



FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



M 2017

Garantia da qualidade em processos de fabrico.

Estudo de caso numa empresa de aparelhos óticos de precisão.

Micael Rodrigues Machado

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA À FACULDADE DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE DO PORTO EM 30 JUNHO 2017

Orientadora: Professora Laura Maria Melo Ribeiro

Candidato Micael Rodrigues Machado

Código 201109354

Título Garantia da qualidade em processos de fabrico.
Estudo de caso numa empresa de aparelhos óticos de precisão.

Data 14 de julho

Ponto Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Sala F106 - DEMM - FEUP 16h30

<i>JÚRI</i>	<i>Presidente</i>	Professor Doutor Luís Filipe Malheiros de Freitas Ferreira	DEMM/FEUP
	<i>Arguente</i>	Professor Doutor Sérgio Dinis Teixeira de Sousa	DPS - EEUM
	<i>Orientador</i>	Professor Doutor Laura Maria Melo Ribeiro	DEMM/FEUP

Genius is 1% talent and 99% hard work...

Albert Einstein

Resumo

Neste trabalho é realizada uma análise crítica dos defeitos de qualidade e possíveis melhorias ao processo de montagem do “Messsucher” na Leica Aparelhos Óticos de Precisão, SA. O “Messsucher” é o telémetro e visor das máquinas do sistema M responsável por focar a imagem e indicar a imagem final ao utilizador. Inicialmente são estudados conceitos e ferramentas úteis no estudo de defeitos e em possíveis melhorias. No caso de estudo realiza-se essencialmente uma análise crítica do controlo de processo, constituído por folhas de verificação. Com base nessa análise são estudados os principais defeitos e propostas melhorias. Foi possível eliminar os defeitos de “lentes viradas” e da “curva” pouco suave e propor melhorias para os restantes.

Palavras-chave

Telémetro e visor, qualidade, linha de montagem

Abstrat

In this work it is carried out a critical analysis of quality defects and possible improvements of the assembly process of the "Messsucher" on Leica Camara Portugal. The "Messsucher" is a rangefinder and viewfinder of the system M machines responsible for focusing the image and indicating the final image to the user. Initially concepts and tools useful in the study of defects and possible improvements are studied. In the case study a critical analysis of the process control, constituted by check sheets, is made. Based on this analysis, the main defects are studied and proposed improvements. It was possible to eliminate the defects of "turned lenses" and "curve" movement not soft enough and proposed improvements to the others defects.

Key-words

Rangefinder and viewfinder, quality, assembly line

Agradecimentos

Ao longo destes 5 anos muitas pessoas contribuíram para o meu percurso académico, muito obrigado a todos.

Um especial agradecimento à Professora Laura Ribeiro por me orientar ao longo da realização desta dissertação, demonstrando preocupação e disponibilidade.

Muito obrigado à Leica Aparelhos Óticos de Precisão, SA pela oportunidade, por todo o apoio disponibilizado e a todos os seus operadores. Um agradecimento especial ao meu orientador na empresa, o Engenheiro Nuno Barros e também ao Senhor José Carvalho e ao Engenheiro Ricardo Guedes pelo grande apoio disponibilizado.

Devo também agradecer à FEUP toda a ajuda disponibilizada, pelos seus operadores, instalações e recursos. Em especial aos professores, funcionários e operadores do DEMM que tanto contribuíram para o meu percurso nestes 5 anos.

Obrigado também aos colegas do MIEMM por toda a ajuda a ultrapassar os desafios ao longo deste percurso.

E por fim o agradecimento mais importante que é dirigido a toda a minha família, o meu pai, a minha mãe, o meu irmão e namorada.

Índice

Resumo	I
Palavras-chave	I
Abstrat	II
Key-words	II
Agradecimentos	III
Lista de figuras.....	V
Lista de tabelas.....	VII
Abreviaturas e símbolos	VIII
1. Introdução.....	1
1.1 Projeto e objetivos do trabalho.....	1
1.2 Apresentação da empresa Leica - Aparelhos de precisão, SA	1
1.3 Estrutura da dissertação.....	3
2. Revisão bibliográfica.....	4
2.1 Ferramentas de melhoria da qualidade.....	7
2.1.1 Definir, medir, analisar, melhorar e controlar e desenho para Seis Sigma	7
2.1.2 Folha de verificação.....	10
2.1.3 Gráfico de Pareto	11
2.1.4 Diagrama de Causa e Efeito (ou espinha de peixe)	13
2.1.5 Cartas de controlo de processo.....	15
2.1.6 Fluxograma	18
2.1.7 Implementação da Função de Qualidade (QFD).....	19
2.1.8 Ferramentas 7M	21
3. Caso de estudo: Processo de montagem do “Messsucher”	23
3.1 Características da máquina fotográfica do sistema M	23
3.2 Análise do processo de montagem do “Messsucher”.....	26
3.2.1 Inspeção da qualidade à entrada	32
3.2.2 Controlo do processo de montagem	33
3.2.3 Análise dos defeitos detetados.....	36
3.2.4 Inspeção final do produto	55
4 Conclusões	57
5 Referências bibliográficas.....	59

Lista de figuras

Figura 1- Folha de verificação estratificada [5].	11
Figura 2 - Diagrama de Pareto do problema [5].	13
Figura 3- Exemplo de Diagrama de causa e efeito [12].	14
Figura 4 - Exemplo de uma Carta de controlo [13].	15
Figura 5 - Carta U de defeitos por carregamento [5].	17
Figura 6 - Sugestão de símbolos para fluxograma [5].	18
Figura 7 - Fluxograma para análise da	18
Figura 8 - Estrutura da casa da qualidade [12].	19
Figura 9 - Modelo de Kano para os requisitos do cliente [14].	20
Figura 10 - Abordagem de Macabe [12].	21
Figura 11 - Diagrama de afinidade para o problema de entrega de medicamentos a tempo [12].	22
Figura 12 - Telémetro e visor em funcionamento [16].	23
Figura 13 - Componentes e principio de funcionamento do “Messsucher”.	24
Figura 14 - Princípio de funcionamento do “Messsucher” na focagem.	25
Figura 15 - Posicionamento do “Messsucher” na câmara [16].	26
Figura 16- Fluxograma de produção da Leica - aparelhos óticos de precisão, SA.	28
Figura 17 - Fluxograma de montagem do E-Messer.	29
Figura 18- Aparelho de ajuste dos componentes entre si (W2).	31
Figura 19 - Aparelho de ajuste W6.	32
Figura 20 - Folha de verificação utilizada no controlo do processo de E-Messeres..	35
Figura 21- Gráfico de Pareto da etapa W2.	37
Figura 22 - Visão em corte do feixe de luz direto do “Messsucher”.	38
Figura 23 - Gráfico de Pareto da etapa W2 corrigido.	40
Figura 24 - Desenho técnico da lente.	41
Figura 25 - Desenho técnico de adaptador para inspeção do centro da lente.	43
Figura 26 - Ilustração do mecanismo mecânico, com realce para a “curva”.	44
Figura 27 - Diagrama causa e efeito do problema “movimento não suave do E-Messer”.	45
Figura 28 - Ferramenta de reparação da lente de olho.	50
Figura 29 - Gráfico de Pareto da etapa W2 considerando os custos dos defeitos.	51
Figura 30 - Gráfico de Pareto da etapa W6.	52

Figura 31 - Gráfico de Pareto da etapa W6 corrigido.	53
Figura 32 - Folha de rosto de acompanhamento com indicação das condições do defeito.	54
Figura 33 - Verso da folha de acompanhamento com indicação das reparações realizadas.	54
Figura 34 - Gráfico de Pareto da etapa W6 relativamente ao custo dos defeitos. ..	55

Lista de tabelas

Tabela 1- Estratégias da qualidade auxiliares a DMAIC e DFSS [6].....	9
Tabela 2- Número de pêssegos perdidos por causa [5].	12
Tabela 3 - Análise de Pareto, classificação das causas, atribuição de percentagem e percentagem cumulativa [5].	12
Tabela 4 - Dados para a carta u [5].	16
Tabela 5 - Resultado da medição dos componentes antes do ajuste da lente.	39
Tabela 6 - Medições do desvio do centro da lente.	42
Tabela 7 - Resultado da “suavidade do movimento do E-Messer” para diferentes velocidades de ataque da fresagem.	46
Tabela 8 - Resultado de dureza de amostras aleatórias.	47
Tabela 9 - Resultado da “suavidade do movimento do E-Messer” para diferentes velocidades de ataque no material.	47
Tabela 10 - Resultado da “suavidade do movimento do E-Messer” para diferentes velocidades de ataque no material.	48
Tabela 11 - Resultado de dureza em amostras sem a suavidade necessária.	49

Abreviaturas e símbolos

ANOVA - análise de variância.

CL - linha central.

DMAIC - Definir, medir, analisar, melhorar e controlar.

DFSS - Desenhar para seis sigma.

DMADV - definir, medir, analisar, desenhar e verificar.

LCL - limite inferior de controlo.

QFD - implementação da função de qualidade.

SAP - sistemas, aplicações e produtos para processamento de dados.

SPC - controlo estatístico de processo.

TQM - gestão pela qualidade total.

UCL - linha superior de controlo.

VOC - voz do cliente.

7M - sete ferramentas de gestão.

1. Introdução

A dissertação apresentada foi desenvolvida em colaboração com a empresa Leica Aparelhos Óticos de Precisão, SA. Este relatório aborda problemas de qualidade, nomeadamente como os detetar e resolver. O objetivo é a deteção de defeitos no processo de montagem do telémetro e visor e a proposta de ações corretivas para os mesmos. Para que essa ação fosse eficiente foram estudados conceitos gerais de qualidade e metodologias disponíveis.

O caso de estudo incide no processo de montagem do “Messsucher”. Este componente é um constituinte importante das máquinas fotográficas Leica do sistema M, que significa a conjugação de um telémetro e de um visor. O telémetro permite indicar ao utilizador o ponto de focagem da objetiva ou lente. O visor possui molduras que definem a imagem que será captada e permite visualizar fora dessa imagem, sendo possível captar o momento pretendido. O “Messsucher” é constituído por vários componentes mecânicos, óticos e eletrónicos. A conjugação de todos os componentes necessita de ser ajustada de forma precisa para se obter o resultado pretendido.

1.1 Projeto e objetivos do trabalho

Neste trabalho pretende-se utilizar conhecimentos técnicos de Engenharia de Materiais e da qualidade para analisar e melhorar o desempenho de processos industriais. O processo industrial em causa consiste na montagem das câmaras do sistema M. Este sistema tem vários modelos de câmara e é um produto muito importante para a Leica. A câmara possui vários subgrupos como o obturador ou o sensor. O foco específico deste trabalho foi a montagem do subgrupo do telémetro e visor. Estabelecem-se como objetivos específicos:

- Deteção de defeitos no processo de montagem do telémetro e visor;
- Propostas de melhoria do referido processo de montagem.

1.2 Apresentação da empresa Leica - Aparelhos de precisão, SA

A Leica é uma marca constituída por quatro companhias diferentes, Leica camera AG, Leica microsystems, Leica Biosystems e Leica geosystems. A Leica camera AG é um fabricante de câmaras digitais e analógicas e produtos de ótica de

desporto. A Leica microsystems fornece soluções inovadoras de microscopia, fotografia e soluções de software para criação de imagens e análise de macro, micro e nano-estruturas. A Leica Biosystems oferece soluções para fins de histologia e alta produtividade de fluxo de trabalho para laboratório. Leica geosystems desenvolve e fábrica produtos, sistemas e software que analisam dados espaciais 3D [1].

O trabalho de dissertação foi desenvolvido na Leica camera AG. Esta empresa tem duas áreas principais, a ótica de fotografia e a de desporto. A área de fotografia tem várias séries de câmaras tais como o sistema M, o sistema S, entre outros [1].

A Leica foi criada no ano 1849 em Wetzlar na Alemanha por Carl Kellner, iniciando com a produção de óculos e telescópios. Através de evoluções tecnológicas, em 1851 iniciou-se a produção de microscópios, muito conceituados a nível mundial. Em 1864, Ernst Leitz começa a trabalhar para a empresa depois de aprender na indústria de relógios da Suíça, onde rapidamente se tornou sócio e depois gestor. A empresa continua a expandir a sua atividade na produção de microscópios e em 1907 inicia a produção de binóculos [1].

Em 1911, Orkar Barnack começa a trabalhar na empresa e inicia a construção da câmara fotográfica portátil. No ano seguinte Max Berek começa a trabalhar na empresa e desenha lentes para câmaras. Entretanto, são construídos protótipos de câmaras, até que em 1924 se inicia a produção da câmara Leica I capaz de suportar filmes de 35 milímetros. A câmara Leica I é um enorme sucesso no mercado. Após este marco histórico, a empresa continua a lançar novos microscópios com enorme sucesso. Em 1932, é lançada a Leica II que já possui um telémetro e é mantida em produção até aos anos cinquenta. Em 1954, é introduzido o sistema Leica M com o lançamento da Leica M3 com encaixe de baioneta para as objetivas ou lentes. Ao longo do tempo são feitas melhorias a vários níveis, mas sempre mantendo o princípio de funcionamento original [1].

Em 1973, é criada a fábrica em Portugal, no concelho de Vila Nova de Famalicão, iniciando a atividade a montar microscópios. A fábrica começa a ganhar maior importância na empresa e em 1984 inicia-se a pré-montagem da M6. Outro passo importante para a fábrica Portuguesa relativamente ao sistema M é realizado em 1992 quando se inicia a produção de objetivas para esse sistema. Em 1996, a Leica Camera AG separa-se do grupo Leica e a Leica camera AG obtém a certificação conforme a norma NP EN ISO 9001 e NP EN ISO 14001. Em 2002 tem início a produção

da M7 analógica em Portugal que se tornou líder de mercado. Em 2009, é lançada a M9, a primeira câmara do sistema M totalmente digital [2].

Em 2013 foi inaugurada a nova fábrica em Lousado, com 740 operadores. Atualmente a fábrica possui na sua gama de produtos, câmaras fotográficas, binóculos, monóculos, objetivas, telémetros e miras telescópicas [2].

A fábrica portuguesa possui quatro áreas de produção, a mecânica, a ótica, a montagem e a eletrónica. O presente trabalho foi desenvolvido na montagem, que recebe a sua “matéria-prima” (componentes) da mecânica, da ótica, da eletrónica e de fornecedores externos [2].

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação foi estruturada em capítulos e secções. No primeiro capítulo é apresentada uma breve introdução ao trabalho, apresentando a secção do projeto e objetivos, a empresa e é descrita a estrutura do trabalho. No segundo capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica, constituída pela apresentação geral de conceitos de qualidade e ferramentas de qualidade e melhoria contínua. Este capítulo possibilita a análise de metodologias e formas de abordar a garantia da qualidade de forma eficaz. No terceiro capítulo é apresentado o caso de estudo, em que se discute a análise da qualidade no processo, a metodologia utilizada e os resultados obtidos. Esta análise inicia-se com a descrição das características da máquina e pela análise do processo de montagem propriamente dita. Por fim, no último capítulo, são expostas algumas conclusões e propostas de trabalho futuro.

2. Revisão bibliográfica

Nesta revisão as ferramentas DMAIC e DFSS são apresentadas por estarem associadas a projetos Seis Sigma. DMAIC e DFSS são metodologias usadas para implementar projetos da qualidade, em que genericamente se definem objetivos de melhoria, se escolhem métricas, se mede o estado da empresa, analisa-se o que pode ser feito para melhorar, melhora-se, controla-se e validam-se as melhorias implementadas. Estas metodologias habitualmente requerem o uso de ferramentas de melhoria. Neste trabalho apresenta-se a Folha de Verificação que permite realizar registos de itens de interesse, que, embora simples, se revela eficaz. Esta ferramenta pode ser conjugada com o gráfico de Pareto que analisa os dados no pressuposto que 20% das causas são responsáveis por 80% dos defeitos. Assim, esta ferramenta permite direccionar a melhoria para as causas mais importantes. A ferramenta Diagrama de Causa e Efeito permite organizar o conhecimento sobre um problema de qualidade, agrupando as causas em classes. Com este diagrama é possível ter uma perceção mais clara dos problemas. O fluxograma é uma ferramenta muito útil para clarificar os fluxos que, de outra forma, explicados por palavras, seriam menos claros.

Para além destas ferramentas existem outras também muito relevantes, como é o caso da Implementação da Função de Qualidade (QFD) e as ferramentas 7M. A Implementação da Função de Qualidade procura utilizar informação proveniente do cliente e através do uso de matrizes, convertê-la em informação técnica. As ferramentas 7M são ferramentas que permitem gerir a melhoria de qualidade, organizando informação. Estas ferramentas permitem organizar informação e criar uma base para a tomada de decisões.

A qualidade tem muitas definições possíveis. Geralmente está associada às características desejáveis que são consideradas importantes num produto ou serviço. Com o tempo, a qualidade aumentou a sua importância, tornando-se fundamental nas decisões do cliente quando analisa serviços e produtos concorrentes. A importância da qualidade em todos os negócios criou a necessidade de a compreender melhor. Portanto, o investimento na melhoria e uso de qualidade tornou-se uma estratégia de negócios, que tem retornos substanciais. A qualidade tem dimensões diferentes, ou seja, pode ser entendida como [3, 4]:

- Desempenho (o produto necessita de fazer a função pretendida);

- Confiabilidade (o produto não pode falhar muitas vezes);
- Durabilidade (o produto tem que durar um tempo adequado);
- Facilidade de manutenção (o produto precisa de ser facilmente reparado);
- Estética (o produto tem de possuir uma aparência atraente);
- Características (funções adicionais num produto estão associadas à qualidade);
- Qualidade percebida (a reputação da empresa influencia a percepção do produto);
- Conformidade com normas (a construção do produto tem de cumprir com os requisitos do projeto).

Montgomery sugere uma definição atual: qualidade é inversamente proporcional à variabilidade. Com esta definição em mente, a definição da melhoria da qualidade passa a ser a redução da variabilidade dos processos e produtos. Outra definição possível para a melhoria da qualidade é a redução de desperdícios, tais como defeitos ou horas de trabalho [3, 4].

É possível identificar três principais líderes individuais que contribuíram para a filosofia de implementação e gestão da qualidade, que são: W.E. Deming; J.M. Juran; A.V. Feigenbaum [3, 4].

Deming apresenta duas principais preocupações na sua visão sobre qualidade: a existência de uma forte força de mudança e a orientação da direção da empresa para a qualidade. Segundo este autor, a estratégia para obter qualidade passa pela aplicação de métodos estatísticos, cartas de controlo, entre outros. A abordagem de Juran não é tão focada em métodos estatísticos, este autor destaca mais os processos estruturados de resolução de problemas. Juran acredita, tal como Deming, que a ação da Direção da empresa é muito importante, e atribui mesmo uma importância de 80%, em contraste com 20% para a força de trabalho. Feigenbaum adiciona alguns conceitos importantes, como controlo de qualidade em toda a empresa, promove a estrutura organizacional e uma abordagem sistemática para a melhoria da qualidade. O esforço combinado destas visões revela que a qualidade é essencial, uma arma competitiva, que a Direção da empresa tem um papel fundamental na implementação e que os métodos estatísticos são muito importantes [3, 4].

Existem várias estratégias importantes que ajudam a implementar, gerir e melhorar a qualidade numa empresa. De salientar, a gestão pela qualidade total (TQM), Seis Sigma e “Lean managment” [3, 4].

