da lente e reentra na atmosfera, mas, parte desta, também é refletida quando atinge a última superfície das lentes (Figura 2.24). Esta luz que é refletida em vez de transmitida, é perdida, não fazendo parte da formação de imagem no binóculo. Isto ocorre nas várias superfícies óticas que a luz encontra ao longo da sua trajetória [24].

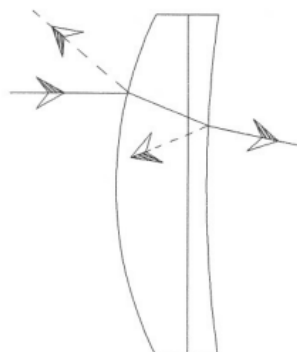


Figura 2.24 - Caminho de luz numa lente (setas a tracejado representam reflexões secundárias) [24].

Consequentemente, a quantidade de luz que sai das oculares em direção ao olho humano passa a ser inferior à quantidade de luz que incide e entra pelas objetivas. Em binóculos de alta qualidade, o revestimento das lentes e inclusive dos prismas, permite que mais de 95% da luz que chega à objetiva alcance os olhos do observador (Figura 2.25).

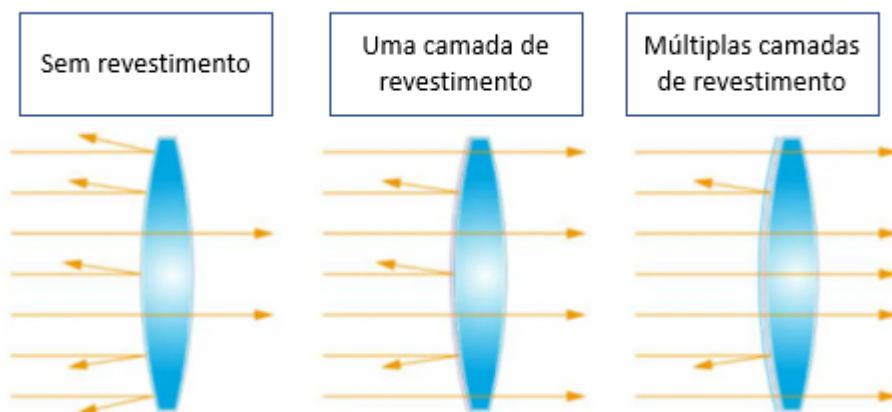


Figura 2.25 - Luz transmitida e refletida em lentes sem revestimento e com revestimento (adaptado de [3]).

O tratamento antirreflexo mais simples consiste na aplicação de uma única camada de revestimento, com máxima eficácia para a reflexão de um determinado comprimento de onda. Os binóculos são denominados de *coated* ou *fully coated* consoante o tratamento antirreflexo, a que as suas lentes são submetidas, é efetuado em pelo menos uma superfície ou em todas as suas superfícies. Com o intuito de reduzir as reflexões para diferentes comprimentos de onda, aplicam-se camadas sucessivas de revestimento antirreflexo de diferentes materiais. Os binóculos que apresentem pelo menos uma superfície com várias camadas de revestimento são designados de

multicoated e, do mesmo modo, se todas as superfícies receberem tratamento de várias camadas de revestimento, o binóculo passa a ser chamado de *fully multicoated* [24].

2.5 Processos produtivos dos componentes dos binóculos

Ao longo deste trabalho, o acompanhamento das secções Ótica e Mecânica, também se revelou muito útil e fundamental para uma melhor compreensão e análise das causas dos defeitos que são identificados e sinalizados, na linha de montagem. Estas secções são responsáveis pelos componentes em vidro e metálicos, que vão constituir o produto final (Figura 2.26).

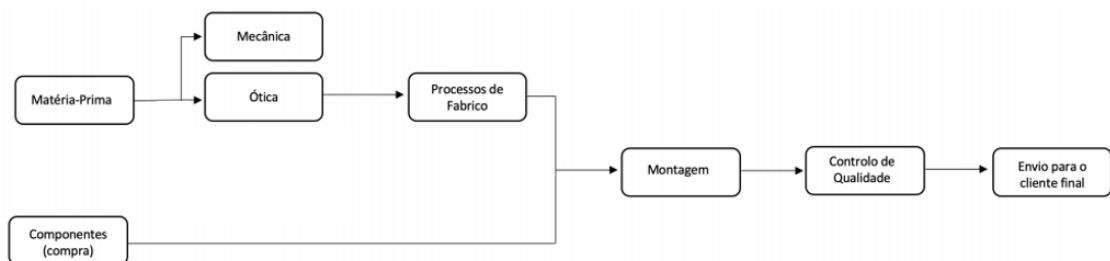


Figura 2.26 - Etapas para obtenção de um binóculo completo.

2.5.1 Secção Ótica

A secção Ótica da empresa contempla dois grandes grupos, a ótica plana, onde se produzem os prismas, e a ótica esférica, onde se produzem as lentes. Estes componentes óticos chegam à secção Ótica como matéria prima, sendo, então, sujeitos a uma sequência de processos consoante especificação, nomeadamente processos de fabrico (Figura 2.27) e revestimentos de superfície. Estes componentes óticos têm como finalidade guiar e corrigir os raios de luz desde a entrada no binóculo, para formar uma imagem perceptível ao olho humano.

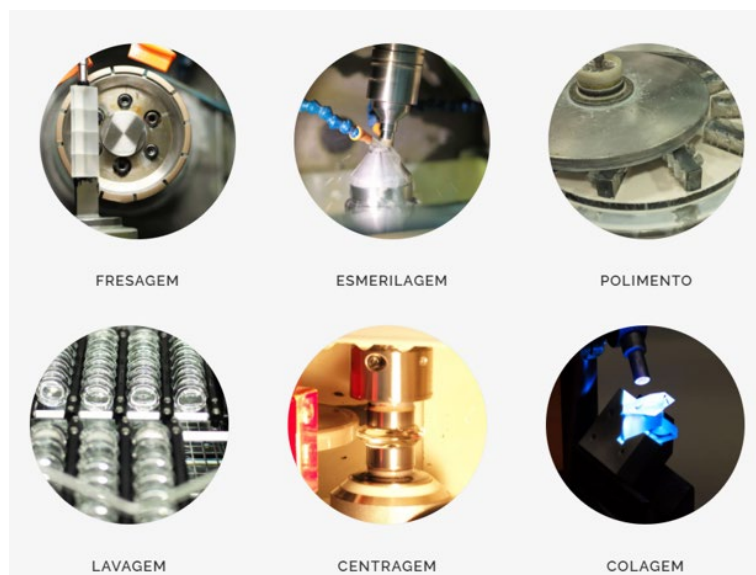


Figura 2.27 - Alguns processos de fabrico executados na secção Ótica (adaptado de [25]).

Os componentes óticos chegam em formas prensadas de lentes ou prismas a esta secção, já com uma geometria aproximada da lente ou prisma em que se vão transformar. Geralmente, os primeiros processos de fabrico a executar, nos componentes óticos, são [25]:

- Fresagem: o vidro é desbastado com recurso a ferramentas compostas por grão de diamante, designadas de calotes. No final deste processo, apesar das peças ainda se apresentarem baças, já adquirem as características geométricas pretendidas para o componente final, apenas com uma sobresspessura para o processo seguinte.
- Esmerilagem: processo idêntico ao anterior, no entanto, as ferramentas de diamante apresentam um grão mais fino, com vista à uniformização da superfície e diminuição da rugosidade superficial, apresentando os componentes, já no final desta etapa, alguma transparência.
- Polimento: os componentes são polidos com uma solução abrasiva de partículas muito finas, após o que, no final deste processo, as lentes e prismas têm de ficar completamente transparentes e isentas de riscos.

Após estes processos de pré-tratamento da superfície ótica, os componentes são encaminhados para outras etapas cruciais, com vista ao bom desempenho dos componentes óticos [25]:

- Centragem: processo aplicado apenas às lentes e permite alinhar o eixo ótico com o eixo mecânico, através do desbaste do cilindro das lentes até ao diâmetro desejado. O desbaste é efetuado por ferramenta de diamante muito fino para se obter um bom acabamento da superfície. A fixação das lentes é feita por ferramentas de aço muito precisas, de forma a não danificar as superfícies. Uma ótima centragem é essencial para processos

posteriores, como a colagem e a montagem, uma vez que não permite que o caminho de luz sofra desvios não planeados.

- Colagem: consiste em unir dois componentes óticos individuais conjugados, formando, assim, um novo componente ótico. No caso das lentes, o novo componente é designado de dubleto e no caso dos prismas, sistema de prismas. Para os prismas também é realizada a colagem na estrutura metálica de suporte, designada de cadeira do prisma.
- Lacagem: possibilita que os componentes óticos adquiram uma cor negra em torno do seu diâmetro e permite controlar a luminosidade e evitar a luz parasita. Este processo é realizado manualmente.

Em todas as fases intermédias da produção destes componentes óticos há um controlo, quer geométrico, quer estético, para verificar se todo o processo está a ir de encontro ao exigido e esperado. A lavagem também é um processo importante, pois permite eliminar todos os produtos utilizados na produção dos componentes e que são prejudiciais para a fase seguinte. Os principais elementos contaminantes são: óleo da centragem, solução de polir e dedadas originadas pelo manuseamento. Esta lavagem tanto pode ser a lavagem manual ou por ultrassons.

Em algumas lentes em contacto com o exterior (lentes das oculares e objetivas), podem também ser aplicados tratamentos de alta durabilidade (*High Durability Coating* - HDC), tratamentos anti-reflexo que reduzem as perdas de luz em todas as superfícies óticas e revestimentos AquaDura®, que repelem a sujidade e humidade presentes nos diversos ambientes.

Os prismas também podem receber um revestimento com correção de fase, uma vez que os caminhos de luz nos prismas *Roof* se divide em dois, antes de se combinar numa única imagem. Desta forma, este revestimento permite que os dois caminhos de luz do binóculo estejam em fase, quando chegam às oculares, garantindo que não há interferência entre a luz dos dois caminhos. Os diferentes tratamentos antirreflexo conferem uma coloração variável às lentes e prismas. Por este motivo, as lentes, para serem montadas aos pares, têm de ser emparelhadas, isto é, deve-se atribuir a uma lente de uma determinada tonalidade outra lente de tonalidade homóloga [25, 26].

2.5.2 Secção Mecânica

Grande parte dos componentes metálicos do binóculo são peças de revolução, como por exemplo as objetivas, as oculares e a manga de focagem. Desta forma, os processos de maquinagem utilizados nestes componentes são, essencialmente, o torneamento e a fresagem. O corpo do binóculo é o componente que apresenta maiores dimensões e, por essa razão, os corpos são fabricados por fundição injetada com vazamento de uma liga de magnésio, recebendo, posteriormente, um processo de polimento fino na zona visível pelo utilizador, com o intuito de eliminar relevos não requeridos, definir arestas e proporcionar uma superfície o mais homogênea possível. Um dos grupos mais importantes no binóculo é o grupo de acionamento da focagem, constituído pelo caracol grande, pelo botão e pela guia de focagem. Estas são peças que irão

permitir a realização da focagem e do ajuste de dioptrias. Existe, então, um conjunto alargado de componentes dos binóculos que passam pela secção Mecânica, tanto para realizar pequenas alterações, como também para transformação de matéria prima em componentes finais.

Esta secção encontra-se dividida em três grandes grupos, nomeadamente, os processos de fabrico, os tratamentos de superfície e a ferramentaria.

O grupo dos processos de fabrico (Figura 2.28) encontra-se dividido por:

- Torneamento CNC (*Computerized Numerical Control*), que é a primeira fase do processo de produção de peças cilíndricas;
- O torneamento CNC fino onde se garantem pequenos detalhes, tanto a nível funcional como a nível estético;
- A fresagem onde as peças são maquinadas a partir de blocos maciços ou se realizam alterações em peças fundidas.

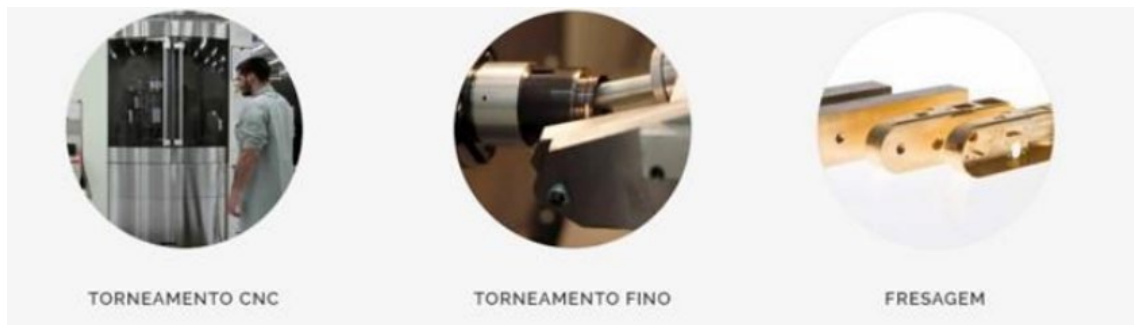


Figura 2.28 - Processos de fabrico (adaptado de [25]).

Neste grupo, existe um controlo de qualidade anexo a cada máquina onde se controlam algumas grandezas à medida que as peças vão sendo produzidas. Existe ainda um controlo de qualidade final, onde podem ser realizadas mais algumas verificações e ainda alguns acabamentos, como escovagem e polimento manual, antes de passarem para as próximas fases. Dos componentes do binóculo que passam por este setor podem salientar-se os grupos de acionamento responsáveis pela focagem e ajuste de dioptrias, os anéis das objetivas e oculares, anéis da manga de focagem e certos corpos que precisam de alguma maquinaria, depois de recebidos pelo fornecedor.

O segundo maior grupo é o de tratamentos de superfície, que se divide nos seguintes setores: areamento, polimento, anodização do alumínio, passivação metálica, pintura por eletrodeposição catódica e pintura lacagem. Estes tratamentos consistem em operações que introduzem alterações na superfície e no aspeto da peça, com recurso a meios físicos, podendo ser utilizados com diversas finalidades. Nos binóculos, estes tratamentos asseguram a resistência e durabilidade dos seus componentes e, também, a sua componente estética. Tendo em conta o acompanhamento

mais próximo deste setor da Mecânica, serão apresentados com maior detalhe alguns dos seus processos.

- **Areamento**

O areamento ou granalhagem é a operação de propulsionar um fluxo de material abrasivo sob alta pressão contra uma superfície. Tanto pode ter como objetivo uniformizar ou remover contaminantes de uma superfície, como encrespar uma superfície lisa (aspeto *matte*). Este material abrasivo são normalmente partículas de vidro, corundum e granalha de aço com uma baixa granulometria e a sua projeção costuma ocorrer a uma velocidade de 65 a 110 m/s. As duas formas conhecidas de projeção são por ar comprimido, o mais indicado para produções baixas e quando é necessário máxima flexibilidade, e por turbinas centrífugas, que é a técnica mais usada para operações de limpeza, sendo também a mais económica e ecológica [27].

A superfície areada final da peça é produzida tanto por deformação como por remoção da sua camada superficial, formando assim deformações e picos. Os fatores que definem a textura da superfície são a natureza do abrasivo, a pressão do ar de projeção, o diâmetro do bico da pistola de projeção, a granulometria das partículas abrasivas, assim como a distância e o ângulo entre o bico e a peça. Este processo melhora as propriedades mecânicas do material, uma vez que pode remover fissuras, introduzir tensões de compressão superficial e endurecer o material [28, 29].

Existem diversas variantes do processo, algumas altamente abrasivas e outras mais leves. A Leica utiliza partículas de aço, fibra de vidro ou corundum dependendo do acabamento que se pretende. Nos produtos estudados, este processo é frequentemente utilizado antes da anodização, para a obtenção de peças com superfícies foscas que vão alojar componentes óticos, para evitar reflexos de luz. Exemplos destas peças são os casquilhos da objetiva e da ocular, que necessitam de uma superfície livre de reflexos no seu interior. Dada a grande flexibilidade necessária para proceder ao areamento dessas superfícies, o método utilizado para projetar as partículas é por ar comprimido. Tendo em conta que a rugosidade criada por este tratamento nem sempre é pretendida em todo o interior dos componentes (roscas e superfícies em contacto direto com as lentes), a empresa desenvolveu peças de proteção para evitar que certas zonas fossem areadas.

- **Anodização**

A anodização é um processo eletrolítico que promove a formação de uma camada controlada e uniforme de óxido na superfície do alumínio (óxido de alumínio/alumina). Esta camada é produzida através da aplicação de uma diferença de potencial, que gera uma corrente contínua em banhos eletrolíticos, sob agitação e temperaturas controladas [30, 31].

A anodização pode ser explicada pela seguinte reação química:



Existem muitas vantagens na utilização do processo de anodização, sendo de destacar: o aumento da resistência à corrosão e abrasão, o aumento do isolamento elétrico, o aumento da adesão de tintas à superfície e a melhoria da aparência decorativa [32].

As anodizações sulfúricas com corrente contínua são as mais vulgares na indústria e as utilizadas na Leica, pois são as mais económicas, e as peças anodizadas são facilmente colmatadas. Em seguida, apresentam-se as várias etapas do processo de anodização realizado na empresa:

1. Fixação das peças em suportes de alumínio ou titânio que irão transportar as peças pelas zonas de banhos;
2. Desengorduramento por ultrasons: efetuado para limpar os produtos de alumínio removendo gorduras, óleos, resíduos aderentes ao metal e filmes de óxidos. Utiliza-se uma solução aquosa levemente alcalina;
3. Decapagem ácida: apesar de ser considerado apenas um processo de limpeza das peças, resulta num acabamento superficial acetinado nos perfis de alumínio;
4. Neutralização: consiste numa ativação com ácido nítrico para eliminar resíduos insolúveis libertados durante a decapagem;
5. Anodização: processo eletrolítico que promove a formação de uma camada controlada e uniforme de óxido na superfície do alumínio;
6. Coloração eletrólítica: deposição eletrolítica de um pigmento nos poros existentes na camada de óxido formada, possibilitando uma grande variedade de cores para fins estéticos e arquitetónicos;
7. Colmatação: consiste no fecho dos poros de forma a garantir uma camada resistente e duradoura, resistente às agressões que irá sofrer do meio ambiente.
8. Secagem das peças numa estufa e controlo da sua qualidade.

Entre as etapas apresentadas são necessárias lavagens intermédias que retiram das peças as impurezas que possam advir das etapas anteriores.

- **Pintura por eletrodeposição catódica**

O princípio físico fundamental de eletrodeposição é que, materiais com cargas elétricas opostas se atraem. Deste modo, a eletrodeposição catódica é um processo de pintura, que consiste na aplicação de uma corrente contínua numa peça metálica, imersa num banho de partículas de tinta com carga oposta. Esta diferença de potencial faz com que as partículas de tinta sejam atraídas pela peça metálica, formando-se uma película uniforme sobre toda a sua superfície até atingir uma espessura desejada (entre 20 - 40 μm). Atingida essa espessura, a película isola a peça, a atração é interrompida e a eletrodeposição é concluída [33].

Este processo tem inúmeras vantagens, pois a peça, ao ser imersa num banho, entra diretamente em contato com a tinta, proporcionando a pintura de toda a área, incluindo áreas de

difícil acesso e partes internas. Além da alta eficiência de aplicação, esta pintura é ecológica, pois não possui metais pesados, a solução é aquosa e não são usados solventes [34].

O terceiro grupo da secção Mecânica é a Ferramentaria, que é responsável por fabricar ferramentas específicas para as diferentes operações realizadas durante o processo produtivo, em todas as secções da empresa. Os materiais mais utilizados no fabrico de ferramentas são as ligas de alumínio, o aço inoxidável, polióxido de metileno (POM) e policloreto de vinilo (PVC). Em especial, na secção de Montagem, existe a necessidade de fabricar ferramentas que auxiliem os colaboradores ou otimizem tempos e processos de montagem. Desta forma, dada a necessidade de peças únicas para certos produtos, esta secção constitui, de facto, uma mais valia.

2.6 Qualidade

A qualidade de um produto pode ser definida como sendo o grau de satisfação dos requisitos dado por um conjunto de características intrínsecas, ou seja, de uma combinação de características do projeto e da produção, determinante na satisfação que o produto possa proporcionar ao consumidor, durante o seu uso [35].

A qualidade de um produto pode ser dividida em 8 dimensões. Estas podem ser [36]:

- Performance: medida de desempenho do produto, ao nível das principais funções (por exemplo, a capacidade de focagem de um binóculo);
- Funcionalidades do produto: conjunto de funções secundárias que complementam a oferta do produto (por exemplo, fitas de sustentação dos binóculos);
- Fiabilidade: probabilidade do produto deixar de funcionar de forma adequada, num determinado período de tempo (tempo médio até que ocorra uma falha);
- Conformidade: medida do nível de adequação do produto às suas especificações;
- Durabilidade: medida do tempo de vida do produto, em termos técnicos, ou até ao momento em que a reparação deixa de ser eficiente do ponto de vista económico;
- Serviço: inclui a rapidez, a cortesia, a competência e a facilidade em reparar o produto;
- Aparência: refere-se à estética ou apelo sensorial do produto;
- Imagem: refere-se a uma percepção subjectiva de qualidade, associada à marca do produto.

Na Leica, o controlo e identificação do produto não conforme vem de acordo com a Norma ISO 9001 – “Sistemas de Gestão da Qualidade – Requisitos”. Segundo esta norma, “a adoção de um sistema de gestão da qualidade é uma decisão estratégica de uma organização que pode ajudar a melhorar o seu desempenho global e proporcionar uma base sólida para iniciativas de

desenvolvimento sustentável” e segundo os requisitos estabelecidos por esta norma, a organização “necessita demonstrar a sua aptidão para, de forma consistente, fornecer produtos e serviços que satisfaçam tanto os requisitos do cliente como as exigências estatutárias e regulamentares aplicáveis”. Desta forma, a qualidade torna-se a base de qualquer processo produtivo, sendo necessário a definição de requisitos base para cada produto e, também, critérios de aceitação adequados ao nível de qualidade que se pretende obter no produto final.

Desta forma, a Leica, sendo uma empresa que pretende ter elevados padrões de qualidade, necessita de um grande controlo do processo produtivo e da qualidade do produto final. Isto é conseguido com a aplicação de um sistema de normas e tolerância apertadas, definidas pelo departamento de Gestão de Qualidade. Os requisitos do cliente, a conformidade com as normas, bem como os requisitos estatutários têm de ser todos documentados de modo a permitir à empresa cumprir as suas tarefas e obrigações. Esta documentação promove a transparência no funcionamento da empresa, havendo, assim, procedimentos internos mais eficientes e processos comerciais também mais eficazes. Esta organização também é utilizada como base para auditorias internas e no processo de melhoria contínua [1].

O sistema de gestão da qualidade define todos os processos essenciais e como estes devem ser utilizados. Além das sequências e interdependências de processos, também define os critérios e métodos necessários para permitir a implementação e controlo eficazes. A informação e os recursos necessários para a execução e supervisão de processos também são fornecidos. Os processos são monitorizados, medidos e, se necessário, analisados. São implementadas as medidas adequadas para garantir que são alcançados os resultados planeados e que os processos são melhorados continuamente [1].

2.7 Metodologia 5S

O chamado “5’S” é uma ferramenta de gestão, cujo principal objetivo é melhorar as áreas de trabalho, tornando-as mais limpas e mais ordenadas a fim das organizações obterem uma maior produtividade e um melhor ambiente de trabalho (Figura 2.29) [37].

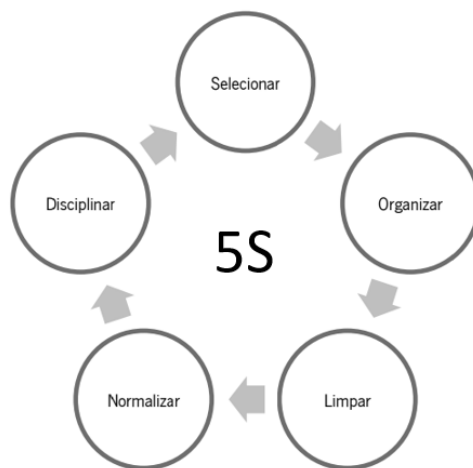


Figura 2.29 - Os 5S (Adaptado de [38]).

A sigla “5S” deriva das iniciais de 5 palavras japonesas que começam com a letra “S”: Seiri, Seiton, Seison, Seiketsu e Shitsuke [37, 39]:

- Seiri (Selecionar): método de analisar o posto de trabalho e remover todos os materiais que são desnecessários para a produção ou tarefas que estão a decorrer;
- Seiton (Organizar): após a eliminação do material desnecessário e de modo a facilitar a procura do material por qualquer pessoa, deve-se proceder à organização do material necessário através da frequência de uso e colocação de rótulos. Reduz-se assim o tempo perdido a procurar ferramentas e materiais;
- Seison (Limpar): nesta etapa deve-se remover o lixo da área de trabalho e proceder à limpeza do mesmo e dos respetivos equipamentos, de forma a manter o posto de trabalho higiénico e agradável para os colaboradores;
- Seiketsu (Normalizar): refere-se à normalização dos procedimentos de limpeza e definição de normas para que as alterações conseguidas até esta fase se mantenham. Neste ponto, deve-se aplicar as melhorias conseguidas a todos os postos de trabalho de modo a uniformizar toda a organização;
- Shitsuke (Disciplinar): esta última etapa pretende garantir que os colaboradores da organização cumpram as fases anteriores e, para isso, poder-se-á recorrer a auditorias periódicas com o objetivo de tornar estas fases num hábito, conservando um ambiente de trabalho limpo e organizado.

2.8 Microscopia eletrónica de varrimento

A microscopia eletrónica de varrimento (MEV) é uma técnica poderosa de observação de superfícies que utiliza um feixe de eletrões, com uma determinada energia, para bombardear a

superfície do material a analisar, permitindo obter imagens com grande ampliação. Quando associada a um espectrómetro de raios X de energia dispersiva (EDS), é possível realizar uma identificação rápida dos elementos químicos presentes numa amostra sólida [40].

Os sinais utilizados na análise química por EDS são gerados a partir da interação de um feixe de elétrons de alta energia com os elementos químicos da superfície da amostra. Dessa interação resultam fótons de raios-x, cujos comprimentos de onda são característicos de cada elemento com o qual houve a interação. Os sinais gerados pela amostra são captados por detectores específicos e apresentados na forma de espectros de energia versus intensidade relativa dos picos. A intensidade relativa dos picos deve ter em conta alguns fatores, uma vez que a geração dos fótons está sujeita a flutuações estatísticas, sendo que o valor medido representa uma média. Em muitas situações, essa característica do sistema pode causar problemas de sobreposição de picos, restringindo assim a resolução espectral da técnica [41].

2.9 Sumário

O conteúdo deste capítulo constituiu uma base teórica fundamental para o conhecimento e compreensão de alguns aspetos subjacentes à informação apresentada nos próximos capítulos da presente Dissertação.

3 Secção de Montagem: Produtos e linhas de montagem estudados

3.1 Introdução

De seguida expõem-se as características e funcionalidades globais da secção de Montagem, e apresenta-se, mais aprofundadamente, o processo de montagem que se escolheu otimizar, designadamente dos binóculos Ultravid HD-Plus, que envolve os procedimentos que ocorrem na linha de montagem, designadamente a montagens dos subgrupos mecânicos, óticos e montagem final, assim como as várias etapas que decorrem do controlo de qualidade. Apresentam-se, mais pormenorizadamente, aquelas que envolveram um maior acompanhamento e estudo, para o desenvolvimento das soluções que serão descritas nos próximos capítulos.

3.2 Secção de Montagem

A secção de Montagem é constituída por duas grandes salas, a sala semi-limpa e limpa, existindo várias linhas de montagem para os diferentes produtos existentes (Figura 3.1).

Cada linha é dirigida por um responsável de grupo, que tem como principais funções controlar a produção, fornecer os materiais necessários a cada colaborador e estar envolvido na resolução de problemas, conjuntamente com o departamento de Engenharia.

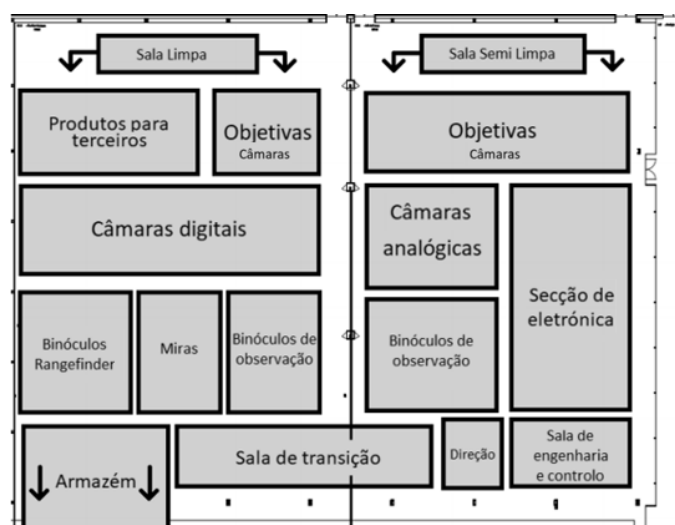


Figura 3.1 - Secção de Montagem da empresa.

Os colaboradores são responsáveis pela montagem do produto e por reportar ao responsável de grupo todas as anomalias que denotem no processo. Tendo em conta que os colaboradores têm uma vasta experiência na empresa, são muito importantes para identificar as principais dificuldades inerentes ao processo, assim como os problemas que resultam de anomalias externas, tais como defeitos de fabrico.

A cada posto de trabalho está atribuída um documento com as instruções necessárias ao processo de montagem ali realizado, com a indicação das ferramentas e procedimentos que devem ser utilizados. A integração de novos colaboradores é realizada sempre com o suporte destas instruções de trabalho (IT), visando a aplicação mais uniformizada dos procedimentos. Por vezes, é possível ajustar as IT, desde que não seja mudado o objetivo da instrução, nem se alterem quaisquer propriedades do processo de montagem. Esta alteração pressupõe sempre o consentimento do Responsável de Grupo e do departamento da Engenharia para assegurar que o processo não é prejudicado.

As salas mencionadas são normalizadas segundo a norma “ISO 14644-1:2015 – Salas Limpas e Ambientes Associados”, que define sala limpa, como um espaço fechado dentro do qual a concentração de partículas transportadas pelo ar é controlada e classificada, e que é projetada, construída e operada de maneira a controlar a introdução, geração e retenção de partículas, dentro dela. Para o efeito, tem de existir um controlo da concentração de partículas, temperatura, humidade, pressão, vibração e eletrostático. O que difere a sala limpa da semi-limpa é a necessidade de utilização de equipamento especializado, nomeadamente bata anti-estática, proteção de sapatos e touca, e a existência de *flowboxes* em postos de trabalho em que a incidência de partículas afete a qualidade do produto final.

3.3 Binóculos de observação: Ultravid HD – Plus

A família de binóculos Ultravid HD-Plus (Figura 3.2), que pertence à categoria de binóculos de observação, foi a escolhida para este trabalho. Foi nas suas linhas de montagem, que decorreu a maior intervenção levada a cabo, tanto a nível de observação e execução de processos de montagem, quer ao nível da testagem e implementação de melhorias no processo.



Figura 3.2 - Modelos de binóculos Ultravid HD-Plus (adaptado de [15]).

Os binóculos de observação englobam, ainda, diferentes famílias de binóculos, apresentadas na Figura 3.3.



Figura 3.3 - Modelos de binóculos de observação (adaptado de [15]).

Esta categoria está ainda incluída num setor com maiores dimensões, denominado de *Sport Optics* (Figura 3.4), que contempla mais duas categorias, nomeadamente as Miras e *Spotting Scopes*, utilizadas na caça desportiva e observação de objetos terrestres com maior pormenor, assim como, os aparelhos *Rangefinder*, que são binóculos e monóculos com tecnologia capaz de efetuar medições de distância e cálculo balístico.



Figura 3.4 - Categorias de produtos no setor *Sport Optics* (adpatade de [15]).

3.3.1 Características gerais da família de binóculos Ultravid HD – Plus

Os binóculos desta família revelam-se muito polivalentes; tanto podem ser usados em observações diurnas, como por exemplo, observação de pássaros (atividade normalmente conhecida por *birdwatching*), como também em observações noturnas. A mais recente tecnologia aplicada nestes binóculos, permite o equilíbrio perfeito entre a transmissão e contraste, garantindo cores vivas, uma visão clara e uma resolução de detalhes mais nítida, independentemente do diâmetro da lente frontal ou da ampliação do respetivo binóculo. Estes são à prova de água, de nevoeiro e de choque, podendo ser submersos até 5 metros de profundidade e são enchidos com um gás inerte, o nitrogénio, para evitar o embacientamento das várias lentes.

Nos oito modelos do binóculo Ultravid HD-Plus, os que possuem em comum o diâmetro efetivo da objetiva (32, 42 ou 50), são distinguidos pelas diferentes ampliações, sendo que a maior ampliação é de 12x no modelo Ultravid HD-Plus 12x50.

O corpo do binóculo é constituído por dois meios corpos, sendo produzidos numa liga de magnésio, obtida por fundição injetada (trabalho subcontratado), pelo que apresentam bastante robustez e resistência e conferem uma enorme leveza ao produto final. A borracha antiderrapante que, no final do processo produtivo, reveste toda a estrutura, garante o fácil manuseamento e confortabilidade, bem como uma maior resistência ao impacto (Figura 3.5) [15].



Legenda:

1. Posição a: visualização sem óculos; Posição b: visualização com óculos;
2. Hastes para alça de transporte;
3. Anel de ajuste de dioptria bloqueável;
4. Anel de focagem central;
5. Junta articulada para ajustar à distância interpupilar.

Figura 3.5 - Componentes do Ultravid HD-Plus (adaptado de [15]).

O mecanismo de focagem é muito suave e, com apenas 1,25 voltas do botão de focagem, é garantida uma focagem segura, rápida e precisa. A sua construção ergonómica permite uma observação relaxada e sem fadiga. O botão das dioptrias, que permite compensar diferenças entre a visão esquerda e direita, é integrado no botão de focagem. Para este ser utilizado, basta puxar levemente o botão de focagem para cima, rodar para ajustar e retomá-lo à posição inicial para bloquear a configuração da dioptria. Este valor é representado numa janela de escala graduada para que cada utilizador consiga facilmente reajustar a configuração através do valor da escala determinado inicialmente. Os copos da ocular giratórios patenteados com até 4 posições de fixação (dependendo do modelo) oferecem um melhor conforto de visualização a individual para um manuseio perfeito. O *eye relief* elevado permite aos utilizadores com óculos, observar todo o campo visual sem embater com os óculos na ocular [15].

Os prismas utilizados são prismas *Roof* (Figura 3.6), onde são utilizados vidros Schott HTTM, possuindo uma excelente transmissão de luz, com as cores de todo o espectro visível e proporcionando uma visão consideravelmente melhorada, em situações de pouca luminosidade. Estes possuem revestimentos de correção de fase P40 e *High Lux-System* (HLS). As lentes usadas são as *High Density* (HD) e as superfícies das lentes expostas são terminadas com revestimentos de Alta Durabilidade (HDC) patenteados, protegendo-as contra todo o tipo de arranhões e revestimentos AquaDura® , que repelem a humidade e evitam a sujidade de aderir ao vidro, sendo de limpeza muito fácil [15].



Figura 3.6 - Vista em corte do binóculo modelo Ultravid HD-Plus 7x42 [15].

3.3.2 Linhas de montagem

Como se pode ver na Figura 3.7, as linhas de montagem encontram-se divididas pela sala limpa e semi-limpa, dependendo do tipo de montagem que se realiza.

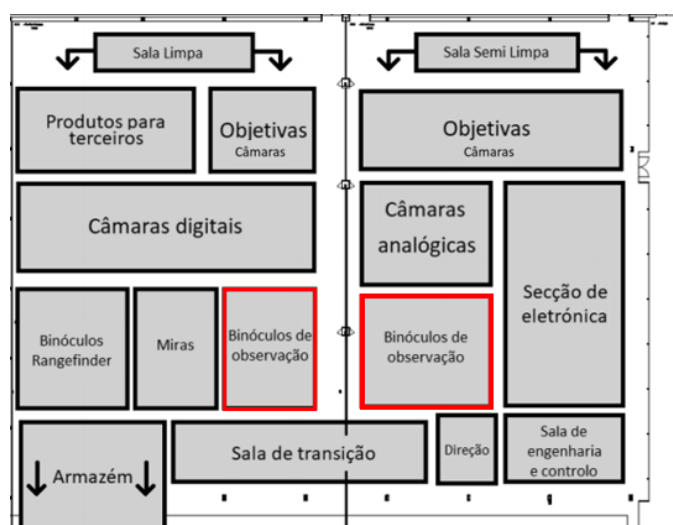


Figura 3.7 - Planta da secção de Montagem, destacando-se a vermelho as linhas de montagem onde decorreu o estudo.

Esta divisão de salas é importante para assegurar que as partículas libertadas para a atmosfera circundante, aquando da montagem dos subgrupos mecânicos, não prejudique a montagem dos componentes óticos, que necessitam de uma atmosfera controlada, isenta de partículas que possam surgir na superfícies das lentes e provoquem um aumento do tempo de limpeza destas.

Na sala semi-limpa, realiza-se a montagem de subgrupos exclusivamente de peças mecânicas, para, de seguida, serem enviados, através de uma janela de ligação, para a sala limpa,

onde se realiza a montagem dos subgrupos óticos, a montagem final do binóculo, assim como as várias etapas inerentes ao controlo de qualidade destes produtos.

- Subgrupos mecânicos: união dos corpos (montagem do corpo esquerdo e direito), montagem do grupo de acionamento (eixo de focagem) e colagem de tampas aos corpos (Figura 3.8 e Figura 3.9).

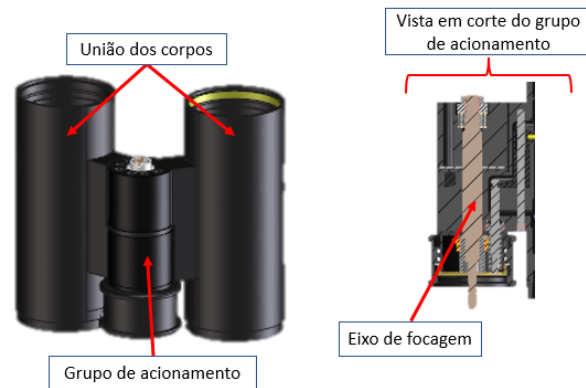


Figura 3.8 - Subgrupos mecânicos: união dos corpos e grupo de acionamento.



Figura 3.9 - Colagem de tampas aos corpos dos binóculos.

- Subgrupos óticos: montagem do sistema prisma, das oculares e objetivas (Figura 3.10).



Figura 3.10 - Montagem dos subgrupos oculares.

Após concluída a montagem destes subgrupos, é iniciada, então, a montagem final dos binóculos, que envolve a união dos subgrupos mecânicos aos subgrupos óticos. Esta é realizada numa *flowbox*, tal como na montagem dos subgrupos óticos. As *flowboxes* são compartimentos de trabalho individuais que desempenham a mesma função das salas limpas no seu interior, filtrando o ar circundante e impedindo que este entre contaminado, na cabine.

Para melhor compreensão de como se procede à montagem final desta família de binóculos, apresentam-se detalhadamente as várias etapas correspondentes a um dos seus modelos, o Ultravid HD-Plus 32. Na montagem dos outros modelos desta família, apenas variam alguns dos seus componentes, mas os processos são similares.

A seguir, apresentam-se as várias etapas, de forma sucinta e pela ordem efetuada, ressaltando que todo este processo envolve um controlo intermédio da limpeza das peças óticas e a aplicação de substâncias para otimizar alguns procedimentos.

- **Montagem dos prismas**

Colocação do prisma no interior do corpo com mecanismo próprio e realização da sua fixação (Figura 3.11).

