

Melhoria de Qualidade no Fabrico de Binóculos

Daniela Fernandes Dias

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Rui Jorge de Lemos Neto

Orientador na empresa: João Paulo Amorim



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

2018-09-03

À minha família.

A maturidade é o equilíbrio entre a coragem e a consideração.

Stephen R. Covey em “Os 7 Hábitos das pessoas altamente eficazes”, 2004

Resumo

A crescente competitividade dos mercados aliada a clientes cada vez mais exigentes e com necessidades mais específicas, desencadeou a evolução da gestão da qualidade. Assim, atualmente, a prevenção de defeitos desde a conceção do produto e ao longo de todas as etapas produtivas é um trabalho extremamente importante, que se realiza com o envolvimento de todas as partes interessadas das empresas e respetivas cadeias de abastecimento. Para assegurar resultados financeiros sólidos, as empresas procuram diariamente diminuir os custos de não qualidade, reduzir os desperdícios e aumentar a sua produtividade, através da melhoria contínua dos seus processos.

A presente dissertação enquadra-se num processo de melhoria contínua desenvolvido na empresa Leica S.A., sediada na Alemanha, cuja fábrica se localiza em Portugal. A Leica S.A. dedica-se à produção de aparelhos óticos de precisão, destacando-se entre os seus produtos, as máquinas fotográficas, os binóculos e as miras telescópicas. Sendo a principal missão da empresa a entrega ao cliente de um produto de excelência, é importante garantir que os seus processos assim o reflitam.

O projeto tem como principal objetivo a análise e desenvolvimento de métodos e procedimentos que se apliquem na linha de montagem do binóculo *Noctivid*, com o intuito de diminuir a rejeição do produto final. Através da análise e reconhecimento do processo de montagem do binóculo e do estudo dos registos de rejeição final da empresa, foi possível selecionar as principais causas de rejeição final, das quais se selecionou entre os demais defeitos, a irregularidade do sistema de focagem e a sujidade nos componentes óticos.

Numa fase inicial foi necessário realizar um estudo minucioso das principais características funcionais do produto, bem como, compreender os diferentes termos que lhe estão associados. Paralelamente, e como adição ao estudo, foram acompanhadas as diferentes secções produtivas da empresa, a secção mecânica e a secção ótica, que dão origem aos diferentes componentes em vidro e componentes metálicos, que, em conjunto, compõem o produto final. Este estudo serviu de suporte ao trabalho realizado na linha de montagem, local onde foi desenvolvido o projeto, garantindo uma melhor perceção e interpretação dos defeitos. Para cada defeito foram propostas ações de melhoria, cuja viabilidade foi estudada e analisada através de testes específicos.

A qualidade geral dos componentes óticos representa a categoria com maior taxa de rejeição no controlo de qualidade, nomeadamente no que diz respeito a sujidades (partículas soltas), que perturbam a visibilidade do utilizador, quando ampliadas pelo binóculo. Para este defeito foram testadas duas propostas de melhoria: a lavagem das ferramentas utilizadas na linha de montagem do binóculo *Noctivid* e a escovagem dos corpos em zonas críticas de ocorrência de partículas. Estas propostas evidenciaram uma redução da taxa média de rejeição final de 7,88% para 6,33%.

As características funcionais de movimento representam a segunda categoria com maior taxa de rejeição final, sendo que o movimento de focagem irregular representa quase 75% da totalidade de defeitos dessa categoria. Neste tema, encontraram-se problemas no método de aplicação do adesivo Lacre-Kirol-Violeta, para o qual se propôs a alteração do método de aplicação, bem como, defeitos no casquilho de apoio do botão de focagem decorrentes de problemas no processo de fabrico da matéria-prima, que originou uma reclamação ao fornecedor. Propôs-se ainda, a revisão do projeto para um valor de folga que se considera insuficiente. Estas propostas permitiram uma diminuição da taxa média de rejeição final de 2,5% para 0%.

Findo o projeto, considera-se que os objetivos foram cumpridos, criando-se uma base sólida para a melhoria de qualidade, onde as abordagens podem ser replicadas nos demais produtos, reforçando, assim, a competitividade e excelência da empresa.

Quality Improvement in the Manufacture of Binoculars

Abstract

The growing competitiveness of markets coupled with increasingly demanding customers and with more specific needs has triggered the evolution of quality management. Thus, the prevention of defects from the conception of the product and throughout all the productive stages is an extremely important work that is carried out with the involvement of all the interested parties of the companies and their respective supply chains. To ensure sound financial results, companies seek on a daily basis to reduce the costs of non-quality, reduce waste and increase their productivity through continuous improvement of their processes.

The present dissertation is part of a process of continuous improvement developed in the company Leica S.A., based in Germany, whose factory is located in Portugal. Leica S.A. is dedicated to the production of precision optical devices, highlighting among its products, cameras, binoculars and telescopic sights. Being the main mission of the company to deliver to the customer a product of excellence, it is important to ensure that its processes reflect this.

The main objective of the project is the analysis and development of methods and procedures that are applied to the assembly line of the Noctivid binoculars, in order to reduce rejection of the final product. Through the analysis and recognition of the binocular assembly process and the study of the final rejection records of the company, it was possible to select the main causes of final rejection, from which it was selected among the other defects, the irregularity of the focusing system and the dirt optical components.

In an initial phase it was necessary to carry out a detailed study of the main functional characteristics of the product, as well as to understand the different terms associated with it. At the same time, and as an addition to the study, the company's different sections, the mechanical section and the optical section, which give rise to the different components in glass and metal components, which together make up the final product, were monitored. This study supported the work performed on the assembly line, where the project was developed, ensuring a better understanding and interpretation of the defects. For each defect, improvement actions were proposed, whose viability was studied and analyzed through specific tests.

The overall quality of the optical components represents the category with the highest rejection rate in the quality control, in particular with regard to dirt (loose particles), which disrupt the visibility of the user when enlarged by the binoculars. For this defect, two improvement proposals were tested: the washing of the tools used in the assembly line of the Noctivid binocular and the brushing of the bodies in critical areas of occurrence of particles. These proposals evidenced a reduction in the mean final rejection rate from 7.88% to 6.33%.

The functional characteristics of movement represent the second category with the highest final rejection rate, with irregular focus motion representing almost 75% of all defects. In this theme, problems were encountered in the method of applying the lacre-kirol-violet adhesive, for which it was proposed to change the method of application, as well as defects in the support bushing of the focus knob due to problems in the manufacturing process of the raw material, which gave rise to a complaint to the supplier. It was also proposed to revise the project to a gap value that is considered insufficient. These proposals allowed a reduction in the average final rejection rate from 2.5% to 0%.

Once the project is completed, it is considered that the objectives have been fulfilled, creating a solid basis for quality improvement, where the approaches can be replicated in other products, thus reinforcing the company's competitiveness and excellence.

Agradecimentos

À Leica, em especial ao meu orientador João Paulo Amorim, pela exigência e confiança demonstrada ao atribuir-me este projeto. Ao responsável pela qualidade do produto, Marco Faria, que me acompanhou, elucidou e guiou ao longo de todo o projeto, e ao responsável pela linha de montagem do produto, Bruno Fernandes, por toda a motivação, conhecimento transmitido e rápida integração na equipa. Aos colaboradores da secção de qualidade de entrada, secção ótica, secção mecânica por me apresentarem o seu trabalho e demonstrarem disponibilidade para qualquer dúvida. Aos colaboradores da secção de montagem por seguirem diariamente o meu trabalho com boa disposição e companheirismo, em especial à Rosa Maria, montadora do botão de focagem do binóculo *Noctivid*, por toda a paciência, amabilidade e cumplicidade demonstrada.

Ao professor Rui Neto, pela serenidade com que sempre me recebeu e pela sua vontade de acrescentar sempre valor à dissertação, que me permitiu ganhar motivação para enfrentar momentos de insegurança naturais a um projeto desta dimensão. Pelos conhecimentos transmitidos e pela disponibilidade demonstrada em momentos cruciais do projeto, o meu sincero obrigada.

À professora Henriqueta Nóvoa, pela serenidade, auxílio e experiência transmitida.

Aos meus colegas e amigos que a FEUP me permitiu conhecer, que me fizeram sorrir diariamente e por cada vivência partilhada que guardarei na minha memória. Sem eles este percurso não teria o mesmo significado e, por isso, o meu sincero obrigada. Um especial agradecimento, ao Bernardo e à Beatriz, pela constante motivação na realização deste projeto e preocupação demonstrada.

Aos meus amigos de longa data, Mariana, Beatriz e Zé, pela genuína amizade, confiança partilhada e por os sentir sempre perto mesmo quando estão longe.

Ao Kevin Cardoso, pelo incansável apoio na realização deste projeto. Por me escutar diariamente e pela compreensão, serenidade e ternura demonstrada.

À minha família por ser o meu porto seguro, em especial:

À minha Mãe, por todos os ensinamentos e valores transmitidos, por me dar liberdade de traçar o meu percurso e ficar sempre ao meu lado.

Ao meu Pai, pelas demonstrações de orgulho nas minhas conquistas – infelizmente, já não conto com a sua presença, mas carrego a sua energia positiva em tudo o que faço.

À minha Tia, pela sua constante presença e cujo apoio foi imprescindível para a finalização desta etapa.

Por fim, ao meu Irmão, Tiago, por estar presente em todos os momentos da minha vida e pelo amor incondicional que nos une.

Agradeço, a cada um de vós, que acrescentou algo especial.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	O Projeto na Leica – Aparelhos Óticos de Precisão, S.A.....	1
1.3	Objetivos do projeto	2
1.4	Metodologia.....	3
1.5	Estrutura da dissertação	4
2	Enquadramento Teórico.....	5
2.1	Instrumentos óticos de observação à distância.....	5
2.2	Caracterização de um binóculo	6
2.3	Componentes óticos de um binóculo	7
2.3.1	Prismas.....	7
2.3.2	Lentes	8
2.4	Principais características dos binóculos.....	10
3	Caracterização da situação atual	15
3.1	O binóculo Leica <i>Noctivid</i>	15
3.2	Processo Produtivo do binóculo Leica <i>Noctivid</i>	17
3.2.1	Controlo de qualidade de entrada.....	18
3.2.2	Mecânica	20
3.2.3	Ótica	24
3.2.4	Montagem.....	26
4	A Qualidade.....	31
4.1	Conformidade do Produto – Controlo de Qualidade	32
4.2	Rejeição do produto final.....	34
4.3	Descrição dos problemas a abordar	35
4.3.1	Defeitos Óticos	36
4.3.2	Funções – Movimentos.....	37
5	Defeitos Óticos - Sujidades	39
5.1	Descrição do Problema.....	39
5.2	Procedimento experimental e Propostas de solução	41
5.3	Conclusões	46
6	Funções – Movimento de Focagem Irregular	47
6.1	Descrição do Problema.....	47
6.2	Procedimento experimental e Propostas de solução	50
6.3	Conclusões	57
7	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro.....	59
	Referências	61
	ANEXO A: Informação Técnica do Binóculo Leica <i>Noctivid</i>	65
	ANEXO B: Árvore do produto Simplificada	66
	ANEXO C: Classe de qualidade de superfície mecânica e número de defeitos admitidos.....	68
	ANEXO D: Montagem dos subgrupos mecânicos.....	69
	ANEXO E: Montagem dos subgrupos óticos.....	72
	ANEXO F: Montagem efetiva do binóculo <i>Noctivid</i>	75
	ANEXO G: Especificações do Lacre-Kirol-Violeta	79
	ANEXO H: Desenho do casquilho de apoio e da bucha de engate híbrido trabalhada	80
	ANEXO I: Medidas dimensionais registadas no posto do sistema de focagem	81
	ANEXO J: Propriedades do material do casquilho e da anilha de ajuste	82
	ANEXO L: Imagens recolhidas e caracterização química pelo microscópio eletrónico	83

Siglas

AU – *Arbeitsunterweisung* (Instrução de Trabalho)

BR – Baixo Relevô

HDC – *High Durability Coated*

HEPA – *High-Efficiency Particulate Air*

ISSO – *The International Organization for Standardization*

LCP – *Leica Camera Portugal*

LCW – *Leica Camera Wetzlar*

POM – Polióxido de metileno

PVD – *Physical Vapor Deposition*

QS – *Qualitätssicherung* (Controlo de Qualidade)

US – Ultrasom

UV – Ultravioleta

Índice de Figuras

Figura 1 - Organigrama de Garantia de Qualidade.....	2
Figura 2 - Classificação dos instrumentos óticos de observação à distância	6
Figura 3 - Constituição de um binóculo, adaptado de Camera (2015).....	6
Figura 4 - À esquerda: binóculo com <i>porro prism</i> ; à direita: binóculo com <i>roof prism</i> , adaptado de Bouton (2010).....	8
Figura 5 - Representação da trajetória de um feixe de luz paralelo - a) - e proveniente de uma fonte pontual - b) - numa lente convergente (Silva 2007).....	9
Figura 6 - Representação da trajetória de um feixe de luz paralelo numa lente divergente (Silva 2007).....	9
Figura 7 - Comparação entre ampliação 7x e 10x num binóculo (Witt 2018).....	10
Figura 8 - Transformação da imagem real para imagem virtual num binóculo (Canon 2000)	11
Figura 9 - Representação da abertura de um binóculo, adaptado de Porter e Porter (2017)	11
Figura 10 – Campo de visual aparente e real num binóculo de ampliação 8x, adaptado de Nikon (2016)	12
Figura 11 - Pupila de saída num binóculo, adaptado de Reviews (2018)	12
Figura 12 – Representação do sistema de focagem central (Nikon 2013)	13
Figura 13 - Representação dos sistemas de ajuste de dioptrias, adaptado de (Leica Camera AG 2018).....	14
Figura 14 - Binóculo Leica <i>Noctivid</i> (Leica Camera AG 2018).....	15
Figura 15 - Representação do trajeto de luz no interior do binóculo Leica <i>Noctivid</i> (Porter e Porter 2017).....	16
Figura 16 - Janela de escala do sistema de dioptrias do binóculo Leica <i>Noctivid</i> (Porter e Porter 2017).....	17
Figura 17 - Esquema simplificado do processo de produção do binóculo Leica <i>Noctivid</i>	17
Figura 18 - Placa de testes para comparação subjetiva de defeitos de superfície	18
Figura 19 - Classes de qualidade de superfícies mecânicas	19
Figura 20 - <i>Layout</i> da secção mecânica.....	20
Figura 21 - Simulação da montagem de um componente em vidro num componente metálico	21
Figura 22 - Representação das etapas do processo de anodização	23
Figura 23 - <i>Layout</i> da linha de montagem do binóculo <i>Noctivid</i>	26
Figura 24 - Representação de uma sala com fluxo de ar unidirecional vertical (Marketing 2018)	27
Figura 25 - <i>Flowbox</i> com fluxo de ar laminar, unidirecional e vertical (Kimaoprema).....	28
Figura 26 - Taxa de rejeição final do binóculo Leica <i>Noctivid</i> entre março de 2017 e março de 2018	35
Figura 27 - Diagrama de Pareto para categorias de defeitos	36
Figura 28 - Gráfico circular para defeitos óticos.....	37

Figura 29 - Gráfico circular para defeitos de Funções - Movimentos.....	37
Figura 30 - Localização e quantificação das partículas verificadas no posto de montagem dos subgrupos óticos	39
Figura 31 - Zona de maior incidência de partículas	40
Figura 32 - Rosca do corpo do binóculo danificada.....	41
Figura 33 - Ferramentas utilizadas na montagem do binóculo Leica <i>Noctivid</i>	41
Figura 34 - Conjunto de ferramentas que foi submetido a lavagem.....	42
Figura 35 - Ferramentas utilizadas na montagem do binóculo Leica <i>Noctivid</i> após lavagem .	42
Figura 36 - Localização e quantificação das partículas verificadas no posto de montagem dos subgrupos óticos após lavagem das ferramentas	43
Figura 37 - Motor e folha branca para realização do teste de escovagem dos corpos.....	44
Figura 38 - Partículas libertadas após realização do teste de escovagem dos corpos	44
Figura 39 - Localização e quantificação das partículas verificadas no posto de montagem dos subgrupos óticos após escovagem dos corpos	45
Figura 40 - Classificação e quantificação dos retrabalhos efetuados no posto do sistema de focagem	48
Figura 41 - Representação da zona que provoca mais retrabalho no posto do sistema de focagem	49
Figura 42 - Representação da folga necessária para permitir o movimento leve do botão de focagem	49
Figura 43 - Vestígios de Lacre-Kirol-Violeta num grupo de acionamento	50
Figura 44 - Diagrama causa-efeito para o problema do botão pesado	51
Figura 45 - Medições dimensionais do conjunto casquilho de apoio e bucha de engate	51
Figura 46 - Classificação e quantificação dos retrabalhos efetuados no posto do sistema de focagem para o teste do botão pesado	53
Figura 47 - Visualização da anilha de ajuste (em cima) e do casquilho de apoio (em baixo) ao microscópio ótico	54
Figura 48 - Classificação e quantificação dos retrabalhos efetuados no posto do sistema de focagem após esmerilagem.....	57
Figura 49 - Informação técnica do binóculo Leica <i>Noctivid</i>	65
Figura 50 - Árvore do produto Simplificada	66
Figura 51 - Classe de qualidade de superfície mecânica e número de defeitos admitidos.....	68
Figura 52 - Montagem do corpo esquerdo e direito	69
Figura 53 - Eixos de focagem.....	69
Figura 54 - Grupo de acionamento	70
Figura 55 - Casquilho de focagem.....	71
Figura 56 - Sistema Prisma.....	72
Figura 57 - Oculares	73
Figura 58 - Manga de Focagem.....	73

Figura 59 - Objetiva.....	74
Figura 60 - União dos corpos	75
Figura 61 - Sistema de Focagem	76
Figura 62 - Montagem dos subgrupos óticos	77
Figura 63 - Ajustagem binocular	77
Figura 64 - Teste de estanquicidade	78
Figura 65 - Ajuste de dioptrias e colocação da escala	78
Figura 66 - Especificação do Lakre-Kirol-Violeta	79
Figura 67 - Desenho do casquilho de apoio	80
Figura 68 - Desenho da bucha de engate híbrido trabalhada.....	80

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Classificação das classes das salas limpas e respetiva concentração de partículas. 27

Tabela 2 - Programas de lavagem da máquina de ultrasom 28

1 Introdução

No âmbito da dissertação realizada no 2º semestre do 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, o presente projeto foi desenvolvido em ambiente empresarial – *in casu*, na Leica – Aparelhos Óticos de Precisão, S.A. De forma concisa, o projeto consistiu na avaliação dos principais problemas relativos a um determinado modelo de binóculo, bem como na proposta e implementação de medidas que permitissem a redução de rejeição final do produto.

Neste capítulo introdutório, dividido em cinco subcapítulos, inicia-se pelo enquadramento do projeto, referindo-se o contexto que motivou a sua realização. Segue-se uma breve apresentação da empresa, os objetivos pretendidos para o final do projeto e a metodologia seguida. Por fim, é apresentada a estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

Atualmente, a qualidade dos produtos é uma preocupação e um estímulo para a melhoria contínua de todas as organizações. De facto, a qualidade de um produto é avaliada pela conformidade com os requisitos, que garantem que o produto final seja isento de defeitos e satisfação, desta forma, as necessidades dos seus clientes.

A crescente competitividade na indústria de aparelhos óticos de precisão, exige um esforço contínuo para a obtenção de maior eficácia e eficiência nos processos, que garantam a excelência do produto final. Neste sentido, o presente projeto foi realizado em conjunto com o departamento de qualidade da empresa, na secção de montagem do produto, onde procuramos identificar imperfeições e, consequentemente, descobrir e agir sobre as causas, com o principal objetivo de diminuir a rejeição final do mesmo.

A secção de montagem da empresa, é o culminar de todos os processos produtivos, sendo desta forma, imprescindível que cada linha de montagem e, mais concretamente, cada método, seja realizado com o máximo rigor e qualidade que é exigida ao produto final Leica. Na linha de montagem do binóculo *Noctivid*, binóculo no qual o projeto incidiu, a elevada taxa de rejeição final revela problemas associados à montagem dos mesmos, que derivam de métodos deficientes ou de problemas nas peças que não respeitam os requisitos. A cada produto rejeitado na linha, é intrínseco um retrabalho associado que requer o dispêndio de recursos e tempo para o realizar, constituindo assim custos de não qualidade indesejáveis.

1.2 O Projeto na Leica - Aparelhos Óticos de Precisão, S.A

A Leica – Aparelhos Óticos de Precisão, S.A foi fundada em 1973, por deliberação do Conselho de Administração da empresa alemã, como uma extensão da Ernst Leitz Wetzlar GmbH, fundada em 1925. As suas pequenas instalações iniciais, em Vila Nova de Famalicão, tinham como objetivo a montagem de microscópios. Um ano mais tarde, a Leica Portugal mudou de instalações onde se manteve durante 40 anos, na mesma cidade de Vila Nova de Famalicão. Em

março de 2013, ano em que a empresa comemorava os 40 anos em Portugal, foram inauguradas novas instalações industriais na freguesia de Lousado, onde se mantém até ao momento.

Neste momento, a empresa conta com a colaboração de mais de 800 pessoas com elevado grau de competência e experiência para o qual foram treinadas. A unidade fabril é constituída por três secções produtivas, sendo elas, a Secção Mecânica, a Secção Ótica e a Secção de Montagem. Ademais, a empresa conta ainda com a Secção do Desenvolvimento e Gestão dos Projetos, a Secção da Qualidade, da Manutenção e a Administrativa, que acompanha e enaltece a produção nas suas diversas vertentes. Cada uma destas secções está a cargo de um chefe de secção, responsável pelas diversas decisões inerentes à secção. Para além disso, 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.

Os produtos finais obtidos na empresa Leica Portugal, são armazenados e posteriormente enviados para a empresa mãe na Alemanha. Para além da produção interna, a Leica Portugal realiza também projetos para entidades externas nas suas instalações.

O presente projeto foi desenvolvido no âmbito da secção de qualidade da empresa, mais concretamente, no binóculo Leica *Noctivid*, que se insere no grupo *sport optics*. Na Figura 1, é apresentado o organigrama da Garantia de Qualidade da empresa, com o grupo onde o presente projeto decorreu apresentado a cinzento. O grupo da *sport optics*, é constituído pelos binóculos, para observação e exploração da natureza; pelas miras, utilizadas para caça desportiva; pelos *rangefinders*, binóculos e monóculos tecnologicamente evoluídos com capacidade de medição de distâncias e cálculo balístico; e pelas *Spotting Scopes*, que são pequenos telescópios portáteis que permitem observar objetos terrestres em mais pormenor (ampliação na ordem dos 50 vezes).



Figura 1 - Organigrama de Garantia de Qualidade

1.3 Objetivos do projeto

O presente projeto surgiu no âmbito de problemas de qualidade numa determinada linha de montagem que se ressentiam nos indicadores finais do produto, com uma taxa de rejeição final elevada. Desta forma, foram propostos os seguintes objetivos iniciais para o presente projeto, que visam a melhoria de qualidade do binóculo Leica *Noctivid*:

- Conhecer o produto e suas características de forma detalhada, através da observação dos processos de produção do mesmo na Secção Ótica, Mecânica e na Montagem;
- Estudar os registos de rejeição final do produto, no histórico da empresa, e identificar os maiores problemas associados a ele;

- Observar a linha de montagem do produto e identificar deficiências no método de produção do mesmo;
- Propor e implementar medidas com consistência para a redução da taxa de rejeição final do produto;
- Acompanhar os resultados obtidos e concluir acerca da eficácia das medidas implementadas.

O binóculo *Noctivid*, é um produto recente na Leica, que foi lançado no mercado em agosto de 2016, pelo que a sua linha de montagem não se encontra otimizada, ressentindo-se numa rejeição interna do produto elevada. Desta forma, o projeto tem como principal objetivo a redução dos binóculos não conformes no final da linha de montagem, através da realização de um plano delineado que começa pelo conhecimento profundo do produto e passa pela identificação dos principais defeitos ou problemas encontrados, pela procura das causas, pela implementação de medidas ou propostas de solução e culmina numa análise da potencial melhoria obtida.

1.4 Metodologia

Após conhecida a atividade da empresa, bem como, enquadrado o produto a ser estudado e respetivo processo produtivo, a metodologia seguida no projeto foi a seguinte:

- Definir concretamente os problemas existentes na linha de montagem do binóculo *Noctivid*, através da observação dos postos de trabalho e estudo dos registos de rejeição final do produto. A análise do registo foi realizada com suporte a gráficos de barras, gráfico de pareto e gráfico circular. Com este trabalho, priorizou-se a resolução dos problemas que causavam maiores custos de não qualidade, quer pela necessidade de retrabalho quer por desperdícios para sucata. Como será apresentado posteriormente, os problemas abrangidos no projeto foram as sujidades e o movimento de focagem irregular.
- Obter informação na forma de dados para posterior análise. Neste âmbito, foram realizados testes piloto para quantificar e avaliar com profundidade cada problema. No caso das sujidades, foram registadas as zonas do binóculo mais afetadas por essa não conformidade. No caso do movimento de focagem irregular, foi estudado o tipo de defeito encontrado após montagem. Estes dados foram posteriormente agrupados e analisados através de gráficos de barras.
- Analisar os dados obtidos na primeira fase do projeto e concluir acerca de possíveis causas do problema. Nesta fase do projeto, foi essencial a presença no terreno para observação do processo de montagem, com o intuito de percecionar falhas no método de montagem, mão-de-obra incapacitada ou defeitos nos componentes.
- Expor propostas de melhoria e realizar estudos experimentais, por forma a averiguar a viabilidade das mesmas, e percecionar de que modo as propostas afetam, positiva ou negativamente, que os resultados obtidos se encontrem conforme especificação. Os resultados destes testes experimentais são apresentados, igualmente, em gráficos de barras.
- Comparar os registos de rejeição final analisados no início do projeto com os registos de rejeição final no final do projeto, após implementação de algumas propostas de melhoria, e concluir se o objetivo de diminuição da taxa de rejeição final foi atingido.

1.5 Estrutura da dissertação

A presente dissertação compõem-se de sete capítulos, nomeadamente: Introdução, Enquadramento Teórico, Caracterização da situação atual, A qualidade, Defeitos óticos – sujidades, Funções – movimento de focagem irregular e Conclusões e perspectivas de trabalho futuro.

No Capítulo 2, é realizada uma revisão bibliográfica dos binóculos, inaugurando-se com a evolução dos instrumentos óticos de observação à distância, prosseguindo-se com a caracterização de um binóculo e dos componentes óticos que o integram e finalizando-se com a apresentação e explicação das principais características de um binóculo, como é o caso da ampliação e abertura, campo visual, pupila de saída, focagem e ajuste de dioptrias. Estes são os temas que se considera estarem enquadrados no âmbito do projeto e aos quais se recorreu na consecução dos objetivos deste.

No Capítulo 3, são apresentadas algumas características do produto estudado – binóculo Leica *Noctivid*. É também abordado o processo produtivo do binóculo, desde a secção de qualidade de entrada, passando para a secção mecânica e secção ótica até à secção de montagem. Para cada uma, são apresentadas as matérias primas, os processos de fabrico e respetivos tratamentos de superfície.

No Capítulo 4, primeiramente é realizada uma breve definição de “Qualidade”. De seguida, são apresentadas as especificações de conformidade do produto e é apresentado o panorama geral da taxa de rejeição final do mesmo. Por fim, são descritos, de forma detalhada, os problemas conexos ao projeto de dissertação.

Nos Capítulos 5 e 6, que incidem sobre cada uma das áreas de atuação do projeto, são descritos os problemas ao pormenor e são apresentados os resultados obtidos para os diversos testes experimentais realizados, com base nos quais se propõe soluções. Por fim, é realizada uma conclusão acerca da melhoria de qualidade do produto final, tendo em conta as propostas efetuadas.

No Capítulo 7, são transmitidas as principais conclusões do projeto, bem como, possíveis perspectivas de trabalhos futuros.

2 Enquadramento Teórico

Neste capítulo, procede-se a uma breve revisão bibliográfica que se considera estar enquadrada nas áreas de atuação do presente projeto, tendo em consideração os objetivos que o norteiam. Inicia-se pela apresentação dos instrumentos óticos de observação à distância e sua evolução, seguindo-se uma breve caracterização de um binóculo. Sequentemente são apresentados os componentes óticos do binóculo e suas características técnicas e funcionais e, por fim, expõe-se um conjunto de características que definem e distinguem os binóculos nas suas diversas variedades.

2.1 Instrumentos óticos de observação à distância

Os instrumentos de observação à distância evoluíram rapidamente desde a invenção do telescópio refrator 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 cerca de 100 anos, só passados quase 300 anos é que apareceram os binóculos com prismas, tal como os conhecemos atualmente. Este atraso pode ser explicado pelo facto dos binóculos não serem apenas a junção de dois telescópios, mas apresentarem desafios como, por exemplo, o alinhamento dos eixos óticos e a necessidade de se ajustar a distância interpupilar para que corresponda à do utilizador (Koshel et al. 2011). Neste sentido, 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.

Um ano depois, em 1609, surgiu a ótica Galileana (inventada por Galileu Galilei) que utiliza uma lente convexa na objetiva e uma côncava na ocular, pelo que, com esta conjugação, não necessita da utilização de prisma para corrigir a imagem invertida. Contudo, o campo de visão não era muito amplo e a sua ampliação era de apenas 2 a 3 vezes. Em meados do século XIX foram desenvolvidos binóculos galileanos com poder de ampliação superior, cerca de 5 a 6 vezes, no entanto, o campo de visão diminuiu com o aumento desta. Estes binóculos foram amplamente utilizados na Primeira Guerra Mundial e em aplicações militares e, ainda hoje se aplica este princípio, geralmente em alguns monóculos e binóculos de ópera e teatro (Koshel et al. 2011).

Após a demonstração da ótica Galileana, os telescópios evoluíram rapidamente. Em 1611, Johannes Kepler inventou o telescópio astronómico 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 resulta numa imagem invertida para o observador. Assim, em 1645 Anton Maria Schyrle de Rheita utilizou uma combinação de lentes com o intuito de obter imagens eretas – não invertidas – para criar um telescópio terrestre (Koshel et al. 2011). O telescópio terrestre difere do anterior precisamente pela incorporação de um sistema que permita obter imagens não invertidas. Isto é possível pela combinação de lentes de Schyrle, que tendem a criar telescópios muito compridos pela grande quantidade de componentes óticos, ou pela utilização de prismas que apareceram anos mais tarde.

Os binóculos com prismas permitem a correção da imagem invertida e, ao mesmo tempo, a redução do caminho ótico, tornando o binóculo mais compacto. Por conseguinte, a utilização de lentes convexas na objetiva permite um campo de visão mais amplo e com maior ampliação para diferentes tamanhos de objetivas. O primeiro binóculo desta categoria foi inventado em 1854 por Ignatio Porro, atribuindo o mesmo nome ao binóculo. Mais tarde, em 1897, uma nova configuração de prismas com forma de telhado foi incorporada nos binóculos, tendo a sua origem em Wetzlar na Alemanha (Koshel et al. 2011). Existem, assim, dois tipos de binóculos de prisma: o prisma *Porro* e o prisma *Roof* (*Dach*), que serão abordados no subcapítulo 2.3.1.

A utilização dos instrumentos de observação terrestre sofreu evolução ao longo dos anos. Primeiramente eram utilizados para fins náuticos e militares, sendo que posteriormente se expandiu para diversas áreas como desporto, teatro, caça, amantes da natureza e lazer.

Na Figura 2, apresenta-se um breve resumo da classificação dos instrumentos óticos de observação à distância.

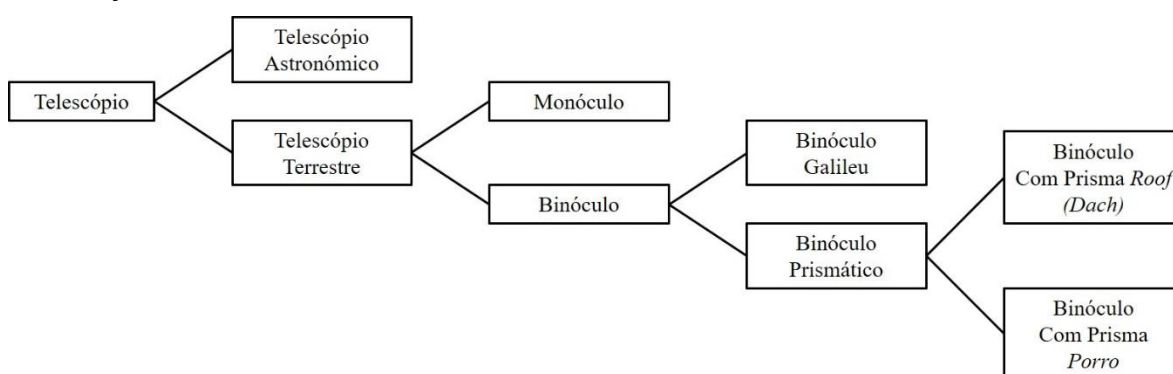


Figura 2 - Classificação dos instrumentos óticos de observação à distância

2.2 Caracterização de um binóculo

O binóculo, como o da Figura 3, é um instrumento ótico de observação composto essencialmente por dois telescópios refratores unidos por um sistema articulado que permite regular a distância entre eles de acordo com as características anatómicas de cada observador. A distância entre pupilas, ou distância interpupilar, varia de pessoa para pessoa e pode ser ajustada movendo o binóculo em torno do seu eixo pivô. Esta está bem ajustada quando os utilizadores conseguem observar uma imagem única e circular através dos dois olhos sem esforço visual.

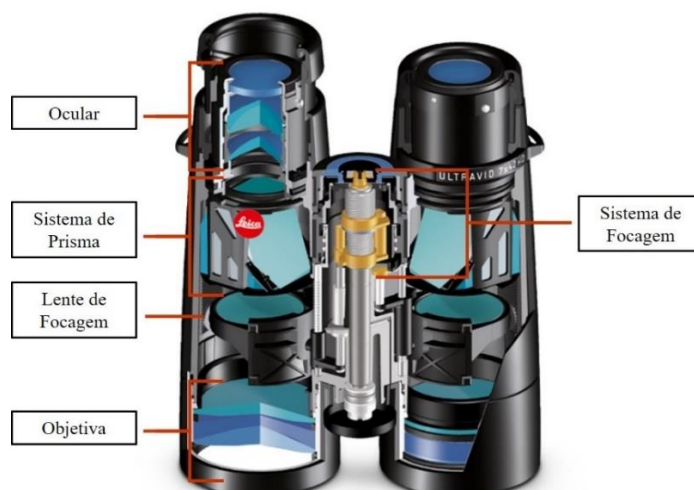


Figura 3 - Constituição de um binóculo, adaptado de Camera (2015)

As lentes frontais que ficam voltadas para o objeto que se pretende observar são as objetivas. As lentes que ficam próximas dos olhos (lado oposto) são as oculares. Para uma melhor qualidade ótica, cada objetiva é constituída por duas lentes, pelo menos, e cada ocular é formada por três a cinco lentes, consoante os modelos e preços (Almeida 2004).

A objetiva tem como função reunir a luz de fora e focar a imagem do objeto dentro do binóculo (Porter 2017). Desta forma, uma objetiva com maior diâmetro apresenta maior capacidade de captação de luz, bem como, um maior campo de imagem. A ocular tem como objetivo ampliar a imagem e apresentá-la ao olho humano (Porter 2017). Para que esta imagem seja corretamente apresentada, é necessário que o utilizador mantenha uma determinada distância da ocular, designada por *eye relief*.

Nos espaços compreendidos entre os extremos de cada telescópio refrator encontram-se um conjunto de prismas, que apresentam como finalidades tornar a imagem ereta - não invertida - e reduzir o comprimento aparente dos telescópios do binóculo (Almeida 2004).

O binóculo integra ainda um sistema de focagem e outro de compensação da diferença de dioptrias que pode existir entre cada olho (Benez 2014), que são adaptados e corrigidos através de uma lente de focagem.

