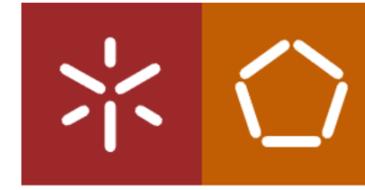


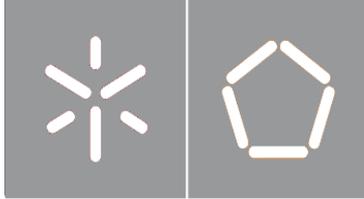


Pedro Miguel do Vale Ruivo

Conceção e Implementação de um Sistema Digital de Controlo Estatístico de Processo numa Indústria Ótica

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Pedro Miguel do Vale Ruivo

**Conceção e Implementação de um Sistema Digital
de Controlo Estatístico de Processo numa Indústria
Ótica**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia e Gestão da Qualidade

Trabalho efetuado sob a orientação da

Professor Doutor Paulo Alexandre da Costa Araújo Sampaio

Outubro de 2022

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

A elaboração desta dissertação marca o culminar de uma grande etapa da minha carreira académica, que não teria sido possível sem a colaboração, estímulo e empenho de diversas pessoas. Deste modo, gostaria de expressar o meu sincero agradecimento e respeito a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho se tornasse uma realidade.

Ao meu orientador, Professor Doutor Paulo Sampaio, por toda a sua orientação, dedicação, disponibilidade e motivação que sempre demonstrou para comigo. Muito obrigado por todos os conselhos e dicas que permitiram melhorar continuamente este projeto.

À empresa Leica, em particular ao Eng.º Bruno Afonso, por me conceder a oportunidade de realizar o estágio curricular, que contribuiu para a solidificação dos conhecimentos previamente adquiridos e para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Ao Eng.º Rui Gomes que orientou o meu estágio na empresa, cuja abertura, dedicação, conhecimentos transmitidos e disponibilidade, foi EXTRAORDINÁRIA. Um especial obrigado pela amizade e apoio durante este projeto.

A todos os colaboradores da empresa, em especial aos colaboradores do Departamento de Mecânica, por toda a paciência, gentileza, suporte, boa disposição e pelo trabalho em equipa assim como a transferência de conhecimento.

À minha família, pela forma que me tem vindo a apoiar e educar.

Aos meus avós Isabel e João Maria, a quem dedico esta dissertação, por me terem proporcionado a realização do meu percurso académico, e que em muito se sacrificaram para que me tornasse naquilo que sou hoje profissionalmente.

À Marta, por ser o meu exemplo tanto a nível pessoal como profissional, e por todo o apoio, amor e carinho ao longo destes anos.

A todos, o meu MUITO OBRIGADO!

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Conceção e Implementação de um Sistema Digital de Controlo Estatístico de Processo numa Indústria Ótica

RESUMO

A implementação de programas e ferramentas da Qualidade deve ser uma constante preocupação para as empresas, de modo a permitir a melhoria contínua dos seus processos, produtos e serviços.

A presente dissertação foi realizada no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão da Qualidade e decorreu na Leica, uma empresa da indústria ótica, que tem como missão “fornecer soluções inovadoras *premium* com Qualidade indiscutível”. Com vista a alcançar este objetivo, a empresa tem vindo a investir em novas formas de garantir a qualidade dos seus produtos através do controlo dos seus processos de fabrico. Para isso, a aposta na implementação da metodologia de Controlo Estatístico de Processo (CEP) desempenha uma importante função, pois permite monitorizar a variabilidade dos processos, aumentar a capacidade dos mesmos e reduzir os custos da não qualidade. Neste sentido, foi desenvolvido o presente projeto com foco na expansão e implementação de um sistema digital de CEP adquirido pela empresa.

Inicialmente, foi realizada uma investigação em torno dos conceitos teóricos sobre o tema de estudo que serviu de ponto de partida para o desenvolvimento da dissertação. Posteriormente, foi feito um diagnóstico da situação atual de forma a perceber as práticas instituídas com a metodologia CEP e identificar assim oportunidades de melhorias. Seguidamente, procedeu-se à aplicação da metodologia num conjunto de referências previamente selecionadas, sendo que apenas foi possível executar em 30,76% destas. Para a obtenção de resultados do projeto piloto, selecionaram-se 3 referências com um total de 11 características. Verificou-se que apenas 2 das características não se encontravam sob controlo estatístico devido a causas especiais detetadas no processo. Através da análise de fatores de variabilidade, constatou-se que a intervenção dos operadores era o principal responsável pela variação. Por fim, foi realizado o estudo de capacidade de processo para as características sob controlo estatístico, concluindo-se assim que, os processos são estáveis e altamente capazes com valores de $C_{pk} > 1,73$.

PALAVRAS-CHAVE

Capacidade do Processo; Controlo Estatístico de Processo; Ferramentas da Qualidade; Sistemas de Controlo da Qualidade e Variabilidade do Processo

Design and Implementation of a Digital System of Statistical Process Control in an Optical Industry

ABSTRACT

The implementation of Quality programs and tools must be a constant concern for companies, in order to allow the continuous improvement of their processes, products and services.

This dissertation was carried out within the scope of the Master in Engineering and Quality Management, and took place at Leica, a company in the optical industry, whose mission is "to provide innovative premium solutions with indisputable Quality". In order to achieve this goal, the company has been investing in new ways to ensure the quality of its products through the control of its manufacturing processes. For this, the bet on the implementation of the Statistical Process Control (SPC) methodology plays an important role, as it allows to monitor the variability of processes, increase their capacity and reduce the costs of non-quality. In this sense, the present project was developed focusing on the expansion and implementation of a digital SPC system acquired by the company.

Initially, an investigation was carried out around the theoretical concepts on the subject of study that served as a starting point for the development of the dissertation. Subsequently, a diagnosis of the current situation was made in order to understand the practices established with the SPC methodology and thus identify opportunities for improvement. Then, the methodology was applied in a set of previously selected references, and it was only possible to perform in 30.76% of them. To obtain results of the pilot project, 3 references were selected with a total of 11 characteristics. It was found that the characteristics had a similar behaviour, since only 2 of them were not under statistical control, due to the special causes detected in the process, being the main factor of instability the intervention of the operators. Finally, the study of process capacity for the characteristics under statistical control was carried out, concluding that the processes are stable and highly capable, with values of $C_{pk} > 1.73$.

KEYWORDS

Quality Control Systems; Quality Tools; Process Capacity; Process Variability and Statistical Process Control

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iv
Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
Índice.....	viii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas	xiv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xv
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodologia de Investigação.....	4
1.4 Estrutura da Dissertação	4
2 Fundamentação Teórica.....	6
2.1 Qualidade	6
2.1.1 Ferramentas da Qualidade.....	8
2.2 Controlo Estatístico de Processos	12
2.2.1 Definição de controlo, estatística e processo	14
2.2.2 Variabilidade nos processos produtivos	15
2.2.2.1 Fontes de variação.....	18
2.2.3 Cartas de controlo	18
2.2.3.1 Etapas para a construção das cartas de controlo	20
2.2.3.2 Tipos de Cartas de Controlo	21
2.2.3.3 Análise e interpretação dos gráficos de controlo.....	27
2.2.4 Capacidade Máquina e Processo	28
2.2.5 Amostragem.....	32
2.2.6 Implementação do CEP	34
2.3 Software Estatístico: Q-DAS	35

2.3.1	Q-DAS: Procella	35
2.3.2	Q-DAS: Q-STAT	36
3	Apresentação da Empresa	39
3.1	Leica Camera.....	39
3.1.1	Missão e Visão	41
3.1.2	Valores	42
3.2	Leica Portugal	43
3.3	Processo Produtivo.....	44
3.3.1	Secção Mecânica.....	45
3.3.1.1	Maquinagem.....	45
3.3.1.2	Tratamento de superfícies.....	48
3.3.2	Secção Ótica	50
3.3.3	Secção Montagem	51
4	Descrição e Análise da Situação Atual	53
4.1	Estado Atual.....	53
5	Definição e Implementação do Sistema Digital de CEP	58
5.1	Procedimentos implementados para CEP	58
5.2	Implementação Sistema Digital de CEP	61
5.3	Estudos de monitorização do Processo	66
5.3.1.1	Hauptfassung - 475-035.016-005	66
5.3.1.2	Mount - 475-075.020-005.....	71
5.3.1.3	Fassung - 475-090.123-005	73
6	Conclusão	77
6.1	Limitações ao Projeto	79
7	Referências Bibliográficas	81
	Anexo 1 – Constantes Limites de Controlo	86
	Anexo 2 – Tabela Cpk para Nível de Sigma	87
	Anexo 3 – Fluxograma Implementação CEP	89
	Anexo 4 – Manual Formação Metodologia e Software.....	90