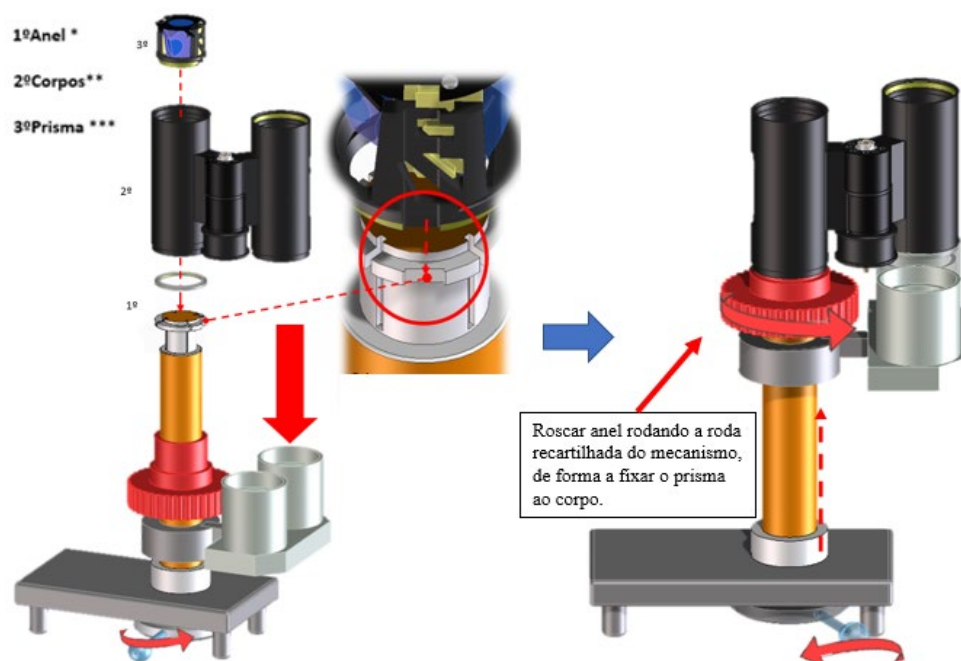


Figura 3.11 - Montagem do prisma ao corpo do binóculo.

- **Montagem das oculares**

Colocação das oculares e respetivo o-ring no corpo do binóculo e a sua fixação com anel roscado (Figura 3.12).

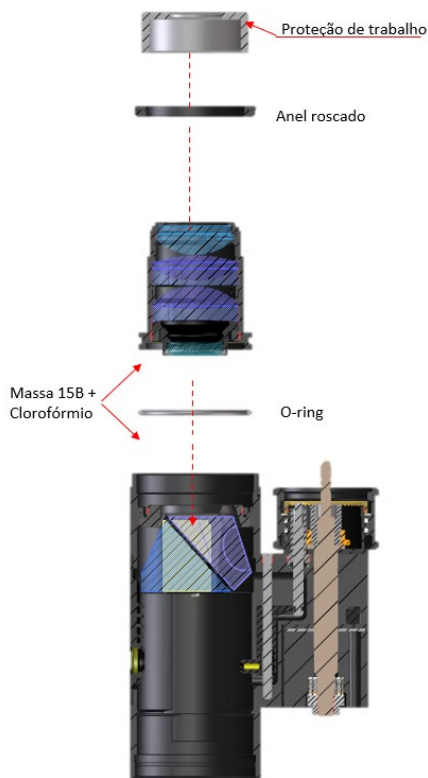


Figura 3.12 - Montagem das oculares ao corpo do binóculo com prisma.

- **Montagem das mangas**

Colocação da manga de focagem no transportador, para se proceder à sua fixação com um parafuso e mola (Figura 3.13).

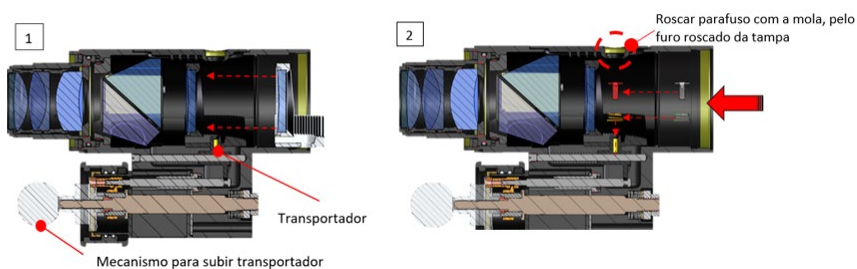


Figura 3.13 - Fixação das mangas de focagem ao transportador.

- **Montagem das objetivas**

Montar o conjunto ótico e o-ring no interior do binóculo, fixando-os com um anel roscado (Figura 3.14).

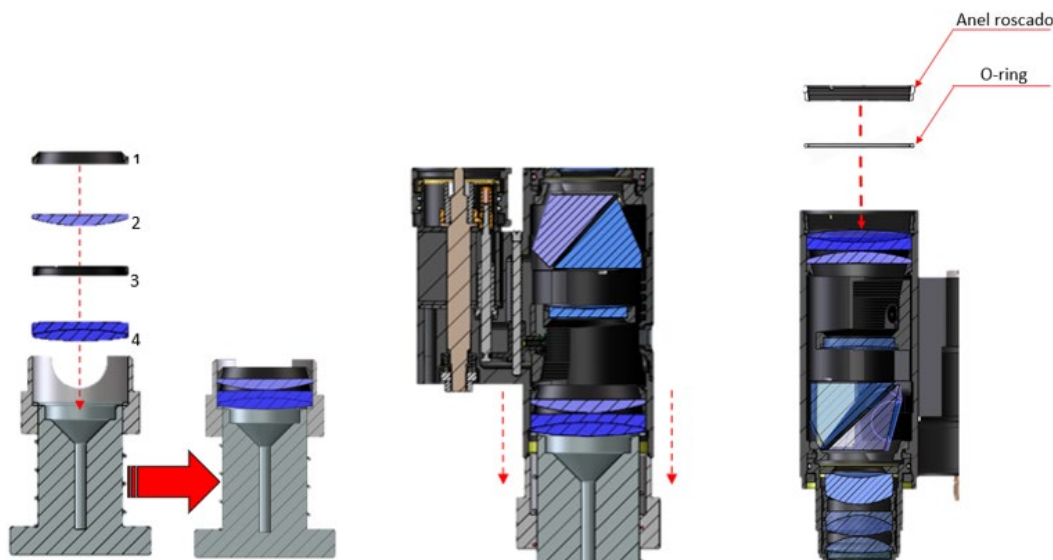


Figura 3.14 - Montagem das objetivas ao corpo do binóculo.

3.4 Controlo da qualidade

Após a montagem dos binóculos, estes são sujeitos a um controlo de qualidade final, que tem como objetivo certificar a conformidade do produto a nível funcional, estético e de defeitos mecânicos e óticos. Os produtos não conformes relacionam-se com desvios no processo que lhes deu origem, sendo que o resultado se encontra fora das tolerâncias previstas pelos requisitos. Caso o binóculo cumpra as especificações, prossegue para as etapas finais: enchimento com azoto e colagem dos revestimentos de borracha. Caso o binóculo não seja aprovado neste controlo de qualidade, retoma para o posto de trabalho, que executa as devidas reparações. Na Figura 3.15 estão apresentados os elementos sujeitos a avaliação por parte do controlo de qualidade, presente na linha de montagem do binóculo Ultravid HD - Plus.

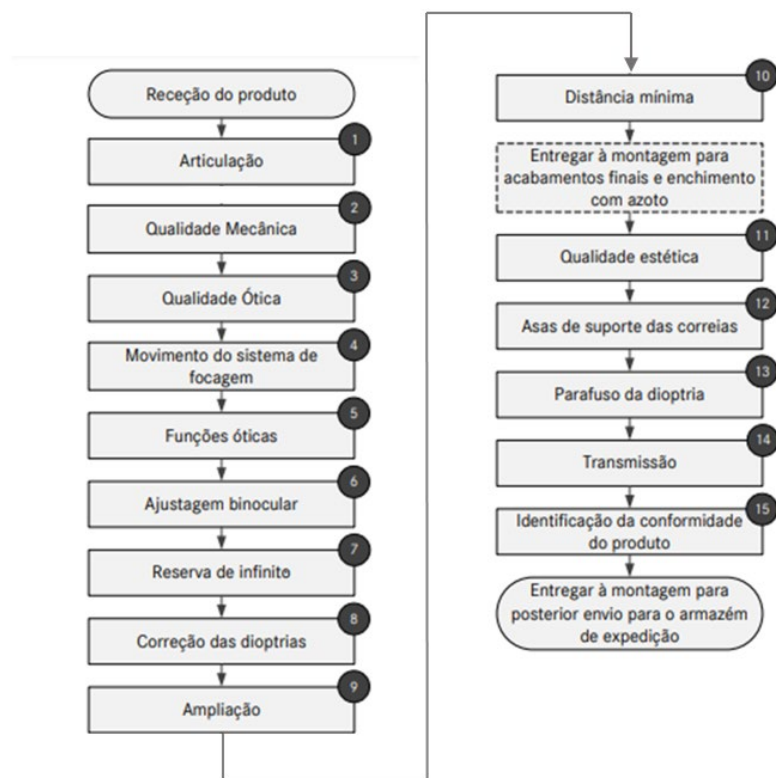


Figura 3.15 - Fluxograma do controlo de qualidade final do Ultravid HD - Plus [42].

Em seguida, apresentam-se algumas destas etapas, onde se realizou um maior acompanhamento, com maior pormenor naquelas em que foram propostas e desenvolvidas otimizações, e, ainda, a rastreabilidade que é executada.

3.4.1 Qualidade mecânica

Para verificação da qualidade mecânica são averiguados aspetos estéticos, funcionais e estruturais do binóculo. Os componentes devem respeitar as especificações para riscos, danos, pintura, anodizados, pontos brancos ou manchas nas superfícies toleranciadas nos desenhos, bem como, não devem apresentar sujidades ou excessos de cola visíveis. Também se procede à confirmação do aperto das oculares e objetivas, garantindo-se que não desapertam durante o manuseio do binóculo [42].

3.4.2 Qualidade ótica

A gestão da qualidade define os defeitos óticos pela norma ISO 10110-7. Desta forma, as lentes e prismas não podem conter impurezas tais como, humidades, pó, resíduos orgânicos, embaciamentos e partículas de sujidades. Também não podem conter riscos, danos e esmilhamentos. Estas características de qualidade são verificadas por inspeção visual, auxiliada por uma placa de testes para defeitos de superfície (Figura 3.16).

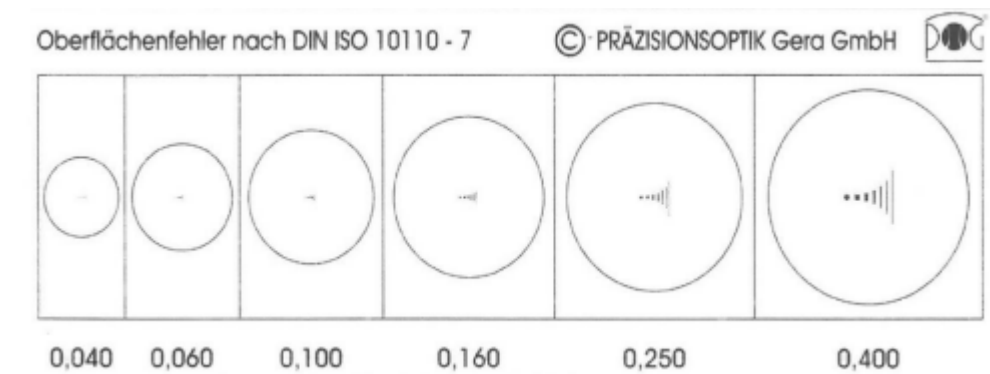


Figura 3.16 - Placa de testes para comparação subjetiva de defeitos de superfície [mm].

Em cada família de binóculos, há uma tolerância que limita a quantidade e a grandeza dos defeitos óticos, que são permitidos em cada lente dos componentes óticos.

Ainda se realiza a verificação do estado do revestimento, averiguando se os pares de lentes se encontram devidamente casados (pares de lentes com tonalidades homólogas). No caso dos prismas, tem ainda de ser verificada a qualidade do espelho e a linha do telhado [42].

3.4.3 Funções óticas

As funções óticas do binóculo são o elemento funcional principal do mesmo. Para que essas funções sejam corretamente desempenhadas, a manga de focagem não pode sofrer inclinação ou ficar presa durante o percurso de ajustagem, bem como as especificações das lentes têm de ser cumpridas e o seu correto posicionamento tem de ser assegurado. Desta forma, é verificada a nitidez da imagem em toda a área de focagem, bem como, é feita uma comparação com amostras limites (amostras com os vários tipos de defeitos) os valores de contraste, franja de cores, coma (arrasto da imagem), astigmatismo (quando não foca totalmente) e reflexos [42].

A resolução da imagem é verificada numa caixa de luz que contém números, letras, pontos e desenhos simples equidistantes entre si, por forma a averiguar a existência de aberrações e garantir a nitidez da imagem observada.

3.4.4 Ajustagem binocular

A ajustagem binocular tem como função, reajustar as oculares dos binóculos para o mesmo campo de visão, pois estas possuem uma excentricidade no seu casquilho (Figura 3.17) que permite o ajuste/correção dos dois eixos óticos para o mesmo campo de visão, obtendo assim o seu paralelismo.

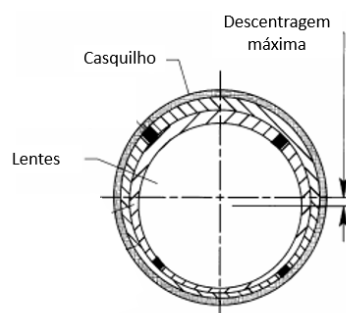


Figura 3.17 - Excentricidade do casquilho de uma ocular (adaptado de [4]).

Cada um dos corpos do binóculo tem um eixo ótico, desde a ocular até à objetiva e, caso estes dois eixos óticos não estejam centrados no mesmo campo ótico, o resultado é o de uma imagem diferente de uma ocular para a outra, transmitindo ao olho duas imagens distintas. As discrepâncias que podem ocorrer, designadas de erros de colimação, estão representadas na Figura 3.18 [4, 24].

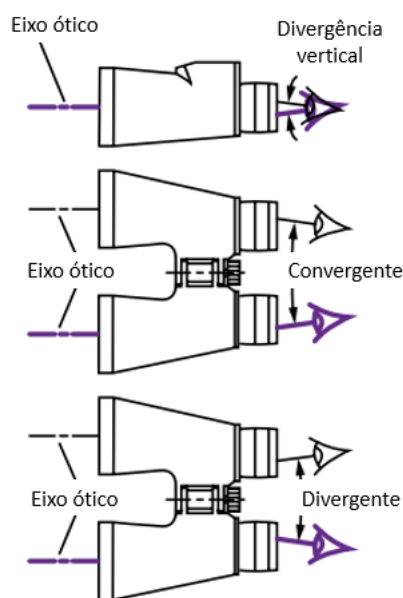


Figura 3.18 - Erros de colimação (adaptado de [4]).

A denominação destes erros provém do facto desta ajustagem ser realizada num aparelho específico para o efeito, o autocolimador. Este aparelho é usado para detetar e medir pequenos deslocamentos de ângulos dos feixes de luz, sendo, por isso, um instrumento de alta precisão [43]. O seu funcionamento consiste na emissão de raios paralelos verticais para um objeto refletor, como por exemplo um espelho. Após refletir no objeto, a luz retorna à ótica interna do instrumento. Qualquer aberração em relação aos raios emitidos inicialmente é exibida numa escala predeterminada dentro do autocolimador [44]. A escala utilizada na empresa é em minutos de arco (também conhecida como distância angular) e o autocolimador é digital, pois possui um

fotodetector interno para detetar o erro angular. Este erro é convertido eletronicamente num valor visual (Figura 3.19).

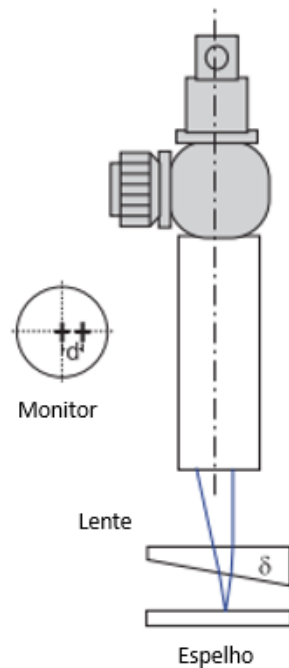


Figura 3.19 - Medição de um desvio de uma lente por um autocolimador (adaptado de [43]).

No ecrã deste aparelho (Figura 3.20) pode-se observar um retângulo, correspondente ao campo ótico, e duas cruzes, correspondentes ao eixo ótico do corpo esquerdo e direito, que têm de ficar posicionadas no interior deste retângulo de tolerância, para uma ajustagem binocular correta dentro das tolerâncias convergentes, divergentes e de altura [42].



Figura 3.20 - Imagens obtidas no colimador na ajustagem binocular.

O objetivo desta etapa é inserir a imagem/cruz do colimador esquerdo e direito no interior do retângulo do colimador direito. Para isso são usados anéis de ajuste que atuam diretamente no anel roscado (que fixa a ocular) e casquilho das oculares (peça com excentricidade), sendo assim

possível reposicionar estas oculares, em função do eixo ótico pretendido. A tolerância máxima admissível é a colocação das cruzes coincidentes com os limites do retângulo [42].

3.4.5 Teste de estanquicidade

Todos os modelos da família de binóculos em estudo são à prova de água até 4 / 5 metros de profundidade. Desta forma, para assegurar essa característica, é realizado um teste de estanquicidade, que consiste na realização de vácuo através de um equipamento próprio (Leak Tester 3925 - 0060). O interior de cada metade do binóculo é despressurizado até uma pressão de aproximadamente 0 Pa e, de seguida, interrompe-se esta despressurização e fecha-se a válvula do equipamento, sendo medida a pressão dentro destas, durante um determinado tempo. O aumento de pressão permite calcular o nível de fuga. Este teste constitui um procedimento simples e eficiente para se verificar toda a montagem e hermeticidade do binóculo [42].

No modelo Ultravid HD-Plus, tendo em conta que, após a montagem final, a única abertura de cada metade do corpo é o furo roscado da tampa (colada anteriormente na sala semi-limpa ao corpo do binóculo), é aí que ocorre a verificação da estanquicidade.

Em seguida, apresenta-se o procedimento para realização deste teste:

1. Ligar e preparar aparelho de controlo, seleccionando-se o programa já com os parâmetros de teste pré-estabelecidos, correspondente a cada modelo do binóculo;
2. Retirar fita cola de proteção do furo roscado da metade do binóculo a testar (Figura 3.21), que previne a entrada de sujidades no interior do binóculo;

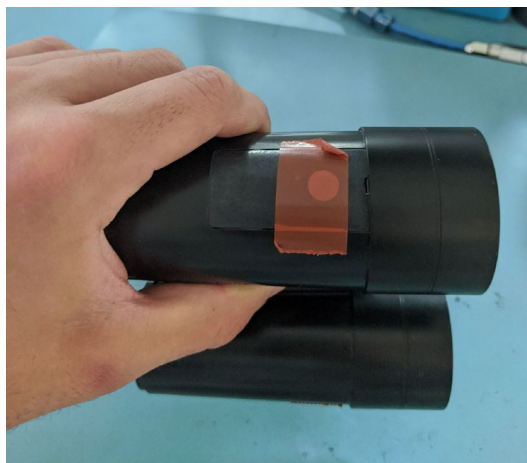


Figura 3.21 - Fita cola de proteção contra sujidades colada sobre o furo roscado presente na tampa.

3. Roscar um adaptador (Figura 3.22) ao furo roscado da tampa (Figura 3.23). Esta adaptador vai ser um componente intermédio de ligação da mangueira do aparelho de estanquicidade ao corpo do binóculo, para não existirem fugas resultantes dessa ligação. A correta vedação desta

roscagem é assegurada pelo o-ring presente na extremidade da rosca. Este o-ring, aquando da roscagem total do adaptador no furo, fica esmagado contra uma parede interna (Figura 3.24) com diâmetro inferior à rosca existente no final deste furo.



Figura 3.22 - Adaptador usado no teste de estanquidade para roscar ao corpo do binóculo (1 – O-ring de vedação; 2 – Rosca).



Figura 3.23 - Roscagem do adaptador ao furo roscado, existente numa metade do corpo do binóculo.



Figura 3.24 - Furo roscado existente na tampa que é colada ao corpo do binóculo (1- parede interna para esmagamento do o-ring do adaptador).

4. Iniciar o teste e só encaixar o adaptador à mangueira (Figura 3.25) após uns segundos iniciais, de forma a evitar uma libertação de ar para o interior do binóculo, que ocorre por defeito neste intervalo de tempo.

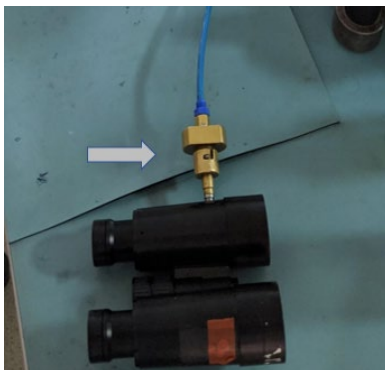


Figura 3.25 - Ligação da mangueira do aparelho ao adaptador.

5. Para o binóculo ser aprovado, terá de estar dentro dos limites de pressão predefinidos (40 Pa). Anota-se o valor obtido no cartão de rastreabilidade desse binóculo e repetem-se os passos para a outra metade do corpo do binóculo.

Nos casos em que excede o valor limite de pressão, é necessário proceder à reparação da metade do corpo do binóculo, onde ocorreu essa fuga. É possível localizar o local específico onde ela ocorre, através da injeção de ar para o interior do binóculo e verificação imediata da zona exterior, onde surgirão bolhas, após aplicação de álcool. As zonas com fugas costumam resultar de vedações incorretas ou peças partidas.

3.4.6 Enchimento com azoto

Para evitar a possibilidade da existência de humidade, que poderia condensar ou corroer a estrutura metálica interior do binóculo, este segue para uma câmara/estufa de vácuo que tem como função retirar o ar presente no seu interior e enchê-lo com azoto, evitando assim que, em determinadas condições atmosféricas, o funcionamento do binóculo seja comprometido.

Após a colocação dos binóculos na estufa, que se encontra a 60 °C, inicia-se um ciclo de 60 minutos que vai alternar entre 5 minutos de vácuo (até à pressão de 0.01 Pa) e 5 minutos de azoto.

Após o término deste ciclo, os binóculos são retirados da estufa e são fechados com um o-ring e parafuso, em ambos os lados do corpo. De seguida, a zona do parafuso é selada com um silicone, para reforçar a garantia de estanquicidade, sendo colocado um adesivo sobre os mesmos para evitar o tempo de espera de solidificação do silicone. Esta é a última etapa realizada na sala limpa.

3.4.7 Rastreabilidade

A rastreabilidade faz-se ao longo das etapas do controlo de qualidade e decorre do acompanhamento do binóculo, através da utilização de um cartão, preso por um elástico ao seu corpo, que é colocado no posto de trabalho onde se inicia a montagem final. Até esta etapa, as peças não têm qualquer tipo de identificação individual, sendo que, apenas as caixas onde são armazenadas, depois de produzidas, é que estão devidamente identificadas, para que sejam utilizadas pelos colaboradores do posto de trabalho, que necessitam do seu abastecimento.

Como se pode observar na Figura 3.26, o cartão contém uma série de informações necessárias à identificação do binóculo como um produto, a ordem específica dos processos adjacentes, com um espaço livre para que o operador responsável por cada processo, o rubrique e registre informações relevantes e necessárias à reparação de eventuais problemas. Na coluna dos defeitos são contemplados os problemas registados pelo Controlo de Qualidade para que sejam reparados, assim como todos os outros problemas ou pequenas anomalias detetadas no binóculo, ao longo da linha de montagem.

N.º Série ULx50 -584		Modelo 8x50
N.º Série interno		Data 16/03/2021
N.º índice mecânico		
Produto	Operação	Rubrica
	Montagem ótica	X
	Ajustagem binocular	
	Estanquicidade	Valor
	Ajustagem das dioptrias	15PA 12PA
	Verificação final (montagem)	
	Outros	

Reparação			
Defeito	Causa	Ocorrências	Rubrica

Figura 3.26 - Cartão de rastreabilidade do Ultravid HD-Plus.

Após este controlo de qualidade, o binóculo adquire o seu número de série, que o acompanhará em todo o seu tempo de vida. Através de uma película de proteção, é colado o número no cartão do binóculo e, posteriormente, na última fase da linha de montagem, após os revestimentos de borracha, é efetuada a colagem exterior de um dístico oficial com esse mesmo número.

3.5 Rejeição do produto final

A taxa de rejeição do produto final nas linhas de montagem dos binóculos é utilizada como um indicador de qualidade do produto, sendo da responsabilidade do departamento de Qualidade, a sua averiguação semanal. Esta taxa é calculada pelo rácio entre produtos não conformes verificados no CQ e os produtos totais, controlados no mesmo local.

Todos os produtos da família *Fullsize* (diâmetro de objetiva superior a 32 milímetros) têm uma taxa de rejeição máxima admissível de 4%. Sempre que este valor é ultrapassado, o departamento de Qualidade, em articulação com o departamento de Engenharia, procura perceber a origem destas taxas de rejeição, de forma a encontrar soluções para minimizar esses valores.

Na Figura 3.27, são apresentados os dados recolhidos da taxa de rejeição final do produto pelo controlo de qualidade, desde a semana 13 (mês abril) de 2020 até à semana 13 (mês abril) de 2021. A linha vermelha representa a percentagem máxima admissível, de 4%.

Pelo que é possível observar, a taxa de rejeição nunca esteve abaixo deste máximo, sendo que as taxas de rejeição nula registadas, correspondem às semanas em que a produção do Ultravid HD-Plus não ocorreu, quer por motivo de gozo de férias dos colaboradores, falta de componentes ou situações de confinamento, associado à atual situação pandémica. Estes dados levam a concluir que a rejeição é consideravelmente elevada, obtendo um pico de 67% na semana 38 de 2020, e nas restantes semanas, taxas compreendidas entre 11% e 60%.

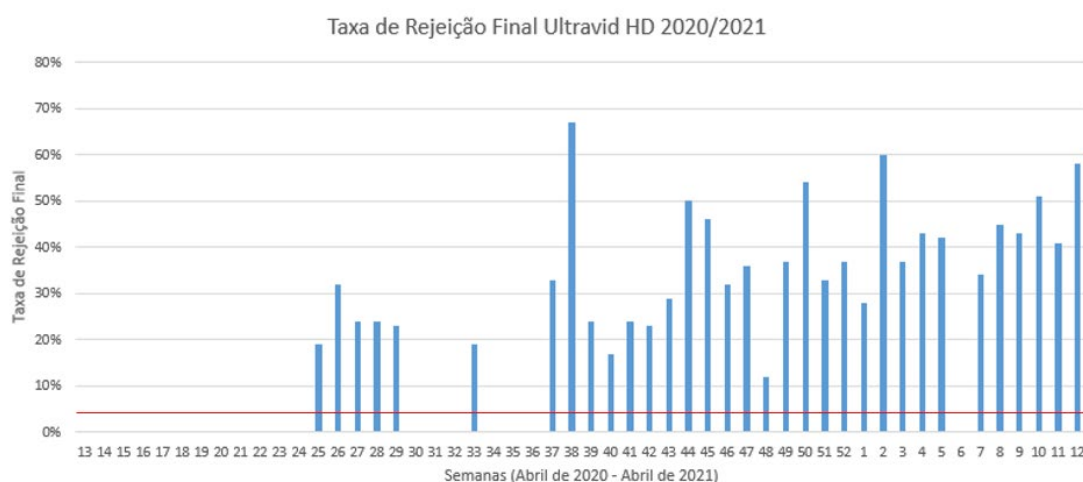


Figura 3.27 - Taxa de Rejeição Final Ultravid HD-Plus 2020/2021.

3.6 Sumário

Após um conhecimento mais aprofundado do produto e de todo o processo produtivo correspondente, foi possível uma melhor identificação dos problemas e dificuldades inerentes, assim como ponderar sobre as suas possíveis causas, visando a realização de melhorias.

4 Testagem de soluções para redução de partículas de sujidade

4.1 Introdução

Num primeiro momento, procedeu-se ao acompanhamento dos binóculos na linha de montagem, recolhendo informações junto dos colaboradores com mais experiência na empresa e analisando os dados aferidos pelo Controlo de Qualidade. A partir deste contexto de observação e análise, foi então definido o principal foco deste estudo, a redução das partículas de sujidade na família de binóculos do Ultravid HD-Plus, por se ter entendido constituir um defeito com maior potencial de otimização.

Nesta sequência, apresentam-se os gráficos obtidos, a partir dos registos realizados pelo Controlo de Qualidade desde a semana 1 (mês janeiro) de 2021 até à semana 12 (mês abril) de 2021, desta família de binóculos (Figura 4.1). Esta análise foi limitada a um curto período de tempo e o mais atualizada possível, pois um período mais alargado poderia, potencialmente, incluir problemas já solucionados. Nestes registos, atribuem-se várias categorias de defeitos (defeitos óticos, defeitos mecânicos, funções deficientes, entre outros), sendo que cada uma delas apresenta várias não conformidades associadas.

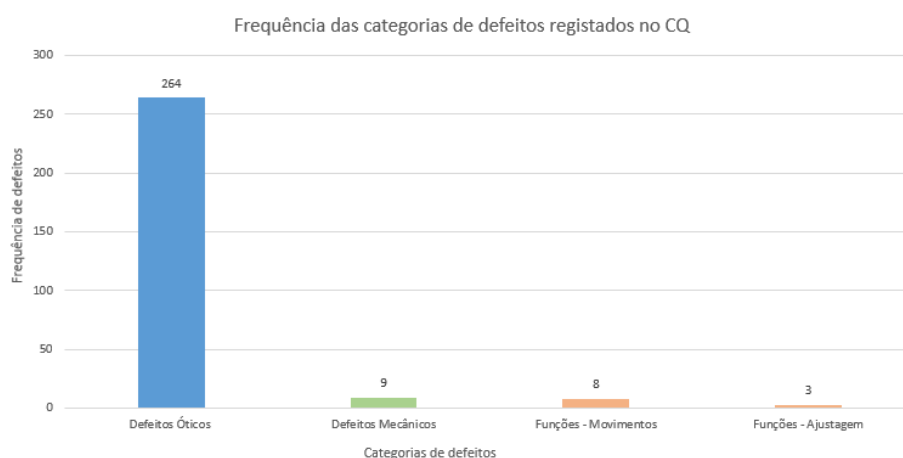


Figura 4.1 - Frequência das categorias de defeitos registados no CQ dos modelos do Ultravid HD-Plus.

Da análise deste primeiro gráfico, pode concluir-se que cerca de 93% dos defeitos registados no CQ, são defeitos óticos. Analisaram-se 741 binóculos nesse período de tempo, concluindo-se que este tipo de defeito regista um valor elevado, afetando 35,6% desses binóculos.

Dentro da categoria de defeitos óticos, a rejeição pode ser devida a mais do que um problema, nomeadamente, sujidades, manchas, danos/riscos e defeitos nos revestimentos/lacagens. Para se visualizar melhor qual deles tem maior impacto na conformidade do produto final, é apresentado um gráfico com as respetivas percentagens (Figura 4.2).

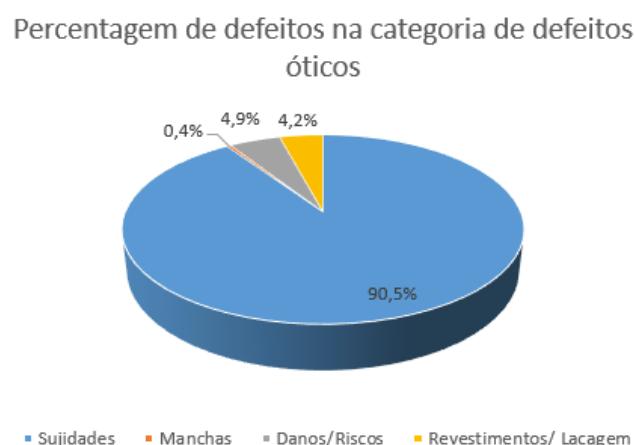


Figura 4.2 - Percentagem de defeitos na categoria de defeitos óticos.

Neste segundo gráfico, pode concluir-se que as sujidades são, sem dúvida, o defeito ótico com maior percentagem de incidência (90,5%).

Após esta análise e, em paralelo com o acompanhamento efetuado na linha de montagem, aferiu-se que este tipo de defeitos influencia significativamente o seu normal funcionamento, chegando a pôr em causa o planeamento estipulado para a produção semanal. Nesse contexto, analisaram-se mais aprofundadamente esses defeitos e o local onde ocorriam, de forma a identificar possíveis causas e formular potenciais soluções.

Partículas de sujidade

As partículas de sujidade (também designadas de sujidades) são um problema recorrente, quer na fase inicial de montagem do binóculo, quer no controlo de qualidade final. As suas reduzidas dimensões, apenas mais visíveis com a ampliação do binóculo, condicionam significativamente a qualidade final do produto e envolvem a necessidade de retrabalhos para a sua eliminação, com impacto ao nível financeiro, decorrente do acréscimo de mão de obra que envolve, face ao tempo dispendido na sua realização.

Para identificar as zonas do binóculo mais afetadas por este defeito, foram analisados os registos realizados pelo Controlo de Qualidade desde a semana 1 (mês janeiro) de 2021 até à

semana 12 (mês abril) de 2021, tendo sido aferida a frequência deste defeito nos vários componentes óticos (Figura 4.3).

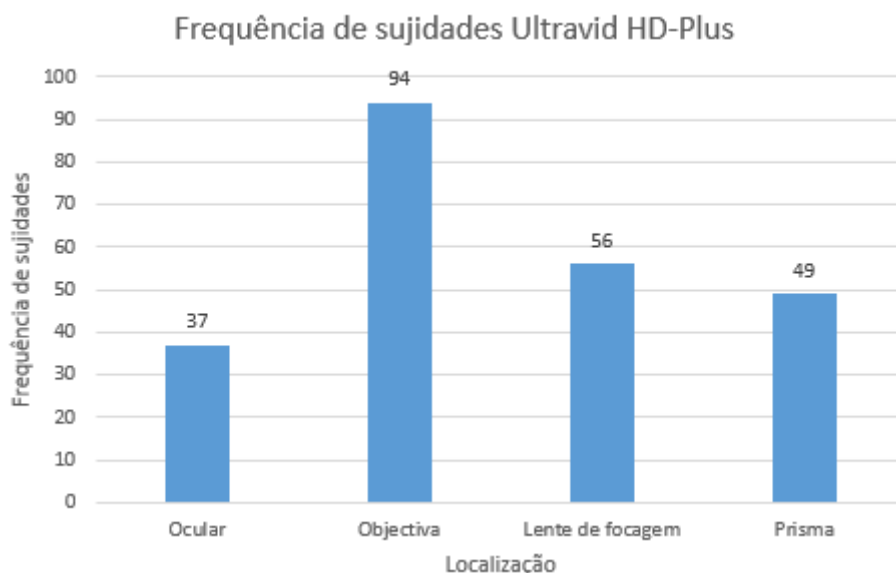


Figura 4.3 - Frequência do defeito sujidade, em cada localização do binóculo Ultravid HD-Plus.

Da análise do gráfico, é possível constatar que o subgrupo ótico da objetiva foi onde se observou uma maior percentagem de partículas de sujidades, 40%, seguindo-se a lente de focagem, com uma percentagem de 24%.

A elevada percentagem de sujidades na objetiva considerou-se poder ser explicada por duas situações. Pelo facto do binóculo ser pousado na vertical, com este componente a servir de suporte, fazendo com que os vários movimentos do binóculo, durante o seu manuseamento, resultem na queda de partículas de sujidade, presentes no seu interior, para a superfície das suas lentes. Mas também, pela libertação de partículas, que potencialmente ocorre quando é realizado o teste de impacto do binóculo, que consiste em simular algumas pancadas com as objetivas deste na superfície de uma mesa (procedimento realizado manualmente).

No acompanhamento realizado nas várias linhas de montagem, foi possível observar, também, os vários tipos de partículas que podem aparecer nas suas lentes:

- Partículas escuras, resíduos de material eventualmente desprendido das roscas ou do atrito entre componentes;
- Pêlos, provavelmente provenientes dos materiais de limpeza;
- Partículas brancas, provenientes de massas e colas, usadas ao longo de todo o processo de montagem.

Apesar dos registos obtidos do Controlo de Qualidade permitirem recolher uma grande quantidade de informações importantes, aqueles não contemplam os defeitos “partículas de

sujidade” relativos a cada modelo desta família de binóculos (apenas à família Ultravid HD-Plus, no geral), nem a frequência de defeitos óticos que pode ocorrer no mesmo binóculo, que apenas se contabiliza uma das zonas afetada.

Tendo em conta o exposto, foi realizada uma amostragem que contemplou os dois modelos mais diferenciados de binóculos desta família, para permitir uma melhor percepção da eficácia das propostas apresentadas nos subcapítulos seguintes. Nesse sentido, fez-se um acompanhamento mais detalhado de uma amostra de 20 binóculos do modelo Ultravid HD-Plus 32 e 20 binóculos do Ultravid HD-Plus 50, na perspetiva de poder ser variável a percentagem de defeitos em cada um deles. Na Figura 4.4 e na Figura 4.5 são apresentadas as amostragens, com os dados relativos à frequência com que aparecem as partículas de sujidade nos diferentes subgrupos óticos.

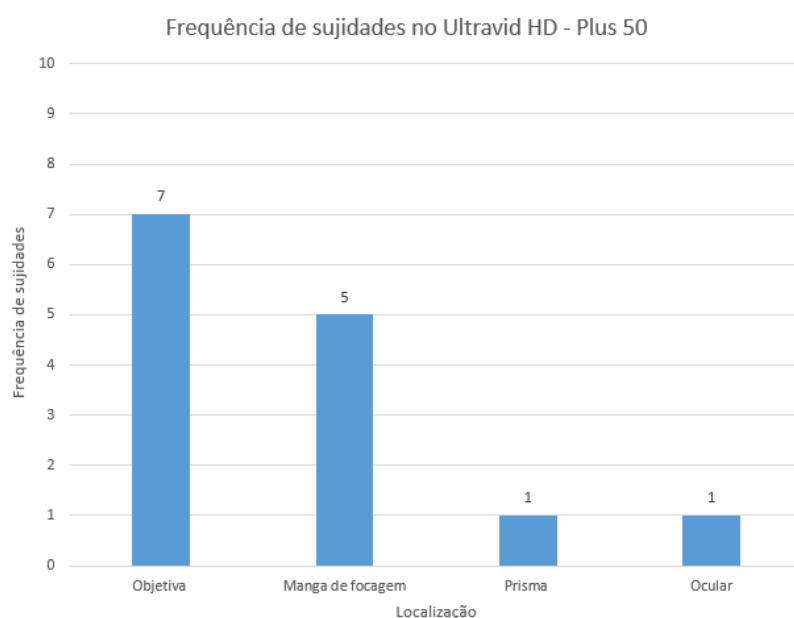


Figura 4.4 - Registos da amostragem do Ultravid HD-Plus 50.

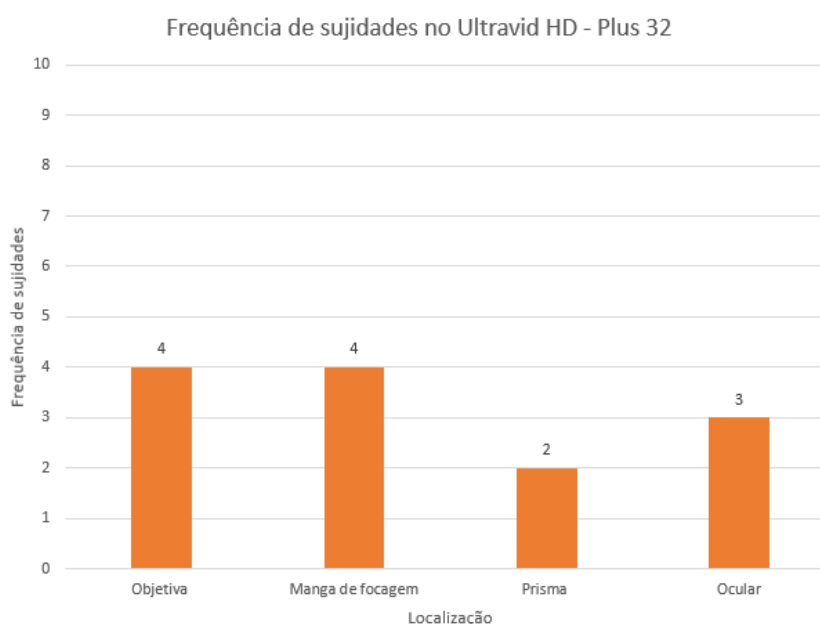


Figura 4.5 - Registos da amostragem do Ultravid HD-Plus 32.