Um binóculo reúne associadamente diversas vantagens, das quais se destacam (Almeida 2004):

- Campo visual razoavelmente extenso, muito maior que o de um telescópio;
- Fácil de utilizar e de apontar para o objeto pretendido, devido à extensão do seu campo;
- Grande poder de captação de luz, originando imagens bastante luminosas;
- Possibilidade de utilizar simultaneamente os dois olhos, o que permite maior conforto e a sensação de uma imagem tridimensional;
- Pequenas dimensões e pouco peso;
- Não necessita de tempo de instalação e alinhamentos prévios.

2.3 Componentes óticos de um binóculo

O sistema ótico dos binóculos é constituído essencialmente por dois tipos de componentes: lentes, que se destacam na constituição das objetivas e das oculares; e os sistemas prisma. Na conceção e fabrico destes componentes existem fatores que interferem diretamente na qualidade ótica, nomeadamente o alinhamento e qualidade das lentes; a qualidade dos prismas; o tratamento dado às superfícies dos óticos; a estabilidade mecânica do corpo e a estabilidade dos mecanismos de focagem (Benez 2014).

2.3.1 Prismas

Os prismas são elementos óticos geométricos que podem assumir um grande número de funções diferentes em ótica. Eles são os responsáveis pela compactação do binóculo e pela correção da imagem invertida. Se na composição do sistema ótico não constasse o prisma, a imagem ver-se-ia invertida, isto é, a parte de cima da imagem observada seria visível em baixo e o lado esquerdo seria visível no lado direito e vice-versa (Almeida 2004).

Segundo Hecht (2002), a função mais frequente de um prisma é o controlo da orientação de uma imagem ou da direção de propagação do feixe de luz. Estas funções são garantidas pelas superfícies retas e polidas do prisma, que garantem a reflexão interna total.

Outra consideração a ter em conta são os vidros utilizados no fabrico dos prismas. Os binóculos com prismas de vidro BaK-4 (*crown* de bário), são capazes de proporcionar imagens mais brilhantes devido à melhor qualidade do material. Já os binóculos de menor qualidade têm prismas feitos de vidro BK-7 (borossilicato), material de qualidade inferior, e, por isso, fornecem imagens menos brilhantes e menos nítidas (Almeida 2004).

Geralmente os binóculos são classificados de acordo com o tipo de prisma, sendo que atualmente se destacam dois designs: o *roof prism* (*Dach*, em alemão) e o *porro prism*, como se observa na Figura 4 (Tonkin 2013).



Figura 4 - À esquerda: binóculo com *porro prism*; à direita: binóculo com *roof prism*, adaptado de Bouton (2010)

O sistema eretor de prismas *Porro* foi patenteado em 1854 pelo ótico italiano Paolo Ignazio Porro (1801-1875) (Almeida 2004). Este sistema é caracterizado internamente pela combinação de dois prismas de *Porro* desfasados num ângulo de 90°, e externamente pelo não alinhamento entre o eixo da objetiva e da ocular do binóculo (Germany 2009). Desta forma, os binóculos com este sistema apresentam maiores dimensões que os do sistema de prismas *Roof*, devido ao caminho ótico ser truncado na forma da letra Z.

O prisma *Roof* ou prisma de telhado (devido à sua forma), foi inventado pelo ótico alemão Moritz Hensoldt em 1897 (Koshel et al. 2011). Estes prismas são mais compactos que os de *Porro*, embora geralmente as imagens sejam menos luminosas e o campo visual mais estreito (Celestron 2010). Os binóculos deste tipo reconhecem-se pela disposição da objetiva e ocular em linha, contrariamente aos prismas *Porro* apresentados anteriormente.

A luz incidente num prisma *Roof* sofre seis reflexões enquanto que no prisma *Porro* apenas existem quatro. Em consequência da reflexão extra provocada pelo primeiro prisma do sistema de prismas *Roof* (que não dispõem de reflexão interna total), e da lente extra, resulta uma maior perda de luz em relação aos anteriores que apresentam máxima transmissão. Para obter a qualidade de imagem semelhante, é necessário aplicar um revestimento de superfície para aumentar a reflexão. Por outro lado, no fabrico da superfície do segundo prisma é necessária tecnologia avançada para o seu processamento com precisão, de forma a atingir imagens nítidas e com qualidade (Tonkin 2013).

2.3.2 Lentes

O binóculo, tal como a maioria dos instrumentos óticos de observação, é constituído por mais que uma lente, sendo que, geralmente, todos estes componentes se encontram centrados num

único eixo – o eixo ótico. Uma lente é um elemento que atua sob o princípio de refração, introduzindo descontinuidades no meio em que a luz se propaga inicialmente, e que reconfigura a distribuição da energia transmitida, independentemente da frequência da luz (Pereira 2008).

Nestes elementos óticos, a refração pode ocorrer em dois tipos de superfícies: esféricas e asféricas, sendo que a forma destas superfícies determina o tipo de reformatação da onda luminosa. As lentes asféricas têm superfícies (também designadas por dióptros) que não são planas nem esféricas e apresentam ausência de aberrações, embora sejam difíceis de produzir com precisão. Pelo contrário, as lentes com superfícies esféricas permitem a formação de imagens de objetos extensos com luz não necessariamente monocromática. Contudo, os erros de formação da imagem, as aberrações, são inevitáveis e estão sempre presentes (Hecht 2002). Na maioria das aplicações são utilizadas lentes com superfícies esféricas pela sua boa qualidade, frequentemente revestidos com filmes dielétricos finos para controlar as suas propriedades de transmissão (Pereira 2008).

Existem, essencialmente, dois tipos de lentes: as convergentes e as divergentes. As primeiras, representadas na Figura 5, são convexas dado que são mais espessas no eixo do que no bordo. Neste tipo de lentes, quando um feixe de raios paralelos atravessa a lente, estes convergem num único ponto – o foco (Silva 2007).

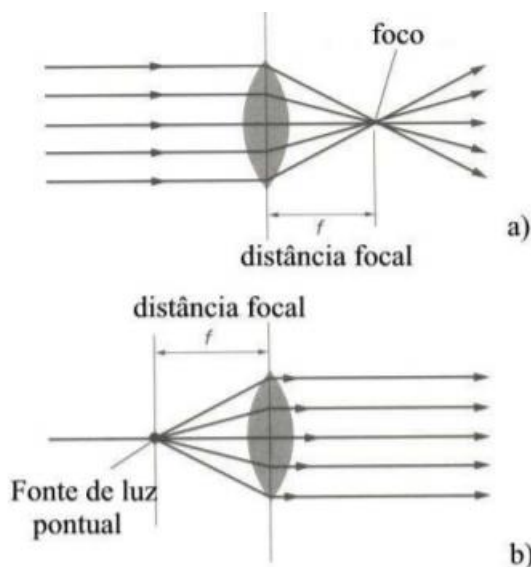


Figura 5 - Representação da trajetória de um feixe de luz paralelo - a) - e proveniente de uma fonte pontual - b) - numa lente convergente (Silva 2007)

No que diz respeito às divergentes, representadas na Figura 6, a sua geometria é côncava visto que são mais finas no eixo do que no bordo e, desta forma, quando iluminadas por feixes colimados (ou paralelos) dão origem a feixes divergentes (Silva 2007).

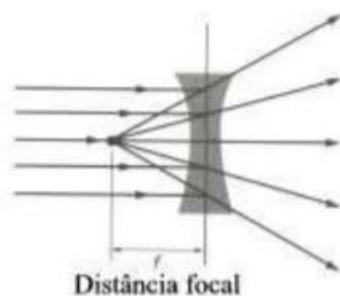


Figura 6 - Representação da trajetória de um feixe de luz paralelo numa lente divergente (Silva 2007)

Uma lente que consista só de um elemento (duas superfícies de refração) é uma lente simples; a presença de mais de um elemento torna a lente composta, como é o caso do dubleto (duas lentes), e do triplete (três lentes). Ademais, uma lente também é classificada como fina ou espessa, dependendo se a sua espessura pode ser ou não desprezada, respetivamente (Tipler e Mosca 2012).

Na composição do binóculo as lentes são elementos fundamentais que constituem as objetivas, oculares e lentes de focagem estando agrupadas de forma simples ou composta, consoante os efeitos óticos pretendidos. A qualidade ótica dos componentes do binóculo influencia diretamente a qualidade do produto final e, desta forma, a escolha entre a enorme variedade de vidro é realizada consoante o índice de refração, a dureza e geometria pretendidas (Tonkin 2013).

2.4 Principais características dos binóculos

Para que se consiga satisfazer as mais variadas necessidades dos clientes é necessário uma vasta gama de modelos de binóculos. Desta forma, os binóculos apresentam um conjunto de características que os definem como únicos e os distinguem entre os demais. As principais características a referir são: ampliação e abertura, campo visual, pupila de saída, focagem e dioptrias.

- **Ampliação e Abertura**

Os binóculos são identificados pela multiplicação de dois números como, por exemplo, 10x42, sendo que o primeiro se refere à ampliação e o segundo indica o diâmetro de cada uma das objetivas em milímetros (Lizdas 2013; Birdwatcher). Esta medida do diâmetro das objetivas é designada por abertura (Nikon 2016).

Na prática, um binóculo com ampliação de 10x faz com que os objetos observados sejam aproximados 10x, ou seja, os objetos passam a ser vistos como se estivessem a 1/10 da distância a que realmente se encontram (Witt 2018). Assim, nesse binóculo, um animal como o apresentado na Figura 7, que se encontre a uma distância de 700 metros, vê-se como se estivesse a $700\text{m}/10 = 70\text{m}$ (Nikon 2016). Observando a Figura 7, é também possível verificar que quanto maior a ampliação, para a mesma abertura, menor é o campo de visão abrangido pelo binóculo (Witt 2018). Uma vez que o binóculo amplifica de igual forma as vibrações que os braços transmitem aquando da observação, para ampliações mais elevadas mais se notam as vibrações na imagem observada, pelo que pode ser necessário a utilização de tripés (Lizdas 2013).



Figura 7 - Comparação entre ampliação 7x e 10x num binóculo (Witt 2018)

A objetiva reúne a luz de fora e foca a imagem do objeto dentro do binóculo (Figura 8 - a) que depois de invertida pelo sistema de prisma é amplificada pelo conjunto de lentes da ocular (Figura 8 – b) (Canon 2000).

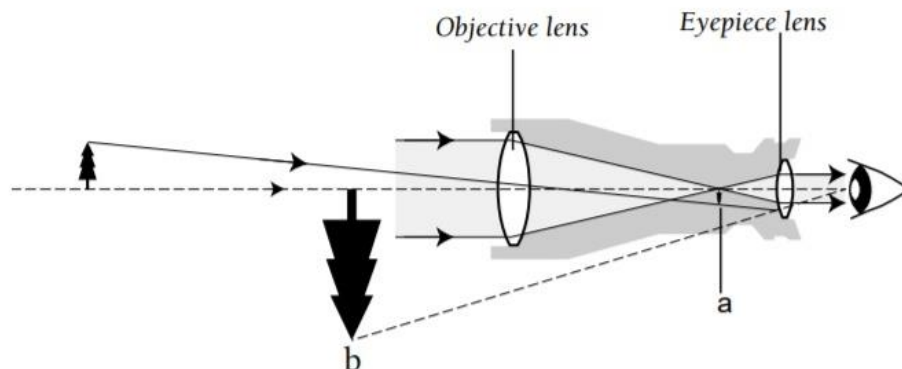


Figura 8 - Transformação da imagem real para imagem virtual num binóculo (Canon 2000)

Matematicamente, a ampliação resulta da razão entre o tamanho aparente de um objeto e o que o observador vê a olho nu, calculado pela Equação 1. Por exemplo, um objeto a 800 m de distância visto através de uns binóculos com ampliação 8x, parece ter o mesmo tamanho desse mesmo objeto visto a 100 m de distância a olho nu (Nikon 2018).

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

No que concerne à abertura, especificada na Figura 9, o diâmetro da objetiva influencia a capacidade de captação de luz do binóculo. Desta forma, quanto maior for o diâmetro útil da objetiva, mais luz entra no binóculo e, conseqüentemente, mais luminosa será a imagem do objeto observado, para uma dada ampliação (Thompson e Thompson 2005).



Figura 9 - Representação da abertura de um binóculo, adaptado de Porter e Porter (2017)

Frequentemente, os binóculos são agrupados em três categorias consoante o diâmetro das suas objetivas, sendo eles: os *compact*, com diâmetro de objetiva inferior a 25 mm; os de tamanho padrão (ou *standardizados*), que apresentam um diâmetro de objetiva compreendido entre 25 mm e 50 mm; e os de observação astronómica, cujo diâmetro de objetiva é igual ou superior a 50 mm (Thompson e Thompson 2005).

- **Campo Visual**

Em alguns binóculos, para além da especificação de ampliação e abertura apresentados anteriormente, é também indicado o diâmetro ou ângulo do seu campo de visão real. Este

representa a extensão, linear ou angular, perpendicular à linha de visão, de uma paisagem observada à distância de 1000 metros, medida a partir do ponto central das lentes da objetiva (Lizdas 2013; Nikon 2016).

De outro modo, quando se observa pelas oculares, vê-se um círculo de contorno nítido que emoldura a imagem observada. O diâmetro desse círculo é visível pelo olho segundo um ângulo considerável, designado de campo aparente, que representa o quão amplo esse campo de visão parece a olho nu (Almeida 2004; Nikon 2016). Na prática, o campo aparente é igual ao campo real multiplicado pela ampliação do binóculo. De um modo geral, quanto maior for a ampliação do binóculo, menos extenso será o campo visual (Canon 2000). Na Figura 10, representa-se o campo de visão real e aparente para um binóculo de ampliação 8x.

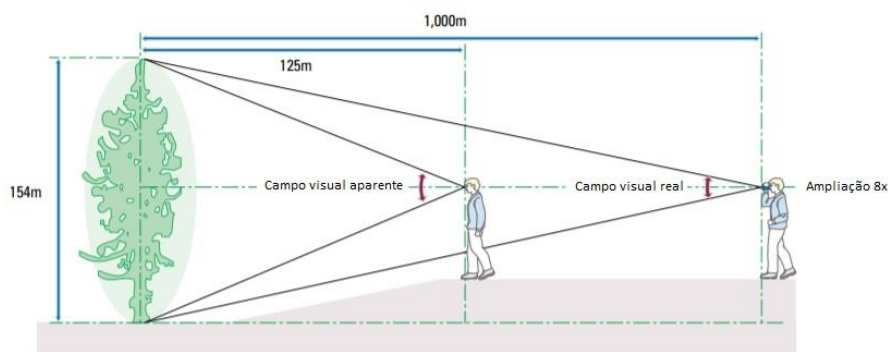


Figura 10 – Campo de visual aparente e real num binóculo de ampliação 8x, adaptado de Nikon (2016)

- **Pupila de Saída**

O círculo luminoso existente no centro de cada ocular é designado por pupila de saída (Figura 11), sendo que esta apenas é visível quando o instrumento ótico permite a entrada de luz pelas objetivas (Thompson e Thompson 2005). Este valor é apresentado pelo diâmetro do círculo em milímetros (Porter 2017).



Figura 11 - Pupila de saída num binóculo, adaptado de Reviews (2018)

A pupila de saída é calculada dividindo a abertura ou o diâmetro útil da objetiva pela ampliação (Lizdas 2013) e representa a quantidade de luz que atravessa todo o sistema ótico do binóculo até finalmente atingir o olho do observador (Reviews 2018). Por exemplo, num binóculo 8x42 a pupila de saída será $42 \text{ mm} / 8 = 5,3 \text{ mm}$, tal como mostra a Equação 2. Desta forma, quanto maior for a ampliação para um mesmo valor de abertura, menor será o valor da pupila de saída (Reviews 2018).

$$\text{Pupila de saída} = \frac{\text{Diâmetro útil da lente da objetiva}}{\text{Ampliação}} \quad (2)$$

O diâmetro da pupila de saída ideal depende dos olhos e da idade de cada utilizador. De facto, as pupilas do olho humano diminuem com a idade e aumentam durante a noite e, por isso, têm de ser feitos compromissos que se adequem às necessidades de cada utilizador (Porter 2017). Se a pupila de saída for superior à pupila do olho humano, muita da luz captada pelo binóculo está a ser desperdiçada. Caso a pupila de saída seja menor que a pupila do olho humano, a imagem será percecionada como parcialmente preta. O caso perfeito seria a pupila de saída ser igual à pupila do olho humano onde seria visível a máxima luz e a imagem apresentada seria o mais brilhante possível (Reviews 2018). No entanto, quanto maior for a pupila de saída maior é o campo de visão apresentado ao olho humano (Thompson e Thompson 2005).

Os utilizadores com óculos, ao observarem a imagem, podem bater com os óculos no rebordo da ocular, o que leva a que o olho fique muito afastado da ocular e que estes não consigam usufruir de todo o campo visual. Para colmatar este problema, é benéfico que o binóculo permita ao utilizador manter uma determinada distância da ocular, designada por *eye relief* (Porter 2017). No entanto, um não utilizador de óculos teria de manter os olhos mais afastados e também não iria usufruir de todo o campo visual. Desta forma, existe nos binóculos um rebordo de borracha retráctil nas extremidades do tubo de cada ocular que garante a ajustagem a cada situação.

- **Focagem**

Um binóculo apresenta a capacidade de focar a diferentes distâncias exibindo imagens nítidas. Para isto, o sistema geralmente usado é o sistema de focagem central, embora também existam binóculos com focagem individual (Witt 2018).

O sistema de focagem central, representado na Figura 12, é caracterizado por um botão de focagem localizado no eixo da articulação entre as duas metades do binóculo. O botão de focagem é composto por um grupo de acionamento no seu interior, que permite a focagem através da rotação dos seus componentes. Esta rotação é transmitida aos eixos de focagem que permitem interligar o movimento rotativo do grupo de acionamento ao movimento axial das mangas, permitindo a focagem simultânea dos dois olhos. Este sistema é vantajoso para uma observação em que o ponto de focagem se esteja sempre a mover (Porter e Porter 2017).



Figura 12 – Representação do sistema de focagem central (Nikon 2013)

Por outro lado, nos binóculos de focagem individual, cada ocular apresenta a própria focagem, sendo necessário focar a imagem para cada olho individualmente antes de iniciar a observação, o que se manifesta num tempo de ajuste mais elevado (Witt 2018).

O sistema consegue focar desde a distância mínima a que o binóculo está apto a focar, designada por *close focus*, até ao infinito.

- **Ajuste de Dioptrias**

Os olhos humanos são assimétricos, pelo que focam a diferentes distâncias (Almeida 2004). Por este motivo, existe o sistema de ajuste das dioptrias que permite compensar diferenças entre a visão esquerda e direita, localizado em ambas as oculares, ou apenas para o olho direito através de um mecanismo localizado na ocular direita (Figura 13 – à esquerda) ou integrado no botão de focagem central (Figura 13 – à direita). Nestes dois últimos casos, é realizada primeiramente a focagem para o olho esquerdo (com o olho direito fechado) através do botão de focagem central. Em seguida, fechando o olho esquerdo e abrindo o direito realiza-se a compensação (focagem) só para o olho direito (Lizdas 2013; Almeida 2004).



Figura 13 - Representação dos sistemas de ajuste de dioptrias, adaptado de (Leica Camera AG 2018)

Geralmente, por forma a facilitar o ajustamento da focagem, é incorporada uma escala à volta do tubo da ocular ou na roda de focagem, com uma amplitude que normalmente varia entre -5 e 5 (10 dioptrias), sendo que o valor “0” é atribuído para uma pessoa que tenha os dois olhos exatamente iguais (Birdwatcher).

A Dioptria, D, é a unidade de medida do poder de refração de um sistema ótico e representa a capacidade de divergir ou convergir os raios à entrada de lente esférica, sendo igual ao inverso da distância focal, f , como é apresentado na Equação 3 (Monoyer 1872).

$$Dioptrias = \frac{1}{Distância\ Focal} \quad (3)$$

3 Caracterização da situação atual

Para que seja possível resolver os problemas que motivaram a presente dissertação é necessário primeiramente ter um conhecimento efetivo do produto e do processo produtivo da Leica. Deste modo, neste capítulo começar-se-á por apresentar o produto, o binóculo Leica *Noctivid*, referindo-se as suas características gerais, bem como, os seus elementos estruturais e respetivas funções. Seguidamente, são indicadas as principais secções da Leica que intervêm diretamente ou indiretamente na conceção do produto final, assim como são explicados os processos que lhes estão associados.

3.1 O binóculo Leica *Noctivid*

O binóculo *Noctivid* – Figura 14, é um dos mais recentes binóculos da Leica tendo iniciado a sua produção em série em setembro de 2016. Diferencia-se dos restantes produtos da área de observação por ser o primeiro que apresenta dupla ponte na articulação.



Figura 14 - Binóculo Leica *Noctivid* (Leica Camera AG 2018)

Este binóculo é inspirado na natureza e especialmente concebido para observadores de pássaros, atividade comumente conhecida por *birdwatching*. A sua capacidade de apresentar os contornos perfeitos e definidos, contrastes e brilhos excecionais mesmo em situações de pouca luminosidade, e a neutralidade das suas imagens fazem deste, um dos melhores binóculos no mercado para esse efeito.

Existem dois modelos do binóculo *Noctivid*, o modelo 8x42 e o 10x42, tendo em comum o diâmetro efetivo da objetiva (42mm). O que os distingue são as diferentes ampliações, sendo que esta é superior no modelo 10x42 exibindo, desta forma, uma melhor interpretação dos detalhes.

O corpo do binóculo, é constituído por dois meios corpos, sendo produzido numa liga de magnésio obtida por fundição injetada (trabalho subcontratado), pelo que apresenta bastante

robustez e resistência e confere enorme leveza ao produto final (Porter e Porter 2017). 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 (Leica Camera AG 2018). Por outro lado, o design de ponte aberta torna o binóculo ergonómico, pois permite que o utilizador o segure apenas com uma mão abrangendo toda a área superficial de contorno do mesmo.

O desempenho ótico do binóculo *Noctivid* é excelente, a imagem é bastante nítida e rica em contraste. No sistema de prismas *Roof* são utilizados vidros de alta transmissão Schott HT™, que garantem cores de todo o espectro visível e máxima transmissão de luz – Figura 15. O *Noctivid* possui assim uma transmissão de luz de 91% no modelo 10x42 e 92% no modelo 8x42. A este fator acresce o facto do revestimento antirreflexo em todas as lentes e prismas ter sido significativamente otimizado conferindo, desta forma, uma neutralidade de cor praticamente perfeita (Porter e Porter 2017).

As superfícies das lentes expostas ao ambiente são terminadas com revestimento AquaDura®, repelente à sujidade e humidade, que permite a utilização do binóculo em qualquer condição de tempo (Leica Camera AG 2018). Além do mais, este revestimento reduz a quantidade de luz que é refletida pela lente, por forma a maximizar a fração de luz que atinge os nossos olhos, e transmite todo o espetro de luz visível (Porter e Porter 2017).



Figura 15 - Representação do trajeto de luz no interior do binóculo Leica *Noctivid* (Porter e Porter 2017)

Para que os utilizadores com óculos possam disfrutar de todo o campo visual sem bater com os óculos no rebordo da ocular o *Noctivid* apresenta um *eye relief* elevado (Porter e Porter 2017). Por outro lado, o rebordo de borracha retrátil nas extremidades de cada ocular permite ajustá-las e fixá-las em qualquer ponto, para um melhor conforto para utilizadores sem óculos.

A focagem no *Noctivid* é extremamente precisa e são necessárias apenas duas voltas do botão para se conseguir focar desde a distância mínima a que o binóculo está apto a focar (*close focus*) até ao infinito. No mesmo sentido, o botão grande, suave e ergonomicamente localizado no centro do corpo permite uma focagem delicada e precisa para menores diferenças de distância, o que é bastante relevante para os observadores de pássaros que seguem o alvo ao longo do seu movimento (Leica Camera AG 2016a).

Como já é tradição na Leica, o botão das dioptrias, que permite compensar diferenças entre a visão esquerda e direita, é integrado no botão de focagem (Leica Camera AG 2016a). 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 – Figura 16 - para que cada utilizador consiga facilmente reajustar a configuração através do valor da escala determinado inicialmente. Outra inovação do binóculo

Noctivid é o aparecimento do seu número de série na janela transparente onde não pode ser perdido (Porter e Porter 2017).



Figura 16 - Janela de escala do sistema de dioptrias do binóculo Leica *Noctivid* (Porter e Porter 2017)

Aquando do binóculo quase pronto, o corpo é enchido com gás inerte, o azoto, e selado, o que evita que, em determinadas condições, ocorra condensação dentro do mesmo. Estas características fazem com que o binóculo *Noctivid* seja à prova de água até uma profundidade de 5 metros (Leica Camera AG 2016b; Porter e Porter 2017).

No ANEXO A: Informação Técnica do Binóculo Leica *Noctivid* é apresentada toda a informação técnica para ambos os modelos do binóculo *Noctivid*.

3.2 Processo Produtivo do binóculo Leica *Noctivid*

O processo produtivo da Leica está dividido em três secções produtivas: a secção mecânica (onde se produzem os componentes metálicos), a secção ótica (onde se produzem os componentes em vidro) e a secção de montagem. Existe ainda uma quarta secção que é responsável pela logística e pelo controlo de qualidade de entrada dos componentes e matérias primas. Cada uma destas secções está a cargo de um departamento específico com um grupo bem definido que garante o bom funcionamento e controlo do processo. Na Figura 17, é apresentado um esquema simplificado das etapas que conduzem à obtenção do binóculo *Noctivid*, em que é possível ter em mente as diferentes secções e as suas principais áreas de atuação.

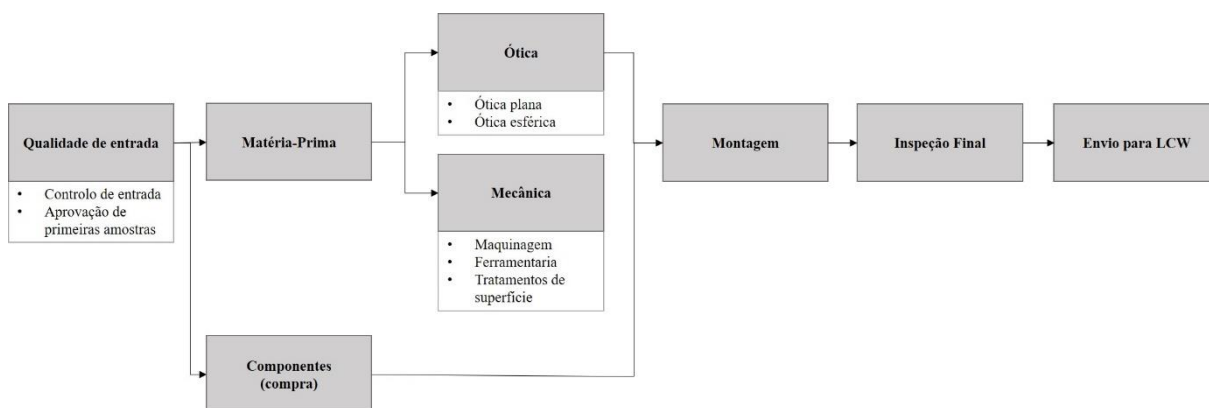


Figura 17 - Esquema simplificado do processo de produção do binóculo Leica *Noctivid*

No ANEXO B: Árvore do Produto Simplificada, é possível verificar que o binóculo *Noctivid* é composto por 6 grupos principais, sendo que alguns ainda possuem subgrupos de nível inferior, que perfazem um total de 91 peças. As diferentes peças podem passar pela secção ótica ou mecânica, para sofrerem alguns tratamentos antes de serem direcionadas para a secção de montagem, ou serem diretamente encaminhadas para esta secção após compra. Todas as peças antes de serem direcionadas para as secções produtivas passam pelo controlo de qualidade de

entrada. No ANEXO B, é ainda apresentada uma breve descrição da função que cada grupo principal executa no produto final.

3.2.1 Controlo de qualidade de entrada

A secção de controlo de qualidade de entrada encontra-se dividida em dois grandes grupos: a qualidade ótica (vidro) e a qualidade mecânica (metais). Para ambos os grupos são efetuados dois tipos de trabalhos: aprovação de primeiras amostras e controlo de entrada regular.

A aprovação de primeiras amostras é um trabalho mais exaustivo e exigente. Neste grupo são verificadas peças que vão entrar pela primeira vez na Leica e que, por isso, todas as especificações do componente têm de ser totalmente verificadas para evitar possíveis erros.

A primeira aprovação no grupo ótico é um processo mais demorado pois existem algumas especificações que só se conseguem validar por “teste de funcionalidade” ou mesmo depois das peças serem tratadas na secção ótica. Os diferentes componentes óticos vêm acompanhados pelo seu desenho que contém as especificações e um certificado de material que tem de ser validado. A verificação e a avaliação de impurezas e imperfeições dos componentes óticos na Leica está de acordo com a norma DIN ISO 10110-7, sendo que para avaliar as especificações apresentadas anteriormente a Leica utiliza placas de teste para uma comparação subjetiva como a que é apresentada na Figura 18.

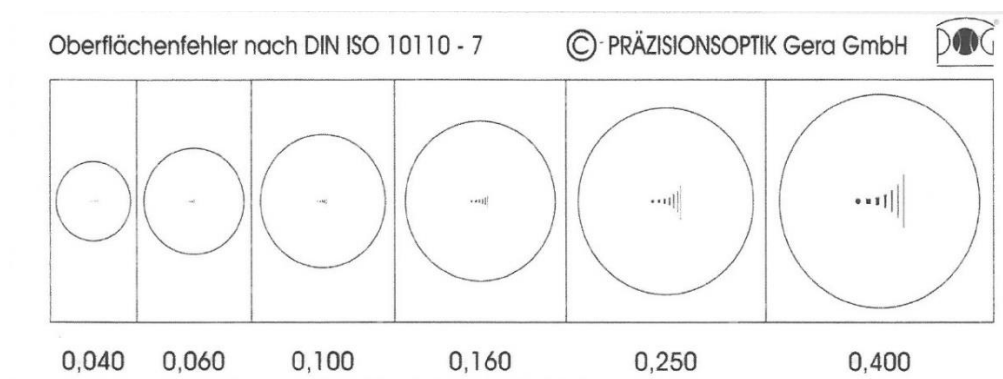


Figura 18 - Placa de testes para comparação subjetiva de defeitos de superfície

Os principais defeitos que podem ocorrer na ótica são classificados em quatro tipos: defeitos na superfície (riscos), defeitos no material (bolhas, estrias e inclusões), defeitos de revestimento ou sujidades (pó e pelos), e, as suas especificações limitam a quantidade e grandeza do que é permitido, como se apresenta seguidamente.

Especificação no desenho: 5 ou 15 / NxA; C N'xA'; L N''A''; EA'''

- 5 – Lentes individuais
- 15 – Lentes coladas, módulos e sistemas
- N – Número permitido de defeitos
- A – Grandeza do defeito
- C – Designação para defeito de revestimento
- L – Designação para riscos longos finos
- E – Designação para partidos (esmilhados)

Outros defeitos que podem ocorrer estão relacionados com defeitos dimensionais, defeitos no material (código 0/, 1/ e 2/), irregularidades na superfície (código 3/) e defeitos no eixo

ótico (código 4/). Estas especificações tanto são válidas para o controlo de entrada do material como para saída e inspeção final dos componentes óticos.

No caso da aprovação do grupo mecânico é necessário que o componente em causa venha devidamente acompanhado do desenho e suas especificações, e em caso de peças extremamente exigentes de um certificado de material.

Neste grupo, as superfícies encontram-se divididas em quatro tipos: superfícies representativas (superfícies particularmente importantes a nível de qualidade), superfícies constantemente visíveis, superfícies visíveis ocasionalmente ou superfícies sem requerimentos decorativos. Na Figura 19, são apresentadas as diferentes superfícies e as diferentes classes de qualidade em que estas se inserem.

Quality class	f (fine)	m (medium)	g (coarse)
Quality	Quality grade		
1	Representative surface f1		
2	f2	Representative surface m2	
3	Constantly visible surface f3	m3	Representative surface g3
4	f4	m4	g4
5	Occasionally visible surface		
	f5	m5	g5
6	Surfaces without decorative requirement		
	f6	m6	g6

Figura 19 - Classes de qualidade de superfícies mecânicas

Para que a nível visual a peça esteja em conformidade, no desenho é especificado o tipo de tratamento de superfície e a classe de qualidade pretendida para a peça. Os principais defeitos que ocorrem são depressões, danos e falta de material. No ANEXO C: Classe de qualidade de superfície mecânica e número de defeitos admitidos, são apresentadas um conjunto de tabelas onde se pode consultar, consoante o tipo de tratamento e a classe de qualidade, a quantidade (abaixo da linha) e a tolerância (acima da linha) que o componente pode conter.

Para os componentes mecânicos, para além de uma inspeção visual, é necessário fazer uma inspeção a nível dimensional, geométrica e estética.

Para correta realização das medições anteriormente apresentadas existe um conjunto alargado de instrumentos de medição, que se encontra à disposição de todos os colaboradores. Estes instrumentos apresentam-se devidamente identificados, caso estejam calibrados, para que as medições sejam feitas com precisão e sem erros.

Uma vez aprovadas as primeiras amostras, o controlo regular de entrada pode ser feito por amostragem (consoante o tamanho do lote) ou por inspeção a 100%, para peças com preço elevado ou com requisitos muito exigentes. Neste caso, os componentes (óticos ou mecânicos) são inspecionados a nível visual e/ou estético e são controladas dimensões com tolerâncias até 0,1 milímetros.

Existe uma opção que permite que determinados lotes entrem diretamente para as secções produtivas, sem passar no controlo de entrada, para peças que chegam com frequência e que nunca foram denotadas negativamente.

3.2.2 Mecânica

Neste subcapítulo serão apresentadas as principais etapas pela qual passam os componentes metálicos do binóculo *Noctivid*. A Secção da Mecânica encontra-se dividida em três grandes grupos, a nomear, os processos de fabrico (maquinagem), os tratamentos de superfície e a ferramentaria. Na Figura 20, pode-se observar um esquema representativo da disposição destes grupos.

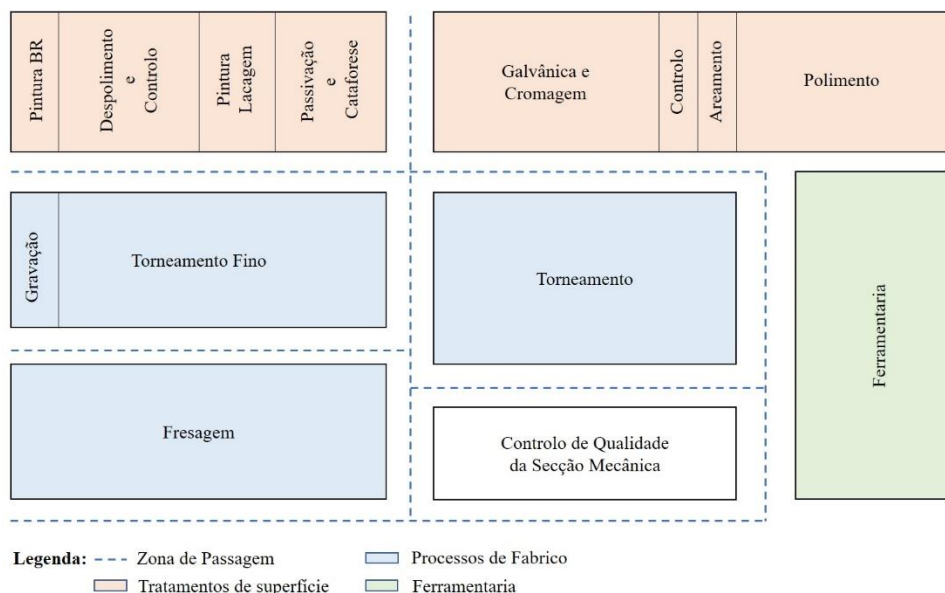


Figura 20 - Layout da secção mecânica

Existe um conjunto alargado de componentes do binóculo *Noctivid* que passam pela Secção da Mecânica, no entanto, o trajeto pela qual estes passam varia de peça para peça. Primeiramente, é importante referenciar que os principais componentes funcionais do binóculo *Noctivid* apresentam como matéria-prima as ligas de magnésio e as ligas de alumínio. No entanto, existe uma percentagem pequena de componentes cuja matéria-prima é o latão, os aços e o aço inoxidável.