Anexo 5 – Valores Obtidos Refª 475-035.016-005	93
Anexo 6 – Valores Obtidos Refª 475-075.020-005	95
Anexo 7 – Valores Obtidos Refª 475-090.123-005	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de um Histograma (Obtido através do software Q-Stat).....	9
Figura 2 - Exemplo de um Fluxograma (Obtido através do software Q-Stat)	10
Figura 3 - Exemplo de Diagrama de Dispersão (Obtido através do software Q-Stat).....	11
Figura 4 - Exemplo de Carta de Controlo (Obtido através do software Q-Stat)	12
Figura 5 - Causas de variação (adaptado de ASQ.c, 2022)	15
Figura 6 - Variabilidade e previsibilidade - a) Causas aleatórias; b) Causas assinaláveis (adaptado de Heizer & Render, 2011)	17
Figura 7 - Fatores de variação das distribuições de frequências (adaptado de Nikkel, 2007). ...	17
Figura 8 - Árvore de decisão dos gráficos de controlo de qualidade (adaptado de Salazar, 2019)	22
Figura 9 - Exemplo de uma carta das médias (\bar{X}) (Obtido através do software Q-Stat)	24
Figura 10 - Exemplo de uma carta das amplitudes (R) (Obtido através do software Q-Stat)	25
Figura 11 - Exemplo de uma carta dos desvios-padrões (S) (Obtido através do software Q-Stat)	27
Figura 12 - Oito regras para a deteção de causas especiais (adaptado de QIMacros, 2022)	28
Figura 13 - Variação de Cp vs CpK (adaptado de (InfinityQS, 2022)	29
Figura 14 - Relação entre Cp e Cpk em processos centrados (fonte: CPK Studio, 2022)	30
Figura 15 - Exemplo de layout operador do software Procella.....	36
Figura 16 - Exemplo de layout do software Q-STAT	37
Figura 17 - Exemplo relatório de capacidade do processo.....	38
Figura 18 - Protótipo da primeira câmara Leica UR - 35mm	39
Figura 19 - Alteração logótipo Leica em 1986	40
Figura 20 - Distribuição das unidades de produção da Leica Camera.....	40
Figura 21 - Gamas de produtos Leica (fonte: Leica Portugal)	41
Figura 22 - Missão e Visão (fonte: Leica Portugal).....	41
Figura 23 - Valores da marca Leica (fonte: Leica)	42
Figura 24 - Valores Leica Portugal (fonte: Leica Portugal).....	42
Figura 25 - Distribuição da presença da Leica em Portugal.....	43
Figura 26 - Layout Empresa	44
Figura 27 - Layout Secção Mecânica	45
Figura 28 - Torneamento	46

Figura 29 - Fresagem	47
Figura 30 - Torneamento fino.....	47
Figura 31 - Gravação	48
Figura 32 - Polimento	48
Figura 33 - Anodização	49
Figura 34 – KTL	49
Figura 35 - Pintura.....	50
Figura 36 - Pintura baixo-relevo.....	50
Figura 37 - Ótica (fonte: Leica.pt)	51
Figura 38 - Esquema secção de montagem.....	52
Figura 39 - Exemplo de uma carta de controlo previamente utilizada	53
Figura 40 - Exemplo PCD (fonte: Leica Portugal)	54
Figura 41 - Exemplo de transição de PCD papel para digital	56
Figura 42 - Instrumentos de medição com conexão sem fios existentes	57
Figura 43 - Exemplo de PCD transitado de formato papel para digital	60
Figura 44 - Canais de comunicação comparador estabelecidos por subsecção	61
Figura 45 - Exemplo de uma calota. a) Calota; b) Calota montada na peça	62
Figura 46 - Sistema de medição. a) Lentes b) Calotas	62
Figura 47 - Gráfico crescimento Ref ^a Monitorizadas no Procella	63
Figura 48 - Modelo de relatório da ferramenta de monitorização projeto	64
Figura 49 - Esquema para implementação de CEP na Leica	66
Figura 50 - Ref ^a 475-035.016-005 - Carta <i>X e R</i> (7.839 ± 0.015 mm)	67
Figura 51 - Ref ^a 475-035.016-005 – Carta <i>X e R</i> (5.345 ± 0.01 mm)	68
Figura 52 - Ref ^a 475-035.016-005 – Carta <i>X e R</i> (24.539 ± 0.015 mm)	68
Figura 53 - Ref ^a 475-035.016-005 – Carta <i>X e R</i> (12.479 ± 0.015 mm)	69
Figura 54 - Ref ^a 475-035.016-005 – Carta <i>X e R</i> (15 ± 0.015 mm)	69
Figura 55 - Relatório de Capacidade do Processo Q-STAT	70
Figura 56 - Ref ^a 475-075.020-005 - Carta <i>X e R</i> (7.293 ± 0.015 mm)	71
Figura 57 - Ref ^a 475-075.020-005 - Carta <i>X e R</i> (8.722 ± 0.02 mm)	72
Figura 58 - Ref ^a 475-090.123-005- Carta <i>X e R</i> (4.38 ± 0.02 mm)	73
Figura 59 - Ref ^a 475-090.123-005- Carta <i>X e R</i> (3.54 ± 0.02 mm)	74
Figura 60 - Ref ^a 475-090.123-005- Carta <i>X e R</i> (7.25 ± 0.02 mm)	74

Figura 61 - Ref ^a 475-090.123-005- Carta X e R (3.09 ± 0.02 mm)	75
Figura 62 - Dados individuais Ref ^a 475-090.123-005	75

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de Cartas de Controlo (adaptado de: Woodruff, 2012)	22
Tabela 2 - Oito regras para deteção de causas especiais (adaptado de International Organization for Standardization, 2013)	28
Tabela 3 - Relação entre o índice Cp e a percentagem de produtos defeituosos (fonte: Silveira, 2012).....	31
Tabela 4 - Relação entre indicadores de desempenho ((Adaptado de: iSixSigma-Editorial, 2022)	32
Tabela 5 - Erros associados à amostragem (fonte: Esteves, 2012).....	34
Tabela 6 - Responsabilidades da LCW e LCP	43
Tabela 7 - Características especiais Ref ^a n° 475-035.016-005 (valores em mm).....	67
Tabela 8 - Índices de Capacidade Ref ^a 475-035.016-005.....	70
Tabela 9 - Características especiais Ref ^a n° 475-075.020-005 (valores em mm).....	71
Tabela 10 - Índices de Capacidade Ref ^a 475-075.020-005.....	72
Tabela 11 - Características especiais Ref ^a n° 475-090.123-005 (valores em mm).....	73
Tabela 12 - Índices de Capacidade Ref ^a 475-090.123-005.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

ARL – *Average Run Length*

CEP – Controlo Estatístico de Processo

CNC – Controlo Numérico Computorizado

LIC – Limite Inferior de Controlo

LIE – Limite Inferior de Especificação

LSC – Limite Superior de Controlo

LSE – Limite Superior de Especificação

PCD – Plano de Controlo Dimensional

PME – Pequenas e Médias Empresas

SGQ – Sistema de Gestão de Qualidade

SPC – *Statistic Process Control*

1 INTRODUÇÃO

O presente projeto de dissertação, realizado na Leica – Aparelhos Óticos de Precisão, S.A., foi desenvolvido no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão da Qualidade. Neste capítulo é feito um breve enquadramento do tema, seguindo-se uma descrição dos objetivos do projeto e uma explicação da estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento

Nos dias de hoje, e cada vez mais, os consumidores procuram produtos e serviços com “Qualidade”, sendo que esta é um fator determinante no momento da tomada de decisão de um cliente.

O mundo está cada vez mais globalizado, o que torna a competitividade entre as empresas maior. Estas sofrem uma espécie de “processo de seleção natural”, onde só as mais fortes e com maior capacidade de adaptação sobrevivem. Para além deste fator, a digitalização e a crescente comunicação entre as partes interessadas, seja através da internet, redes sociais ou outros meios, faz com que os clientes estejam cada vez mais bem informados e conseqüentemente mais exigentes. Por fim, o ritmo de vida acelerado da sociedade atual torna-se dependente do bom funcionamento dos produtos e serviços, procurando “qualidade”.

O conceito de “qualidade” é bastante subjetivo, pelo que pode ser interpretado de diferentes formas, dependendo da perspectiva considerada (Garvin, 1984). Geralmente, a definição de “qualidade” varia de pessoa para pessoa e, até mesmo, diferentes especialistas e investigadores da área têm visões e opiniões diferentes sobre este conceito. De acordo com Paulo Sampaio (2011), a qualidade de um produto ou serviço, pode ser definida como a satisfação das necessidades de um cliente e, sempre que possível, a superação das suas expectativas. Já para Crosby (1979), qualidade significa conformidade com as especificações de forma a alcançar-se os zero defeitos.