Para posterior cálculo da economia de tempo total, resultante das otimizações efetuadas, calculou-se o tempo médio de montagem de cada modelo. Tendo em conta que, em cada metade do corpo podem surgir partículas de sujidade nos diferentes subgrupos óticos e, que cada binóculo que regressa ao posto de montagem inicial, após passar pelo CQ, pode ter também partículas de sujidade, tanto numa como nas duas metades do corpo, verificou-se que o tempo de limpeza/retrabalho, após esta etapa, é muito variável, pelo que se considerou o tempo médio de retrabalho de apenas metade do corpo do binóculo com sujidades, num dos componentes óticos. Esta opção, na medida em que permite identificar o tempo mínimo de retrabalho em cada binóculo, entendeu-se que permitiria obter valores mais fidedignos para o cálculo da economia de tempo total, resultante das otimizações efetuadas. Para além destes tempos de retrabalho, os binóculos, após serem abertos para limpeza, têm de passar novamente pelas etapas de ajustagem binocular e teste de estanquicidade, pelo que é necessário ter em conta esse tempo extra que é dispendido com cada binóculo.

Tabela 1 - Duração média das etapas dos binóculos Ultravid [minutos]

	Montagem	Retrabalho	Ajustagem	Estanquicidade
Ultravid HD - Plus 50	18,33	6,10	7	2,54
Ultravid HD - Plus 32	16,87	5,78	4,58	2,54

No modelo Ultravid HD-Plus 50, o tempo de montagem dos 20 binóculos foi de 366,6 minutos. Tendo em conta que foi necessário retrabalhar 10 binóculos, após o controlo de qualidade final, o tempo de retrabalho mínimo, após montagem final, foi de 61 minutos.

No modelo Ultravid HD-Plus 32, o tempo de montagem dos 20 binóculos foi de 337,4 minutos. Tendo em conta que foi necessário retrabalhar 7 binóculos, após o controlo de qualidade final, o tempo de retrabalho mínimo, após montagem final, foi de 40,46 minutos.

Este estudo inicial constituiu um ponto de partida, a partir do qual foram concebidas algumas soluções, apresentadas de seguida. A ordem que foi escolhida para apresentar cada uma delas, prendeu-se com a sucessão lógica dos procedimentos que ocorrem na linha de montagem, apesar das respetivas testagens terem sido realizadas com uma ordem distinta, em função da disponibilidade dos materiais para acompanhar cada posto de trabalho, assim como do tempo de resposta aos pedidos formulados, para fabrico de alguns dos mecanismos utilizados.

Na análise dos resultados da testagem de cada uma das soluções encontradas, apenas foram realizadas comparações entre amostragens, quando esses resultados foram considerados significativos para o efeito.

4.2 Desenvolvimento de caixa de aspiração

4.2.1 Enquadramento

Apesar de todas as peças vindas da secção Mecânica serem prontamente lavadas na máquina de lavagem por ultrassons, presente na sala semi-limpa, verificou-se que a mesma não remove todas as sujidades presentes no interior dos corpos dos binóculos.

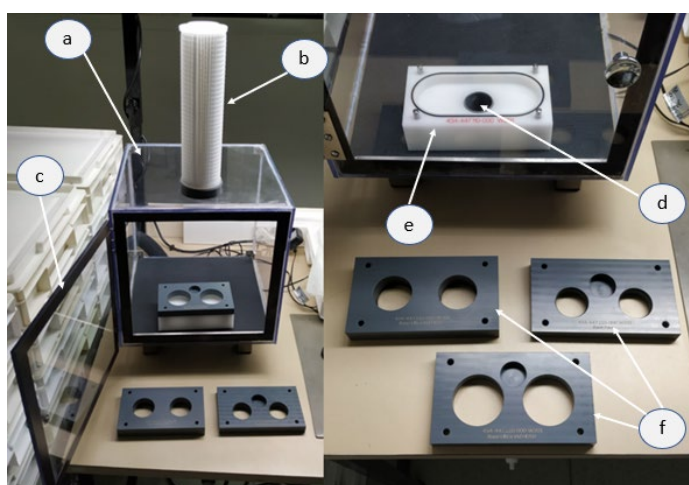
Tendo em conta que apenas existem dois tipos de corpos, para todos os modelos de binóculos Ultravid HD-Plus, verificou-se numa amostra de 20 corpos de cada tipo, imediatamente após lavagem, a existência de pequenas partículas no seu interior, em 45% dos que foram analisados, após observações na estereolupa. Constatou-se também que, nem sempre o armazenamento destes corpos é feito de forma adequada, pois alguns dos seus componentes são colocados em caixas sem tampa e que, para além disso, a montagem de todos os componentes mecânicos do binóculo exige um elevado manuseamento dos corpos e a necessidade de aplicação de colas e massas, que podem incrementar, substancialmente, as partículas de sujidade nessa zona. Desta forma, após montagem dos componentes mecânicos na sala semi-limpa, confirmou-se que 70% dos corpos, da amostra inicial, possuíam partículas de sujidade no seu interior, o que acarretaria uma limpeza mais rigorosa na sala limpa, nem sempre realizada.

Tendo em conta a necessidade de proceder à limpeza destes corpos na sala semi-limpa e, aliado ao facto da empresa, futuramente, pretender implementar um procedimento de limpeza entre cada etapa da montagem final (descritos anteriormente no Capítulo 3.3.2), foi desenvolvida uma caixa de aspiração, que permite otimizar o processo de limpeza, inspirada numa solução já existente no setor dos aparelhos de Rangefinder, tornando-o mais célere e automático. Os seus

componentes foram modelados no *software* de modelação 3D, o PTC Creo. O desenho de conjunto e 2D destes componentes pode ser consultado no Anexo A.

4.2.2 Procedimento

A caixa em acrílico disponibilizada (Figura 4.6) tem um furo na base para o encaixe do tubo de aspiração e um furo no topo, para o encaixe do filtro responsável por reter as partículas presentes no ar (com tamanhos mínimos de 5 μm).



Legenda:

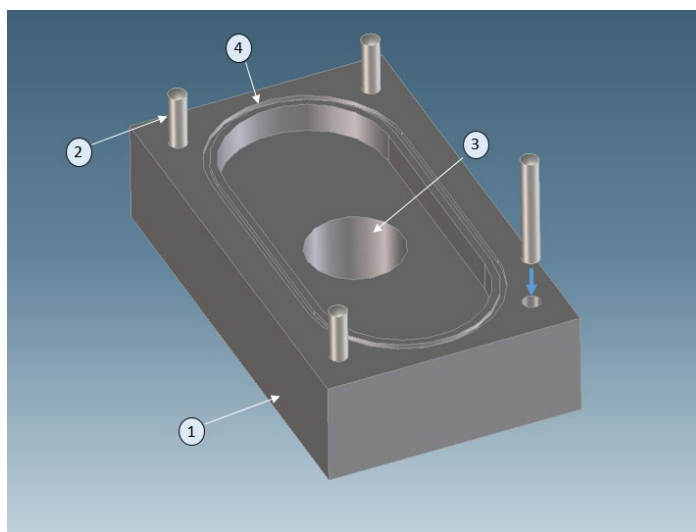
- a. Caixa em acrílico
- b. Filtro de partículas
- c. Porta
- d. Tubo do aspirador
- e. Base inferior
- f. Bases personalizadas para cada modelo de binóculos

Figura 4.6 - Componentes da caixa de aspiração.

Para a realização da aspiração, desenvolveu-se uma base inferior, comum às várias bases criadas para cada modelo de binóculos. Estas bases personalizadas contêm o-rings colados em reentrâncias existentes nos orifícios para encaixar os binóculos, de forma a limitar a área de aspiração, exclusivamente ao interior dos corpos, conseguindo, assim, maiores pressões vacuométricas, fundamentais para a sucção do maior número de partículas. A exceção ocorreu nos modelos Ultravid HD-Plus 42 e 50, pois possuem um o-ring no diâmetro exterior do corpo que é responsável por fazer a vedação da objetiva e do encaixe na base.

A vedação entre a base inferior e as bases superiores é assegurada pelo o-ring presente na face da base inferior (“4” da Figura 4.7) que vai estar, assim, em contacto com as bases personalizadas, salvaguardando possíveis encaixes incorretos ou empenos das peças de POM e PVC.

Em seguida, apresentam-se os vários componentes presentes nesta caixa de aspiração:



Legenda:

1. Base inferior
2. Perno de alinhamento das bases
3. Furo para encaixe do tubo de aspiração
4. Reentrância para o-ring

Figura 4.7 - Componentes da base inferior.

Para cada modelo de binóculo, após encaixe da respectiva base, o procedimento a executar é o seguinte:

1. Colocação dos corpos nos furos vazados até se sentir a necessidade de fazer a pressão correspondente à vedação realizada pelos o-rings presentes nas reentrâncias;

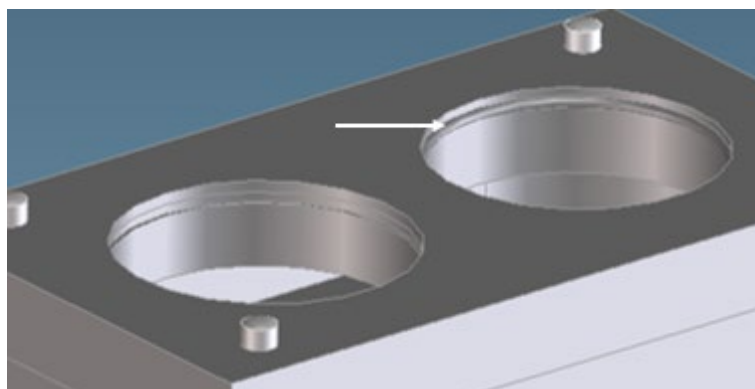


Figura 4.8 - Bases personalizadas a cada modelo com reentrâncias para acoplar o o-ring.

2. Fechar a porta da caixa de aspiração e acionar o pedal que dá início à aspiração.
3. No final, retirar o corpo e repetir o processo para os corpos seguintes do mesmo modelo.

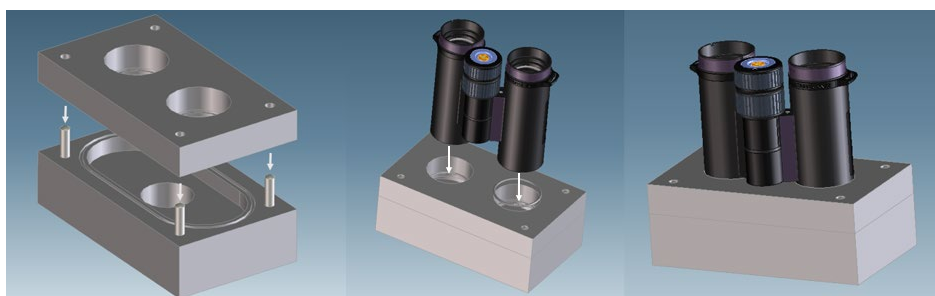


Figura 4.9 - Base de aspiração para Ultravid HD-Plus 32.

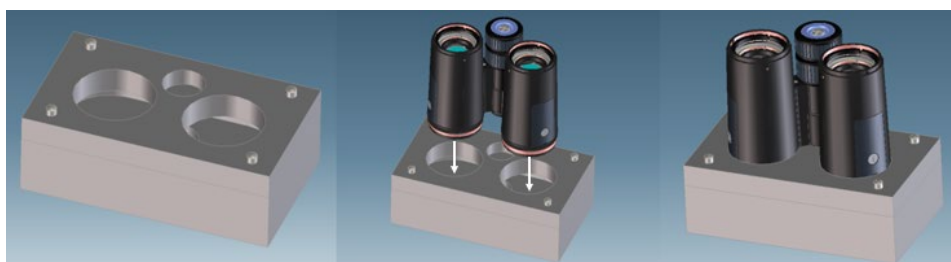


Figura 4.10 - Base de aspiração para Ultravid HD-Plus 50.

4.2.3 Análise de resultados

Para verificar a eficácia desta aspiração, observaram-se, na estereolupa, as sujidades existentes em 25 corpos do modelo Ultravid acabados de ser montados (50 meios corpos) e contabilizaram-se as partículas que aparentavam ter mais de 0,16 milímetros, pois é a tolerância mais apertada do Controlo de Qualidade para o defeito “partículas de sujidade” nas lentes presentes no interior do corpo do binóculo, consideradas as partículas mais importantes para se verificar se foram eliminadas. Fez-se o registo fotográfico de cada uma, para uma comparação mais eficiente com os resultados obtidos, após aspiração do corpo.

Da amostra de 25 corpos em estudo, verificou-se que, inicialmente, em média, cada corpo tinha 3,15 partículas com as dimensões mencionadas. Após aspiração verificou-se um decréscimo da média dessas partículas para 0,83. Desta forma, obteve-se uma redução percentual de 73,7% das partículas críticas. Relativamente às partículas remanescentes, apenas foram passíveis de ser retiradas de forma localizada com uma espátula de limpeza, podendo, possivelmente, não haver risco de caírem nas lentes.

Apesar do foco inicial ter sido os binóculos Ultravid HD-Plus, foi requisitado o desenvolvimento de bases personalizadas para outros modelos da linha, nomeadamente a família de binóculos Trinovid e Noctivid (Figura 4.11).

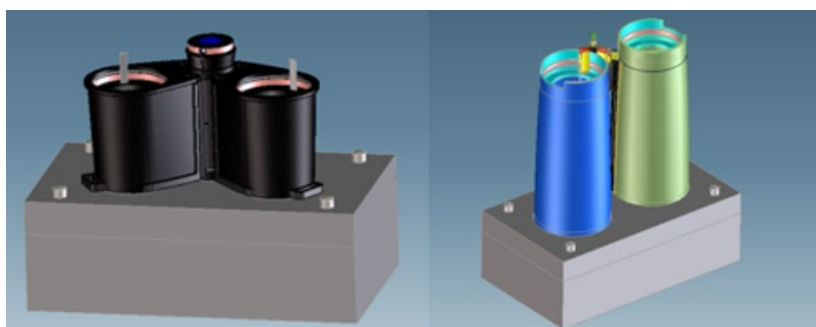


Figura 4.11 - Bases desenvolvidas para outros modelos (Leica Trinovid e Leica Noctivid).

Na utilização deste método, o tempo de aspiração escolhido foi de 30 segundos, contudo, pode-se optar por outros tempos de aspiração mais adequados a cada posto de trabalho. Durante este tempo, o colaborador pode prosseguir com a montagem do binóculo seguinte, porque decorre de um processo que, uma vez iniciado, termina automaticamente. Desta forma, apenas acresce a esse tempo, a colocação e remoção final do binóculo, que demora um tempo médio total de cerca de 11 segundos.

Após a aspiração, para evitar o ressurgimento de sujidades na sala semi-limpa, onde os corpos são armazenados para posterior envio para a sala limpa, constatou-se ser fundamental melhorar os cuidados no armazenamento, designadamente a utilização de caixas devidamente fechadas, assim como a colocação de tampas nos binóculos que permitam manter o interior dos seus corpos protegidos, ao longo de todo o processo de montagem, conforme se pode observar na Figura 4.12.



Figura 4.12 - Colocação de tampas para salvaguardar a limpeza do interior dos corpos.

Estas tampas foram reaproveitadas de outra secção, aquando da procura de um método de proteção menos dispendioso. Evitou-se, assim, o recurso a outros procedimentos, que envolvem custos e desperdícios de material, como por exemplo a utilização de fitas adesivas. Assim, o procedimento, após a aspiração, será a colocação de duas tampas em cada corpo do binóculo.

A caixa de aspiração permite melhorar a limpeza dos corpos montados na sala semi-limpa, acrescentando apenas 11 segundos ao tempo de montagem de cada corpo de binóculo e evitando, com a aplicação das tampas, que este procedimento seja mais tarde realizado na sala limpa. Potencia ainda a diminuição das partículas libertadas para a atmosfera circundante, que vai beneficiar a montagem dos componentes óticos, que necessitam de uma atmosfera controlada, isenta de partículas que possam aparecer na superfícies das lentes e provoquem um aumento do tempo de limpeza destas.

Futuramente, com as mudanças planeadas no *layout* da empresa e havendo espaço em cada *flowbox* para colocação de uma solução semelhante à apresentada, será possível realizar a limpeza entre cada etapa da montagem final dos binóculos, sem grandes acréscimos ao tempo de montagem e com possíveis reduções nas taxas de rejeição final do produto.

Para potenciar a melhoria proporcionada com esta solução, propõe-se a implementação de mais aspiradores para a mesma caixa, concebendo mais furos na base da caixa em acrílico, para encaixe dos tubos de aspiração e replicação das bases já criadas, de modo a aumentar o número de binóculos por cada aspiração. Uma potência maior do aspirador também seria outra melhoria possível, para aspirar os corpos com os componentes óticos já montados.

4.3 Teste de lavagem das molas por ultrassons

4.3.1 Enquadramento

No acompanhamento da linha de montagem dos binóculos Ultravid HD-Plus, verificou-se que, umas das etapas que necessitava de maior perícia e contacto com o interior do binóculo, era a colocação da manga no eixo responsável pelo seu movimento, como verificado no Capítulo 3.3.2. Apesar dos cuidados aquando da montagem, a roscagem destes componentes é efetuada diretamente no interior do corpo (Figura 4.13) o que pode provocar a libertação de partículas de sujidade. Para avaliar esta situação, analisaram-se várias peças.

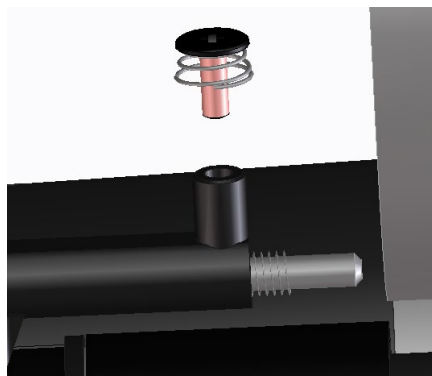


Figura 4.13 - Montagem do parafuso e da mola no transportador.

4.3.2 Procedimento

Num primeiro momento recolheu-se uma amostra de 30 parafusos e 30 molas. Verificou-se, na estereolupa, que os parafusos não apresentavam sujidades na rosca e estas não tinham danos que pudessem causar despredimento de material. Contudo, na observação das molas, das 30 analisadas ao microscópio, cerca de 17 apresentavam pêlos com tamanho considerável na sua espiral, como se pode observar na Figura 4.14.

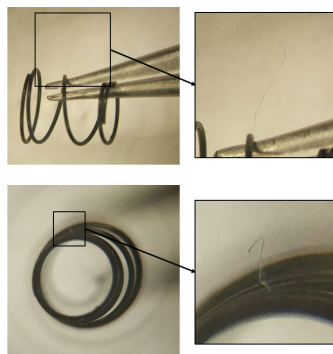


Figura 4.14 - Pêlos encontrados nas molas.

Tendo em conta que os pêlos são um dos tipos de partículas que se encontram nas superfícies das lentes, testou-se se o movimento de montagem da manga causava a sua libertação. Utilizaram-se as 17 molas com estes pêlos e realizou-se a roscagem, observando-se, em 6 casos, a libertação destas partículas de sujidade. Apesar desta ocorrência não chegar a 50% da amostra analisada, concluiu-se que, quer os movimentos inerentes à manga de focagem, ao teste de estanquicidade, quer ao teste de impacto, podem provocar o desprendimento de partículas de sujidade, designadamente, os pêlos que aparecem na superfície das lentes.

Como já referido, dado que não existe diferenciação do tipo de partículas de sujidade reprovadas, nos dados estatísticos da empresa, também não foi possível obter percentagens da presença deste tipo de partículas, de forma mais abrangente.

A opção considerada mais adequada para a remoção dos pêlos existentes nas molas foi a realização de uma lavagem por ultrassons, numa máquina que não estava atribuída a nenhum roteiro de trabalho na empresa, a Elmasonic P (Figura 4.15).

Este dispositivo é composto por três componentes: gerador, transdutor e tanque. O gerador produz um sinal elétrico digital que possibilita a operação de lavagem em diferentes modos, para aplicações específicas. Ao chegar ao transdutor, o sinal é convertido numa vibração, de acordo com a frequência do sinal que recebe, que, por ser acima de 20 kHz, é chamado de ultrassom. Este transdutor fica acoplado ao fundo do tanque, passando-lhe esta vibração, a qual, por sua vez, é transferida ao líquido que se encontra dentro do tanque. A alternância entre zonas de alta e baixa pressão das ondas ultrassónicas, causa um fenómeno chamado cavitação, que corresponde ao colapso de milhões de pequenas bolhas microscópicas no líquido. Os jatos microscópicos de alta energia gerados neste colapso, auxiliam o detergente na quebra das ligações entre uma sujidade e a peça que está a ser limpa [45].

Inicialmente, efetuou-se uma mistura do detergente de limpeza da máquina nas proporções mais adequadas para este reservatório. Este detergente foi fundamental para conferir propriedades de limpeza à solução e reduzir a tensão superficial do líquido, facilitando a cavitação.

Em seguida, realizou-se uma desgaseificação da solução, durante 5 minutos para remoção dos gases dissolvidos que podiam existir (selecionou-se o modo *degas*). Esta etapa foi fundamental para uma maior eficácia da lavagem, pois, assim, consegue-se obter um vácuo nas bolhas de cavitação formadas, levando ao seu colapso.

Tendo em conta que, quanto menor a frequência ultrassónica, maiores são as bolhas de cavitação formadas, optou-se pela frequência mais baixa de 25 kHz para realizar uma limpeza profunda, indicada para estas peças mecânicas. As frequências mais altas costumam ser utilizadas na máquina de lavagem dos componentes óticos, pois são materiais mais sensíveis.

A temperatura do banho considerada mais adequada para esta limpeza foi de 40 °C e, o modo de operação escolhido foi o *sweep*, pois este permite uma distribuição da cavitação de forma mais homogénea. Colocaram-se as molas num cesto de lavagem e procedeu-se à sua lavagem, com um tempo total de 5 minutos.

Tendo em conta que a desgaseificação apenas se efetua na preparação da solução e esta permite várias lavagens, o tempo despendido para lavar estes componentes foi de 5 minutos.

Dadas as reduzidas dimensões das molas, esta opção revelou-se mais prática do que a lavagem por ultrassons realizada numa máquina com grandes dimensões, usada na lavagem de componentes mecânicos e lentes dos binóculos.



Figura 4.15 - Lavagem das molas na máquina de lavagem por ultrassons.

4.3.3 Análise de resultados

Realizou-se a lavagem por ultrassons numa amostra de 30 molas. Nesta, apenas 3 apresentaram pêlos, havendo, assim, uma diminuição da percentagem de partículas de sujidade na amostra analisada, de 57% para 10%. Apesar de grande parte dos componentes mecânicos serem lavados por ultrassons na sala semi-limpa, existem pequenos componentes como molas e parafusos que são comprados externamente e vão diretamente para a linha de montagem. Desta forma, conclui-se ser importante aumentar também os cuidados de limpeza desses componentes, que apresentam riscos de libertação de partículas de sujidade.

Tendo em conta que se pode efetuar a lavagem, de uma só vez, da quantidade de molas que é requisitada ao armazém, apenas com o acréscimo de tempo de 5 minutos para proceder à mesma, esta etapa revela-se vantajosa, na medida em que reduz o risco do aparecimento de partículas de sujidade, aquando do controlo de qualidade.

A recuperação desta máquina para a operacionalização deste procedimento, permitiu que passasse a ser utilizada nesta linha de montagem, podendo também, eventualmente, ser usada na limpeza de outros pequenos componentes, acrescentando mais um contributo na redução das partículas de sujidade.

4.4 Teste de binóculos com Planatol

4.4.1 Enquadramento

O modelo Ultravid HD-Plus 50, porque apresenta uma maior frequência de partículas de sujidade, conforme verificado na amostragem do Capítulo 4.1, foi alvo de particular atenção.

Como a zona de maior incidência de partículas de sujidade, neste modelo, é a objetiva (Figura 4.16), foi analisada a possibilidade de estas resultarem de defeitos presentes nas roscas das peças mecânicas ou de tratamentos de superfície, em zonas não indicadas no desenho técnico destas peças, nomeadamente, pinturas estéticas e zonas areadas.



Figura 4.16 - Objetiva do Ultravid HD-Plus 50.

Em seguida, apresenta-se o procedimento executado na sua verificação, bem como, os métodos utilizados para reduzir as partículas de sujidade encontradas.

4.4.2 Procedimento

Verificou-se que o único tratamento de superfície que podia pôr em causa o aparecimento de partículas de sujidade era uma pintura existente na zona intermédia interior da objetiva, mas que se encontrava nas áreas limitadas pelo desenho técnico, não estando em zonas de contacto com as lentes ou roscas.

Num primeiro momento foi analisado o estado das roscas responsáveis pela união da objetiva ao corpo do binóculo. Observaram-se 20 meios corpos lavados (correspondentes a 10 binóculos) e obtiveram-se os seguintes resultados:

- 6 desses meios corpos (30% da amostra) encontravam-se com partículas de sujidade impossíveis de serem removidas pelo ar comprimido (ver Figura 4.17);

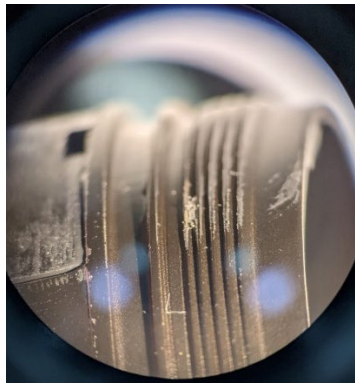


Figura 4.17 - Partículas de sujidade nas roscas do corpo do Ultravid.

- Em 5 meios corpos (25%) só foram removidas as sujidades, com aplicação de ar comprimido de forma bem direcionada;
- 9 meios corpos (45%) encontravam-se com sujidades que foram possíveis de remover com uma passagem normal de ar comprimido.

Desta forma, pode concluir-se que, da amostra estudada, 55% necessita de uma limpeza mais cuidada, não indicada nas instruções de trabalho desse posto, pois a passagem de ar comprimido não é especialmente dirigida aos locais com mais partículas para remoção.

Apesar destas elevadas percentagens de partículas de sujidade nas roscas, uma limpeza mais profunda só é justificada se estas partículas forem as que surgem no interior do binóculo, mais concretamente na superfície das lentes. Para analisar esta situação, procedeu-se à roscagem de 20 meios corpos a 20 objetivas deste modelo.

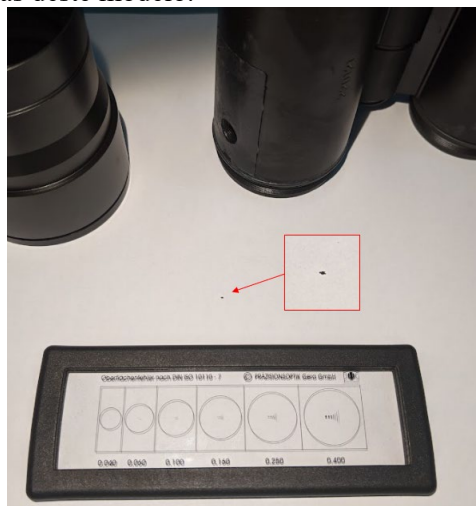


Figura 4.18 - Partículas soltas resultantes da roscagem da objetiva ao corpo do binóculo.

Verificou-se a libertação de partículas em 45% dos casos e, face à sua dimensão, podem ser consideradas críticas, se libertadas para as lentes da objetiva ($>0,16 \text{ mm}$) (Figura 4.18).

Em seguida, testou-se se uma escovagem nas zonas críticas, com o objetivo de remover partículas de sujidade, arestas vivas e rebarbas considerando-se que poderia ser benéfica para

reduzir estas percentagens. Esta escovagem foi realizada com o auxílio de um motor *Schneider Eletric*, devidamente preparado, com uma garra para fixação de escovas rotativas. Utilizou-se uma escova de nylon para amaciar e limpar superfícies e uma escova abrasiva, mais agressiva, para retirar arestas vivas e rebarbas. Selecionou-se de novo 20 meios corpos e 20 casquilhos e realizou-se o seguinte procedimento:

1. Escovagem dos corpos e casquilho da objetiva;



Figura 4.19 - Motor *Schneider Eletric* (a - Escova de nylon; b - Escova abrasiva).

2. Passagem da escova de nylon e escova abrasiva nas roscas de ambos os componentes;

Tabela 2 - Passagem da escova de nylon e escova abrasiva nas roscas dos meios corpos e casquilho da objetiva

Componente	Zona de escovagem	Tipo de escova	Tempo de escovagem
Meio corpo	Superfície interior	Escova de nylon	30 segundos
	Rosca exterior	Escova abrasiva	20 segundos
Casquilho da objetiva	Superfície interior	Escova de nylon	30 segundos
	Rosca interior	Escova abrasiva	20 segundos

3. Observação da limpeza dos corpos e roscas.

Após realização de nova roscagem e teste de impacto, constatou-se que continuavam a aparecer pequenas partículas de sujidade, concluindo-se que estas poderão estar relacionadas com danos provocados pelo movimento de roscagem e que são dificilmente eliminadas. Desta forma, o tempo dispendido nesta escovagem, cerca de 3,33 minutos para cada binóculo, não se revelou vantajoso.

Face a esta situação e sabendo que as partículas de sujidade encontradas nas lentes interiores do binóculo podem ter inúmeras origens, nomeadamente, resultantes da roscagem de determinadas peças, do interior dos componentes mecânicos, ou do processo de montagem final do binóculo, considerou-se a possibilidade de aplicar uma substância que fosse capaz de aprisionar estas partículas e não permitisse a sua posterior movimentação no interior do binóculo, ao longo das várias etapas do controlo de qualidade.

A melhor solução encontrada foi a utilização do Planatol HW730 10:1 (Figura 4.20). Esta substância apresenta uma cor branca no estado líquido, mas após uma secagem de aproximadamente 10 minutos, fica transparente e adquire uma consistência viscosa e aderente, capaz de “agarrar” qualquer partícula que nela caia.

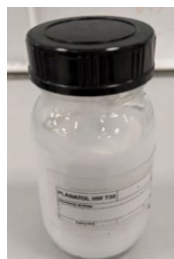


Figura 4.20 - Substância líquida usada para colar sujidades (Planatol HW 730).

Esta substância já se encontrava aprovada para o interior destes binóculos, pois é usada para o mesmo efeito na tampa que é colada no corpo do binóculo (Figura 4.21). Contudo, a área de aplicação costuma ser reduzida, pois esta substância, apesar de ser transparente quando seca, apresenta uma maior reflexão do que o permitido em zonas visíveis interiores do binóculo (Figura 4.22). Como esta tampa está numa zona visível não se consegue aumentar a área de aplicação.



Figura 4.21 - Tampa de corpo com Planatol aplicado.



Figura 4.22 - Maior reflexão de luz em zona com Planatol.

Desta forma, delimitou-se a sua aplicação a áreas não visíveis a partir da objetiva (local de entrada de luz). Paralelamente, também não pode ser aplicado Planatol em roscas ou zonas de atrito entre peças, visto que, após secagem, o líquido apesar do seu carácter viscoso, pode desfazer-se com o atrito e provocar novas partículas.

Neste contexto, foi encontrada uma zona não visível, o mais perto da ligação da objetiva ao corpo, no diâmetro exterior do diafragma, que encaixa no casquilho da objetiva. Para além de ser uma peça que permite uma grande área de aplicação do Planatol, sem aumentar as reflexões no interior do binóculo, localiza-se na mesma zona onde se roscam os componentes críticos abordados anteriormente (Figura 4.23), o que permitirá fixar as partículas resultantes desta roscagem, assim como partículas provenientes das zonas superiores (prisma e manga).

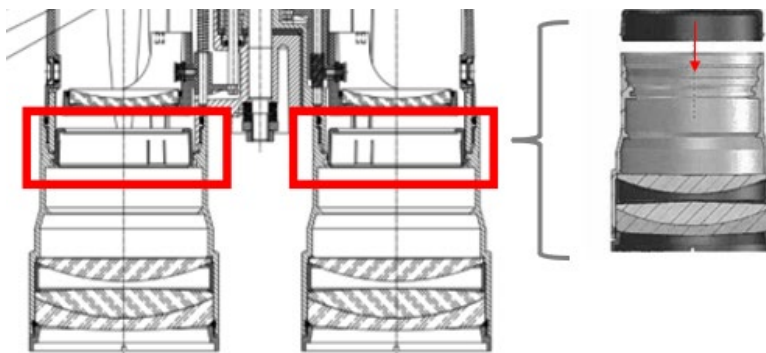


Figura 4.23 - Localização do diafragma.

Inicialmente fez-se esta aplicação com o pincel na zona a azul, indicada na Figura 4.24, para que a zona que faz o encaixe com o casquilho da objetiva, não ficasse com Planatol.



Figura 4.24 - Diafragma com planatol aplicado com pincel.

Todavia, os tempos de aplicação desta substância foram elevados e os cuidados a ter para pincelar na zona referida com uma espessura uniforme, tornaram esta tarefa complexa. Para tentar contornar estas dificuldades, aumentando o rigor e diminuindo o tempo de aplicação, pensou-se na adaptação de um aparelho de colagem de lentes, usado na sala limpa. Este aparelho apresenta uma cabeça dispensadora de cola (com ar comprimido) e um dispositivo de rotação na base (Figura 4.25).

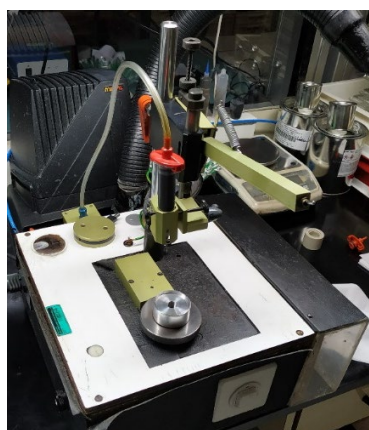


Figura 4.25 - Máquina de colagem de lentes.

Dado que o Planatol não tem a mesma viscosidade das colas aplicadas nesta máquina, foi necessário escolher uma agulha com um diâmetro bastante inferior aos usados normalmente e ajustar o caudal do dispensador para o mínimo, de forma a que esta substância não escorresse pela peça e ultrapassasse a zona definida para a sua aplicação. Contrariamente à colagem das lentes, esta aplicação é feita num plano vertical, o que implicou dobrar a agulha para ser possível esta aplicação nas paredes laterais do diafragma. Para realizar a fixação do diafragma ao dispositivo de rotação da base, foi necessário criar uma base que permitisse encaixar esta peça. Para este efeito, aproveitou-se um suporte inutilizado e alterou-se o raio interno num torno mecânico de forma a que o diafragma entrasse justo para uma correta aplicação, sem desprendimento (Figura 4.26).

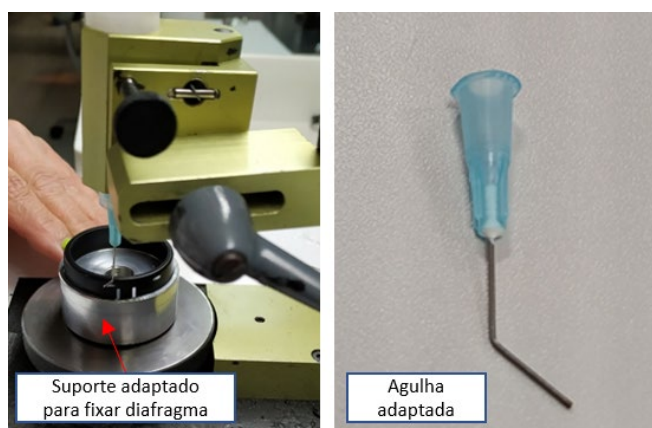


Figura 4.26 - Aplicação do Planatol na máquina de colagem (agulha adaptada).

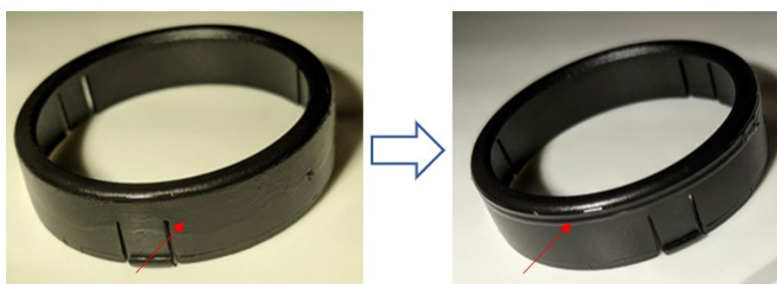


Figura 4.27 - Diferenças obtidas na aplicação do Planatol.

Este último processo, para além de permitir uma distribuição uniforme, controlada e limpa do Planatol na zona pretendida (Figura 4.27), possibilitou uma redução do tempo médio de aplicação de 43 segundos para 8 segundos, diminuindo, assim, em 81,4%, o tempo de execução desta tarefa.

Após aplicação do Planatol, estas peças foram armazenadas em caixas brancas, conforme a Figura 4.28. Com a movimentação da caixa, estas acabavam por se colar entre si, devido ao efeito pegajoso da substância presente nas paredes laterais. Para solucionar este problema, desenvolveram-se suportes que evitam este contacto entre as paredes laterais das peças e que permitem que estas possam ser retiradas pelo colaborador, sem danos (Figura 4.28). Todos os materiais utilizados nestes suportes foram reaproveitados, procedendo-se apenas a alterações de diâmetros e colagem de componentes.

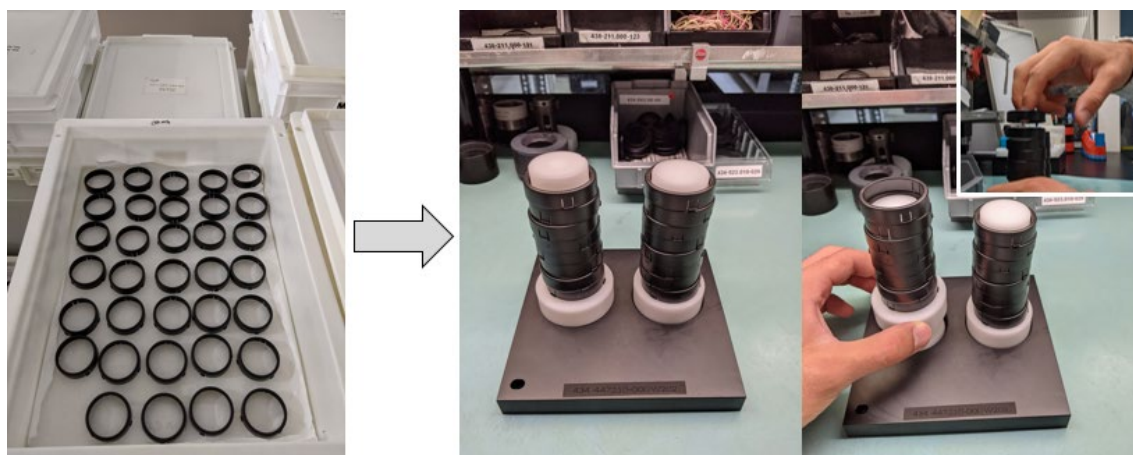


Figura 4.28 - Suportes criados para armazenamento dos diafragmas com Planatol.

4.4.3 Análise de resultados

De forma a comprovar a eficácia da aplicação do Planatol, foi efetuada a comparação dos resultados encontrados referentes ao desprendimento de partículas de sujidade nas lentes das objetivas, numa amostra de 20 binóculos do Ultravid HD-Plus 50, depois de aplicada aquela substância, com a amostra inicial, anteriormente apresentada, de 20 binóculos do mesmo modelo, sem esta substância ter sido aplicada. A comparação de resultados ocorreu apenas neste grupo ótico, tendo em conta o posicionamento do diafragma no corpo do binóculo e a sua proximidade da zona crítica da roscagem.

Na amostragem inicial, verificou-se o aparecimento de sujidades em 7 objetivas de 5 binóculos, enquanto que, nos 20 binóculos em que se efetuou a aplicação de Planatol no diafragma, apenas se verificaram partículas de sujidade em 3 objetivas de 3 binóculos, constatando-se uma redução de sujidades neste subgrupo ótico, em 57,1% da amostra.