O alumínio é o terceiro elemento mais abundante na Terra (Askeland Donald e Phulé Pradeep 2006) e de grande utilidade na indústria mecânica (Chiaverini 1986). Juntamente com as suas ligas, compreende um conjunto de propriedades desejáveis no fabrico do binóculo. A sua utilização prende-se com a sua baixa massa específica ($2,70 \text{ g/cm}^3$), a sua elevada condutividade térmica e elétrica, a sua elevada resistência à corrosão e oxidação, bem como, a boa ductilidade e maquinabilidade (Chiaverini 1986; Askeland Donald e Phulé Pradeep 2006).

O magnésio apresenta uma massa específica mais baixa que o alumínio ($1,74 \text{ g/cm}^3$), uma boa condutividade térmica e elétrica e uma boa maquinabilidade. A sua resistência à corrosão é próxima da do alumínio, exceto em ambientes salinos (Askeland Donald e Phulé Pradeep 2006). As suas ligas podem conter alumínio em conjunto com outros elementos de menor teor para conferirem maior resistência mecânica; ou, por vezes, não conter alumínio como elemento ligante, mas sim, zircónio ou terras raras (Chiaverini 1986).

Estas matérias-primas conferem ao produto final uma baixa massa total, bem como, boas propriedades mecânicas, que aliadas aos tratamentos de superfície conferem a resistência necessária ao produto. Desta forma, é garantido que o utilizador disfrute da leveza e confortabilidade do binóculo, e igualmente da sua estabilidade em diversos ambientes.

De seguida, apresenta-se o primeiro grupo da Secção de Mecânica: os processos de fabrico. Dentro deste grupo existem três setores que são de extrema importância para a maioria das peças de revolução do binóculo: o torneamento CNC, o torneamento CNC fino e a fresagem.

Dos componentes que passam neste setor é possível salientar os aros e anéis que envolvem as objetivas e as oculares, o grupo de acionamento (responsável pela focagem e ajuste das dioptrias) e o anel da manga de focagem. Cada um deles pode passar por um ou mais setores consoante a necessidade do trabalho a efetuar e a disponibilidade homem/máquina. É de salientar o setor do torneamento fino responsável por garantir os mais pequenos detalhes, seja a nível funcional como, por exemplo, realizar roscas nos anéis das objetivas, seja a nível estético. Posteriormente, os componentes óticos em vidro serão montados ou colados nestes aros ou anéis metálicos, como é exemplificado na Figura 21, com o grupo da objetiva.

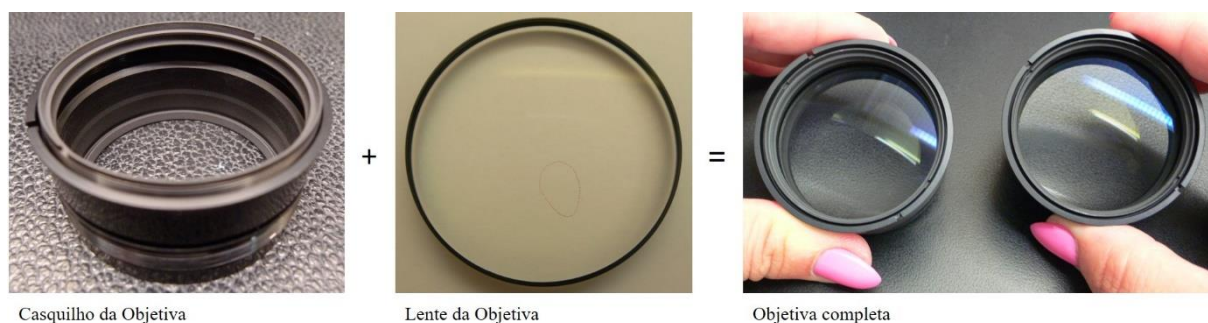


Figura 21 - Simulação da montagem de um componente em vidro num componente metálico

Por fim, é importante salientar que em todos os setores (torneamento CNC, torneamento fino e fresagem) existe um controlo de qualidade anexo a cada máquina onde se controlam algumas grandezas à medida que as peças vão sendo produzidas. Além disso, existe um controlo de qualidade final em cada um dos setores, onde podem ser realizadas mais algumas verificações e ainda alguns acabamentos, como escovagem e polimento manual, antes de passarem para as próximas fases.

O segundo grupo da Secção de Mecânica a ser apresentado é a ferramentaria. Este grupo apresenta a capacidade de fabricar ferramentas específicas para as diferentes operações realizadas durante o processo produtivo. Em especial, no caso da montagem, existe a necessidade de utilizar determinadas ferramentas que auxiliem este processo, que são únicas e exclusivas para determinados produtos e por isso são concebidas especificamente para cada função.

Os materiais mais utilizados no fabrico de ferramentas são as ligas de alumínio, o aço inoxidável e o polímero polióxido de metileno (POM).

Por último, mas não menos importante, será apresentado o grupo de tratamentos de superfície. Dentro deste grupo destacam-se os seguintes setores: polimento, areamento, anodização do alumínio, passivação metálica, cataforese e pintura lacagem. Alguns destes setores são responsáveis por aumentar a resistência à corrosão, diminuir a reflexão e melhorar a aparência das superfícies (anodização do alumínio, cataforese e pintura lacagem), sendo os outros responsáveis por preparar a superfície para tais tratamentos (polimento, areamento e passivação metálica).

- **Polimento:**

Neste setor realiza-se o polimento manual de vários componentes antes de estes passarem para os restantes processos de tratamento de superfície. Como um trabalho manual, são utilizados processos minuciosos e ferramentas específicas, e é este trabalho artesanal que permite à Leica afirmar que “Não existem duas peças iguais”.

O único componente do binóculo *Noctivid* que passa nesta secção é o corpo (liga de magnésio) para garantir que a superfície visível para o utilizador apresenta os acabamentos desejados.

- **Areamento:**

O areamento ou granalhagem é uma preparação da superfície para posterior anodização que se baseia na projeção de partículas com baixa granulometria e com elevada dureza nas superfícies da peça desejadas. Este pré-tratamento permite uniformizar as superfícies da peça e eliminar possíveis defeitos provenientes da maquinagem ou dos componentes de compra. A Leica utiliza partículas de aço, de fibra de vidro ou de corundum (alumina) consoante a rugosidade e o acabamento pretendido para o componente.

O areamento é bastante utilizado em alguns componentes do binóculo, como por exemplo, na manga e no casquilho de focagem, que estão diretamente relacionados com o trajeto de luz no interior do binóculo. Com este tratamento a reflexão de luz incidente no interior do binóculo é evitada.

- **Anodização do alumínio:**

A anodização é um processo de oxidação anódica realizada nos componentes produzidos em ligas de alumínio do binóculo. Alguns componentes que passam por este tratamento são os anéis e aros das objetivas, das oculares e das mangas de focagem e os casquilhos de focagem.

A reação básica do processo de anodização baseia-se na conversão da superfície de alumínio da peça num óxido de alumínio (Al_2O_3), por aplicação de uma diferença de potencial, que gera uma corrente contínua, em que a peça é o ânodo na célula eletrolítica (Davis 1993).

O revestimento poroso, também denominado de “filme de barreira”, é produzido na superfície do metal de forma uniforme e controlada através da seleção adequada da solução eletrolítica e das condições de formação do filme, como a agitação e temperatura do banho (Thompson 1997).

Existem muitas vantagens na utilização do processo de anodização sendo de destacar: o aumento da resistência à corrosão, o aumento da adesão de tintas à superfície, a melhoria da aparência decorativa, o aumento da ligação adesiva, o aumento do isolamento elétrico e o aumento da resistência à abrasão (Davis 1993).

A Leica utiliza a anodização sulfúrica (processo aluminite), uma vez que é um processo económico e que permite a coloração dos nano poros pelo processo de colmatagem. Este processo garante uma melhor resistência à corrosão e abrasão e boas propriedades decorativas e, desta forma, garante as especificações do binóculo *Noctivid*.

Na Figura 22, apresenta-se um esquema das várias etapas do processo de anodização realizado na Leica. As peças são colocadas em suportes especializados para o efeito e percorrem então a zona de banhos apresentada. Entre cada uma das etapas são realizadas lavagens com água industrial ou água desmineralizada, antes de se prosseguir para as fases seguintes. No final do processo ocorre a secagem das peças numa estufa, sendo que, por fim, são controladas por amostragem ou a 100% na área de controlo deste setor.

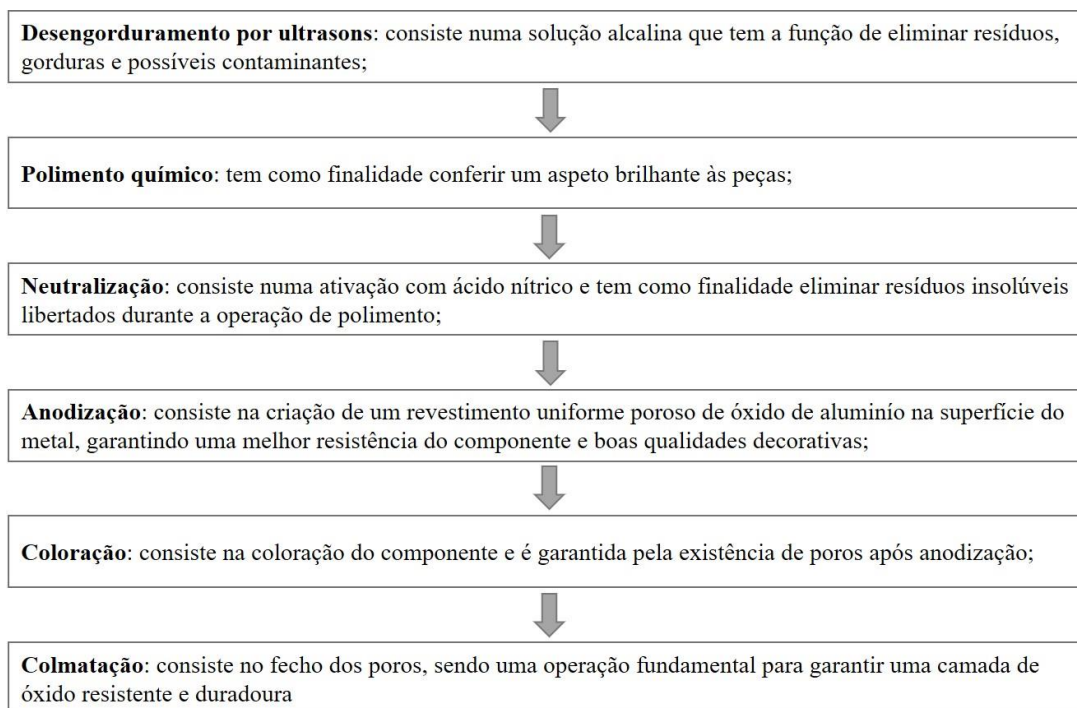


Figura 22 - Representação das etapas do processo de anodização

- **Passivação metálica:**

A passivação de um metal corresponde à formação de uma camada superficial protetora que inibe a reação de oxidação no metal, ou ainda, por outras palavras, a passivação refere-se à perda de reatividade química na presença de determinadas condições ambientais. Desta forma, muitos dos metais e suas ligas tornam-se passivos e, por conseguinte, muito resistentes à corrosão em ambientes moderadamente ou altamente oxidantes (Smith William 1996).

Existem duas teorias no que concerne à natureza do filme passivante: a teoria do filme do óxido e a teoria da absorção, no entanto, ambas têm em comum o facto de ser criado um filme protetor na superfície do metal que cria o estado de passivação e, desta forma, a resistência à corrosão (Smith William 1996).

No caso do binóculo *Noctivid* o único componente que passa neste setor é o corpo em liga de magnésio, processo importante para aumentar a sua durabilidade e resistência em todos os tipos de ambientes.

- **Cataforese:**

A cataforese é um processo de eletrodeposição de tintas, por imersão num meio aquoso, que permite a pintura de peças metálicas. O processo ocorre pela aplicação de uma diferença de potencial, que faz com que as partículas dissolvidas no banho, ânodo, sejam atraídas pela parte metálica de sinal oposto, o cátodo (Villas 2006; Grabowski et al. 2017).

A formação de uma película uniforme e compacta, cria uma barreira anticorrosiva e garante uma maior resistência a deformações mecânicas (Villas 2006).

Como forma de preparar a superfície para a cataforese, a peça passa por um conjunto de pré-tratamentos como o desengorduramento, que permite eliminar sujidades como óleos, gorduras e lubrificantes; a desoxidação que permite “ativar” a superfície para formação da camada passivante e, por fim, a passivação já explicada anteriormente.

No fim deste processo as peças são levadas a uma estufa por forma a garantir a fixação total da pintura (cura).

- **Pintura lacagem:**

Como referido no capítulo 3.1, no final do processo produtivo, o corpo do binóculo *Noctivid* é envolvido por uma borracha externa de proteção. No entanto, na zona de ligação entre o corpo direito e esquerdo existe uma faixa que não é revestida pela borracha e, desta forma, permanece visível para o observador. Por este motivo, esta zona tem de ser resistente a deformações mecânicas e abrasões e apresentar boa aparência estética, pelo que é pintada pelo processo de lacagem. Durante este processo, todas as zonas que não exigem pintura são protegidas por gabaris, garantindo que apenas a parte necessária é pintada.

A lacagem é um processo de pintura eletrostático executado com tintas em pó. Esta tinta é aplicada através de uma pistola eletrostática, que cria uma ligação elétrica efémera tinta/substrato até ao final do processo de lacagem. Este processo termina na estufa, que fixa a cor, após cura (polimerização) da tinta em pó (Associação Portuguesa do Alumínio 2016). No caso do corpo *Noctivid*, este é pintado com uma lacre cerâmico preto.

3.2.3 Ótica

Neste subcapítulo serão apresentados os principais processos pela qual passam os componentes em vidro do binóculo *Noctivid*. Esta secção é dividida em dois grandes grupos, a ótica plana onde se produzem os prismas, e a ótica esférica onde se produzem as lentes.

O vidro ótico é o material utilizado no fabrico dos componentes óticos, sendo que existem inúmeras variedades que diferem pelas propriedades óticas. No caso das lentes, salientam-se os vidros óticos N-FL51, N-SF57, S-NBH8, entre outros. No caso dos prismas, o binóculo *Noctivid* contém prismas com vidro ótico BaK-4, material de melhor qualidade que proporciona imagens mais brilhantes.

Os componentes óticos, como lentes e prismas, chegam à secção ótica como matéria prima e consequentemente são sujeitos a uma sequência de processos consoante especificação, passando pelos processos de fabrico e revestimentos de superfície que serão apresentados de seguida.

- **Processos de fabrico:**

Geralmente, os primeiros processos de fabrico a executar nos componentes óticos são a fresagem, a esmerilagem e o polimento. Na fresagem, o vidro é desbastado com recurso a ferramentas compostas por grão de diamante designadas de calotes. No final deste processo as peças ainda se apresentam baças, no entanto já adquirem as características geométricas pretendidas para o componente final. A esmerilagem é um processo idêntico ao anterior, no entanto, as ferramentas de diamante apresentam um grão mais fino, o que leva à uniformização da superfície e diminuição da rugosidade superficial. No final desta etapa, os componentes já apresentam alguma transparência. Por fim, no polimento os componentes são polidos com uma solução abrasiva de partículas finas, sendo que, no final deste processo, as lentes e prismas têm de ficar completamente transparentes, isentas de riscos e com as características dimensionais e geométricas especificadas pelo desenho técnico.

Após estes processos de pré-tratamento da superfície ótica, os componentes são encaminhados para outras subsecções, como a centragem, a colagem entre componentes óticos, a lacagem e o revestimento, onde realizam operações indispensáveis para o bom desempenho ótico (Leica — Aparelhos Ópticos de Precisão 2017). A lavagem pode, ainda, ser uma operação necessária entre as demais, pois permite eliminar os resíduos que permanecem das fases anteriores (como solução de polir, óleo da centragem, marcas de manuseamento, entre outras) e que são prejudiciais para as fases seguintes.

A centragem, processo aplicado apenas às lentes, permite alinhar o eixo ótico com o eixo mecânico, através do desbaste do cilindro das lentes até ao diâmetro desejado. O desbaste é realizado por ferramentas de diamante muito finas a fim de não comprometer o excelente acabamento superficial pretendido. 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. Por sua vez, a 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, de sistema de prismas. Para os prismas também é realizada a colagem na estrutura metálica de suporte, designada de cadeira do prisma. Após a colagem, procede-se ao posicionamento e colagem do *dachkantprisma* com auxílio de um mecanismo de suporte, que garante o paralelismo entre as duas faces de cada componente ótico do sistema prisma. O paralelismo é ajustado com ajuda de parafusos de transmissão de movimento do mecanismo. Por fim, a lacagem possibilita que os componentes óticos adquiram uma cor negra em torno do seu diâmetro (característica estética) e permite controlar a luminosidade e evitar a luz parasita (característica funcional).

No final de todos os processos anteriormente mencionados, é verificada a qualidade estética e geométrica dos componentes óticos.

- **Revestimentos de superfície:**

O binóculo não apresenta um fator de transmissão de luz de 100%. De facto, a luz é refletida parcialmente (cerca de 5% para feixes de luz incidentes na perpendicular) devido às superfícies óticas que encontra ao longo do seu trajeto. Isto faz com que a quantidade de luz que sai das oculares em direção ao olho humano seja inferior à quantidade de luz que incide e entra pelas objetivas.

Por estas razões, aplicam-se, por deposição física de filmes finos – PVD (*Physical Vapor Deposition*), revestimentos com características antirreflexo às lentes e aos prismas. O tratamento antirreflexo mais simples consiste na aplicação de uma única camada de revestimento e apresenta máxima eficácia para a reflexão de um determinado comprimento de onda. O binóculo é denominado de *coated* se, pelo menos, uma superfície receber o tratamento antirreflexo simples. No mesmo sentido, se todas as superfícies receberem tratamento antirreflexo simples, o binóculo recebe a designação de *fully coated*. Por outro lado, é possível reduzir as reflexões para diferentes comprimentos de onda, aplicando camadas sucessivas de revestimento antirreflexo de diferentes materiais. Neste caso, binóculos que apresentem pelo menos uma superfície com várias camadas de revestimento são designados de *multicoated*. Por sua vez, se todas as superfícies receberem tratamento de várias camadas de revestimento o binóculo passa a ser chamado de *fully multicoated*.

No binóculo *Noctivid* são também aplicados às oculares e objetivas, em contacto com o exterior, tratamentos de alta durabilidade (HDC – *High Durability Coated*) e revestimentos AquaDura® que repelem a sujidade e humidade presente nos diversos ambientes. Os prismas também recebem um revestimento de correção de fase P40, uma vez que os caminhos de luz nos prismas *Roof* se divide em dois antes de se combinar numa única imagem (Sinnott 2006). Desta forma, este revestimento permite que os dois caminhos de luz do binóculo estejam em fase quando chegam às oculares, garantindo um equilíbrio de cores perfeito.

Os tratamentos antirreflexo conferem uma coloração variável às lentes e prismas. No caso do tratamento antirreflexo simples a cor é o azul-claro e no caso do tratamento antirreflexo multicamada as cores podem ser roxo, esverdeado e azul intenso (Almeida 2004). Por este motivo, as lentes para serem montadas aos pares têm de ser “casadas”, isto é, deve-se atribuir a uma lente de uma determinada tonalidade outra lente de tonalidade homóloga.

3.2.4 Montagem

A secção de montagem é responsável pela montagem final de todos os produtos Leica, bem como, pela inspeção final do produto, embalagem e armazenamento do mesmo para posterior expedição.

Esta secção encontra-se dividida em duas grandes salas, a sala semi-limpa e a sala limpa, sendo que a primeira é responsável pela montagem de grupos exclusivamente constituídos por peças mecânicas e a segunda pela montagem dos restantes grupos que contêm componentes óticos, bem como, pela montagem do produto final, ajustagem do binóculo e inspeção final do mesmo. Aquando da montagem dos grupos mecânicos na sala semi-limpa, estes são enviados, através de uma janela de ligação, para a sala limpa para conclusão do produto. Na Figura 23, pode-se observar um esquema representativo da linha de montagem do binóculo *Noctivid*.

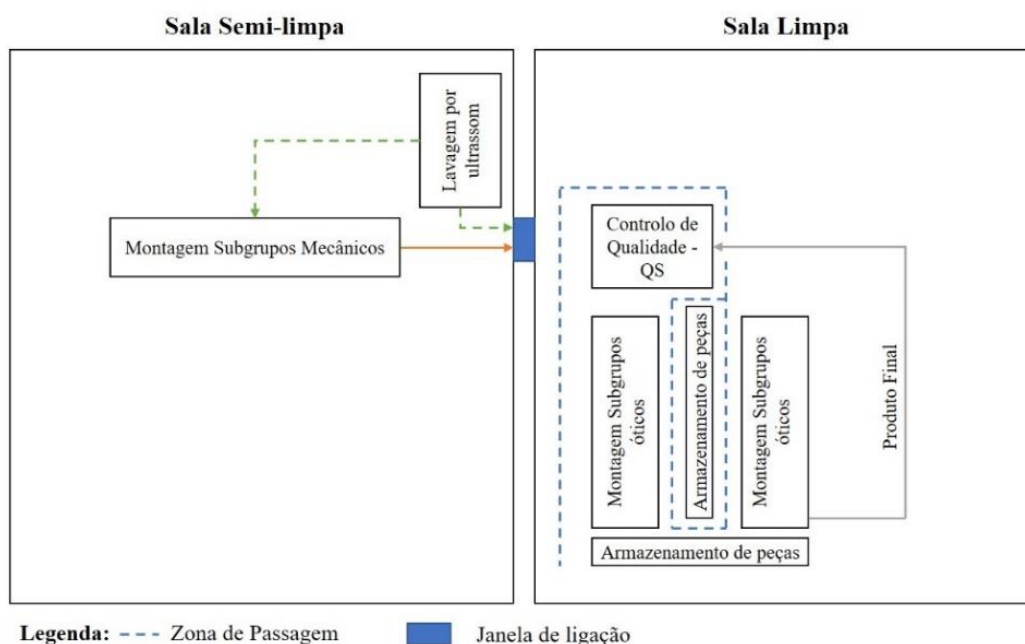


Figura 23 - *Layout* da linha de montagem do binóculo *Noctivid*

A subdivisão das salas é essencial para a qualidade ótica dos produtos finais, uma vez que, com a montagem de componentes mecânicos possam ser libertadas partículas para a atmosfera circundante que prejudiquem os componentes óticos.

Estas salas 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 isso, tem de existir um controlo da concentração de partículas, temperatura, humidade, pressão, vibração e eletrostático (International Organization for Standardization 2015).

Segundo a norma ISO 14644-1 a classificação das salas limpas varia entre classe 1 e classe 9, consoante a tolerância máxima de concentração de partículas, com diâmetros compreendidos entre 0,1 μm e 5 μm , que são contabilizadas por m^3 de ar amostrado. Estas impurezas podem ser geradas por pessoas, instalações, processos e equipamentos, entre outras potenciais fontes. Na Tabela 1, é apresentado o número de partículas permitido por m^3 de volume de ar, para uma determinada classe e um determinado diâmetro de partícula.

Tabela 1 - Classificação das classes das salas limpas e respetiva concentração de partículas

Classe	Número de partículas por m ³ para diferentes tamanhos					
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
ISO 1	10	2				
ISO 2	100	24	10	4		
ISO 3	1000	237	102	35	8	
ISO 4	10000	2370	1020	352	83	
ISO 5	100000	23700	10200	3520	832	29
ISO 6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
ISO 7				352000	83200	2930
ISO 8				3520000	832000	29300
ISO 9				35200000	8320000	293000

No caso da secção de montagem da Leica ambas as salas são controladas segundo a classe 8 da norma ISO 14644-1. Estas salas funcionam sob um regime de fluxo de ar laminar, unidirecional vertical, onde o ar recolhido passa através de filtros HEPA (*High-Efficiency Particulate Air*), colocados no teto, que permite a retenção de partículas inferiores a 1µm, com uma eficiência igual ou superior a 99,97% (Farr 2012). O ar circula dentro das salas de cima para baixo e é exaustado por um conjunto de grelhas posicionadas no chão – Figura 24.

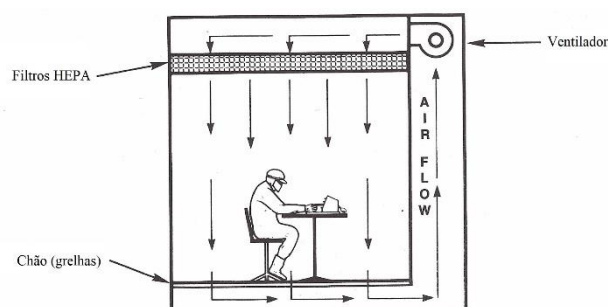


Figura 24 - Representação de uma sala com fluxo de ar unidirecional vertical (Marketing 2018)

O que difere a sala limpa da semi-limpa é então a necessidade de utilização de equipamento especializado – bata anti estática, proteção de sapatos e touca – e a instalação de *flowboxes* em postos de trabalho em que a existência de partículas seja mais incidente na qualidade do produto final.

As *flowboxes* são compartimentos de trabalho individuais que desempenham a mesma função das salas limpas no seu interior. São equipadas, da mesma forma, com filtros HEPA, em que o fluxo de ar é laminar, unidirecional e vertical, que filtram o ar circundante impedindo que entre na cabine contaminado – Figura 25 (Kimaoprema). Estas também são controladas segundo a norma ISO 14644-1, neste caso, pertencendo à classe 5.

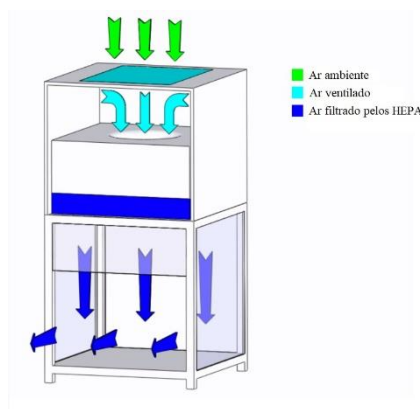


Figura 25 - Flowbox com fluxo de ar laminar, unidirecional e vertical (Kimaoprema)

Como é possível observar na Figura 23, na secção de montagem existe uma área reservada para a lavagem de peças por ultrasons, constituída por um conjunto de três máquinas, que possibilita a lavagem dos diversos componentes que chegam a esta secção, ou que, por motivos dos trabalhos efetuados necessitam de ser lavadas antes de prosseguirem para postos subsequentes.

No que concerne ao binóculo *Noctivid*, todas as peças vindas da secção mecânica ou ótica são prontamente lavadas. Relativamente às peças de compra, pode existir a necessidade de lavagem, dependendo da sua importância funcional ou estética no binóculo. Após este processo todas as peças são distribuídas pelos seus respetivos postos de trabalho da secção de montagem.

As máquinas de lavagem por ultrassom apresentam várias cubas de imersão, num total de quatro programas de banhos distintos, para permitir a lavagem de vários tipos de materiais e tratamentos de superfície. Na Tabela 2, são apresentados os diferentes banhos, especificando o tipo de peça, o tempo de lavagem, a percentagem de US (ultrassom) e a utilização ou não de detergente.

Tabela 2 - Programas de lavagem da máquina de ultrassom

Programa	Peças	Tempo de lavagem (s)	US [%]	Detergente
1	Mecânicas sensíveis a UV	90	40	Não
2	Mecânicas	120	60	Sim
3	Óticas	285	30-60	Sim
4	Óticas com revestimento AquaDura®	270	20	Sim

A montagem do binóculo *Noctivid* é dividida por vários postos de trabalho, sendo que, cada colaborador pode efetuar a montagem de um ou mais subgrupos do binóculo. Cada posto de trabalho apresenta um AU, *Arbeitsunterweisung*, que significa instrução de trabalho em alemão, bem como, as ferramentas de trabalho e possíveis lubrificantes ou adesivos necessários. As instruções de trabalho apresentam de forma detalhada todos os passos necessários para a correta montagem do grupo, com imagens ilustrativas do processo, assim como, as ferramentas e produtos a utilizar.

Uma vez que a presente dissertação se realizou com especial foco na secção de montagem, no ANEXO D, é apresentada a montagem dos subgrupos mecânicos, no ANEXO E, a montagem dos subgrupos óticos e, por fim, no ANEXO F, a montagem efetiva do binóculo *Noctivid*.

Os grupos inferiores à montagem do produto final não apresentam uma ordem sequencial de montagem, pelo que se realiza a montagem dos diferentes grupos que permita garantir o *stock* das produções semanais planeadas. Uma vez finalizado o produto, este passa pela inspeção final e, caso se encontre em conformidade com as especificações, é finalizado com o enchimento com azoto, a colagem de umas fitas plásticas que garantem a posterior fixação da borracha protetora, e embalagem em caixas de transporte para posterior envio para Weztlar. Uma vez em Weztlar são realizadas algumas operações de finalização, como a colocação das borrachas de proteção exteriores, a montagem dos extensores nas oculares e a aplicação de etiquetas identificadoras, e consequente embalagem para o cliente, bem como, um controlo de qualidade final. Caso não seja verificada a conformidade do produto, este é reencaminhado para a LCP para correção dos defeitos.

4 A Qualidade

Segundo Dale (2003), “Qualidade” é uma palavra familiar, dotada de várias interpretações e utilizada em diferentes contextos, o que implica que tenha múltiplas definições. Goetsch e Davis (2006) afirmam que poucos consumidores conseguem definir qualidade se lhes fosse perguntado, mas todos a reconhecem e, no mesmo sentido, Montgomery (2009) aponta a definição de qualidade como uma “entidade multifacetada” e como um dos mais importantes fatores de decisão do consumidor entre produtos e serviços concorrentes.

Garvin (1987) propôs a divisão do conceito de qualidade em oito dimensões, tendo sido estas posteriormente analisadas e sumarizadas por Montgomery (2009), e encerradas em oito tópicos com as respetivas questões que lhes estão associadas: desempenho (“o produto realiza o trabalho que lhe está destinado?”); fiabilidade (“quantas vezes o produto falha?”); durabilidade (“quanto tempo dura o produto?”); estética (“qual é a aparência do produto?”); assistência (“quão fácil é reparar o produto?”); funcionalidades (“o que faz o produto?”); qualidade percebida (“qual é a reputação da empresa ou do produto?”); conformidade (“o produto foi feito exatamente conforme o seu desenho?”).

Por sua vez, Juran e Godfrey (1999) afirma que entre as diversas definições de qualidade existem duas que se apresentam como críticas para a gestão da qualidade. A primeira é a qualidade enquanto satisfação das necessidades dos clientes e a segunda é a qualidade enquanto ausência de defeitos. No primeiro ponto, o significado é orientado para a receita através da maior satisfação dos clientes, o que, geralmente, implica melhores funcionalidades dos produtos e conseqüentemente um custo mais elevado de produção. No segundo ponto, o significado é orientado para uma ausência de defeitos que evitam a necessidade de retrabalho e reparação do produto, tal como a insatisfação e reclamações dos clientes. Neste sentido, a qualidade é vista como a conformidade do produto enquanto as especificações, sendo que uma maior qualidade leva a uma redução de custos.

Montgomery (2009) opta por uma “definição moderna” de qualidade afirmando que: “a qualidade é inversamente proporcional à variabilidade”, sendo que a melhoria de qualidade é possível com “a redução de variabilidade nos processos e produtos”.

De acordo com a Norma NP EN ISO 9000:2015 a qualidade é definida como o “grau de satisfação de requisitos dados por um conjunto de características intrínsecas de um objeto” (IPQ 2015). De outra forma, o objetivo da Norma ISO 9000 é garantir aos consumidores que a qualidade dos produtos e/ou serviços fornecidos por uma entidade cumpram os seus requisitos (Dale 2003). Entre outros aspetos, esta norma garante que uma organização segue uma política de qualidade, onde os procedimentos são padronizados, os defeitos são monitorizados e onde são implementados sistemas de ações corretivas e preventivas (Dale 2003).

Dentro das normas da família ISO 9000 destacam-se (Dale 2003):

- **ISO 9000:** Sistema de Gestão da Qualidade – Fundamentos e Vocabulário;
- **ISO 9001:** Sistema de Gestão da Qualidade – Requisitos;

- **ISO 9004:** Sistema de Gestão da Qualidade – Diretrizes para melhoria de desempenho;
- **ISO 19011:** Diretrizes sobre qualidade e auditorias ambientais.

Todas as normas da família ISO 9000 são genéricas no sentido em que se aplicam a qualquer produto ou organização, e são não-prescritivas no sentido em que descrevem quais as funções que devem estar em vigor no sistema de gestão; mas não determinam como realizar essas funções (Juran e Godfrey 1999).

A empresa Leica S.A. possui um departamento de Gestão da Qualidade que realiza um conjunto de atividades coordenadas para dirigir e controlar a empresa no que respeita à qualidade, por forma a garantir os padrões de qualidade exigidos nas suas unidades de produção e produtos finais.

Ao longo deste capítulo será primeiramente explicado o processo de controlo de qualidade do binóculo Leica *Noctivid*. Posteriormente, são apresentados e analisados dados recolhidos no QS, seguindo-se a descrição dos problemas a abordar na presente dissertação.

4.1 Conformidade do Produto - Controlo de Qualidade

Após a montagem do binóculo *Noctivid* apresentada nos ANEXOS D, E e F, este é sujeito 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. Esta verificação é realizada por um colaborador qualificado que executa um conjunto de procedimentos e regista e quantifica as não conformidades. 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 o enchimento com azoto e colocação das fitas para posterior envio para Weztlar. Caso contrário, retoma para o posto de trabalho que executa as devidas reparações.

Seguidamente serão apresentados os elementos sujeitos a avaliação por parte do controlo de qualidade presente na linha de montagem do binóculo *Noctivid*.

- **Articulação**

A articulação do binóculo é verificada pela qualidade do movimento e pela quantificação do seu momento de rotação (binário de aperto). Desta forma, o movimento tem de ser uniforme e suave, sem ressaltos nem inibições nos batentes (Leica 2016). Relativamente ao momento de rotação este tem de estar compreendido entre 50 N.cm e 75 N.cm quando movimentado em ambas as direções. O binóculo é verificado na posição horizontal com intervalo de tempo de batente a batente de 5 a 8 segundos (Leica 2016).

- **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, cor, brilho, pontos brancos ou manchas nas superfícies toleranciadas nos desenhos, bem como, não devem apresentar sujidades ou excessos de cola visíveis (Leica 2016). Por fim, é confirmado o aperto das oculares, garantindo-se que não desapertam durante o manuseio do binóculo.

- **Qualidade ótica**

Como já foi apresentado no subcapítulo 3.2.1, 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, sujidades e partículas. Ademais, os componentes óticos não podem conter riscos, danos e esmilhamentos que prejudiquem a função

estética e ótica do produto. Estas características de qualidade são verificadas por inspeção visual, auxiliada por uma placa de testes para defeitos de superfície já apresentada no subcapítulo 3.2.1 – Figura 18.

Ainda respeitante à qualidade ótica, verifica-se o estado do revestimento, averiguando se os pares de lentes se encontram devidamente casados (pares de lentes com tonalidades homólogas) e se não existem falhas ou danos no revestimento (Leica 2016), bem como, as condições do polimento, analisando zonas mal polidas ou corroídas.

No caso dos prismas, tem ainda de ser verificada a qualidade do espelho, que permite realizar as reflexões, bem como, a linha do telhado (*Dachkant*) que não pode estar grossa, partida ou esmiilhada (Leica 2016).

- **Movimento do sistema de focagem**

O sistema de focagem é verificado pela qualidade do seu movimento, pelas forças exercidas para sua função e por possíveis folgas existentes.

No que diz respeito ao botão de focagem, o seu movimento deve ser suave, leve e sem interferência (não pode prender nem ressaltar). O momento de rotação do botão deve estar compreendido entre 1.0 N.cm e 4.0 N.cm (Leica 2016).