No entanto, nos dias de hoje a qualidade de um produto ou serviço não se pode reger apenas com facto de produzir em conformidade com as especificações, uma vez que existem necessidades

dos clientes que não fazem parte das especificações dos produtos ou serviços por não serem mensuráveis (Juran & Godfrey, 1998).

De forma a garantir o sucesso e a sua posição no mercado, as empresas devem assim garantir a produção de produtos com qualidade e apostar em estratégias de melhoria contínua dos seus produtos e processos, de modo a evitar ao máximo as ineficiências e os custos decorrentes da não qualidade (Wernke & Bornia, 1999).

A qualidade tem-se tornado assim numa área crucial, no desenvolvimento das organizações, e estratégica, para o crescimento das mesmas. Esta está totalmente interligada com os custos da produção bem como com o preço de venda dos produtos, pelo que as empresas devem investir e explorar as suas potencialidades, não esquecendo que esta aposta traz consigo um aumento do rigor e exigência da produtividade. A melhoria contínua deve ser vista como uma preocupação constante da organização para atingir um nível de excelência.

Segundo António e Teixeira (2009), as ferramentas da qualidade são métodos que ajudam não só a desenvolver, implementar, monitorizar e melhorar os princípios da qualidade, mas também na resolução de problemas de forma a garantir o bom desempenho dos processos. No entanto, Bamford e Greatbanks (2005) refere que poucas organizações, principalmente as PME, têm estas ferramentas devidamente aplicadas.

Uma das principais metodologias utilizadas para ajudar as organizações a controlar e melhorar os seus produtos e processos é o Controlo Estatístico de Processos (CEP).

O CEP consiste no uso de técnicas estatísticas com o objetivo de controlar um processo produtivo. Esta metodologia é um sistema de inspeção que funciona através de amostragem e é utilizado ao longo dos processos, monitorizando o seu comportamento e verificando a existência de problemas nos sistemas internos (ASQ.a, 2022). As ferramentas e os procedimentos do CEP ajudam a identificar as causas especiais, permitindo descobrir os problemas e procurar as causas raiz para os mesmos. Após a identificação das causas raiz, é possível atuar sobre estas, melhorando de forma contínua os processos produtivos e, por consequência, a qualidade do produto final (Tague, 2005).

A principal ferramenta associada ao CEP são as cartas de controlo, introduzidas por Walter Shewhart em 1924 (Bradford & Miranti, 2019). Esta ferramenta é considerada umas das sete ferramentas básicas da qualidade, podendo ser utilizada numa grande variedade de indústrias e serviços.

Os trabalhos relativos ao projeto da dissertação desenvolveram-se na empresa Leica – Aparelhos Óticos de Precisão, S.A., em Vila Nova de Famalicão. Esta é uma empresa da indústria ótica que tem como missão “fornecer soluções inovadoras *premium* com Qualidade indiscutível”. Com vista a alcançar este objetivo, a empresa tem vindo a investir em novas formas de garantir a qualidade dos seus produtos através do controlo dos seus processos de fabrico. Para isso, a aposta na metodologia CEP desempenha uma importante função de conhecimento dos resultados dos processos e permite a identificação de possíveis oportunidades de melhoria. Assim sendo, o trabalho desenvolvido nesta organização teve como objetivo a conceção e implementação de um sistema digital de controlo estatístico do processo.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste projeto consiste na implementação de um sistema digital de controlo estatístico de processos da empresa Leica, e a adaptação de procedimentos internos para um software digital especializado nesta metodologia.

Inicialmente, é indispensável conhecer os diversos tipos de produtos e processos, assim como os requisitos e características dos clientes que são críticas e que influenciam a qualidade do produto final. Neste tipo de indústria, os produtos apresentam uma elevada complexidade, e dado a Leica trabalhar com produtos *premium*, torna as suas características ainda mais exigentes.

Após o conhecimento profundo dos produtos e processos, será tomada a decisão sob que processos e características se irão controlar, tendo em vista a execução de um plano de trabalhos para implementar a metodologia de CEP.

Pretende-se controlar e inspecionar o produto em cada fase do processo de produção, de modo a assegurar que os requisitos do cliente são garantidos, assim como a qualidade do produto final.

Para a implementação de CEP na organização, o projeto assenta em 3 objetivos gerais, que estão decompostos em objetivos mais específicos:

- Expansão do sistema digital de controlo estatístico de processo:
 - Implementação dos *softwares* QS-STAT® e Procella®;
 - Familiarização e formação dos colaboradores com os *softwares* referidos e a metodologia do CEP.

- Criar procedimentos internos para o controlo estatístico de processo:
 - Elaboração e implementação de planos de controlo dimensional;
 - Elaboração e implementação de relatórios estatísticos.
- Realização de estudos de monitorização do processo.

1.3 Metodologia de Investigação

Nos dias de hoje, a palavra “investigação” é, frequentemente, usada de forma incorreta. De acordo com Walliman (2001), recolher dados e informações sem interpretação e sem nenhum objetivo específico não deve ser considerado investigação.

A investigação é uma procura sistemática, baseada em relações lógicas, que deve conter uma explicação dos métodos usados para recolher dados e uma discussão sobre os resultados (Saunders et al., 2009). A metodologia de investigação consiste numa forma de fazer investigação, que inclui pressupostos filosóficos que são a base da investigação e implicações dos pressupostos nos métodos adotados. Os métodos de investigação compreendem as técnicas e os procedimentos usados para obter e analisar dados (Saunders et al., 2009).

A realização desta dissertação segue a metodologia de investigação-ação.

A escolha desta metodologia deve-se ao facto de se tratar de um tipo de investigação onde há o envolvimento dos colaboradores da empresa e transferência de tecnologia-ação, que promove o envolvimento dos colaboradores na resolução de problemas. Esta abordagem enfatiza a ação na promoção da mudança na organização (Saunders et al., 2007).

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em seis capítulos: Introdução, Revisão de Literatura, Apresentação da Empresa, Descrição e Análise da Situação Atual, Definição e Implementação de Ações de Melhoria e Conclusão.

No primeiro capítulo é feito um breve enquadramento da problemática em estudo e são apresentados os objetivos da mesma, de forma a proporcionar ao leitor um breve enquadramento com o projeto. Por fim, é mencionada a estrutura do relatório.

O segundo capítulo foca-se na revisão da literatura, onde são desenvolvidos temas que fundamentam a investigação, nomeadamente uma breve abordagem ao conceito de Qualidade e à metodologia de Controlo Estatístico de Processos. Por último, são apresentados os *softwares* utilizados no decorrer do projeto.

No terceiro capítulo é efetuada uma descrição da empresa, onde se apresenta a marca Leica e as suas unidades de negócio. Descreve-se em particular a empresa sediada em Portugal onde foi realizado o projeto. Finaliza-se com uma descrição geral dos processos produtivos existentes na fábrica portuguesa, em especial os processos da secção de mecânica onde foi desenvolvida a presente dissertação.

No quarto capítulo é descrita a situação atual da empresa, no que diz respeito à monitorização e controlo dos processos. Compreendendo-se assim de que modo são geridos os dados recolhidos, e em que fase se encontra atualmente a implementação da metodologia de CEP, possibilitando assim a identificação de possíveis oportunidades de melhoria.

No quinto capítulo é apresentada uma descrição das ações de melhoria propostas e implementadas relativas à implementação do sistema de CEP. São apresentados os resultados obtidos do projeto, assim como sugestões de implementação da metodologia para futuro.

Finalmente, no sexto capítulo, são apresentadas algumas conclusões finais sobre o trabalho desenvolvido e limitações ocorridas durante o projeto.

Após a Conclusão, são apresentadas as referências bibliográficas que auxiliaram a investigação, terminando com alguns anexos que apresentam informação complementar ao projeto desenvolvido.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ao longo deste capítulo serão apresentados e enquadrados os conceitos teóricos resultantes da pesquisa bibliográfica sobre temáticas relevantes ao projeto desta dissertação.

Numa primeira instância da revisão crítica de literatura, são introduzidos conceitos relativos à Qualidade, conhecendo um pouco o seu desenvolvimento e alguns dos autores que deram o seu contributo para a sua importância atual. De seguida, será apresentado com maior detalhe a metodologia de CEP, onde são referidos quais os seus objetivos, ferramentas e as bases para a sua implementação. Por fim, é feita uma abordagem ao *software* estatístico utilizado no decorrer deste trabalho, descrevendo algumas das suas funcionalidades e utilidades.

Alguns dos conceitos e informações contidos neste capítulo, foram adquiridos através da pesquisa em livros, revistas, *websites*, jornais científicos, normas e informações publicadas internamente no Departamento de Qualidade da Leica.

2.1 Qualidade

Com o evoluir dos tempos, devido a fatores como a globalização e digitalização, tem-se comprovado uma forte evolução industrial que tem mudado o paradigma das empresas.