Todas essas estratégias implicam a mudança da empresa. A mudança do *status quo* é importante porque o negócio está sempre a mudar, com alterações dos requisitos do cliente, inovação da concorrência e avanços tecnológicos. Mas a mudança é considerada difícil, a origem dos erros é dispendiosa [3, 5].

Devido à resistência à mudança e à sua importância, os seguintes fatores devem ser tidos em conta [3, 5]:

- A mudança é alvo de resistência por diversas razões;
- A mudança é dolorosa, proporciona melhoria, mas é necessário estabelecer o equilíbrio entre um ambiente estável e alterar o *status quo*;
- A mudança é mais fácil quando a Direção muda, recebe nova formação e quando surge nova tecnologia e existem pressões externas;
- Os líderes necessitam de saber como implementar a mudança;
- As reações à mudança podem variar, com alguns a resistir, outros a aceitar ou mesmo reações mistas;
- A Direção tem de ser um líder de mudança, ser eficaz na autoanálise e ter vontade de mudar.

Existem certos fatores que ajudam a mudança, tais como a figura de uma pessoa ou grupo responsável pela mudança que auxilia a gestão nesse sentido e patrocinadores, que fornecem os recursos para a mudança. Estas atuações são geralmente direcionadas para objetivos específicos de mudança [3]:

- Mudar a forma como as pessoas pensam (o primeiro passo importante);
- Mudar as normas (modelos de operação ou expectativas);
- Mudar os sistemas da organização ou processos (o último e principal objetivo da mudança).

2.1 Ferramentas de melhoria da qualidade

2.1.1 Definir, medir, analisar, melhorar e controlar e desenho para Seis Sigma

A qualidade engloba várias metodologias e ferramentas. Uma estratégia que tem adquirido grande importância é Seis Sigma, que possui ferramentas específicas. Duas destas ferramentas têm origem no ciclo de Deming - Plan-Do-Check-Act. Estas ferramentas baseiam-se no uso de dados para definir, medir, analisar, melhorar e controlar (DMAIC) o processo e no desenho para Seis Sigma (DFSS) para melhorar o nível de variação da organização [3, 6].

O uso dessas ferramentas pode começar com a determinação das características críticas da qualidade usando a Implementação da Função de Qualidade (QFD). A partir destas características, são selecionados projetos onde o DMAIC e DFSS são aplicados [3, 7, 8].

DMAIC elimina etapas não produtivas e concentra-se na melhoria contínua, de acordo com os seguintes passos [3, 5, 6, 8]:

- Definir os objetivos com prioridade relativamente às preferências do cliente. Isto é traduzido para objetivos para toda a empresa, como por exemplo, maior fidelidade do cliente à empresa pode ser traduzida num aumento da qualidade da superfície de acabamento. Nesta etapa, o processo e os critérios de sucesso têm que ser bem entendidos e definidos;
- Medir ou avaliar o sistema organizacional da empresa, escolhendo métricas para monitorar o progresso com vista a atingir os objetivos. Neste passo, toda a informação existente deve ser reunida e estruturada. As lacunas ao nível da informação necessitam de ser identificadas e deve existir um plano para uma recolha mais eficiente dos dados;
- Analisar o sistema e entender o que pode ser feito para a evolução da qualidade atual para um nível de qualidade potencial. Nesta etapa, o plano de recolha de dados deve ser examinado, os dados analisados, devem ser criadas melhorias potenciais e um acordo sobre as melhorias propostas;
- Melhorar o sistema através de implementação de ideias inovadoras para diminuir os custos e a produtividade ou outros objetivos. Nesta etapa, o plano de ação tem de ser implementado, dados recolhidos e analisados e

verificados os critérios de sucesso. Se esta etapa não for bem sucedida, as etapas anteriores devem ser realizadas novamente;

- Controlar o novo sistema implementado e melhorar as condições de trabalho, adotar sistemas de incentivo e procedimentos. É nesta etapa que deve ser elaborado o plano de implementação, revista a documentação do sistema, obter consenso, implementar o plano e monitorizar. Novamente, ferramentas estatísticas são muito importantes neste controlo.

O DFSS usa várias metodologias e uma comumente utilizada também se baseia na melhoria contínua: definir, medir, analisar, projetar (desenhar) e verificar (DMADV). Os passos detalhados são os seguintes [3, 5, 6, 8]:

- Definir os objetivos do projeto;
- Estabelecer e medir métricas do projeto relacionadas com as necessidades do cliente;
- Analisar as possibilidades para alcançar os objetivos e até mesmo fazer benchmarking com projetos líder de mercado;
- Desenhar o novo produto usando simulações, protótipos ou outras ferramentas que garantem que os objetivos são atingidos;
- Verificar o desempenho do projeto do produto na aplicação do mundo real.

Para realizar estes passos, normalmente "as sete ferramentas de qualidade" são utilizadas, no entanto, ocasionalmente, também é necessário usar testes de hipóteses, ANOVA ou outros [3, 5, 7].

Uma abordagem para desenvolver os passos acima descritos consiste em associar ferramentas específicas a assuntos a resolver, ou explorar, tal como apresentado na tabela 1 [5, 6].

Tabela 1- Estratégias da qualidade auxiliares a DMAIC e DFSS [5, 6].

Estratégias e princípios	Ferramentas e técnicas
Processo de decisão baseado em factos	Análise da capacidade do processo
Procura de informação	Análise do sistema de medição
Plano de controlo do processo	Desenho de experiências
Redução da variabilidade	Implementação da função de qualidade
Análise de falhas	Análise do modo de falha e defeitos
Processo DMAIC	Análise de regressão
Técnicas de gestão de mudança	Análise de médias e variâncias Teste de hipóteses Análise da causa raiz Mapeamento do processo

Existem muitos métodos estatísticos para o controlo da qualidade e melhoria, sendo as três áreas principais as seguintes [3, 4]:

- Controlo estatístico de processo ou SPC;
- Plano de experiências;
- Aceitação por amostragem.

No controlo estatístico de processo, uma das principais técnicas utilizadas são as cartas de controlo. As cartas de controlo, para uma determinada característica, apresentam uma linha central (média das medições num período de tempo) e limites de controlo superior e inferior. Os valores obtidos num processo sob controlo devem ficar entre os limites, qualquer valor fora é atribuído a fontes de variação especiais. Geralmente este gráfico controla variáveis de saída e é uma técnica muito útil de monitorização, permitindo a deteção e eliminação da variabilidade [3, 4].

Outro método igualmente importante é o plano de experiências, que permite identificar para um determinado processo as principais variáveis que influenciam a qualidade. Basicamente este método varia as condições de entrada no processo e determina o seu efeito sobre as características de saída, o que permite otimizar o processo. Que por sua vez, é obtida reduzindo a variabilidade e obtendo níveis ótimos para variáveis que influenciam o desempenho do processo [3, 4].

A aceitação por amostragem é um procedimento habitualmente associado à inspeção de produtos. Geralmente é utilizada uma amostra aleatória de um lote

produzido. Há duas etapas críticas do processo onde normalmente é aplicada: aprovação da entrada de matérias-primas e/ou componentes e na aprovação final. As abordagens mais atuais focam-se mais no controlo estatístico de processos e plano de experiências. Esta atuação justifica-se devido ao facto da aceitação por amostragem estar associada apenas à conformidade com a especificação, insuficiente quando se procura a melhoria da qualidade [3, 4].

Na melhoria da qualidade, há necessidade de se fazer muito mais do que apenas garantir conformidade com a especificação. Para isso existem diversas ferramentas, sendo as mais importantes as "sete magníficas" [3, 4, 8, 9, 10]:

- Histograma;
- Folha de verificação;
- Gráfico de Pareto;
- Diagrama de causa e efeito;
- Diagrama de concentração de defeito;
- Diagrama de dispersão;
- Carta de controlo.

Estas ferramentas tipicamente têm mais sucesso quando são integradas num controlo estatístico de processo. Algumas dessas ferramentas serão explicadas de seguida [3, 4, 8, 9, 10].

2.1.2 Folha de verificação

As folhas de verificação consistem basicamente numa lista de itens com indicação de frequência. Uma folha de verificação deve responder a várias questões, tais como [3, 5, 11]: foi tudo feito? Todas as inspeções foram executadas? Quantas vezes ocorre um problema em particular? Os problemas são mais frequentes no componente X em comparação com o componente Y?

Com estas questões a atenção é dirigida para os itens de interesse, anteriormente definidos e estabelecidos. Esta ferramenta é muito útil, mas pode tornar-se ainda mais, quando usada com uma análise de Pareto. Uma folha de verificação importante é a folha de verificação para monitorização de processo, que apresenta escalas de medição para os itens. Uma variante é a folha de verificação de defeito estratificada que, para cada defeito especifica informações detalhadas, tais como, os locais possíveis onde aparece o defeito. Um exemplo é apresentado na figura 1. Esta folha é utilizada no controlo de juntas de soldadura. A folha inclui

vários defeitos possíveis, a quantidade e também indica o local onde os defeitos ocorrem. Neste caso, esta folha de verificação dá resposta à necessidade de saber que defeitos ocorrem, com que frequência e o local [3, 5, 11].

	PART NUMBER X-1011	PART NUMBER X-2011	PART NUMBER X-3011	PART NUMBER X-4011	PART NUMBER X-5011
SAMPLES OF 1,000 SOLDER JOINTS					
COLD SOLDER	////			///	
NO SOLDER IN HOLE	///		//	//	
GRAINY SOLDER	///	/		///	
HOLE NOT PLATED THROUGH	///			///	
MASK NOT PROPERLY INSTALLED	///		////	///	
PAD LIFTED	/				

Figura 1- Folha de verificação estratificada [5].

2.1.3 Gráfico de Pareto

A análise de Pareto distingue as situações a explorar, consideradas vitais, e as situações a não explorar, consideradas triviais. Esta ferramenta pode ser usada em muitos cenários para decidir o caminho a seguir. O potencial desta ferramenta vem da teoria que defende que tipicamente um fenómeno tem uma distribuição de 80/20. Em qualidade, isso significa que 80% dos problemas ou ocorrências provêm de 20% das causas. Dessa forma, a melhoria deve-se focar prioritariamente nessas causas. Apresenta-se um exemplo nas tabelas 2 e 3. Os dados da tabela 2 registam as causas de rejeição de pêssegos, que chegam a um supermercado num mês específico, organizados em categorias [3, 5, 11].

Tabela 2- Número de pêssegos perdidos por causa [5].

Causa	Pêssegos perdidos
Pisados	100
Demasiado pequenos	87
Podres	235
Recolha antes do tempo	9
Variedade errada	7
Com minhoca	3

Com os dados da tabela 2 é realizada uma análise de Pareto, iniciando-se com a classificação dos pêssegos de acordo com as características e frequências. Esta análise é apresentada na tabela 3 [3, 5, 11].

Tabela 3 - Análise de Pareto, classificação das causas, atribuição de percentagem e percentagem cumulativa [5].

Classificação	Categoria	Quantidade	Percentagem	Cumulativa %
1	Podres	235	53,29	53,29
2	Pisadas	100	22,68	75,97
3	Demasiado pequenas	87	19,73	95,70
4	Outros	19	4,31	100,01

Um diagrama de Pareto é construído mostrando as frequências (figura 2) por cada categoria de defeitos, em que a linha laranja é a frequência cumulativa. A linha vermelha corresponde a 80% da frequência cumulativa e separa o trivial (direita) do que é o importante (à esquerda) [3, 5, 11].

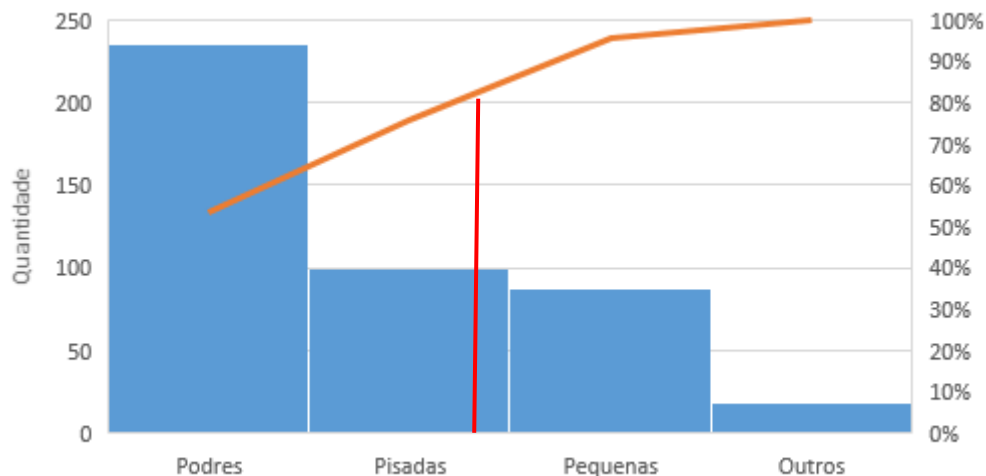


Figura 2 - Diagrama de Pareto do problema [5].

Com esta análise fica claro que cerca de 80% dos problemas provêm de apenas duas causas, nomeadamente “podres” e “pisadas”. Estas duas causas representam 1/3 dos defeitos. Neste caso, para melhorar o processo de distribuição de pêssegos, a atenção deve ser direcionada para as causas que originam pêssegos “podres” e “pisadas”. Eliminar essas causas deve resolver cerca de 80% dos problemas [3, 5, 11].

2.1.4 Diagrama de Causa e Efeito (ou espinha de peixe)

Como mencionado anteriormente, a melhoria de processo deve ser direcionada para as causas da variação. Geralmente, como as possíveis causas de variação são imensas, Ishikawa desenvolveu um método gráfico de apresentar as causas dos problemas da qualidade. Esta ferramenta basicamente exhibe numa imagem o conhecimento que um grupo tem sobre um determinado problema [3, 5, 11].

O diagrama típico é apresentado na figura 3, com as categorias mais usadas na sua construção: máquina, métodos, materiais, recursos humanos, medição e ambiente. Para além destas categorias tradicionais existem outras, tais como manutenção, que têm vindo a ganhar importância. Neste exemplo o efeito estudado é a contaminação de ferro no produto. As causas são descritas por categoria de acordo com as informações obtidas em reuniões de partilha de ideias (brainstorming). Algumas causas, como calibração ou ferramentas à base de ferro, aparecem em mais de uma categoria, porque são utilizados de modo diferente. Nos métodos, está relacionado com a recolha de amostras e nos recursos humanos com a manutenção [3, 5, 11].

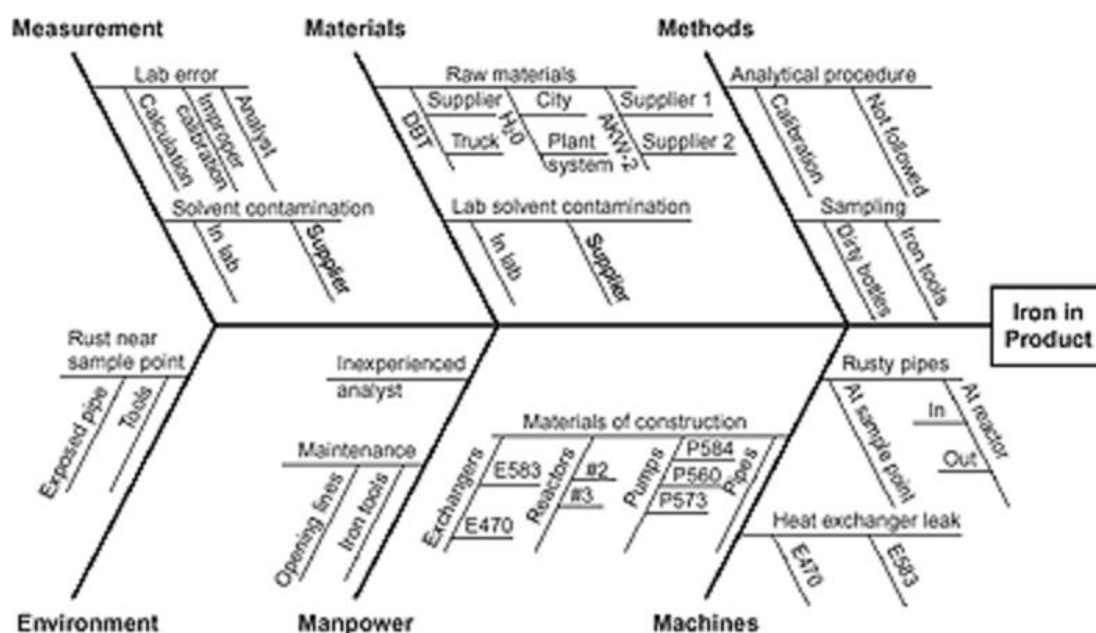


Figura 3- Exemplo de Diagrama de causa e efeito [12].

A estrutura deste diagrama pode ser alterada e as categorias podem ser adaptadas para o problema em causa. Esta estratégia é muito fácil de usar, organizando ideias, e reflete o conhecimento atual do problema [3, 5, 11].

Outra variante importante está relacionada com a partilha de ideias (brainstorming). Habitualmente esta partilha entre operadores relacionados com o problema é realizada numa sala de reuniões. Mas, em alternativa, pode-se usar um sistema de cartões em que as ideias são escritas, fora da sala de reunião e por qualquer pessoa envolvida no processo. Neste caso, o diagrama é construído com base nos cartões que passam a figurar nos ramos [3, 5, 11].

2.1.5 Cartas de controlo de processo

As cartas de controlo devem ser implementados tendo em conta as seguintes considerações [8, 9, 11]:

- Determinar as características do processo que devem ser controladas;
- Determinar onde as cartas devem ser implementadas no processo;
- Escolher o tipo adequado de cartas de controlo;
- Tomar ações para melhorar os processos, com base no resultado da análise da carta de controlo;
- Seleção de sistemas de recolha de dados e software de computador.

As cartas de controlo são divididas em três tipos, dependendo dos dados a analisar: dados contínuos ou medições, atributos ou contagens. Dados contínuos envolvem o uso de cartas $\bar{x}$ e S e cartas $\bar{x}$ e R ou valores individuais e amplitude móvel. No caso de dados de atributos, são usadas cartas p, cartas c e cartas u [8, 9, 11].

Estas cartas têm uma linha central (CL) igual ao valor médio da característica de qualidade quando o processo está sob controlo. Existem mais duas linhas, o limite superior de controlo (UCL) e o limite inferior de controlo (LCL). Quando os pontos estão dentro dos limites, o processo está sob controlo e não necessita de ajuste. Se um ponto se encontra fora dos limites, significa que ocorreu uma causa especial de variação. Dessa forma é necessária uma investigação e ações corretivas para determinar as causas da variação e eliminá-las. Um exemplo de uma carta de controlo pode ser visualizada na figura 4 [8, 9, 11].

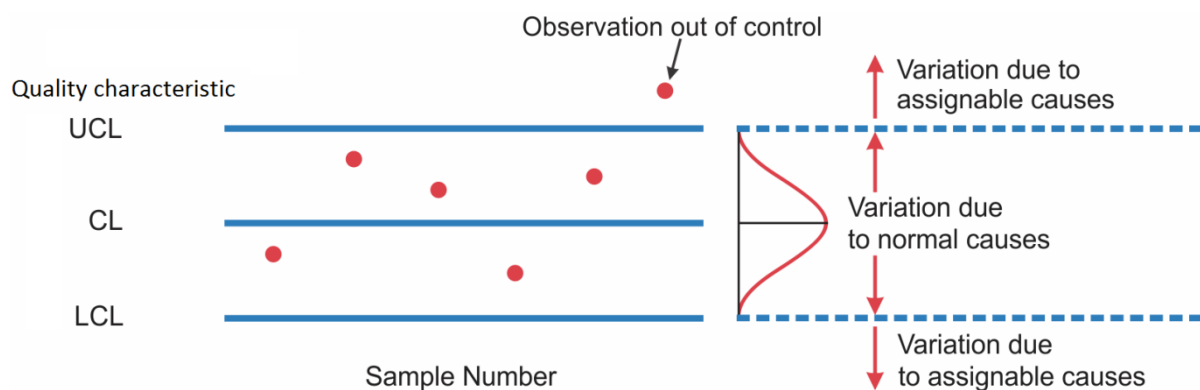


Figura 4 - Exemplo de uma Carta de controlo [13].