No que concerne ao botão das dioptrias, o movimento deve ser igualmente suave, leve e sem interferências. O momento de rotação do botão deve estar compreendido entre 1.5 N.cm e 3.5 N.cm, e o ângulo total de rotação deve ser no máximo 270° até ser alcançado o último traço da escala de dioptrias (Leica 2016).

Seguidamente, é averiguada a força para encaixar/desencaixar o botão das dioptrias que deve estar compreendida entre 5N e 8N (Leica 2016).

Por fim, é verificado o ponto morto do botão que permite averiguar a existência de folgas axiais ou radiais do mesmo. A verificação é realizada por comparação com amostras limite para características aprovadas. A contra folga do botão de focagem é apenas permitida se a mudança de posição de focagem, ao focar a imagem, apresentar no máximo 0.8 dioptrias (Leica 2016).

- **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 comparado com amostras limites os valores de contraste, franja de cores, coma (“arrasto da imagem”), astigmatismo (“quando não foca totalmente”) e reflexos.

A resolução da imagem é aferida 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.

- **Ajustagem binocular**

A ajustagem binocular é averiguada num aparelho específico para o efeito. Aqui verifica-se se a ajustagem binocular se encontra dentro de tolerâncias convergentes, divergentes e de altura.

Neste aparelho é possível observar duas cruzes, uma verde e outra amarela, correspondentes ao corpo esquerdo e direito, respetivamente. Nessa perspetiva, é necessário observar se estas se encontram centradas dentro do retângulo de tolerância e nítidas após focagem através do botão. A tolerância de altura e o erro lateral convergente deve ser no máximo 20’ (2.5 intervalos) e o erro lateral divergente 60’ (7.5 intervalos) (Leica 2016).

- **Reserva do infinito**

Na compensação do infinito, o binóculo tem de se deixar focar no mínimo a -4 dioptrias da posição do infinito (Leica 2016). A verificação é feita com o botão de dioptrias a zero, seguido da rotação do botão de focagem de batente a batente até o alvo se encontrar focado. Esta verificação é realizada num aparelho específico, sendo garantido que o binóculo foca totalmente até 4 dioptrias.

- **Ampliação**

A ampliação é verificada num aparelho específico para o efeito. Esta deve estar no modelo 8x42 em $8 \pm 4\%$ e no modelo 10x42 em $10 \pm 4\%$. A diferença do corpo esquerdo para o direito deve ser no máximo 1% (Leica 2016).

- **Distância mínima**

A distância mínima de focagem do binóculo deve ser $\leq 1.95\text{m}$ para o modelo 8x42 e $\leq 1.90\text{m}$ para o modelo 10x42. Esta distância é medida a partir da face exterior da lente da objetiva (Leica 2016).

- **Transmissão**

A transmissão é verificada por um aparelho específico, sendo verificada a percentagem de luz que sai pelas oculares comparativamente à quantidade de luz que entra e os seus respetivos comprimentos de onda. Para os modelos 8x42 e 10x42 as percentagens mínimas são: 91% e 88.5%; 90.5% e 88% de dia e noite respetivamente.

- **Diâmetro das pupilas**

O diâmetro da pupila de saída deve ser de $5.25\text{ mm} \pm 2\%$ para o modelo 8x42 e de $4.2\text{ mm} \pm 2\%$ para o modelo 10x42. Ademais, esta tem de apresentar um forma circular e não pode ser vinhetada (Leica 2016).

4.2 Rejeição do produto final

A taxa de rejeição do produto final na linha de montagem do binóculo *Noctivid* é utilizada como um indicador de qualidade do produto, sendo averiguada semanalmente pelo departamento de qualidade. Esta taxa de rejeição é calculada pelo rácio entre produtos não conformes verificados no QS e os produtos totais controlados no mesmo local. Desta forma, quanto maior for a quantidade de produtos não conformes maior será a taxa de rejeição do produto final. Como todos os produtos da família *Fullsize* (diâmetro de objetiva superior a 32 milímetros), a taxa de rejeição máxima admissível é de 4% sendo que, quando este valor é ultrapassado são reunidos esforços pelo departamento de qualidade juntamente com o departamento de engenharia da montagem para procurar métodos e soluções para minimizar esses valores.

O controlo e identificação do produto não conforme vêm de acordo com a Norma ISO 9001, que determina que “a organização deve assegurar que o produto que não está conforme com os requisitos do produto é identificado e controlado, para prevenir a utilização ou entrega involuntárias. Deve ser estabelecido um procedimento documentado para definir os controlos e correspondentes responsabilidades e autoridades para o tratamento do produto não conforme”. Mais acrescenta que “quando o produto não conforme é corrigido, deve ser sujeito a reverificação para demonstrar a conformidade com os requisitos”.

Na Figura 26, são apresentados os dados recolhidos da taxa de rejeição final do produto pelo controlo de qualidade desde a semana 13 (mês abril) de 2017 até à semana 13 (mês abril) de 2018. A linha laranja representa a percentagem máxima admissível de 4%, pelo que se pode observar que a taxa de rejeição não se encontrou por nenhuma vez abaixo deste máximo

admissível. Desta forma, a rejeição é consideravelmente elevada, obtendo um pico na semana 36 de 2017 (63%) pelo que nas restantes semanas os valores se encontram compreendidos entre 10 e 35%. As semanas que apresentam taxas de rejeição nulas são semanas em que a produção do binóculo *Noctivid* não ocorreu por questões de férias ou falta de componentes.

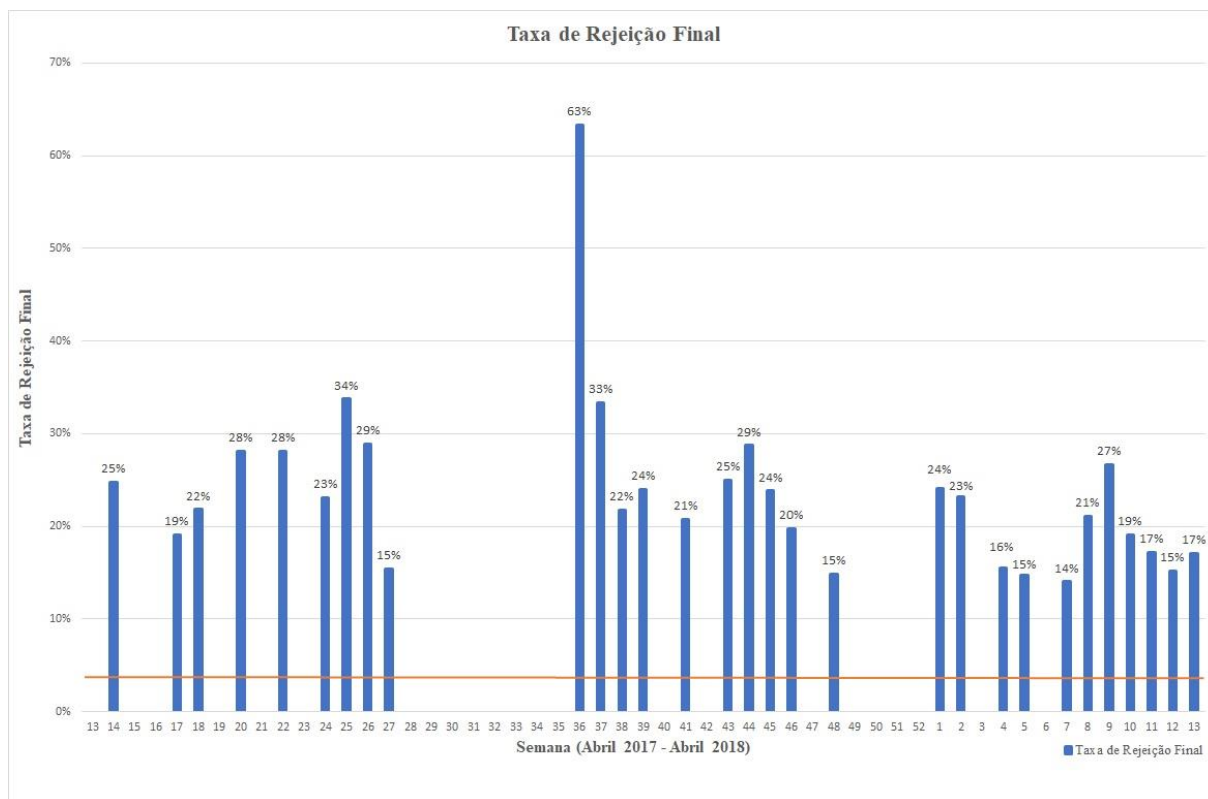


Figura 26 - Taxa de rejeição final do binóculo Leica *Noctivid* entre março de 2017 e março de 2018

A taxa de rejeição é também aferida mensalmente pelo rácio de produtos não conformes de entre os totais enviados para a Leica Camera em Weztlar. Esta rejeição é devida a uma nova aferição de qualidade realizada aos produtos quando estes chegam a LCW, sendo que as não conformidades podem advir de problemas no acondicionamento do produto durante o transporte, da reincidência do defeito ou de uma avaliação deficiente em LPC.

4.3 Descrição dos problemas a abordar

As causas de rejeição do produto final no controlo de qualidade são variadas, pelo que podem estar relacionadas com defeitos existentes nos diversos componentes, com ajustamentos fora de tolerância, más funções binoculares e métodos de montagem erradamente concebidos. Desta forma, o acompanhamento da montagem do produto na linha, conjuntamente com a análise dos dados recolhidos pelo QS e a informação proveniente dos colaboradores com mais experiência na empresa, permitiu definir o conjunto de problemas a abordar neste estudo, que vão de encontro aos seguintes fatores:

- Problemas na linha de montagem que apareceram durante a fase de protótipos e que ainda não foram resolvidos;
- Problemas com elevada taxa de rejeição no QS e que, por isso, necessitam de uma análise e intervenção mais cuidada;
- Problemas que surgem no processo de montagem e que não se refletem na totalidade no QS.

A partir destes objetivos foi necessário primeiramente recorrer à análise dos registos realizados pelo controlo de qualidade final. É de salientar que existem várias categorias de defeitos (defeitos óticos, defeitos mecânicos, funções deficientes, entre outros), sendo que cada uma delas apresenta várias não conformidades associadas.

Para melhor análise dos dados recolhidos foi realizado um diagrama de pareto com as categorias de defeitos a fim de prever aqueles que aparecem com maior frequência no QS – Figura 27. A análise foi realizada desde a semana 1 (mês janeiro) de 2018 até à semana 13 (mês abril) de 2018, pois uma análise mais alargada poderia incluir problemas já resolvidos levando assim a um estudo errôneo.

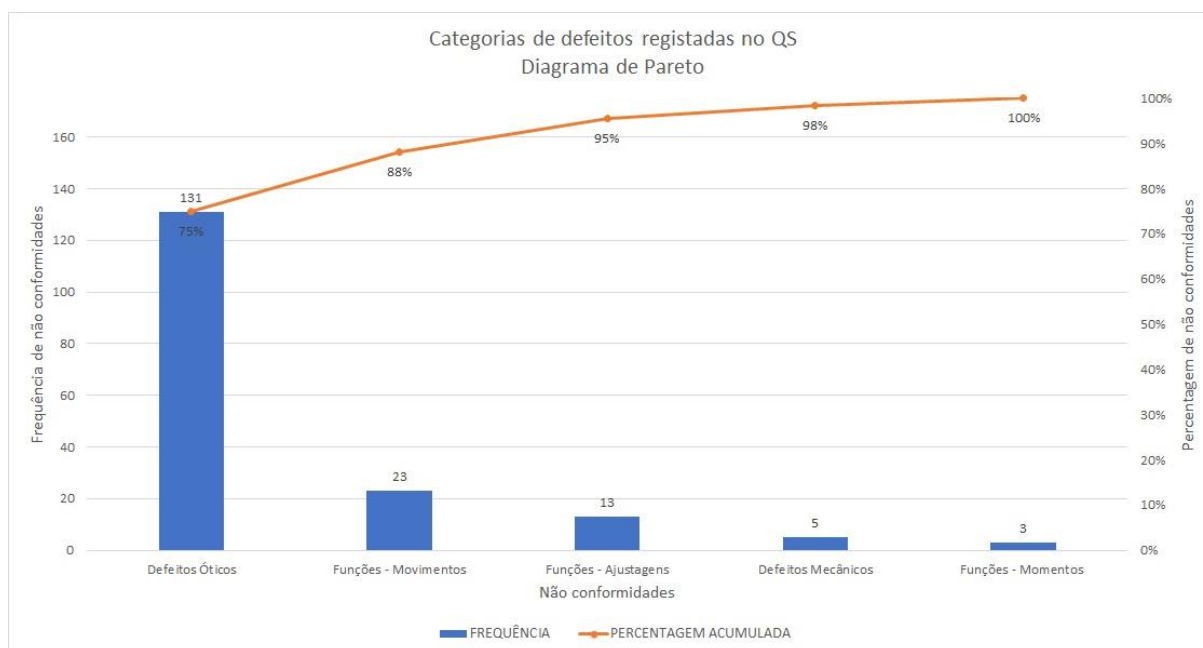


Figura 27 - Diagrama de Pareto para categorias de defeitos

Através dos dados apresentados é possível verificar que as categorias que apresentam maior percentagem de defeitos são os defeitos óticos e as funções – movimentos, sendo que em conjunto perfazem um total de 88% dos problemas que levam à rejeição final.

4.3.1 Defeitos Óticos

Os defeitos óticos são a categoria que apresenta maior percentagem de rejeição do produto final (75%), tornando-se, por isso, alvo de análise e intervenção. Dentro desta categoria a rejeição pode ser devida a mais que um problema nos componentes óticos, dividindo-se em: sujidades; manchas; danos/riscos e defeitos nos revestimentos/lacagens. A fim de perceber qual dos problemas tem mais impacto na conformidade do produto final foi realizado um gráfico circular com os diferentes problemas, apresentado na Figura 28.



Figura 28 - Gráfico circular para defeitos óticos

Pela análise do gráfico é possível concluir que 62% dos defeitos óticos são devidos a sujidades, 26% a danos/riscos, 10% a revestimentos/lacagens deficientes e 2% a manchas. Estes defeitos são encontrados através de inspeção visual das objetivas, lentes de focagem, sistemas de prismas e lentes do botão e correção de dioptrias.

Após este estudo, e com o seguimento de perto da linha de montagem do binóculo *Noctivid*, percebeu-se que a elevada percentagem de rejeição final devido ao defeito “sujidades” afetava o normal funcionamento da linha. Foi também concluído que as “sujidades” são um problema comum ao nível do binóculo. A dificuldade em eliminar as mais pequenas partículas que com a ampliação do binóculo se tornam visíveis, a inevitabilidade de com o movimentar do binóculo algumas partículas não evidentes se soltarem e a simples presença de partículas no ambiente fazem com que a sua eliminação permanente não seja fácil. Por estes motivos este defeito é bastante frequente e apresenta um impacto significativo na linha pela necessidade de retrabalho na abertura do binóculo para limpeza. Desta forma, sendo este um problema possível de abordar ao nível da montagem, ficou decidido que este tema seria o primeiro a abordar com mais detalhe na presente dissertação.

4.3.2 Funções - Movimentos

Após os defeitos óticos, com 13%, as funções – movimentos representam a segunda categoria com maior rejeição no QS. Esta categoria compreende os diferentes movimentos passíveis de realizar no binóculo, sendo eles: articulação, sistema de focagem e sistema de dioptrias. A fim de averiguar os problemas com mais incidência foi realizado o gráfico circular da Figura 29.

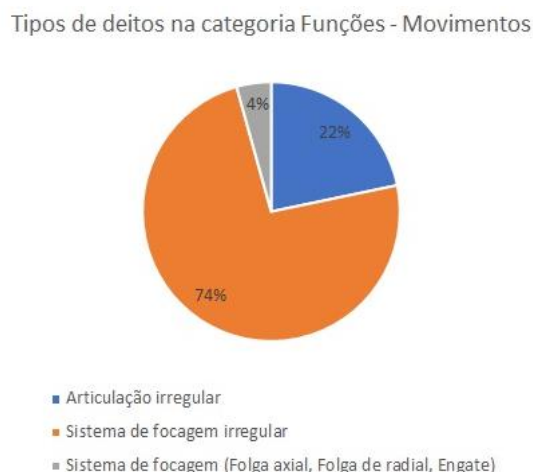


Figura 29 - Gráfico circular para defeitos de Funções - Movimentos

Pela análise do gráfico é possível concluir que 74% dos defeitos são devidos ao sistema de focagem irregular, 22% à articulação irregular e 4% a folgas no sistema de focagem. Para averiguação destes parâmetros são avaliadas as respetivas funções, ou seja, abertura e fecho do binóculo (teste à articulação) e rotação, encaixe e desencaixe do botão de focagem (teste ao sistema de focagem).

Com a consciência dos resultados obtidos, foi realizado um estudo mais profundo ao nível da linha de montagem do binóculo a fim de perceber as dificuldades sentidas nestes postos de trabalho. Por este meio, observou-se uma necessidade de retrabalho exagerada no posto de montagem do sistema de focagem o que não se refletia na sua totalidade no QS. Ademais, dada a complexidade do sistema de focagem, as causas dos problemas que desencadeavam os maus movimentos não eram imediatamente perceptíveis nem eram sempre as mesmas, pelo que por vezes o retrabalho efetuado não obtinha resultados ou era eficaz. Desta forma, sendo este um problema possível de abordar ao nível da montagem, ficou decidido que este seria o segundo tema a abordar com mais detalhe na presente dissertação.

5 Defeitos Óticos - Sujidades

No subcapítulo 4.3.1 concluiu-se que as sujidades representam a maior taxa de rejeição final dentro da categoria de defeitos óticos o que influencia significativamente o normal funcionamento da linha de montagem, podendo, por vezes, impedir que o planeamento de produção semanal seja cumprido. Desta forma, ao longo deste capítulo estudar-se-á em pormenor o problema, com vista à obtenção de propostas de melhoria.

5.1 Descrição do Problema

As sujidades ou partículas soltas são um problema recorrente ao nível do binóculo, quer no controlo de qualidade final, quer no processo de montagem do mesmo. Desta forma, e afim de perceber quais as zonas do binóculo mais afetadas por este defeito, foi acompanhado o posto da montagem dos subgrupos óticos. Foram, assim, observadas e registadas as quantidades de incidências nos diferentes componentes óticos e as possíveis causas de libertação de partículas no interior do binóculo.

O estudo foi realizado num conjunto de 30 binóculos selecionados, sendo que os dados registados foram os seguintes: quantidade de defeitos verificados durante a montagem do binóculo e sua localização, quantidade de defeitos encontrados no final da montagem do binóculo no posto de trabalho e sua localização, tempo de montagem total e tempo gasto em retrabalho na montagem dos 30 binóculos. Na Figura 30, são apresentados os dados relativos à quantidade de sujidades encontradas bem como a sua localização.

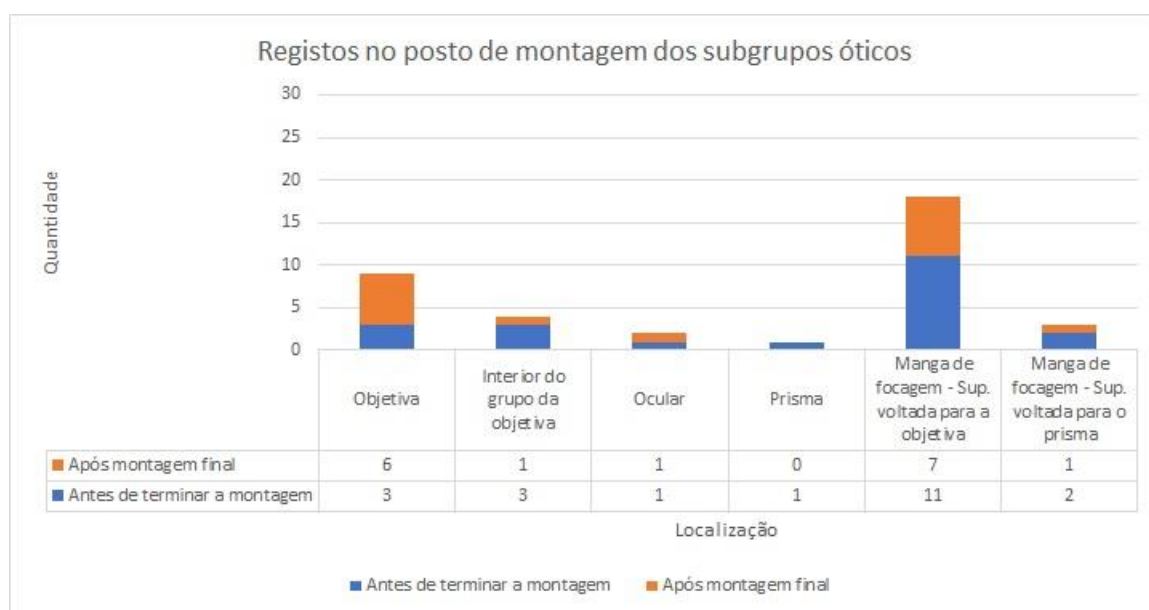


Figura 30 - Localização e quantificação das partículas verificadas no posto de montagem dos subgrupos óticos

Com o registo efetuado, foi possível constatar que o subgrupo ótico onde se verificou maior quantidade de partículas foi a manga de focagem com um total de 21 ocorrências, sendo que, 18 delas se verificaram na superfície voltada para a objetiva. O segundo grupo que apresentou mais sujidades foi a objetiva, possivelmente por ser o último subgrupo a ser montado sendo, por isso, um lugar propício à acumulação de partículas. Durante a montagem da objetiva houve ainda necessidade de efetuar a limpeza dentro do grupo da objetiva em 4 casos devido à existência de partículas no interior do grupo que apenas são visíveis aquando do posicionamento em linha com o corpo do binóculo. De notar ainda que o total de sujidades encontradas (37) é superior ao total de binóculos montados, pois num único binóculo foram encontradas sujidades mais que uma vez ao longo do processo de montagem. De realçar que apenas em 5 binóculos não houve a necessidade de qualquer tipo de retrabalho, sendo que desta forma a percentagem total de binóculos com defeitos foi de aproximadamente 83% ($25 \text{ binóculos com defeitos} / 30 \text{ binóculos montados} \approx 0,834$).

Os tempos de montagem e retrabalho na linha foram também registados a fim de perceber o impacto que o retrabalho apresenta na linha de montagem. Assim, a montagem dos 30 binóculos demorou cerca de 300 minutos (5 horas), sendo que o tempo gasto em retrabalho foi cerca de 65 minutos (1 hora e 5 minutos). Desta forma, dividindo o tempo de retrabalho pelo tempo total de montagem ($65 \text{ minutos} / 300 \text{ minutos} \approx 0,217$), podemos concluir que mais de 20% do tempo total foi utilizado para retrabalhar as diversas sujidades encontradas.

Durante o acompanhamento dos 30 binóculos na montagem dos subgrupos óticos no corpo completo, foram ainda observados os seguintes aspetos:

- A zona com maior incidência de partículas soltas corresponde à zona compreendida entre a manga de focagem e objetiva, como é representado na Figura 31.

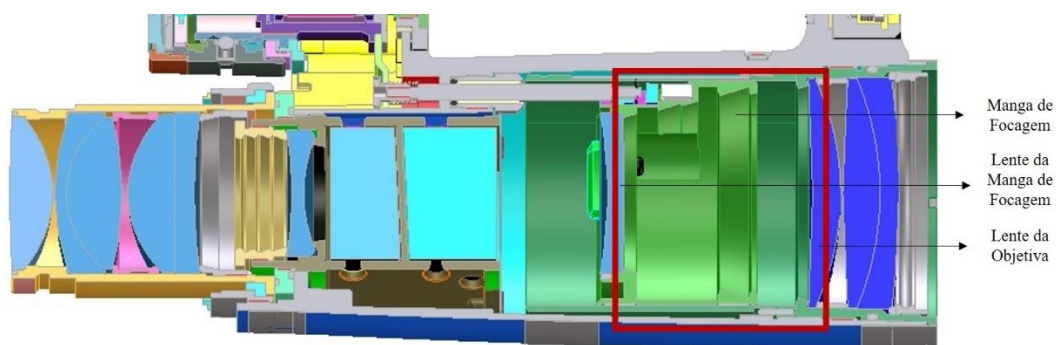


Figura 31 - Zona de maior incidência de partículas

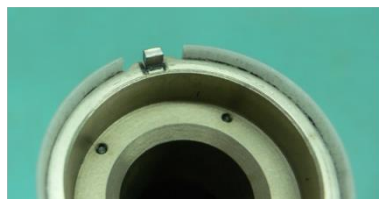
- A face interior da manga de focagem é areada, sendo esta inserida por deslize na ferramenta auxiliar de segurar o casquilho sendo, seguidamente ajustada com auxílio dos dedos indicadores do montador. No mesmo sentido, a ocular apresenta o anel distanciador e o anel roscado que fica voltado para o prisma também areados, acontecendo o mesmo com o anel distanciador da objetiva. O facto das peças serem areadas juntamente com a necessidade de manuseio, pode provocar o aparecimento de pequenas partículas suspensas nas paredes dos componentes que com os testes de choque e movimento do binóculo podem soltar-se e movimentar-se livremente no mesmo.
- As zonas roscadas do corpo onde são apertadas as objetivas encontravam-se com falta de material, com rebarbas soltas provenientes do processo mecânico que facilmente se desprendiam e ainda com algumas porosidades decorrentes do processo de fundição (Figura 32).



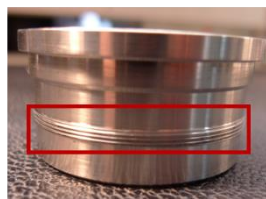
Figura 32 - Rosca do corpo do binóculo danificada

- As ferramentas utilizadas para auxiliar na montagem dos subgrupos óticos, bem como, na montagem de cada subgrupo nos restantes postos de trabalho, encontravam-se bastante sujas. De facto, estas entram diretamente em contacto com alguns componentes que ficam dentro do binóculo podendo, assim, libertar partículas indesejadas para dentro do mesmo. É de salientar as sujidades existentes na ferramenta que segura o casquilho e permite o deslizamento da manga de focagem, que é fixada na rosca destinada à objetiva. Esta ferramenta é em aço inoxidável provocando assim o arranque de algum material que se encontra mais solto no corpo do binóculo. Isto leva a um aumento das partículas soltas que podem cair para dentro do binóculo e a outras que ficam armazenadas nas reentrâncias da rosca da ferramenta (Figura 33 – retângulo vermelho). Na Figura 33, apresentam-se algumas ferramentas utilizadas quer na montagem dos subgrupos óticos, quer nos postos de montagem da objetiva e ocular.

Montagem dos subgrupos óticos



Objetiva



Ocular

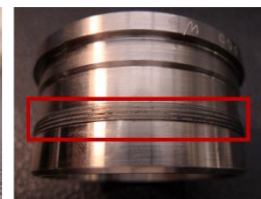


Figura 33 - Ferramentas utilizadas na montagem do binóculo Leica *Noctivid*

5.2 Procedimento experimental e Propostas de solução

Tendo em conta os dados apresentados anteriormente e os problemas observados, foram realizados dois testes para possíveis implementações que garantissem a diminuição das sujidades ao longo da linha de montagem do binóculo. Esses testes são apresentados seguidamente, juntamente com os resultados obtidos.

• Teste de lavagem das ferramentas

Sendo as ferramentas uma potencial fonte de libertação de partículas, realizou-se um teste que consiste na lavagem das ferramentas que auxiliam na montagem do binóculo. Desta forma, seleccionou-se as ferramentas que podem libertar partículas para dentro dos diferentes subgrupos, como é o caso, das objetivas e oculares, assim como, as ferramentas utilizadas na

montagem dos subgrupos óticos no corpo. Na Figura 34, é apresentado o conjunto de ferramentas que foi submetido ao teste.



Figura 34 - Conjunto de ferramentas que foi submetido a lavagem

A lavagem das ferramentas foi realizada na máquina de lavar por ultrassons sendo estas seguidamente secas na estufa para maior rapidez no processo. Na Figura 35, são apresentadas as mesmas ferramentas apresentadas no Capítulo 5.1 (Figura 33) após lavagem, pelo que se pode verificar que a maioria das sujidades foi removida.

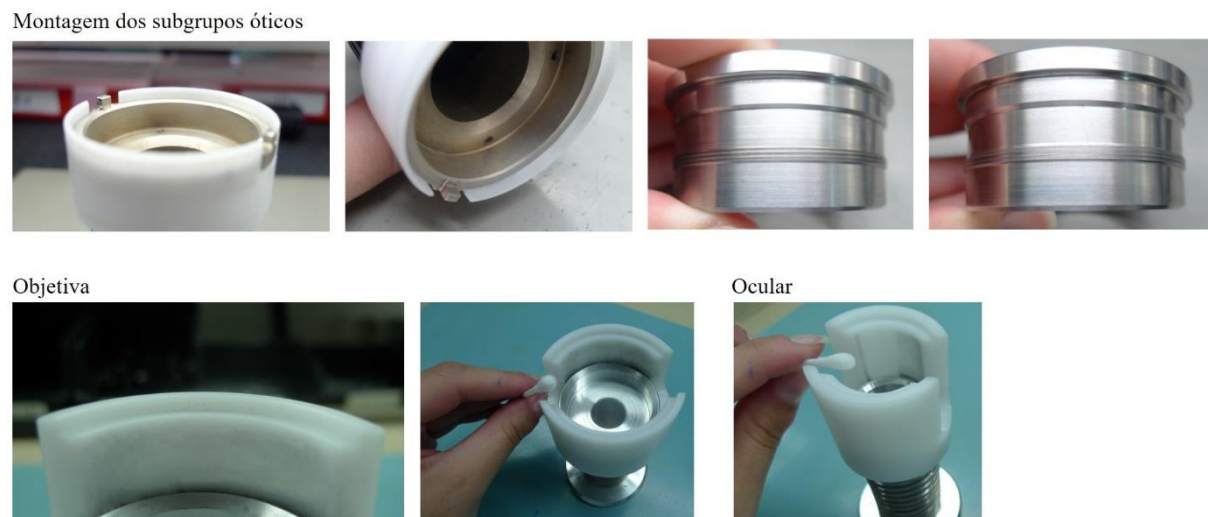


Figura 35 - Ferramentas utilizadas na montagem do binóculo Leica *Noctivid* após lavagem

Após lavagem das ferramentas foi acompanhada a montagem de 15 binóculos no posto de trabalho de montagem dos subgrupos óticos, e foram observados e registados os mesmo dados adquiridos no início deste estudo, como se pode verificar no Figura 36.

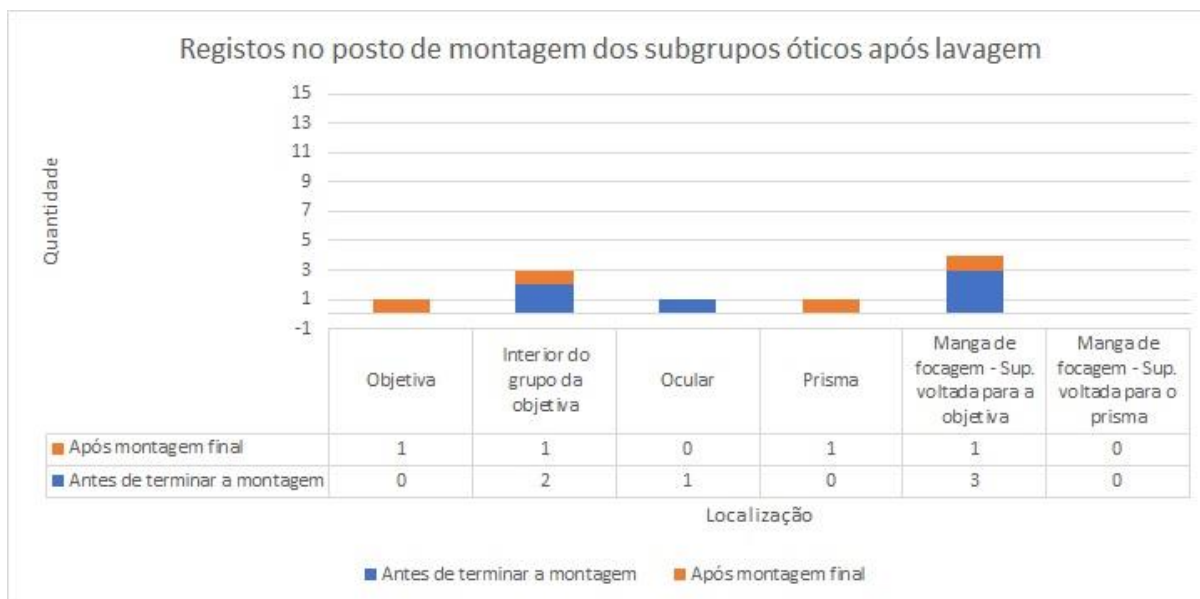


Figura 36 - Localização e quantificação das partículas verificadas no posto de montagem dos subgrupos óticos após lavagem das ferramentas

No presente teste a quantidade de binóculos averiguada foi metade dos analisados inicialmente devido a uma queda de produção numa parte mais avançada do projeto. No entanto, pela análise dos dados conseguimos concluir que as zonas que anteriormente apresentavam uma quantidade elevada de sujidades verificaram um enorme decréscimo. De facto, apenas ocorreram 4 casos em que foram detetadas partículas na manga de focagem, sendo a sua totalidade nas superfícies voltadas para a objetiva. Também na superfície exterior da objetiva se verificou uma redução acentuada, no entanto, o mesmo não se verificou no seu interior, que em proporção aumentou o seu valor. Apesar disto, neste teste o número total de defeitos (10) foi inferior ao número total de binóculos sendo que, em 7 deles não houve qualquer necessidade de retrabalho. Desta forma, conclui-se que a percentagem de binóculos com defeitos foi de aproximadamente 53% (8 binóculos com defeitos / 15 binóculos montados $\approx 0,534$), o que representa uma diminuição de 30% comparativamente aos registos iniciais.

Foi novamente calculado o tempo de montagem dos 15 binóculos, que demorou um total de 142 minutos (2 horas e 22 minutos), sendo que o tempo utilizado para retrabalho foi de 16 minutos. Desta forma, podemos concluir que aproximadamente 11% do tempo total de montagem foi a retrabalhar (16 minutos / 142 minutos $\approx 0,113$), verificando-se assim uma diminuição de 9% relativamente ao teste inicial.

Com a realização deste teste, verificou-se uma diminuição acentuada dos binóculos com necessidade de retrabalho e consequentemente uma diminuição dos tempos de montagem, o que proporciona aos montadores melhores condições pela diminuição do trabalho exaustivo e repetitivo na limpeza. Estes fatores aumentam ainda a viabilidade de entregar a produção planeada no final de cada semana.

Desta forma, propôs-se a lavagem das ferramentas uma vez por semana, pois a contínua utilização leva a um acumular de partículas e à necessidade de nova lavagem. É ainda importante salientar que, apesar do tempo de lavagem e secagem das ferramentas ser de aproximadamente 30 minutos, este procedimento poderia ser da responsabilidade de cada montador que poderia realizar a lavagem aquando da realização de outras tarefas, não aumentando assim o tempo de produção da linha de montagem.

- **Teste de escovagem dos corpos**

No seguimento da zona de maior incidência de sujidades decorrer entre a manga de focagem e a objetiva, foi estudada a possibilidade de estas resultarem das rebarbas e dos defeitos existentes nos corpos mecânicos, que não eram totalmente removidos durante a lavagem. De facto, pela observação do processo de montagem verificou-se que aquando da roscagem das objetivas nos corpos, ocorria a libertação de limalhas e pó de revestimento não desejadas para dentro do binóculo.

Assim, realizou-se um teste que consistiu na escovagem dos corpos mecânicos com uma escova de aço com o objetivo de averiguar se este método permitia eliminar as rebarbas e limalhas existentes nas roscas dos corpos. Este teste foi realizado num conjunto de 15 binóculos tendo sido escovados no momento da chegada à linha de montagem e prontamente lavados após a intervenção. A escovagem foi realizada com auxílio de um motor *Schneider Eletric*, devidamente preparado com uma garra para fixação de escovas rotativas. A escovagem de cada corpo ocorreu durante um período de 15 segundos na zona da rosca da objetiva, tendo sido colocada uma folha branca por baixo da escova, por forma a averiguar a eventual queda de partículas, como se pode observar na Figura 37.