Este progresso traz consigo uma crescente competitividade, um aumento do rigor e uma necessidade de inovação, que faz com que as organizações se tenham de desenvolver mais para garantirem o seu sucesso e a sua posição no mercado. Além disto, as empresas têm vindo a ser forçadas a alterar a orientação da sua gestão de forma cada vez mais rápida e ágil devido exigências impostas pelos mercados e clientes. Recentemente, tivemos vários exemplos desta situação, nomeadamente a pandemia da Covid-19 e a guerra na Europa, em que rapidamente as organizações tiveram de mudar a sua forma de trabalhar e pensar, assim como de adaptar os seus produtos e serviços à nova realidade.

Por sua vez, a sociedade atual tem um estilo e um ritmo de vida cada vez mais acelerado, fazendo com que as pessoas estejam cada vez mais dependentes do bom funcionamento dos produtos e serviços para corresponderem às suas necessidades. É neste contexto de dependência dos produtos e serviços, que o conceito de Qualidade começa a ganhar uma grande importância aos olhos dos consumidores.

A Qualidade é assim um fator decisivo no momento da compra, fazendo com que um cliente opte por um produto em detrimento de outro, ou por uma determinada marca.

De acordo com Garvin (1984) a “qualidade” é um conceito complexo e multifacetado, que pode ser interpretado de diversas formas, consoante a perspectiva considerada.

Ao longo das últimas décadas, alguns dos gurus da qualidade têm vindo a demonstrar a sua visão, através da formulação de novos modelos, teorias e conceitos, dando assim o seu contributo para a definição de Qualidade.

De algumas destas definições, podemos destacar a dos seguintes gurus (Hoyer & Hoyer, 2001):

- Philip Crosby: “Qualidade significa conformidade com as especificações.”
- Kaoru Ishikawa: “Qualidade é o grau de satisfação dos requisitos dos utilizadores e manifesta-se não somente na qualidade do produto, mas também no serviço pós-venda.”
- Edwards Deming: “Qualidade é a conformidade de um produto com as especificações técnicas que lhe foram atribuídas e apenas pode ser definida pelo cliente”
- Genichi Taguchi - “Qualidade é a perda que um produto causa à sociedade após o seu envio, além das perdas causadas pelas suas funções intrínsecas.”
- Joseph Juran: “Qualidade é adequação ao uso.”

Numa visão mais atual e consensual, o referencial normativo NP EN ISO 9000:2015, define qualidade como o grau de satisfação das necessidades e expectativas dos clientes e pelo impacto sobre as partes interessadas relevantes (Instituto Português da Qualidade, 2015).

De acordo também com esta norma, a aposta na qualidade e num Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) por parte das organizações, traz consigo um conjunto de benefícios, nomeadamente:

- Incremento do valor representado pelo cliente;
- Crescimento da satisfação do cliente e da sua lealdade com a marca ou empresa;
- Melhoria na repetição de negócios;
- Ampliação da base de clientes;
- Aumento de receitas e quota de mercado.

A qualidade surge assim como um agente determinante da competitividade, que tem vindo a destacar-se à medida que a concorrência aumenta, nomeadamente devido à globalização do mercado, à evolução técnica e tecnológica e aos requisitos crescentes e personalizados dos clientes (Pires, 2016).

2.1.1 Ferramentas da Qualidade

Dada a importância da Qualidade na vida das pessoas e das empresas e o seu impacto direto nos produtos e serviços, têm vindo a ser desenvolvidos diversos mecanismos, como ferramentas e metodologias da qualidade, que auxiliam a sua implementação no nosso quotidiano.

De acordo com Bamford e Greatbanks (2005) as ferramentas de qualidade são introduzidas na vida e na educação da sociedade desde muito cedo, sem que sejam apresentadas formalmente como ferramentas da qualidade. A título exemplificativo, é comum no dia-a-dia se utilizar uma *checklist* para fazer as compras no supermercado ou para organização e gestão do tempo.

A implementação plena de ferramentas da qualidade nas empresas é um processo que, tal como a mudança da cultura organizacional, não ocorre com a celeridade desejada. A sua implementação sofre geralmente vários obstáculos, principalmente por parte dos operadores que muitas vezes são relutantes à mudança.

Ao longo dos anos, diversos investigadores identificaram um conjunto de ferramentas da qualidade, que têm aplicabilidade a vários tipos de serviços e indústrias. Ishikawa (1985) definiu assim as sete ferramentas básicas da qualidade, sendo elas:

1. Diagrama de causa e efeito
2. *Checklist*
3. Histogramas
4. Fluxogramas
5. Diagrama de correlação
6. Diagrama de Pareto
7. Carta de controlo.

De acordo com Paladini (1994), as sete ferramentas básicas da qualidade têm como principal objetivo auxiliar as pessoas a compreender os processos e providenciar meios para melhorá-lo. Ishikawa (citado em Antony et al., 2021) refere que aproximadamente 95% dos problemas relacionados com a qualidade podem ser solucionados recorrendo a estas metodologias.

Em seguida, são descritas de forma mais pormenorizada algumas das ferramentas da qualidade utilizadas na presente dissertação, assim como os pontos mais pertinentes a cada uma delas.

- **Histograma**

O histograma (Figura 1) é um gráfico utilizado para ilustrar as distribuições de frequência dos dados, sendo a sua aparência muito semelhante a um gráfico de barras. De acordo com Ribeiro e Caten (2012), apesar de neste tipo de gráfico os detalhes dos dados individuais ficarem perdidos, a vantagem está em observar os aspectos gerais do problema.

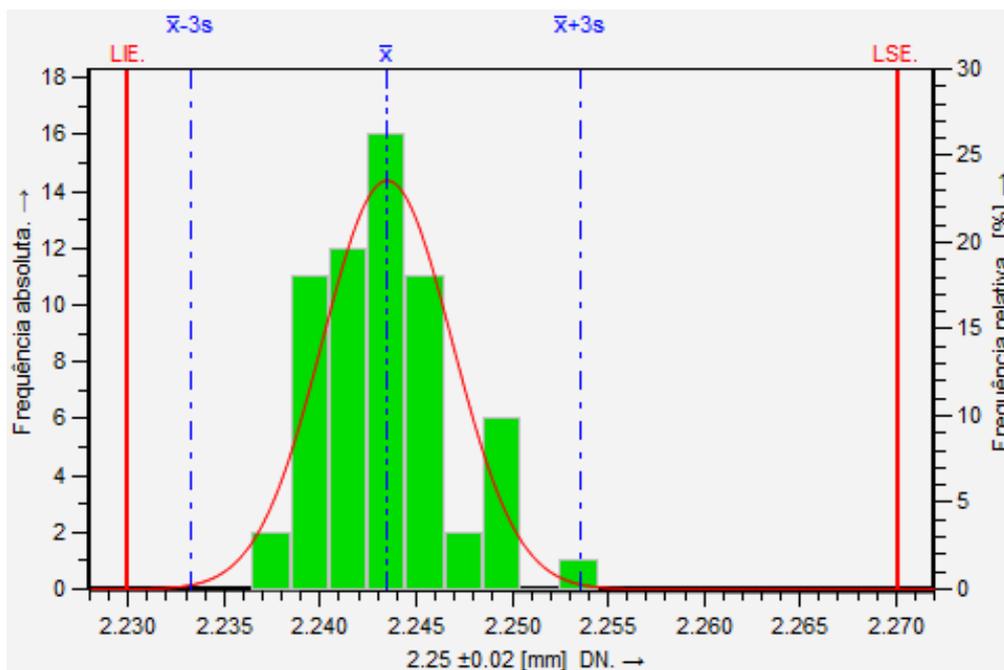


Figura 1 - Exemplo de um Histograma (Obtido através do software Q-Stat)

A visualização dos dados resultante permite verificar se o processo é capaz de cumprir com as especificações, se a média da distribuição da característica da qualidade está próxima do centro da faixa de especificação e se é necessário adotar medidas para reduzir a variabilidade do processo (Carpinetti, 2012).

- **Fluxograma**

De acordo com Singh et al. (2012), o fluxograma (Figura 2) consiste numa representação visual e esquemática das etapas e elementos de um processo, utilizando símbolos gráficos para descrever a natureza da informação e o fluxo das etapas.