A título de exemplo apresenta-se uma carta de u para falhas por caixas. Os dados foram recolhidos aleatoriamente de caixas de pêssegos e o número de defeitos foi rejeitado. Para cada caixa há 250 pêssegos e na tabela 4 apresentam-se os dados recolhidos [5].

Tabela 4 - Dados para a carta u [5].

Carregamento nº	Caixa	Falhas	Falhas por unidade
1	1	47	47
2	1	42	42
3	1	55	55
4	1	51	51
5	1	46	46
6	1	61	61
7	1	39	39
8	1	44	44
9	1	41	41
10	1	51	51
11	2	88	44
12	2	101	50,5
13	2	101	50,5
14	1	40	40
15	1	48	48
16	1	47	47
17	1	50	50
18	1	48	48
19	1	57	57
20	1	45	45
21	1	43	43
22	2	105	52,5
23	2	98	49
24	2	100	50
25	2	96	48

A linha central e os limites são calculados da seguinte forma [5]:

$$u = \frac{\text{quantidade de ocorrências por subgrupo}}{\text{tamanho do subgrupo em unidades}} \quad \text{Eq. 1}$$

$$\bar{u} = \frac{\text{soma da quantidade de ocorrências por subgrupo}}{\text{soma da quantidade de subgrups}} \quad \text{Eq.2}$$

$$LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad \text{Eq. 3}$$

$$UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad \text{Eq. 4}$$

Apresentam-se aqui os cálculos de $\bar{u}$, LCL e UCL :

$$LCL = 48,25 - 3 \sqrt{\frac{48,25}{1}} = 27,411$$

$$UCL = 48,25 + 3 \sqrt{\frac{48,25}{1}} = 69,089$$

$$LCL = 48,25 - 3 \sqrt{\frac{48,25}{2}} = 33,514$$

$$UCL = 48,25 + 3 \sqrt{\frac{48,25}{2}} = 62,986$$

O resultado é mostrado na figura 5 [5].

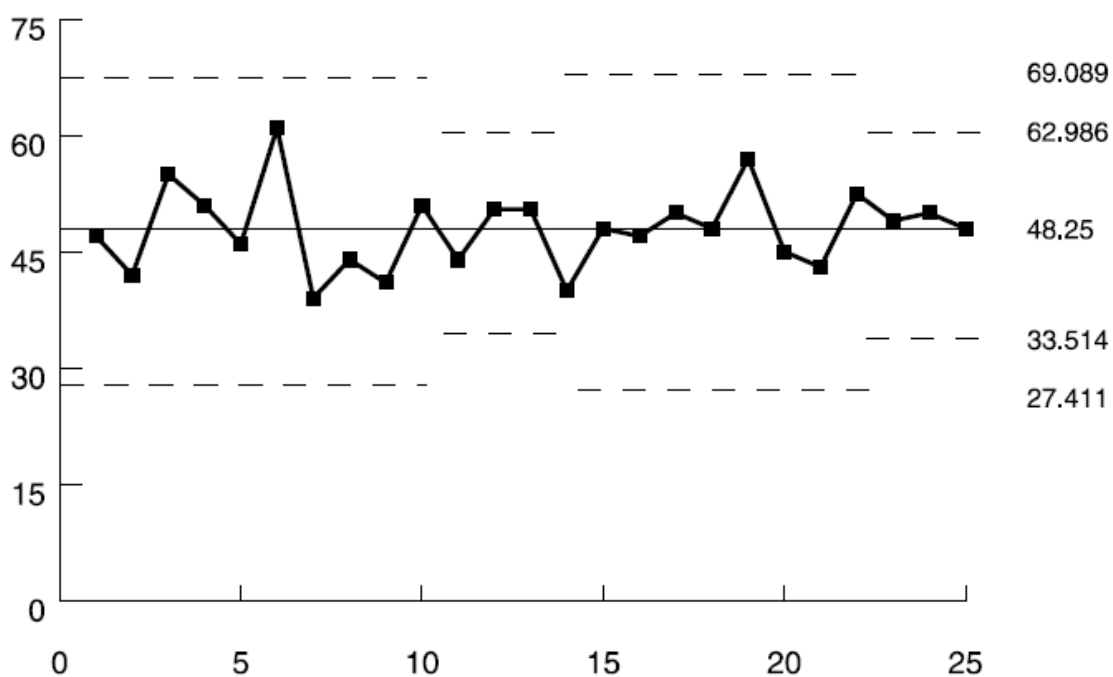


Figura 5 - Carta U de defeitos por carregamento [5].

As ferramentas apresentadas são importantes, embora existam muitas outras igualmente importantes para a implementação de estratégias de qualidade. Algumas dessas ferramentas serão apresentadas de seguida [5, 12].

2.1.6 Fluxograma

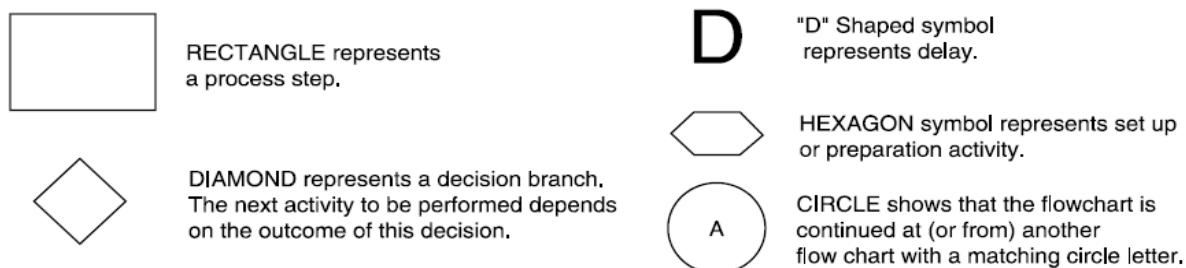


Figura 6 - Sugestão de símbolos para fluxograma [5]

Um fluxograma de processo é uma representação de um processo, mostrando a sequência de operações [5, 12].

Como as empresas normalmente são organizadas por sectores, pode ser difícil definir os processos. O fluxograma inclui entradas, ações e saídas e fornece uma perspectiva mais global dos processos. O gráfico de fluxo precisa de um conjunto específico de símbolos. Uma sugestão para estes símbolos é apresentada na figura 6 [5, 12].

Um exemplo de um fluxograma de um processo é apresentado na figura 7. O exemplo é um simples fluxograma de análise da capacidade de um processo. Este fluxograma significa que se inicia com uma carta de fluxo do processo. Em seguida, o processo é auditado. Se houver problemas, têm de ser corrigidos e o processo auditado novamente.

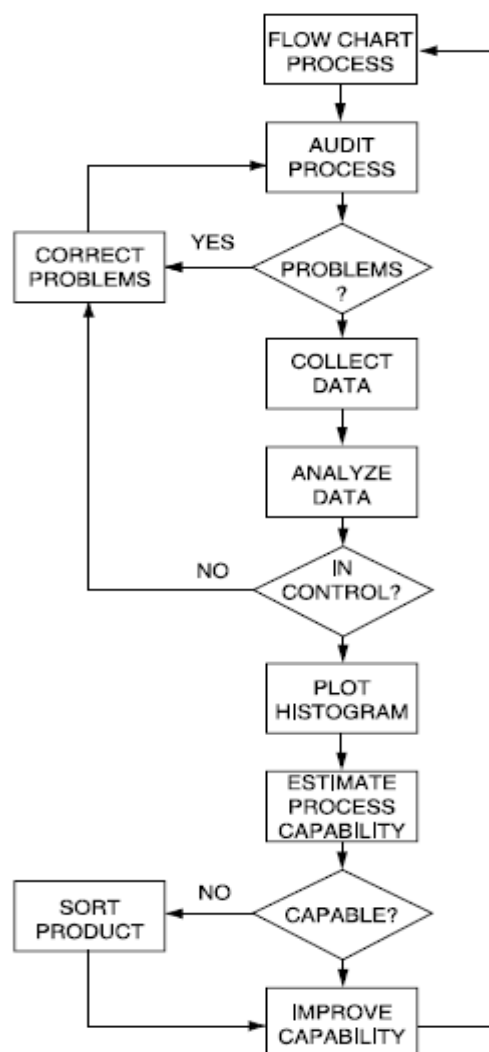


Figura 7 - Fluxograma para análise da capacidade do processo [5].

Se não, o passo seguinte é recolher dados, analisar e decidir se o processo está em controlo. Se não, o fluxo tem que retornar para a resolução de problemas e seguir todos os passos que isso envolve. Se o processo está sob controlo, então é criado um histograma, calcula-se a capacidade do processo e decide-se se é capaz ou não. Se não, os produtos têm que ser inspecionados. Se é capaz, a capacidade pode ser melhorada. Após esta melhoria começam-se novamente as etapas do processo [5, 12].

2.1.7 Implementação da Função de Qualidade (QFD)

O QFD é uma ferramenta de foco no cliente para projetar produtos que começa com a voz do cliente (VOC). Esta ferramenta transforma exigências do cliente para especificação do produto [5, 12].

A utilização do QFD consiste numa matriz onde as necessidades do cliente são apresentadas em linhas e as características do produto em colunas. A interseção entre os dois representa a correlação entre os requisitos e especificações. Com esta informação e uma análise da concorrência, constrói-se a casa da qualidade que apresenta uma estrutura do tipo da figura 8 [5, 12].

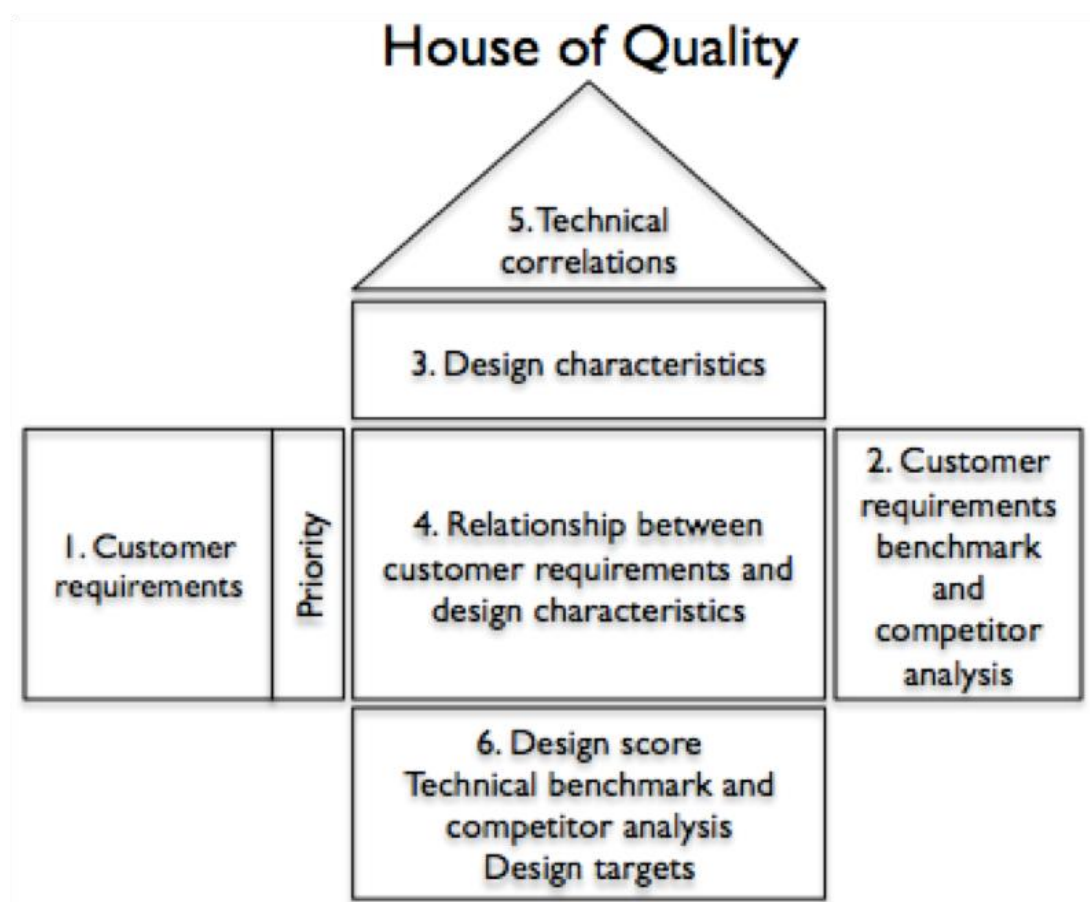


Figura 8 - Estrutura da casa da qualidade [12].

Para construir a casa da qualidade, a equipa tem de identificar as principais características do design e estabelecer uma relação com os aspetos técnicos. As necessidades do cliente podem ser identificadas através de questionários ou outros. Os questionários ou outras ferramentas obtêm a voz do cliente. Embora, de acordo com Noritaki Kano, existem certas características que essas ferramentas não identificam, mas que são muito importantes como mostra na figura 9 [5, 12].

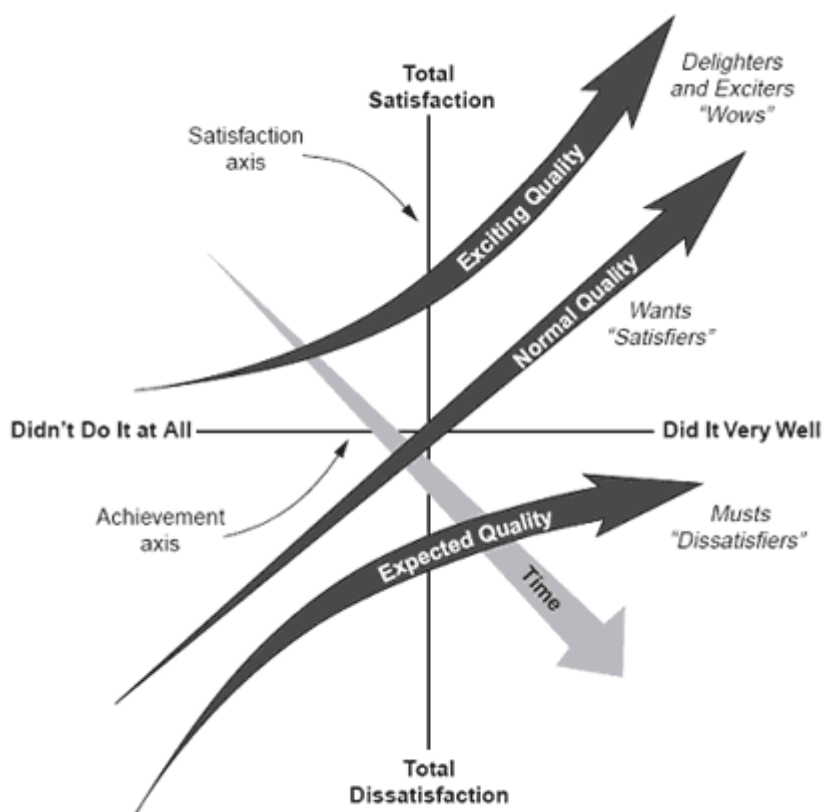


Figura 9 - Modelo de Kano para os requisitos do cliente [14].

Neste modelo, a qualidade esperada é o nível básico de qualidade. Características básicas de qualidade são o que o cliente espera que o produto tenha, mas, se questionado, não menciona. Esta qualidade básica tem de ser atingida, se não causará insatisfação. A qualidade normal representa as características que conhecemos que o cliente espera do produto. Estas características devem ser satisfeitas para satisfazer o cliente. Quantas mais destas características se atingirem mais o cliente ficará satisfeito com o produto. A qualidade “excitante” representa inovação, características que o cliente não espera. Com o tempo, a pressão concorrencial irá aumentar as expectativas do cliente e a qualidade normal passará a qualidade básica. Esta mudança está associada com a constante necessidade de inovação. Estas considerações devem ser analisadas a cada passo [5, 15].

Uma evolução importante do método do QFD é a abordagem de Macabe que sugere o desenvolvimento de quatro matrizes relacionadas. A matriz do planeamento do produto, a matriz do desenvolvimento dos componentes, a matriz do planeamento do processo e a matriz de planeamento da produção. Na figura 10 é mostrado o desdobramento dos requisitos do cliente até à produção evoluindo ao longo destas quatro matrizes [5, 15].

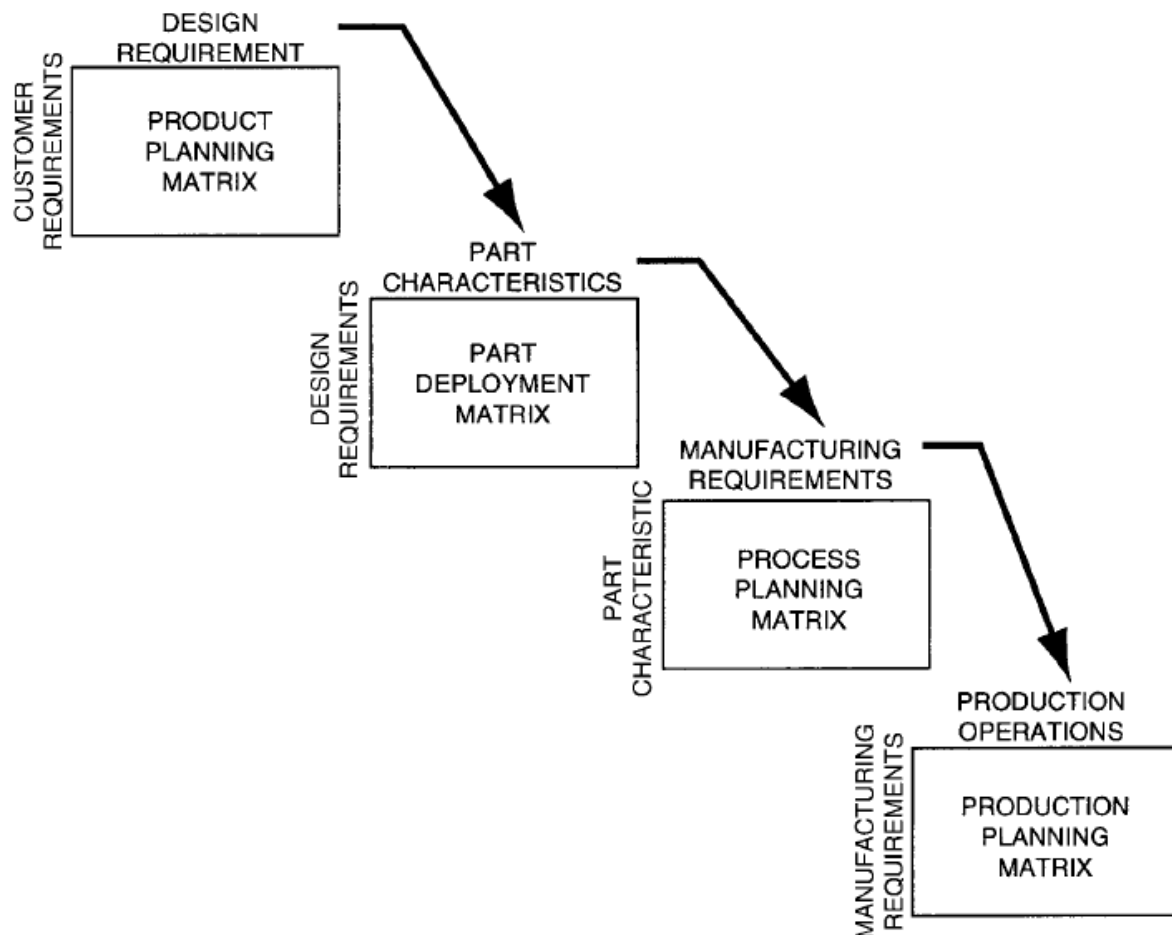


Figura 10 - Abordagem de Macabe [12].