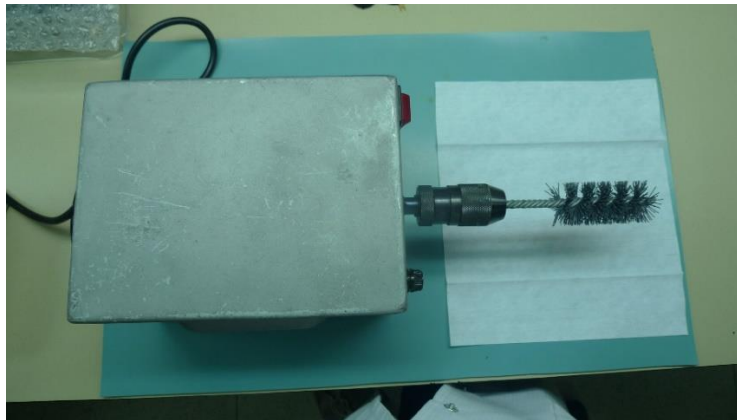


Figura 37 - Motor e folha branca para realização do teste de escovagem dos corpos

Após a escovagem dos 15 binóculos as partículas libertadas foram observadas (Figura 38) e medidas com o auxílio de uma régua graduada.



Figura 38 - Partículas libertadas após realização do teste de escovagem dos corpos

Pela análise da Figura 38, consegue-se concluir que a escovagem dos corpos levou a uma libertação de partículas com tamanhos compreendidos entre 0,01 mm e 2 mm, concluindo-se assim que a escova de aço eliminava algumas rebarbas e limalhas existentes no corpo.

Os 15 binóculos continuaram o normal seguimento na linha de montagem, sendo que foi realizado o mesmo acompanhamento anteriormente explicado, para concluir acerca das possíveis melhorias. É de notar que durante a realização deste teste a lavagem das ferramentas já tinha sido realizada. Na Figura 39, são apresentados os resultados obtidos.

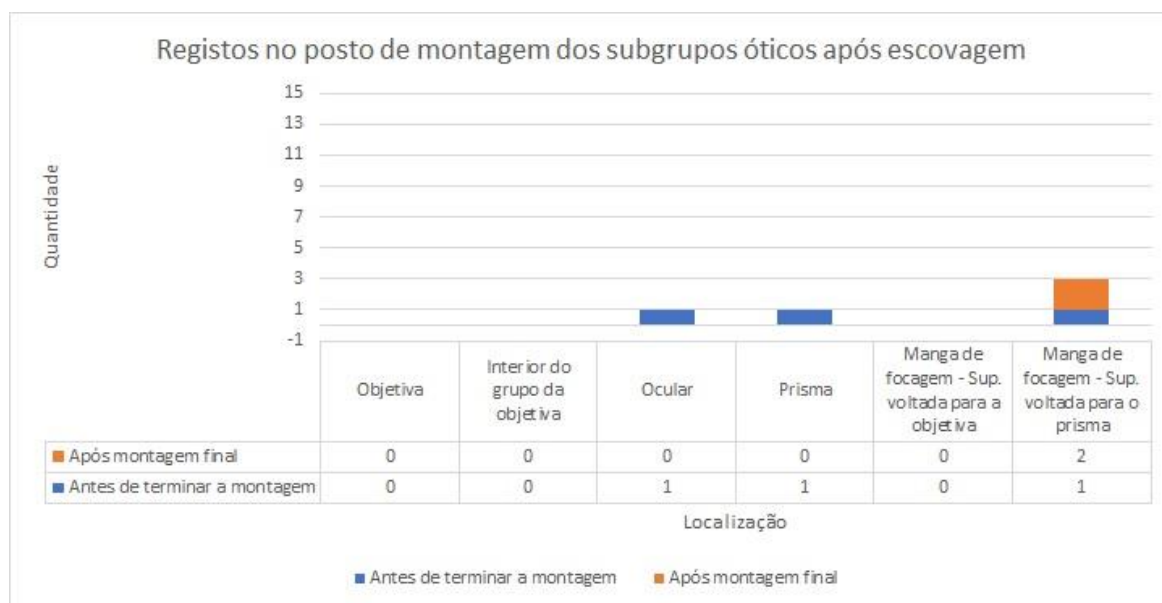


Figura 39 - Localização e quantificação das partículas verificadas no posto de montagem dos subgrupos óticos após escovagem dos corpos

Pela análise dos dados, é evidente que as zonas que apresentavam maior incidência de partículas no início do estudo, ou seja, a superfície da manga de focagem voltada para a objetiva e a objetiva (no interior e exterior) diminuíram drasticamente, não se tendo verificado qualquer tipo de sujidade nestas localizações. Outro aspeto a considerar é o aumento de partículas observadas na superfície voltada para o prisma da manga de focagem, pelo que se verifica que a diminuição das partículas nas zonas mais críticas iniciais, pode ter levado a um aumento em zonas que, inicialmente, não eram tão afetadas. Neste teste houve necessidade de retrabalho em 5 binóculos (menos 2 do que no teste anterior) num total de 15 binóculos montados, pelo que a percentagem de binóculos com defeitos foi de aproximadamente 33% (5 binóculos com defeitos / 15 binóculos montados $\approx 0,334$). Assim, verifica-se uma diminuição de 20% relativamente ao teste anterior e de 50% relativamente ao início do estudo.

O tempo total de montagem dos binóculos foi de 133 minutos (2 horas e 13 minutos), sendo que o retrabalho ocupou 13 minutos. Desta forma, conclui-se que aproximadamente 10% do tempo de montagem foi a retrabalhar (13 minutos / 133 minutos $\approx 0,098$), pelo que se verifica a diminuição de 1% relativamente ao teste anterior e de 10% relativamente ao inicial. A diminuição do tempo de retrabalho não se verifica tão diminuída como a quantidade de binóculos retrabalhada, pois ao longo deste teste, os retrabalhos realizados exigiam mais algum tempo pela sua localização, nomeadamente, na superfície voltada para o prisma da manga de focagem.

É importante salientar que, tendo em conta que a escovagem de cada corpo demora 15 segundos, existiu um aumento do tempo de produção dos binóculos de 3 minutos e 45 segundos, que não é um tempo considerável, comparativamente com a diminuição de retrabalho alcançada na linha de montagem e as melhorias na qualidade de trabalho dos montadores.

O presente teste permitiu concluir que, com a escovagem dos corpos e a lavagem das ferramentas, a necessidade de retrabalho na linha de montagem é bastante inferior à observada inicialmente, bem como o tempo gasto em retrabalho, garantindo-se assim melhores condições

de trabalho aos montadores e uma maior certeza de que a produção semanal planeada é cumprida.

Concluindo, foi proposto a lavagem das ferramentas uma vez por semana e a escovagem dos corpos, aquando da sua chegada à secção de montagem, por serem duas operações bastante simples de executar e que apresentam bastantes melhorias na generalidade do processo.

5.3 Conclusões

Após implementação das medidas apresentadas anteriormente, tornou-se necessário concluir de que maneira os novos métodos influenciavam a taxa de rejeição final do produto. Desta forma, realizou-se a comparação entre as primeiras 13 semanas do ano, período estudado no início da análise dos problemas, com as 5 semanas após implementação das propostas. Desta forma, conclui-se que houve uma redução de 7,88% para 6,33% da taxa de rejeição média devido a sujidades. Com isto, é possível concluir que as propostas implementadas permitiram melhorias nos índices na empresa. No entanto, a taxa de rejeição mantém-se elevada e o período temporal não foi suficientemente extenso para se retirar conclusões mais acertivas, pelo que é necessário continuar a estudar este problema e segui-lo de perto.

6 Funções - Movimento de Focagem Irregular

6.1 Descrição do Problema

Com o seguimento de perto dos postos de trabalho que dão origem ao botão de focagem ficou perceptível que, para além da elevada rejeição final por problemas no movimento de focagem, existia também uma enorme necessidade de retrabalho na linha de montagem. Isto ressentia-se na exaustão e insatisfação por parte da montadora, uma vez que o tempo despendido em cada binóculo era exorbitante. Para além disso, tendo em conta a complexidade do sistema de focagem, a montadora sentia dificuldades em perceber imediatamente onde se encontrava o problema, para que fosse de imediato corrigido.

Desta forma, durante as primeiras semanas do estudo, estes postos de trabalho foram observados e analisados ao pormenor por forma a perceber, com exatidão, o funcionamento do sistema de focagem e quais as possíveis causas do problema. Os postos de trabalho acompanhados foram os presentes no Anexo D: Grupo de acionamento e no Anexo F: Sistema de Focagem. Assim, reuniu-se informação para um conjunto de 26 binóculos onde foi registado a quantidade de binóculos que foi retrabalhada, o tempo total de montagem e o tempo de retrabalho. Para além disso, para cada binóculo, foi anotado, no final da montagem do grupo de acionamento no corpo, os problemas encontrados e como estes foram resolvidos, em caso de necessidade.

Os dados recolhidos indicaram que 21 dos 26 binóculos montados apresentaram necessidade de retrabalho na linha de montagem. O tempo total de montagem foi de 400 minutos (6 horas e 40 minutos), sendo que 130 minutos (2 horas e 10 minutos) foram utilizados em retrabalho. Desta forma, pode-se concluir que em aproximadamente 80% dos casos houve necessidade de retrabalho ($21 \text{ binóculos retrabalhados} / 26 \text{ binóculos montados} \approx 0,808$) que ocupou 32,5% do tempo total de montagem ($130 \text{ minutos} / 400 \text{ minutos} \approx 0,325$). Estes valores indicam o quão elevado era a quantidade de binóculos retrabalhados e o tempo despendido para tal, o que levava, por vezes, a que colaboradores de postos posteriores da linha do binóculo *Noctivid*, ficassem sem trabalho. Para além disso, o planeamento semanal estipulado podia não ser cumprido e a montadora atrasava o processo de outras linhas de montagem uma vez que demorava tempo excessivo nesta tarefa. Como já foi referido foram também anotados os tipos de retrabalhos realizados, em caso de necessidade, nos 26 binóculos montados, que são apresentados na Figura 40.

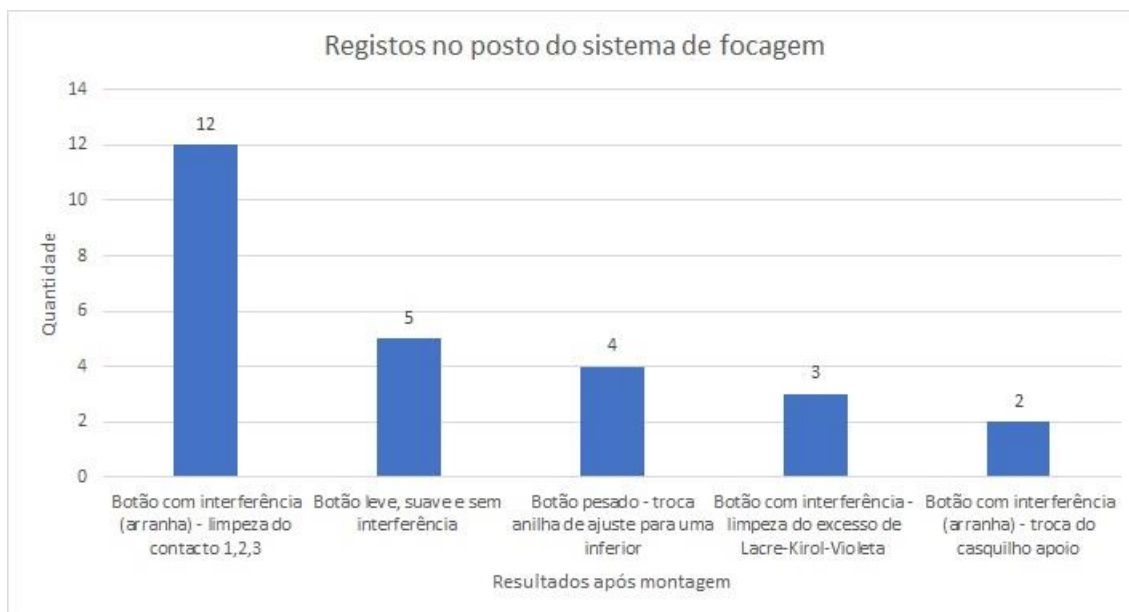


Figura 40 - Classificação e quantificação dos retrabalhos efetuados no posto do sistema de focagem

Pela análise da Figura 40, é possível deduzir que existem quatro tipos de retrabalho efetuados, que serão explicados mais detalhadamente:

- O botão com interferência é o sintoma mais comum de que o sistema de focagem apresenta defeito. Este defeito é sentido no movimento do botão por uma rotação não uniforme, que arranha ou que apresenta alguns ressaltos. No caso do botão pesado, o movimento do botão é bastante difícil e não apresenta a leveza necessária para um fácil manuseamento.
- O botão com interferência, que arranha, é o defeito mais frequente, tendo ocorrido em 14 dos 26 binóculos estudados. Este defeito corresponde aproximadamente a 67% do total de defeitos encontrados (14 binóculos retrabalhados por arranhar / 21 binóculos retrabalhados $\approx 0,667$). De facto, existem duas possibilidades de retrabalho aquando da ocorrência deste defeito, sendo que a mais frequente é a abertura do grupo de acionamento e a limpeza entre o contacto 1, 2 e 3, apresentado na Figura 41. Após este processo eram colocadas novamente as massas lubrificantes e a montagem retomava neste ponto do processo. Outra possibilidade de retrabalho é a alteração do casquilho de apoio, mencionado na Figura 41, por outro igual. Este procedimento só era realizado, quando a limpeza entre os contactos não eliminava o defeito. Estes tipos de retrabalho revelaram-se os mais demorados entre todos os retrabalhos efetuados, por dois motivos: primeiro por vezes era necessário realizar limpeza mais do que uma vez, e segundo por a localização do defeito se encontrar num passo inicial da montagem. O binóculo que ocupou mais tempo em retrabalho (17 minutos) foi aberto para limpeza 3 vezes e só depois ficou conforme.

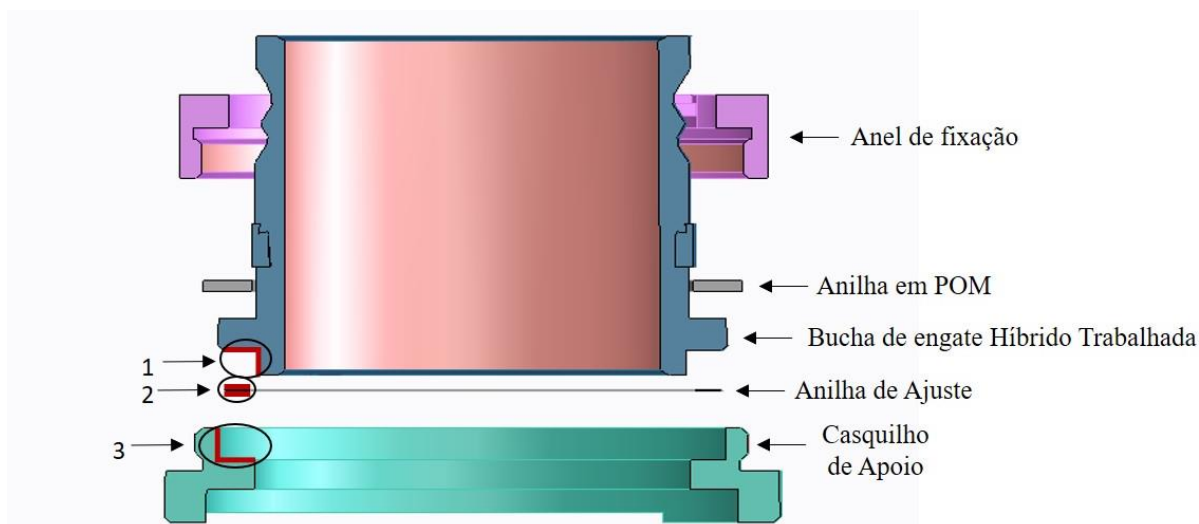


Figura 41 - Representação da zona que provoca mais retrabalho no posto do sistema de focagem

- O botão pesado é o segundo defeito com mais ocorrência no posto de montagem, tendo-se verificado em 4 dos 26 binóculos montados. Este defeito representa aproximadamente 19% (4 binóculos retrabalhados por movimento pesado / 21 binóculos retrabalhados $\approx 0,190$) do total de defeitos encontrados. O retrabalho realizado, aquando do aparecimento deste defeito, consistia na redução do tamanho da anilha de ajuste. A dimensão da anilha de ajuste era calculada pela montadora para garantir uma folga (Distância Z na Figura 42) entre a superfície do casquilho de apoio e da bucha de engate híbrido trabalhada, para que no momento da roscagem do anel de fixação (Figura 41), o movimento rotativo do botão fosse garantido.

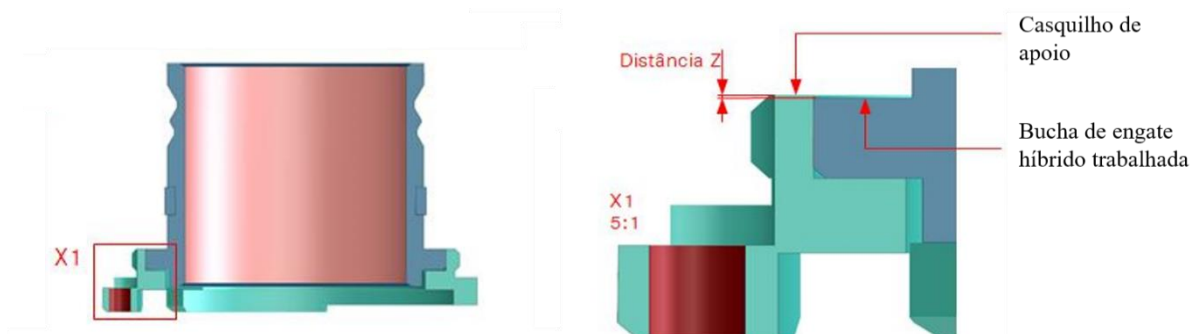


Figura 42 - Representação da folga necessária para permitir o movimento leve do botão de focagem

- Outro retrabalho efetuado quando o movimento de focagem apresentava interferência, era a limpeza do excesso de Lacre-Kirol-Violeta. Este adesivo, cujas especificações se encontram no ANEXO G: Especificações do Lacre-Kirol-Violeta, é colocado na rosca do anel de fixação imediatamente antes da roscagem no casquilho de apoio de modo a garantir uma fixação permanente ao conjunto e evitar que este desenrosque durante o movimento do botão. De facto, dada a viscosidade elevada deste adesivo, quando se colocava o anel de fixação no grupo, verificava-se que este se espalhava para zonas não desejadas, que iriam ser submetidas a movimento, impedindo assim o movimento de focagem regular e sem interferência. Na Figura 43, é demonstrado o defeito num binóculo retrabalhado, sendo o Lacre-Kirol-Violeta os vestígios, evidentes a cor-de-rosa.



Figura 43 - Vestígios de Lacre-Kirol-Violeta num grupo de acionamento

6.2 Procedimento experimental e Propostas de solução

Entre os problemas apresentados anteriormente é evidente que o botão com interferência, a arrANHAR, é aquele que necessita de uma intervenção mais célere e cuidada pelo excesso de retrabalho realizado e pela causa do problema ser desconhecida. O botão pesado foi também alvo de alguns testes. De facto, a folga necessária para um movimento leve é especificada, pelo que tem de se compreender o motivo das falhas.

Relativamente ao problema do excesso de Lacre-Kirol-Violeta foram pensadas algumas alternativas. O problema podia advir de uma colocação não cuidada, de um adesivo não apropriado para o efeito ou de um método de aplicação não ideal. Uma das propostas foi uma alteração do método de aplicação, através de uma ferramenta auxiliar, que ajudasse a montadora apenas a colocar o adesivo nos locais exatos. Foi também pensado alterar o adesivo, no entanto, já tinham sido experimentados bastantes e pelos requisitos da casa mãe em Weztlar, não seguiam as especificações. Era necessário que apresentasse cor e um tempo de cura curto. Desta forma, a única modificação realizada consistiu na alteração do pincel que a montadora utilizava para colocar o adesivo. De facto, este pincel, encontrava-se bastante desgastado e com vestígios de cola, pelo que, a colocação do adesivo numa rosca de dimensões pequenas, tornava-se difícil. Propôs-se assim a alteração para um método de aplicação com seringa que permitia à montadora colocar o adesivo com mais precisão. Após esta alteração não se verificou mais retrabalho na linha devido a este problema, por isso, a proposta da ferramenta auxiliar não foi necessária.

Seguidamente será explicado para cada um dos problemas abordados em profundidade, o procedimento experimental ou método seguido no estudo.

- **Botão Pesado**

O processo de seleção da anilha de ajuste inicia com a colocação da bucha de engate híbrido trabalhada no casquilho de apoio e consequente medição no comparador da distância z apresentada na Figura 42, ou seja, entre ambas as superfícies dos componentes. Após esta medição e, consoante o resultado, a montadora pode escolher entre três opções de anilhas de ajuste (com alturas de 0,03; 0,04 e 0,05 mm) para colocar entre estes dois componentes. Esta anilha serve para compensar pequenas diferenças dimensionais que possam ocorrer e garantir que a distância Z no final se encontra compreendida entre 0,015 e 0,030 mm, valor especificado no projeto. Após colocação da anilha, a montadora confirma o novo valor da distância z no comparador.

Uma vez conhecido o problema e o processo de montagem, foi realizado um diagrama de causa-efeito que permitisse avaliar os possíveis fatores capazes de alterar a característica de qualidade em questão, sendo este apresentado na Figura 44.

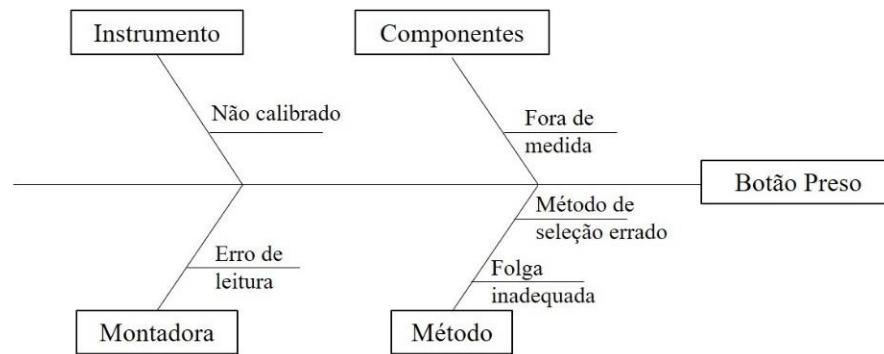


Figura 44 - Diagrama causa-efeito para o problema do botão pesado

A hipótese descartada desde cedo foi o instrumento de medição não calibrado, uma vez que na Leica existe um departamento responsável pela calibração de todos os instrumentos de medição. Ademais os instrumentos calibrados encontram-se identificados com a próxima data de calibração, como era o caso do comparador, e ainda existe um sistema que indica quando é necessária nova calibração ao departamento responsável.

Seguidamente, foi realizada uma experiência com um conjunto de 13 binóculos por forma a averiguar a veracidade das restantes três causas. Cada binóculo foi devidamente identificado com o seu respetivo número de 1 a 13. Inicialmente para cada conjunto de bucha de engate híbrido trabalhada e casquilho de apoio, foram averiguadas as medidas dimensionais que se relacionam diretamente com a distância z pretendida, como se observa na Figura 45. As medições foram realizadas por um comparador de resolução 0,001 mm para a altura da saliência da bucha, e por paquímetro digital de resolução 0,01 mm para a altura da cavidade do casquilho. Os desenhos destes componentes encontram-se no ANEXO H: Desenho do casquilho de apoio e da bucha de engate híbrido trabalhada, com as respetivas dimensões verificadas rodeadas a vermelho. Para cada componente foram realizadas três medições para eliminar possíveis desvios dimensionais ao longo dos componentes, ou seja, um conjunto de 39 medições para cada componente.

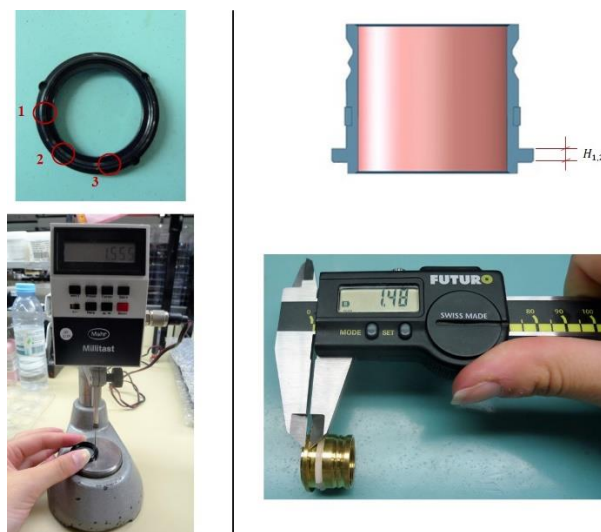


Figura 45 - Medições dimensionais do conjunto casquilho de apoio e bucha de engate

Pelo desenho é possível verificar que a especificação de altura do casquilho de apoio é de $1,55^{+0,02}_0$, sendo que os resultados obtidos se encontraram compreendidos entre um mínimo de 1,553 mm e um máximo de 1,563 mm, pelo que se conclui que se encontram dentro da especificação. No caso da bucha de engate híbrido trabalhada a especificação é de $1,5^{0}_{-0,03}$, e

os resultados obtidos estavam compreendidos entre um mínimo de 1,48 mm e um máximo de 1,49 mm, encontrando-se também dentro de especificação. Desta forma, concluiu-se que os componentes fora de medida também não representavam a causa do problema em questão.

Descartadas as duas causas anteriores é necessário perceber se a causa do problema se encontra numa má leitura por parte da montadora, numa folga insuficiente decorrente de erros no projeto ou num método de seleção inadequado da anilha. Para isso, no seguimento dos 13 binóculos medidos anteriormente pediu-se à montadora que realizasse o processo de colocação da anilha como era habitual, mas que escolhesse a anilha que garantisse o menor valor de folga possível dentro da especificação, ou seja, o mais perto possível dos 0,015 mm. O objetivo deste estudo, é perceber se a montadora realiza corretamente o processo e analisar os resultados obtidos para valores de folga baixos.

O processo de montagem realizado pela montadora foi observado tendo-se concluído que não eram cometidos quaisquer erros. A montadora lia o valor inicial no comparador, calculava o valor da anilha ideal para a especificação de folga, colocava-a entre a bucha e o casquilho, e confirmava se o valor lido se encontrava dentro das especificações. Caso o valor estivesse correto prosseguia o processo, caso contrário fazia as devidas alterações. Deste modo, a causa do problema também não se encontrava em erros cometidos pela montadora durante o processo.

Seguidamente, os 13 conjuntos foram submetidos a nova medição nas mesmas zonas realizadas para o casquilho de apoio, desta vez, com os três componentes já encaixados – a bucha, a anilha de ajuste e o casquilho. Os valores obtidos e a respetiva anilha utilizada, bem como, as primeiras medições realizadas para o casquilho e para a bucha são apresentadas no ANEXO I: Medidas dimensionais registadas no posto do sistema de focagem. De facto, é possível concluir que para as três medições realizadas para cada conjunto existem algumas que se encontram abaixo das especificações (a vermelho) e que em aproximadamente 85% dos casos a medição mais baixa (a sublinhado) foi na localização 2 do casquilho de apoio. Assim, é possível concluir que, apesar da montadora efetuar a medição correta, em algumas zonas, podem ser encontrados valores de folga inferiores à especificação por pequenos desvios dimensionais nas peças ou por pequenas partículas que fiquem entre os componentes.

Após este estudo, a montagem prosseguiu e os grupos de acionamento foram montados em 13 corpos por forma a verificar os resultados obtidos. Foi, mais uma vez, registada a quantidade de binóculos retrabalhada no posto de trabalho, o tempo total de montagem e a parcela gasta em retrabalho, bem como, o tipo de retrabalho efetuado.

Os dados recolhidos indicam que 12 dos 13 grupos de acionamento montados apresentaram necessidade de retrabalho. O tempo total de montagem foi de 188 minutos (3 horas e 8 minutos), sendo que para retrabalho foram utilizados 82 minutos (1 hora e 28 minutos). Assim, concluiu-se que em mais de 90% dos casos foi necessário retrabalho (12 binóculos retrabalhados / 13 binóculos montados $\approx 0,923$), tendo este ocupado mais de 40% do tempo total de montagem (82 minutos / 188 minutos $\approx 0,436$). Os resultados obtidos após montagem do grupo de acionamento são apresentados na Figura 46.



Figura 46 - Classificação e quantificação dos retrabalhos efetuados no posto do sistema de focagem para o teste do botão pesado

Pela análise do gráfico, verifica-se que 8 dos 13 binóculos montados apresentaram o botão pesado, sendo que, o retrabalho efetuado consistiu na alteração da anilha de ajuste para uma de dimensão inferior. Este valor representa mais de 60% do total de sistemas de focagem montados ($8 \text{ binóculos retrabalhados por botão pesado} / 13 \text{ binóculos montados} \approx 0,615$). É ainda importante realçar que os binóculos que evidenciaram o botão pesado foram os números 1, 2, 3, 5, 6, 7, 10, 11, sendo que, apenas dois deles não apresentaram, nas zonas medidas, valores abaixo das especificações. Dos restantes 5 binóculos apenas 1 contém valores abaixo das especificações e não evidenciou botão pesado (binóculo número 8).

Desta forma, pode-se concluir que as causas dos problemas derivam de um método de cálculo da anilha de ajuste deficiente, aliado a um valor de folga, que pode não ser suficiente, para atenuar desvios existentes nos componentes. Assim, foi sugerida uma revisão do projeto a fim de perceber se um aumento do valor da folga seria viável e exequível, bem como, uma alteração ou melhoria do método de medição como, por exemplo, a realização de mais que uma medição por conjunto. Contudo, enquanto as propostas anteriores são analisadas pela empresa, foi dada formação à montadora para começar a realizar a medição na localização 2 do casquilho de focagem e, igualmente, passar ar comprimido pelos componentes antes da montagem de modo a eliminar eventuais partículas presentes. Além disso, a montadora foi informada para, sempre que possível, utilizar anilhas de ajuste que permitam uma folga máxima dentro das especificações.

- **Botão com interferência – arranha**

O estudo do botão com interferência, a arranhar, revelou-se o problema mais comum na linha de montagem e aquele que ocupava mais tempo em retrabalho. Para além disso, o tipo de retrabalho a efetuar era desconhecido e gastava-se muito tempo em tentativas insuportáveis. Por vezes, a limpeza do contacto 1,2,3, apresentado na Figura 41 do capítulo 6.1, não era suficiente, tendo mesmo de se recorrer a uma troca do casquilho.

Após realização de alguns testes sem efeito, procedeu-se à observação das zonas de contacto 1,2,3 em binóculos que apresentaram o problema de arranhar. Após visualização de alguns conjuntos, ficou claro que existiam marcas evidentes de desgaste por abrasão na anilha de ajuste na superfície voltada para o casquilho de apoio. Primeiramente, pensou-se que o desgaste podia advir de partículas soltas que se encontrassem entre os dois componentes, no entanto, mesmo com uma limpeza profunda, o defeito persistia. Assim, após uma visualização mais atenta,

concluiu-se que na superfície do casquilho existiam algumas saliências (pontos) que não seguiam o normal alinhamento da superfície.

O material do casquilho de apoio é uma liga de alumínio que contém como principais elementos de liga o magnésio e o silício, pertencendo desta forma à série 6xxx. Estas ligas geralmente contêm as proporções de magnésio e silício requeridas para a formação de Mg_2Si , que as torna tratáveis termicamente (Davis 1993). Esta série apresenta boa formabilidade, soldabilidade, maquinabilidade e resistência à corrosão. Estas ligas podem ser formadas por uma têmpera T4 (tratadas termicamente e envelhecidas naturalmente) ou por uma têmpera T6 (tratadas termicamente e envelhecidas artificialmente) (Davis 1993). O material do casquilho de apoio é o 6082 com uma têmpera T6, cuja composição química e dureza são apresentadas no ANEXO J: Propriedades do material do casquilho e da anilha de ajuste. Por sua vez, a anilha é produzida em aço inoxidável, cuja designação do material é AISI 301. A sua composição química e dureza é também apresentada no ANEXO J.

Como é possível verificar, a anilha de ajuste é produzida num material mais duro que o casquilho de apoio, pelo que não deveria ficar arranhada quando em contacto com os pontos visíveis no casquilho. Desta forma, decidiu-se observar algumas anilhas e alguns casquilhos ao microscópio ótico disponibilizado pela FEUP, por forma a visualizar as superfícies com mais pormenor.

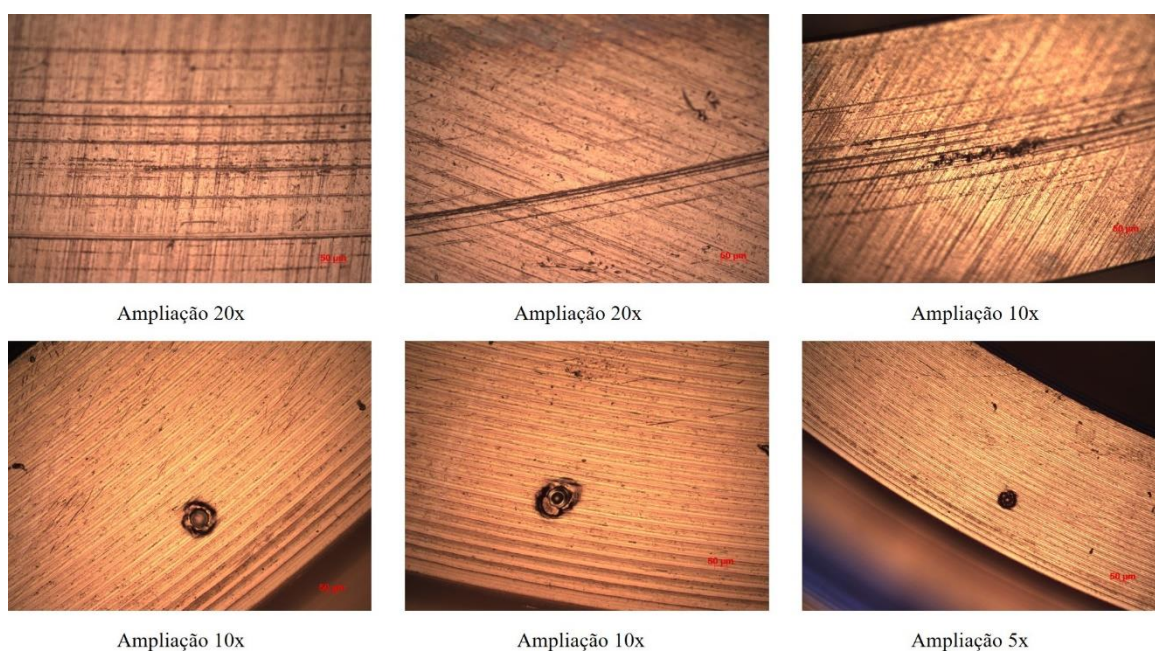


Figura 47 - Visualização da anilha de ajuste (em cima) e do casquilho de apoio (em baixo) ao microscópio ótico

Na Figura 47, são apresentadas as imagens visualizadas ao microscópio ótico. As três imagens de cima dizem respeito à anilha de ajuste e as três de baixo ao casquilho de apoio. Relativamente às anilhas é possível observar que se encontram arranhadas ao longo de todo o diâmetro. No que diz respeito ao casquilho de apoio, os pontos visualizados a olho nu, eram bem perceptíveis e destacavam-se na matriz homogênea de alumínio.