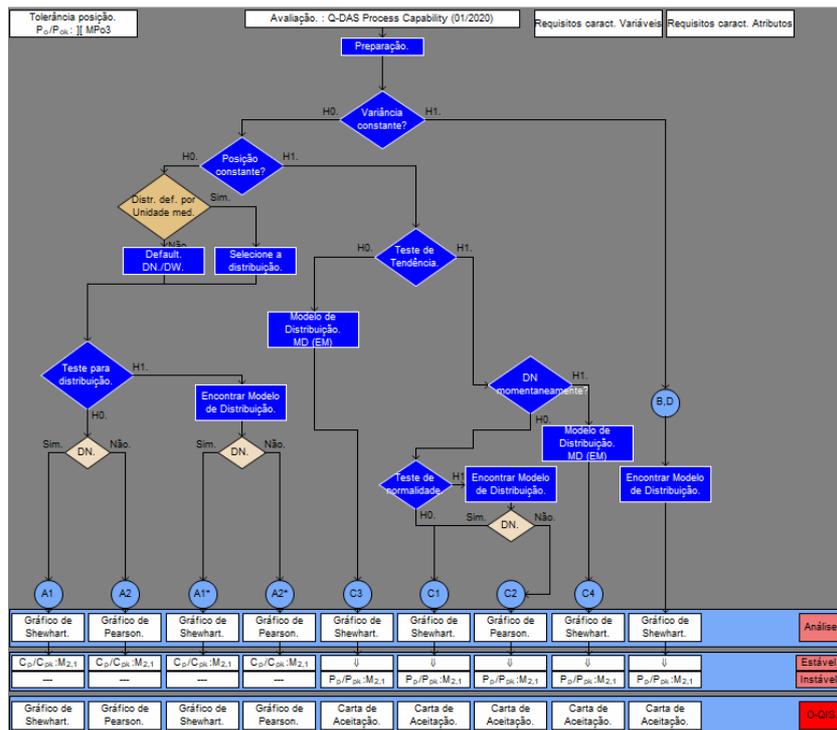


Figura 2 - Exemplo de um Fluxograma (Obtido através do software Q-Stat)

Esta ferramenta é bastante útil para familiarizar novos elementos com um processo, pois facilita a sua compreensão geral e fornece informações de como se deve proceder em determinadas situações. Contudo, por vezes os fluxogramas atingem níveis de desenvolvimento bastante complexos o que dificulta a sua compreensão, pois exige ao utilizador um nível de conhecimento mais elevado sobre esta ferramenta.

- **Diagrama de Dispersão**

Os diagramas de dispersão (Figura 3) são uma ferramenta extremamente benéfica para estudar a existência de uma relação entre duas ou mais variáveis. Esta relação também é designada por vezes de correlação.

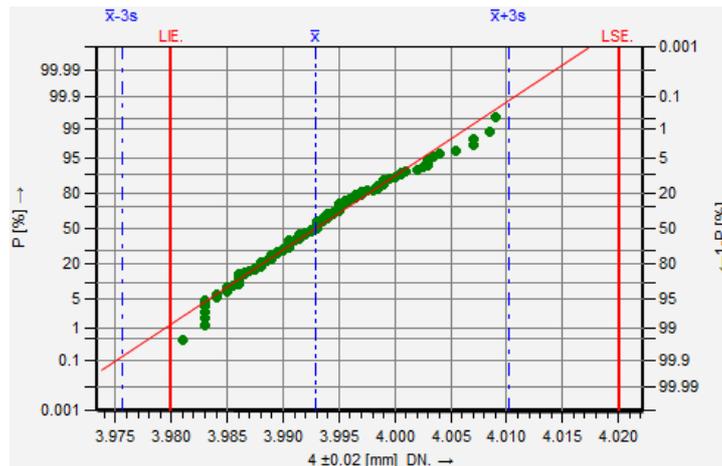


Figura 3 - Exemplo de Diagrama de Dispersão (Obtido através do software Q-Stat)

Neste tipo de gráficos os dados são dispostos através de coordenadas cartesianas. Quanto mais apertados os pontos estiverem de um formato de linha ou curva, maior será a correlação entre as variáveis. Roldão e Ribeiro (2004) explicam que sempre que os valores do eixo X aumentam e os valores do eixo Y diminuem existe uma correlação negativa, já quando os valores do eixo X e do eixo Y aumentam, a correlação entre as variáveis é positiva. No entanto, quando os pontos dispersam por todo o gráfico é indicativo de as variáveis não estão correlacionadas, ou seja, a variação de uma variável não afeta a outra.

Um aspeto importante a salientar desta ferramenta é o facto de esta poder quantificar o grau de correlação entre as variáveis, ou seja, quanto uma variável afeta a outra.

- **Cartas de Controlo**

As cartas de controlo (Figura 4) são a ferramenta da qualidade mais utilizada na metodologia de CEP.

Uma carta de controlo é uma carta de tendência com dois limites determinados estatisticamente, um superior e outro inferior de cada lado da linha central (média do processo). Esta ferramenta consiste num gráfico que mostra a variação de uma característica em função do tempo, que através do acompanhamento dos valores representados e dos limites, permite determinar se o processo está, ou não, sob controlo estatístico.

Dado as Cartas de Controlo serem a Ferramenta da Qualidade com maior foco nesta dissertação, esta ferramenta será abordada com maior detalhe no ponto 2.2.3 deste capítulo.

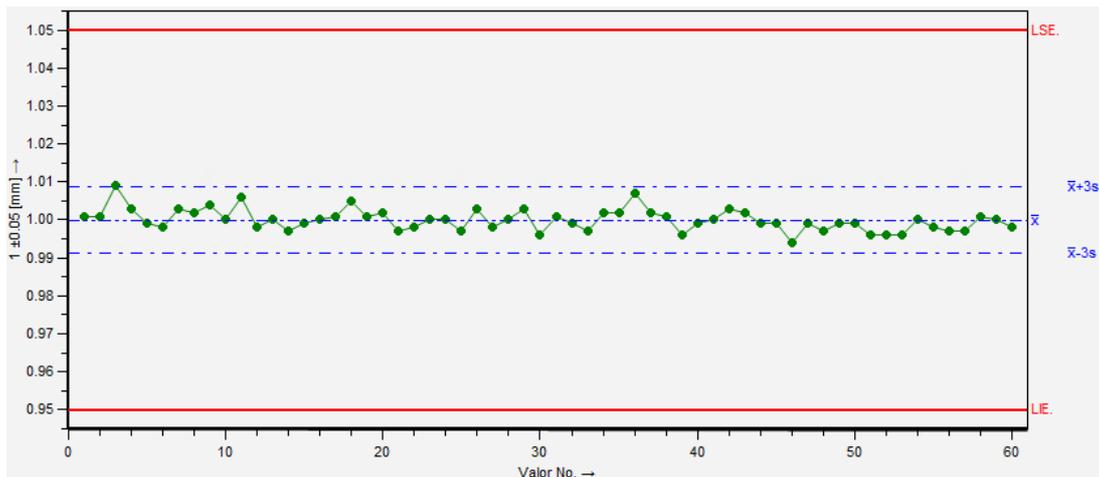


Figura 4 - Exemplo de Carta de Controle (Obtido através do software Q-Stat)

Como referido anteriormente, as ferramentas da qualidade são extremamente úteis na ajuda à resolução de problemas nas empresas. No entanto, existem organizações que pretendem ir mais longe do que apenas solucionar um problema, procurando assim melhorar de forma contínua os seus produtos e processos através da implementação de técnicas.

De acordo com Fotopoulos e Psomas (citados em Pacheco et al., 2011), uma técnica ou metodologia é definida como um conjunto de ferramentas. No entanto, Bunney e Dale (1997) defendem que uma técnica tem uma aplicação bastante mais ampla e mais vasta do que a uma ferramenta, e que estas são instrumentos vitais para apoiar e desenvolver o processo de melhoria contínua da qualidade.

Uma das metodologias mais importantes para o ajudar a melhorar os processos e, consecutivamente, a Qualidade dos produtos é o CEP.

2.2 Controlo Estatístico de Processos

Devido à crescente e rápida evolução industrial que tem vindo a ocorrer ao longo dos anos e ao crescente aumento de exigência por parte dos clientes e consumidores, as empresas têm vindo a sentir a necessidade de adotar estratégias que permitam obter excelentes níveis de produção, mantendo ao mesmo tempo um bom nível de qualidade.

Para uma indústria produzir com qualidade, significa produzir bem à primeira, de acordo com o que o cliente quer, e no menor tempo possível de forma a manter os custos reduzidos.

O fator custo tem cada vez mais impacto nas organizações. Se em 1920 tudo o que era produzido era vendido com os preços que as empresas impunham, pois, a procura era significativamente maior que a oferta, hoje a realidade é completamente diferente. A globalização veio diminuir significativamente as margens comerciais. Só uma empresa que mantenha os custos mais baixos possíveis consegue obter um maior lucro. Surge assim a necessidade da implementação de ferramentas e técnicas que garantam a qualidade dos produtos produzidos e que mantenham os custos o mais baixo possível.