2.1.8 Ferramentas 7M

As ferramentas de 7M são sete ferramentas para a gestão. Ao contrário das ferramentas típicas que são aplicadas em dados quantitativos, estas ferramentas também podem ser aplicadas a dados qualitativos. Estão focadas na gestão e planeamento da melhoria da qualidade e são [5, 12]:

- Diagrama de afinidade;
- Diagrama de árvore;
- Gráfico de decisão;
- Diagrama de matriz;

- Gráfico de relacionamento;
- Matriz de priorização;
- Diagrama de rede de atividade.

Destas ferramentas desenvolveu-se o diagrama de afinidade. Este diagrama organiza ideias em relações naturais. Geralmente é usado para organizar informações obtidas em sessões de brainstorm [5, 12].

Apresenta-se um exemplo na figura 11 referente à questão do problema: "Quais são as barreiras para a entrega de medicamentos a tempo?". Foi realizado um brainstorming para procurar conhecer as possíveis causas do problema. As ideias resultantes foram associadas por relações naturais e revistas. Esta ferramenta estimula a discussão e alerta para possibilidades de melhoria [5, 12].

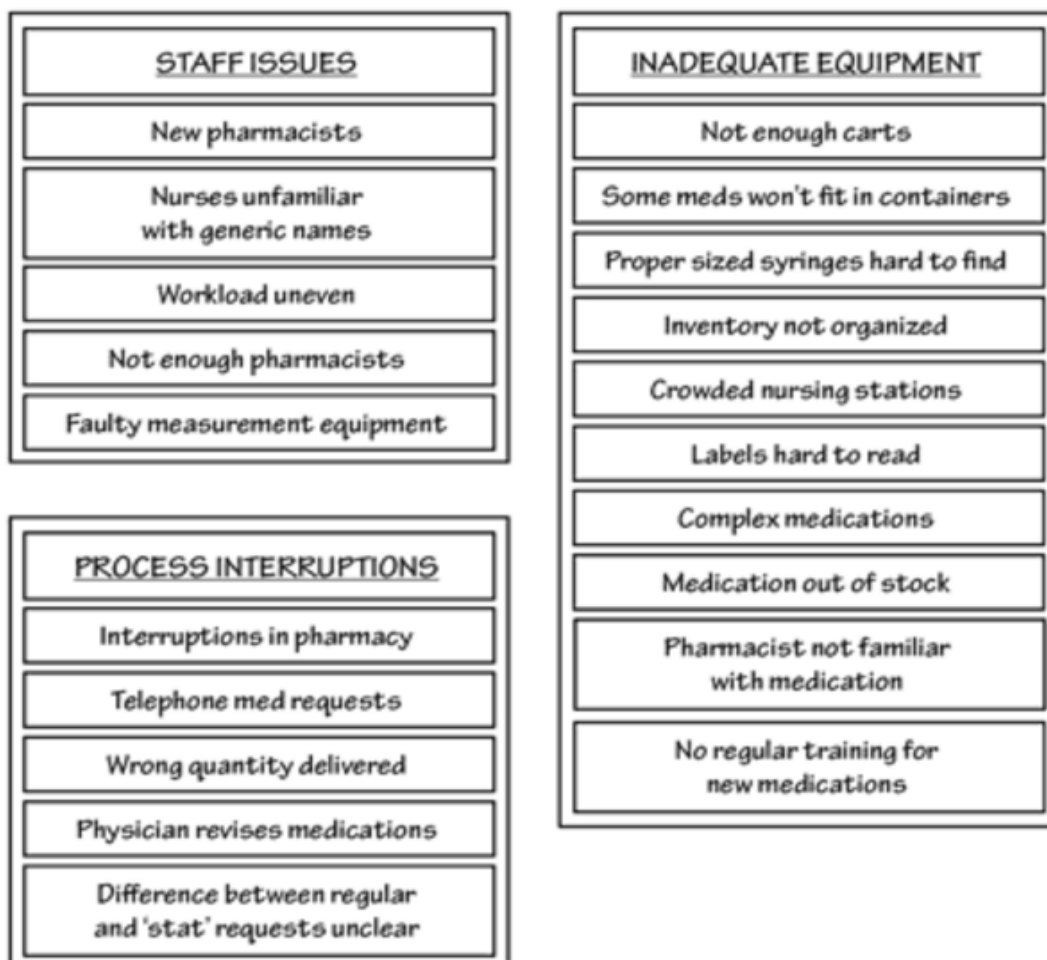


Figura 11 - Diagrama de afinidade para o problema de entrega de medicamentos a tempo [12].

3. Caso de estudo: Processo de montagem do “Messsucher”

3.1 Características da máquina fotográfica do sistema M

As câmaras do sistema M são câmaras constituídas por telémetro, compactas, que oferecem uma experiência de fotografia extremamente rápida e discreta. As características distintas que fazem uma câmara do sistema M ser única são [16]:

- Simples de usar sem funções supérfluas ou menus complicados, permitindo ao fotógrafo concentrar-se na fotografia que pretende;
- Usa um mecanismo especial, o “Messsucher”, que é uma combinação de telémetro e visor. Neste mecanismo, o visor é acoplado aos quadros das respetivas objetivas;
- É o sistema de câmara de filme de 35mm (“full-frame”) mais compacta do mercado;
- As lentes do sistema M são consideradas das melhores do mercado a cumprir as exigências de qualidade mais elevadas.

O presente trabalho aborda, neste caso de estudo, o processo de montagem da câmara M. A câmara é um sistema complexo constituído por vários subgrupos, entre os quais, o:

- Obturador;
- “Messsucher”.



Figura 12 - Telémetro e visor em funcionamento [16].

O processo específico abordado no trabalho é relativo ao processo de montagem do “Messsucher”. O termo alemão “Messsucher” refere-se à combinação de um telémetro e um visor, internamente é usado o termo “E-Messer” para designar este componente. O visor apresenta uma visão mais ampla da imagem, possibilitando ao fotógrafo analisar o ambiente fora da moldura do visor e capturar o momento exato que pretende. Na figura 12 demonstra-se essa possibilidade de captar o momento em que a bola de futebol cai. Esta é uma vantagem clara relativamente a uma câmera com sistema de espelhos, que apenas pode visualizar a imagem final. O sistema de telémetro permite um foco preciso, fornecendo as condições para capturar uma imagem autêntica e natural. Com esta combinação, o fotógrafo pode capturar o momento exato que pretende [16].

O princípio de funcionamento da câmara fotográfica implica a articulação do mecanismo do “Messsucher” com uma objetiva/lente. Esta articulação permite ao utilizador regular a objetiva que força o movimento do mecanismo do telémetro. O mecanismo do telémetro está por sua vez ajustado para corresponder exatamente ao movimento da objetiva. Esta combinação permite transmitir ao utilizador o ponto onde a objetiva está focada através de um conjunto ótico de prismas e lentes. O utilizador deteta que a imagem está focada assim que imagem direta e a imagem projetada pelo mecanismo estiverem nítidas. Para além desta funcionalidade, um conjunto de molduras ou máscaras permite ao utilizador conhecer exatamente a imagem que vai obter para a objetiva que está a utilizar.

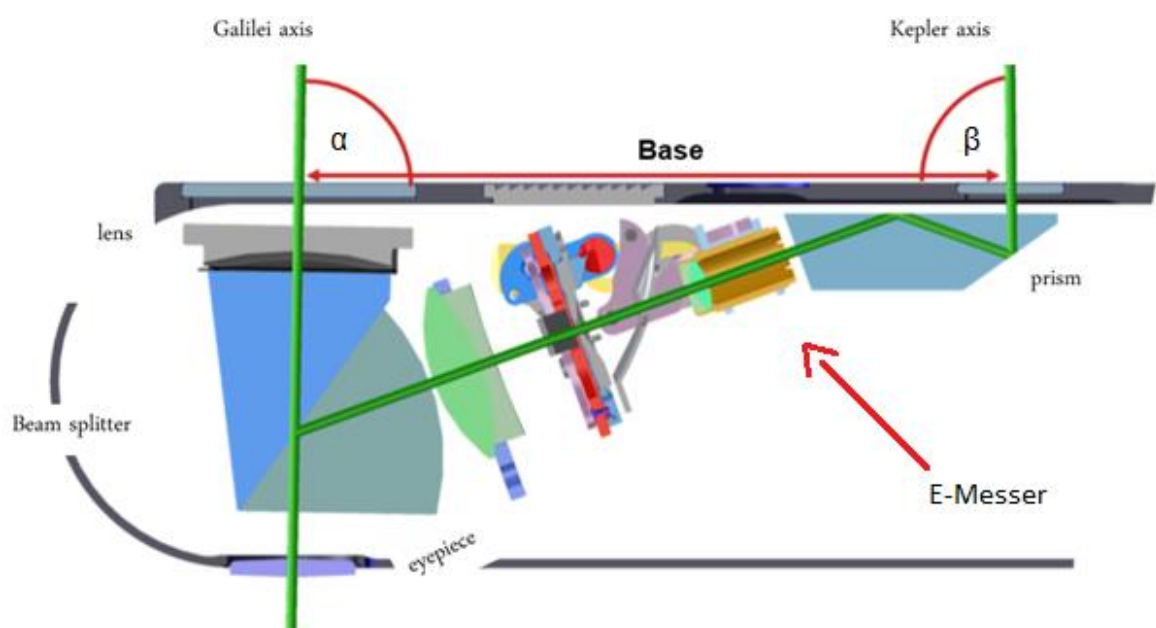


Figura 13 - Componentes e princípio de funcionamento do “Messsucher”.

O princípio ótico é conseguido utilizando um feixe de luz direto, obtido por um eixo designado Galileu, conjugado com um feixe de luz obtido por um eixo designado Kepler. Para o utilizador, a imagem dos dois feixes surge sobreposta e o mecanismo mecânico permite variar a posição do eixo de Kepler de acordo com a posição da objetiva (figura 13). Quando as duas imagens estiverem nítidas, no ponto pretendido para tirar a fotografia, significa que a objetiva está focada para recolher a imagem (figuras 14 e 15).

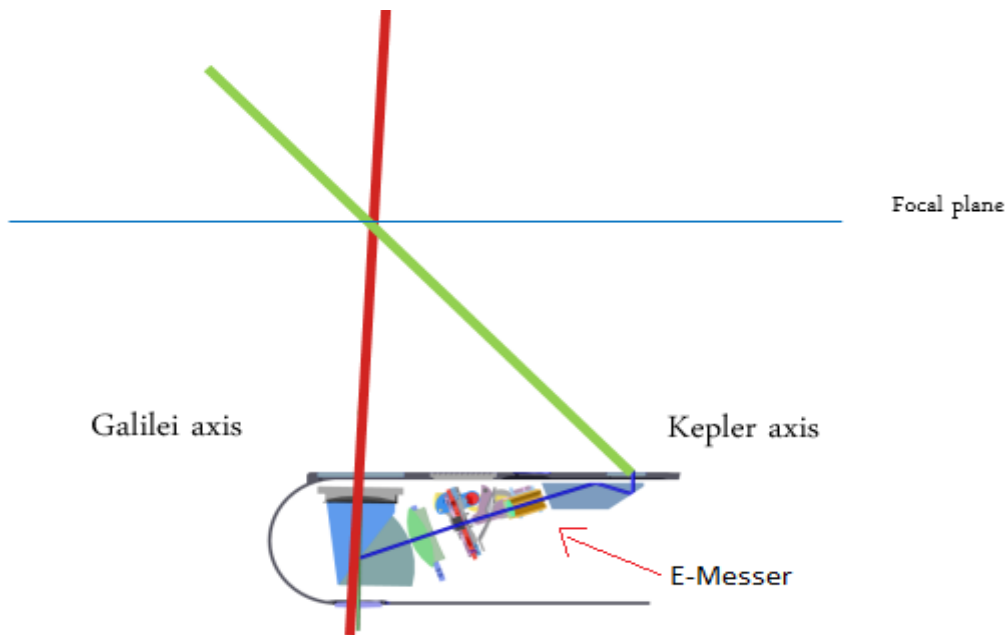


Figura 14 - Princípio de funcionamento do “Messsucher” na focagem.

Para ser possível operar este mecanismo com os requisitos pretendidos é necessária uma enorme precisão ótica e mecânica. O conjunto, para além de requerer componentes de elevada qualidade, necessita também de um ajuste muito preciso. A exigência de precisão no mecanismo mecânico, que conjuga a objetiva e o rolete, é da ordem dos micrómetros.

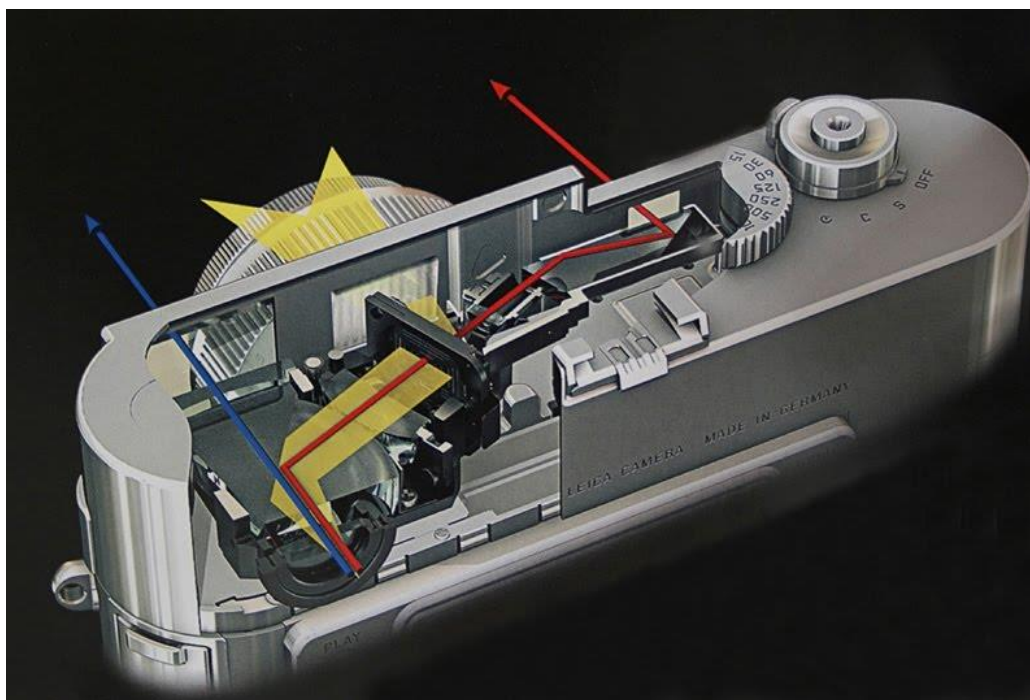


Figura 15 - Posicionamento do “Messsucher” na câmara [16].

3.2 Análise do processo de montagem do “Messsucher”

A empresa possui ferramentas de organização, como instruções de trabalho detalhadas, gestão logística por SAP e roteiros com tempos de operação. Para além disso, especificamente no caso de estudo, existe uma operação de inspeção de qualidade à entrada, operações de controlo do processo de montagem e inspeção final do produto (a vermelho na figura 16).

Neste trabalho é dado maior ênfase à etapa de controlo do processo de montagem, que está dividido em duas etapas críticas: a etapa de ajuste do conjunto (W2) e a etapa de ajuste do conjunto no corpo da câmara (W6) apresentado na figura 15. Ambas as etapas são controladas por uma folha de verificação.

A análise destes dados, através de um gráfico de Pareto, revela que na etapa de ajuste dos componentes detetam-se como defeitos principais: “lente desfocada”, “sujidade”, “prisma dachkant não desce” e “lentes viradas”. O defeito “lente desfocada” corresponde, na verdade, a um tempo de retrabalho que a empresa tem

interesse em monitorizar. A “sujidade” é um defeito relevante, tendo já sido implementadas várias medidas para diminuir a sua importância, no entanto, consideram-se ainda necessárias mais ações, tais como aumentar o nível de limpeza da sala ou utilizar luvas em operações críticas. O defeito “prisma dachkant não desce” está em estudo pelo fornecedor interno, a secção de ótica. O defeito “lentes viradas” ocorre devido ao raio da lente estar descentrado, foi realizada uma reclamação ao fornecedor com aceitação condicional e implementada uma inspeção no plano do fornecedor e no plano do controlo de qualidade à entrada.

A etapa de ajuste do conjunto no corpo apresenta essencialmente dois defeitos principais, “distâncias mal” e “máscara não ajusta” e como retrabalho que não é realmente um defeito “máquina do ajuste difícil”. Relativamente ao defeito “distâncias mal” foi criada uma folha de verificação que detalha as características do defeito e as reparações que funcionam para se estudar melhor o defeito. O defeito “máscara não ajusta” foi analisada e detetado uma possível causa que foi resolvida, no entanto, a análise ainda não está terminada.

Com os variados componentes a empresa procede à montagem dos conjuntos e quando estes conjuntos possuem ótica tipicamente são ajustados aos requisitos pretendidos. O fluxograma de produção da empresa é apresentado na figura 16.