Assim, antes de prosseguir o estudo e tentar perceber qual a origem dos pontos encontrados no casquilho, foi realizado um teste experimental que assegurasse que o problema provinha daquele defeito. Foram escolhidos 8 casquilhos de apoio, sendo que 4 apresentavam os pontos e os outros 4 se encontravam em perfeitas condições. Procedeu-se à montagem dos casquilhos e concluiu-se que os 4 casquilhos que apresentavam pontos arranhavam e os 4 casquilhos em perfeitas condições, apresentavam um movimento suave e sem interferência. Procedeu-se

também à medida da altura da cavidade do casquilho de apoio (dimensão rodeada a vermelho no ANEXO H), em cima dos pontos existentes, sendo que o valor apresentado era inferior às especificações. Assim, concluiu-se que se tratava de saliências e não de depressões no material.

Uma vez concluído que o problema advinha de um defeito no casquilho de apoio, foi necessário perceber qual a natureza do problema, de maneira a intervir adequadamente. Assim, foi decidido realizar uma espectroscopia de raio X por dispersão em energia (EDS), que é uma técnica analítica que permite caracterizar quimicamente uma amostra, por forma a perceber a composição química dos pontos. No ANEXO L: Imagens recolhidas e caracterização química pelo microscópio eletrónico, são apresentadas as imagens recolhidas durante o estudo para três amostras de casquilhos. As amostras são referidas por D1, D2 e D3 e as zonas onde se estudou a composição química por Z1, Z2, Z3 ou Z4. As imagens recolhidas bem como as zonas onde foram analisados os espectros apresentam-se indicadas em cada imagem. A amostra 1 refere-se a um casquilho que já tinha sido montado e desmontado que apresentou o problema de arranhar. As amostras 2 e 3 referem-se a casquilhos recolhidos após a fase de torneamento (onde já apresentavam os pontos salientes).

Pela análise das figuras é perceptível que existem inclusões na matriz de alumínio, conclusão corroborada pela análise de composição química. De facto, para a mostra D1 e localizações Z1 e Z2, o alumínio é o elemento maioritário, pelo que respeita a composição química da liga de alumínio 6082. No entanto, se visualizarmos as restantes análises químicas, concluímos que as inclusões ou pontos duros são constituídos por:

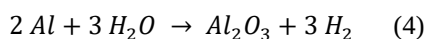
- Sílica: SiO_2
- Magnésio: Mg; Sódio: Na; Cálcio: Ca e Alumínio: Al associados ao oxigénio
- Silício: Si (Amostra D3, localização Z1)

Desta forma, foram estudadas as possíveis causas para o aparecimento destas inclusões ou pontos duros. De facto, a composição química obtida indica que o problema não provém da fase de maquinaria da peça, por não serem observados os elementos utilizados durante o processo. Assim, percebeu-se que o problema não provinha do processo de fabrico da empresa, mas sim corresponderia a um problema na produção de matéria prima, mais especificamente, no processo de fundição e extrusão da liga.

Durante o processo de fundição do alumínio são utilizados fluxos, ou seja, aditivos que têm como função tratar o alumínio fundido. Os fluxos são compostos químicos elementares ou conjugados que, em conjunto, representam várias funções, como a desgaseificação, o refinamento dos banhos, a proteção contra a oxidação, a limpeza dos banhos, entre outras. De facto, no alumínio fundido é comum o aparecimento de impurezas e a oxidação dos banhos, pelo que, os fluxos facilitam a aglomeração e a separação destes constituintes indesejáveis (Davis 1993).

A oxidação no alumínio e suas ligas ocorre por contacto direto com o ar, por reações com vapor de água, ou por reações com óxidos de outros metais, contidos nas ferramentas e nos refratários. Desta maneira, é necessário tratar o material para remover as partículas não metálicas suspensas. Para cada caso, o objetivo é a remoção da interface óxido / metal fundido de modo a proporcionar a separação efetiva de óxidos e outros materiais incluídos, e a flotação destes não-metálicos por ligação a elementos sólidos ou gasosos, ou a compostos introduzidos ou formados, durante o tratamento por fluxo (Davis 1993).

Uma das reações comuns é a reação do alumínio líquido com o vapor de água existente, formando alumina e hidrogénio, pela Equação 4 (International 1998).



A inserção de fluoretos provoca a dissolução dos óxidos, de acordo com a reação geral representada na Equação 5 (Davis 1993):



Assim é formada criolite ($4\text{Na}_3\text{AlF}_6$), composto dissolvente por excelência da alumina. No entanto, este composto, exige a adição de outros componentes que baixem o ponto de fusão dos fluxos, como é o caso do NaF (fluoreto de sódio), do AlF_3 (Fluoreto de alumínio) e do CaF_2 (Fluoreto de cálcio) (Neto 1985).

Segundo Davis (1993) o óxido de magnésio (MgO) representa também uma inclusão sólida nas ligas de alumínio fundidas.

Desta forma, e observando a composição química dos fluxos ou dos compostos criados durante o tratamento por fluxo, é perceptível que correspondem aos componentes observados no casquilho de apoio pela espectroscopia eletrónica, o que indica que existem problemas nos parâmetros ou nos fluxos utilizados pelo fornecedor na fundição do alumínio. Uma observação importante, é o facto de na amostra D1 as partículas duras não serem visíveis, em detrimento de “crateras” existentes no material. Isto acontece pois, como já foi referido, a amostra D1 já tinha sido montada e submetida a desgaste pelo que os pontos duros saltaram, ficando apenas visível a “cratera” e a composição química pré-existente. Isto também explica o facto de, por vezes, o retrabalho após montagem consistir apenas na limpeza do contacto 1,2,3 após solicitação e manuseio do botão.

Antes de se realizar qualquer intervenção ao problema, foi estudado o facto de este problema ter sido pontual. No entanto, após uma investigação a outros varões de matéria prima do mesmo fornecedor (do mesmo e de tamanhos diferentes ao utilizado para o casquilho de apoio), percebeu-se que o problema era recorrente. Em conjunto com alguns elementos da empresa, foi realizado um documento explicativo do problema a fim de se efetuar uma reclamação ao fornecedor. De facto, este problema apesar de não interferir negativamente com todos os componentes da empresa, afeta, sem dúvida, componentes de contacto e componentes estéticos. Enquanto o problema não foi totalmente resolvido com o fornecedor, o processo de fabrico dos casquilhos na Leica foi alterado. Após torneamento, estes passaram a ser submetidos a um processo de esmerilagem, com material cerâmico, por forma a remover os pontos duros visíveis.

Assim, para avaliar se a esmerilagem surtia efeito no problema do botão a arranhar, foram recolhidos dados no posto do sistema de focagem. Foram montados 26 binóculos e, mais uma vez, foi registada a quantidade de binóculos retrabalhada no posto de trabalho, o tempo total de montagem e a parcela gasta em retrabalho, bem como, o tipo de retrabalho efetuado.

Os dados recolhidos indicam que 6 dos 26 binóculos apresentaram necessidade de retrabalho no posto de montagem do sistema de focagem. O tempo total de montagem foi de 218 minutos (3 horas e 38 minutos), sendo que o tempo utilizado em retrabalho foi 34 minutos. Assim, conclui-se que houve necessidade de retrabalho em aproximadamente 23% dos casos ($6 \text{ binóculos retrabalhados} / 26 \text{ binóculos montados} \approx 0,231$), tendo este ocupado cerca de 16% do tempo total de montagem ($34 \text{ minutos} / 218 \text{ minutos} \approx 0,156$). Isto evidencia uma diminuição de 57% dos binóculos retrabalhados e uma redução de 16,5% do tempo utilizado em retrabalho, comparativamente ao início do estudo. Os resultados obtidos após montagem do sistema de focagem são apresentados na Figura 48.

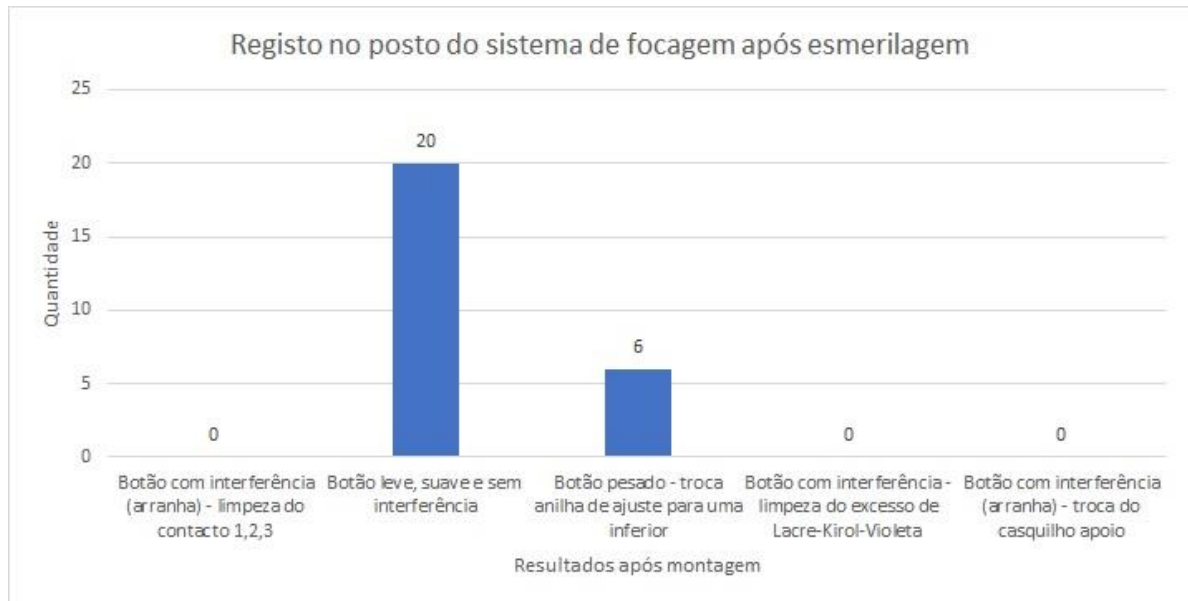


Figura 48 - Classificação e quantificação dos retrabalhos efetuados no posto do sistema de focagem após esmerilagem

Pela análise dos dados, pode-se concluir que o problema do botão com interferência, a arranhar, foi totalmente eliminado, não se verificando qualquer tipo de retrabalho devido a este problema. De facto, isto permite concluir que os pontos duros ou impurezas encontradas nos casquilhos eram a causa do problema. Os 6 binóculos que apresentaram retrabalho foi com o problema do movimento do botão pesado, por ser um assunto que ainda estava sob análise na empresa.

6.3 Conclusões

Após implementação das propostas de melhoria, tornou-se crucial analisar de que forma estas intervieram na taxa de rejeição final do produto. De facto, no início do projeto, nas 13 primeiras semanas, a taxa de rejeição final média devido a este problema foi de 2,5%, sendo que, nas 5 semanas após as implementações, a taxa de rejeição final atingiu o valor de 0% devido a este problema. Apesar do espaço temporal não ser o mais abrangente possível, este é um bom indício de que o problema do movimento de focagem irregular ficou resolvido, contribuindo, assim, para uma diminuição da taxa de rejeição final do produto.

7 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

A Leica é uma empresa de excelência na produção de aparelhos óticos de precisão e, neste sentido, tem como principal missão a entrega de produtos de qualidade elevada aos seus clientes. Consciente de que a entrega do produto final de qualidade implica garantir a qualidade desde a conceção do produto ao conjunto de atividades que garantem a produção do mesmo, a Leica possui um departamento de qualidade bem organizado e estruturado ao longo de toda a cadeia de produção. A diminuição do desperdício, a redução dos tempos de produção, a otimização do processo e a diminuição dos custos de não qualidade são os objetivos primários e são realizados esforços quotidianos para uma melhoria contínua.

Neste sentido, o presente projeto teve como intuito a diminuição da taxa de rejeição final do binóculo *Noctivid*, através da resolução de problemas que afetavam os índices de qualidade do produto. A seleção dos problemas a abordar passou pela análise dos registos de taxa de rejeição final do produto e pela observação minuciosa do processo de montagem do binóculo. Desta forma, o projeto foca-se primeiramente no problema das partículas soltas ou sujidades encontradas nos componentes óticos, por ser o problema que representa a maior taxa de rejeição final e por apresentar bastante necessidade de retrabalho ao longo da linha de montagem destabilizando assim o seu normal funcionamento. O segundo aspeto abordado objetiva o movimento de focagem irregular, por apresentar uma taxa de rejeição também elevada e pelo retrabalho efetuado antes da chegada do produto ao QS não ser evidenciado nos registos, mas perturbar bastante o normal seguimento da linha.

As partículas soltas ou sujidades representam o maior obstáculo para a empresa pela impossibilidade da montagem ocorrer num local 100% isento de partículas e pela própria acumulação de partículas nos componentes metálicos e óticos ser inevitável. O estudo deste problema passou pela observação dos diferentes postos de trabalho e métodos de produção, com o objetivo de se encontrar possíveis melhorias no processo.

A primeira proposta concerniu na lavagem das ferramentas utilizadas na montagem dos diversos grupos constituintes dos binóculos, pois estas encontravam-se bastantes sujas e realizavam contacto com os diversos componentes de vidro e metálicos do binóculo. Após a realização do teste experimental, foi verificado uma melhoria significativa na qualidade geral das ferramentas, que se evidenciou numa diminuição acentuada do retrabalho na linha de montagem antes da chegada do produto final ao QS, com uma redução de 30% dos binóculos retrabalhados e uma diminuição de 9% no tempo utilizado a retrabalhar, relativamente ao início do projeto.

A segunda proposta para diminuição das partículas soltas consistiu na escovagem da zona roscada dos dois meios corpos que constituem o binóculo, por representar uma potencial zona de libertação de partículas. Para esta proposta foi também realizado o teste experimental, já depois da lavagem das ferramentas, e concluiu-se que esta operação permitiu diminuir a percentagem de binóculos retrabalhados em 50% e reduzir o tempo utilizado em retrabalho em 10% relativamente ao teste inicial.

Pela análise dos registos no QS, foi possível concluir que houve uma redução de 7,88% para 6,33% da taxa de rejeição média devido a sujidades. Desta forma, consuma-se que as propostas implementadas não só permitiram a diminuição da taxa de rejeição final do produto, como também garantiram um aumento de rendimento no processo.

O movimento de focagem irregular representou o segundo tema alvo no projeto. A elevada taxa de rejeição final do produto devido a este problema aliada a uma necessidade de retrabalho exagerada, criava distúrbios no normal funcionamento da linha nas etapas primordiais do processo.

A primeira proposta implementada consistiu na alteração do método de aplicação do Lakre-Kirol-Violeta para uma seringa que garantia a colocação do adesivo de uma forma mais precisa, impedindo assim a sua migração para zonas que fossem sujeitas a movimento. Após esta alteração, não se verificou mais a necessidade de retrabalho na linha devido a este problema.

A segunda proposta baseou-se no problema do botão pesado, que impedia a rotação leve exigida nas especificações. Após realização de testes experimentais, conclui-se que não se tratava da não calibração do instrumento, de erros na leitura por parte da montadora ou de componentes com medidas dimensionais fora de especificação. As razões encontradas representavam problemas na base do projeto por valores de folga insuficientes, que impedissem a rotação leve desejada para o botão, ou, ainda, por um método de seleção da anilha deficiente. Com isto, propôs-se uma revisão do projeto para o cálculo do valor de folga e para o método de seleção da anilha. Enquanto o problema não foi analisado pela empresa, alertou-se a montadora para realizar a medição na zona que apresentou os valores de folga mais baixo e para escolher sempre a anilha que garantisse o máximo valor de folga ao conjunto.

A última proposta teve por base o problema do botão de focagem arranhar, ou seja, apresentar ressaltos e interferências que não são permitidos no controlo de qualidade final. A observação atenta na linha de montagem permitiu concluir que este problema decorria de problemas no casquilho de focagem, que se evidenciavam em pequenas saliências no material. Após visualização do componente ao microscópio ótico e eletrónico, foi concluído que este apresentava problemas decorrente do processo de fundição e extrusão da liga, processos externos à empresa Leica, evidenciados pelos pontos duros visíveis na liga de alumínio. Desta forma, e, uma vez que o problema foi corroborado em mais do que um componente, foi redigida uma reclamação ao fornecedor, por forma a eliminar este defeito. Enquanto o problema não fosse resolvido, o método de produção foi alterado, sendo que o casquilho de apoio passou a ser submetido a um processo de esmerilagem por forma a eliminar os pontos duros. Após implementação do novo método a percentagem de binóculos retrabalhada diminui de 80% para 23%.

A análise final no QS evidenciou uma redução do movimento de focagem irregular de 2,5% para 0%, pelo que se concluiu que as causas do problema foram descobertas.

Findo o projeto, considera-se que os objetivos foram globalmente atingidos, e que as propostas permitiram a diminuição da taxa de rejeição final da linha, bem como, uma otimização do processo de montagem. Algumas das propostas encontram-se já implementadas no processo produtivo, sendo que para as restantes estão a ser delineados esforços para as pôr em prática.

Como perspetiva de trabalho futuro salienta-se a necessidade de maior atenção no que concerne às partículas soltas ou sujidades por representar o maior problema a enfrentar na empresa.

Referências

- Almeida, Guilherme de. 2004. *Telescópios*. Plátano Editora.
- Askeland Donald, R. e P. Phulé Pradeep. 2006. *The science and engineering of materials*. Vol. 5th ed. [S.l.]: Thomson.
- Associação Portuguesa do Alumínio. 2016. "Tratamento de superfície - Lacagem". Acedido a 26 de fevereiro de 2018. <http://apal.pt/index.php/processos/tratamento-de-superficies/lacagem>.
- Benez, Leo. 2014. *O Binóculo, esse desconhecido*. INAPE.
- Birdwatcher, Los Gatos. "Binocular Basics". Acedido a 1 de junho de 2018. http://www.losgatosbirdwatcher.com/downloads/tips/binocular-basics_web.pdf.
- Bouton, Jeff. 2010. "Birding with my Leica Optics". Acedido a 6 de maio de 2018. <https://leicabirding.blogspot.com/2010/01/binocular-basics-1.html>.
- Camera, Tamarkin. 2015. "LEICA BINOCULARS & SPORT OPTICS". Acedido a 5 de junho de 2018. <https://www.tamarkin.com/products/leica-binoculars-and-sport-optics>.
- Canon. 2000. "Binoculars: Technology Guide". Acedido a 4 de junho de 2018. <https://s3.amazonaws.com/szmanuals/5353360e12aa9fc7ae268d4419d98b35>.
- Celestron. 2010. "How to Choose and Use Birding Optics". Acedido a 5 de abril de 2018. http://www.gorisgroup.com/download/celestron/How_to_Choose_and_Use_Birding_Optics.pdf.
- Chiaverini, Vicente. 1986. *Tecnologia Mecânica*. 2.^a ed. Vol. III: McGraw-Hill.
- Dale, B. G. 2003. *Managing Quality*. 4.^a ed.: Blackwell Publishers.
- Davis, Joseph R. 1993. *Aluminum and Aluminum Alloys*. ASM International.
- Farr, Camfil. 2012. "Clean Room Design Standards & Energy Optimization". Acedido a 6 de abril de 2018. <https://www.camfil.fr/FileArchive/Brochures/Clean%20process/CREO.pdf>.
- Garvin, D. A. 1987. "Competing on the Eight Dimensions of Quality". *Harvard Business Review*, n.º 65 (6): 101-109.
- Germany, Steiner. 2009. "Binóculos: Noções Básicas". Acedido a 20 de maio de 2018. https://www.esp-belga.com/xms/files/Especificacoes_essenciais_nos_binoculos.pdf.
- Goetsch, David L. e Stanley Davis. 2006. *Introduction to Total Quality – Quality Management for Production, Processing, and Services*. 5.^a ed.: Pearson Prentice Hall.
- Grabowski, Michael, Daniel Blucher, Michael Korte, Matthias Brettmann e Sannakaisa Virtanen. 2017. Method for passivating a metallic surface.
- Hecht, Eugene. 2002. *Óptica*. 2.^a ed.: Fundação Calouste Gulbenkian.
- International, A. F. S. Conference. 1998. *Molten aluminum processing*. Des Plaines, Illinois: American Foundrymen's Society.
- International Organization for Standardization. 2015. "ISO 14644-1:2015 Cleanrooms and associated controlled environments — Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration". Acedido a 6 de abril de 2018. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:53394:en>.

- IPQ, Instituto Português da Qualidade. 2015. *Sistemas de gestão da qualidade - Fundamentos e vocabulário (ISO 9000:2015)*. IPQ.
- Juran, Joseph M. e A. Blanton Godfrey. 1999. *Juran's Quality Handbook*. 5.^a ed.: McGraw-Hill.
- Kimaoprema. "Laminar flow hoods". Acedido a 7 de abril de 2018. <http://www.klimaoprema.hr/en/cleanroom/products/laminar-flow-hoods/>.
- Koshel, R. John, John E. Greivenkamp, G. Groot Gregory e David L. Steed. 2011. "The history of telescopes and binoculars: an engineering perspective". Comunicação apresentada em Novel Optical Systems Design and Optimization XIV.
- Leica — Aparelhos Ópticos de Precisão, S.A. 2017. "Ótica Plana + Ótica Esférica". <https://leica.pt/optica>.
- Leica Camera AG. 2016a. Experience Observation.
- Leica Camera AG. 2016b. Technical Data.
- Leica Camera AG. 2018. "Leica Noctivid - A century of knowledge has come to life". Acedido a 1 de março de 2018. <https://en.leica-camera.com/Sport-Optics/Leica-Birding/Binoculars/Leica-Noctivid>.
- Leica, Departamento de Qualidade: Vila Nova de Famalicão. 2016. Inspeção Final: Binóculo Noctivid 8 e 10x42.
- Lizdas, Ben. 2013. "Birder's Guide to Gear". Acedido a 1 de junho de 2018. <https://www.bajawhale.com/wp-content/uploads/2014/01/Binocular-101.pdf?x99162>.
- Marketing, Midstates. 2018. "Cleanroom Guide". Acedido a 20 de junho de 2018. <http://www.rep.com/cleanroom-guide/>.
- Monoyer, Ferdinand. 1872. *Annales d'Oculistique*. The transatlantic.
- Montgomery, Douglas C. 2009. *Introduction to statistical quality control*. 6.^a ed.: Wiley.
- Neto, Rui Jorge de Lemos. 1985. *Ligas de Alumínio em Fundição*.
- Nikon. 2013. "Nikon Sport Optics". <https://www.londondrugs.com/on/demandware.static/Sites-LondonDrugs-Site/Sites-LondonDrugs-Library/default/pdf/product/Nikon-Sport-Optics-Resource-Guide-v2.pdf>.
- Nikon. 2016. "Bring Real to life". Acedido a 2 de junho de 2018. <https://imaging.nikon.com/lineup/sportoptics/dl/catalogue/SportOpticsCatalog.pdf>.
- Nikon. 2018. "Basic Information about Binoculars - Magnification". Acedido a 3 de junho de 2018. https://imaging.nikon.com/lineup/sportoptics/how_to/guide/binoculars/basic/basic_03.htm.
- Pereira, Mário. 2008. *Ótica, Geométrica Ocular*. Universidade da Beira Interior - Departamento de Física.
- Porter, Michael. 2017. "Binocular Glossary". Acedido a 20 de fevereiro de 2018. <http://birdwatching.com/optics/binoglossary.html#fov>.
- Porter, Michael e Diane Porter. 2017. "Top Binoculars Review - Leica Noctivid, Swarovski EL, Zeiss SF T". Acedido a 26 de fevereiro de 2018. http://www.birdwatching.com/optics/2017_titans_revisited/review.html.

- Reviews, Best Binocular. 2018. "Best Binoculars & Binocular Reviews: Exit Pupil - The Complete Guide". Acedido a 22 de junho de 2018. <https://www.bestbinocularsreviews.com/blog/exit-pupil-06/>.
- Silva, Carla. 2007. *VII Elementos de Óptica*. Universidade do Algarve - Escola Superior de Saúde de Faro.
- Sinnott, Roger W. 2006. "Why do the best roof-prism binoculars need a phase-correction coating?". Acedido a 1 de maio de 2018. <http://www.skyandtelescope.com/astronomy-resources/astronomy-questions-answers/why-do-the-best-roof-prism-binoculars-need-a-phase-correction-coating/>.
- Smith William, F. 1996. *Principles of materials science and engineering*. Vol. III, McGraw-Hill Series in Materials Science and Engineering. New York: McGraw-Hill.
- Thompson, Barbara Fritchman e Robert Thompson. 2005. *Astronomy Hacks: Tips and Tools for Observing the Night Sky*. O'REILLY.
- Thompson, G. E. 1997. "Porous anodic alumina: fabrication, characterization and applications". *Thin Solid Films* no. 297 (1):192-201. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040609096094400>.
- Tipler, Paul A. e Gene Mosca. 2012. *Física para Cientistas e Engenheiros*. 1.^a ed. Vol. II: LTC.
- Tonkin, Stephen. 2013. *Binocular Astronomy*. 2.^a ed.: Springer Science & Business Media.
- Villas, Marcia Regina Alves. 2006. "Processo de deposição de tintas catódicas por eletroforese e suas correlações com a qualidade", Universidade Federal Fluminense.
- Witt, Christopher. 2018. "The B&H Binocular Buying Guide". Acedido a 3 de junho de 2018. <https://www.bhphotovideo.com/explora/outdoors/buying-guide/binocular>.

ANEXO A: Informação Técnica do Binóculo Leica *Noctivid*



LEICA NOCTIVID 8x42 / 10x42

Technical data



Binocular	Leica Noctivid 8x42	Leica Noctivid 10x42
Order No. Product	40 384	40 385
Delivery scope	Neoprene carrying strap, contoured, eyepiece cover, protective front lens cover, Cordura case	Neoprene carrying strap, contoured, eyepiece cover, protective front lens cover, Cordura case
Magnification	8 x	10 x
Front lens diameter	42 mm	42 mm
Exit pupil	5.2 mm	4.2 mm
Twilight factor	18.3	20.5
Light transmission	92%	91%
Field of view at 1,000 m	135 m	112 m
Field of view at 1,000 yds	443 ft	376 ft
Objective angle of view	7.7°	6.4°
Eye-relief	19 mm	19 mm
Close focusing distance	approx. 1.9 m / 6.2 ft	approx. 1.9 m / 6.2 ft
Diopter compensation	± 4 diopters	± 4 diopters
Eyepieces for eyeglass wearers	yes, removable, with 4 click stops	yes, removable, with 4 click stops
Adjustable interpupillary distance	56 – 74 mm	56 – 74 mm
Focusing	Internal focusing via central focusing device	Internal focusing via central focusing device
Prism system	Roof prism with phase-correcting coating P40 and HighLux-System HLS™	Roof prism with phase-correcting coating P40 and HighLux-System HLS™
Watertightness	Watertight to a depth of 5 m / 16.5 ft	Watertight to a depth of 5 m / 16.5 ft
Housing	Magnesium, nitrogen-filled	Magnesium, nitrogen-filled
Dimensions (WxHxD)	124 x 150 x 68 mm 4.88 x 5.91 x 2.68 in	124 x 150 x 68 mm 4.88 x 5.91 x 2.68 in
Weight	approx. 860 g / 30.3 oz	approx. 860 g / 30.3 oz
Order No. Accessories		
Floating carrying strap, orange	42 163	42 163
Tripod adapter	42 220	42 220

Figura 49 - Informação técnica do binóculo Leica *Noctivid*

ANEXO B: Árvore do produto Simplificada

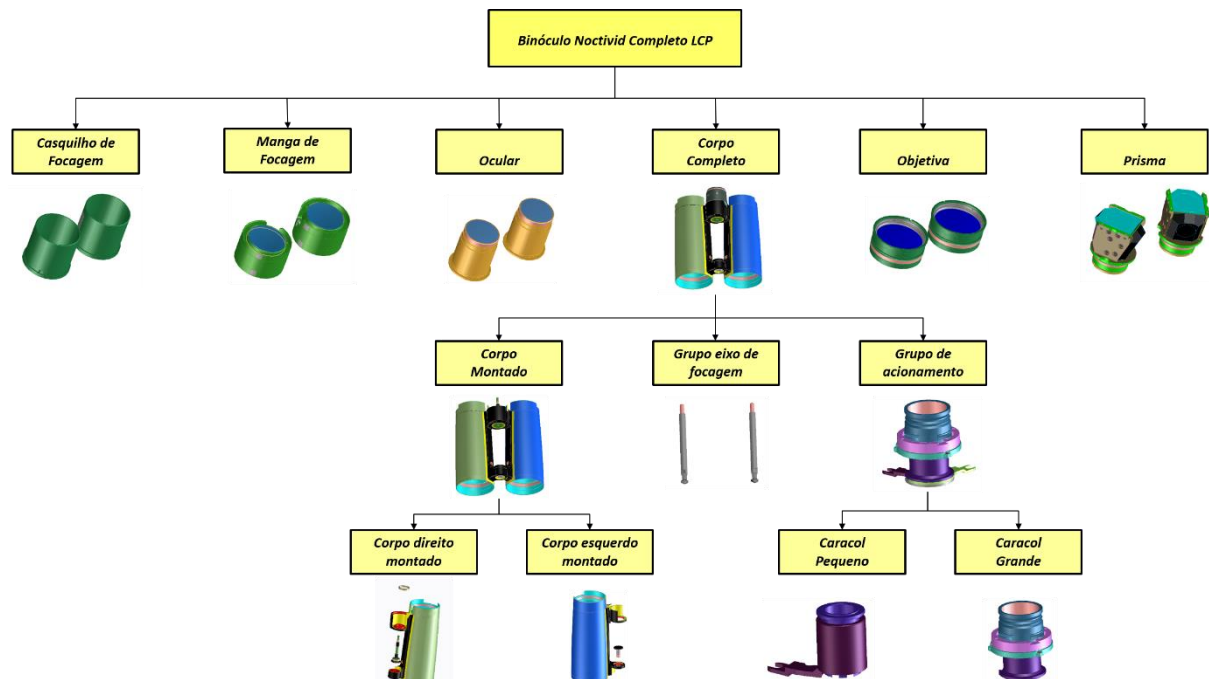
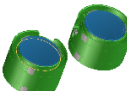
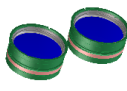
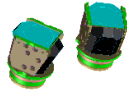
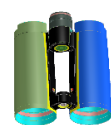
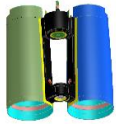


Figura 50 - Árvore do produto Simplificada

Número	Nome do Grupo	Figura	Função
1	Casquilhos de Focagem		Grupo responsável por alojar a manga de focagem durante o seu movimento axial de focagem
2	Mangas de focagem		Grupo localizado entre o prisma e a objetiva que permite focar a imagem observada
3	Oculares		Grupo mais próximo dos olhos do observador, responsável pela ampliação e campo de visão do binóculo
4	Objetivas		Grupo mais próximo do objeto a observar, responsável pela captação de luz
5	Sistema de prismas		Grupo responsável pela estrutura compacta do binóculo e pela correção da imagem invertida
6	Corpo completo		Grupo constituído pelo corpo montado, grupo de acionamento e eixos de focagem

6.1	Corpo montado		Estrutura principal de suporte aos restantes grupos constituintes do binóculo
6.2	Grupo de acionamento		Grupo responsável pelo acionamento da focagem e ajuste de dioptrias, através da rotação dos seus componentes interligados à manga de focagem
6.3	Eixos de focagem		Grupo que permite interligar o movimento rotativo do grupo de acionamento ao movimento axial das mangas de focagem

ANEXO C: Classe de qualidade de superfície mecânica e número de defeitos admitidos

Table 1

Galvanized surface, light Anodized surface, light				
Quality	Single defect size (edge length of square in mm) No. of defects			Cumulative error
1	$\frac{0.16}{2}$	-	-	0.25
2	$\frac{0.25}{2}$	$\frac{0.16}{3}$	-	0.40
3	$\frac{0.40}{2}$	$\frac{0.25}{4}$	$\frac{0.16}{4}$	0.63
4	$\frac{0.63}{2}$	$\frac{0.40}{4}$	$\frac{0.25}{6}$	1.0
5	$\frac{1.0}{1}$	$\frac{0.63}{3}$	$\frac{0.40}{6}$	1.6
6	No decorative requirements			

Table 2

Galvanized surface, dark Anodized surface, dark				
Quality	Single defect size (edge length of square in mm) No. of defects			Cumulative error
1	$\frac{0.25}{1}$	$\frac{0.16}{2}$	-	0.40
2	$\frac{0.40}{1}$	$\frac{0.25}{2}$	$\frac{0.16}{4}$	0.63
3	$\frac{0.63}{1}$	$\frac{0.40}{3}$	$\frac{0.25}{6}$	1.0
4	$\frac{1.0}{1}$	$\frac{0.63}{2}$	$\frac{0.40}{4}$	1.6
5	$\frac{1.6}{1}$	$\frac{1.0}{2}$	$\frac{0.63}{4}$	2.5
6	No decorative requirements			

Table 3

Surface lacquered with smooth finish Plastic surface S10,S20,S30 (according to LN 108 30) E10, E20,N10				
Quality	Single defect size (edge length of square in mm) No. of defects			Cumulative error
1	$\frac{0.25}{3}$	$\frac{0.16}{8}$	-	0.63
2	$\frac{0.40}{3}$	$\frac{0.25}{8}$	-	1.0
3	$\frac{0.63}{3}$	$\frac{0.40}{6}$	$\frac{0.25}{10}$	1.6
4	$\frac{1.0}{3}$	$\frac{0.63}{6}$	$\frac{0.40}{10}$	2.5
5	$\frac{1.6}{3}$	$\frac{1.0}{6}$	$\frac{0.63}{10}$	4.0
6	No decorative requirements			

Table 4

Surface lacquered with texture finish Plastic surface E30,E40 (according to LN 108 30) N20,N30,N40,N50				
Quality	Single defect size (edge length of square in mm) No. of defects			Cumulative error
1	$\frac{0.40}{4}$	-	-	1.6
2	$\frac{0.63}{4}$	$\frac{0.40}{6}$	-	2.5
3	$\frac{1.0}{4}$	$\frac{0.63}{6}$	$\frac{0.40}{10}$	4.0
4	$\frac{1.6}{4}$	$\frac{1.0}{6}$	$\frac{0.63}{10}$	6.3
5	$\frac{2.5}{4}$	$\frac{1.6}{6}$	$\frac{1.0}{10}$	10
6	No decorative requirements			

Figura 51 - Classe de qualidade de superfície mecânica e número de defeitos admitidos

ANEXO D: Montagem dos subgrupos mecânicos

• Montagem do corpo esquerdo e direito:

Os corpos binoculares chegam da zona de lavagem separados em dois telescópios. A primeira etapa é a roscagem da bucha de deslize na parte interior de cada corpo com aplicação de um vedante para garantir a sua correta fixação e garantir a estanquicidade ao corpo (Figura 52 – a) e b)). É através desta bucha de deslize que o eixo de focagem deslizará, permitindo o movimento axial da manga para focagem. Após esta operação, os corpos são trabalhados de forma distinta. No corpo direito, é colocado o casquilho, elemento de contacto entre os corpos, e o eixo para o grupo de acionamento (Figura 52 – d)). Ambos os elementos são colocados na ponte superior do binóculo, sendo que, para permitir uma união permanente, é aplicada *Araldite* nas superfícies de contacto. No corpo esquerdo, é colocado um eixo na ponte inferior que permitirá a união entre os corpos (Figura 52 – c)). Também neste eixo é aplicado *Araldite* para garantir uma união permanente. Após estes processos, os telescópios seguem para a estufa, por forma a acelerar o processo de solidificação das colas.