O Controlo Estatístico do Processo (CEP), proveniente do inglês *Statistical Process Control* (SPC), é definido, de acordo com a ASQ.b (2022), como uma técnica que consiste no uso de um conjunto de ferramentas que têm por base a utilização de métodos estatísticos, permitindo monitorizar o comportamento dos processos, descobrir problemas internos e garantir a qualidade dos produtos. Esta metodologia surgiu na sequência do desenvolvimento das cartas de controlo por Walter Shewhart em 1920, como ferramenta de controlo do comportamento dos processos na empresa *Bell Telephone Laboratories*. Mais tarde, em 1950, as cartas de controlo foram amplamente difundidas por Deming no Japão.

Através da monitorização dos processos, as organizações conseguem estudar a variação inerente a estes, descobrir quais as causas dessa variação e consecutivamente poder atuar sobre estas de forma a evitar que seja produzido uma grande quantidade de produto não conforme.

Aplicando estes princípios, as organizações conseguem produzir peças em conformidade com as suas especificações, reduzindo custos de sucata, custos de retrabalho e outros custos da não qualidade, promovendo ao mesmo tempo uma cultura de melhoria contínua.

O CEP é uma metodologia que funciona através de um sistema de inspeção por amostragem que é decorrente ao longo do processo. Um dos seus objetivos primários, é o de eliminar a “inspeção a 100%”, que representa um elevado custo de tempo e monetário para as empresas.

Esta técnica torna assim a inspeção mais eficiente, fornece dados sobre o comportamento e estabilidade dos processos e garante a qualidade do produto.

De uma forma resumida, Ribeiro e Caten (2012) descreveram que os objetivos do CEP são:

- Possibilitar um controlo eficaz da qualidade;
- Permitir a monitorização das características pretendidas, garantindo que os limites pré-estabelecidos são cumpridos;
- Indicar quando devem ser tomadas ações de correção e melhoria;

- Aumentar a capacidade dos processos e reduzir os custos da má qualidade.

2.2.1 Definição de controlo, estatística e processo

Para melhor compreender a metodologia do CEP é importante perceber de uma forma mais detalhada a definição de Controlo, de Estatística e de Processo, e qual a contribuição de cada um destes elementos para a metodologia.

O Controlo consiste na avaliação sistemática do desempenho de um processo, de modo a compreender a sua regularidade e estabilidade. Além de permitir avaliar a conformidade das peças, o ato de controlar permite detetar desvios do normal funcionamento do processo e atuar sobre estes o mais rapidamente possível para corrigir e estabilizar o processo. Geralmente, são implementadas um conjunto de ações corretivas que visam evitar a produção de produtos defeituosos. O controlo pode ser feito durante a produção ou aquando das entradas ou saídas de um processo (Juran & Godfrey, 1998; Oakland, 2003).

A Estatística é a ciência que procura deduzir as propriedades ou características de uma população a partir da análise de uma amostra dessa mesma população. Para isso, são utilizados um conjunto de métodos matemáticos para recolher, analisar e fazer a interpretação dos dados. Para efeitos do CEP podemos salientar dois ramos da estatística:

- Estatística Descritiva
- Estatística Inferencial

A estatística descritiva é um ramo da estatística que consiste num conjunto métodos que tem como objetivo organizar, apresentar e descrever os dados através de ferramentas de rápida leitura e compreensão do seu utilizador, nomeadamente tabelas e gráficos. Já a estatística inferencial, consiste num conjunto de técnicas que examinam os resultados de uma amostra, de forma a ajudar a tomar decisões ou previsões sobre uma população (Mann, 2008; Montgomery, 2009).

Por fim, um Processo, de acordo com a (ASQ.a, 2022), é um conjunto de atividades de trabalho inter-relacionadas e inter-actuantes, que têm como objetivo transformar entradas em saídas. Durante o processo são realizadas um conjunto de atividades, que transformam essas em entradas em saídas. Os processos podem ser mais ou menos complexos, dependendo normalmente do tipo de produto e de indústria em que se inserem, podendo envolver diversos colaboradores e até mesmo vários departamentos dentro de uma organização.

2.2.2 Variabilidade nos processos produtivos

De um modo geral, as empresas procuram fabricar os produtos de acordo com as especificações que são solicitadas pelos clientes. Desta forma, conseguem assim fornecer aos clientes um produto com qualidade e cumprir com os seus requisitos.

Contudo, para a maior parte das organizações é extremamente difícil e dispendioso fornecer ao cliente produtos que tenham características de qualidade iguais ao valor projetado, ou que sejam sempre idênticas de unidade para unidade.

De acordo com Montgomery (2009), uma das principais razões para a variação das características de qualidade é a variabilidade dos processos.

A variabilidade é um fator que é intrínseco aos processos e que não consegue ser totalmente eliminado. Contudo, esta deve ser conhecida de modo a compreender o seu comportamento e poder ser controlada para prevenir defeitos.

De um modo geral, nos processos produtivos a variabilidade está diretamente ligada ao desperdício, isto é, à produção de produtos não conformes. Os produtos rejeitados representam geralmente um custo bastante acrescido para as empresas, seja por terem de ser retrabalhados, ou simplesmente por terem de ser sucitados. Em termos estatísticos, a qualidade é inversamente proporcional à variabilidade, sendo que quanto menor a variabilidade de um processo, melhor será a qualidade dos produtos produzidos por esse processo (Vieira, 2012).

Em 1998, Walter Shewhart distinguiu as causas de variações (figura 5), como causas comuns e causas especiais (Juran & Godfrey, 1998).



Figura 5 - Causas de variação (adaptado de ASQ.c, 2022)

As causas comuns de variação, também designadas de aleatórias ou naturais, são parte integrante do processo e seguem padrões de comportamento constantes ao longo do tempo. Se num determinado processo apenas houver presença de causas comuns, este é considerado como estável e diz-se que está sob controlo estatístico dado que resultado daquele processo é previsível. Exemplos deste tipo de causas incluem vibrações, humidade, variação de temperatura, desgaste de ferramentas, variações nas características da matéria-prima, entre outros. Apesar destas causas não poderem ser eliminadas dos processos, os seus efeitos podem ser reduzidos. A sua redução impõe normalmente alterações ao processo existente, formação dos colaboradores, escolha de uma nova matéria-prima, pelo que é fundamental o envolvimento da gestão de topo para atuar sobre este tipo de causas (Nikkel, 2007; Oakland, 2003).

Por sua vez, as causas especiais, ou causas assinaláveis, estão relacionadas de forma indireta com os processos, e sempre que há a ocorrência deste tipo de causas, diz-se que o processo está fora de controlo estatístico ou é considerado como instável. Alguns dos exemplos deste tipo de causas incluem a incorreta configuração dos equipamentos, colaboradores com pouca experiência, lotes de matéria-prima com muita variação, alterações significativas no meio ambiente, manutenção defeituosa ou falta dela, entre outros. A presença deste tipo de causas faz com que exista uma grande variação na produção e consecutivamente as saídas dos processos não permanecem estáveis ao longo do tempo.

Na figura 6 é demonstrada a diferença entre um processo estável e um processo instável e quais as suas consequências em termos das respetivas distribuições de frequências. Se num determinado processo somente existirem causas de variação naturais (figura 6.a), as saídas desse mesmo processo formam uma distribuição que é estável e previsível ao longo do tempo. No entanto, se ocorrem a presença de causas especiais (figura 6.b), as saídas desse processo já não serão estáveis e muito menos previsíveis ao longo do tempo, aumentado assim o risco de produzir produto não conforme.

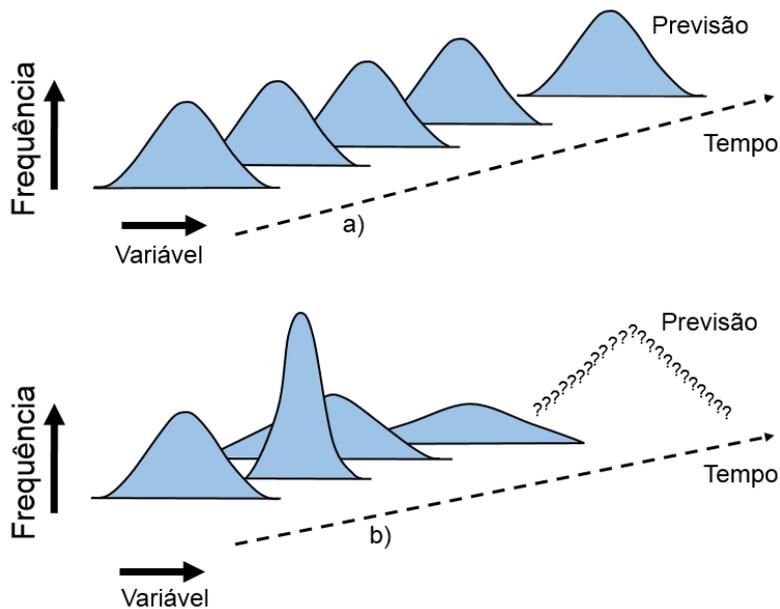


Figura 6 - Variabilidade e previsibilidade - a) Causas aleatórias; b) Causas assinaláveis (adaptado de Heizer & Render, 2011)

De acordo com Heizer e Render (2011), a presença de causas assinaláveis não são de todo expectáveis de ocorrerem num processo. Quando há a sua ocorrência, as amostras formam distribuições imprevisíveis que variam a nível da localização, dispersão e forma, como é demonstrado na figura 7, ou então pela combinação de dois ou três destes itens.