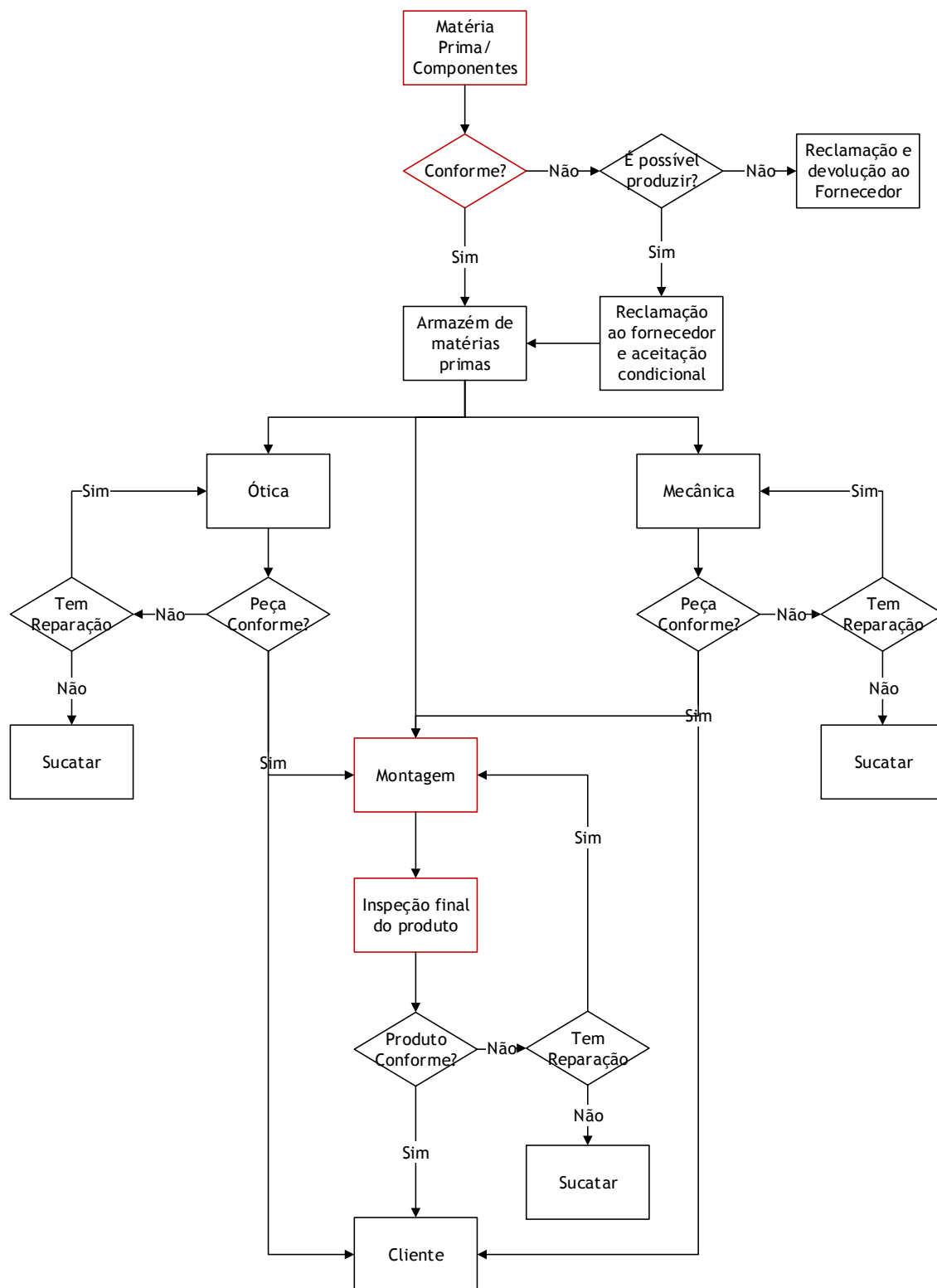


Figura 16- Fluxograma de produção da Leica - aparelhos óticos de precisão, SA.

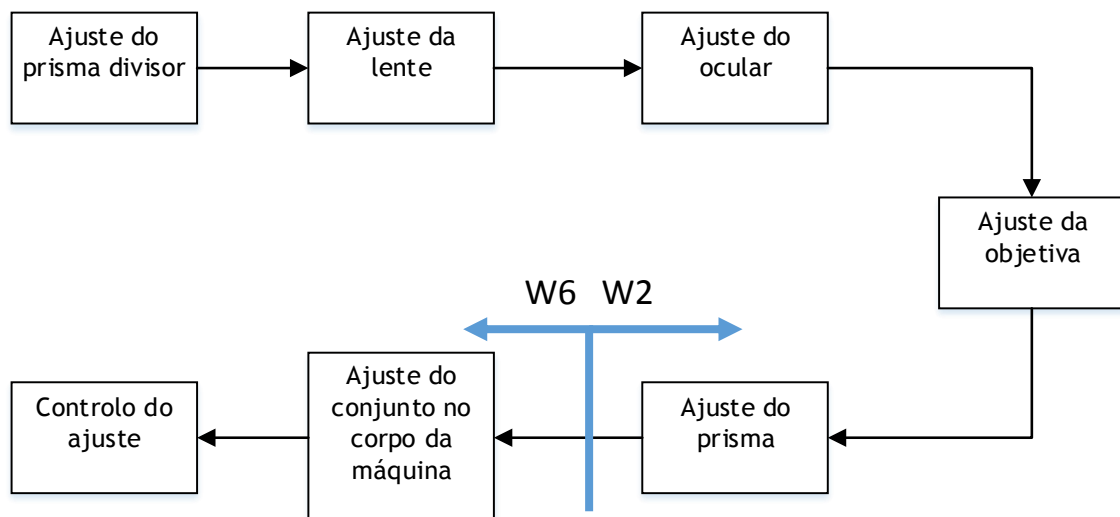


Figura 17 - Fluxograma de montagem do E-Messer.

Para fabricar este mecanismo são necessárias mais de 100 peças, muitas delas construídas na empresa e outras externamente. O “Messucher” é um conjunto mecânico, ótico e eletrónico que necessita de ajuste em duas etapas: quando os componentes óticos são montados e depois quando é montado na máquina. O processo de montagem tem duas etapas importantes que têm a estrutura geral da figura 17, e segue os seguintes passos:

- Ajuste do prisma divisor

Consiste na colocação do prisma na posição pretendida na casa do prisma, seguindo como referência a projeção de luz de um colimador que é captada por uma câmara. A luz do colimador passa por um vidro transparente com uma escala que permite, através da manipulação do prisma, colocar o feixe de luz centrado e a imagem focada.

- Ajuste da lente

Consiste na colocação da lente de forma a que o feixe de luz esteja correspondente ao do prisma divisor. Neste ajuste também é utilizado um colimador e uma câmara conjugada com escala para centrar o feixe de luz. Este ajuste possui uma particularidade no ajuste da focagem da imagem do feixe direto. A análise da focagem é realizada com uma câmara em que a objetiva se move, estando acoplada a uma escala. Assim é possível determinar o desvio relativamente à especificação e avaliar a compensação necessária, que é feita através da colocação de uma anilha de ajuste.

- Ajuste do ocular

Consiste na colocação da ocular de forma a que o feixe de luz esteja correspondente ao do prisma divisor. É executado de forma similar aos anteriores, também necessitando de anilha de ajuste para compensar desvios.

- Ajuste da objetiva

Consiste na colocação da ocular de forma a que o feixe de luz esteja correspondente ao do prisma divisor e à ocular. Esta operação é executada de forma similar às anteriores, mas tem a particularidade de necessitar de ajuste da força do movimento e de ser ajustada de acordo com as distâncias 0,7m, 1m, 2m, 5m, 10m, 100m e infinito. Este é o primeiro ajuste do mecanismo que na câmara conjuga com a objetiva para obter a focagem, e é um ajuste mais grosseiro.

- Ajuste do prisma

Corresponde à colocação do prisma, ou como é referido internamente “dachkant”, de forma a que o feixe corresponda ao da objetiva, da ocular e do prisma divisor. Com este ajuste termina a etapa de ajuste dos componentes (W2). O dispositivo que permite todo este ajuste é apresentado na figura 18.

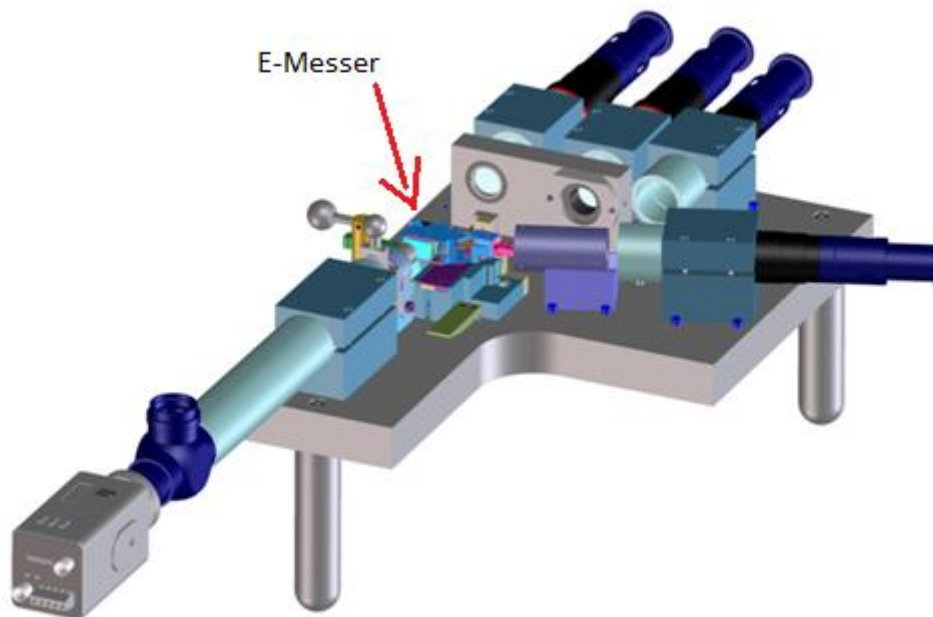


Figura 18- Aparelho de ajuste dos componentes entre si (W2).

- Ajuste do conjunto no corpo da máquina

Este ajuste é especialmente delicado e pertence à etapa de ajuste do “Messsucher” no corpo da câmara (W6), cujo dispositivo é apresentado na figura 19. Inicialmente é ajustada a máscara, que possui as molduras correspondentes às objetivas, para que o retângulo central esteja centrado com o feixe de luz e a imagem focada. Estes elementos são apresentados no visor da figura 12. Depois desta operação é necessário realizar um ajuste mais preciso das distâncias 0,7m, 1m, 2m, 5m, 10m, 100m e infinito. Para finalizar é realizado um ajuste das molduras correspondente às objetivas da máquina de forma a que a função esteja salvaguardada e não possua defeitos visuais.

- Controlo do ajuste

Depois do ajuste, existe um controlo em que, caso seja necessário, é possível realizar correções. Para além deste ajuste existe ainda outro realizado já na Leica Camara Wetzlar também de controlo e se necessário existem correções do ajuste.

Todos estes passos conjugam os componentes metálicos com os respetivos componentes óticos e eletrónicos para desempenhar a função pretendida.

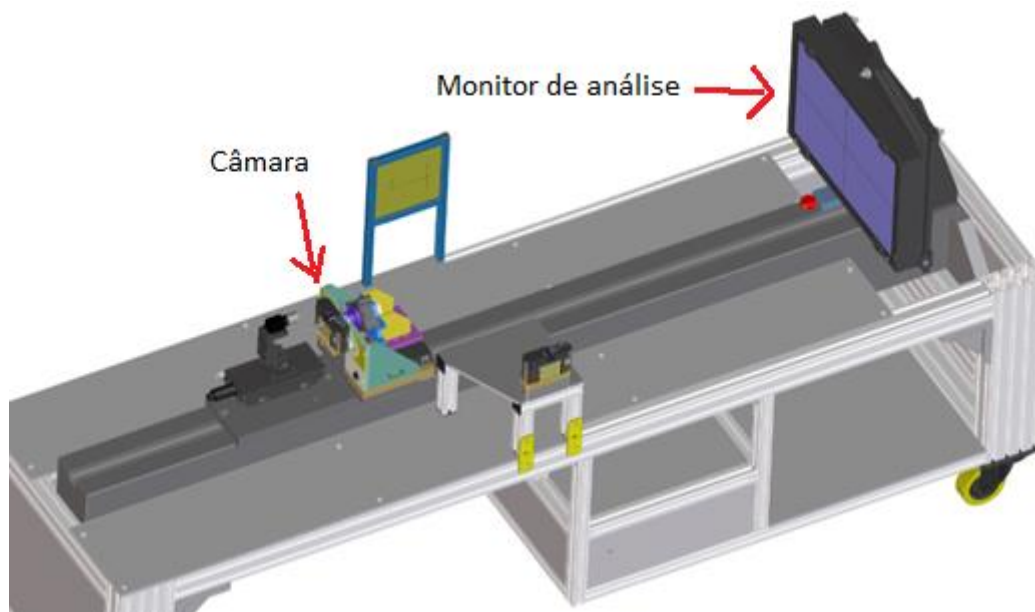


Figura 19 - Aparelho de ajuste W6.

Foi realizada uma análise crítica e propostas melhorias tendo em conta o conhecimento adquirido e as possibilidades reais de implementação. A análise incluiu a inspeção de qualidade à entrada, o controlo do processo de montagem e a inspeção final do produto. No entanto, o trabalho foi realizado sobretudo em contacto com o processo de montagem. Assim, a análise incide sobre este processo, realizando apenas uma breve referência aos restantes.

A empresa, no processo de tomada de decisão, faz sempre uma avaliação das consequências que as alterações técnicas e de processamento significam para o cliente. Basicamente, consiste numa avaliação com base nas metodologias das ferramentas Implementação da Função de Qualidade (QFD) e do modelo de Kano. Para além disso, os operadores do processo possuem uma noção clara das características de qualidade e, sendo necessário, alertam os responsáveis para que sejam tomadas as ações corretivas necessárias.

3.2.1 Inspeção da qualidade à entrada

O “Messsucher” possui vários componentes óticos, eletrónicos e mecânicos. Aos componentes que são adquiridos a fornecedores, realiza-se um teste por amostragem a parâmetros seguindo um plano de controlo. Este plano inclui os testes realizados pelo fornecedor e pela inspeção de qualidade à entrada. No caso de uma lente, os parâmetros analisados poderão ser a espessura da lente, um raio ou mesmo a verificação de uma cota de interesse. Relativamente à análise do fornecedor, caso o resultado seja considerado conforme, o lote é aprovado, enviado e recebido pela

inspeção da qualidade à entrada da Leica. Os inspetores, por sua vez, realizam um controlo das peças de acordo com um plano definido. Se as peças se encontram conformes, são aprovadas e podem seguir para a produção. No caso de se determinarem produtos não conformes, é realizada uma análise dos defeitos, que determina se as peças podem ou não ser utilizadas. Se puderem ser utilizadas, é realizada uma reclamação ao fornecedor com aceitação condicional. Esta situação exige que o fornecedor corrija as não-conformidades para as condições de entrega acordadas. No caso de não ser possível utilizar as peças, é feita uma reclamação e o lote é rejeitado. Em ambos os casos, se o fornecedor não conseguir dar resposta ao solicitado, podem ser necessários outros tipos de soluções, como o fornecedor pagar o retrabalho necessário, alterar o projeto dos componentes em causa ou mesmo mudar de fornecedor.

A metodologia de trabalho implementada permite detetar defeitos antes de se adicionar valor acrescentado ao produto e, assim, reduzir custos. Para além disso, também existe uma avaliação dos defeitos e a capacidade de decisão sobre se é possível ou não utilizar as peças, o que é também benéfico visto permitir um melhor entendimento do problema e por vezes manter a produção. Parar a produção sem absoluta necessidade teria um custo elevadíssimo.

Onde poderia existir uma melhoria considerável seria na criação do plano de controlo. Este plano atualmente não envolve todos os setores da empresa e verificaram-se inconsistências entre problemas verificados no passado e o controlo executado atualmente, que serão explicadas posteriormente na análise de defeitos. Uma melhoria potencial seria envolver todos os setores envolvidas num produto no plano de controlo, obtendo um consenso. Como exemplo, numa lente, a equipa de projeto conhece as características essenciais a analisar, a equipa de processo as características que tipicamente podem causar problemas e a inspeção de qualidade a capacidade que possui para analisar essas características.

3.2.2 Controlo do processo de montagem

Em todo o processo da empresa existem instruções de trabalho associadas a cada processamento. As instruções de trabalho apresentam o local de trabalho, o material necessário à realização do trabalho e as operações necessárias. Associado a cada conjunto de operações de trabalho, existe um roteiro que determina o tempo de cada operação. Para além disso, existe um controlo logístico para gerir

encomendas, que se baseia numa plataforma SAP. Esta articulação resulta num processo globalmente bem estruturado e organizado.

O controlo do processo é realizado em duas etapas críticas, após a operação de ajuste dos componentes (W2) e após o ajuste do “Messsucher” no corpo da câmara (W6). Este controlo está bem definido visto incluir os passos críticos do processo, no entanto, no futuro como melhoria existem outras operações no início do processo que também devem ser adicionadas. Esta sugestão deve-se ao facto de se ter verificado um apoio numa ferramenta com desgaste e produzir componentes defeituosos. O defeito só foi detetado na etapa W2, este problema não teve consequências consideráveis. No entanto, detetado anteriormente e sendo tomadas as devidas ações corretivas, o problema seria resolvido mais rapidamente.

A inspeção na etapa W6 é na sua maioria automática ao contrário da etapa W2 que é inteiramente realizada por operadores. O ajuste é realizado pelos operadores nas duas etapas. Nestas etapas existe uma folha de verificação que regista a produção realizada e os defeitos detetados. No caso do W2, uma versão simplificada da folha de verificação utilizada é apresentada na figura 20.

Etapa de trabalho:					
	Semana:				
Tipo de defeitos	Dia:				
	Operador 1	Operador 2	Operador 3	Operador 4	Operador 5
“Tolerância dentro e fora”					
“Lentes desfocadas”					
“Limpar entre prisma e lente”					
Outros defeitos					
Quantidade aprovado					
Quantidade rejeitado					
Percentagem de refugo					

Figura 20 - Folha de verificação utilizada no controlo do processo de E-Messeres.

Esta folha de verificação apresenta a etapa a que se refere, a semana, o dia de registo, divide o registo por operador, especifica os defeitos possíveis, agrega os dados por operador e apresenta o resultado final de produção em quantidades. A lista de defeitos é uma simplificação da versão real que é muito mais extensa. Como aspetos positivos deste registo podem-se referir:

- a referência da data, de acordo com o padrão da empresa, especifica a (semana), que permite, mais facilmente, relacionar dados com outras secções;
- diferenciação entre operadores, revelando possíveis diferenças no método de trabalho e também entre aparelhos de ajuste visto cada um trabalhar habitualmente apenas com um;
- descrição dos defeitos de fácil compreensão para o operador, evitando registos errados;
- o registo diário é organizado por semana, e permite uma análise semanal de rejeição e de produção realizada.

Como aspetos negativos podem-se referir:

- Embora os defeitos sejam compreendidos facilmente, existem alguns que podem ser de compreensão difícil e causar confusão. Inclui-se neste caso o defeito “fora de medida” e os defeitos “prismas curtos” e “prisma curto (abertura)” para o qual são dados nomes diferentes para o mesmo defeito;
- Existe o registo da operação “lente desfocada”, sendo na realidade um retrabalho e faz parte do processo;
- Embora exista registo da quantidade de defeitos, os defeitos não estão associados a custos, podendo levar por vezes a uma avaliação errada dos problemas. Este assunto é muito importante porque todos os defeitos implicam um retrabalho diferente e a quantidade de componentes rejeitados também é diferente.

As ações de melhoria relativamente a estes aspetos negativos serão apresentadas na análise dos defeitos detetados.

Na etapa W6, a folha de verificação é igual à da etapa W2, apenas mudando o tipo de defeitos. Os aspetos positivos deste registo são os mesmos da folha anterior.

Como aspetos negativos podem-se referir:

- Esta folha também possui alguns tipos de defeito mal definidos e que podem causar confusão. É o caso do defeito “E-messer não ajusta” e “E-messer com defeito” que podem ser usados para descrever o mesmo defeito;
- Como a etapa é ajustar o componente, os defeitos como “E-Messer não ajusta” ou “E-Messer com defeito” fornecem pouca informação e mesmo o defeito “distância mal” também fornece pouca informação;
- Existe o registo do retrabalho associado a “máquina de ajuste difícil” que não é realmente um defeito;
- Nesta folha os defeitos também não estão associados a custos, podendo levar por vezes a uma avaliação errada das consequências dos problemas.

As ações de melhoria recomendadas relativamente a estes aspetos negativos serão apresentadas na análise dos defeitos, antes de começar a análise da inspeção final do produto.