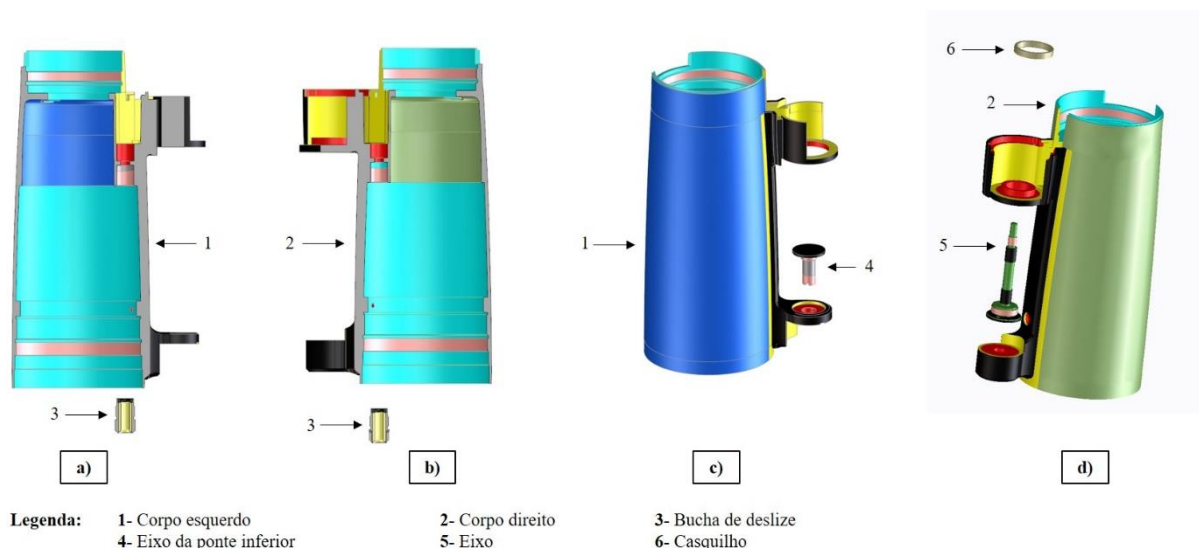


Figura 52 - Montagem do corpo esquerdo e direito

• Eixos de focagem:

Para cada binóculo são utilizados dois eixos de focagem iguais, sendo um para o corpo esquerdo e outro para o corpo direito. Este elemento é composto pelo eixo, duas anilhas, uma mola e um freio, sendo a sua disposição a apresentada na Figura 53.

Os eixos de focagem são os elementos responsáveis por interligar o movimento rotativo do botão de focagem ao movimento linear da manga, sendo que apresentam comprimentos diferentes consoante a ampliação do binóculo (são maiores no caso do modelo 8x).



Figura 53 - Eixos de focagem

- **Grupo de acionamento:**

O grupo de acionamento (Figura 54 – d)) é constituído por dois subgrupos, o caracol pequeno e o caracol grande, responsáveis pelo ajuste das dioptrias e movimento de focagem, respetivamente. Ambos os subgrupos chegam à secção de montagem como um grupo conjugado, sendo que não são separados pela montadora durante todo o processo.

O caracol pequeno é constituído por dois componentes, a bucha e o transportador, sendo ambas as peças roscadas. O processo inicia-se pelo polimento com massa de polir para eliminar pequenas imperfeições no movimento roscado. De seguida, os componentes são colocados num suporte de aço inoxidável para posterior lavagem.

No que diz respeito ao caracol grande, este também é constituído por dois componentes, a bucha de engate híbrido trabalhado e a bucha roscada. Estas peças são polidas da mesma forma que o caracol pequeno e são posteriormente lavadas.

Após este processo, a montagem inicia-se com a colocação da bucha de engate híbrido trabalhada na parte superior do casquilho de apoio. Entre estes dois componentes é colocada uma anilha de ajuste. A montadora efetua a medição da altura entre a bucha de engate híbrido trabalhado e o casquilho de apoio e, consoante o resultado, tem a possibilidade de escolher entre três possíveis alturas da anilha de ajuste. Determinada a anilha de ajuste a montadora aplica massa 408 + 5% Teflon e massa 430 (*Losoid*) em ambas as superfícies de contacto e une-as. Consequentemente, é colocada uma anilha em POM na parte superior do apoio do caracol grande para eliminar alguma folga existente e um anel de fixação que permite fixar o conjunto. Por fim, é colocada massa 335 nas roscas e é feita a ligação entre os dois componentes do caracol grande (Figura 54 – a)).

A montagem prossegue com a ligação roscada do caracol pequeno, em que é aplicada, da mesma forma, massa 335 na ligação (Figura 54 – b)). O caracol pequeno pode então ser inserido dentro do caracol grande, com uma anilha ondulada entre eles. Seguidamente, é colocado o braço transportador, onde é aplicada massa 408 + 5% Teflon, o batente e, por fim, quatro parafusos de cabeça chata, onde é aplicado loctite 222 (Figura 52 – c)).

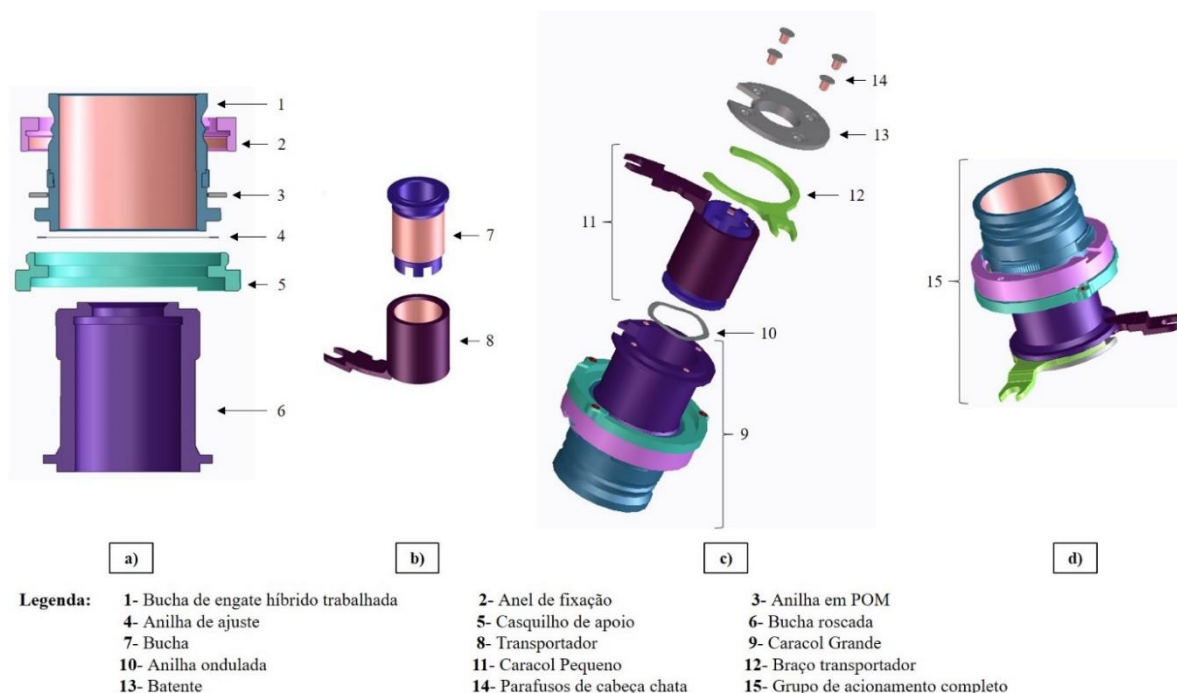
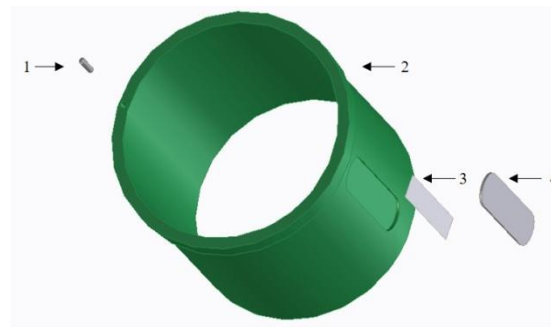


Figura 54 - Grupo de acionamento

- **Casquilho de focagem:**

A montagem do casquilho de focagem (Figura 55) inicia-se com a colocação do perno cilíndrico no casquilho com ajuda de uma máquina, sendo este o elemento responsável pela fixação do casquilho no interior do corpo do binóculo. Seguidamente, coloca-se a fita adesiva na superfície exterior do casquilho e a respetiva tira em chapa que permite a deslocação do casquilho aquando da sua colocação no corpo.

O casquilho de focagem apresenta uma baixa rugosidade no seu interior, para permitir que o movimento linear da manga de focagem seja suave e sem interferências.



Legenda: 1- Perno cilíndrico 2- Casquilho de focagem
3- Fita adesiva 4- Tira em chapa

Figura 55 - Casquilho de focagem

ANEXO E: Montagem dos subgrupos óticos

• Sistema Prisma:

Os prismas chegam à secção de montagem já colocados nas “cadeiras” dos primas. A primeira etapa a ser realizada é a sua limpeza com uma espátula com acetona ou, em caso de sujidade maior, com um pano. Seguidamente, é colocada uma lente côncava, com ajuda de uma ferramenta, no orifício da “cadeira” do prisma e o respetivo anel de fixação, com aplicação de *lacre zapon*, para garantir a sua fixação (Figura 56 – a)). No lado oposto do prisma, é colocado o diafragma, sendo este fixado com quatro parafusos que apertam diretamente na “cadeira” do prisma (Figura 56 – b)).

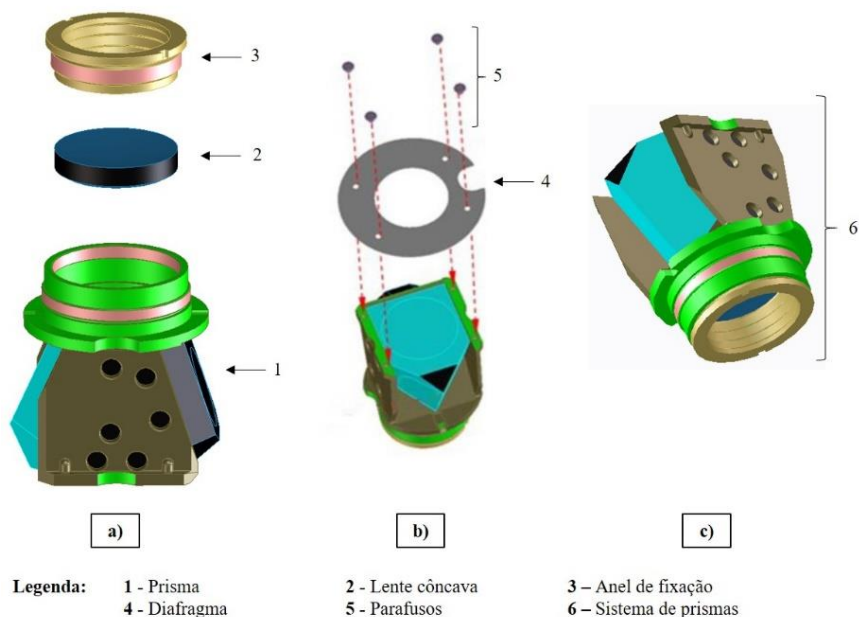


Figura 56 - Sistema Prisma

• Oculares:

A montagem das oculares (Figura 57 – c)) inicia-se com a colagem da lente exterior no casquilho da ocular através de uma máquina de colagem automatizada (Figura 57 – a)). Esta lente é a que ficará em contacto com o exterior e que se encontrará mais perto do olho do utilizador. A segunda etapa da montagem da ocular prossegue com a colocação da lente côncava, com ajuda de uma ferramenta, seguida do anel distanciador e do dubleto. Este conjunto fica empilhado dentro do casquilho da ocular, sendo, por fim, fixado com um anel roscado onde é aplicado cola para garantir a fixação e estanquicidade do produto (Figura 57 – b)).

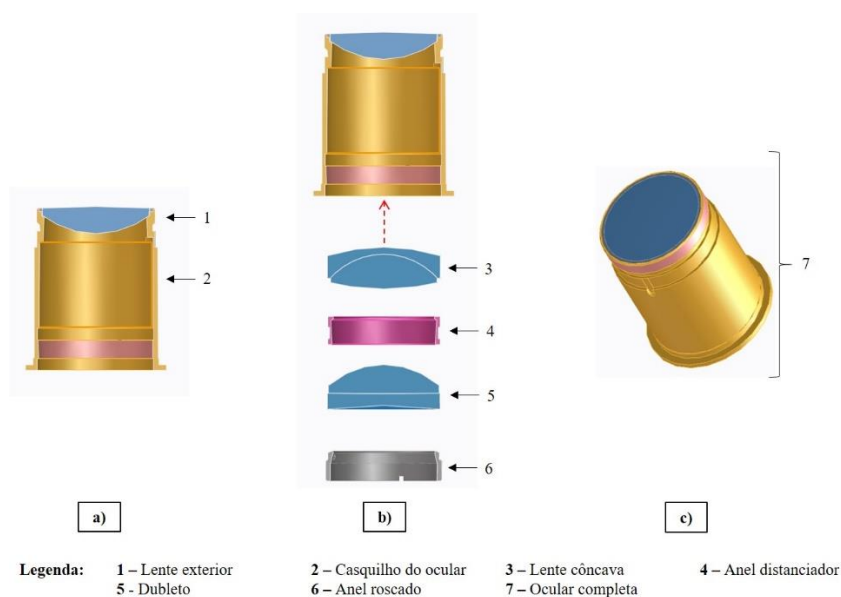


Figura 57 - Oculares

- **Manga de focagem:**

A montagem da manga de focagem (Figura 58 – c)) inicia-se com a colocação de seis superfícies deslizantes, com ajuda de uma ferramenta, cuja função é permitir que a manga de focagem deslize suavemente no interior do casquilho de focagem (Figura 58 – a)). Seguidamente, é colocado o íman na manga para garantir o correto posicionamento desta no interior do corpo do binóculo, sendo a montagem concluída com a colagem da lente de focagem na máquina automatizada (Figura 58 – b)).

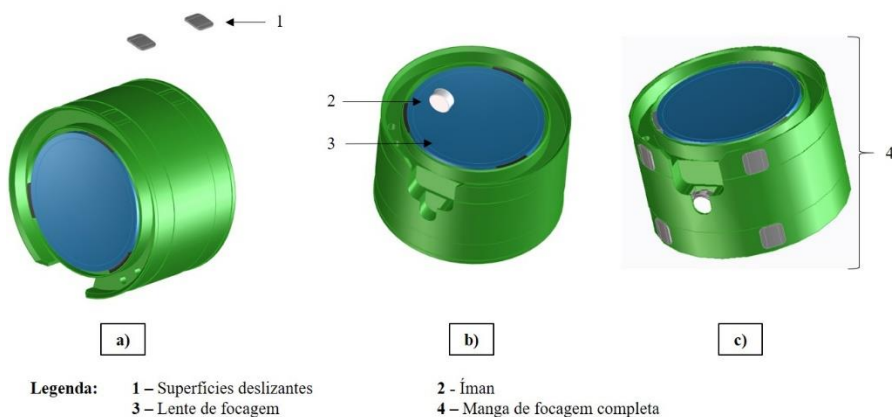


Figura 58 - Manga de Focagem

- **Objetiva:**

A objetiva (Figura 59 – c)) é constituída por duas lentes, uma lente normal interior e um dubleto. Antes da montagem propriamente dita, a montadora limpa o dubleto com uma espátula com acetona para retirar alguma sujidade ainda presente. Posteriormente, a montagem inicia-se com a colocação da lente interior numa ferramenta, seguida de um anel distanciador e do dubleto, sendo estes acoplados dentro do tubo da objetiva (Figura 59 – a) e b)). O processo segue com a colocação de um *O-Ring* e um anel roscado, para garantir a correta fixação do conjunto (Figura 59 – b)).

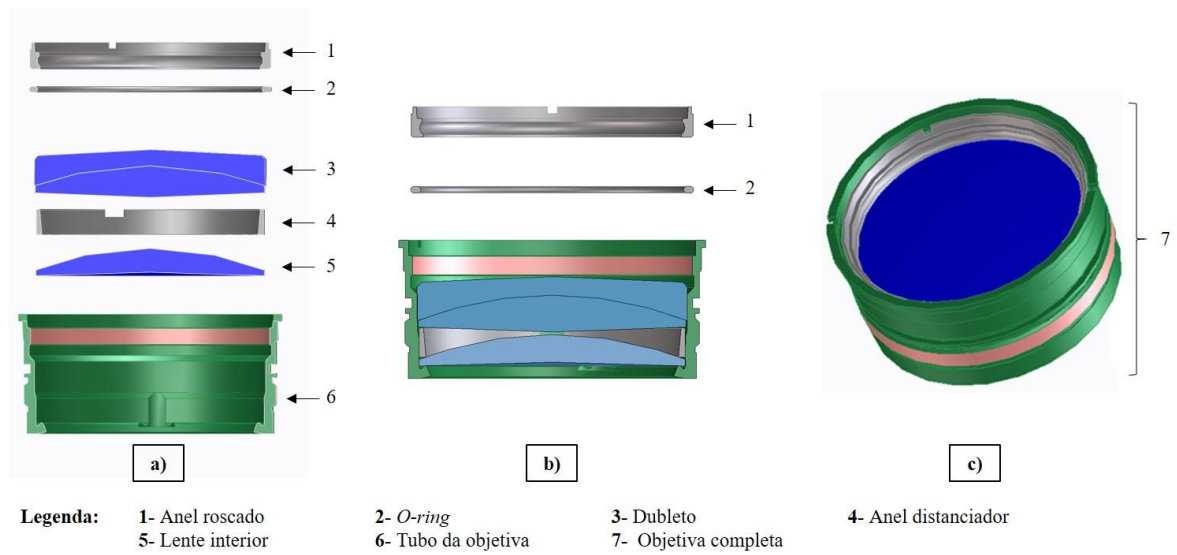


Figura 59 - Objetiva

ANEXO F: Montagem efetiva do binóculo *Noctivid*

• União dos corpos:

A união dos corpos inicia-se com a aplicação do adesivo *Planatol* nas superfícies onde serão posicionadas as anilhas na ponte inferior. Após a aplicação, é colocada no corpo direito uma anilha de aço inoxidável e no corpo esquerdo uma anilha de POM, sendo então possível a inserção de um corpo no outro, garantindo a união entre as duas pontes de articulação (Figura 60 – a) e b)).

Seguidamente, são colocadas nove anilhas no eixo da ponte inferior, sendo que seis delas são anilhas elásticas cónicas, combinadas duas a duas em série, para garantir a pré-tensão necessária à articulação do binóculo (Figura 60 – c)). Por fim, são colocados dois anéis roscados que garantem a união através de um contra aperto realizado por uma chave de binário de aperto (Figura 60 – d)).

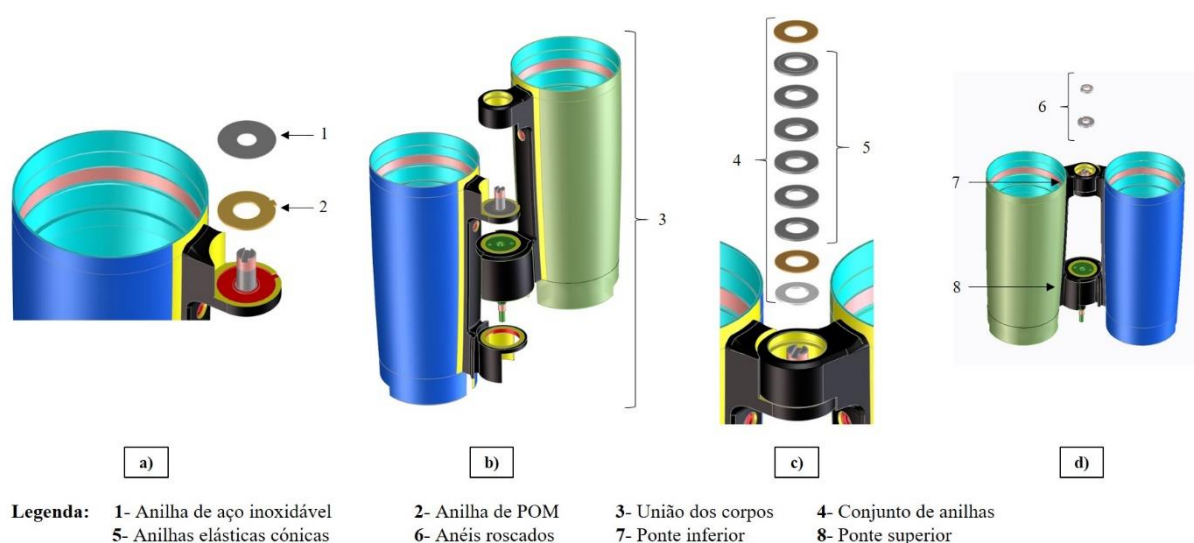


Figura 60 - União dos corpos

• Sistema de focagem:

A montagem do sistema de focagem é iniciada com a colocação dos eixos de focagem nos canais da bucha de deslize onde irão deslizar, sendo que lhes é aplicada massa 420s para permitir um movimento suave e uniforme (Figura 61 – a)). Após este processo, é colocado um freio e uma mola em cada eixo, na zona em que será ligado o grupo de acionamento, para permitir o seu correto posicionamento e para exercer uma pré-tensão no mesmo (Figura 61 – b)).

Em seguida, a montadora retira o anel de fixação do grupo de acionamento já montado, e posiciona-o numa ferramenta que permite definir a posição angular dos braços do caracol e coloca um freio em cada braço seguido de um parafuso de ajuste (Figura 61 – c)). Este conjunto é então posicionado na ponte superior do binóculo e é feita a união entre os eixos de focagem e os dois braços do grupo de acionamento através dos parafusos de ajuste. A montagem continua, com a fixação do grupo de acionamento ao corpo por intermédio de três parafusos, com loctite 222, inseridos no casquilho de apoio (Figura 61 – d)). Feito isto, o anel de fixação é então de novo fixado ao casquilho de apoio, desta vez, com colocação de Lacre-Kirol-Violeta para garantir uma fixação permanente (Figura 61 – e)). São então colocados os mordentes que auxiliam o acionamento do ajuste das dioptrias (Figura 61 – f)), e posteriormente o botão, a

guia híbrida e a fêmea de aperto (Figura 61 – h)). O botão de focagem contém ainda três peças de pressão que garantem o correto posicionamento nos dois modos de focagem (Figura 61 – g)). Tanto no botão como na guia híbrida é aplicada massa 308 + 5% Teflon e no interior da fêmea de aperto é colocado loctite 222.

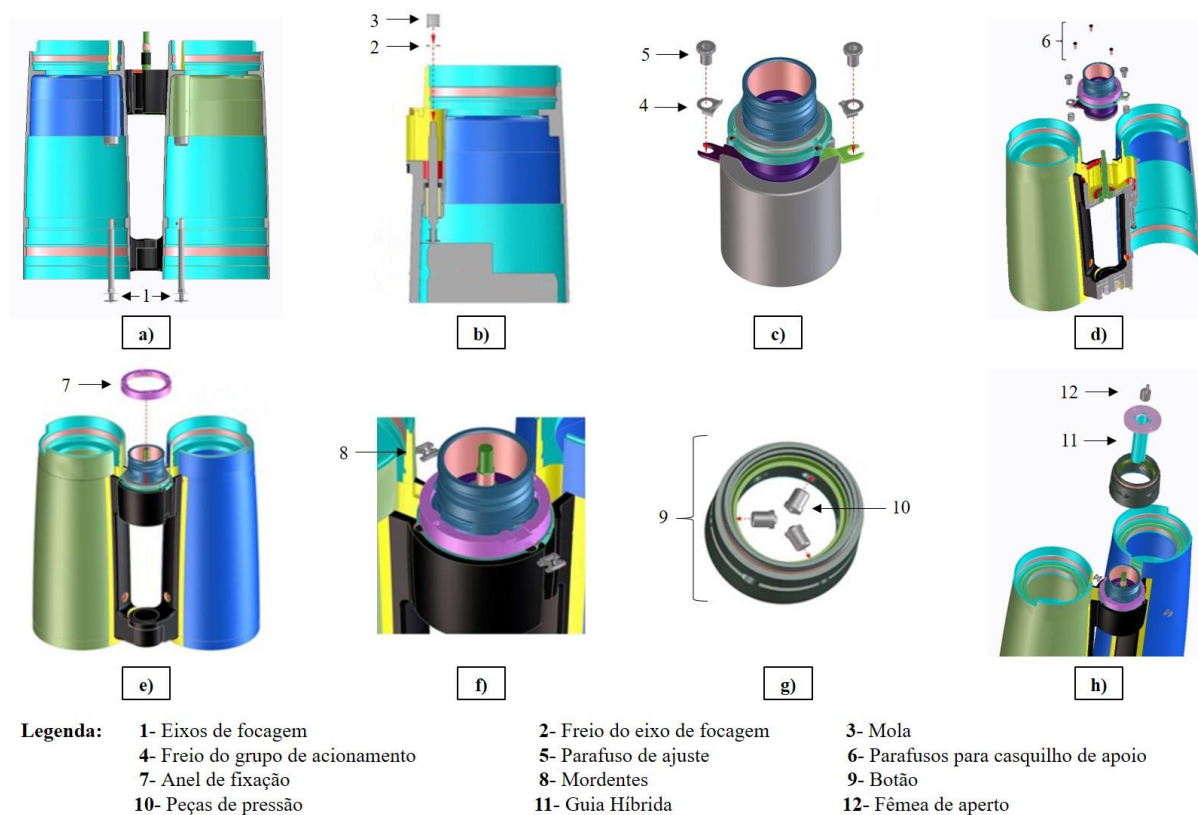


Figura 61 - Sistema de Focagem

• Montagem dos subgrupos óticos:

A montagem de todos os subgrupos óticos ocorre numa *flowbox*, sendo que no final desta etapa o binóculo se encontra quase acabado. A montagem inicia-se com a colocação dos sistemas de prisma nos corpos com o auxílio de um mecanismo de corredeira, sendo estes fixados com um anel roscado colocado do lado da ocular (Figura 62 – a)).

A montagem prossegue com a colocação das oculares. Nelas é colocado um excêntrico, que permitirá o ajustamento ocular numa etapa posterior, uma anilha de deslize e, por fim, um anel roscado para garantir a fixação ao conjunto (Figura 62 – b)).

O terceiro passo é a colocação do casquilho e da manga de focagem. Inicialmente a montadora ajusta a superfície dos eixos de focagem, com a ferramenta de ajuste, para ser colocado o segmento de focagem (Figura 62 – c)). Após colocação deste segmento, é colocado o casquilho de focagem que entra justo ao corpo do binóculo (Figura 62 – d)). Feito isto, a montadora utiliza uma ferramenta de fixação do casquilho para auxiliar na colocação da manga de focagem, sendo esta aparafusada por meio de dois parafusos ao segmento de focagem (Figura 62 – e)).

Por fim, é colocado um *O'ring* no casquilho da objetiva e massa 420s a toda a volta do casquilho, sendo este aparafusado ao corpo do binóculo (Figura 62 – f)).

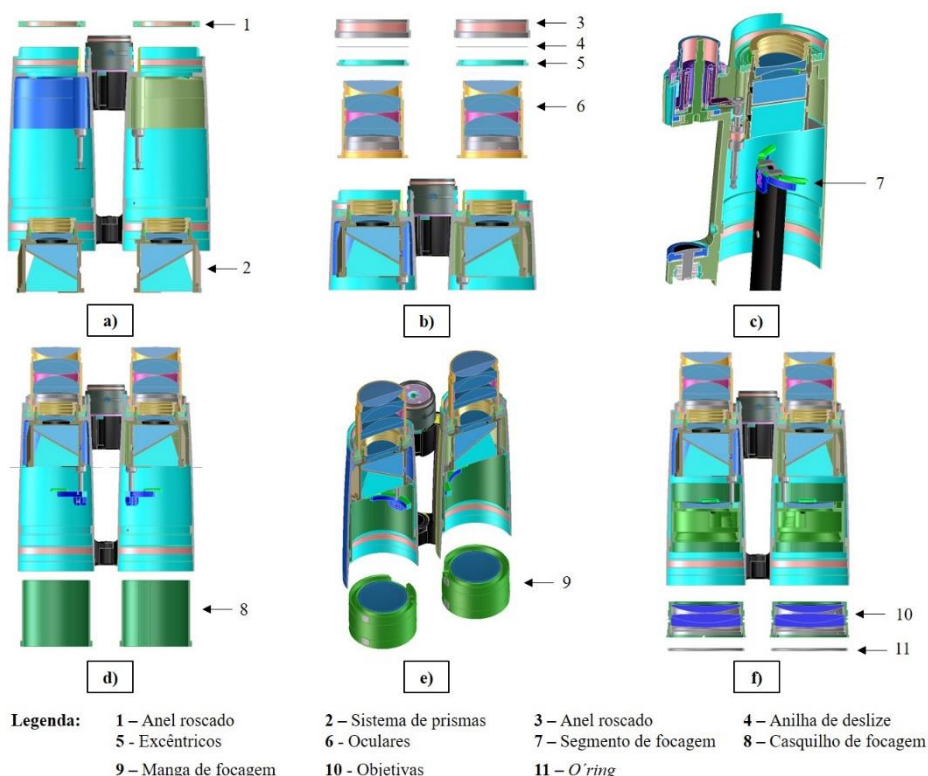


Figura 62 - Montagem dos subgrupos óticos

• Ajustagem Binocular:

A ajustagem binocular é realizada após montagem dos subgrupos óticos e mecânicos anteriormente apresentados. A ajustagem binocular consiste em reajustar as oculares para o mesmo campo de visão. Este procedimento é necessário pois cada telescópio do binóculo apresenta o seu eixo ótico que, após montagem, não se encontra centrado no mesmo campo ótico, o que dá origem ao aparecimento de imagens diferentes de uma ocular para a outra. Desta forma, o objetivo é tornar os eixos óticos das oculares paralelos entre si para que seja possível ao utilizador observar uma imagem única. Para isso, é utilizado o aparelho colimador e três anéis de ajuste que atuam diretamente no anel roscado, excêntrico e oculares, sendo assim possível reposicionar a ocular em função do eixo ótico pretendido.

Como se pode observar na Figura 63, no ecrã do aparelho aparecem duas imagens: uma cruz preta inserida num retângulo que representa o campo ótico do telescópio direito (Figura 63 -b)) e uma cruz mais clara que representa o centro do campo ótico do telescópio esquerdo (Figura 63 – a)). Desta forma, o objetivo da ajustagem binocular é inserir a cruz mais clara dentro do retângulo preto, que representa a tolerância máxima admissível (Figura 63 – c)). É de notar que idealmente a cruz mais clara ficaria sobreposta à cruz preta.

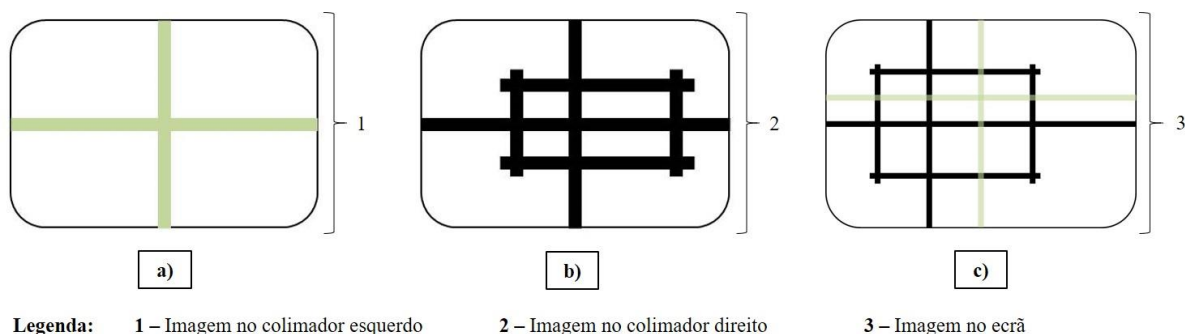


Figura 63 - Ajustagem binocular

- **Teste de estanquicidade:**

O teste de estanquicidade é realizado num aparelho de vácuo (Figura 64 – b)), através da ligação roscada do tubo do aparelho ao corpo do binóculo (Figura 64 - a)). A aferição é concluída através de um programa pré-estabelecido que indica a presença ou não de fugas no binóculo. Caso o binóculo apresente fugas, procede-se à sua desmontagem e consequente reparação.

Este teste é bastante importante no binóculo *Noctivid* visto que uma das suas características é a resistência à entrada de água.

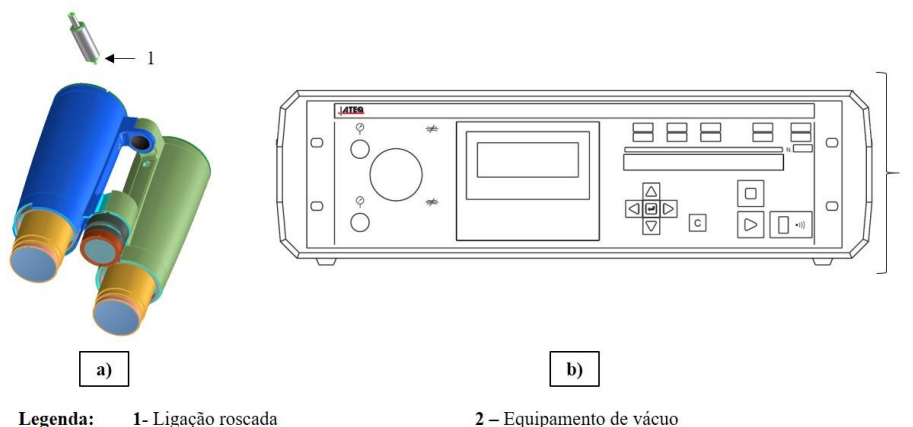


Figura 64 - Teste de estanquicidade

- **Ajuste de dioptrias e colocação da escala:**

Para realizar o ajuste de dioptrias regula-se a focagem dos corpos para a mesma imagem reticulada do monitor (Figura 65 - b)). Desta forma, com o binóculo na base do colimador afinam-se os eixos e, consequentemente, a lente de focagem do binóculo. No fim deste procedimento, coloca-se o suporte de escala, o suporte índice, a escala, que contém a informação do número de dioptrias, e a anilha índice. Por fim, coloca-se a janela transparente, através do qual se visualiza a escala de dioptrias e o anel roscado que garante a fixação do conjunto (Figura 65 – a)).