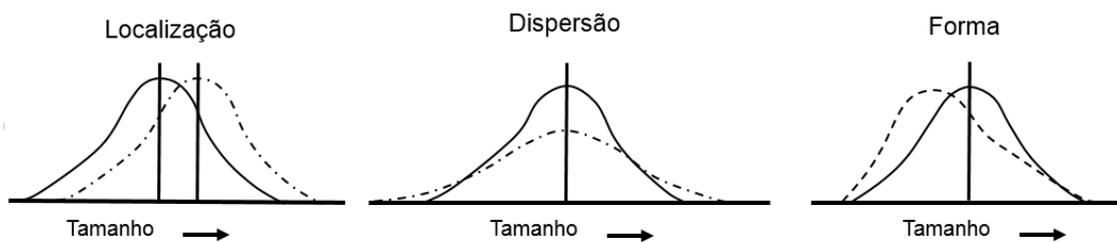


Figura 7 - Fatores de variação das distribuições de frequências (adaptado de Nikkel, 2007).

É assim de extrema importância para as organizações conseguirem distinguir as causas especiais de causas comuns, pois de acordo com Deming (citado em Ribeiro e Caten, 2012) a confusão entre este tipo de causas leva a maior variabilidade e a custos mais elevados. Atuar sobre causas comuns como se fossem causas especiais, pode conduzir a um aumento extraordinário da variação, além de representar um custo de tempo e monetário desnecessário. Por outro lado, se

as causas especiais forem menosprezadas, elas podem passar a ser parte integrante do resultado do processo, considerando como válido um processo que deveria ser rejeitado. Além disso, desperdiça-se uma oportunidade de melhoria.

2.2.2.1 Fontes de variação

Nos processos de fabrico há um conjunto de fatores que podem afetar os processos e, conseqüentemente, as características de qualidade dos produtos. De acordo com Pereira e Requeijo (2012) estas fontes de variação dos processos devem-se a vários fatores, nomeadamente:

Mão-de-obra: associado com os colaboradores, quer a nível da sua formação profissional, quer a nível do seu bem-estar físico e psicológico;

Máquinas/Equipamentos: relacionado com o desgaste das máquinas e das peças, manutenções, calibrações, ajustes nos equipamentos, entre outros;

Materiais: desgaste;

Matéria-prima: defeitos na matéria-prima; matéria-prima inconsistente;

Meio ambiente: o meio em que o processo se encaixa, envolvendo fatores naturais como o vento, humidade, luminosidade, temperatura, entre outros;

Métodos: métodos desadequados ou insuficientes face às necessidades de produção e produto.

2.2.3 Cartas de controlo

Das sete ferramentas básicas da qualidade, as cartas de controlo são provavelmente a ferramenta mais dinâmica e a mais elaborada. Esta ferramenta foi desenvolvida por Walter A. Shewhart na década de 1920, aquando da sua experiência profissional na *Bell Telephone Laboratories* (Montgomery, 2009).

As cartas de controlo foram criadas com o intuito de controlar os processos produtivos. Permitem verificar a sua estabilidade e são extramente úteis e capazes de detetar as causas especiais que têm impacto num processo. Identificadas quais as causas da instabilidade, estas podem ser eliminadas. O objetivo passa então por reduzir a variação e os custos associados à não qualidade, tornando assim os processos mais eficientes.

De acordo com a International Organization for Standardization (2019), as cartas de controlo são uma ferramenta fundamental para a aplicação da metodologia de CEP e proporcionam um método gráfico que pode ser utilizado para:

- Indicar se um processo é estável;
- Estimar a magnitude da variabilidade inerente a um processo;
- Comparar informação de amostras que representam o estado atual do processo com os limites de controlo, para determinar se o processo se manteve estável, reduziu ou aumentou a sua capacidade;
- Identificar, investigar e possivelmente reduzir ou eliminar o efeito das causas especiais;
- Determinar se um processo está a reagir de uma maneira previsível e estável, de forma a ser exequível estimar se o processo está a produzir de acordo com as especificações;
- Fornecer uma base para ajuste do processo, através de previsão usando modelos estatísticos.

Já Pereira e Requeijo (2012), defendem que para que esta ferramenta seja devidamente implementada e aplicada, é essencial ter em atenção certos aspetos, como:

- Os intervenientes no processo devem ter formação adequada para perceberem as vantagens deste tipo de gráficos, assim como saber utilizá-los e interpretá-los;
- Definir de forma concisa o processo, os seus limites, as interações com outros processos ou subprocessos, assim como conhecer quais as fontes que são responsáveis pela variação;
- Os requisitos exigidos pelo cliente e os processos onde se deteta um menor desempenho e que produzem uma maior quantidade de produto não conforme;
- Determinar as características a controlar, especialmente aquelas que são consideradas críticas para o cliente;
- Minimizar as fontes de variação excessiva na fase inicial da implementação de um programa de CEP, removendo causas de variação desnecessárias, como por exemplo, mistura de lotes de matéria-prima e não ajustamento dos equipamentos.

Uma das principais vantagens das cartas de controlo é serem de fácil construção, leitura e utilização. Além destes fatores, proporcionam ainda ao utilizador indicadores do comportamento do processo em tempo real. No entanto, para que os gráficos sejam fiáveis e forneçam indicadores

eficientes do estado do processo, é necessário ter atenção a escolha do tipo de gráfico a utilizar assim como o esquema de amostragem.

2.2.3.1 Etapas para a construção das cartas de controlo

A elaboração de uma carta de controlo é um processo complexo e a sua metodologia varia consoante o autor.

No entanto, de acordo com Montgomery (2009), o método mais habitual para a construção das cartas de controlo pressupõe a existência de duas fases:

- Fase I – CEP Curto-prazo
- Fase II – CEP Longo-prazo

A Fase I diz respeito à recolha inicial ou primeira recolha de dados do processo. Os dados obtidos são assim utilizados para estabelecer os limites de controlo iniciais, permitindo verificar se o processo se encontra sob controlo estatístico durante o período de tempo em que foi realizada a recolha dos dados, assim como verificar a estabilidade do processo. Caso o processo seja considerado como válido é então possível calcular o índice de capacidade do mesmo.

Na Fase I, segundo Cardoso (2016) e Pereira e Requeijo (2012), as principais etapas para a construção dos gráficos de controlo são:

- Seleção da(s) característica(s) da qualidade a controlar;
- Seleção do tipo de carta em função da característica e da estatística amostral que se pretende monitorizar;
- Elaboração de um plano de controlo que inclua a dimensão da amostra (n), a frequência da amostragem, o número de amostras ou subgrupos racionais (m) e o método de medição mais adequado;
- Assegurar a recolha de m amostras de dimensão n , perfazendo um total de pelo menos 100 unidades ($N \geq 100$), em que $N = m \times n$;
- Cálculo dos limites de controlo e representação gráfica das amostras obtidas e limites calculados;
- Verificação da existência de causas especiais.

Caso se verifique a ocorrência de causas especiais, o processo é considerado como fora de controlo estatístico e devem ser tomadas medidas para a sua eliminação. Depois de se proceder à eliminação das causas especiais, é necessário obter novamente dados e recalculer os novos

valores para os limites de controlo. Após efetuada uma nova análise do processo, averigua-se se essas alterações colocaram o processo sob controlo estatístico.

Concluída a Fase I, parte-se do pressuposto que o processo se encontra sob controlo estatístico, uma vez que as principais fontes de variação foram sistematicamente removidas e estão reunidas as condições para dar início à implementação da fase seguinte.

A Fase II consiste na monitorização do processo, onde são comparados os valores obtidos com os limites de controlo calculados na Fase I e representados no gráfico. A recolha dos dados é efetuada diretamente nos processos e estes são representados no gráfico em tempo real.

Na fase II, as principais etapas envolvidas são:

- Representação gráfica dos limites de controlo assim como a linha central, em função dos parâmetros estimados na Fase I;
- Recolha das amostras e cálculo dos valores estatísticos relativa a essa amostra, representando os valores graficamente;
- Averiguar se os valores das amostras representados no gráfico correspondem a uma causa especial de variação (representados fora dos limites de controlo) ou a uma causa aleatória (representados dentro dos limites de controlo);
- Caso seja detetada alguma causa assinalável, deve-se identificar qual o motivo da sua ocorrência e tomar ações corretivas para prevenir a ocorrência dessa causa no futuro.