3.2.3 Análise dos defeitos detetados

A análise de Pareto dos dados compreendidos entre outubro de 2016 e abril de 2017 da etapa W2 é apresentada na figura 21.

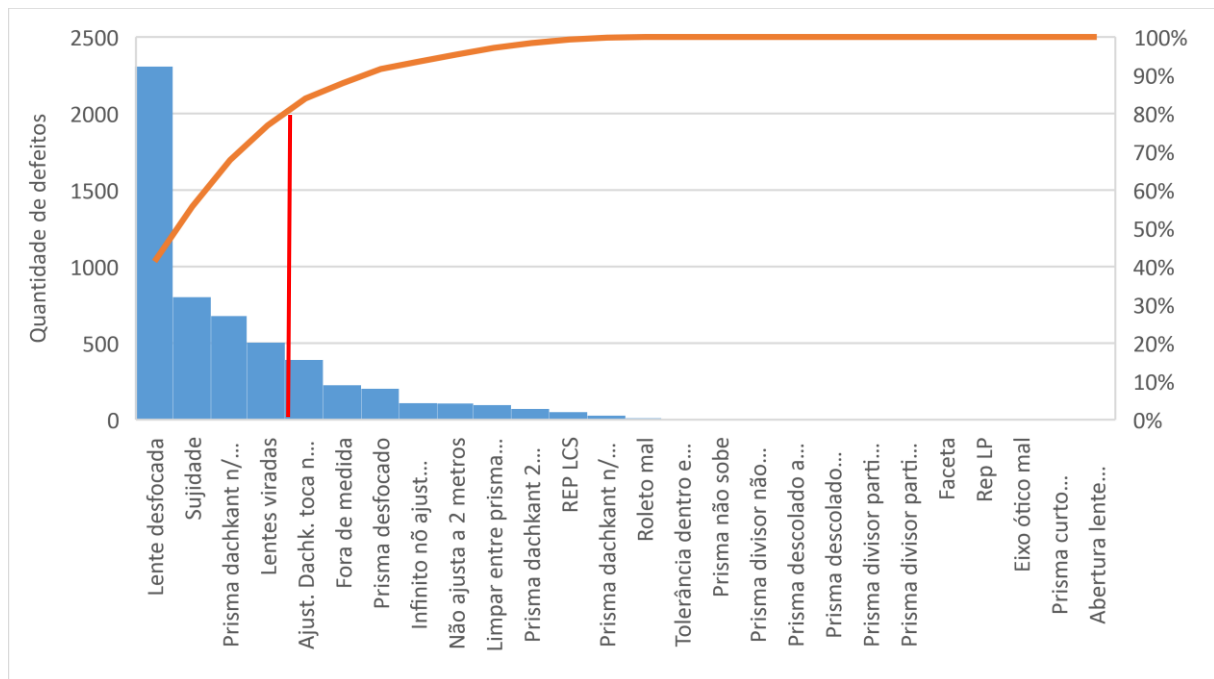


Figura 21- Gráfico de Pareto da etapa W2.

Os defeitos que representam 80% dos defeitos encontrados são: “lente desfocada”, “sujidade”, “prisma dachkant não desce” e “lentes viradas”. É importante referir que o defeito mais relevante, “lente desfocada”, na verdade não é um defeito. Trata-se de uma operação pertencente ao ajuste da lente no fluxograma da figura 17. Implica retirar a lente e colocar uma anilha que permita reposicioná-la. Esta operação está prevista pelo projeto, que desenhou o sistema de modo a ser possível atingir a focagem pretendida através da aplicação de anilhas. O ideal seria que o conjunto dentro de tolerância não necessitasse de anilhas, no entanto, isso implicaria reduzir

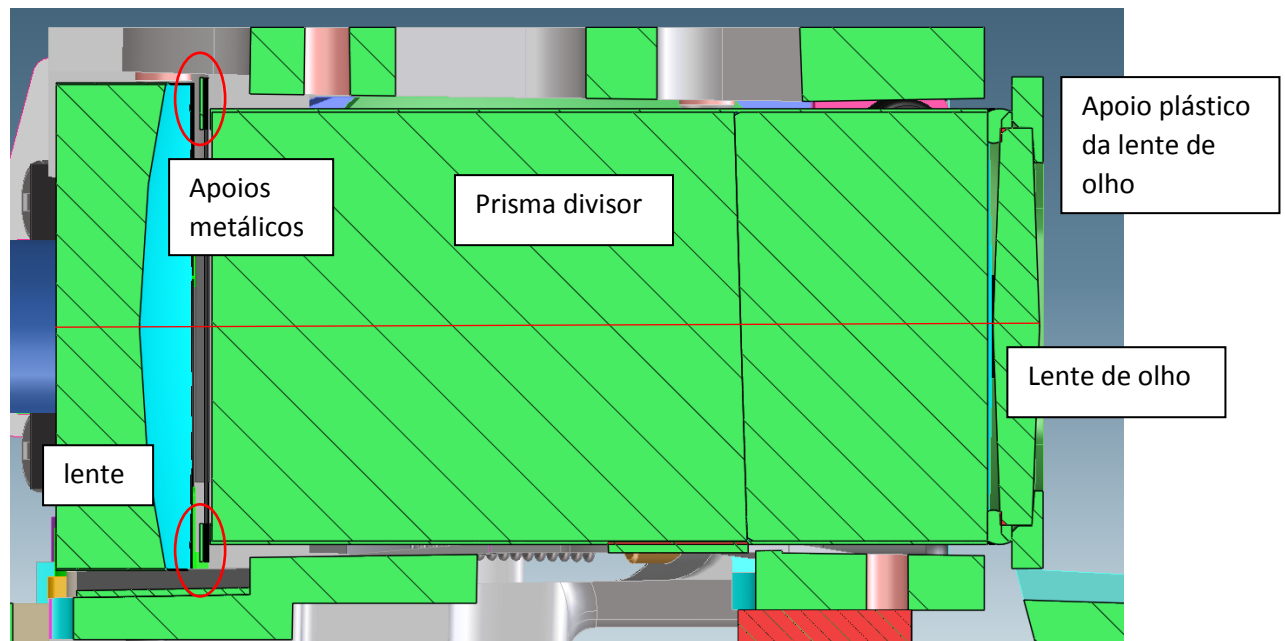


Figura 22 - Visão em corte do feixe de luz direto do “Messucher”.

drasticamente as tolerâncias dos apoios metálicos e dos componentes óticos. Esta redução implicaria uma rejeição demasiado elevada de componentes óticos e mecânicos, o que implicaria custos elevados. Assim, a colocação de uma anilha é a opção mais adequada para obter a focagem pretendida, existe, no entanto, o interesse em reduzir a necessidade desta operação. O conjunto é apresentado na figura 22, com o feixe de luz direto representado por uma linha vermelha e os locais de colocação da anilha de ajuste em círculos vermelhos.

De forma a caracterizar os fatores que influenciam este trabalho, foram selecionados cinco conjuntos, aleatoriamente, e analisados.

Os componentes foram agrupados segundo um número, por exemplo, todos os componentes “1” foram montados em conjunto e o resultado é apresentado na tabela 5.

Tabela 5 - Resultado da medição dos componentes antes do ajuste da lente.

Componente	Medição conjunto 1 (mm)	Medição conjunto 2 (mm)	Medição conjunto 3 (mm)	Medição conjunto 4 (mm)	Medição conjunto 5 (mm)
Espessura da Lente	1,35	1,36	1,35	1,34	1,34
Altura Prisma divisor	22,42	22,43	22,43	22,42	22,35
Espessura da Lente de olho	1,364	1,311	1,364	1,400	1,334
Altura do Apoio plástico com lente de olho	1,508	1,496	1,512	1,510	1,498
Altura Apoios metálicos	1°				
Altura Apoios plásticos	1°				
Desvio total relativamente à nominal	-0,008	-0,053	0,006	0,02	-0,108
Ajuste	Sem anilha	Sem anilha	Sem anilha	Sem anilha	Sem anilha (no limite de tolerância)

Todas as medições estão dentro da tolerância. Estes resultados comprovam que as peças dentro da tolerância podem variar para desvios totais que necessitem de anilha. O conjunto 5 encontra-se no limite de ajuste e ainda podia reduzir mais de 5 centésimas dentro da tolerância, sem considerar a variação dos apoios. Esse desvio significaria que um conjunto dentro de especificação necessitaria da anilha de ajuste. Para além desta análise também foram medidos os raios da lente e da lente de olho que se encontram conformes e assim sem influência na colocação de anilha. Com esta informação é possível concluir que a análise do problema está de acordo com o resultado prático.

No entanto, não está totalmente descartada a possibilidade de atuarem causas especiais de variação neste processo. Dessa forma, seria necessário realizar um controlo contínuo destas características para garantir a deteção e eliminação de

causas especiais de variação. Uma melhoria simples para esse efeito seria incluir na folha de verificação um registo das lentes que necessitam de uma anilha maior que o designado na instrução de trabalho. Desta forma passaria a existir um registo de causas de variação especial que o projeto não previu e que justificariam uma investigação e ações corretivas.

O gráfico de Pareto corrigido, apenas com defeitos, é apresentado na figura 23.

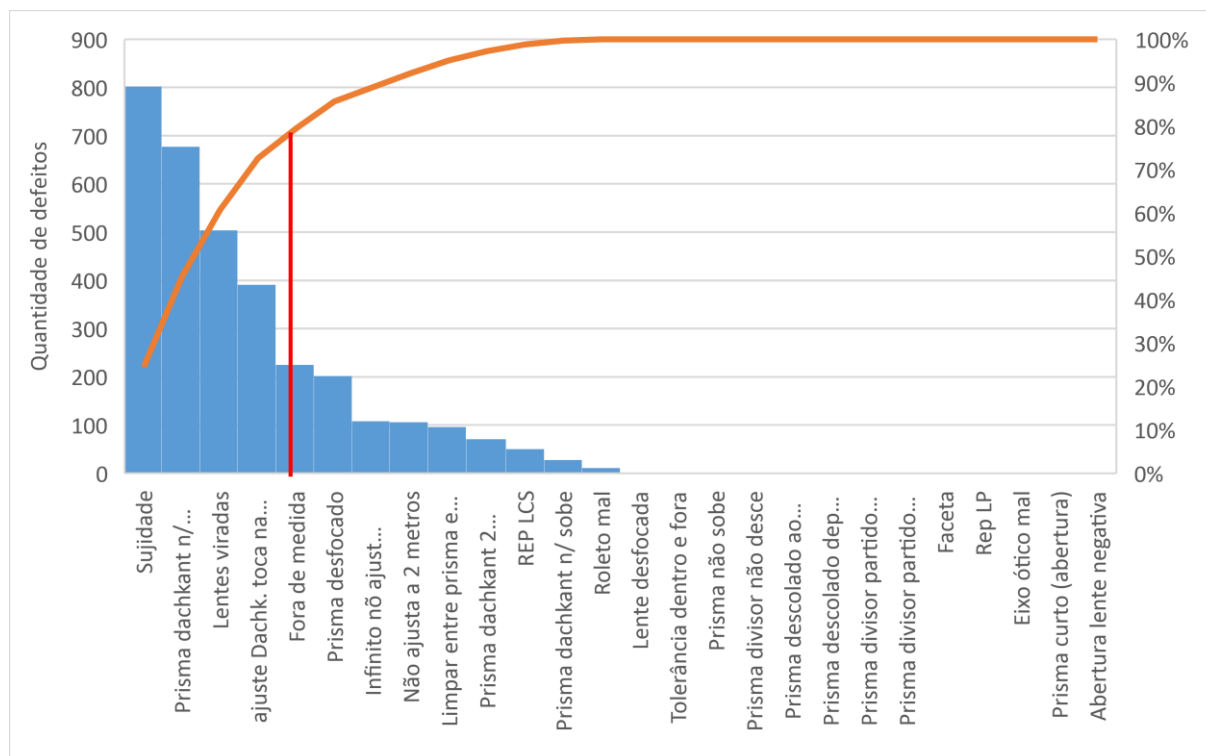


Figura 23 - Gráfico de Pareto da etapa W2 corrigido.

Relativamente à “sujidade”, as causas poderão ser imensas principalmente devido à dificuldade em particular a lidar com componentes óticos, que adquirem sujidade muito facilmente. Atualmente na empresa existem várias medidas para atenuar a importância deste defeito, nomeadamente:

- cabines com aspiração de partículas;
- os operadores que processam componentes de ótica não podem utilizar creme hidratante nas mãos a não ser que usem luvas;
- todos os trabalhos de montagem são realizados numa sala limpa;
- todos os componentes são limpos antes da montagem.

Uma melhoria possível seria alterar o atual nível de sala limpa para um nível mais exigente. Outra melhoria seria a utilização de luvas em operações críticas, como a colocação de componentes óticos na casa do prisma.

O defeito “lentes viradas” foi também estudado para perceber a causa raiz. Este defeito surge na operação de ajuste da lente, quando é possível realizar o ajuste na horizontal, mas não o ajuste na vertical (altura). Nestes casos de retirar a lente e voltar a colocá-la na posição invertida, verifica-se que o ajuste na horizontal se mantém e passa a ser possível realizar o ajuste na vertical. A análise do problema da lente permitiu concluir que existe um desvio do ponto de focagem. Para além disso, concluiu-se também que existem duas causas possíveis para este defeito: o raio da lente estar fora de especificação ou o raio da lente estar descentrado (ver figura 24).

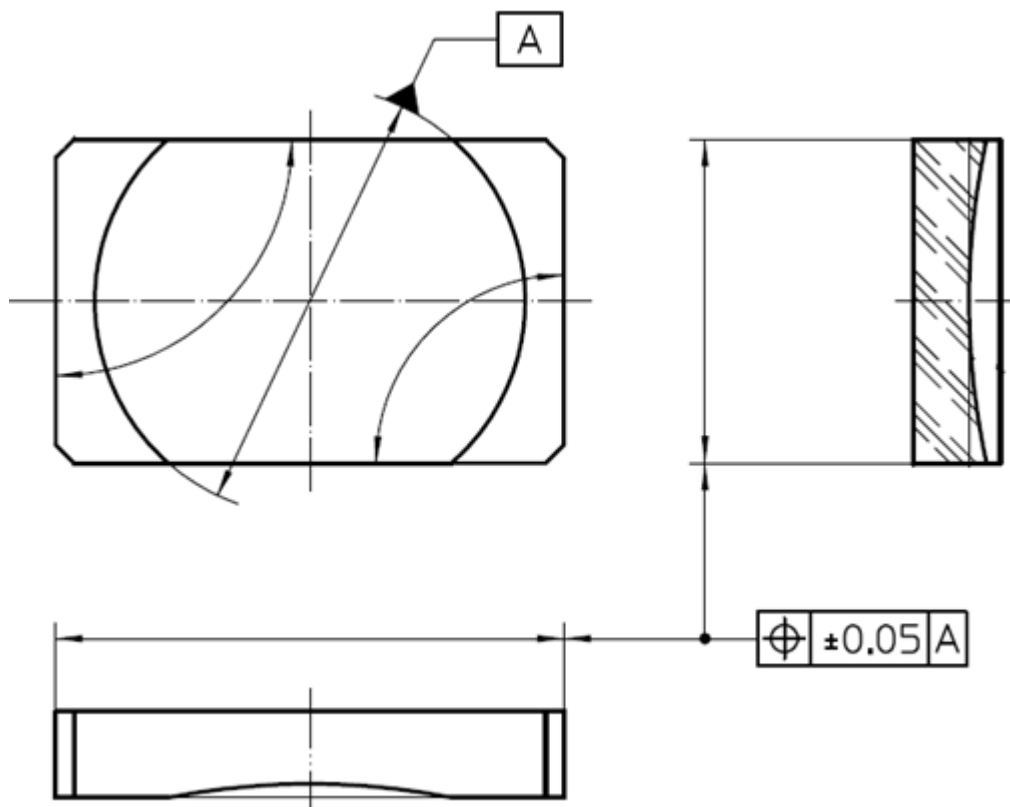


Figura 24 - Desenho técnico da lente.

Assim, foram analisadas cinco lentes, três com o problema na montagem e duas não. A primeira análise foi realizada com a assistência da secção da ótica e foram medidos os raios através do uso de um interferómetro. As lentes encontravam-se dentro da especificação. De seguida, procedeu-se à análise da posição do centro do raio para verificar se estava centrado ou não. Esta medição foi realizada através de um microscópio e os resultados obtidos são descritos na tabela 6.

Tabela 6 - Medições do desvio do centro da lente.

Lente	1	2	3	4	5
Desvio Horizontal	0	0,03	0,04	0,02	0,02
Desvio Vertical	0,3	0,34	0,34	0,05	0,03

Tendo em consideração a tolerância de 0,05 mm, os resultados revelam que as lentes 1, 2 e 3 estão fora da especificação e demonstram o defeito de montagem, enquanto as lentes 4 e 5 estão conformes. Assim é possível fazer uma correlação direta entre o defeito e a posição do centro do raio. Perante este defeito, foi feita uma reclamação, ao fornecedor com aceitação condicional. Desta forma é exigido ao fornecedor enviar lentes de acordo com o especificado, que foram as condições definidas. Entretanto, a produção foi mantida com a operação de inverter a lente sempre que não era possível obter ajuste na vertical.

Para além disso, estabeleceu-se que a inspeção da qualidade à entrada ficaria responsável por distinguir entre peças conformes e não conformes. Para isso foi desenvolvido um método expedito de seleccionar as lentes não conformes. Analisar todas as lentes num microscópio é um processo lento e existe um risco elevado de as danificar. Foi dessa forma criado um adaptador para um aparelho já existente, constituído por um colimador e visor com escala. Este adaptador é muito simples, mas funcional (figura 25).

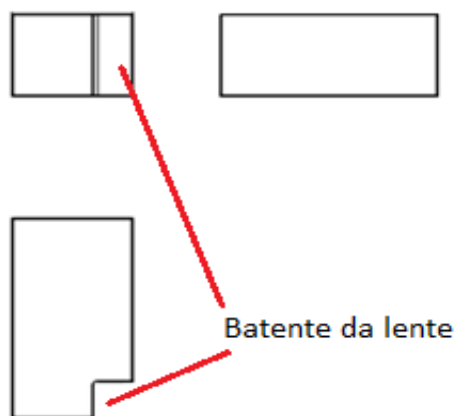


Figura 25 - Desenho técnico de adaptador para inspeção do centro da lente.

O aparelho em questão já exercia a mesma função, mas para a lente da câmara M analógica. Evidencia-se que, se o plano de controlo tivesse o consenso de todos os setores, esta análise seria realizada e os custos associados evitados. Este controlo teria sido implementado desde início, evitando-se o retrabalho. De forma a avaliar a confiança nos resultados obtidos com este adaptador, foram comparados desvios na vertical medidos neste aparelho com os resultados obtidos na medição num microscópio. Foi possível acertar o critério de separação dos componentes conforme das não conforme. Com esta informação a inspeção da qualidade à entrada consegue separar de forma expedita e eficaz as peças conformes de não conformes. Depois de separadas as peças são revestidas e entregues à montagem. Esta separação permite analisar as peças apenas uma vez e as peças não conformes antes de serem montadas são marcadas no sentido que não apresentam defeito, que é mais eficiente que realizar a ação durante a montagem. Sem esta ação teria de existir uma análise pela inspeção de qualidade à entrada e outra redundante na montagem do componente.