Face ao exposto, pode aferir-se que após a aplicação do Planatol, o número de binóculos da amostra retrabalhados, tendo em conta a frequência de partículas de sujidade encontradas neste subgrupo ótico, foi reduzido em 2 binóculos, obtendo-se uma redução do tempo de retrabalho de 12,2 minutos, face aos tempos apresentados na Tabela 1 do Capítulo 4.1. Se ainda adicionarmos a estes valores o tempo médio de ajustagem e estanquicidade que é necessário ser repetido, após abertura do binóculo para limpeza, obtemos uma redução média do tempo total de 31,28 minutos. Sabendo que 20 binóculos têm 40 diafragmas, o que equivale a um dispêndio de 5,33 minutos na aplicação de Planatol, conclui-se que a implementação deste procedimento se revela vantajosa, na redução do tempo de trabalho na linha.

4.5 Desenvolvimento de mecanismo para teste de estanquicidade

4.5.1 Enquadramento

O mecanismo apresentado na Figura 4.29 e, mais pormenorizadamente, no Anexo B, foi modelado no *software* PTC Creo, com o intuito de substituir o método corrente para a realização do teste de estanquicidade, da família de binóculos Ultravid HD-Plus, apresentado anteriormente no Capítulo 3.4.5.

Os objetivos pretendidos com o desenvolvimento deste mecanismo foram diminuir o risco de aparecimento de partículas de sujidade nas lentes dos binóculos, resultantes do método corrente usado para o mesmo fim, e, ao mesmo tempo, tornar este processo mais rápido e simplificado para o colaborador. De seguida, apresenta-se o procedimento efetuado, que justificou a modelação e desenvolvimento deste mecanismo.

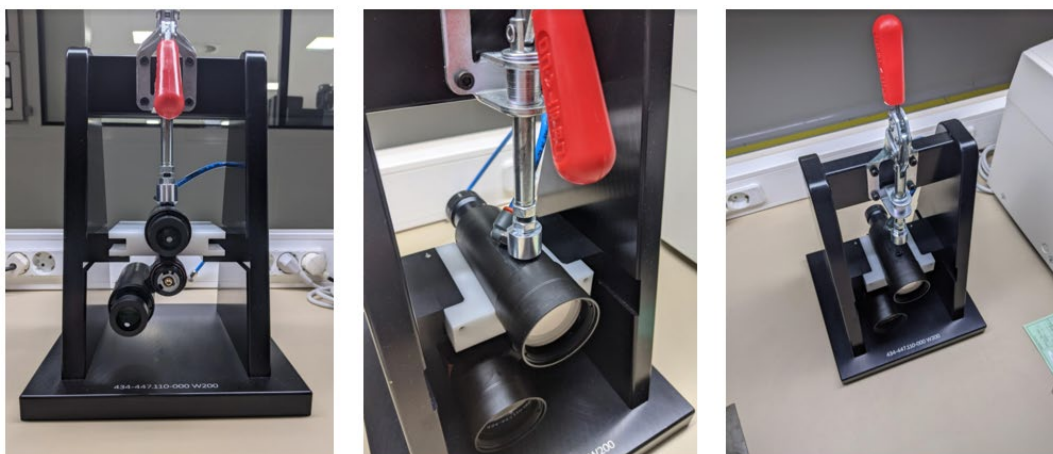


Figura 4.29 - Mecanismo para realizar o teste de estanquicidade aos binóculos Ultravid HD-Plus.

4.5.2 Procedimento

Inicialmente, procedeu-se à análise do interior do adaptador já descrito no capítulo 3.4.5. Sendo uma peça com uma elevada utilização e manuseamento, para realização de encaixes e roscagens, seria de esperar que apresentasse sujidades no seu interior, na zona onde se realizam os encaixes com a mangueira do aparelho de estanquicidade, o que se confirmou, como demonstrado na Figura 4.30.

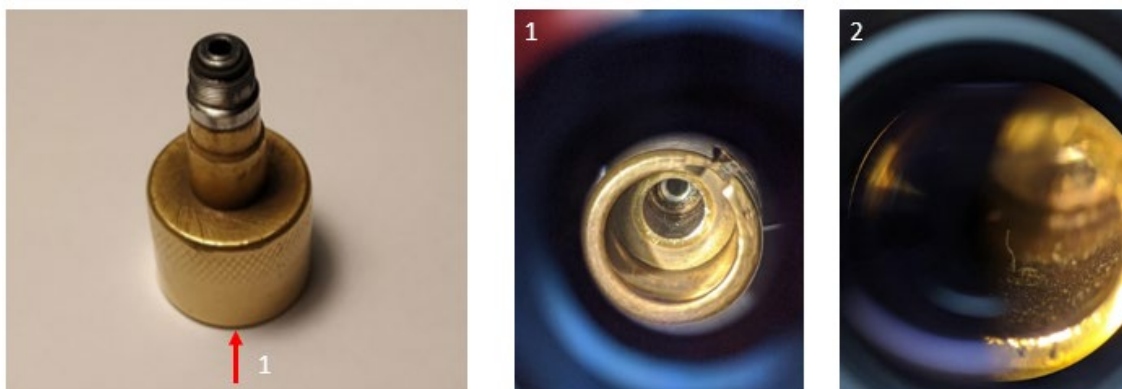


Figura 4.30 - Partículas de Sujidade encontradas no interior do adaptador (1 – vista do interior 2 – imagem 1 ampliada).

Apesar deste teste ser realizado com um aparelho de vácuo, a curta libertação de ar inicial que ocorre nesta máquina, pode acontecer no interior do binóculo e, nessa sequência, as sujidades serem projetadas para o interior. Assim, considera-se fundamental aumentar os cuidados de limpeza neste procedimento ou optar por uma solução, que envolva um menor manuseio de componentes que podem contaminar o interior do binóculo.

Posteriormente, analisaram-se os dois tipos de tampas existentes para os modelos do Ultravid. Denominou-se “tampa 1” à tampa do corpo do Ultravid 40 e 50 e “tampa 2” à tampa do corpo do Ultravid 32. Desta análise, fez-se um levantamento de outros possíveis fatores de risco de libertação de partículas de sujidade:

1. O adaptador é em alumínio e as tampas são de policarbonato reforçado com fibra de carbono (PC-CF 20). O movimento relativo que ocorre na roscagem entre estes dois componentes, aliado à existência de imperfeições na rosca da tampa (Figura 4.31), pode facilitar a abrasão, pois o alumínio, sendo um material mais duro, ao deslizar numa superfície mais macia, pode provocar a remoção de material, formando sulcos e originando partículas de sujidade [46].

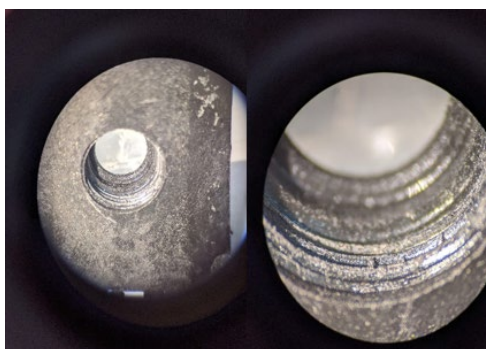


Figura 4.31 - Observação à estereolupa das imperfeições do furo roscado.

2. O diâmetro do furo roscado encontra-se, na maioria das tampas, fora da tolerância especificada no desenho técnico. Este controlo foi efectuado com recurso a um calibre de rosca (Figura 4.32) numa amostra de 20 peças de cada tipo, apresentando-se os resultados obtidos na Figura 4.33.



Figura 4.32 - Verificação da tolerância do furo roscado, usando calibres de rosca.

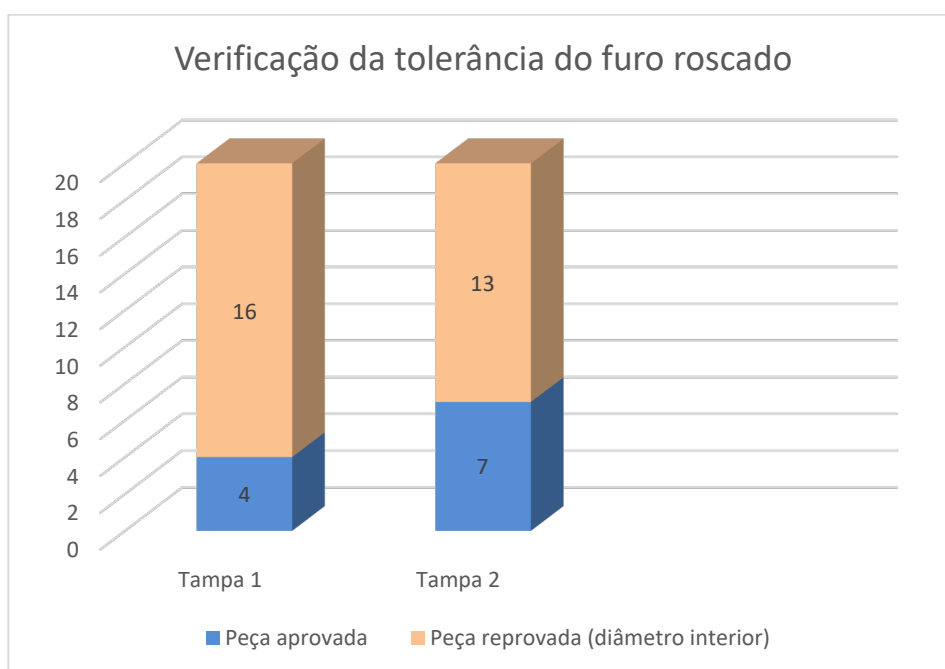


Figura 4.33 - Dados da verificação da tolerância do furo roscado usando calibres de rosca.

Mesmo nas tampas aprovadas, observou-se sempre libertação de partículas provenientes das mesmas, aquando da roscagem do calibre, como se pode observar na Figura 4.34:

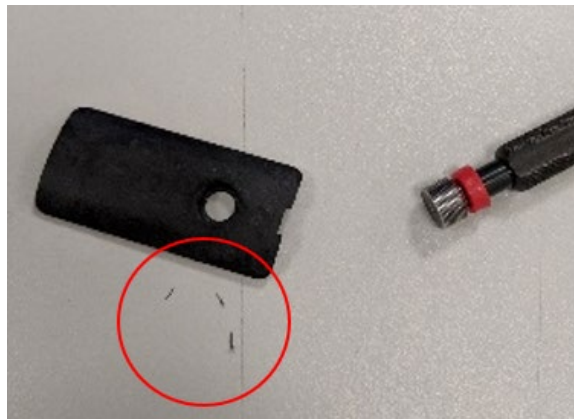


Figura 4.34 - Libertação de partículas nas tampas aprovadas.

Estas peças vêm de fornecedores externos, pois são obtidas pelo processo de injeção de plástico inexistente na Leica, não sendo possível obter a tolerância definida.

Apesar de se ter verificado que o diâmetro da rosca, na maioria das tampas, é inferior à tolerância definida, sabe-se que o adaptador rosca, na grande maioria delas. Isto foi explicado, pelo facto de se ter comprovado que o diâmetro da rosca do adaptador é menor que a tolerância definida no desenho técnico. Esta verificação foi feita com recurso a dois calibres de rosca em anel, um que deve roscar na peça e outro que não deve roscar corretamente (Figura 4.35).



Figura 4.35 - Verificação da rosca do adaptador, com recurso a calibres de rosca em anel.

Neste sentido, para quantificar o risco real do desprendimento de partículas de sujidade das tampas, verificado com os calibres, procedeu-se à roscagem deste adaptador a 20 tampas de cada tipo. O procedimento adotado foi roscar, retirar o adaptador e bater com a tampa num papel branco, com a finalidade de simular o teste de impacto efetuado no CQ, que ocorre depois do

teste de estanquicidade. Apenas se considerou que a roscagem provocava sujidades, quando as partículas libertadas ultrapassavam as tolerâncias estabelecidas para as partículas de sujidade, neste modelo de binóculos. Utilizou-se, então, uma placa de teste para comparar as dimensões destas partículas de sujidade com as tolerâncias referidas (Figura 4.36). Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 4.37.

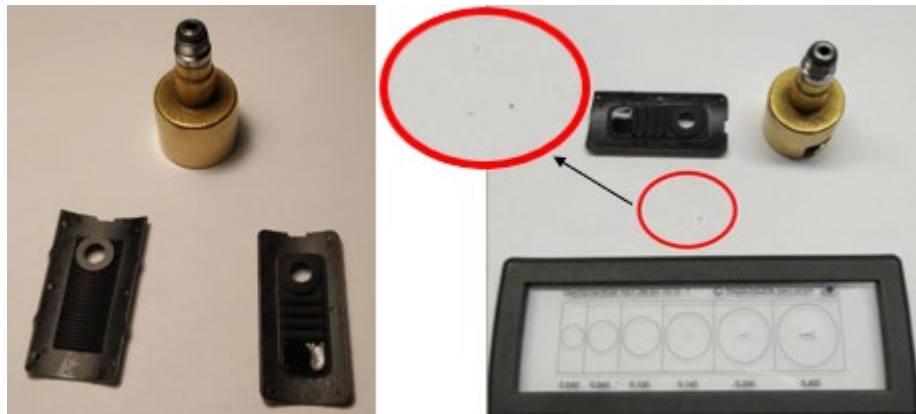


Figura 4.36 - Partículas de sujidade libertadas aquando da roscagem do adaptador nas tampas.

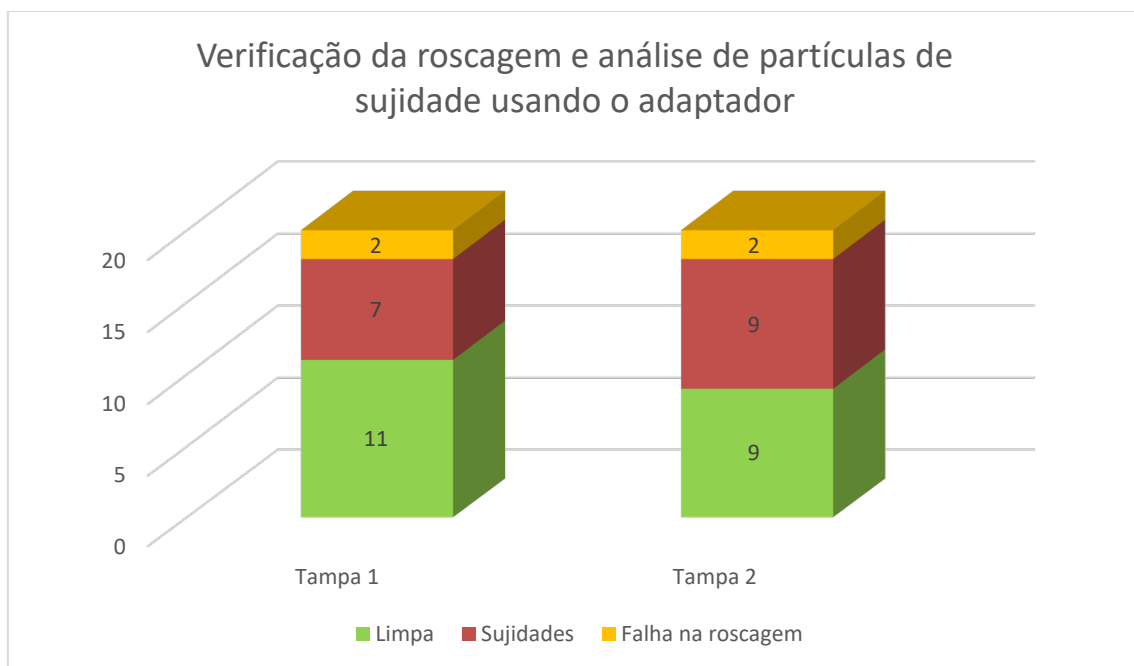


Figura 4.37 – Dados da verificação da roscagem e análise de partículas de sujidade, usando o adaptador.

Verificou-se então que, mesmo com o adaptador a roscar na maioria das tampas, como esperado, este provoca a libertação de partículas de sujidade em 45% das tampas 1 e 55% nas tampas 2. Apesar da roscagem ser possível na grande maioria das peças, as partículas de sujidade

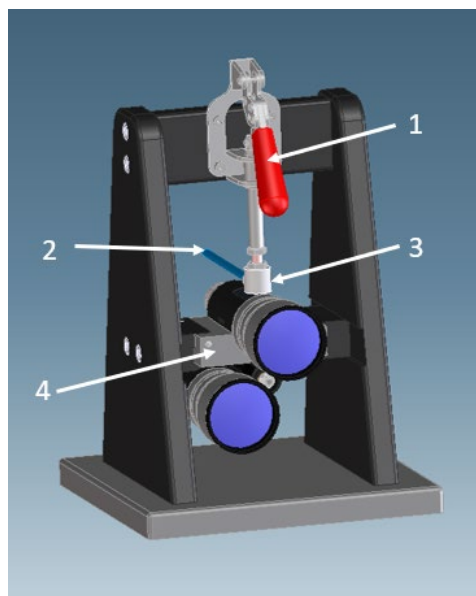
encontradas podem ser explicadas pelas razões apontadas anteriormente, bem como pela maior força de aperto aplicada para a realizar.

A coluna “falha na roscagem” corresponde à impossibilidade de roscar o adaptador até ao batente, o que impede a realização do teste de estanquicidade pelo método corrente, pois não ocorre o esmagamento do o-ring do adaptador nas tampas, detetando-se fugas nesse local. Nesta sequência, é necessário arrancar a tampa que está colada ao corpo, remover os resíduos de cola remanescentes e substituir por uma nova tampa. Dada a elevada libertação de sujidades neste processo, estes casos foram contabilizados nas percentagens de libertação das partículas de sujidade mencionadas.

Se estas partículas de sujidade forem detetadas nos componentes óticos do binóculo, implicando a necessidade de serem efetuados retrabalhos, o binóculo terá de ser novamente manuseado e aberto e submetido ao teste de estanquicidade, pelo que é importante evitar a realização desta roscagem na verificação da estanquicidade do binóculo.

4.5.3 Modelação do mecanismo

Para prevenir o risco da libertação de partículas de sujidade descrito anteriormente e simplificar este procedimento, desenvolveu-se um mecanismo para realizar o teste de estanquicidade no mesmo furo roscado, mas evitando a roscagem (Figura 4.38).



Legenda:

- 1- Alavanca de aperto
- 2- Mangueira do aparelho de estanquicidade
- 3- Peça com o-ring que entra em contacto com o corpo do binóculo
- 4- Base de fixação para os binóculos

Figura 4.38 - Mecanismo para realização do teste de estanquicidade.

Em seguida, apresentam-se os vários constituintes deste mecanismo:

- **Componentes para realização da vedação**

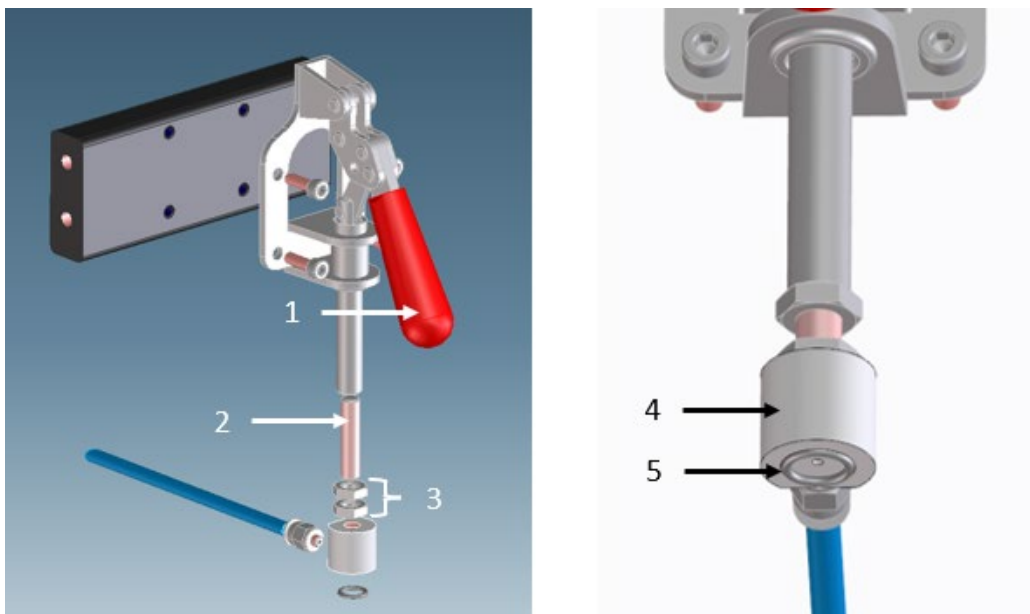


Figura 4.39 - Conjunto de peças responsáveis por realizar a vedação (1- Alavanca de aperto; 2- Perno rosado; 3- Porcas sextavadas; 4- Peça de ligação; 5- O-ring).

Para uma correta vedação na realização deste teste, optou-se por utilizar uma alavanca de aperto (Figura 4.39) que pressione uma peça com um o-ring, na zona circundante ao furo rosado das tampas dos binóculos (imagem 2 da Figura 4.40). Esta peça também se encontra ligada à mangueira do equipamento de medição de estanquicidade.

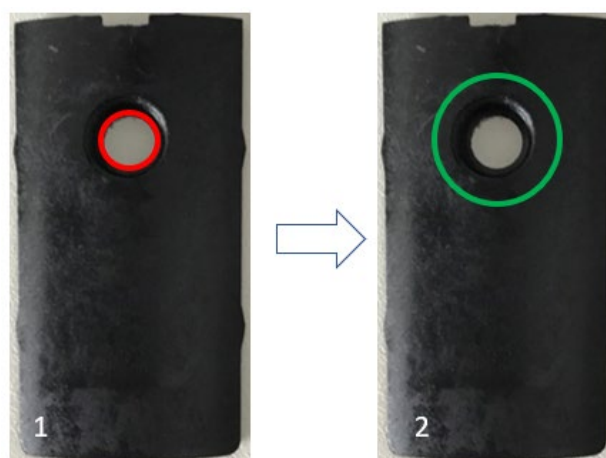


Figura 4.40 - Local de vedação: método inicial (1); mecanismo (2).

Esta vedação exterior elimina os problemas de fugas que ocorrem com a utilização do método inicial, que não consegue efetuar um correto esmagamento do o-ring do adaptador. Evita-se assim, desde logo, esses retrabalhos (substituição da tampa e limpeza do binóculo).

Esta alteração do local de vedação só é possível, porque o parafuso que fecha o binóculo, após todas as etapas do controlo de qualidade, é completamente selado com a aplicação de uma cola em toda a sua área circundante, garantindo a inexistência de fugas nesse local.

O perno roscado é utilizado para ser possível ajustar a altura deste conjunto. As porcas são usadas para fixar essa altura pretendida.

Tendo em conta que os diâmetros dos corpos dos vários binóculos varia, escolheu-se um o-ring com uma espessura suficiente, que permita o seu esmagamento para as diferentes curvaturas.

- **Componentes da estrutura do mecanismo**

Na estrutura do mecanismo, apresentada na Figura 4.41, foi necessário garantir que a distância e o paralelismo entre as duas torres verticais (peças “2”) seja o mais exata possível, de forma a que as bases de fixação dos binóculos posicionem o furo roscado deste (onde se realiza o teste de estanquicidade) no alinhamento com o eixo vertical da alavanca de aperto. Desta forma, foram definidas tolerâncias mais apertadas para estes componentes.

Relativamente à peça onde se fixa a alavanca de aperto, também foi necessário definir tolerâncias mais apertadas para o posicionamento dos seus furos roscados, de forma a centrar esta alavanca.

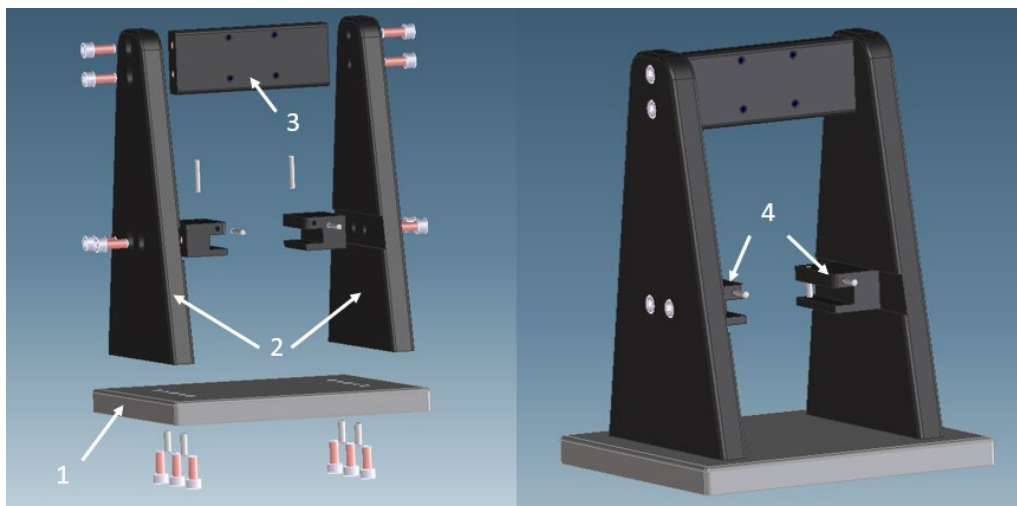


Figura 4.41 - Estrutura do mecanismo de realização do teste de estanquicidade (1- Base; 2- Torres; 3- Peça para fixação da alavanca de aperto; 4- Peças para o encaixe dos suportes dos binóculos).

- **Bases de fixação dos binóculos**

Na modelação das bases de fixação para os vários modelos de binóculos (Figura 4.42 e Figura 4.43), verificou-se que apenas havia dois tipos de corpos diferentes. No Ultravid 42 e 50 o corpo era comum e apenas mudavam os componentes óticos. Desta forma, desenvolveu-se uma base comum para estes modelos e uma base para Ultravid 32. Em ambas as bases teve-se em atenção evitar o contacto destas com o botão de focagem dos binóculos, que, sendo uma peça estética, fica exposto após a colocação dos revestimentos finais, não podendo apresentar danos ou riscos.

Dado o reduzido espaço para modelar uma base para os Ultravid 42 e 50 que evite este contacto (Figura 4.42), dividiu-se esta base em duas peças, tornando-se ainda mais importante a exatidão definida para a distância entre as torres do suporte base, de forma a ocorrer um encaixe/fixação correta destes binóculos. Para além disso, os corpos destes modelos têm um formato cônico, o que fez com que a sua base fosse modelada de modo a obter-se um paralelismo entre o corpo destes binóculos e a face da peça onde está colado o o-ring. Caso isto não se verifique, a vedação dificilmente será conseguida na totalidade, pois existirá uma inclinação do corpo.

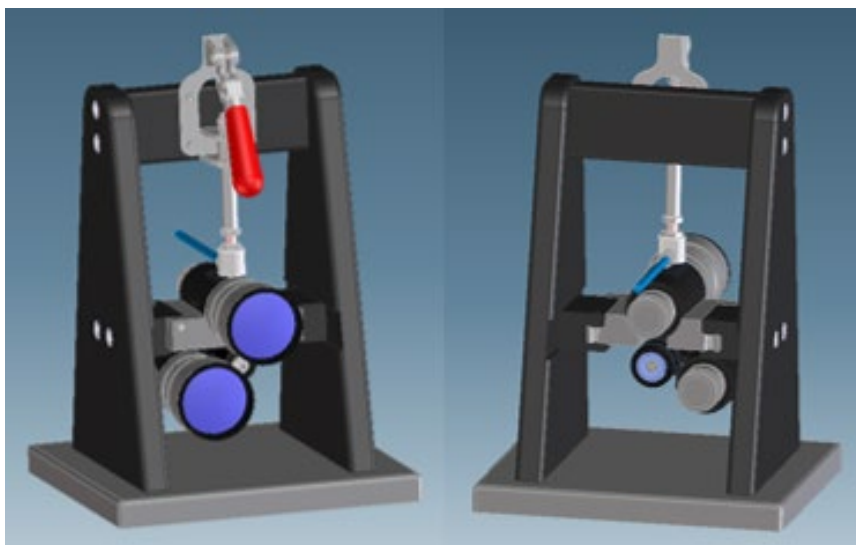


Figura 4.42 - Encaixe no mecanismo da base do Ultravid HD-Plus 42 e 50.

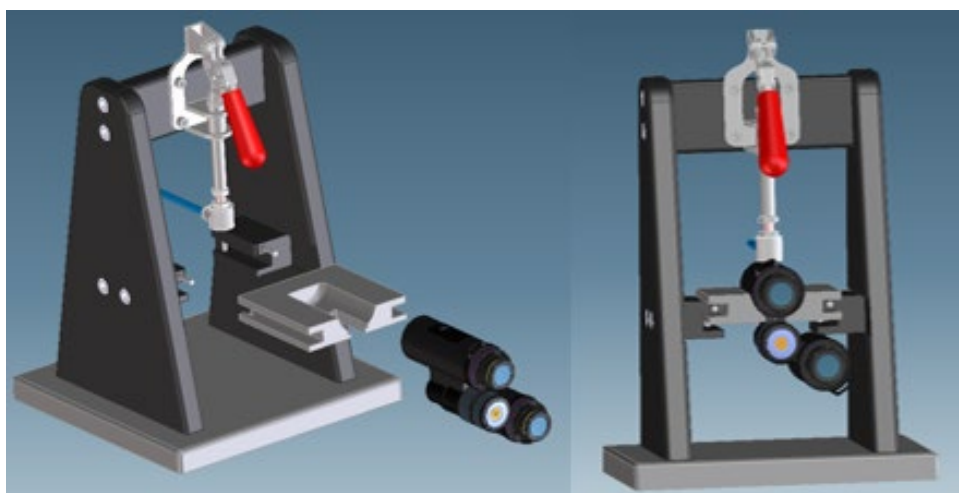


Figura 4.43 - Encaixe no mecanismo da base do Ultravid HD-Plus 32.

Estas bases foram modeladas para serem facilmente substituídas aquando da testagem dos diferentes modelos. Desta forma, entram por um contacto deslizante justo na estrutura base do mecanismo. No Ultravid HD-Plus 42 e 50, o batente para este deslize é assegurado pela própria base, como podemos ver na imagem 1 da Figura 4.44 e o seus movimentos são limitados pelos pernos “1”. No Ultravid HD-Plus 32, o batente para este deslize é assegurado pelos pernos “4” que entram nas reentrâncias “3” da imagem 2 da Figura 4.44.

Para haver um correto alinhamento do furo roscado de cada metade do binóculo com o eixo da alavanca de aperto (Figura 4.45), cada binóculo entra por encaixe justo na base de fixação, até encontrar o batente, garantindo-se assim a inclinação e posicionamento horizontal corretos.

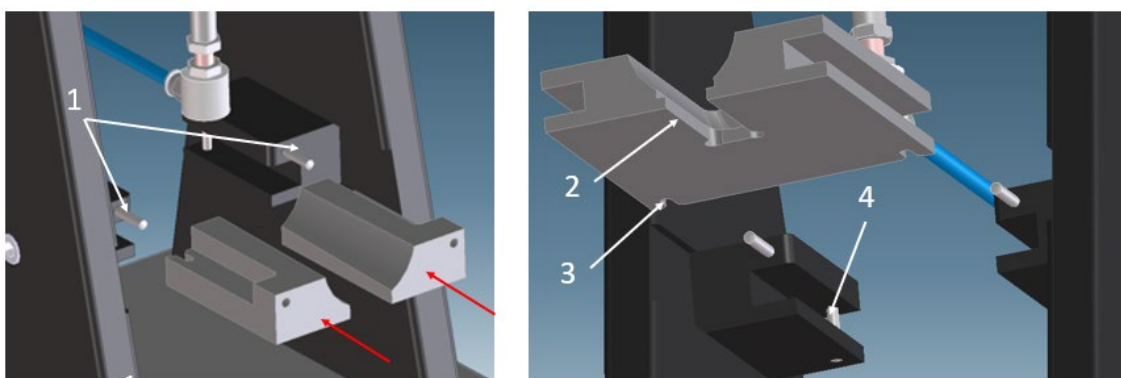


Figura 4.44 - Encaixe e fixação das bases para binóculos (1- Pernos de fixação; 2- Guia para entrada justa do corpo do binóculo; 3- Reentrância para encaixe no perno; 4- Perno para realizar o batente correto).

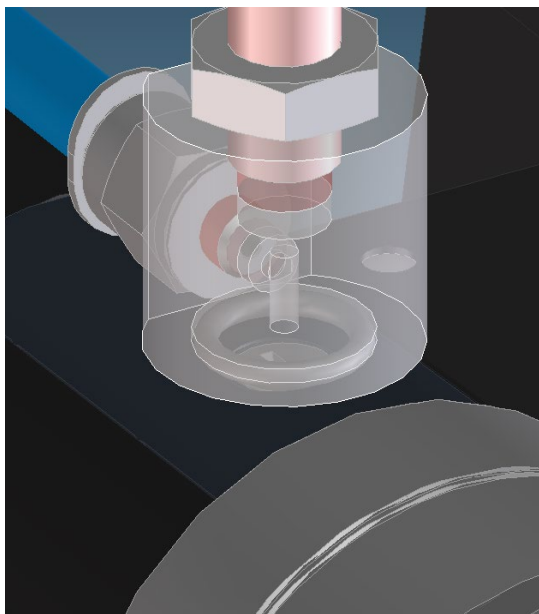


Figura 4.45 - Alinhamento do furo roscado com o eixo da alavanca de aperto.

Para o contacto com o vedante da torre ser feito, à mesma altura, para todos os binóculos, procurou-se posicionar as bases em alturas diferentes, dadas as dimensões distintas dos modelos. Desta forma, a base do binóculo mais pequeno, o Ultravid 32, está encaixada mais acima como se pode observar na Figura 4.43.

- **Novo procedimento**

O novo procedimento para testar a estanquicidade, após colocação da base de fixação do modelo de binóculos a testar, é o seguinte:

1. Encaixe do binóculo nesta base, até atingir o seu batente;
2. Ligar o programa de vácuo para fazer a libertação de ar inicial fora do corpo e baixar a alavanca totalmente.
3. Realização do teste de estanquicidade;
4. Levantar a alavanca e repetir o procedimento na outra metade do binóculo.

4.5.4 Análise de resultados

Num primeiro momento, foi fundamental comparar se os valores de estanquicidade obtidos com o mecanismo, em cada metade do binóculo, eram concordantes com os verificados pelo método inicial. O procedimento utilizado foi medir este valor com o método inicial para cada metade do binóculo e de seguida, realizar o mesmo com o mecanismo de estanquicidade. Concluiu-se que os 16 valores obtidos com o mecanismo, encontraram-se dentro do intervalo de

incerteza para medições sucessivas da mesma metade do corpo, dado que não se consegue manter este valor exatamente igual em cada medição.

Relativamente à redução das partículas de sujidade, os riscos da sua libertação obtidos anteriormente, na amostragem da Figura 4.37 (45% na tampa 1 e 55% na tampa 2) são eliminados completamente com a utilização do mecanismo, pois não se realiza essa roscagem. Contudo, essas partículas de sujidade podem não cair para as lentes, não causando, assim, a reprovação do binóculo. Desta forma, estas percentagens são apenas valores teóricos.

De modo a comprovar experimentalmente os resultados do novo método, foi efetuada uma comparação de resultados de novas amostras de 20 binóculos Ultravid HD-Plus 32 e de 20 binóculos Ultravid HD-Plus 50 testados por este mecanismo e as amostras iniciais de 20 binóculos desses mesmos modelos, realizadas pelo método inicial (ver Figura 4.46 e Figura 4.47).

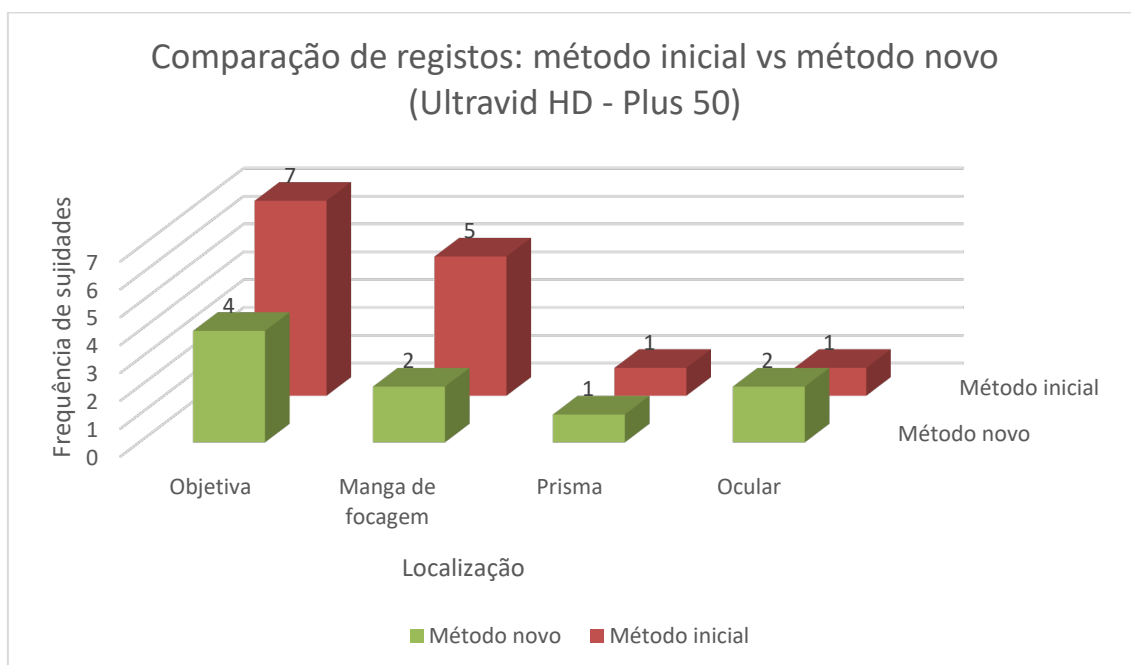


Figura 4.46 - Comparação de registos: método inicial vs método novo (Ultravid HD-Plus 50).

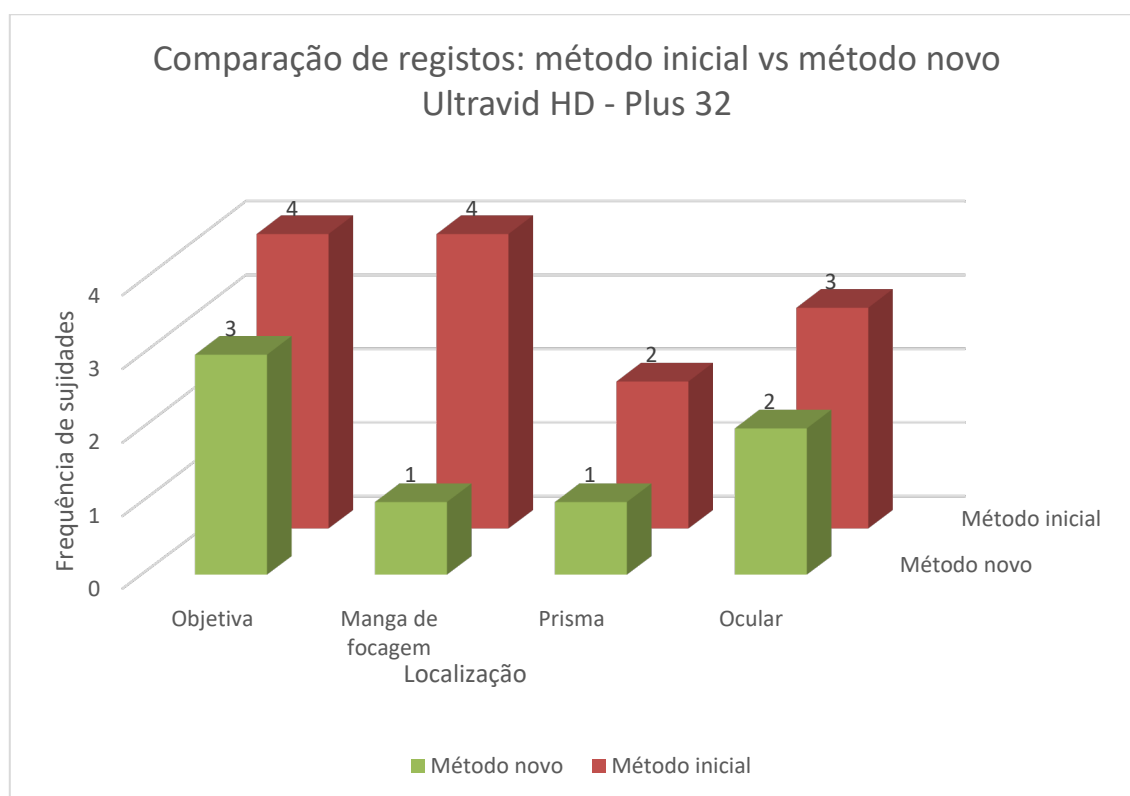


Figura 4.47 - Comparação de registos: método inicial vs método novo (Ultravid HD-Plus 32).