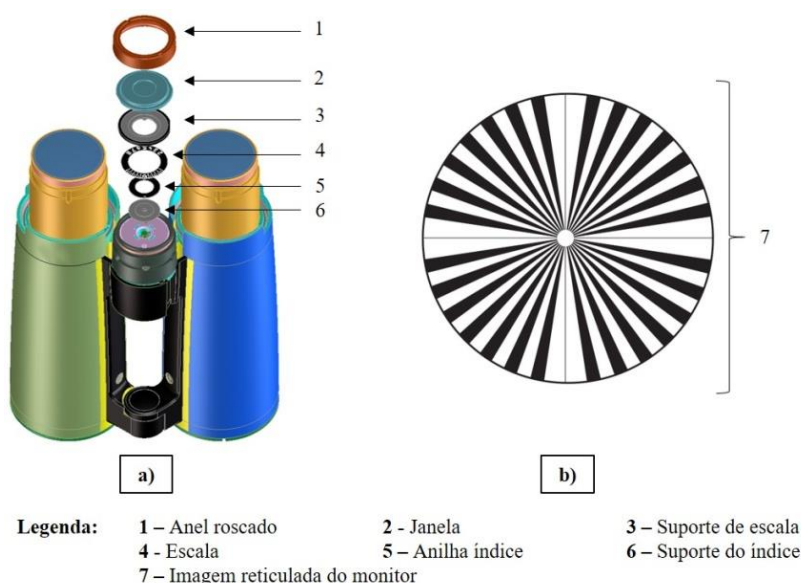


Figura 65 - Ajuste de dioptrias e colocação da escala

ANEXO G: Especificações do Lacre-Kirol-Violeta

1. Grunddaten / Basic data			
Bezeichnung / Name:	Kirol-HCS-Lack (M4D04003G0519901D) / Farben-Kirol-Technik		
LVR-Nr. (alt) / LVR no. (old):	452.4003-00		
Lackart / Lacquer type:	1K Sicherungslack / Locking lacquer		
Lack / Lacquer:	C 1	890-130.005-183	
Härter / Accelerator:	C 2		
Verdüner / Thinner:	C 3		
Verzögerer / Retarder:	C 4		
Farbstofflösung / Colouring Agent	C 5		
Entschäumer / Anti-Foam Agent	C 6		
Farbe / Colour:	erikaviolett / heather violet	Code:	RAL 4003
Glanzgrad / Gloss level:	matt		
Lieferviskosität / Viscosity of delivery:			
Verarbeitungsviskos. / Processing viscosity:			
Düse, Druck / Nozzle, Pressure:			
Lagerzeit / Shelf life:	gemäß Herstellerangabe / acc. to supplier		
2. Mischen / Mixing			
Mischungsverhältnis / Mixing ratio:			
Mischen / Mixing:			
3. Verarbeitung / Handling			
Physik. Vorbehandlung der Oberfläche / Physical pre-treatment of surface:			
Chemische Vorbehandlung der Oberfläche / Chemical pre-treatment of surface:			
Reinigung / Cleaning:	fett- und staubfreie Oberfläche / grease and dust free surface		
Auftragen mit / Application with:			
Verarbeitungszeit / Pot life:			
Abluftzeit / Ventilating time:			
Härtungsbedingung / Accelerator condition:			
Temperatur / Temperature	22 ± 2 °C		
Zeit / Time:	15 Min. * 30 Min. **		
Schichtdicke / Coat thickness:			
4. Anwendungsbereich / Application range			
Verwendung / Use:			
5. Hinweise / Notes			
Wichtige Hinweise / Important notes:			
*) staubtrocken / dust dry			
**) montagefest / mounting fixed			

Figura 66 - Especificação do Lacre-Kirol-Violeta

ANEXO H: Desenho do casquilho de apoio e da bucha de engate híbrido trabalhada

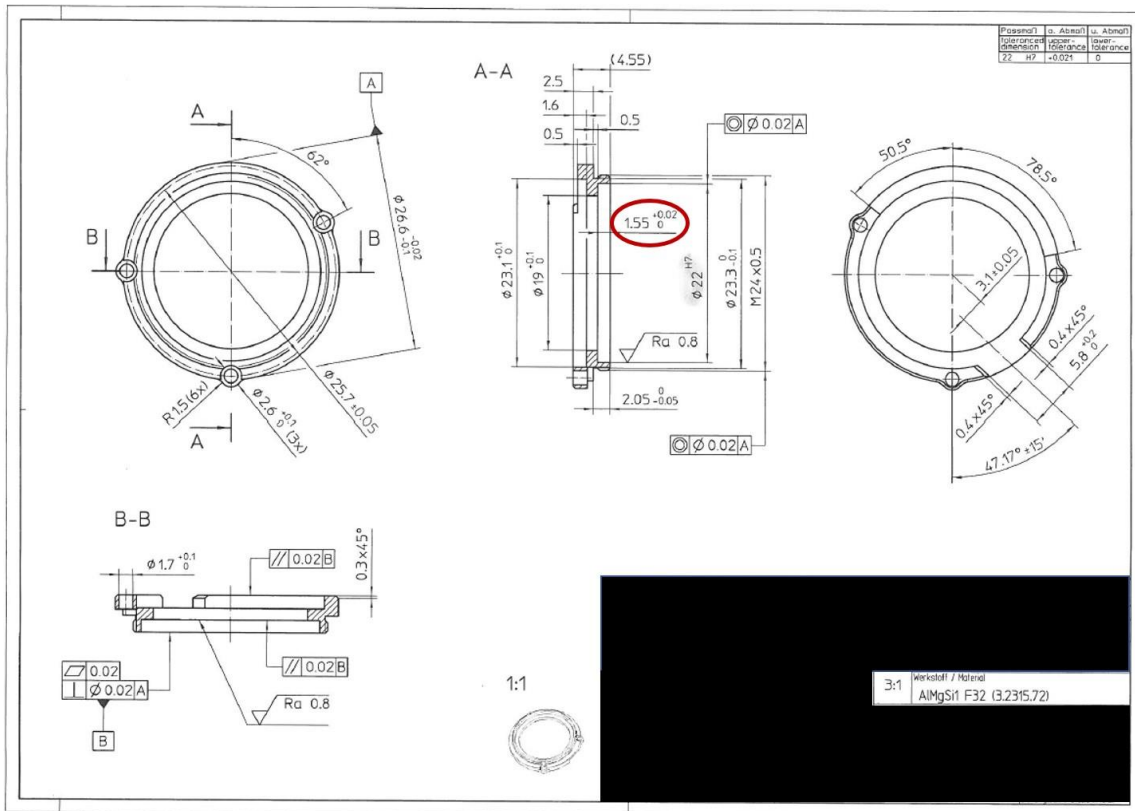


Figura 67 - Desenho do casquilho de apoio

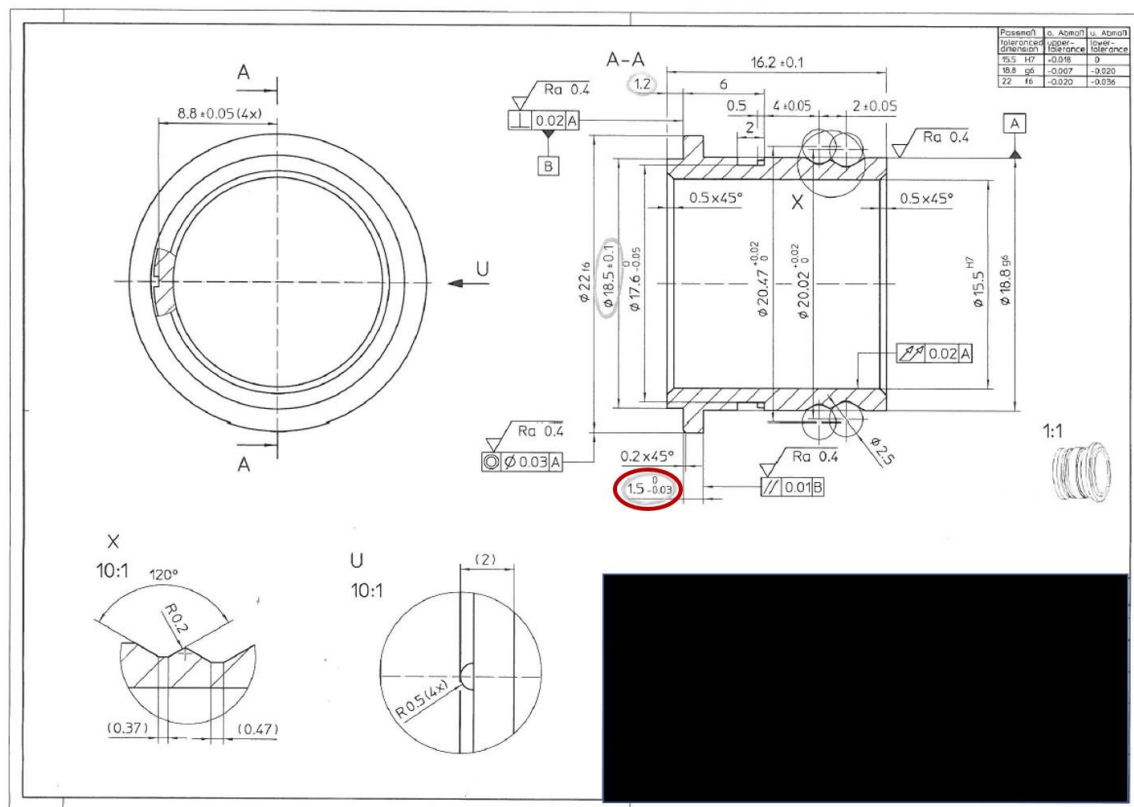


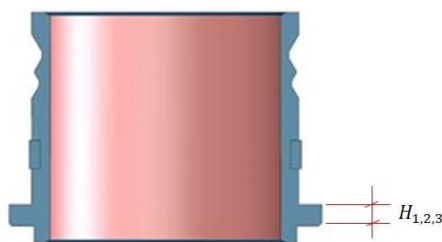
Figura 68 - Desenho da bucha de engate híbrido trabalhada

ANEXO I: Medidas dimensionais registadas no posto do sistema de focagem



	1	2	3
H1:	1,557	1,558	1,563
H2:	1,561	1,559	1,561
H3:	1,558	1,559	1,562

	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
H1:	1,562	1,556	1,558	1,558	1,561	1,558	1,559	1,560	1,559	1,561
H2:	1,553	1,556	1,558	1,561	1,561	1,558	1,560	1,560	1,561	1,559
H3:	1,562	1,556	1,560	1,559	1,563	1,555	1,563	1,560	1,560	1,559



	1	2	3
H1:	1,49	1,49	1,48
H2:	1,49	1,49	1,48
H3:	1,48	1,48	1,49

	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
H1:	1,49	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,49	1,49	1,49	1,49
H2:	1,49	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,49	1,48	1,48	1,49
H3:	1,49	1,48	1,49	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,49	1,49

Distância Z medida após colocação da anilha:

	1 – 0,05	2 – 0,04	3 – 0,05	4 – 0,04	5 – 0,05	6 – 0,05
H1:	<u>0,014</u>	0,022	0,015	0,018	0,019	0,014
H2:	0,016	<u>0,019</u>	<u>0,012</u>	<u>0,015</u>	<u>0,012</u>	0,014
H3:	0,018	0,025	0,017	0,023	0,015	0,015

	7 – 0,05	8 – 0,05	9 – 0,04	10 – 0,05	11 – 0,05	12 – 0,04	13 – 0,04
H1:	0,016	0,014	0,022	0,014	0,015	0,020	0,028
H2:	<u>0,015</u>	<u>0,012</u>	<u>0,016</u>	<u>0,013</u>	<u>0,014</u>	<u>0,019</u>	<u>0,020</u>
H3:	0,019	0,018	0,022	0,018	0,015	0,025	0,028

ANEXO J: Propriedades do material do casquilho e da anilha de ajuste

Alumínio 6082-T6:

Composição Química:

Al: Alumínio	95,2 – 98,3 %
Cr: Crómio	0 – 0,25%
Cu: Cobre	0 – 0,1%
Fe: Ferro	0 – 0,5%
Mg: Magnésio	0,6 – 1,2%
Mn: Manganês	0,4 – 1%
Si: Silício	0,7 – 1,3%
Ti: Titânio	0 – 0,1%
Zn: Zinco	0 – 0,2%
Outros	0 – 0,15%

Propriedades Mecânicas:

Dureza – Vickers:	95 – 105 HV
Dureza – Brinell:	91 – 100 HB

Aço AISI 301:

Composição Química:

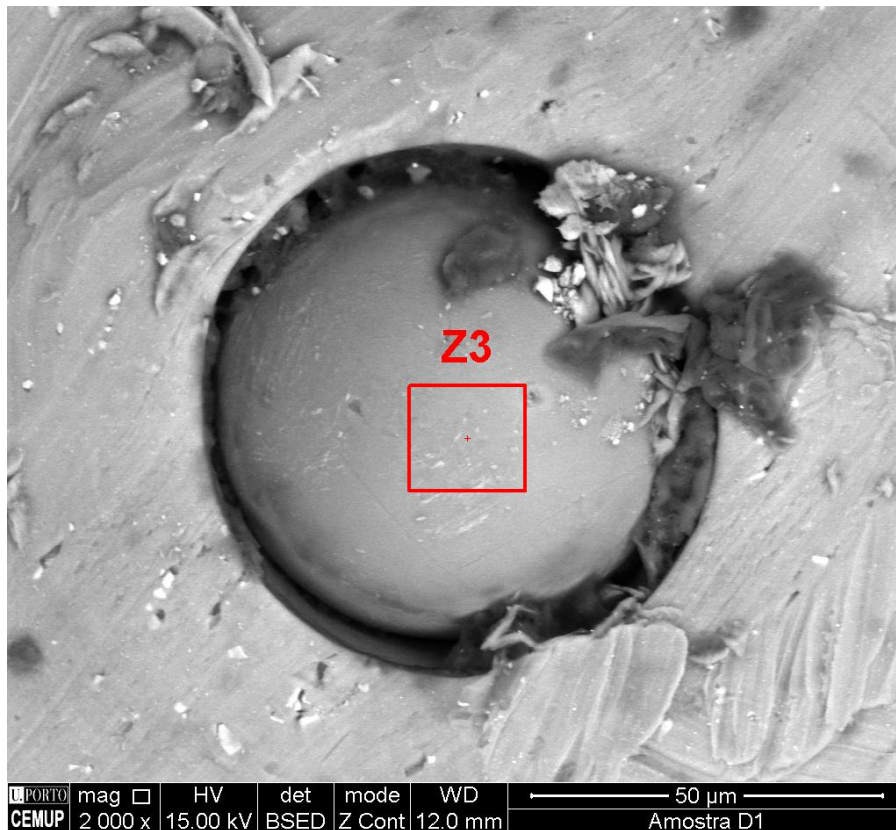
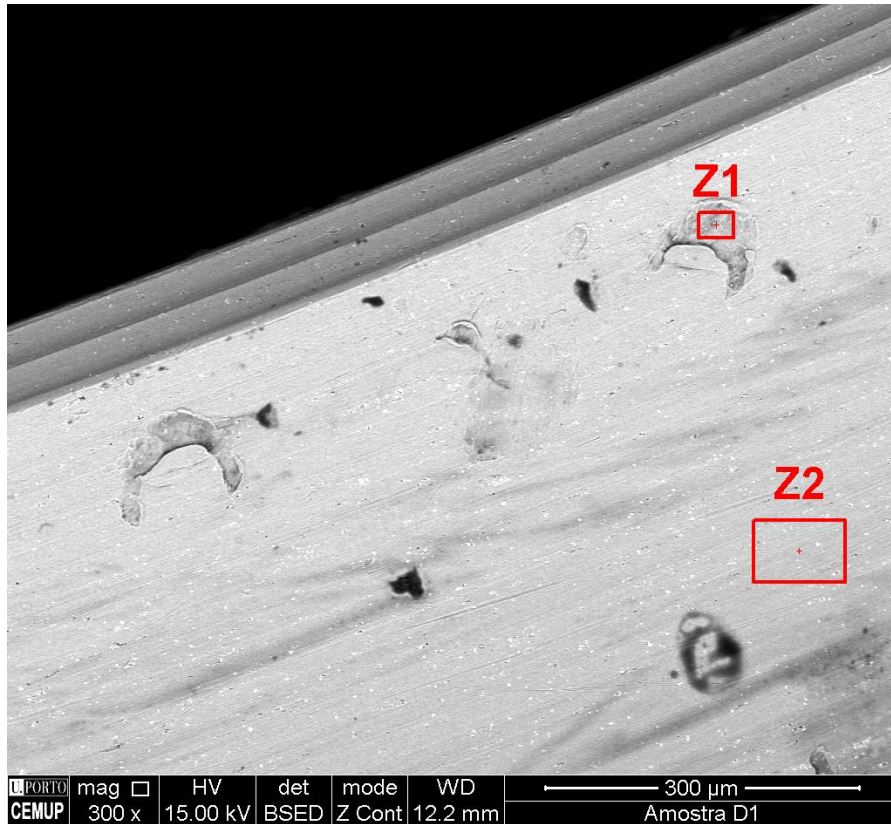
C: Carbono	0 – 0,15%
Cr: Crómio	16 – 18%
Fe: Ferro	70,8 – 78%
Mn: Mangânes	0 – 2%
Ni: Níquel	6 – 8%
P: Fósforo	0 – 0,045%
S: Enxofre	0 – 0,03%
Si: Silício	0 – 1%

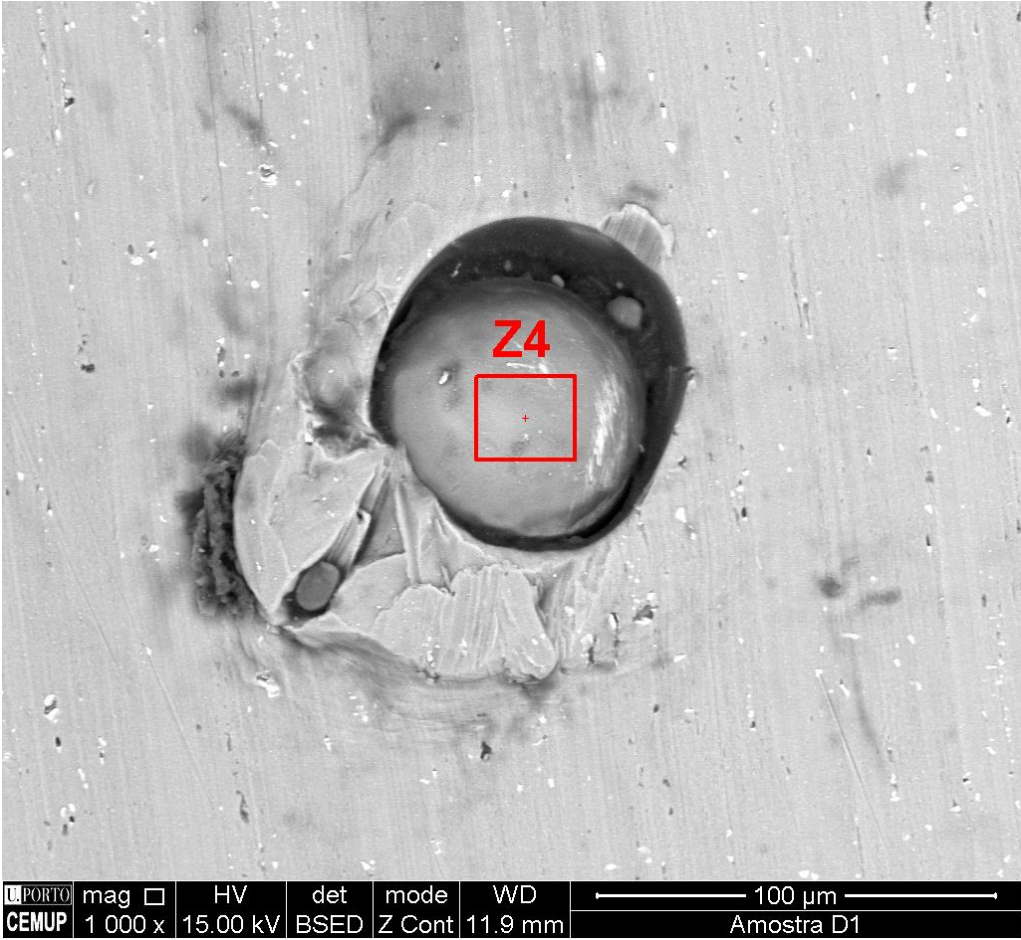
Propriedades Mecânicas:

Dureza – Vickers:	298 – 330 HV
Dureza – Brinell:	282 – 312 HB

ANEXO L: Imagens recolhidas e caracterização química pelo microscópio eletrónico

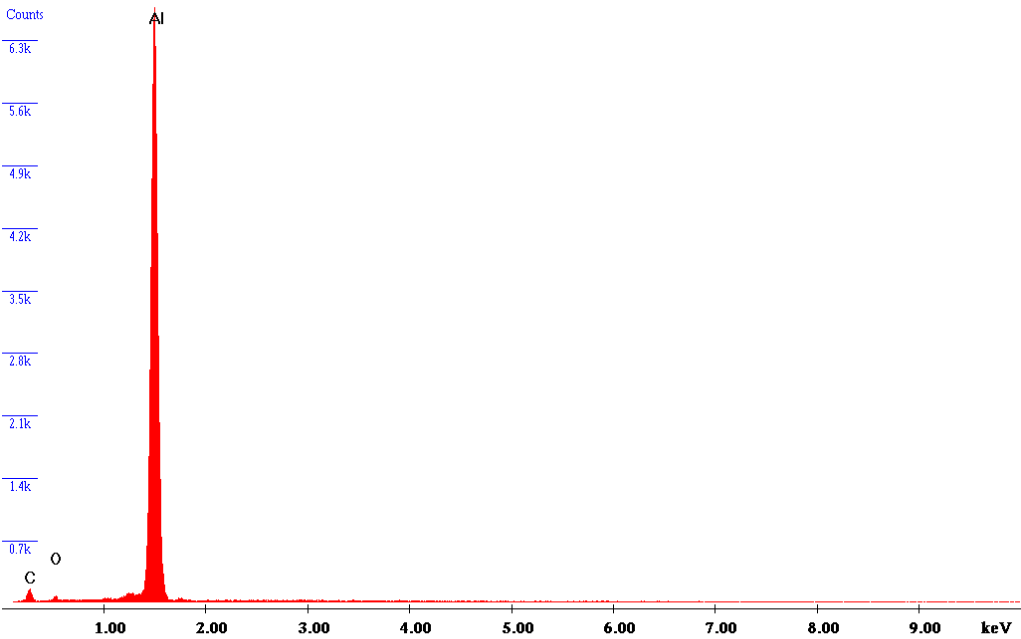
Amostra 1





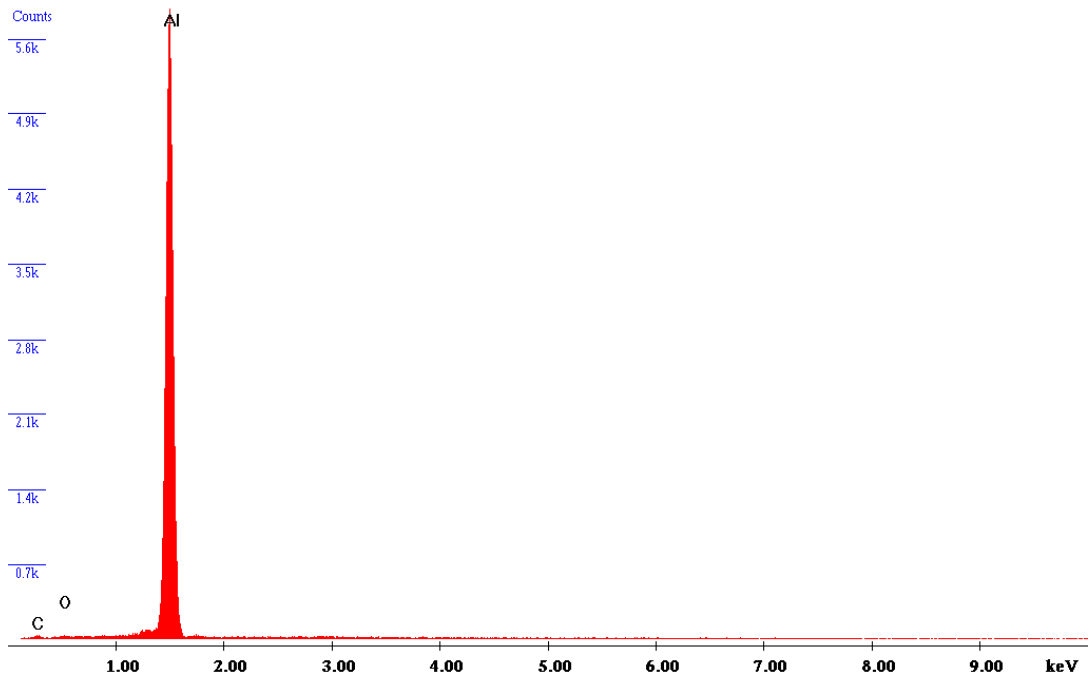
\\Support-d8425\\SharedData\\20180614, André Ferreira\\Daniela\\EDS\\Amostra D1 Z1.s

Label A: CEMUP 15kev Amostra D1 Z1



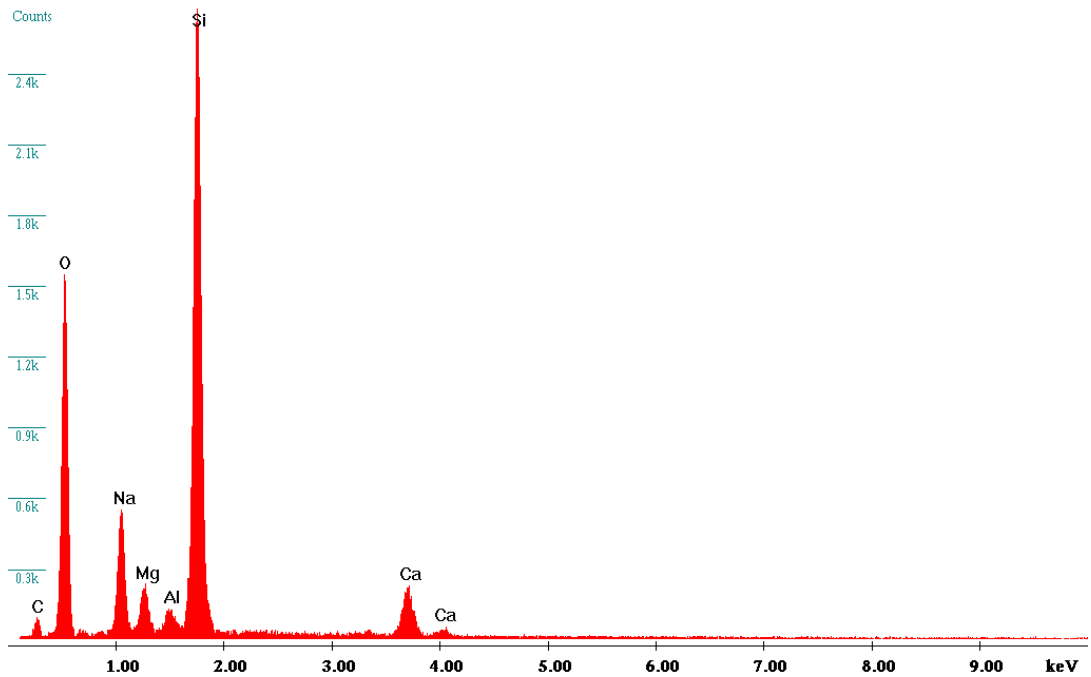
\\Support-d8425\\SharedData\\20180614, André Ferreira\\DanielatED\\S\\Amostra D1_Z2.s

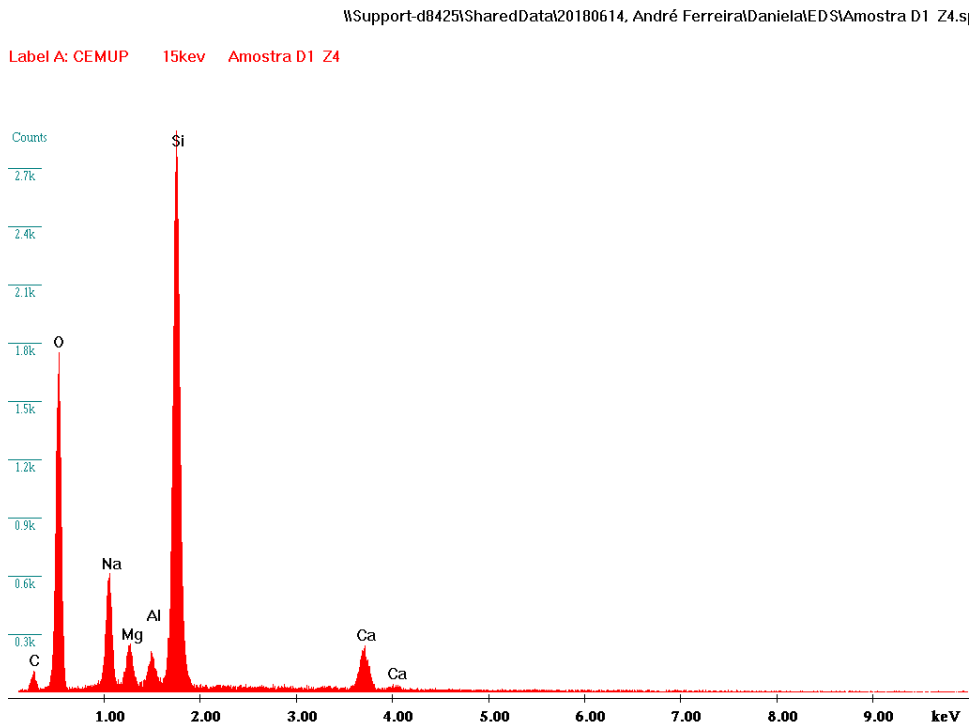
Label A: CEMUP 15kev Amostra D1_Z2



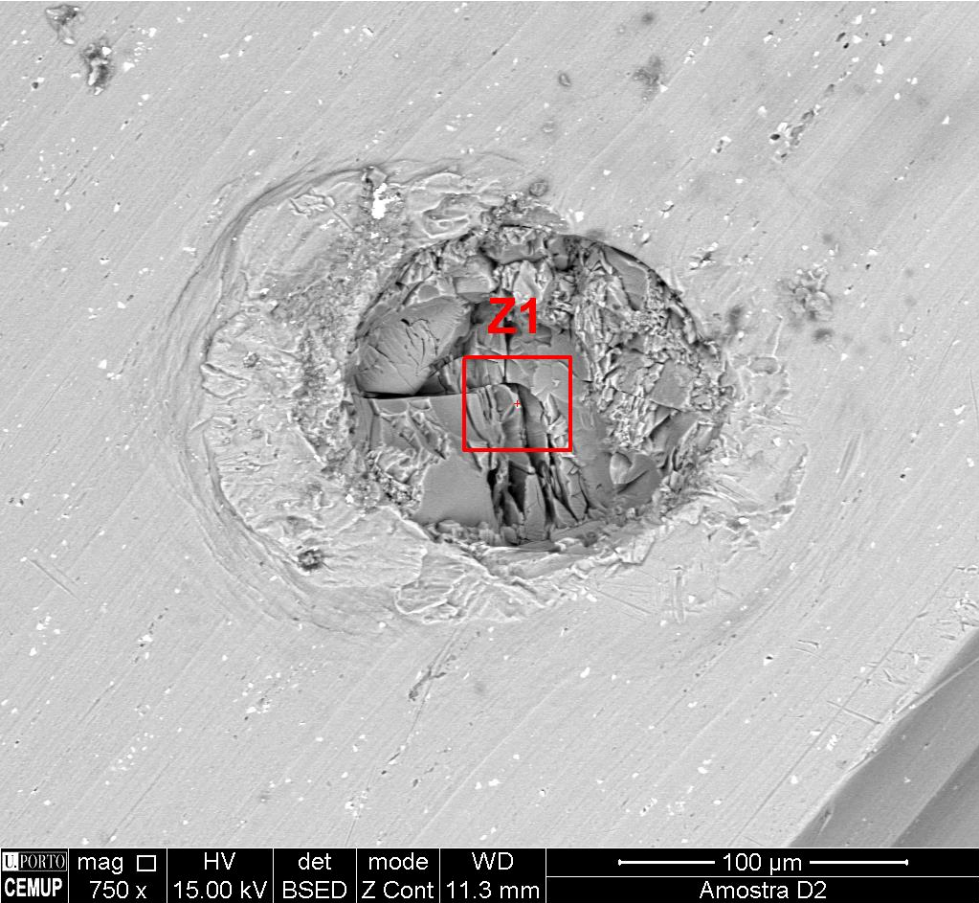
\\Support-d8425\\SharedData\\20180614, André Ferreira\\DanielatED\\S\\Amostra D1_Z3.s

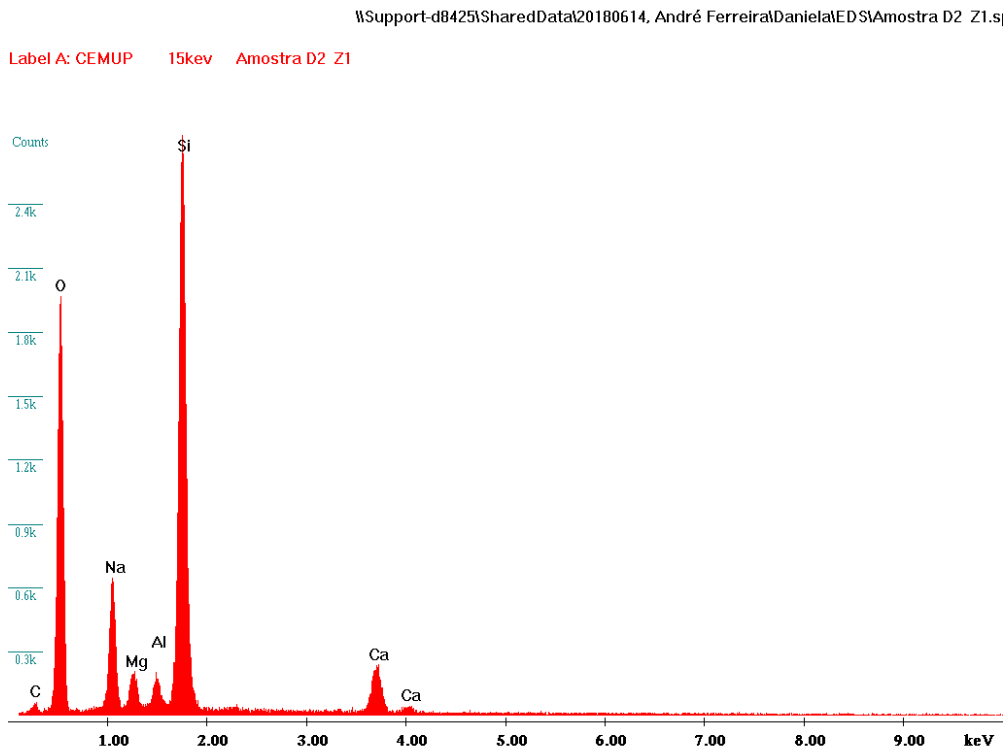
Label A: CEMUP 15kev Amostra D1_Z3



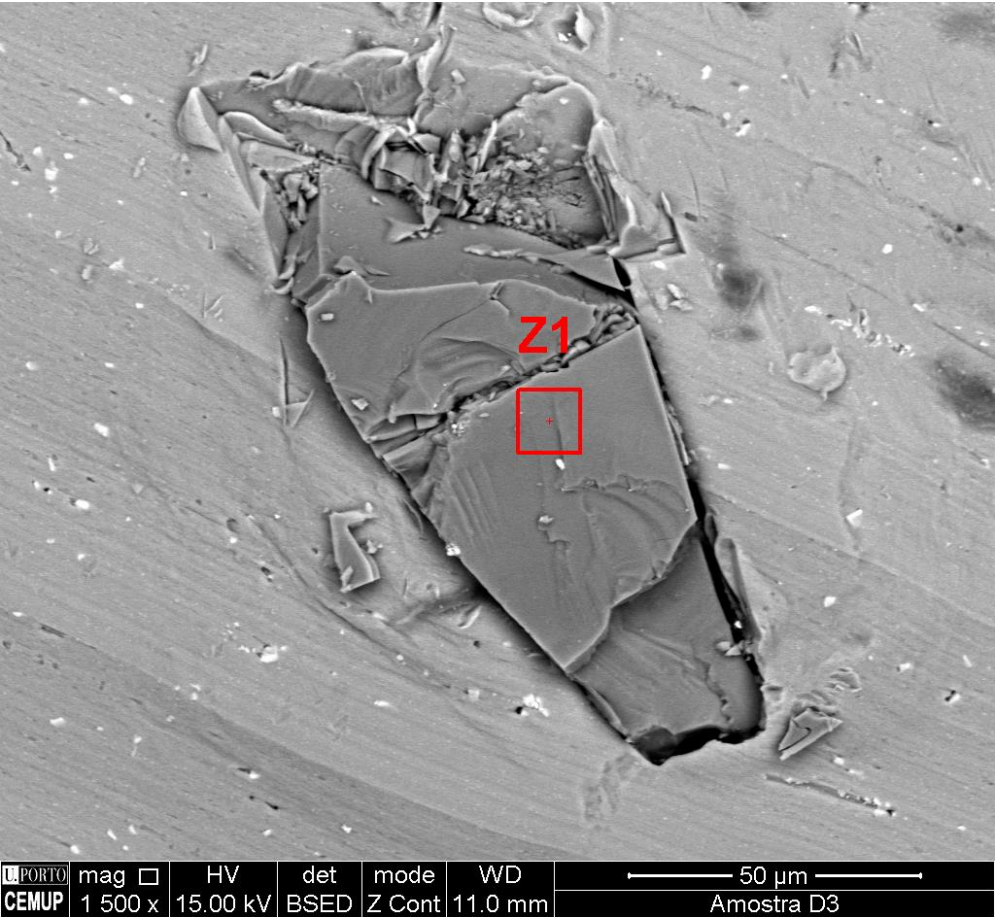


Amostra 2





Amostra 3



\\Support-d8425\\SharedData\\20180614, André Ferreira\\Daniel\\EDS\\Amostra D3 Z1.s

Label A: CEMUP 15kev Amostra D3 Z1