O retrabalho na montagem (analisar a direção do desvio da lente e, se necessário, inverter) implica um tempo de 2,7 minutos por lente. Considerando o ordenado médio nacional em 2016 (13,7 euros por hora), o custo de cada lente virada é cerca de 62 cêntimos. O custo deste defeito, desde outubro de 2016 até abril de 2017 foi de cerca de 1500 euros, o que significa que a poupança mensal com esta ação será de cerca de 214 euros, correspondendo a cerca de 4% no tempo de processamento [17].

O defeito “prisma dachkant não desce” não foi estudado, está em estudo pela secção da ótica e não será abordado neste trabalho.

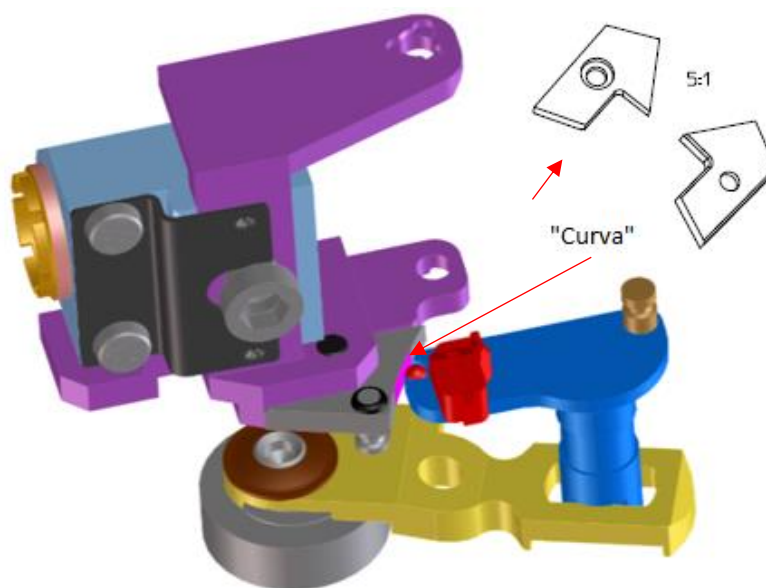


Figura 26 - Ilustração do mecanismo mecânico, com realce para a “curva”.

Para além dos defeitos analisados existem outros que não são registados na folha de verificação. Isto verifica-se provavelmente devido a uma revisão ineficiente da folha de verificação. Um destes defeitos é da “rugosidade no movimento da curva”. Este problema também foi analisado em detalhe no componente, apresentado na figura 26. Quando montado, o mecanismo mecânico força a alavanca da objetiva que direciona o feixe de luz de acordo com a distância ao ponto de focagem. Este movimento, tal como qualquer outro na máquina, tem de transmitir uma sensação de qualidade, ou seja, deve ser um movimento suave, sem ser demasiado “leve”, nem demasiado “preso”. Verificou-se durante a montagem que o movimento do conjunto, que fornece a informação sobre o ponto de focagem da imagem, por vezes não cumpria este requisito. Como não existiam dados relevantes sobre o problema, realizou-se a recolha de dados durante uma semana e pode-se verificar que 30% da produção estava não conforme, necessitando de retrabalho.

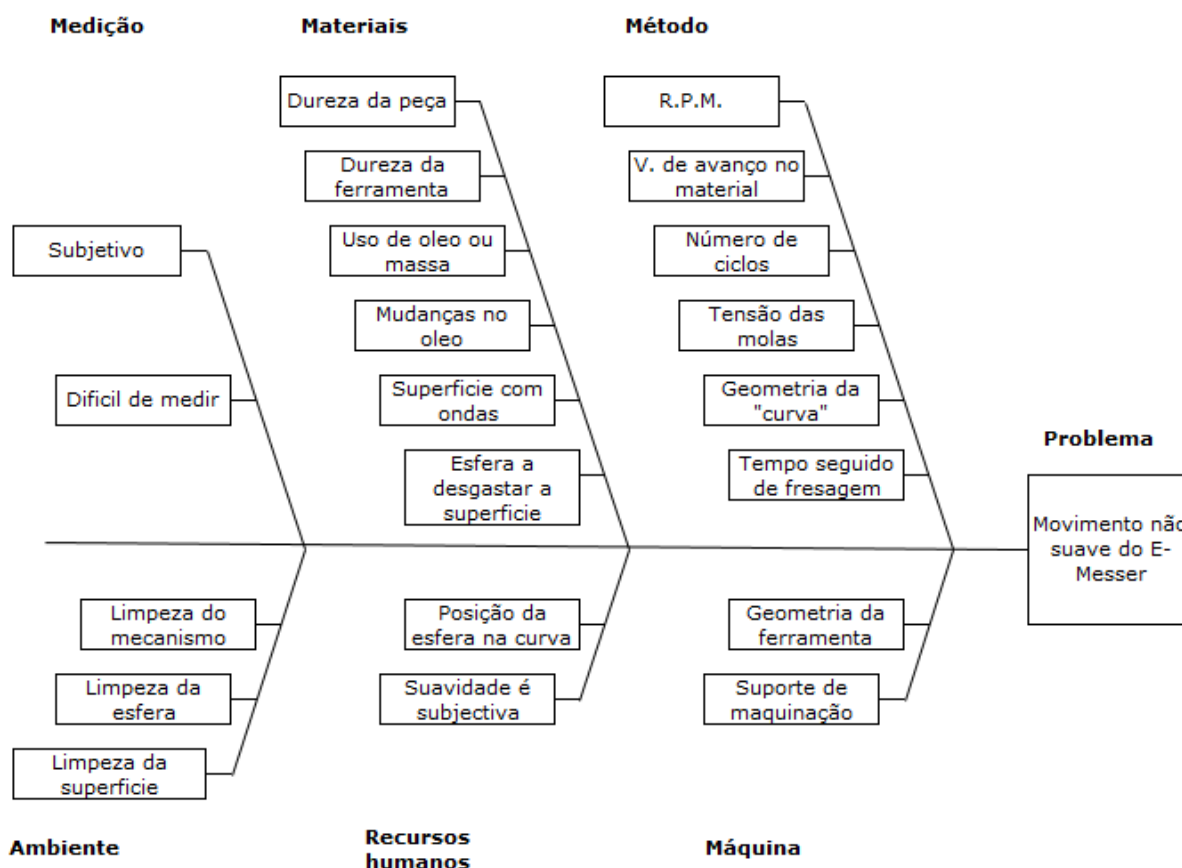


Figura 27 - Diagrama causa e efeito do problema “movimento não suave do E-Messer”.

Este problema pode ter várias causas. O diagrama causa e efeito foi construído com informação obtida em sessões de brainstorming. Este diagrama é apresentado na figura 27.

De forma a testar as causas mais influentes no “movimento não suave do E-Messer” foi realizado um teste inicial. Este teste foi realizado com as seguintes condições:

- Em três E-Messeres testar vinte “curvas” classificando-as de não aceitável (C), aceitável (B) e bom (A) por um operador. As curvas analisadas possuem condições de fresagem diferentes, nomeadamente velocidades de ataque no material diferente, e estão divididas em 4 grupos processadas com velocidades de 1 a 10 e cada um com 5 amostras.

O teste condiziu aos resultados apresentados na tabela 7.

Tabela 7 - Resultado da “suavidade do movimento do E-Messer” para diferentes velocidades de ataque da fresagem.

“Curva”	2	2,5	3	4	E-Messer
A		40 %			1
B	10 %	60 %	20 %	50 %	
C	90 %		80 %	50 %	
A		40 %			2
B	20 %	60 %	10 %	50 %	
C	80 %		90 %	50 %	
A		40 %			3
B	20 %	60 %	20 %	50 %	
C	80 %		80 %	50 %	

Esta análise forneceu resultados muito semelhantes para os três E-Messeres. Nesta análise foi possível manter constantes as influências das variáveis:

- Dureza da ferramenta;
- Mudanças na massa ou óleo;
- Geometria da fresa;
- Geometria da curva;
- Suporte de maquinação;
- Tensão das molas;
- Velocidade em r.p.m;
- Subjetividade da medição;
- Dificuldade na medição;
- Limpeza do mecanismo, superfície e esfera;
- Esfera a desgastar a superfície;
- Número de ciclos;
- Posição da esfera na curva;
- Geometria da curva.

Os resultados da tabela 7 sugerem que a velocidade de ataque da fresa é um fator importante. No entanto ainda é possível ter a influência da dureza do material e do tempo de utilização da fresa.

Assim seguiu-se para a análise da dureza da “curva” em amostras aleatórias de cada grupo representado na tabela 7. O teste de dureza Vickers foi realizado com uma carga de 200g. Este teste seguiu a norma EN 6507. A fórmula de cálculo de

dureza está expressa na equação 5, sendo F a carga aplicada em Kgf e d a média das diagonais medidas em milímetros.

$$HV = 0,1891 \frac{F}{d^2} \quad \text{Eq. 5}$$

As condições de distância mínima ao bordo, de distância mínima entre indentações, e de espessura mínima, foram cumpridas segundo a norma e os resultados estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Resultado de dureza de amostras aleatórias.

“Curva”	1	2	3	4	5
Dureza Vickers	760 HV 0,2	755 HV 0,2	747 HV 0,2	741 HV 0,2	730 HV 0,2

Estas amostras estão dentro da tolerância (670+100 HV) e variam muito pouco entre si, logo podendo concluir que a influência da dureza não foi relevante no resultado.

Decidiu-se desta forma realizar outro teste para validar a influência do fator velocidade de ataque e testar a influência do fator tempo de utilização da fresa. Neste teste apenas um operador classificou as “curvas”, a notação das amostras foi alterada de forma a evitar condicionar o resultado deste teste pelos resultados anteriores. Esta alteração deve-se ao resultado da tabela 7 que, para a velocidade 3, apresenta resultados muito pobres. O que não seria de esperar visto estar entre 4 e 2,5, as velocidades com melhores resultados. Também foi adicionada a velocidade 5,5. Os resultados da análise de 20 amostras de cada condição estão representados na tabela 9.

Tabela 9 - Resultado da “suavidade do movimento do E-Messer” para diferentes velocidades de ataque no material.

“Curva”	2	2,5	3	4	5,5
A	63 %	100 %	78 %	63 %	
B	37 %		22 %	37 %	
C					100 %

A velocidade 4 é a utilizada anteriormente e permite comparar com outras condições. A velocidade 2,5 apresenta melhores resultados tanto relativamente à velocidade em utilização como às restantes testadas. Velocidades superiores, como a velocidade 5,5, pioram os resultados. Velocidades inferiores, como a velocidade 2, apresentam melhorias, no entanto inferiores à velocidade 2,5, e também aumentam

o tempo de processamento, o que é indesejado. A velocidade 3 apresenta melhorias, no entanto inferiores à velocidade 2,5. Para além disso, o fator tempo de utilização da fresa não teve influência visto as amostras de cada grupo serem fresadas consecutivamente e não revelarem diferença assinalável entre si. A análise visual da superfície não produziu resultados fiáveis relativamente à “rugosidade”. Estes resultados permitem concluir que a velocidade 2,5 é eficaz e foi introduzida no processo.

No decorrer destes testes, por razões comerciais e como possível solução para as dificuldades de fresagem, foi requerido que se testasse uma fresa nova. A fresa nova foi testada com base nos dados anteriores, ou seja, com a velocidade 2, 2,5, 3 e 4. Foram analisadas 5 amostras para cada condição. O resultado é apresentado na tabela 10.

Tabela 10 - Resultado da “suavidade do movimento do E-Messer” para diferentes velocidades de ataque no material com nova fresa.

“Curva”	2	2,5	3	4
A		40 %		
B	20 %	60 %	20 %	50 %
C	80 %		80 %	50 %

O resultado com a nova fresa são que a velocidade 2,5 revela novamente os resultados melhores. Existindo interesse por parte da empresa em implementar a nova fresa, as condições testadas devem proporcionar uma solução eficaz, embora inferior à utilizada atualmente.

De referir que, depois de implementar a condição de velocidade decidida anteriormente, voltaram a existir “curvas” com “rugosidade” indesejável e decidiu-se investigar. Como o processo estava estável, considerou-se a ocorrência de uma causa especial de variação. Com base na análise causa e efeito realizada anteriormente, foram considerados os seguintes fatores:

- Dureza da “curva”;
- Dureza da fresa.

Em amostras em que “rugosidade” não era satisfatória, foi analisada a dureza. Os resultados são apresentados na tabela 11.

Tabela 11 - Resultado de dureza em amostras sem a suavidade necessária.

“Curva”	1	2	3	4	5
Dureza Vickers	444 HV 0,2	441 HV 0,2	426 HV 0,2	319 HV 0,2	399 HV 0,2

Perante estes resultados determinou-se a causa especial de variação, a dureza da “curva” que está muito abaixo do especificado (670 HV +100). Assim foi realizada uma reclamação ao fornecedor, com aceitação condicional. Para além disso, a ação de melhoria implementada foi incluir uma análise por amostragem da dureza da “curva” na inspeção da qualidade à entrada.

Outro defeito também relevante, mas que não é assinalado nas folhas de verificação porque pode ocorrer em toda a montagem da câmara, é o dano do apoio plástico da lente de olho (“eye piece”) ou mesmo da própria lente. A ação de melhoria na folha de registo seria incluir no registo da etapa W2. Porque, mesmo que não seja danificado nessa etapa, a reparação é executada por operadores dessa etapa. Este é um defeito relevante porque a lente de olho é colada ao prisma divisor no início do processo e, assim, a sua reparação implica desmontar praticamente todo o componente, danificando o prisma divisor. O custo deste defeito é cerca de 38,5 euros, considerando que se danifica o prisma divisor e a perda dos ajustes óticos realizados. Este defeito tem duas causas: ocorre quando a cola não adere corretamente e descola no manuseamento da peça, e durante o manuseamento se danificam os componentes. Relativamente à causa colagem ineficiente, já existe uma solução técnica a ser implementada. Relativamente ao manuseamento desadequado do componente, alertaram-se todos os operadores para o manuseamento adequado. No entanto, devido à sensibilidade do componente, é esperado que continue a existir alguns componentes defeituosos ao longo da produção. Para eliminar este defeito, foi proposto criar uma ferramenta que permitisse reparar o componente sem desmontar todo o componente e sem danificar o prisma. Para além desses requisitos também tem de permitir ajustar a lente de olho e colocar cola na posição de ajuste. Dessa forma foi criada a ferramenta da figura 28.

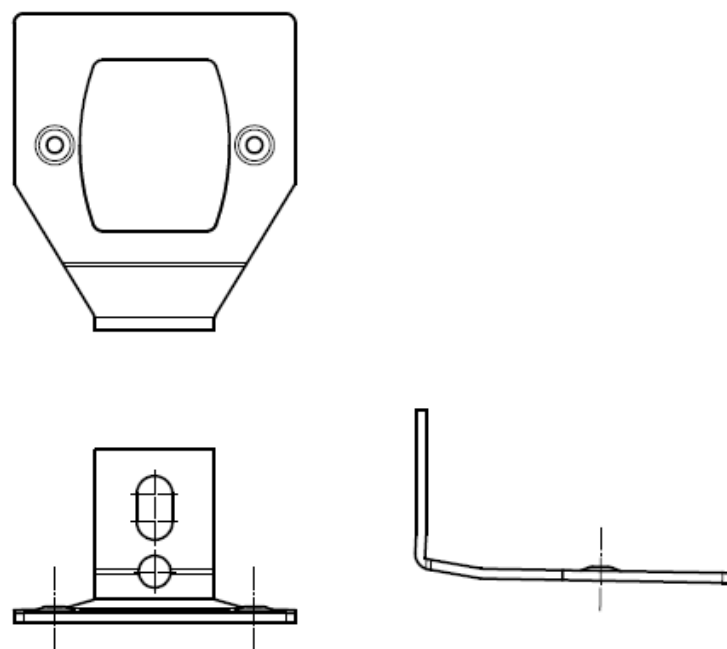


Figura 28 - Ferramenta de reparação da lente de olho.

Com esta ferramenta é possível reduzir o custo de reparação de 38,5 para 14 euros, uma poupança de 24,5 euros por componente. A quantidade registada deste defeito é de cerca de 10 por mês, ou seja, equivalente a um custo de 385 euros por mês. A poupança prevista seria de 245 euros mensais. Esta melhoria permite aumentar a rentabilidade das reparações, afetando menos a cadência do processo.

Para completar esta análise, fez-se uma análise de Pareto tendo em conta os custos dos defeitos para comparar com a análise anterior de quantidade apresentada na figura 21 (ver figura 29).

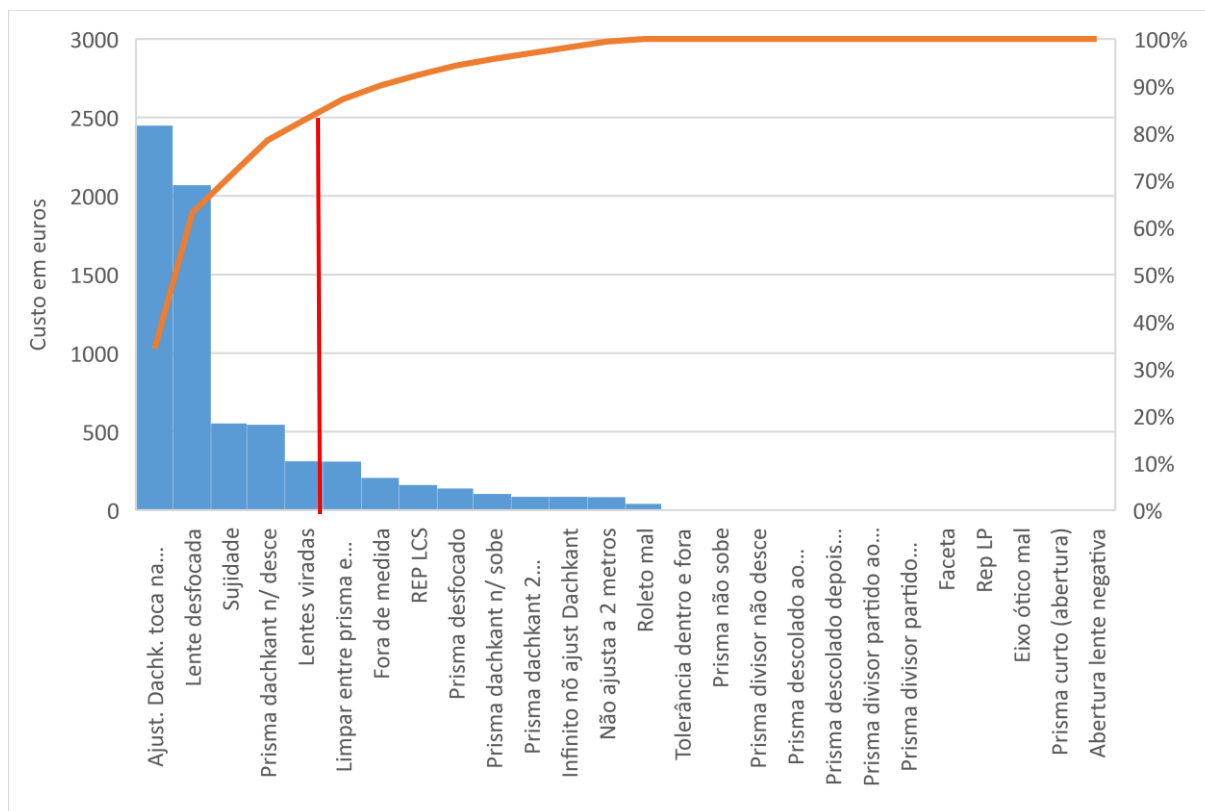


Figura 29 - Gráfico de Pareto da etapa W2 considerando os custos dos defeitos.