Pela análise dos dados do modelo 50, conseguimos concluir que houve um decréscimo de sujidades na objetiva e na manga de focagem de binóculos e, no modelo 32, houve um decréscimo em todas as localizações. Obteve-se assim, uma redução de 35,7% e 46,2%, respetivamente, da frequência das partículas de sujidade registadas na amostragem do método inicial destes modelos.

Pelos tempos da Tabela 1, apresentada no Capítulo 4.1, no modelo 50, tendo em conta que foi necessário retrabalhar 6 binóculos, após o controlo de qualidade final, o tempo de retrabalho mínimo foi de 36,6 minutos. No modelo 32, tendo em conta que foi necessário retrabalhar 4 binóculos, após o controlo de qualidade final, o tempo de retrabalho mínimo foi de 23,12 minutos. Se fizermos a diferença, relativamente aos valores de retrabalho na amostragem inicial, obtemos uma redução desses tempos de 24,4 e 17,34 minutos no modelo 50 e 32, respetivamente. Se, ainda adicionarmos a estes valores o tempo médio de ajustagem e estanquicidade que é necessário ser repetido, após abertura para limpeza dos binóculos, obtemos uma redução média do tempo total de 62,56 minutos para o modelo 50 e 38,7 minutos para o modelo 32, nas amostragens realizadas.

Com estes dados, podemos concluir que, com o uso do mecanismo, se verificou uma diminuição dos binóculos com necessidade de retrabalho e, consequentemente, uma diminuição total do trabalho que envolve a reabertura dos binóculos, tornando a limpeza menos exaustiva e repetitiva e evitando uma segunda passagem pelos postos de ajustagem binocular e teste de

estanquicidade. Assim, aumentou também a viabilidade de entregar a produção planeada, no final de cada semana. Caso se mantenham estas percentagens nas produções semanais, serão conseguidas reduções de tempos consideráveis, nas linhas de montagem.

Paralelamente, ao se conseguir uma simplificação dos movimentos na realização da testagem de estanquicidade, esta tornou-se mais fácil e rápida de executar, refletindo-se na redução do tempo dispendido. Com o método inicial obteve-se um tempo médio de execução de 2,54 minutos/binóculo, enquanto que com a utilização do mecanismo desenvolvido, obteve-se um tempo de execução de 1,7 minutos/binóculo. Com este novo procedimento conseguiu-se, assim, uma redução de, aproximadamente, 33,1% do tempo de testagem de estanquicidade de cada binóculo.

4.6 Identificação de partículas de sujidade nas oculares

4.6.1 Enquadramento

No posto de trabalho onde se realiza a montagem dos subgrupos óticos dos binóculos, é efetuada a verificação da eventual presença de partículas de sujidade nas suas lentes, logo após a sua montagem. Esta verificação é realizada apontando o subgrupo para um foco de luz e comparando o tamanho das partículas presentes na lente com as tolerâncias definidas para esse subgrupo ótico. No caso do subgrupo ótico das oculares, as tolerâncias para estas partículas de sujidade são bastante rigorosas, pois estas lentes são as mais próximas do olho do utilizador dos binóculos, não podendo, assim, ter partículas visíveis que comprometam a visualização e a qualidade do mesmo.

Na montagem do subgrupo das oculares dos binóculos Ultravid HD-Plus 8x32 e 10x32 verificou-se uma elevada necessidade de proceder à limpeza de partículas de sujidade acima da tolerância definida de 0,1 mm, em ambas as oculares (taxas de retrabalho superiores a 50%). Este procedimento, como implica a desmontagem total da ocular, duplica o tempo médio da sua montagem (3,5 minutos), pelo que, torna excessivo o tempo usado na limpeza deste subgrupo.

Tendo em conta que as partículas de sujidade que surgem nesta etapa são apenas provenientes deste subgrupo, não sendo afetadas por aquelas que resultam de outras montagens ou procedimentos (como ocorre na montagem final do binóculo), considerou-se que a identificação do tipo de material que as constitui poderia ajudar a eliminar/reduzir estas taxas de retrabalho. Para o efeito, realizou-se uma microscopia eletrónica de varrimento (MEV) associada a um espectrómetro de raios X de energia dispersiva (EDS) com o intuito de analisar a composição química dessas partículas de sujidade, assim como de alguns materiais destas oculares que as podem ter originado.

4.6.2 Procedimento

A melhor solução encontrada para proceder à recolha destas partículas de sujidade presentes nas lentes foi a utilização de uns pinos com adesivo, disponibilizados pelo laboratório (Figura 4.48).



Figura 4.48 - Amostras recolhidas.

De seguida, desmontaram-se as oculares e colaram-se diretamente as partículas de sujidade no adesivo deste pino. Dada as reduzidas dimensões das partículas de sujidade, este procedimento revelou-se difícil, afetando a limpeza das lentes. Apesar disso, foi possível recolher, das oculares do binóculo Ultravid HD Plus 10x32 e 8x32, 4 partículas de sujidade nas posições indicadas na Figura 4.49.

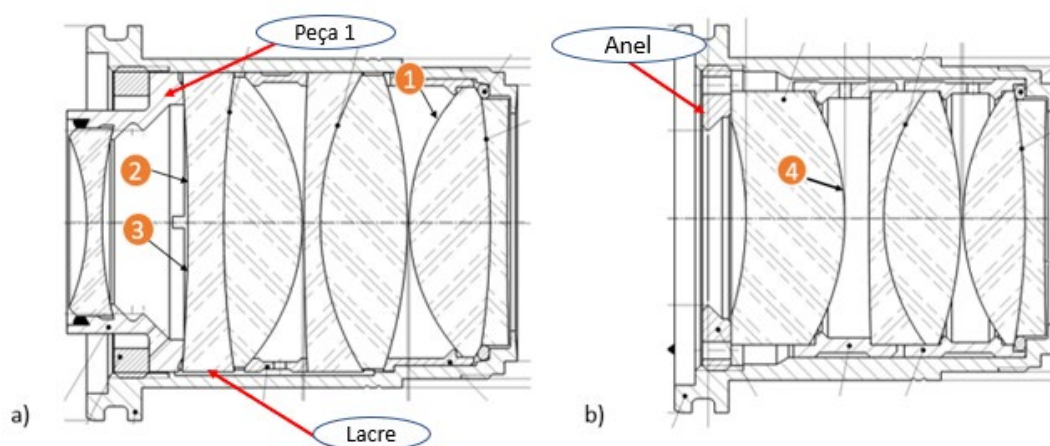


Figura 4.49 - Locais onde foram recolhidas as partículas de sujidade e materiais analisados (a - Ocular 10x32; b - Ocular 8x32).

Adicionalmente, fez-se um levantamento dos possíveis materiais presentes nas partículas de sujidade, que tanto poderiam ser provenientes de peças metálicas constituintes da ocular (AlMg5), dos vidros óticos, do lacre aplicado em torno do diâmetro de algumas lentes, como também, das substâncias usadas para melhorar o movimento de roscagem (*Barrierta L 25 DL*).

Paralelamente, também se procedeu à análise de alguns destes materiais, indicados na Figura 4.49, para posterior comparação dos espectros EDS obtidos.

No Anexo C, apresentam-se as imagens recolhidas no MEV e os espectros EDS das 4 partículas de sujidade recolhidas e dos materiais mencionados. Os locais identificados com a letra Z, nas imagens recolhidas das partículas de sujidade, foram os analisados para a obtenção do espectro EDS. Para uma comparação mais fidedigna apenas se consideraram os locais indicados com Z1, uma vez que estes estão localizados na matriz das partículas de sujidade em análise.

4.6.3 Análise de resultados

Decorrente da análise dos vários espectros EDS das partículas 1, 2 e 3 (Anexo C), conclui-se que os picos observados revelam a presença de elementos químicos semelhantes aos que se observam, também, no espectro do lacre presente na lente, nomeadamente carbono e oxigénio.

Da análise do espectro EDS da partícula 4, conclui-se que os picos observados revelam a presença de carbono, oxigénio e alumínio, elementos que apareceram, também, nos materiais metálicos analisados.

Tendo em conta estes resultados, procurou-se verificar se este desprendimento de partículas de sujidade do lacre, poderia estar relacionada com a sua colocação nas oculares (Figura 4.50). Verificou-se que as lentes que continham este lacre entravam por ajuste rotativo no casquilho, o que pode causar uma possível libertação de partículas se o movimento de montagem não for feito de forma cuidadosa ou se alguma cota não se encontrar dentro da tolerância.

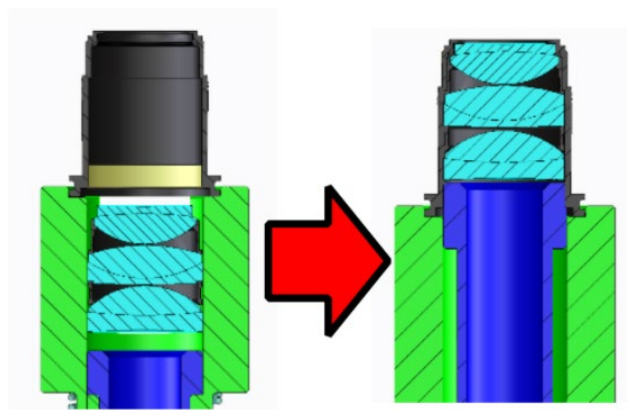


Figura 4.50 - Montagem das lentes da ocular no casquilho.

Uma vez que os resultados foram obtidos numa fase tardia do presente estudo, apenas foi possível confirmar a tolerância da cota interna do casquilho, onde ficavam posicionadas as lentes com lacre (Figura 4.51). Numa amostra de 16 casquilhos, 5 não se encontravam dentro da tolerância indicada, resultado que não explica totalmente as taxas de retrabalho deste subgrupo.

Contudo, a lacagem das lentes ao ser efetuada manualmente na secção Ótica da empresa, pode existir uma deposição não uniforme desta substância, propiciando a sua libertação.



Figura 4.51 - Calibre para verificação da tolerância da cota interna do casquilho.

Face ao exposto, no futuro, com o intuito de reduzir a taxa de retrabalho, considera-se importante um acompanhamento dos trabalhos de lacagem na secção Ótica, para verificar se há algum potencial de melhoria neste processo e, em paralelo, uma verificação mais rigorosa das tolerâncias dos casquilhos e lentes destas oculares.

4.7 Sumário

Tendo-se constatado serem múltiplas as variáveis envolvidas no aparecimento de partículas de sujidade, todo o trabalho desenvolvido neste capítulo, ainda que multidirecionado, foi centrado no problema identificado, de rejeição do produto final, devido ao aparecimento de partículas de sujidade nos seus componentes óticos.

Com base na testagem das várias soluções acima elencadas, nas amostras consideradas, cujos resultados positivos foram já analisados individualmente nos vários subcapítulos, pode concluir-se que a implementação destas soluções, na linha de montagem, tem potencial para otimizar o processo de montagem dos binóculos.

Ainda que os resultados obtidos sejam referentes a testagens das várias soluções, efetuadas num curto intervalo de tempo (5 semanas) de forma não combinada, pode concluir-se que os seus efeitos na percentagem de rejeição final do produto, recolhida nos dados fornecidos pelo CQ, ainda que pouco significativa, como o esperado num estudo de curta duração como este, foi positiva. Para concretizar, no período anterior à testagem das soluções para a redução de

partículas, a taxa de rejeição do produto analisado, binóculos Ultravid HD-Plus, foi de 17,5% , designadamente da semana 20 à semana 24 do ano 2021, depois da realização das testagens, durante as 5 semanas seguintes, obteve-se uma percentagem de rejeição final do produto analisado, de 15,7%.

5 Outras soluções desenvolvidas

5.1 Introdução

No presente capítulo, apresentam-se outro tipo de soluções implementadas nas linhas de montagem dos binóculos de observação, que resultaram do acompanhamento/observação de cada posto de trabalho, como também de sugestões e solicitações apresentadas por diferentes membros da equipa.

Apesar do foco ter sido a testagem de soluções com vista à redução das partículas de sujidade, ao longo do processo de observação e aprendizagem em contexto de trabalho, constatou-se que poderiam ser otimizados outros procedimentos que também contribuiriam para a otimização de todo o processo de montagem, nomeadamente a resolução de um problema na ajustagem binocular, a aplicação da metodologia de gestão 5S, que envolveu a realização de vários procedimentos, dentre os quais a aprendizagem e utilização de uma máquina de gravação a laser, assim como o desenvolvimento de uma base de fixação para desaperto de objetivas.

5.2 Correção de falha na ajustagem binocular

5.2.1 Enquadramento

Na família de binóculos Trinovid, apresentada na Figura 5.1, numa produção semanal de binóculos do modelo Trinovid 10x40, 5 deles não estavam dentro dos parâmetros de tolerância definidos para a ajustagem binocular (apresentados no Capítulo 3.4.4).



Figura 5.1 - Família de binóculos Trinovid.

Dada a necessidade do cumprimento da entrega do produto final nessa semana, foi necessária a detecção do problema e a implementação de soluções. Inicialmente, fez-se um diagrama de causa-efeito para identificar os possíveis fatores responsáveis pelas falhas na ajustagem binocular (Figura 5.2).

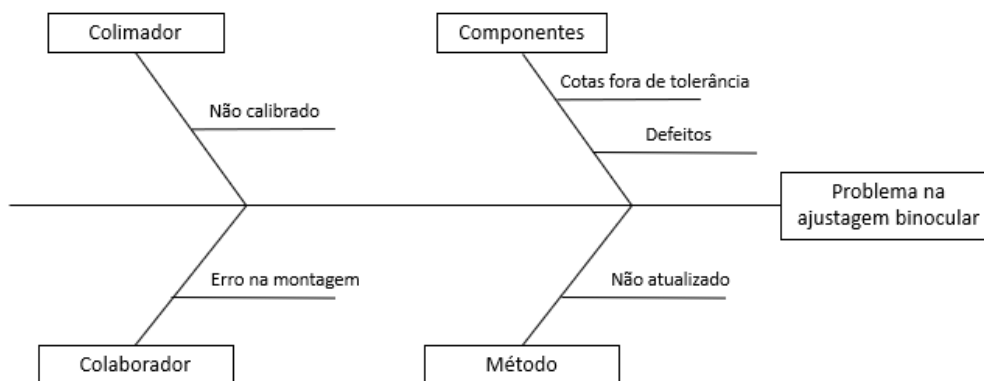


Figura 5.2 - Diagrama causa-efeito para análise do problema na ajustagem binocular.

5.2.2 Procedimento

Consideradas várias hipóteses, até identificar a causa da falha na ajustagem binocular, foi no imediato descartada a eventual falha na calibração do instrumento de medição, uma vez que na empresa existe um departamento responsável pela calibração de todos os instrumentos de medição.

Em seguida, verificou-se se a montagem final dos binóculos reprovados tinha sido adequadamente efetuada, pois uma incorreta colocação dum componente ótico ou falha na roscagem dos componentes mecânicos poderia causar desníveis, afetando a colimação dos eixos óticos.

No acompanhamento do processo, constatou-se que não existiram erros na montagem destes binóculos e que as instruções de trabalho estavam atualizadas, restando apenas a hipótese do problema estar localizado nos componentes óticos do binóculo, nomeadamente na existência de um desalinhamento naqueles componentes. Nessa sequência, procedeu-se à substituição

sucessiva das objetivas, mangas de focagem e sistemas de prismas. Depois de terem sido alterados os sistemas de prismas, apenas 1 binóculo dos 5 reprovados anteriormente, passou na ajustagem binocular.

Simultaneamente a estas alterações, verificou-se, num autocolimador (Figura 5.3), se o eixo ótico de 4 sistemas de prismas, que foram retirados dos binóculos reprovados, estava dentro das tolerâncias definidas. Nesta medição, utilizou-se um espelho retificado (faces paralelas), para refletir os raios paralelos e rigorosamente verticais emitidos por este aparelho. Antes desta verificação, confirmou-se a correta calibração do próprio autocolimador, através da visualização da cruz centrada no zero da escala, presente no ecrã do aparelho.

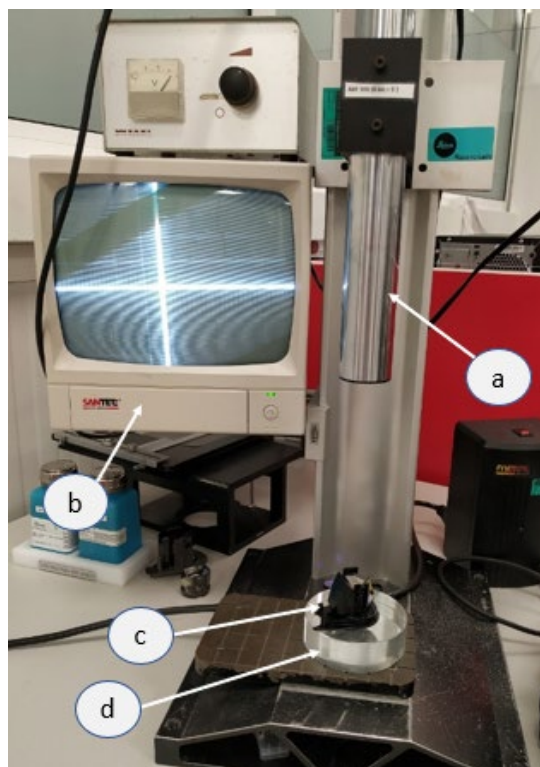


Figura 5.3 - Verificação do desvio angular do eixo ótico do sistema de prismas no autocolimador (a – Autocolimador; b – Ecrã de visualização do eixo ótico; c – Sistema de prismas; d – Espelho retificado).

Os 4 sistemas de prismas estavam todos próximos do zero da escala, ou seja, dentro da tolerância definida para estes componentes, que tem um erro máximo de colimação admissível de 10 intervalos, na escala apresentada no ecrã do colimador, correspondente a 6,25' (6,25 minutos de arco).

Apesar deste componente estar bem colimado, estudou-se a possibilidade de, quando montado no corpo do binóculo, poder ficar com uma inclinação resultante deste apoio. Neste procedimento, utilizaram-se dois espelhos retificados (imagens “2” e “3” da Figura 5.4) para simular o paralelismo conferido pela colocação da ocular no corpo e, assim, verificar o eixo ótico

deste conjunto (imagem “4”). Os resultados demonstraram que poderia haver uma inclinação excessiva neste apoio, pois a cruz deste conjunto encontrava-se entre os 8 e 10 intervalos, ou seja, muito perto do limites.



Figura 5.4 - Procedimento para verificação do eixo ótico do sistema de prismas montado no corpo do binóculo.

Procedeu-se então à medição do corpo, nomeadamente a altura das zonas onde as cadeiras dos prismas ficam apoiadas/fixadas, realizada com um comparador analógico (Figura 5.5).



Figura 5.5 - Zonas onde vai ficar apoiado/fixado o sistema de prismas.

Para verificar se estas cotas se encontravam nas tolerâncias corretas, procurou-se no desenho técnico do corpo (Figura 5.6) as relações existentes entre estas 4 zonas a medir. Pela análise deste desenho, pode concluir-se que é pedida uma tolerância de paralelismo de 0,02 mm, o que significa que a superfície indicada (superfície onde está alojada a ocular) deve estar

compreendida entre dois planos paralelos, distantes entre si 0,02 mm, e estes, paralelos ao plano de referência A (zonas onde fica apoiado o sistema de prismas).

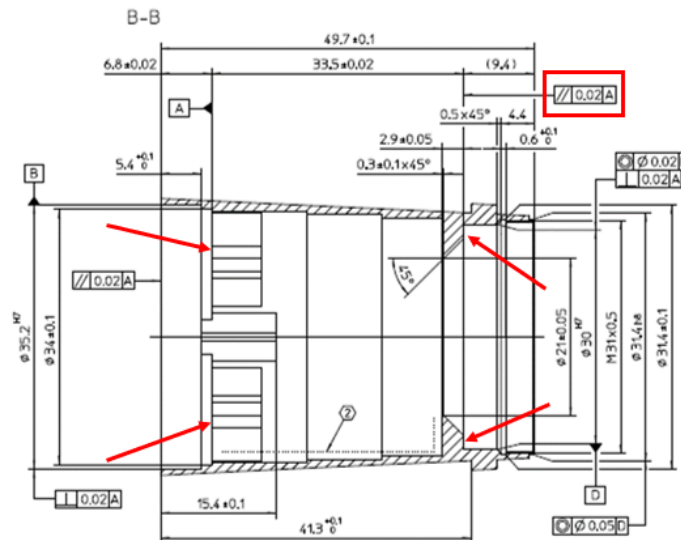


Figura 5.6 - Pormenor do desenho técnico do corpo do binóculo.

Nessa sequência, utilizaram-se novamente os espelhos retificados para simular o correto posicionamento do corpo com as oculares (Figura 5.7). De seguida, zerou-se o comparador numa das zonas e procedeu-se à medição das restantes, para verificar se os seus planos tinham variações dentro da tolerância definida, de 0,02 mm.

Os resultados obtidos revelaram que, nos corpos rejeitados, estas cotas não se encontravam dentro da tolerância, registrando-se valores entre, aproximadamente, 0,03 e 0,04 mm.



Figura 5.7 - Procedimento para medição de cotas dos corpos dos binóculos.

Face a estes resultados, identificaram-se corpos que tinham esta tolerância correta e efetuou-se a montagem final dos binóculos com estes. Os 4 binóculos reprovados inicialmente passaram no teste da ajustagem binocular, permitindo cumprir a entrega semanal.

Tendo em conta que a ajustagem de binóculos com menores ampliações é mais fácil, envolvendo um menor rigor nas tolerâncias, para um correto alinhamento do eixo ótico, estes corpos, que estavam fora dos limites de tolerância, foram destinados à montagem de binóculos deste modelo, com a menor ampliação (7x). Apesar disso, ficou claro que, caso se verifique um maior número de corpos fora da tolerância, em futuras montagens, esta cota deve ser retificada, de forma a evitar desperdícios de tempo na identificação de problemas na ajustagem binocular deste modelo.

Apesar de encontrada uma solução, utilizou-se o instrumento de medição usado na empresa para verificar a tolerância de excentricidade dos casquilhos destes modelos de binóculos, como forma de aprendizagem. Para esse efeito, usou-se um comparador de alavanca, que é um instrumento utilizado na realização de medições diferenciais, pequenos deslocamentos e verificação de características geométricas. Na sua constituição destaca-se um apalpador na extremidade de uma haste móvel e um sistema de amplificação mecânica que converte o movimento de translação do apalpador num movimento rotativo de um ponteiro, num mostrador circular (tal como acontece com comparador analógico apresentado anteriormente). Esta verificação foi feita, mediante o posicionamento da face cilíndrica exterior do casquilho no suporte apresentado na Figura 5.8, seguida da colocação do apalpador na face cilíndrica interior do casquilho, mais concretamente na zona com a menor espessura.

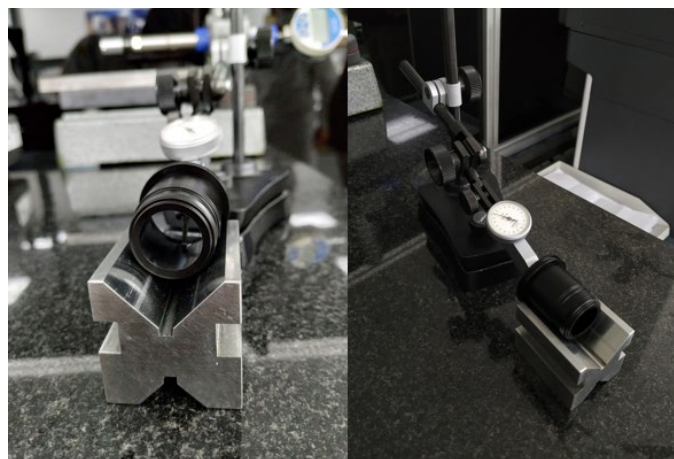


Figura 5.8 - Verificação da excentricidade de um casquilho da ocular, com comparador de alavanca.

Rodou-se o casquilho, o apalpador percorreu toda a sua circunferência interna, observando-se, no amostrador, o valor da excentricidade existente. Nos casquilhos verificados, a cota de $0,09 \pm 0,01$ mm atribuída a esta excentricidade estava correta.

5.3 Aplicação da metodologia 5S

5.3.1 Enquadramento

Entendeu-se ser essencial a aplicação da metodologia de gestão 5S, apresentada no Capítulo 2.7, com o propósito de manter um nível de organização e limpeza promotor de um ambiente de trabalho harmonioso que, concomitantemente, contribua para a criação de uma atmosfera mais limpa e livre de partículas de sujidade. Partindo da integração de um conjunto de normas e de princípios (*Seiri* (Selecionar), *Seiton* (Organizar), *Seison* (Limpar), *Seiketsu* (Normalizar), *Shitsuke* (Disciplinar)), procurou-se implementar algumas alterações, cujo fim último seria o de combater eventuais perdas e desperdícios e a adoção de um padrão de maior qualidade na produção, mediante a mudança e consolidação de hábitos de organização e limpeza.

5.3.2 Procedimento

- Implementação 1º S: Selecionar (*Seiri*)

Na 1º fase da implementação da metodologia 5S, foi realizada a seleção e eliminação de materiais desnecessários para a produção. Assim, nos postos de trabalho foram removidos, na totalidade, os materiais desnecessários e inutilizados, como por exemplo, chaves de aperto de objetivas de modelos descontinuados, ferramentas de fixação das oculares com defeitos, ferramentas repetidas, etc, como se pode observar na Figura 5.9.



Figura 5.9 - Seleção e remoção de materiais desnecessários para os postos de trabalho.

- Implementação 2º S: Organizar (*Seiton*)

Os materiais do posto de trabalho da família Ultravid HD-Plus foram organizados num armário com gavetas mais pequenas, mais funcionais e devidamente identificadas, com tamanhos adequados a cada tipo de material, conforme demonstrado nas Figura 5.10. Este armário permitiu

diminuir a área de armazenamento do posto de trabalho e melhorar a organização dos componentes, libertando espaço.



Figura 5.10 - Substituição de caixas de armazenamento com dimensões inadequadas, por armário compacto, fechado e mais organizado.

Com o objetivo de organizar os frascos dos produtos de limpeza usados, em cada posto de trabalho, reaproveitaram-se caixas e esponjas existentes em armazém e criou-se uma base para estes, conforme a

Figura 5.11. Com esta alteração, assegura-se a fixação dos frascos para melhor aplicação dos produtos, evitando-se, também, a sua dispersão na mesa de trabalho e facilitando o seu transporte, até ao local onde são repostos os líquidos de lavagem. Na mesma base, também se fizeram orifícios para inserir as espátulas.

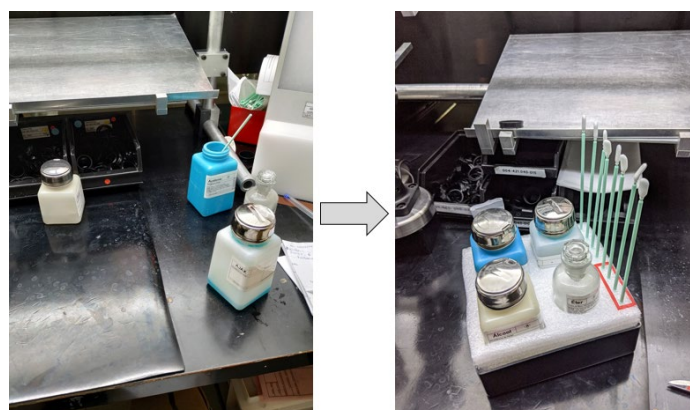


Figura 5.11 - Suporte para frascos de limpeza.

- Implementação 3º S: Limpar (*Seiso*)

Procurando melhorar a limpeza e higienização dos equipamentos e local de trabalho, configuraram-se os armários com gavetas apresentados anteriormente, de modo a que não se

encontrem caixas abertas, propensas à acumulação de sujidades, conforme a Figura 5.10, criando condições para uma maior otimização da limpeza dos materiais.

- Implementação 4º S: Normalizar (*Seiketsu*)

Procurou-se implementar os procedimentos de organização/seriação, legendagem, armazenamento e limpeza acima referidos, para que os colaboradores, percebendo que a sua utilização otimizaria o seu trabalho, os incluíssem na sua rotina, de forma a que sejam padronizados e replicados em todos os postos de trabalho.

- Implementação 5º S: Disciplinar (*Shitsuke*)

Para que esta fase seja implementada e cumprida é fundamental submeter os colaboradores a formação específica sobre esta metodologia, que lhes permita uma maior interiorização dos benefícios individuais e coletivos da sua utilização/operacionalização. Pese embora a natural resistência individual a mudança de hábitos, uma sensibilização continua potenciará uma maior determinação na utilização de rotinas mais funcionais. Não tendo sido possível levar a cabo a formação aos colaboradores, propôs-se essa possibilidade, num futuro próximo, para que, posteriormente, visando a consolidação dos novos hábitos pretendidos, possa haver lugar à realização de auditorias periódicas.

Apesar de não se relacionar diretamente com a metodologia “5S”, mas também com o objetivo de otimizar a qualidade do produto/serviço, foram atualizadas as instruções de trabalho (IT) nos vários postos de trabalho, das linhas de montagem de todos os binóculos de observação. Estas instruções têm como principal objetivo fornecer as diretrizes de trabalho necessárias a cada posto, de forma a que o respetivo colaborador as possa consultar em caso de dúvida. Esse documento constitui assim uma memória descritiva, que se revelará particularmente útil a novos colaboradores que iniciam as funções, inibindo a necessidade de recorrerem ao apoio constante dos colaboradores responsáveis por esse posto. Neste sentido, é essencial que estas IT sejam sempre atualizadas, em função das alterações/otimizações que vão ocorrendo, normalizando os procedimentos que são executados. Estas atualizações consistiram na retificação e inserção de novas instruções associadas a ferramentas, passagem de alguns componentes de 2D para 3D, permitindo aos colaboradores uma melhor identificação e compreensão do que se pretende.

As instruções de trabalho desta linha encontravam-se guardadas numa pasta comum na empresa e, após efetuada a sua atualização, foram transferidas para documentos com um *layout* pré-definido numa nova plataforma, o PTC Windchill, software que garante os recursos necessários para o desenvolvimento do produto, permitindo a existência de documentos sempre

atualizados e revistos por colaboradores responsáveis, assegurando uma maior qualidade e organização de projetos em desenvolvimento.

5.4 Corte de esponjas com máquina de gravação a laser

5.4.1 Enquadramento

As reentrâncias nas bases criadas para o encaixe dos frascos de limpeza e espátulas, apresentadas no Capítulo 5.2, assim como uma base criada para melhor armazenamento do modelo de monóculo Monovid (Figura 5.12), foram realizados com a máquina de gravação a laser, a Speedy 300 da Trotec.

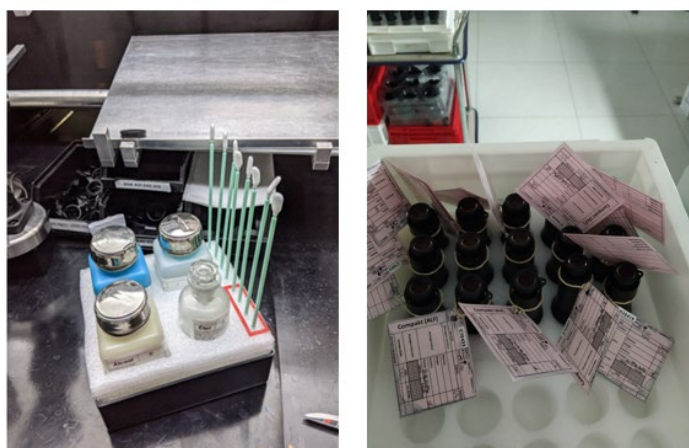


Figura 5.12 - Bases de esponja criadas com a máquina de gravação a laser.

Esta máquina permitiu obter uma melhor precisão e rapidez de corte, quando comparado com o corte manual. A aprendizagem decorrente da utilização desta máquina revelou-se importante para futuras utilizações noutros componentes dos binóculos, nomeadamente materiais de revestimento.

A tecnologia Flexx™ utilizada integra duas fontes de laser, CO₂ e fibra, permitindo que uma variedade de materiais diferentes sejam processados numa única operação. O laser CO₂, sendo o mais indicado para a gravação e corte de polímeros, madeira, couro e diversos outros materiais, foi o escolhido para o corte das bases. Já o laser de fibra é indicado para a marcação de metais e plásticos [47].

5.4.2 Procedimento

Inicialmente desenhou-se no *software* CorelDRAW os cortes que se pretendiam efetuar na máquina e enviou-se este layout para o *software* da máquina laser, o JobControl®. Neste

software, posicionou-se este *layout* exatamente onde a esponja a ser cortada se encontra na mesa da máquina, e utilizou-se o foco automático existente na mesma, para calcular a posição correta, com o intuito de cortar precisamente no ponto focal e gerar melhores resultados de corte. Definiram-se, por tentativa e erro, os parâmetros de processamento que melhor se adequavam a esta esponja, nomeadamente: gravação ou corte, espessura do material, velocidade, nível de potência e número de passagens. Após encontrada a solução que permitia otimizar o processo, gravaram-se estes parâmetros no *software*, para posteriores utilizações. Alguns dos cortes efetuados estão apresentados na Figura 5.13.

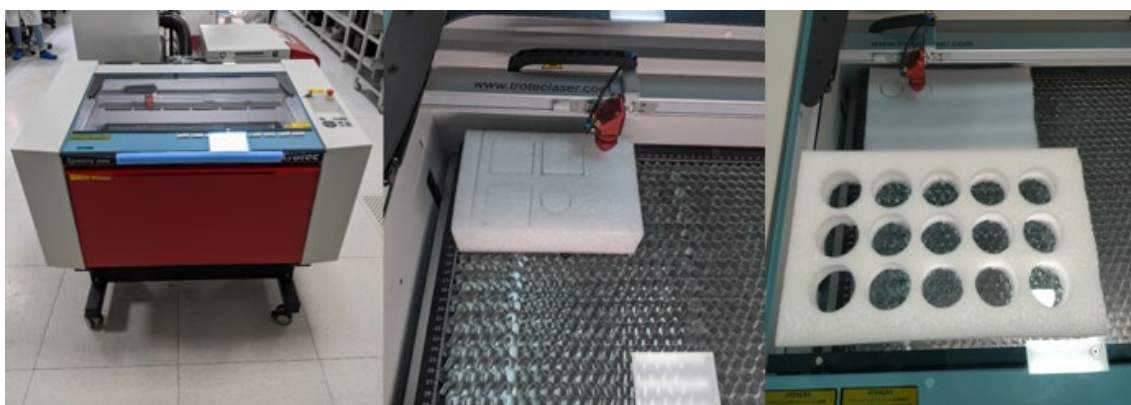


Figura 5.13 - Utilização da máquina de gravação a laser Speedy 300 da Trotec.

5.5 Desenvolvimento de base de fixação para desaperto de objetivas

5.5.1 Enquadramento

No modelo de binóculos Ultravid HD-Plus 50, sempre que há necessidade de limpeza das lentes dos binóculos, após deteção de sujidades no posto do Controlo de Qualidade, é necessário proceder à desmontagem da objetiva para se ter acesso ao interior do mesmo. Como estas objetivas se encontram bem roscadas, para garantir uma correta vedação e um correto ajuste binocular, os colaboradores responsáveis por realizar a limpeza das partículas observadas têm dificuldades a proceder a esta desmontagem. Este problema acontece mais recorrentemente nestes binóculos, dada as maiores dimensões deste modelo e a reduzida distância entre os casquilhos das objetivas (Figura 5.14).



Figura 5.14 - Ferramenta de aperto/desaperto das objetivas.

Como a dificuldade desta tarefa se encontra na correta fixação do corpo com uma mão, enquanto a outra realiza o desaperto, criou-se uma peça para fixar este binóculo na posição mais adequada, facilitando o processo. O desenho de conjunto e 2D destes componentes realizado no *software* PTC Creo, pode ser consultado no Anexo D.

5.5.2 Procedimento

Na modelação desta base de fixação procurou-se evitar toques no botão de focagem e na zona de união dos corpos, pois sendo zonas que ficam expostas após a colocação dos revestimentos finais, não podem apresentar danos ou riscos. Dada a dimensão do binóculo, uma vez que se verificou que era necessário grande quantidade de material para construir a sua base de fixação, reaproveitou-se uma base para aperto da articulação de um binóculo, que se encontra descontinuado (Figura 5.15). Uma vez que os orifícios pré-existent não se adequavam aos binóculos que se pretendiam encaixar, foi alterada a peça, em função da nova aplicação. Para uma correta fixação de todo o binóculo com a abertura adequada para se proceder ao aperto e desaperto das objetivas, modelou-se a peça “03”. A peça “01” foi modelada para ser colada na mesa de trabalho e impedir o movimento das bases aquando do desaperto.

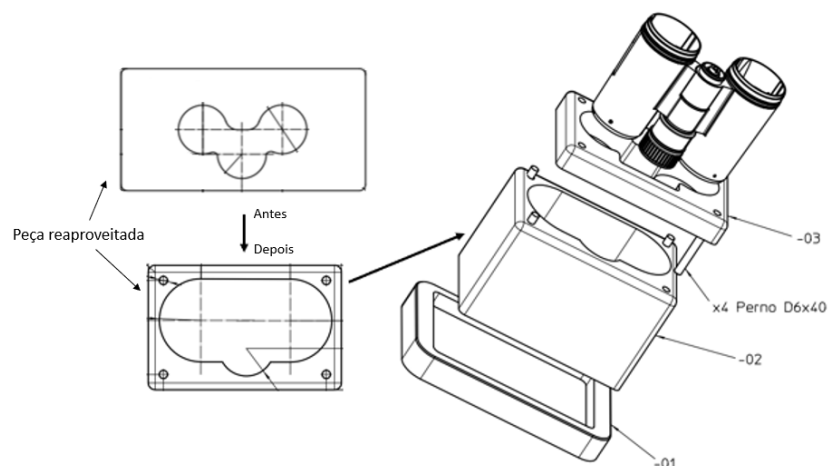


Figura 5.15 - Solução criada de fixação do binóculo, para o aperto/desaperto das objetivas.

Dada a impossibilidade de obter estas peças em tempo útil, não foi possível operacionalizar o procedimento na linha de montagem, por forma a ser avaliada a sua real eficácia. Apesar disso, estima-se que otimizará este processo na linha de montagem deste modelo, evitando acrescidamente possíveis lesões.

5.6 Sumário

As soluções apresentadas neste capítulo potenciaram aprendizagens que permitiram apurar a identificação de falhas na linha de montagem, assim como a resolução e aperfeiçoamento de procedimentos na execução das tarefas inerentes àquelas linhas. Os resultados obtidos, no geral, foram positivos, à exceção dos decorrentes do desenvolvimento da base de fixação dos binóculos, que não foi recebida em tempo útil para poder ser testada.

A aplicação e reforço da metodologia 5S, sendo uma ferramenta de gestão, distinta das demais categorias de otimização, envolve uma participação ativa de todos os colaboradores na criação de um ambiente mais organizado e limpo. As soluções implementadas nesse sentido, foram bem acolhidas pelos colaboradores, conferindo-lhes um sentimento geral de maior bem-estar e organização, acreditando que a sua implementação consolidada, vai concorrer, em combinação com todas as outras soluções, para diminuir as taxas de rejeição final do produto, no que respeita à redução das partículas de sujidade.

6 Conclusões e trabalhos futuros

O estágio na equipa de Engenharia de um grande empresa, como a Leica, constituiu um desafio muito gratificante ao nível pessoal e da aprendizagem, num contexto de trabalho muito diversificado e enriquecedor. Apesar dos constrangimentos inerentes à atual situação pandémica terem condicionado alguns aspetos da experiência vivenciada, designadamente a oportunidade de uma interação e comunicação mais espontânea e alargada, é de ressaltar o apoio imprescindível prestado, sem exceção, por todos os colaboradores. Na verdade, a filosofia e dinâmica empresarial percebida contribuíram para uma permanente sensação de bem-estar, integração e segurança, proporcionando oportunidades de aprendizagem e experimentação, nas várias etapas do processo produtivo.

Porque é impossível que a montagem dos binóculos ocorra num ambiente totalmente isento de partículas de sujidade e que a acumulação das mesmas, nalguns dos seus componentes, seja inevitável, o trabalho desenvolvido no sentido da otimização de procedimentos revelou-se desafiador e proporcionou um excelente contexto de aprendizagem.

Apesar do tema apresentado e estudado ter margem de aprofundamento e aperfeiçoamento, foram atingidos os objetivos traçados, de estudo e análise de alguns dos problemas que potenciam o aparecimento de partículas de sujidade e a testagem de soluções que, uma vez implementadas, as possam reduzir, otimizando o processo, diminuindo a taxa de rejeição final do produto e a necessidade de realização de retrabalhos. Os resultados obtidos de cada uma das soluções desenvolvidas revelaram-se positivos e configuram potencial de uma efetiva otimização do processo de montagem dos binóculos e de diminuição da necessidade de realizar retrabalhos, se implementadas de forma continuada e combinada e durante um maior intervalo de tempo. Ainda assim, tendo em conta o curto intervalo de tempo e a implementação descontinuada e não combinada, no período anterior às testagens a taxa de rejeição final foi de 17,5% e após o início da realização das testagens, obteve-se uma percentagem de rejeição final do produto analisado, de 15,7%.

Neste contexto, o presente trabalho de dissertação constituiu, também, uma mais-valia para a empresa que acolheu as reflexões, análises académicas e testagens as quais, num futuro

próximo, poderão contribuir para tornar mais eficiente o processo produtivo na linha de montagem estudada.

Como perspectiva de trabalho futuro ressalta-se a necessidade de se continuar a investir neste tema, designadamente numa intervenção multifatorial e abrangente, que carece de um dispêndio de tempo mais alargado de observação, estudo e experimentação/testagem. Seria também importante realizar uma nova proposta de layout para a secção dos binóculos de observação que permitisse reduzir os desperdícios de tempo no transporte dos binóculos entre os vários postos de trabalho.

Referências

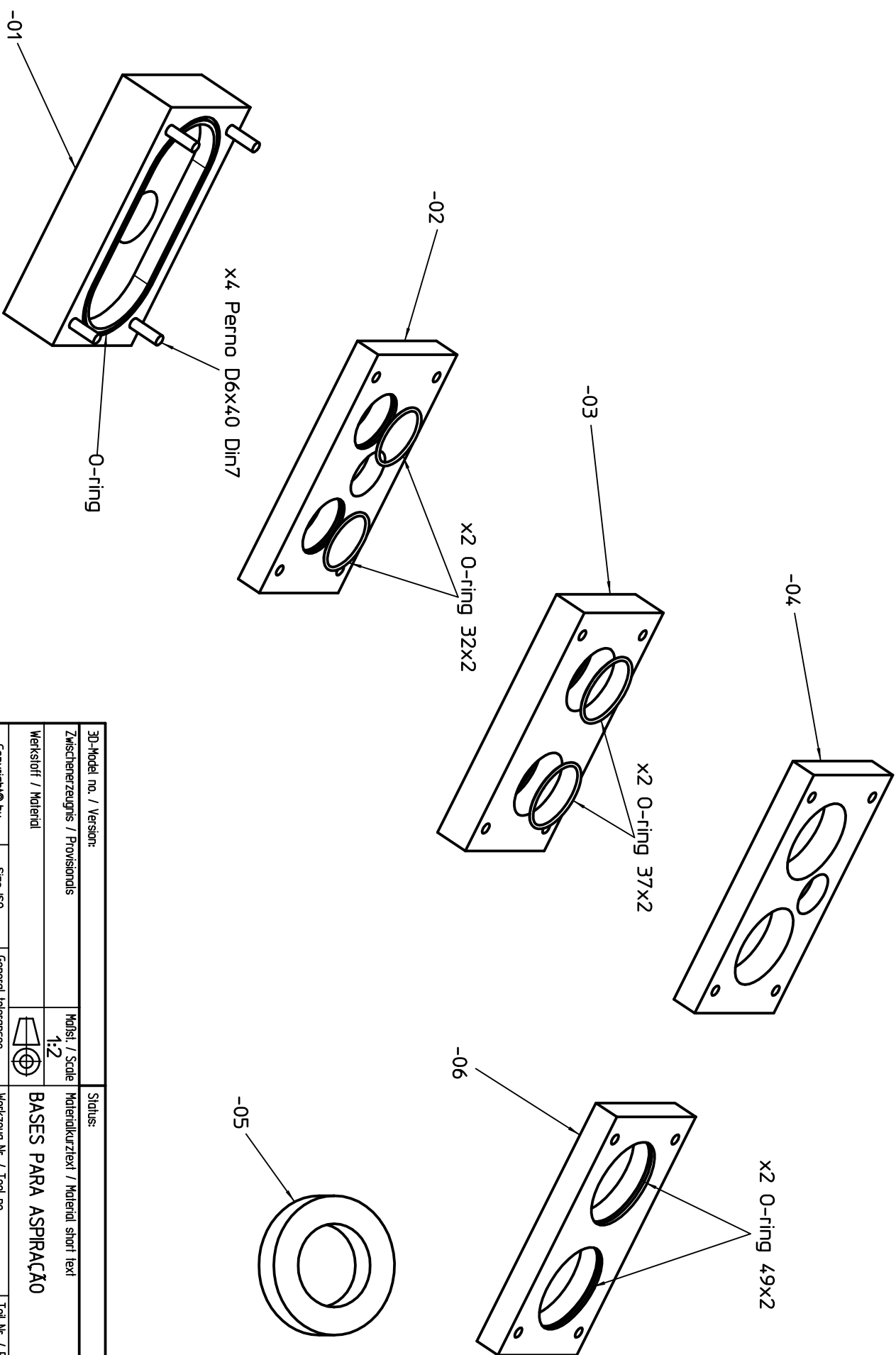
- [1] Manual do Sistema de Gestão, Leica S.A., 2020.
- [2] Koshel, R. John, J. E. Greivenkamp e G. G. Gregory, The history of telescopes and binoculars: an engineering perspective, 2011.
- [3] Nikon, “Sport Optics: Types of Binoculars,” [Online]. Available: https://imaging.nikon.com/lineup/sportoptics/how_to/guide/binoculars/basic/basic_02.htm. [Acedido em 24 Junho 2021].
- [4] P. R. Yoder e D. Vukobratovich, Field Guide to Binoculars and Scopes, vol. FG19, Washington: SPIE, 2011.
- [5] G. Almeida, Telescópios, Plátano Editora, 2004.
- [6] J. Whitehead, “Best Binoculars & Binocular Reviews Website,” [Online]. Available: <https://www.bestbinocularreviews.com/EagleOpticsDenali8x42BinocularsReview-182.htm>. [Acedido em 13 Julho 2021].
- [7] E. Sousa, Princípios básicos da óptica e instrumentos ópticos (Binóculos), Famalicão, 2001.
- [8] C. Reel, “Optics for Birding – The Basics,” [Online]. Available: https://wsobirds.org/images/pdfs/FS_optics.pdf. [Acedido em 15 Abril 2021].
- [9] Nikon, “Sport Optics Nikon,” 2013. [Online]. Available: <https://bit.ly/2DTfbGl>. [Acedido em 28 04 2021].
- [10] R. E. Fischer e B. Tadic-Galeb, Optical System Design, New York, USA, 2000.
- [11] G. d. Almeida, “Binóculos e observações astronómicas,” *Gazeta de Física*, vol. 19, 1996.
- [12] L. Benez, “O Binóculo, esse desconhecido,” INAPE, 2010.
- [13] C. Witt, “The B&H Binocular Buying Guide,” 19 Setembro 2020. [Online]. Available: <https://www.bhphotovideo.com/explora/outdoors/buying-guide/binocular>. [Acedido em 2 Abril 2021].

- [14] M. M. Pereira, “Hipermetropia e Miopia,” [Online]. Available: <https://www.saudebemestar.pt/pt/clinica/ofthalmologia/hipermetropia/>. [Acedido em 20 Agosto 2021].
- [15] LEICA, “LEICA Camera,” [Online]. Available: <https://en.leica-camera.com/SPORT-OPTICS/Experience-Nature/Binoculars/Leica-Ultravid-HD-Plus>. [Acedido em 12 Julho 2021].
- [16] M. Pereira, “Óptica Geométrica Ocular,” Departamento de Física da Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2008.
- [17] IUMEN, “Physics: Telescopes,” [Online]. Available: <https://courses.lumenlearning.com/physics/chapter/26-5-telescopes/>. [Acedido em 20 Agosto 2021].
- [18] E. Hecht, Optics, 5^o ed., Adelphi University: Pearson.
- [19] Celestron, “Roof prism and porro prism binoculars,” [Online]. Available: <https://www.celestron.com/blogs/knowledgebase/what-is-the-difference-between-roof-prism-and-porro-prism-binoculars>. [Acedido em 25 Julho 2021].
- [20] S. Tonkin, Binocular Astronomy, Springer, 2007.
- [21] J. J. G. Savard, “The Five Seidel Aberrations,” 2001. [Online].
- [22] N. Dias, “Óptica Oftálmica: Lentes,” [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/neydiasopticaoftalmica/lentes>. [Acedido em 30 Agosto 2021].
- [23] Edmund Optics, “Comparison of Optical Aberrations”.
- [24] M. Witt e L. Lyells, Repairing & Adjusting Binoculars, Alii Service Notes, 1996.
- [25] Leica - Aparelhos Ópticos de Precisão, S. A., “Áreas de produção,” [Online]. Available: <https://www.leica.pt/#>.
- [26] R. W. Sinnott, “Why do the best roof-prism binoculars need a phase-correction coating?,” [Online]. Available: <https://skyandtelescope.org/astronomy-resources/astronomy-questions-answers/why-do-the-best-roof-prism-binoculars-need-a-phase-correction-coating/>. [Acedido em 3 Setembro 2021].
- [27] Cym Materials S.A., “General Introduction to Shot Blasting,” [Online]. Available: <http://metalcym.com.br/intranet/Shot-Blasting-Introduction-to-Shot-Blasting-cym.pdf>. [Acedido em 25 Abril 2021].
- [28] D. Kniewald, J. Brezinová e A. Guzanová, “The study of material changes in shot blasting process,” vol. 6, pp. 37-42, 2004.
- [29] P. G. Sheasby e R. Pinner, The surface treatment and finishing of aluminum and its alloys, 6^a ed., vol. 1, ASM International, 2001.

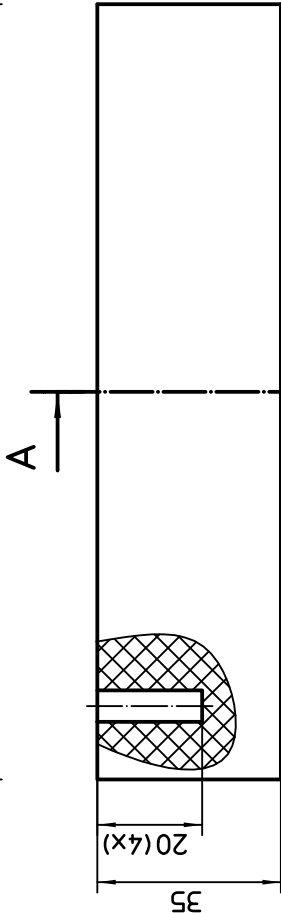
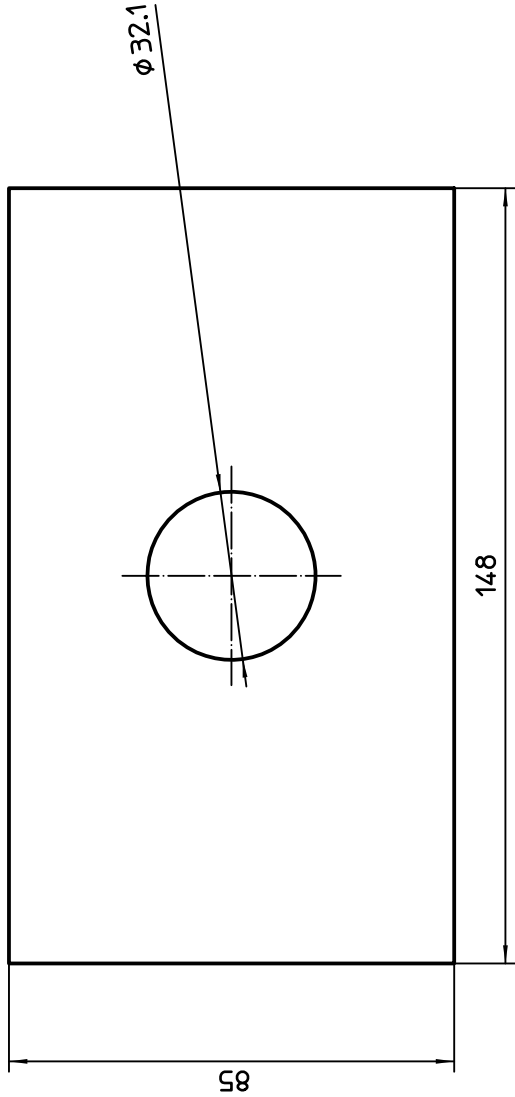
- [30] A. A. Meneghesso, “Noções Básicas sobre Processo de Anodização do Alumínio e suas Ligas - Parte 2,” pp. 30-32, Janeiro 2007.
- [31] J. F. T. Júnior, “Anodização para obtenção de membranas cerâmicas,” 2007.
- [32] L. Martins, “Anodização e coloração de peças de alumínio,” FEUP/DEEC.
- [33] “Processo de Deposição de Tintas Catódicas por Eletroforese e Suas Correlações com a Qualidade e o Meio ambiente,” em *II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*, SEGeT, 2005, pp. 646-655.
- [34] Art Coating, “Processo de pintura KTL ou cataforese,” 2015. [Online]. Available: <http://www.artcoating.com.br/v1/noticias/view/conheca-o-processo-de-pintura-ktl-oucataforese0/4>. [Acedido em 15 Agosto 2021].
- [35] P. J. P. Gomes, “A evolução do conceito de qualidade: dos bens manufacturados aos serviços da informação,” *Cadernos BAD*, vol. 2004, pp. 6-18, 2004.
- [36] D. A. Garvin, “Competing on the Eight Dimensions of Quality,” *Harvard Business Review* 65, vol. 6, 1987.
- [37] H. Hirano, *5 Pillars of the Visual Workplace*, Portland: Productivity Press, 1995.
- [38] D. Tapping, *Value Stream Management: Eight Steps to Planning, Mapping, and Sustaining Lean Improvements*, New York: Productivity Press, 2002.
- [39] J. E. Becker, “Implementing 5S: To Promote Safety & House Keeping,” *Professional Safety*, pp. 46; 29-31, 2001.
- [40] IPN, “Microscopia electrónica de varrimento com sistema EDS e WDS (análise química por raios X)”.
- [41] C. Chinaglia e C. Correa, “Análise de Falhas em Materiais Através de Técnicas Avançadas de Microscopia,” CCDM, 1997.
- [42] LEICA, “Inspeção Final: Binóculo Ultravid HD,” Departamento de Qualidade, Vila Nova de Famalicão, 2019.
- [43] Trioptics, “OptiTest a complete range of Optical Instruments,” Alemanha, 2019.
- [44] Netinbag, “O que são autocolimadores?,” [Online]. Available: <https://www.netinbag.com/pt/technology/what-are-autocollimators.html>. [Acedido em 28 Agosto 2021].
- [45] Elma, “Elmasonic P - Operating Instructions,” Austrália.
- [46] E. Rabinowicz, *Friction and Wear of Materials*, 2nd edition ed., John Wiley & Sons, 1995.
- [47] Trotec, “Gravador Speedy Laser: Máquina de gravação a laser,” [Online]. Available: <https://www.troteclaser.com/pt-pt/maquinas-a-laser/gravadora-laser-speedy/>. [Acedido em 16 Julho 2021].

Anexo A

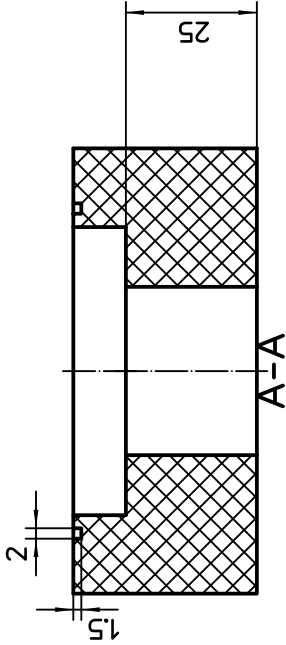
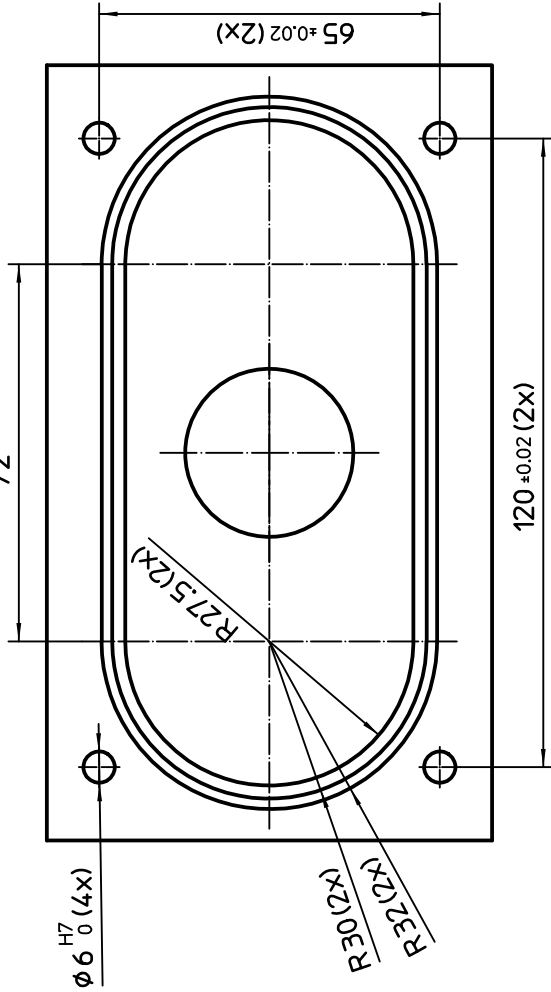
Desenho técnico das bases de aspiração para os vários modelos de binóculos



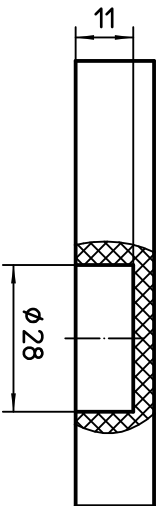
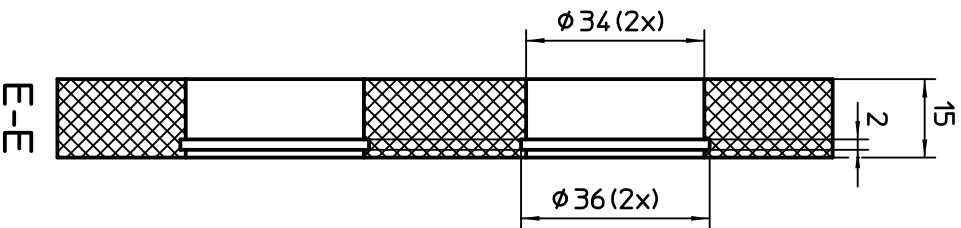
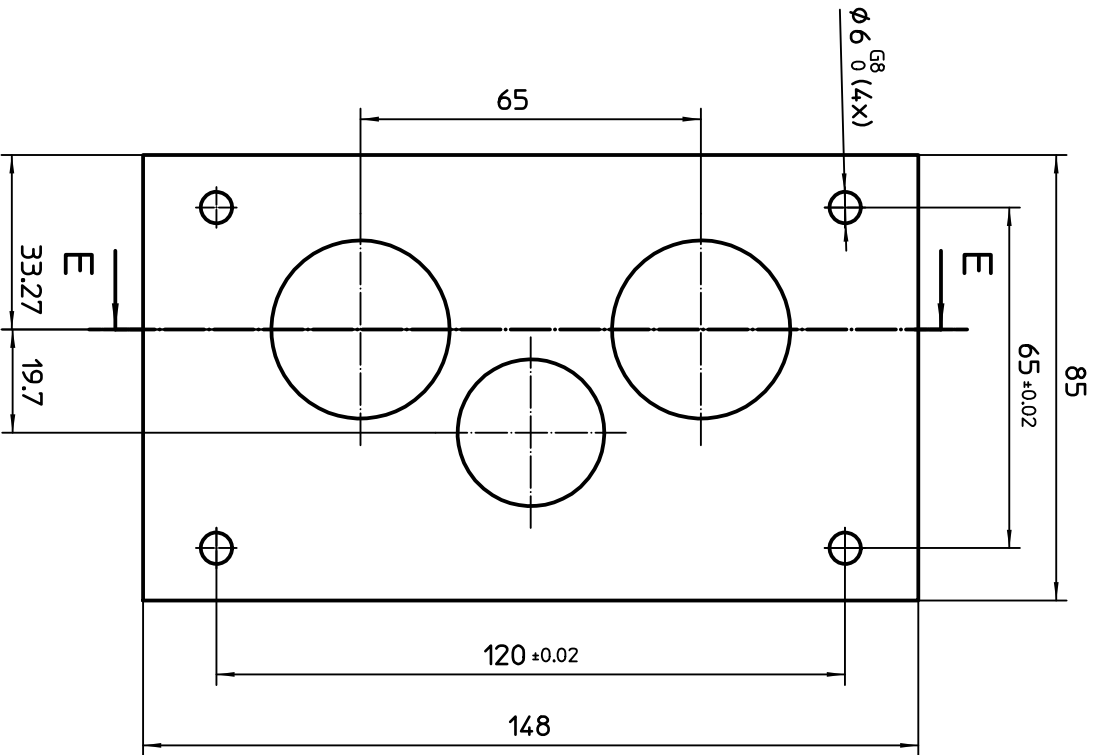
3D-Model no. / Version:			Status:		
Zwischenelements / Provisionals			Materialkürztext / Material short text		
Werkstoff / Material			Bases para Aspiração		
Copyright © by Leica Camera AG			Teil-Nr. / Part no.		
Size ISO			General tolerances		
14405 (E)			1620768-nH		
Konstr. / Designed			17/06/21 J. Lopes		
Geprüft / Checked					
Freigegeben / Released					
Werkzeug-Nr. / Tool no.			434-447.110-000 W201		
Zeichnungs-Nr. / Drawing no.					
Kurz- / initials			AZ/Rev. B/S		
02 1					
Änd.-Nr. / Revision			Notification no.:		
CONFIDENTIAL			Bilder gesamt / Sheets in total: 7		



Cutaway 4



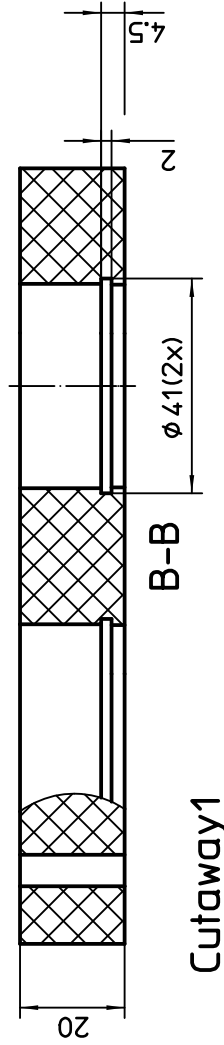
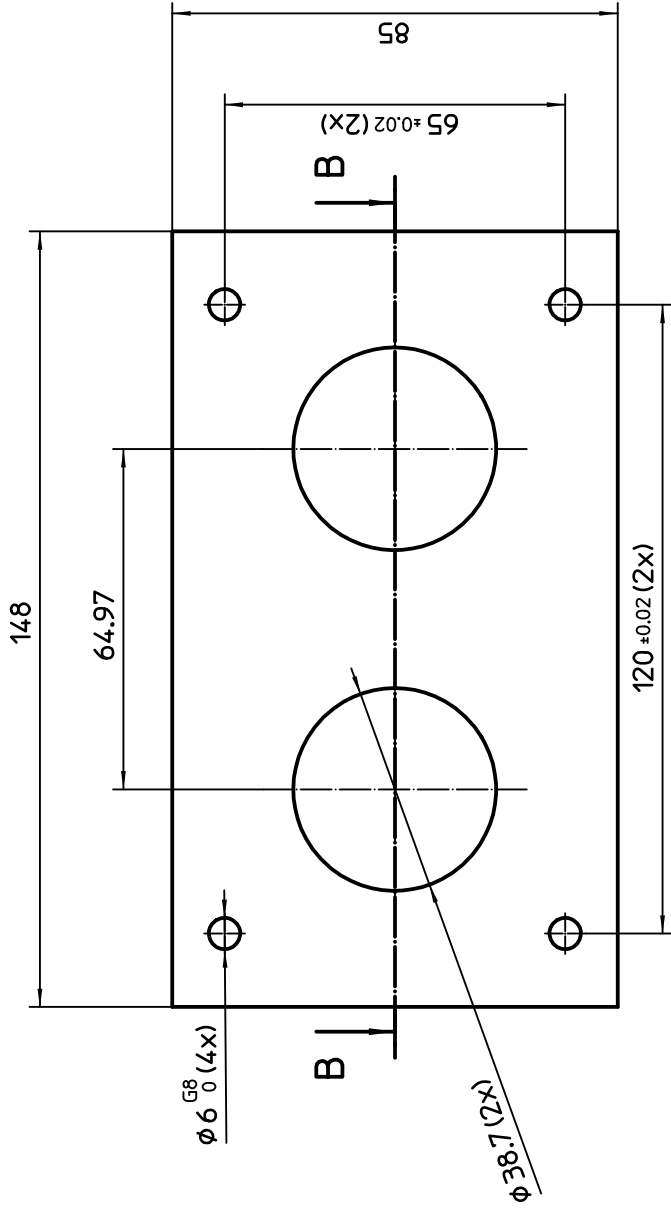
3D-Model no. / Version:		Status:	
Zwischenerzeugnis / Provisionals		Materialkurztext / Material short text	
Werkstoff / Material		Bases PARA ASPIRAÇÃO (Base geral inferior)	
Copyright © by Leica Camera AG	Size ISO	General tolerances	Teil-Nr. / Part no.
	14405 (E)	ISO 2768-mH	01
	Konstr. / Designed	17/06/21 J. Lopes	Kurzz. / initials
	Geprüft / Checked		ÄZ/Rev. B/S
Freigegeben / Released		434-447.110-000	02 2
CONFIDENTIAL		Blätter gesamt / Sheets in total: 7	



Cutaway6

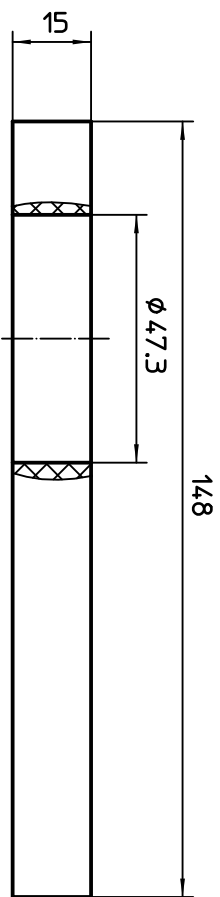
3D-Model no. / Version:		Status:	
Zwischeneinsatz / Provisionals		Materialkürztext / Material short text	
Werkstoff / Material		Maßstab / Scale	
PVC/POM		1:1	
Copyright © by Leica Camera AG		General tolerances	
Size ISO 1405 (E)		General tolerances	
Konstr. / Designed 17/06/21 J. Lopes		Werkzeug-Nr. / Tool no.	
Geprüft / Checked		434-447.110-000 W201	
Freigegeben / Released		Zeichnungs-Nr. / Drawing no.	
CONFIDENTIAL		434-447.110-000	
Änd.-Nr. / Revision		Teil-Nr. / Part no.	
Notification no.		02	
		Kurz- / Initials	
		AZ/Rev. Bl/St	
		02 B	
		Blätter gesamt / Sheets in total: 7	

BASES PARA ASPIRAÇÃO
(Base - Povo)

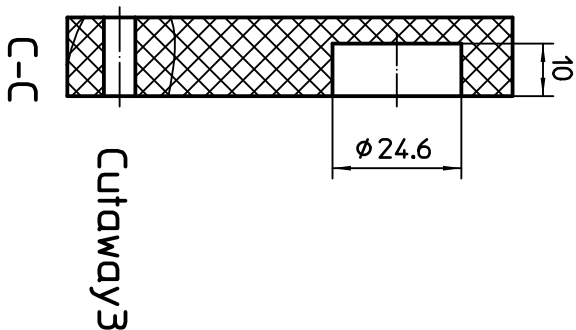
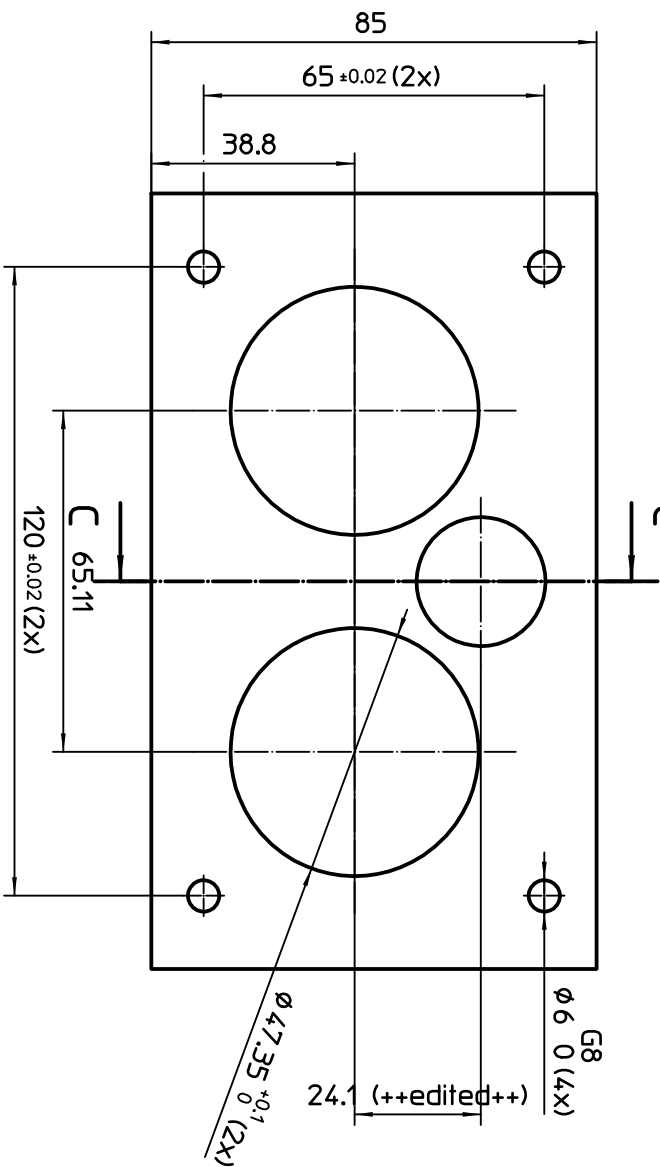


Cutaway1

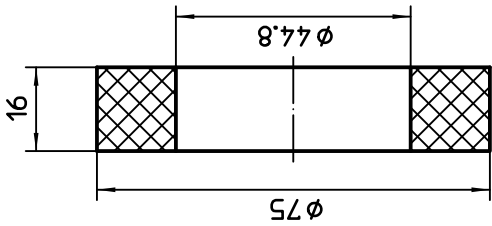
3D-Model no. / Version:		Status:	
Zwischenerzeugnis / Provisionals		Materialkurztext / Material short text	
Maßst. / Scale		Bases PARA ASPIRAÇÃO (Base - Ultraavid HD 32)	
1:1			
Werkstoff / Material		Werkzeug-Nr. / Tool no.	
PVC/POM		434-447.110-000 W201	
Copyright © by		Zeichnungs-Nr. / Drawing no.	
Leica Camera AG		434-447.110-000	
Size ISO		Teil-Nr. / Part no.	
14405 (E)		03	
Konstr. / Designed		Kurz. / initials	
17/06/21 J. Lopes		AZ/Rev. B/ST	
Geprüft / Checked		02 4	
Freigegeben / Released		Blätter gesamt / Sheets in total: 7	
AndM.-Nr. / Revision Notification no.:			
CONFIDENTIAL			



Cutaway2

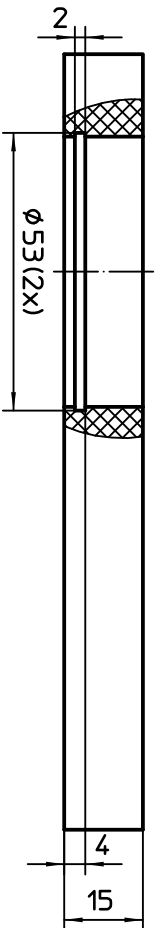


3D-Model no. / Version:				Status:	
Zwischenelemente / Provisionals				Materialkürztext / Material short text	
Werkstoff / Material PVC/POM				Bases PARA ASPIRAÇÃO (Base - Ultravid HD 50)	
Copyright © by Leica Camera AG		General tolerances		Werkzeug-Nr. / Tool no.	
Size ISO 14.05 (E)		17/06/21 J. Lopes		434-447.110-000 W201	
Geprüft / Checked		Freigegeben / Released		Zeichnungs-Nr. / Drawing no.	
434-447.110-000		04		Kurz- / Initials	
02		5		Bilder gesamt / Sheets in total: 7	

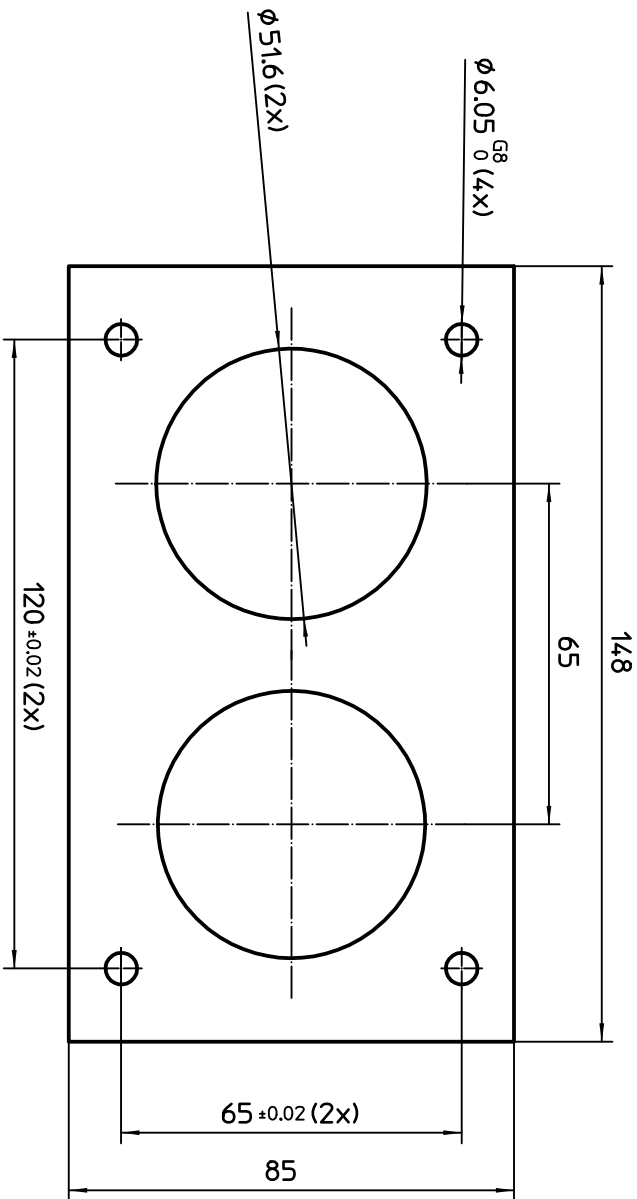


Cutaway5

3D-Model no. / Version:		Status:	
Zwischenzeichnung / Provisionals		Materialkurztext / Material short text	
Maßst. / Scale		1:1	
Werkstoff / Material		Encaixe para filtro	
PVC/POM			
Copyright © by Leica Camera AG 	Size ISO 14405 (E)	General tolerances Iso 2768 -mH	Teil-Nr. / Part no. 05
	Konstr. / Designed	17/06/21 J. Lopes	Kurzz. / Initials
	Geprüft / Checked		Az/Rev. B/S
Freigegeben / Released			
CONFIDENTIAL		434-447.110-000	
AndM-Nr. / Revision Notification no:		02 6	
		Blätter gesamt / Sheets in total: 7	



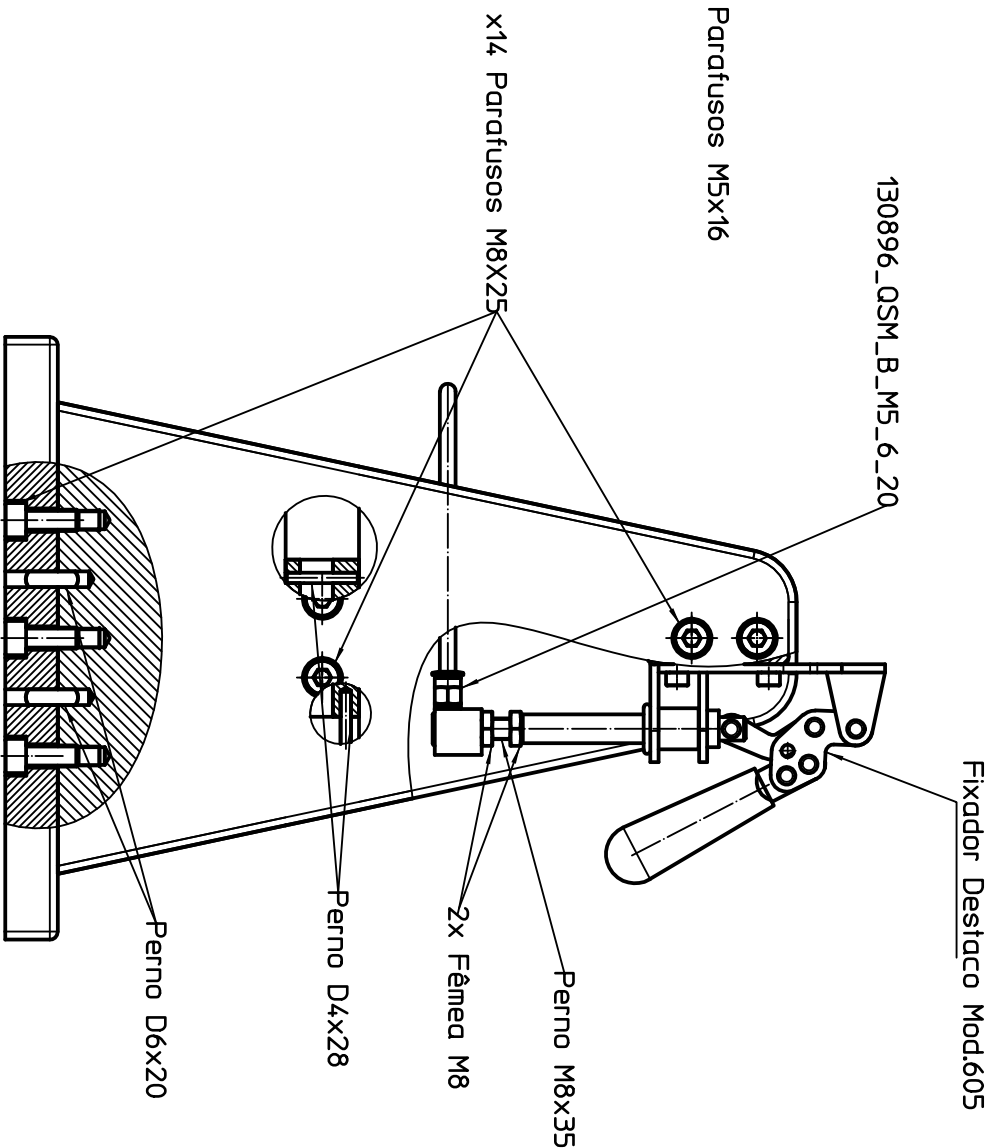
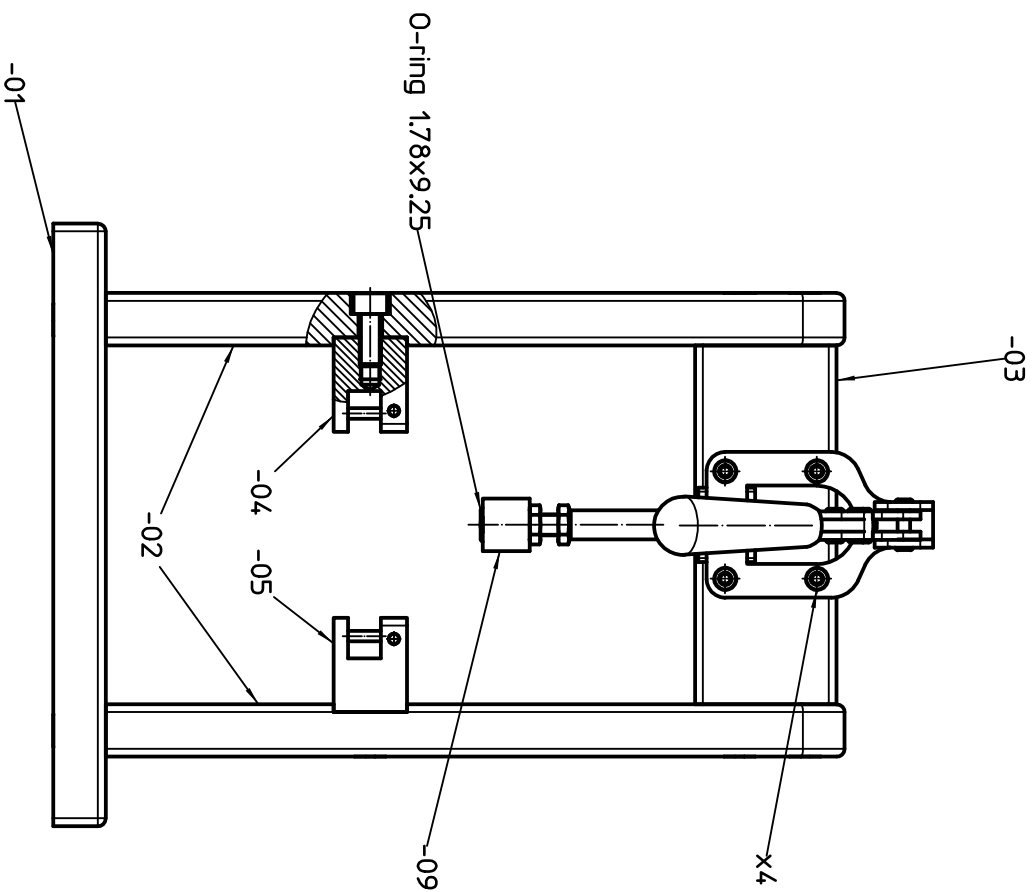
Cutaway7