Esta análise de Pareto apresenta as mesmas causas principais de 80% dos defeitos, no entanto, a causa “ajuste do dachkant toca na objetiva” passa a ser a causa principal de custo. As restantes causas mais importantes mantêm a ordem de importância. No entanto, esta análise revela que uma causa de defeitos muito relevante, possivelmente com maior importância que as restantes. De referir que este defeito tem um custo de cerca de 350 euros por mês para o período analisado. Desta forma pode-se concluir que a análise dos defeitos com base na quantidade é incompleta sem uma análise complementar de custos.

Assim, é proposto neste trabalho que se mantenha o registo de ocorrências de interesse como o retrabalho associado a “lentes desfocadas”, mas como melhoria incluir, para além da análise de quantidade, uma análise de custo, incluir também todos os defeitos, sem exceção, na folha de verificação e acabar com defeitos que podem provocar confusão.

Relativamente à etapa de trabalho W6, também foi realizada uma análise dos defeitos detetados. Esta análise encontra-se na figura 30.

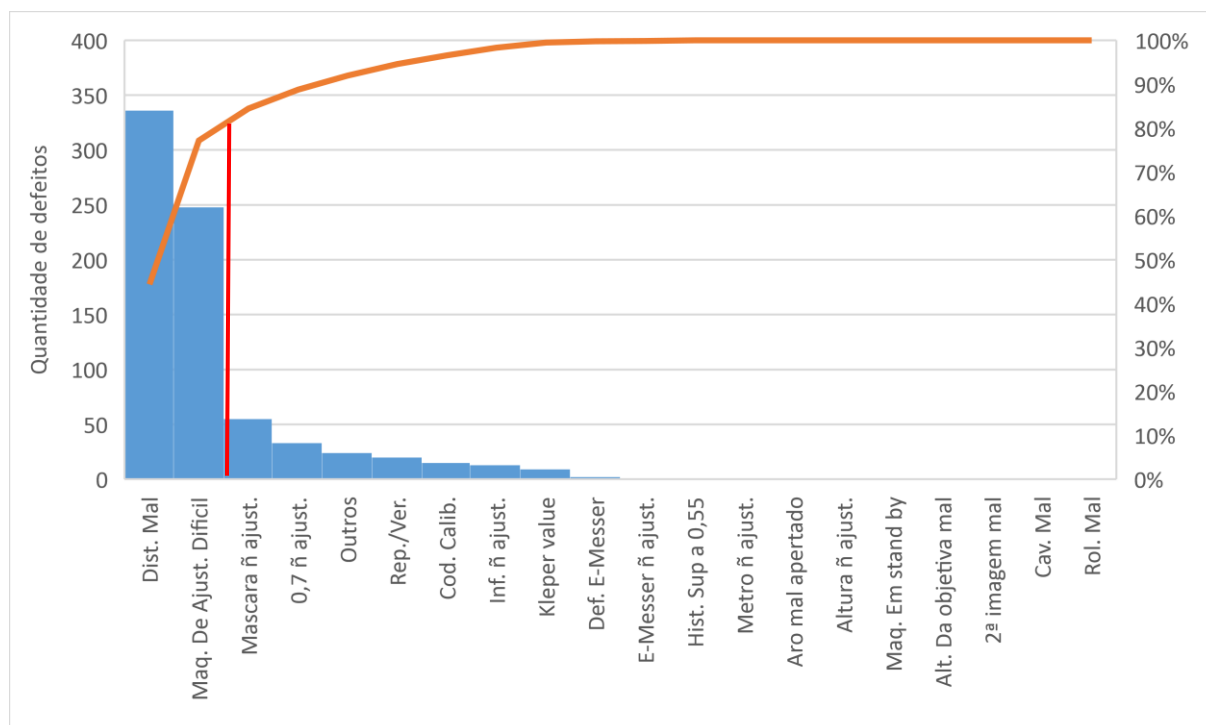


Figura 30 - Gráfico de Pareto da etapa W6.

A folha revela que 80% dos defeitos são causados pelo defeito “distâncias mal” e “máquina de ajuste difícil”. Este último não é realmente um defeito, mas sim um tempo de processamento mais elevado que o normalizado. Sem este fator, as causas responsáveis por 80% dos defeitos são: “distâncias mal” e “máscara não ajusta”, como demonstra a figura 31. Relativamente ao defeito “máscara não ajusta”, o componente foi analisado, tendo-se detetado que algumas chapas das molduras

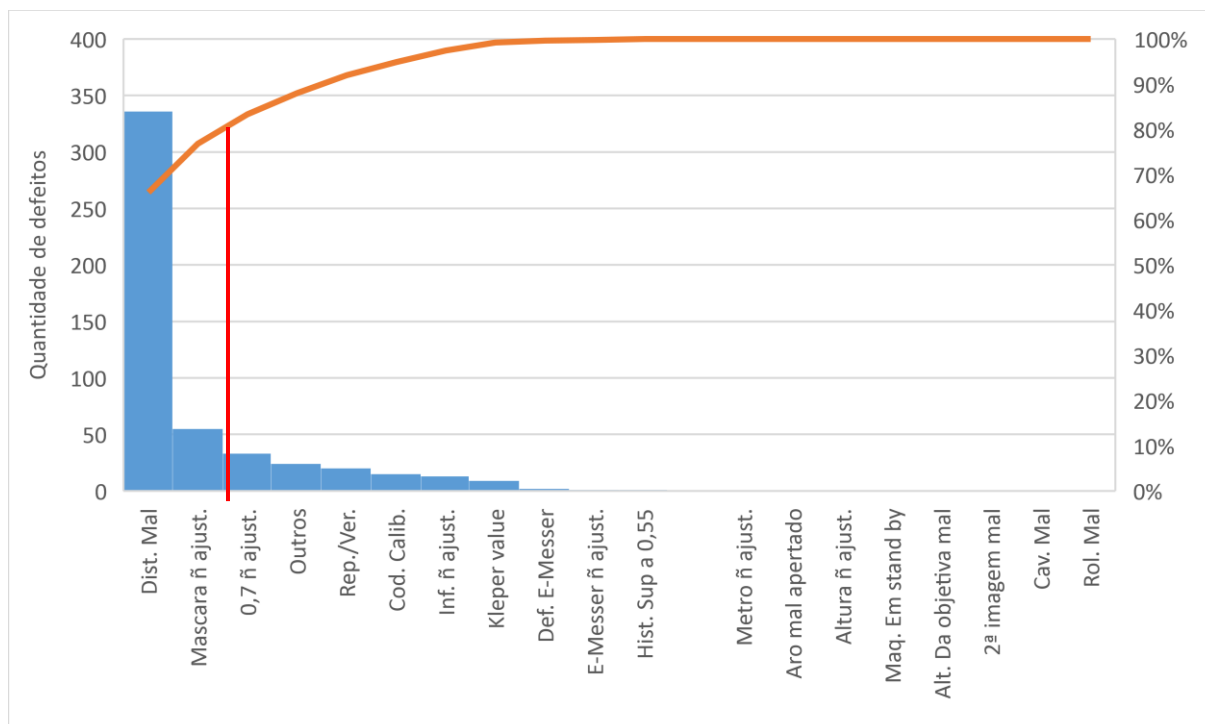


Figura 31 - Gráfico de Pareto da etapa W6 corrigido.

apresentam revestimento demasiado espesso, colocando o componente fora de especificação. Este problema pode estar diretamente relacionado com o defeito encontrado na montagem. Assim, foi reclamado ao fornecedor que prontamente corrigiu. Esta poderia não ser a principal causa e foi necessário continuar a análise.

Muitos dos componentes que constituem o “E-Messer” influenciam o resultado das medições, principalmente o mecanismo mecânico. Com estas considerações, o defeito “distâncias mal” foi analisado. Inicialmente procurou-se, através da experiência dos operadores e com a análise dos componentes não conformes, determinar aqueles que mais influenciam este defeito. No entanto, mesmo com uma análise exaustiva, não foi possível isolar uma causa principal para este defeito, que é muito complexo, existindo várias situações que são resolvidas apenas com ajustar novamente o componente.

Como melhoria, implementou-se uma folha de acompanhamento dos “E-Messeres” defeituosos, para registrar as características do defeito e as reparações executadas. Esta folha é apresentada nas figuras 32 e 33.

Folha de Acompanhamento E-Messer					
Nº da Carcaça:		Versão:		W6: #	
Data de verificação: ____/____/____					
E-Messer	OK		NOK		
Distâncias mal		Altura. Dist 2, Dist 3 ã ajust.		Outros e Observações:	
INF		0,70m ã ajust.			
10,00m		1,00m ã ajust.			
3,50m		Infinito ã ajust (Excên. Roletto)			
2,00m		Excên. Roletto leve			
1,00m		Histerese > 0,5			
0,70m		L112, Cortes Másc.			
Altura. Dist1 ã ajust.		Máscara ã ajust.			

Figura 32 - Folha de rosto de acompanhamento com indicação das condições do defeito.

Ficha de Acompanhamento E-Messer	
Reparação no W2	
Descrição da REP 1	
	Data: ____/____/____
Descrição da REP 2	
	Data: ____/____/____
Descrição da REP 3	
	Data: ____/____/____
Obs:	

Figura 33 - Verso da folha de acompanhamento com indicação das reparações realizadas.

Com este registo, no futuro, vai-se recolher mais informação associando as características do defeito às reparações eficientes, permitindo eventualmente chegar à causa raiz.

Na folha de verificação da etapa W6 também foi realizada uma análise dos defeitos com base no custo, que é apresentada na figura 34.

Nesta análise, as causas responsáveis por 80% do custo dos defeitos são: “distância mal” e “máquina de ajuste difícil”, as mesmas que na análise das quantidades. No entanto, sem considerar o retrabalho “máquina de ajuste difícil”, o segundo defeito com maior importância passaria a ser “0,7 não ajusta” e não “máscara não ajusta”. Mas, na verdade, o defeito “0,7 não ajusta” pertence ao defeito “distâncias mal”, assim, o defeito “máscara não ajusta” continua a ser o segundo mais importante.

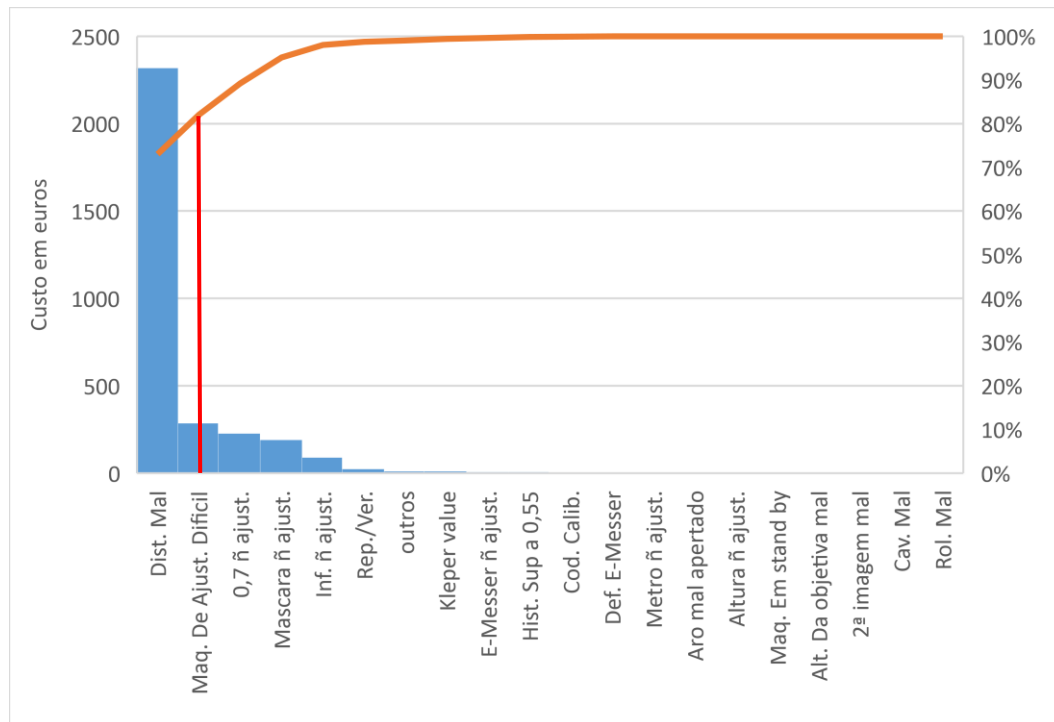


Figura 34 - Gráfico de Pareto da etapa W6 relativamente ao custo dos defeitos.

Neste caso também é relevante a análise de custo para fornecer mais informação sobre os defeitos.

As melhorias recomendadas são adicionar a análise de custo à análise de quantidades dos defeitos, passar a utilizar a folha de acompanhamento sugerida visto permitir perceber melhor cada defeito e acabar com os defeitos confusos.

3.2.4 Inspeção final do produto

A inspeção final do produto incide em toda a câmara (inacabada), antes de ser enviada para a Leica camara Wetzlar. Nesta etapa, o “Messsucher” é apenas verificado em relação a defeitos visuais. Relativamente à inspeção final, a maior dificuldade surge na classificação de defeitos aceites e não aceites. Esta dificuldade é importante porque os operadores possuem uma atitude proactiva e quando detetam um defeito, separam o componente e não adicionam mais valor a

componentes defeituosos. No entanto, a classificação está associada a um elevado grau de subjetividade e pode provocar a aceitação de um defeito no início do processo que no final é rejeitado, perdendo grande parte do valor entretanto acrescentado durante o processo. Nesse sentido, a melhoria sugerida são suportes que simulam a função do componente para o operador em caso de dúvida, permitir analisar se o defeito é aceitável ou não, nas mesmas condições da inspeção final do produto. Por exemplo, utilizar o corpo de uma câmara e um chapéu para se introduzir o “Messsucher” e verificar se um defeito é ou não visível para o cliente. É óbvio que, estes mecanismos teriam de ser de fácil utilização para não sobrecarregar a produção. Em casos mais demorados, será melhor colocar o componente de parte e os inspetores analisarão.

4 Conclusões

A dissertação permitiu ganhar um melhor entendimento do ambiente empresarial e do trabalho da engenharia. Essa experiência foi ainda de maior importância atendendo à posição de liderança no mercado de aparelhos óticos de alta qualidade da Leica camera AG. O objetivo de detectar defeitos no processo de montagem do telémetro e visor e propor melhorias para os defeitos detectados foi atingido. Para esse efeito, o conhecimento interno da empresa, os conhecimentos adquiridos ao longo do curso e os exemplos de trabalhos publicados foram essenciais. Neste trabalho foi dado ênfase ao controlo do processo de montagem, constituído por várias etapas, duas das quais consideradas críticas a etapa W2 e a etapa W6.

As etapas são controladas por uma folha de verificação que foram analisadas através de um gráfico de Pareto. A etapa W2 tem como defeitos principais, “lente desfocada”, “sujeidade”, “prisma dachkant não desce” e “lentes viradas”. O defeito “lente desfocada”, está associado a um tempo de retrabalho que a empresa tem interesse em monitorizar e pode mesmo revelar causas especiais de variação caso o registo seja alterado. A “sujeidade” é um defeito relevante, que necessita que sejam aplicadas mais medidas como aumentar o nível da sala limpa ou utilizar luvas em operações críticas. O defeito “lentes viradas” acontece devido ao raio da lente estar descentrado, tendo sido realizada uma reclamação ao fornecedor com aceitação condicional.

A etapa W6 apresenta dois defeitos mais relevantes: “distâncias mal” e “máscara não ajusta”. O defeito “distâncias mal” necessita de mais estudo e assim foram criadas folhas de verificação que detalham os defeitos e as reparações efetuadas. Durante a análise do defeito “máscara não ajusta” foi detetado um defeito que foi resolvido pelo fornecedor, no entanto a análise ainda não está terminada.

Como trabalho futuro é necessário continuar a análise da folha de acompanhamento para se estudar mais profundamente o defeito “distâncias mal”. É também necessário continuar a acompanhar o defeito “máscara não ajusta” visto não ser claro a importância do defeito de espessura excessiva encontrado. Relativamente às folhas de verificação, é importante complementar com a análise de custos e de quantidades, incluir todos os defeitos potenciais e eliminar defeitos repetidos e confusos conforme foi discutido. Para além disso, o defeito “ajuste do

dachkant toca na objetiva” deve ser estudado. As folhas de verificação sugeridas permitem caracterizar os defeitos que surgem no processo e definir ações para a sua eliminação.

Pode-se concluir que, mesmo as empresas bem organizadas, podem continuar a melhorar o seu desempenho através de ganhos conseguidos com ações de pouco investimento. O envolvimento das pessoas é um aspeto fundamental, mas difícil de se conseguir. Considera-se que este assunto tem potencial de desenvolvimento na empresa.

5 Referências bibliográficas

- [1] L. M. I. GmbH. (2017). *Four independent companies share de Leica brand*
Disponível: <http://www.leica.com/>
- [2] S. Leica - Aparelhos Ópticos de Precisão. (2017, 20/4/2017). *Leica uma cronologia de sucesso*. Disponível: <http://leica.pt/leica-uma-cronologia-de-sucesso>
- [3] D. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, 4 ed. New York: John Wiley & Sons, 2001.
- [4] J. Oakland, *Statistical Process Control*, sixth edition ed. Oxford: Elsevier, 2008.
- [5] T. Pyzdek, *The Six-Sigma Handbook*. New York: McGraw-Hill, 2003.
- [6] K. M. Henderson and J. R. Evans, "Successful implementation of Six Sigma: benchmarking General Electric Company," *Benchmarking: An International Journal*, vol. 7, pp. 260-282, 2000.
- [7] X. Zu, L. D. Fredendall, and T. J. Douglas, "The evolving theory of quality management: The role of Six Sigma," *Journal of Operations Management*, vol. 26, pp. 630-650, 9// 2008.
- [8] R. G. Schroeder, K. Linderman, C. Liedtke, and A. S. Choo, "Six Sigma: Definition and underlying theory," *Journal of Operations Management*, vol. 26, pp. 536-554, 7// 2008.
- [9] Y. H. K. F. Anbarib, "Benefits, obstacles, and future of six sigma approach," *Technovation*, vol. 26, pp. 708-715, 2006.
- [10] T. Sum. (2014, 25/11/2016). *Six Sigma*. Disponível: <http://leansixsigmadefinition.com/glossary/six-sigma/>
- [11] M. Harry, "Six-Sigma: A breakthrough Strategy for Profitability," *Quality Progress*, p. 60, 1998.
- [12] N. Tague, *The quality toolbox*, 2nd ed. Wisconsin: American Society for quality, 2005.
- [13] M. S. F. Nezhad, *Practical Concepts of Quality Control* Tehran: InTech, 2012.
- [14] J. Revelle, *Quality essentials: A reference guide from A to Z*. Wisconsin: American Society for Quality, 2004.

- [15] R. Banuelas Coronado and J. Antony, "Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations," *The TQM Magazine*, vol. 14, pp. 92-99, 2002.
- [16] L. c. AG. (2017, 30/4/2017). *Leica M-System*. Disponível: <https://en.leica-camera.com/Photography/Leica-M/About-the-M-System>
- [17] D. N. Dinheiro. (2017, 1/6/2017). *Portugueses ganham 13,7 euros à hora, menos de metade da média do euro*. Disponível: <http://www.dn.pt/dinheiro/interior/portugueses-ganham-137-euros-a-hora-menos-de-metade-da-media-do-euro-5775498.html>