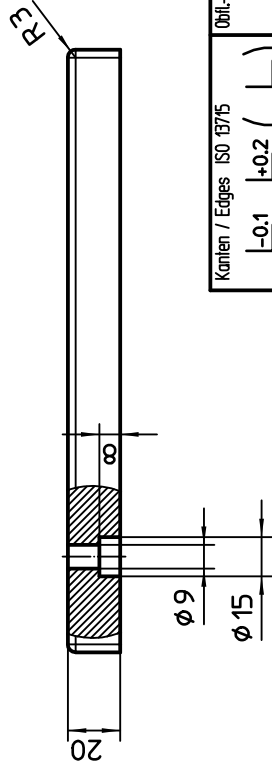
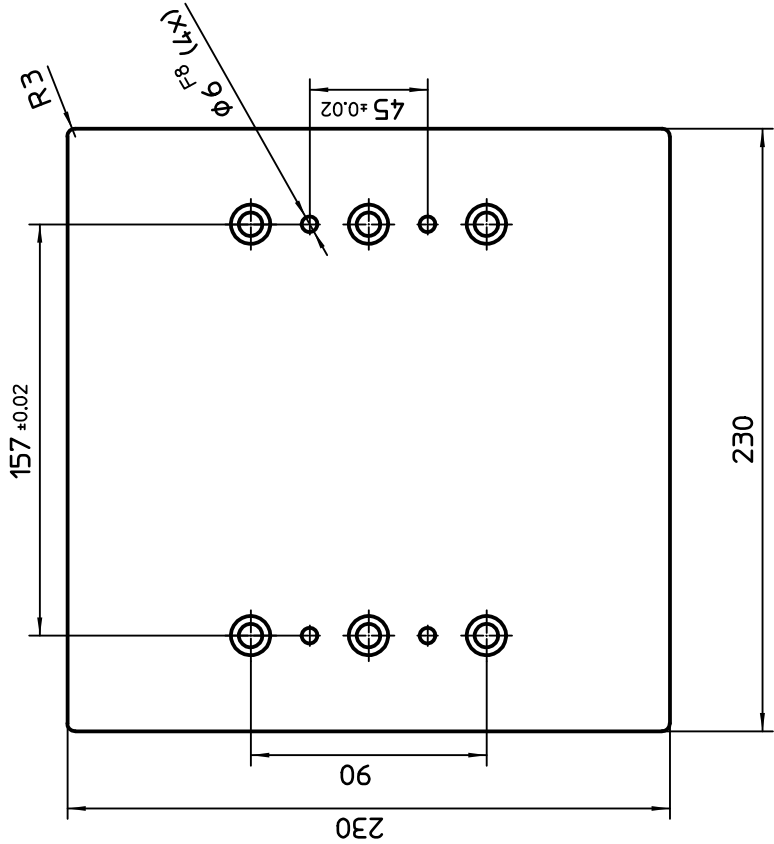
3D-Model no. / Version:		Status:	
Zwischenelements / Provisionals	Modul / Scale	Materialkurztext / Material short text	
	1:1	BASES PARA ASPIRACAO	
Werkstoff / Material		(Base - Drossel)	
PVC/POM			
muss erfüllen / must comply	Allgemeintoleranzen / General tolerances	Werkzeug-Nr. / Tool no.	
Material Compliance	ISO 2768-MH	434-447.110-000 W201	
Copyright © by	Konstr. / Designed	Zeichnungs-Nr. / Drawing no.	
GL-U-002	17/06/21 J. Lopes	434-447.110-000	
Geprüft / Checked		Teil-Nr. / Part no.	
Freigeig. / Released		06	
Leica Camera AG		Kurz. / Initials	
		AZ/Rev. B/S	
		02 7	
CONFIDENTIAL		Änd.-Nr. / Revision Notification no.:	
		Blätter gesamt / Sheets in total: 7	

Anexo B

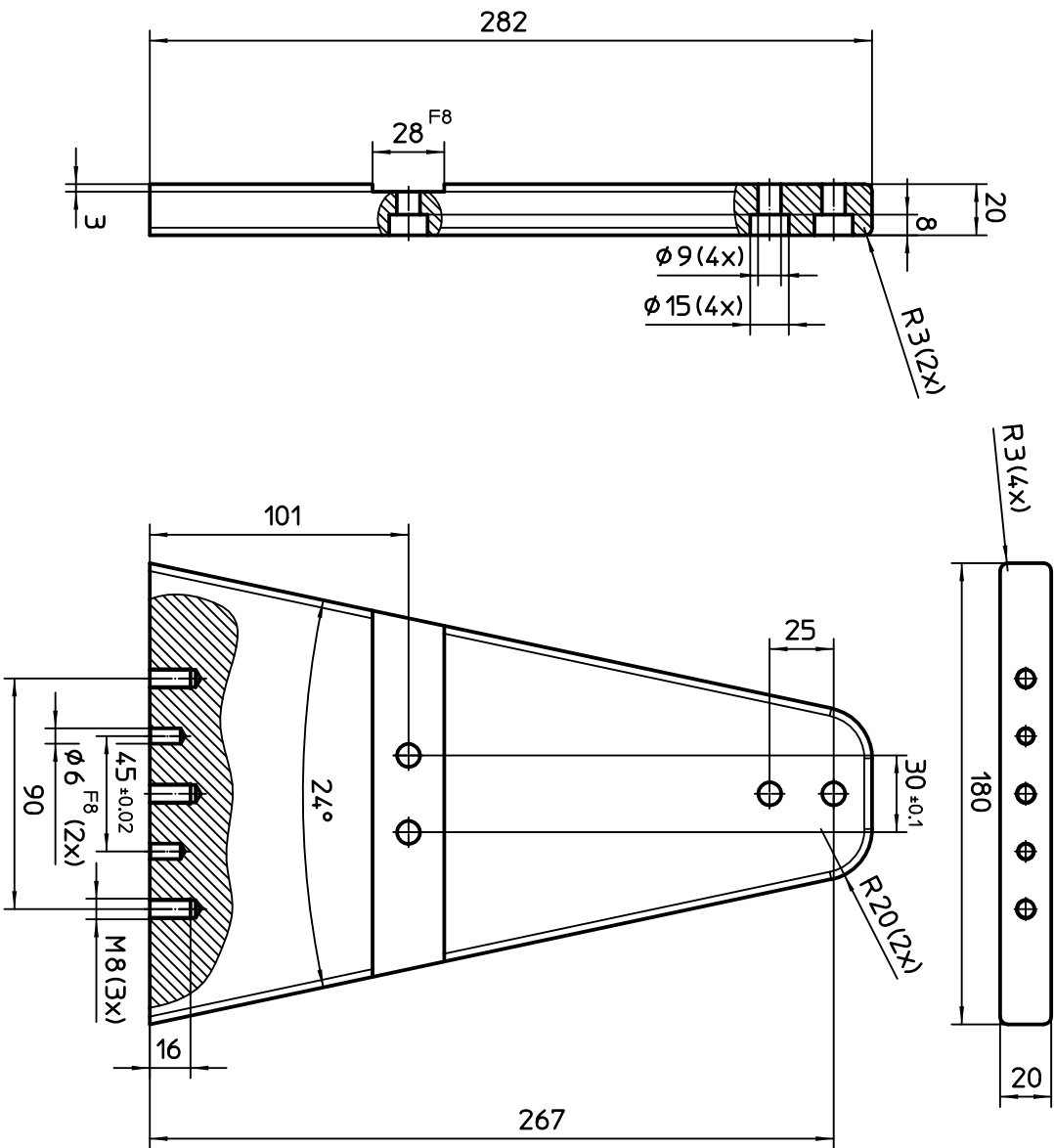
Desenho técnico de mecanismo para teste de estanquicidade



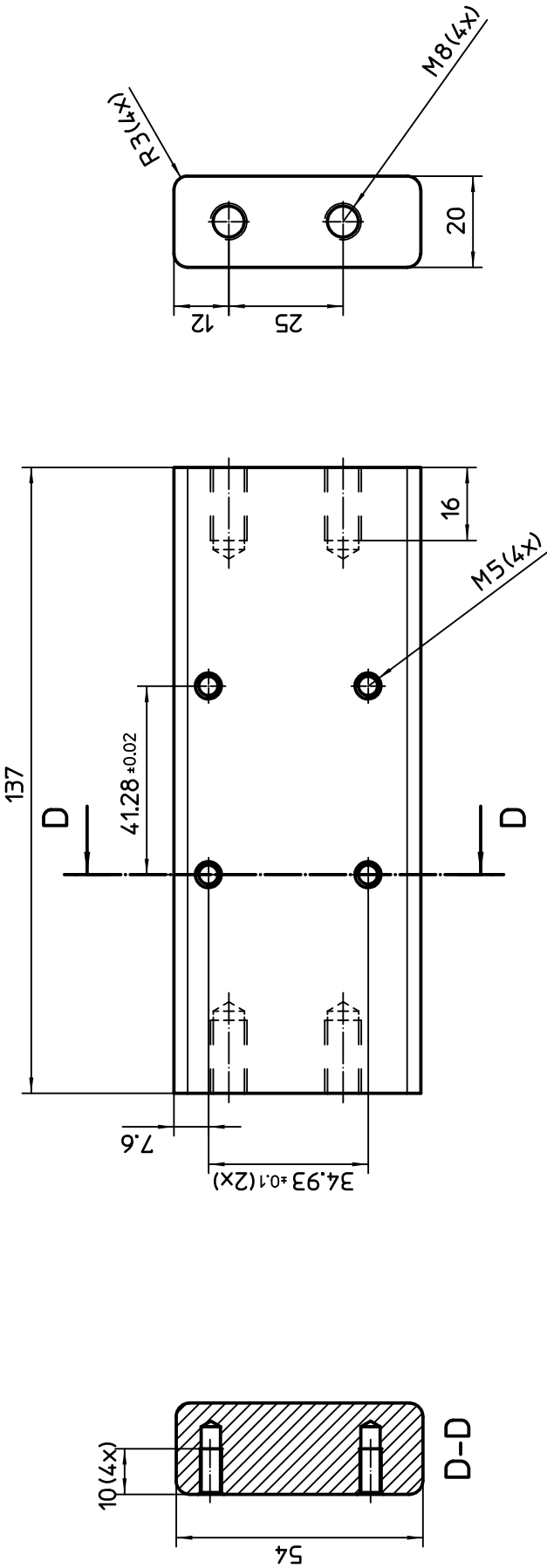
3D-Model no. / Version:		Sitius:	
Zwischeneinzeugs / Provisionals		Materialkürzext / Material short text	
Werkstoff / Material		1:2	
Copyright© by Leica Camera AG		General tolerances	
Size ISO 1405 (E)		Werkzeug-Nr. / Tool no.	
Konstr. / Designed 09/04/21 J. Lopes		434-447.110-000 W200	
Geprüft / Checked		Zeichnungs-Nr. / Drawing no.	
Freigegeben / Released		434-447.110-000	
CONFIDENTIAL		ÄndM-Nr. / Revision Notification no.:	
		Teil-Nr. / Part no.	
		Kurz. / Initials	
		01 1	
		Blätter gesamt / Sheets in total: 11	

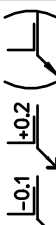


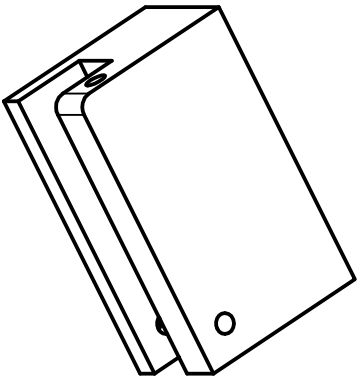
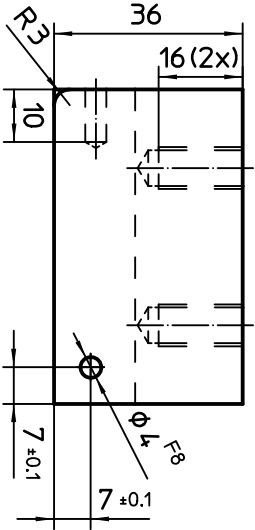
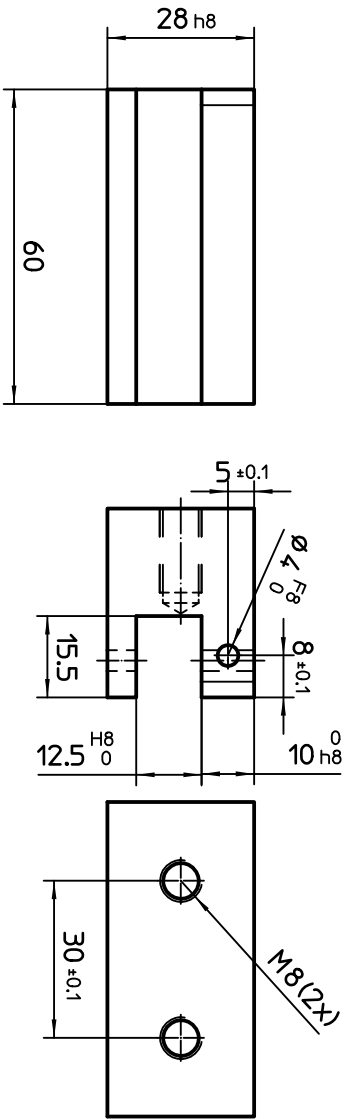
Kanten / Edges ISO 13715		Obfl.-Beschaffenheit / Surface roughness		Oberflächenbehandlung / Surface treatment		
				Obfl.352		
3D-Model no. / Version:				Status:		
Zwischenerzeugnis / Provisionals		Maßst. / Scale 1:2		Materialkurztext / Material short text		
Werkstoff / Material Aluminio				FERRAMENTA PARA VERIFICAÇÃO DA ESTANQUICIDADE (Base)		
Copyright© by Leica Camera AG 	Size ISO 14405 (E)	General tolerances ISO2768-mH		Werkzeug-Nr. / Tool no. 434-447.110-000 W200		Teil-Nr. / Part no. 01
	Konstr. / Designed	09/04/21 J. Lopes		Zeichnungs-Nr. / Drawing no. 434-447.110-000		Kurzz. / initials 01 2
	Geprüft / Checked					
	Freigegeben / Released					
CONFIDENTIAL		Änd.M.-Nr. / Revision Notification no:		Blätter gesamt / Sheets in total: 11		

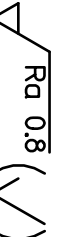


Kanten / Edges ISO 13715		Obfl.-Beschaffenheit / Surface roughness		Oberflächenbehandlung / Surface treatment	
				Obfl. 352	
3D-Model no. / Version:		Modul / Scale		Status:	
Zwischenelemente / Provisionals		1:2		Materialkürztext / Material short text	
Werkstoff / Material				FERRAMENTA PARA VERIFICAÇÃO DA ESTANDBUIDADE (Torre)	
Copyright © by Leica Camera AG		General tolerances		Werkzeug-Nr. / Tool no.	
		1405 (E)		434-447.110-000 W200	
Konstr. / Designed		09/04/21 J. Lopes		Teil-Nr. / Part no.	
Geprüft / Checked				Kurz. / Initials	
Freigegeben / Released				AZ/Rev. Bl/St	
CONFIDENTIAL		Änd.-Nr. / Revision		434-447.110-000	
Änd.-Nr. / Revision		Notification no.:		Blätter gesamt / Sheets in total: 11	
				01 B	



Kanten / Edges ISO 13715		Obfl.-Beschaffenheit / Surface roughness		Oberflächenbehandlung / Surface treatment	
 $\sqrt{0.1} \pm 0.2$ (1)		 Ra 0.8 (✓)		Obfl.352	
3D-Model no. / Version:		Status:			
Zwischenerzeugnis / Provisionals		Maßst. / Scale		Materialkurztext / Material short text	
Werkstoff / Material		1:1		FERRAMENTA PARA VERIFICAÇÃO DA ESTANQUIDADE (Peca de ligação das torres)	
Alumínio					
Copyright© by Leica Camera AG		General tolerances ISO2768-mH		Werkzeug-Nr. / Tool no.	
Size ISO 14405 (E)		09/04/21 J. Lopes		434-447.110-000 W200	
Konstr. / Designed				Zeichnungs-Nr. / Drawing no.	
Geprüft / Checked				03	
Freigegeben / Released				Kurz. / initials	
				ÄZ/Rev. B/SH	
				01 4	
CONFIDENTIAL		Änd.M.-Nr. / Revision Notification no:		Blätter gesamt / Sheets in total: 11	

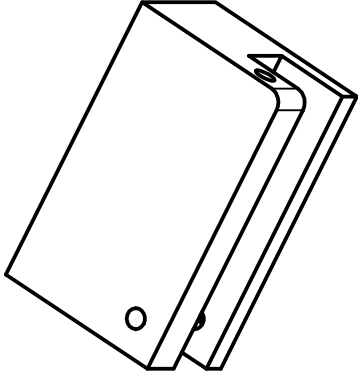
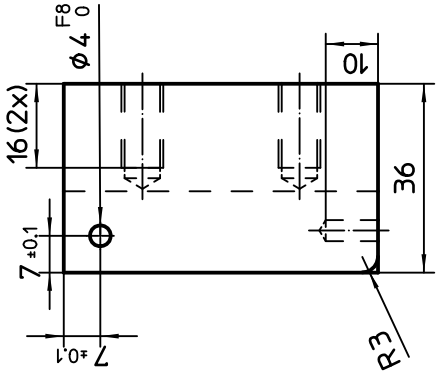
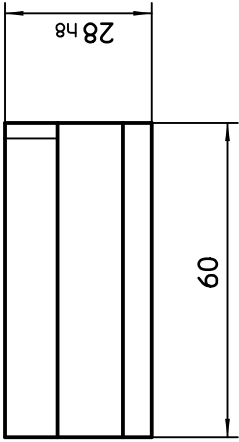
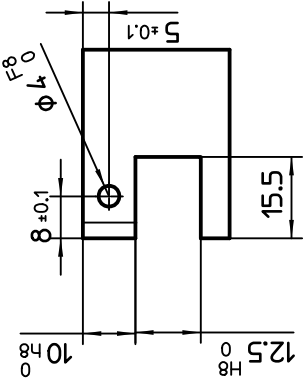
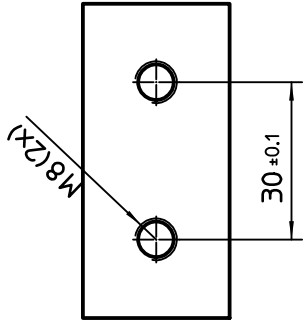


Kanten / Edges ISO 13715	Obfl.-Beschriftung / Surface roughness	Obfl. 352
		

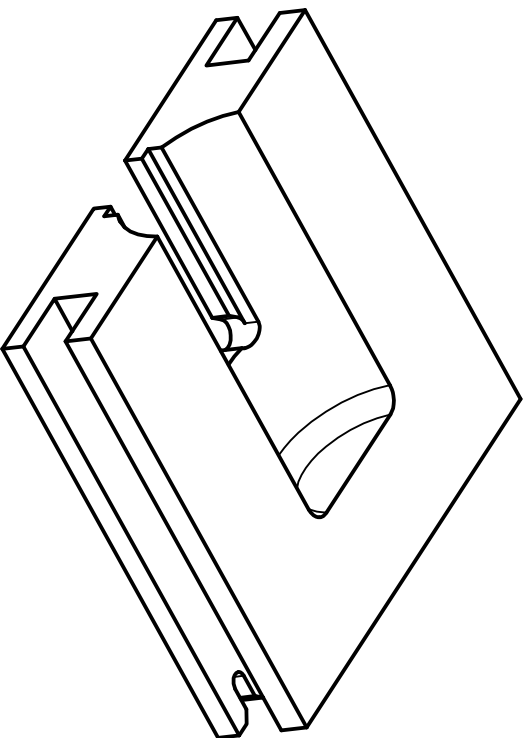
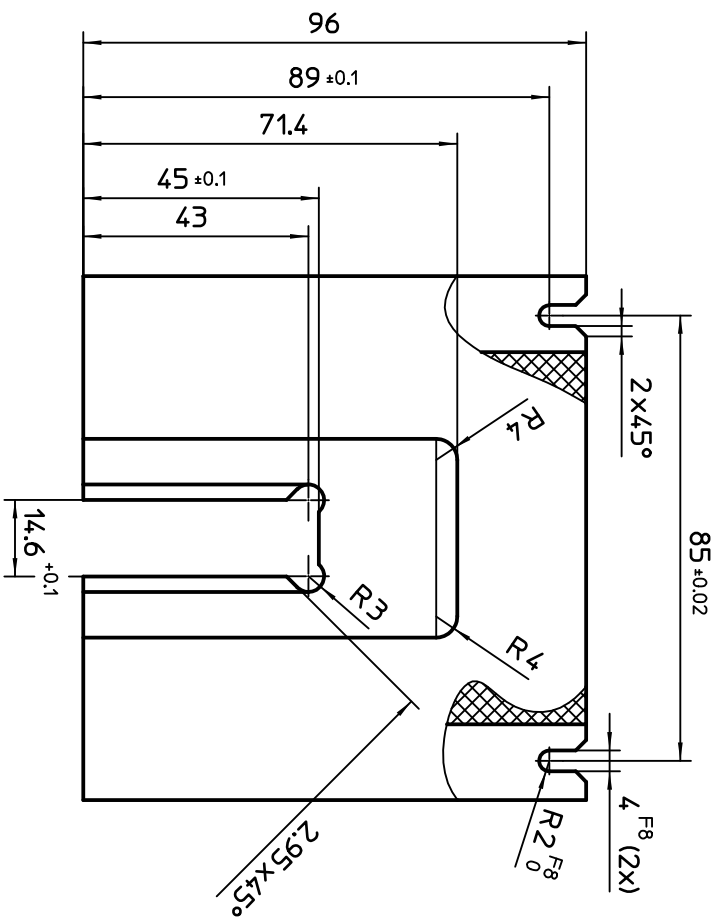
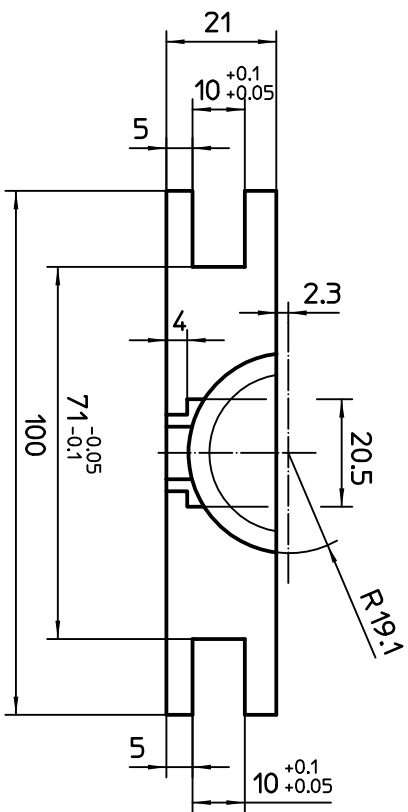
3D-Model no. / Version:	Material / Scale	Stilus:
Zwischenelemente / Provisionals	1:1	
Werkstoff / Material		
Alumínio		

Copyright© by Leica Camera AG	Size ISO 1405 (E)	General tolerances ISO 2768-mH	Werkzeug-Nr. / Tool no. 434-447.110-000 W200	Teil-Nr. / Part no. 04
	Konstr. / Designed 09/04/21 J. Lopes			
	Geprüft / Checked			
	Freigegeben / Released			

CONFIDENTIAL	Änd.-Nr. / Revision	Notification no.:	Böller gesamt / Sheets in total: 11



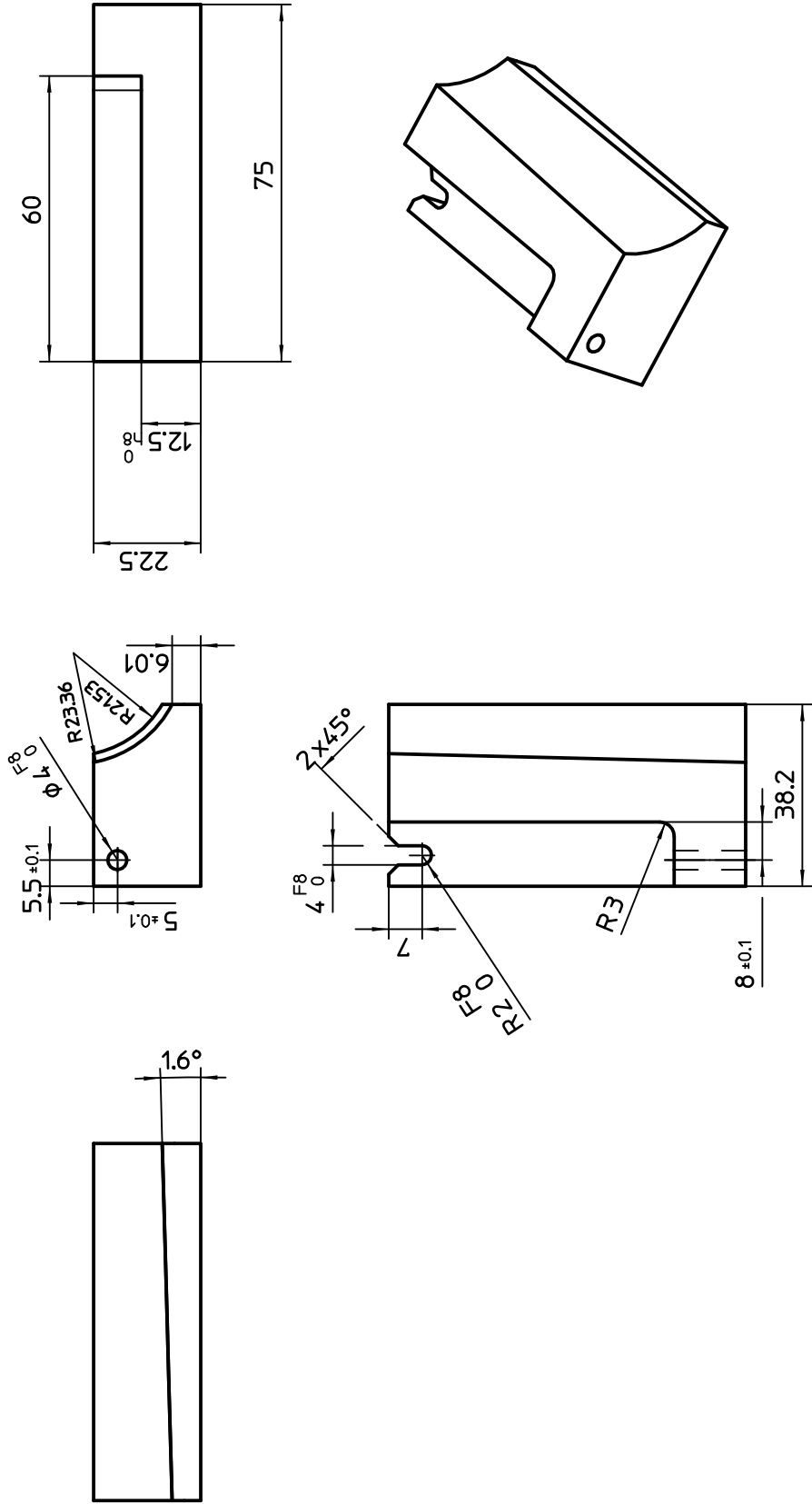
Kanten / Edges ISO 13715		Obfl.-Beschaffenheit / Surface roughness		Oberflächenbehandlung / Surface treatment	
				Obfl. 352	
3D-Model no. / Version:				Status:	
Zwischenerzeugnis / Provisionals		Maßst. / Scale		Materialkurztext / Material short text	
Werkstoff / Material		1:1		FERRAMENTA PARA VERIFICAÇÃO DA ESTANQUEIDADE (Encaixe direito dos suportes)	
Alumínio					
Copyright© by Leica Camera AG		Size ISO 14405 (E)	General tolerances ISO2768-mH	Werkzeug-Nr. / Tool no. 434-447.110-000 W200	Teil-Nr. / Part no. 05
		Konstr. / Designed	09/04/21 J. Lopes	Zeichnungs-Nr. / Drawing no.	Kurzz. / initials ÄZRev. B/SH
		Geprüft / Checked		434-447.110-000	01 6
		Freigeig / Released			
CONFIDENTIAL		ÄndM.-Nr. / Revision Notification no.:		Blätter gesamt / Sheets in total: 11	



3D-Model no. / Version:		Status:	
Zwischengerzeugnis / Provisionals		Materialkürztext / Material short text	
Werkstoff / Material		Maßst. / Scale	
POM		1:1	
Copyright © by Leica Camera AG		General tolerances	
Size ISO 1405 (E)		General tolerances ISO 2768-mH	
Konstr. / Designed		J. Lopes	
Geprüft / Checked			
Freigegeben / Released			
Werkzeug-Nr. / Tool no.		Teil-Nr. / Part no.	
434-447.110-000 W200		06	
Zeichnungs-Nr. / Drawing no.		Kurz- / Initials	
434-447.110-000		AZ/Rev. Bl/St	
		01 7	
CONFIDENTIAL		Bilder gesamt / Sheets in total: 11	

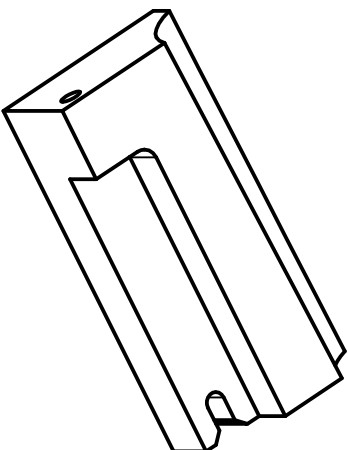
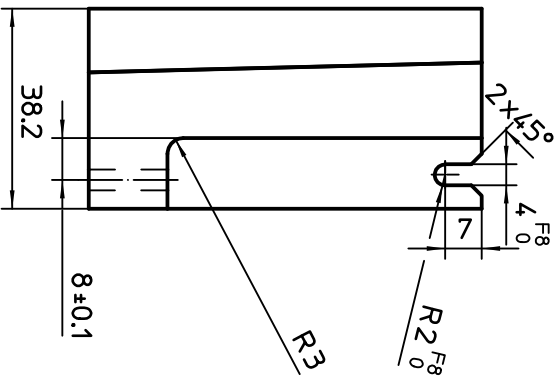
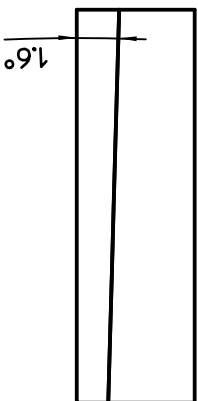
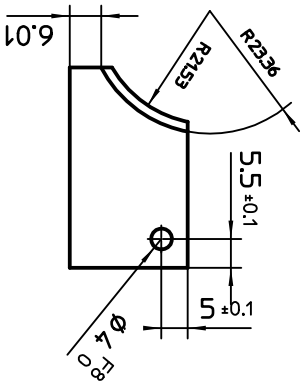
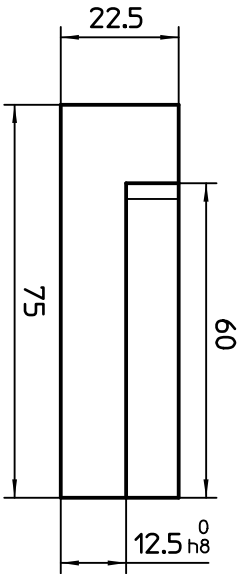
Änd.-Nr. / Revision Notification no.:

FERRAMENTA PARA VERIFICAÇÃO DA ESTANDEZIDADE
(Suporte Ultravid x32)

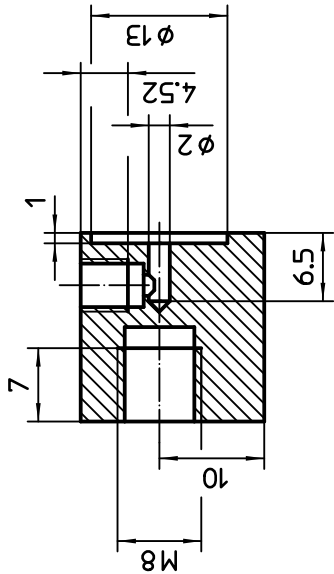


Retirar as restantes cotas pelo 3d

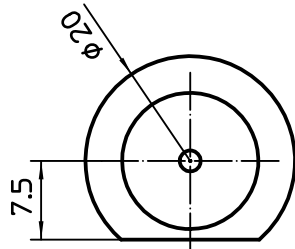
3D-Model no. / Version:		Status:	
Zwischenerzeugnis / Provisionals		Materialkurztext / Material short text	
Werkstoff / Material		1:1	
POM			
Copyright © by Leica Camera AG 	Size ISO	General tolerances	Werkzeug-Nr. / Tool no.
	14405 (E)	ISO 2768-mH	434-447.110-000 W200
	Konstr. / Designed	09/04/21 J. Lopes	Zählungs-Nr. / Drawing no.
	Geprüft / Checked		434-447.110-000
Freigegeben / Released			
CONFIDENTIAL		Revision Notification no:	
And M.-Nr. / Revision		Teil-Nr. / Part no.	
		07	
		Kurz. / initials	
		AZ/Rev. B/S	
		01 8	
		Blätter gesamt / Sheets in total: 11	



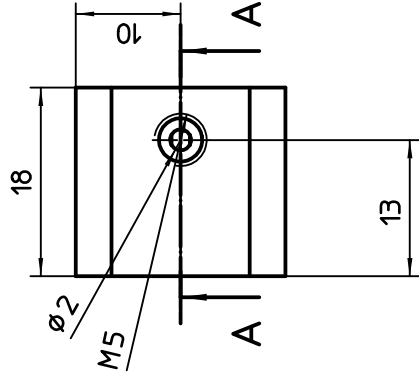
3D-Model no. / Version:				Status:					
Zwischengerzeugnis / Provisionals				Modul / Scale		Materialkürztext / Material short text			
Werkstoff / Material				1:1		FERRAMENTA PARA VERIFICAÇÃO DA ESTANQUICIDADE (Suporte direito Ultravid x42 e x50)			
POM									
Copyright© by Leica Camera AG		Size ISO		General tolerances		Werkzeug-Nr. / Tool no.			
		1405 (E)		ISO2768-mH		434-447.110-000 W200			
		Konstr. / Designed		09/04/21 J. Lopes		Zeichnungs-Nr. / Drawing no.			
		Geprüft / Checked				434-447.110-000			
		Freigegeben / Released							
CONFIDENTIAL				Änd.-Nr. / Revision Notification no.:					
				Bildnr. gesamt / Sheets in total: 11					
				Teil-Nr. / Part no.					
				08					
				Kurz- / initials					
				AZ/Rev. Bl/St					
				01 9					



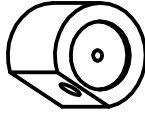
A-A
2:1



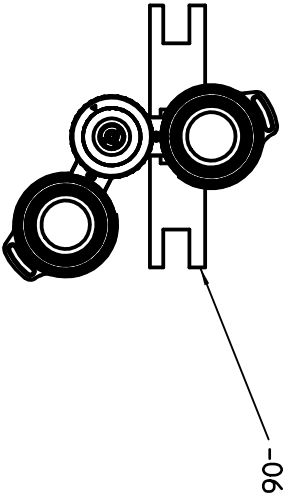
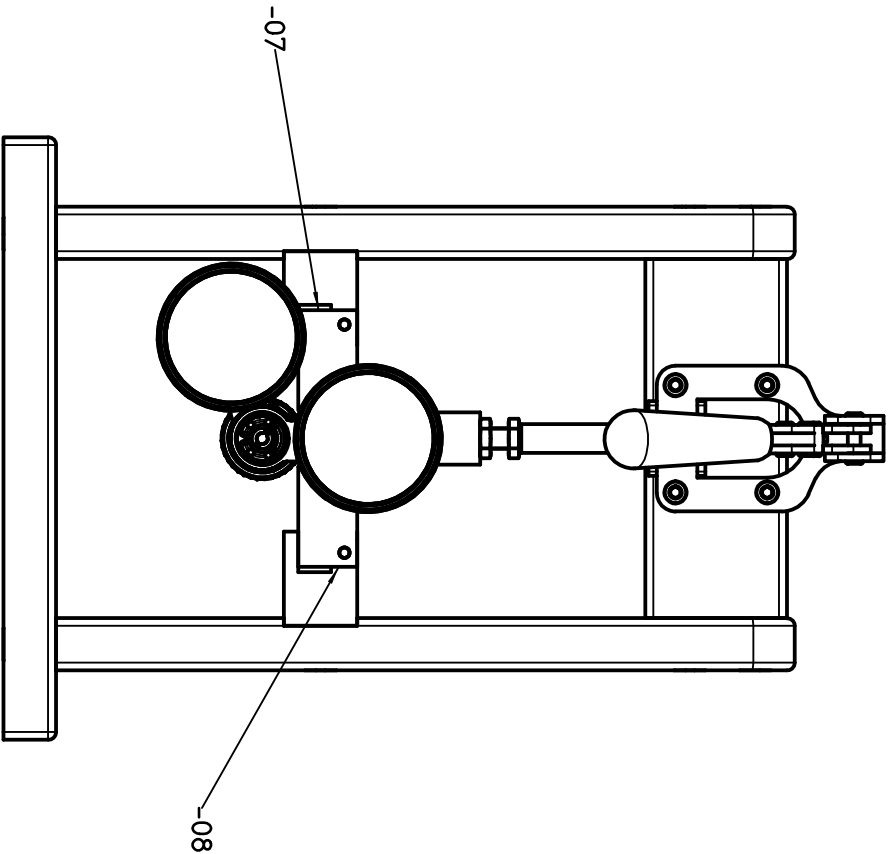
2:1



2:1



3D-Model no. / Version:		Status:	
Zwischenerzeugnis / Provisionals		Materialkurztext / Material short text	
Werkstoff / Material		FERRAMENTA PARA VERIFICAÇÃO DA ESTANQUIDADE (Peça de estanquidade)	
Aluminio			
Copyright by Leica Camera AG	Size ISO	General tolerances	Werkzeug-Nr. / Tool no.
	14405 (E)	iso2768-mH	434-447.110-000 W200
	Konstr. / Designed	09/04/21 J. Lopes	Zählungs-Nr. / Drawing no.
	Geprüft / Checked		434-447.110-000
Freigegeben / Released			
CONFIDENTIAL		Revision Notification no:	
And M.-Nr. / Revision			
		Teil-Nr. / Part no.	
		09	
		Kurz. / initials	
		AZ/Rev. B/S	
		01 10	
		Blätter gesamt / Sheets in total: 11	

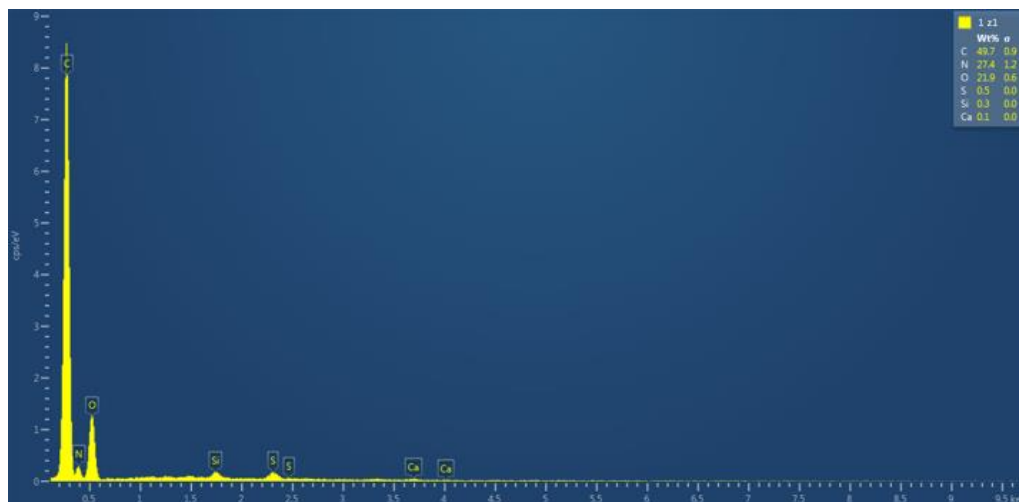
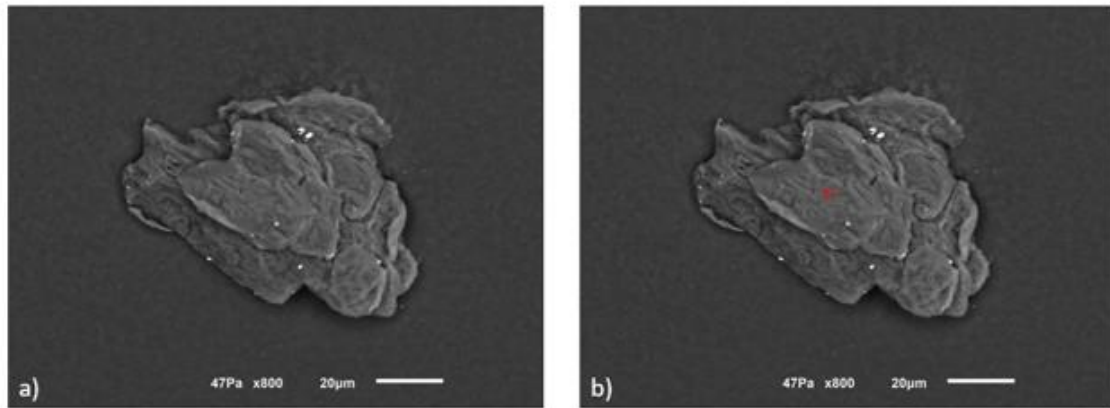


3D-Model no. / Version:				Status:	
Zwischenelemente / Provisionals		Maßst. / Scale		Materialkürzel / Material short text	
Werkstoff / Material		1:2		FERRAMENTA PARA VERIFICAÇÃO DA ESTANDEZIDADE (conjunto com os suportes)	
 Copyright© by Leica Camera AG				Werkzeug-Nr. / Tool no.	
		Size ISO		General tolerances	
		1405 (E)		XXXXXXX	
		Konstr. / Designed		Zeichnungs-Nr. / Drawing no.	
Geprüft / Checked		09/04/21 J. Lopes		Kurz. / initials	
Freigegeben / Released				AZ/Rev. B/St	
CONFIDENTIAL		Änd.-Nr. / Revision		Notification no.	
		4.34-447.110-000		01 11	
				Blätter gesamt / Sheets in total: 11	

Anexo C

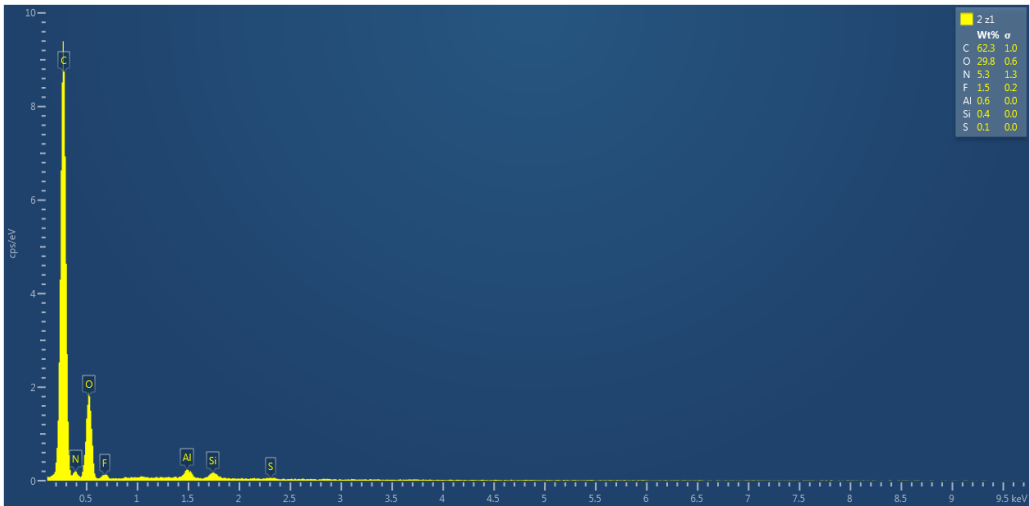
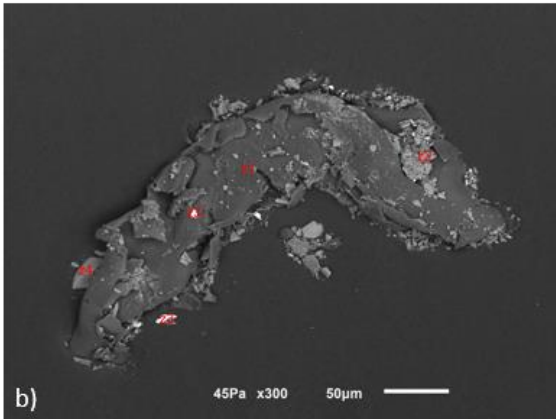
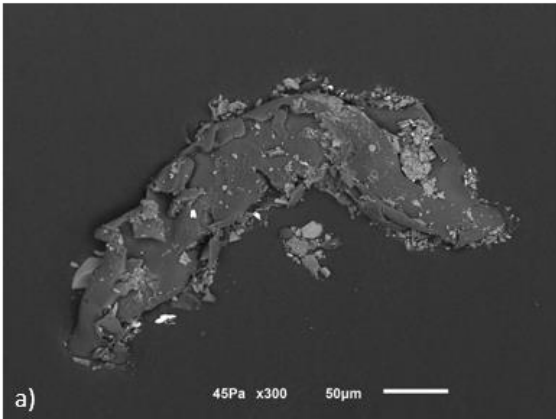
Imagens recolhidas no MEV e espectros EDS

Partícula 1

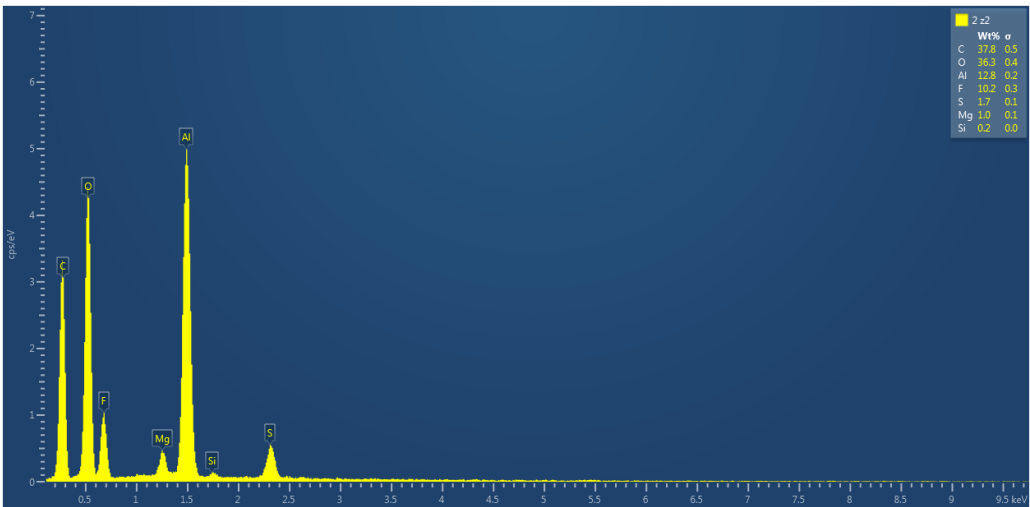


Espectro EDS - Partícula 1 (Z1).

Partícula 2

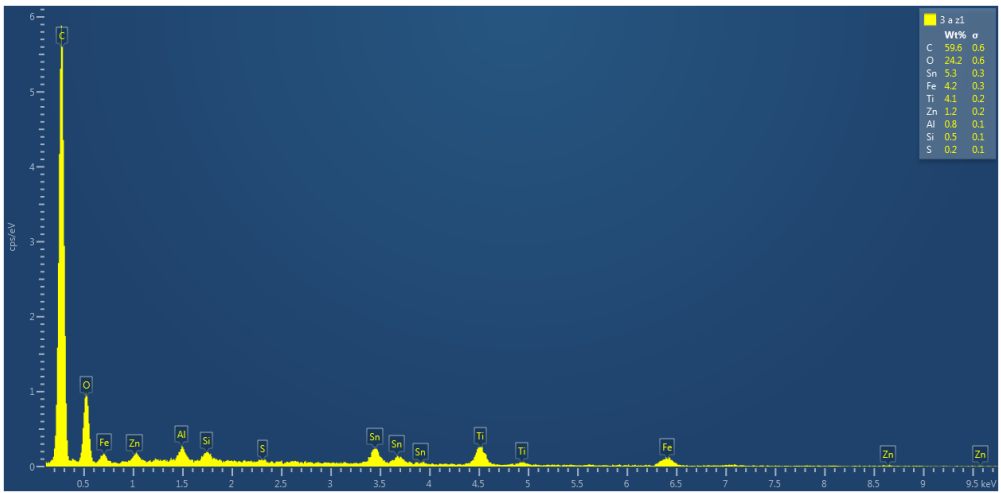
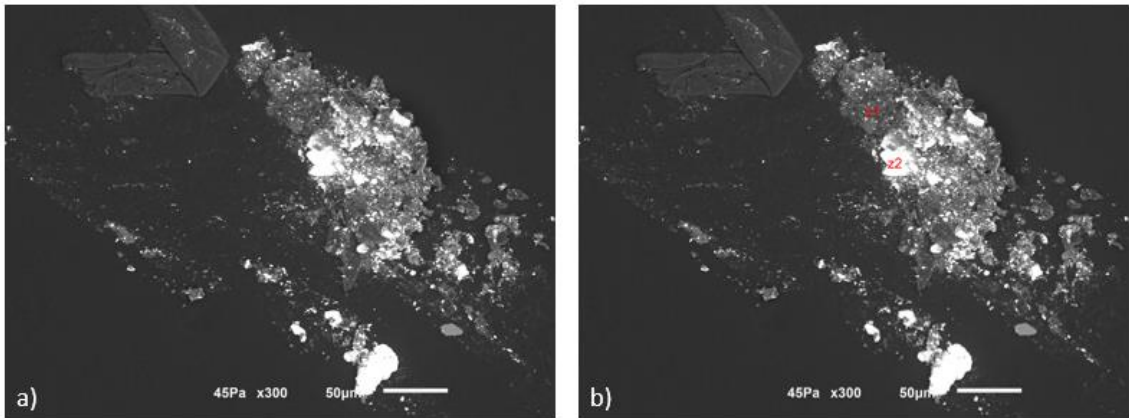


Espectro EDS - Partícula 2 (Z1).

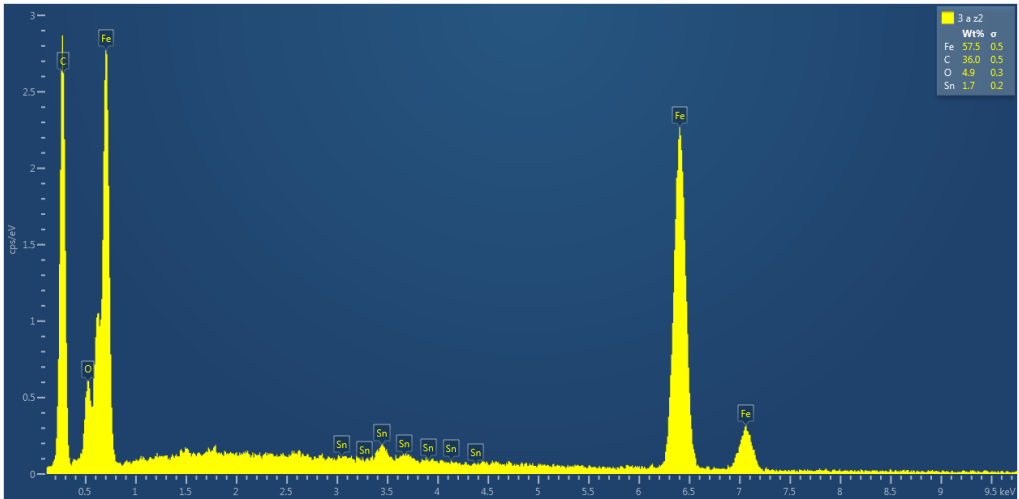


Espectro EDS - Partícula 2 (Z2).

Partícula 3

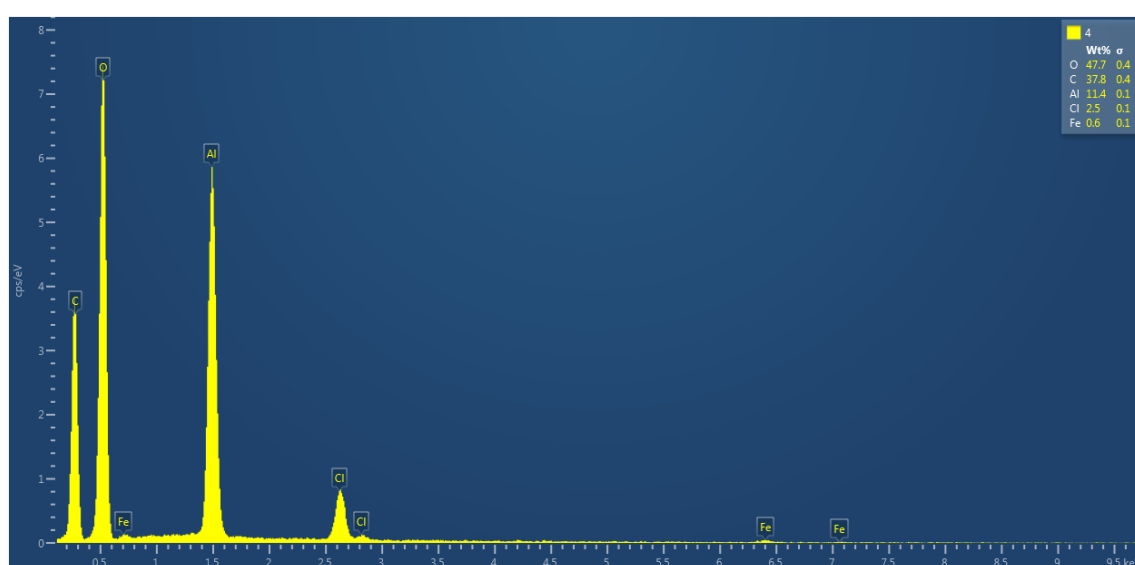
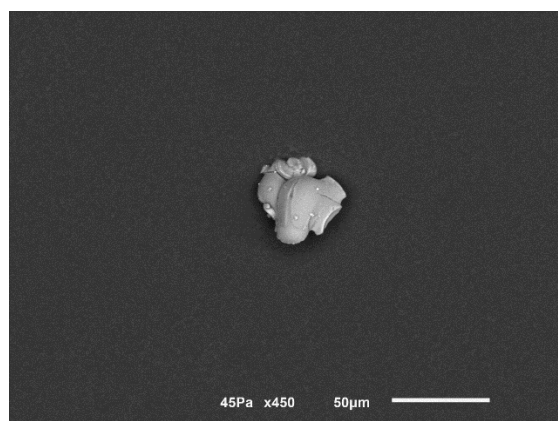


Espectro EDS - Partícula 3 (Z1).



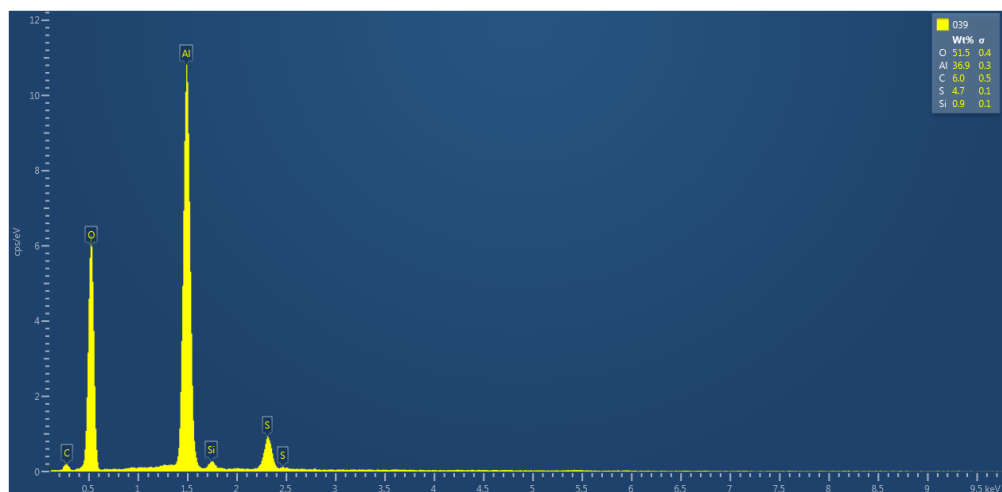
Espectro EDS - Partícula 3 (Z2).

Partícula 4

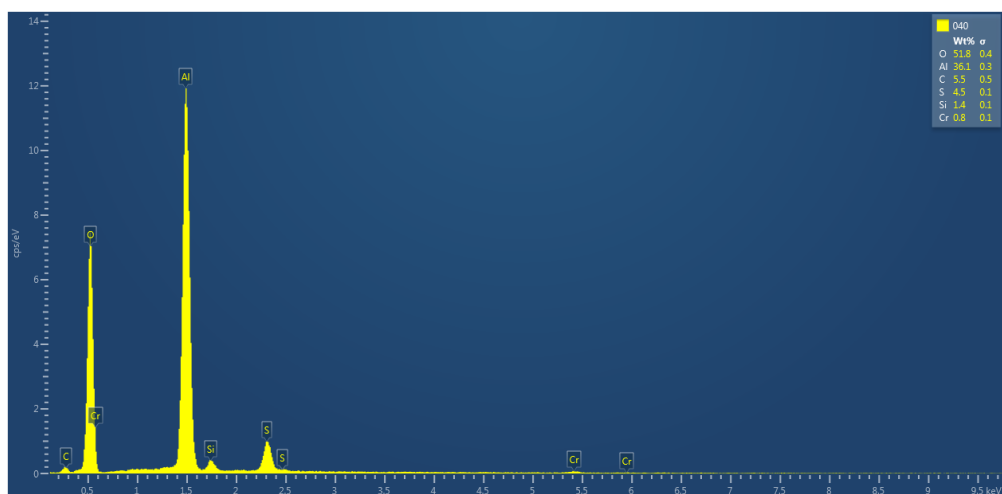


Espectro EDS - Partícula 4 (Z1).

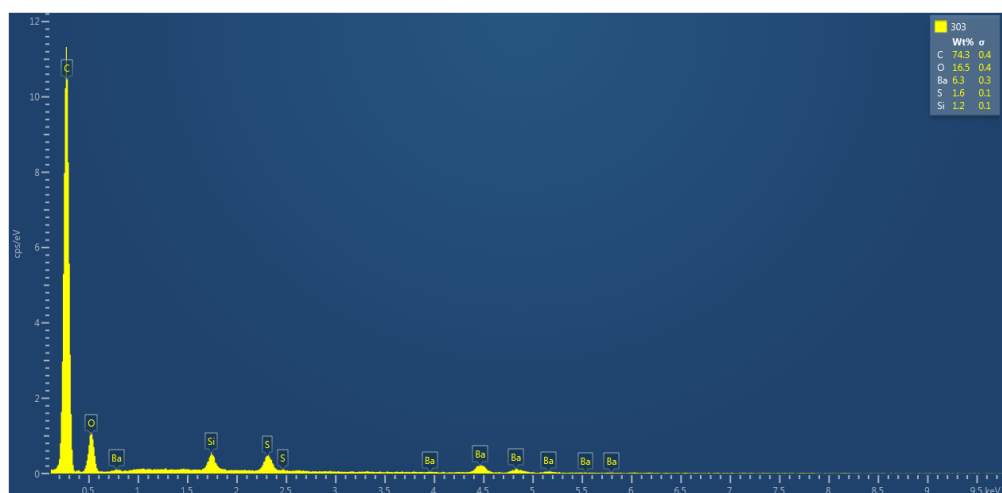
Componentes



Espectro EDS - Peça 1.



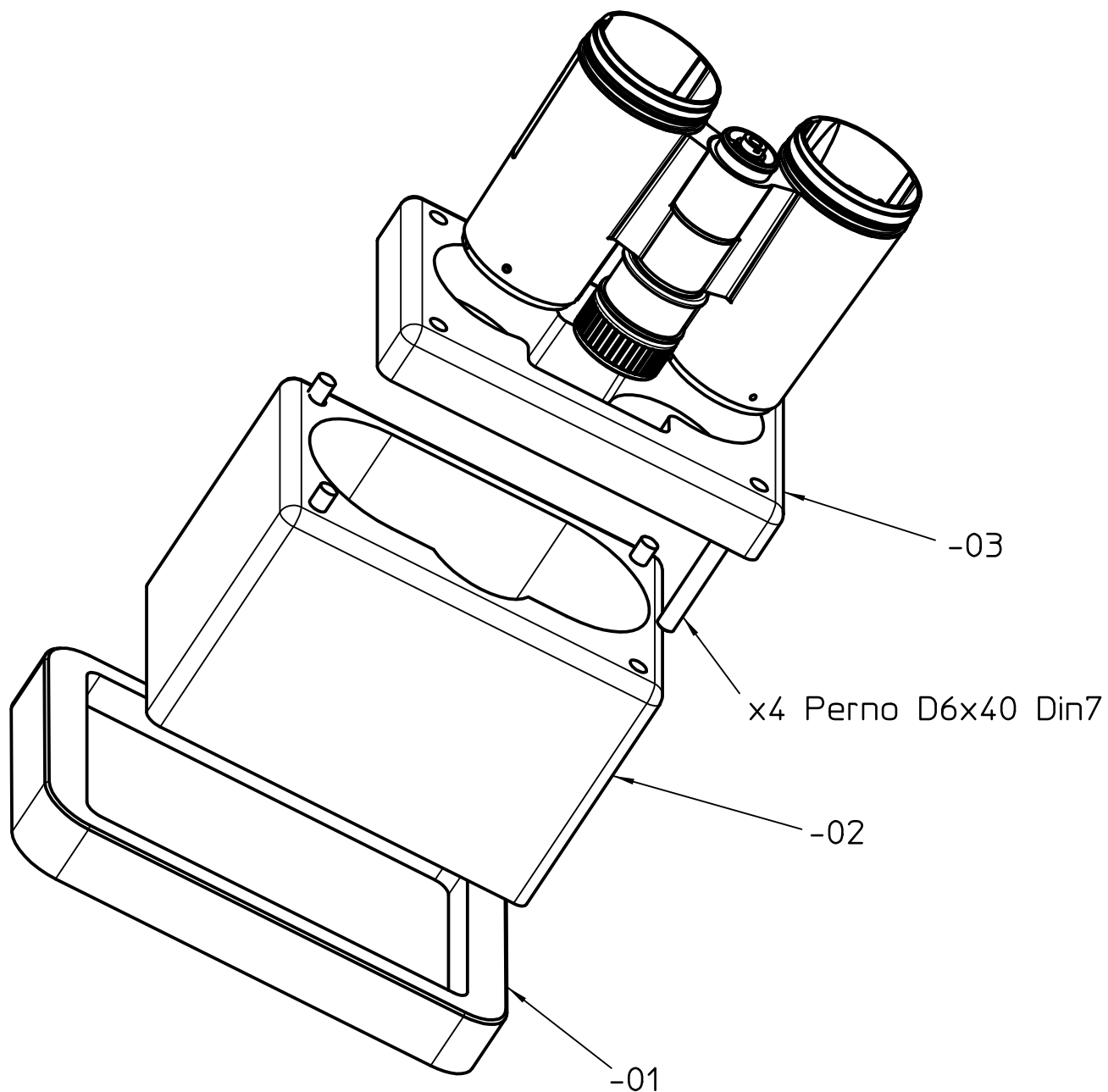
Espectro EDS - Anel roscado.



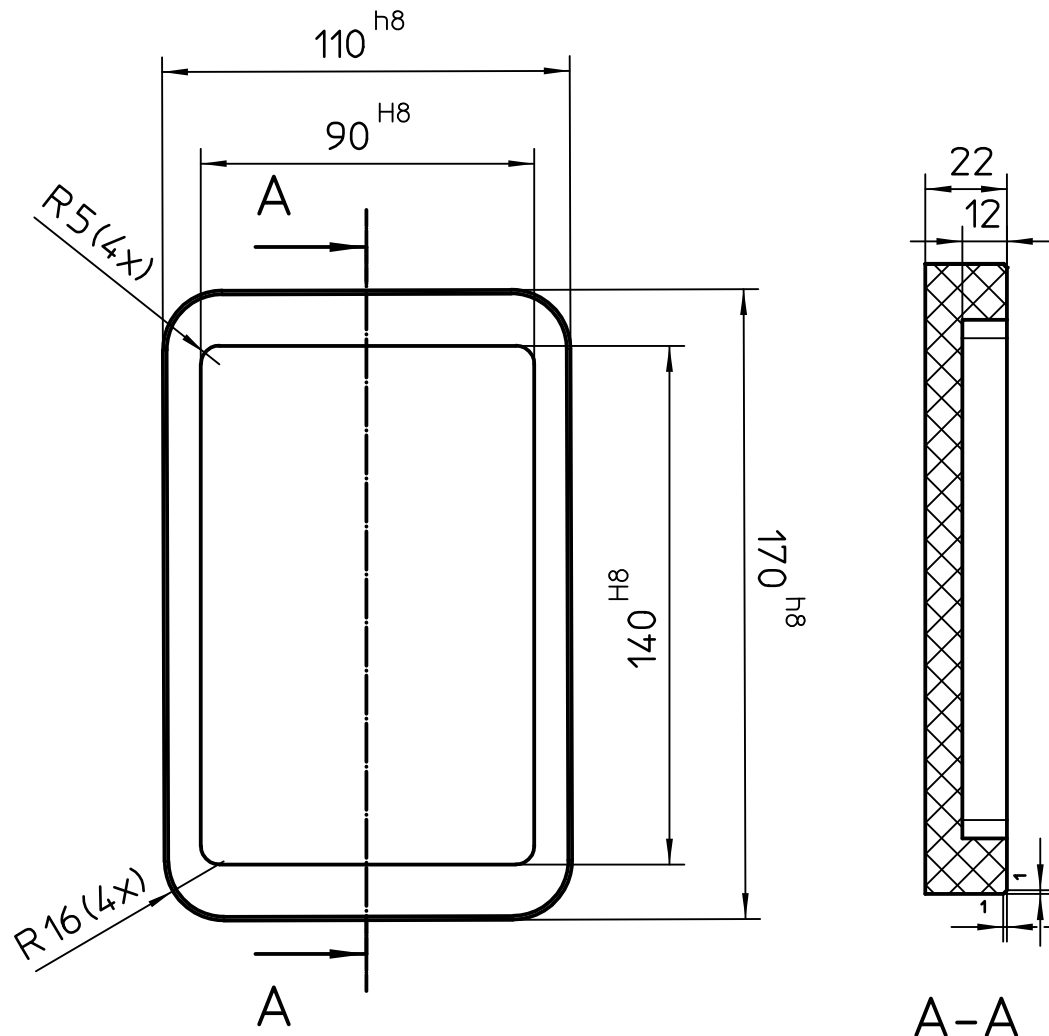
Espectro EDS - Lacre.

Anexo D

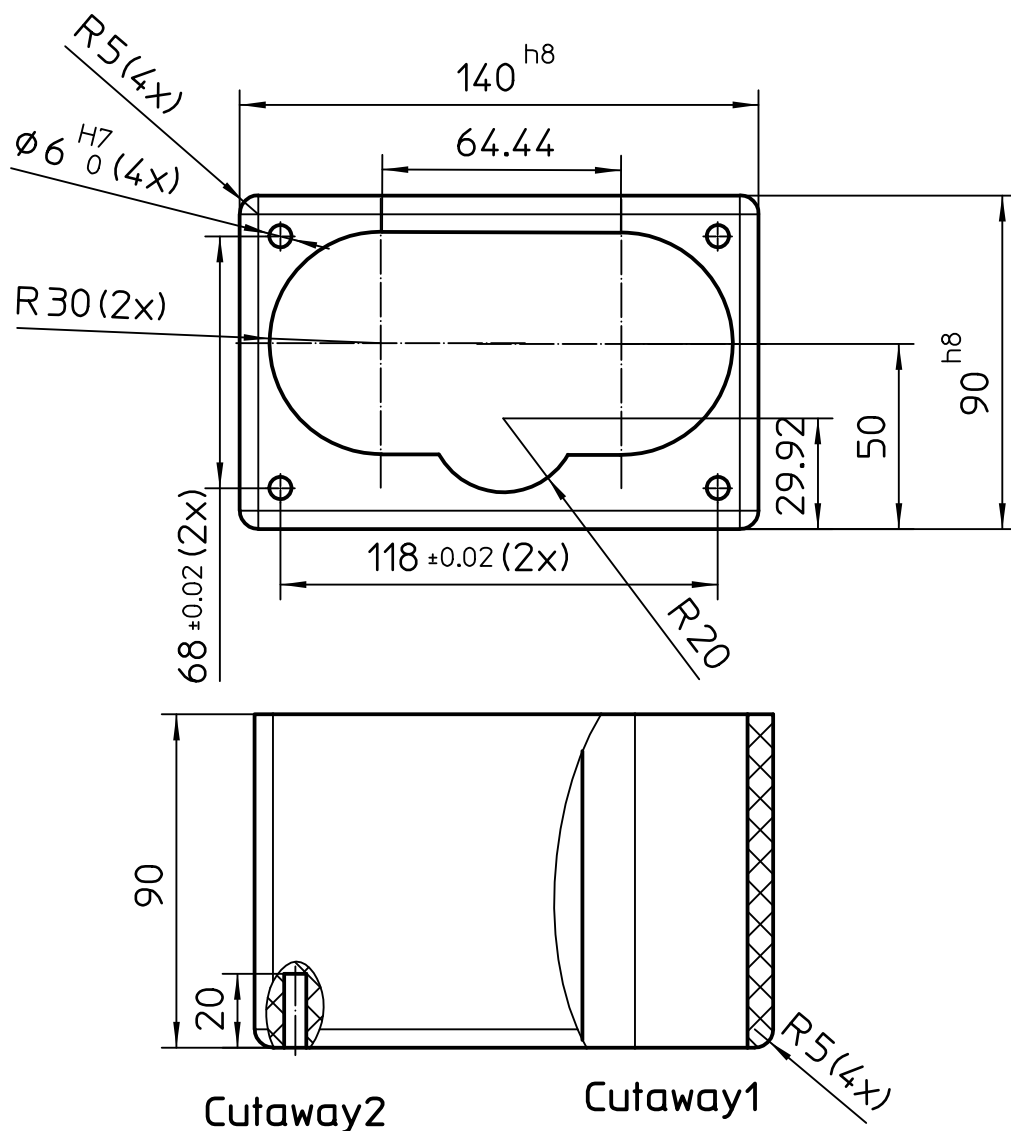
Desenho técnico da base de fixação para desaperto de objetivas



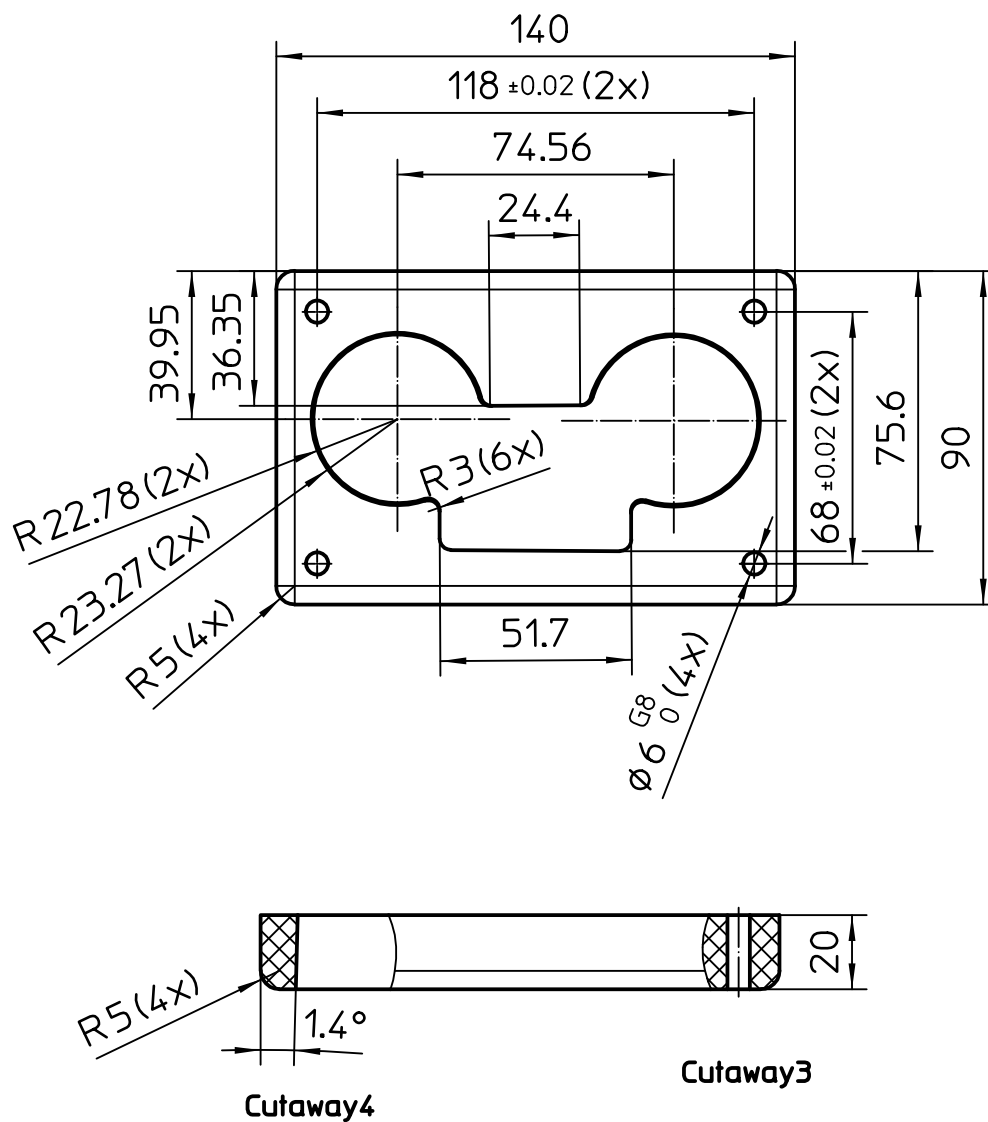
3D-Model no. / Version:				Status:							
Zwischenerzeugnis / Provisionals			Maßst. / Scale 1:2	Materialkurztext / Material short text							
Werkstoff / Material				Base para apertar objetivas (Ultravid)							
Copyright© by Leica Camera AG 	Size ISO 14405 (E)	General tolerances Iso2768-mH									
	Konstr. / Designed	22/07/21	J. Lopes					Zeichnungs-Nr. / Drawing no.	Kurzz. / Initials	ÄZ/Rev.	Bl/Sh
	Geprüft / Checked							434-570.110-000 W200		00	1
	Freigeg. / Released										
CONFIDENTIAL	Änd.M.-Nr. / Revision Notification no.:						Blätter gesamt / Sheets in total: 4				



3D-Model no. / Version:				Status:					
Zwischenerzeugnis / Provisionals			Maßst. / Scale 1:2	Materialkurztext / Material short text					
Werkstoff / Material PVC/POM				Base para apertar objetivas (Ultravid)					
Copyright© by Leica Camera AG	Size ISO 14405 (E)	General tolerances Iso2768-mH		01 - Base inferior					
	Konstr. / Designed	22/07/21	J. Lopes			Zeichnungs-Nr. / Drawing no.	Kurzz. / Initials	ÄZ/Rev.	Bl/Sh
	Geprüft / Checked					434-570.110-000 W200		00	2
	Freigeg. / Released								
CONFIDENTIAL	Änd.M.-Nr. / Revision Notification no.:						Blätter gesamt / Sheets in total: 4		



3D-Model no. / Version:				Status:					
Zwischenerzeugnis / Provisionals			Maßst. / Scale 1:2		Materialkurztext / Material short text				
Werkstoff / Material POM					Base para apertar objetivas (Ultravid)				
Copyright© by Leica Camera AG		Size ISO 14405 (E)	General tolerances Iso2768-mH		02 - Base intermédia				
		Konstr. / Designed	22/07/21	J. Lopes	Zeichnungs-Nr. / Drawing no.		Kurzz. / Initials	ÄZ/Rev.	Bl/Sh
		Geprüft / Checked			434-570.110-000 W200			00	3
		Freigeg. / Released							
CONFIDENTIAL		Änd.M.-Nr. / Revision Notification no.:					Blätter gesamt / Sheets in total: 4		



3D-Model no. / Version:				Status:			
Zwischenerzeugnis / Provisionals			Maßst. / Scale 1:2	Materialkurztext / Material short text			
Werkstoff / Material PVC/POM				Base para apertar objetivas (Ultravid)			
Copyright© by Leica Camera AG	Size ISO 14405 (E)	General tolerances Iso2768-mH		03 - Base de fixação			
	Konstr. / Designed	22/07/21	J. Lopes				
	Geprüft / Checked						
	Freigeg. / Released						
CONFIDENTIAL	Änd.M.-Nr. / Revision Notification no.:			Zeichnungs-Nr. / Drawing no.	Kurzz. / Initials	ÄZ/Rev.	Bl/Sh
				434-570.110-000 W200		00	4