2.2.3.2 Tipos de Cartas de Controlo

Ao longo dos anos têm vindo a ser desenvolvidos uma grande variedade de cartas de controlo, que hoje são utilizadas por uma grande variedade de indústrias e serviços. Dado o vasto número de cartas de controlo existentes, é importante categorizar cada uma delas de acordo com a tipologia de controlo. As cartas de controlo podem ser classificadas como cartas de controlo por atributos e cartas de controlo por variáveis. Na Tabela 1 encontram-se dispostas as principais cartas de controlo por atributos e por variáveis utilizadas hoje em dia pela indústria.

Cartas de Controlo por <u>variáveis</u>	Carta \bar{X} e Carta R - Média e Amplitude
	Carta \bar{X} e Carta S - Média e Desvio-padrão
	Carta \bar{X} e Carta R - Mediana e Amplitude

	Carta \bar{X} e Carta MR - Observações individuais e Amplitudes Móveis
Cartas de Controlo por <u>atributos</u>	Carta c - Número de defeitos
	Carta u - Número de defeitos por unidade
	Carta p - Proporção de unidades não conformes
	Carta np - Número de unidades não conformes

Tabela 1 - Tipos de Cartas de Controlo (adaptado de: Woodruff, 2012)

Para a implementação das cartas de controlo, o fluxograma da figura 8, ajuda a estabelecer qual a carta que deve ser utilizada de acordo com os dados a controlar, e a respetiva dimensão da amostra.

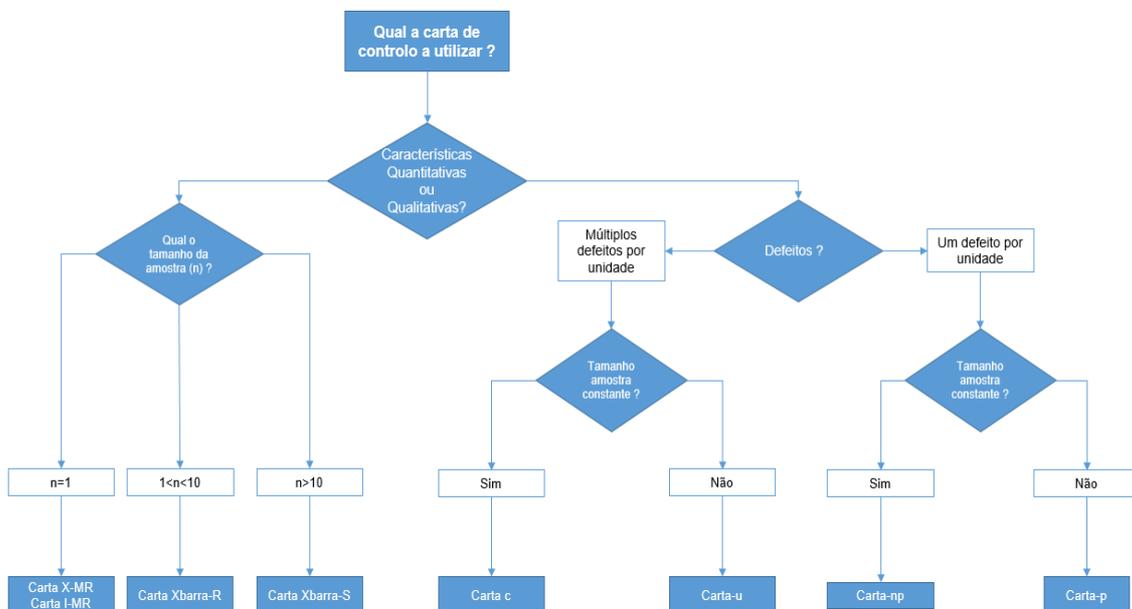


Figura 8 - Árvore de decisão dos gráficos de controlo de qualidade (adaptado de Salazar, 2019)

No âmbito do projeto desenvolvido na presente dissertação, as características da qualidade selecionadas para implementar a metodologia de CEP são características quantitativas, ou seja, características que são avaliadas em termos de variáveis. Para isso foram utilizadas cartas de controlo por variáveis, nomeadamente a Carta Xbarra-R e a Carta Xbarra-S que serão abordadas com maior detalhe.

Carta da Média (\bar{X}) e da Amplitude (R)

As cartas da média (\bar{X}) e da amplitude (R) são das cartas de controlo mais utilizadas e têm como finalidade analisar a estabilidade de um processo ao longo do tempo. Estes gráficos são utilizados para a análise de dados nominais nos mais diversos tipos de indústrias e serviços, como, por exemplo, em hospitais para controlo de pressão arterial de um paciente ou num processo para controlo das peças.

Os subgrupos desempenham um papel muito importante na recolha de dados de um processo, pois devem ser seleccionados de forma a maximizar a deteção de mudanças na média do processo e entre amostras.

De acordo com Minitab (2022) a utilização da carta Xbarra-R é recomendada para subgrupos de 8 ou menos unidades. Dado se tratar de amostras com subgrupos reduzidos, a amplitude (R) consegue detetar de forma mais eficiente desvios no processo.

Segundo Montgomery (2009), uma determinada característica da qualidade segue uma distribuição normal com um valor médio (μ) e desvio-padrão (σ), sendo que μ e σ são calculados e conhecidos através de fórmulas matemáticas.

Para iniciar a elaboração dos limites de controlo da carta Xbarra (\bar{X}), deve ser calculado o valor médio (\bar{X}) de cada amostra. Uma amostra de tamanho n , com x_1, x_2, \dots, x_n observações, a média da amostra é dada pela expressão 1.

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

Obtidos os valores médios (\bar{X}) de cada amostra, deve posteriormente ser calculado o valor médio das amostras, no qual são considerados todos os subgrupos. O cálculo da média das médias ($\bar{\bar{X}}$), que contenha m amostras, em $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$ amostras, é obtido pela equação 2.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m} \quad (2)$$

Obtido assim o valor da média das médias, são calculados os limites de controlo para o gráfico Xbarra (figura 9). Os valores dos limites de controlo são calculados através das expressões 3, 4 e 5.

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2R$$

$$LC = \bar{\bar{X}}$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_2R$$

(3;4;5)

Os valores da constante A_2 variam de acordo com o tamanho da amostra, encontrando-se dispostos no Anexo I.

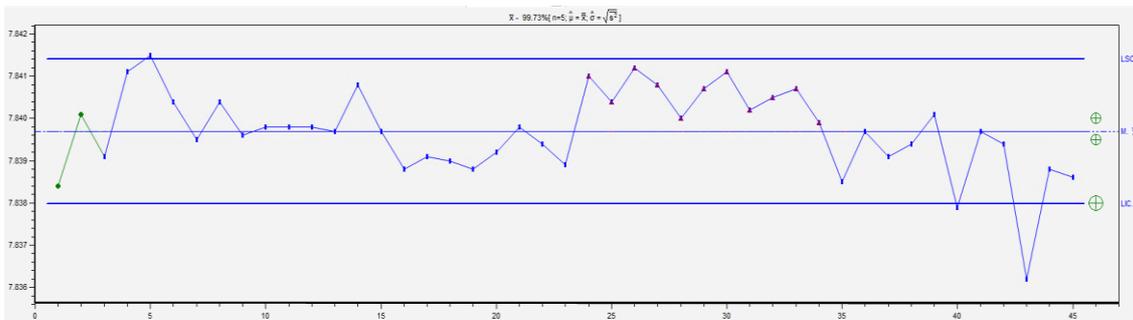


Figura 9 - Exemplo de uma carta das médias (\bar{X}) (Obtido através do software Q-Stat)

Os limites de controlo são assim definidos com base em dados históricos do processo, e quanto maior a quantidade de dados confiáveis existirem, mais bem definidos serão os limites de controlo e maior será a sua capacidade em retirar conclusões sobre a variação do processo.

Relativamente ao gráfico das amplitudes (R), este tem como objetivo medir a variabilidade dentro de uma determinada amostra. Para construir os limites de controlo é necessário, inicialmente, estimar o valor da amplitude de cada amostra que é calculado através da diferença entre o maior e o menor valor observado, descrito pela equação 6.

$$R = Xmax - Xmin$$

(6)

Obtendo os valores de n amostra, em que R_1, R_2, \dots, R_n são as amplitudes das amostras, o cálculo da amplitude média das amostras é calculado pela equação 7.

$$\bar{R} = \frac{\overline{R1} + \overline{R2} + \dots + \overline{Rn}}{n} \quad (7)$$

Os limites de controlo das cartas da amplitude R (figura 10), são então obtidos pelas expressões 8, 9 e 10, sendo que os parâmetros D_3 e D_4 estão dispostos no Anexo I e variam de acordo com o tamanho da amostra.

$$LSC = D_4 \bar{R}$$

$$LC = \bar{R}$$

$$LIC = D_3 \bar{R}$$

(8; 9;10)

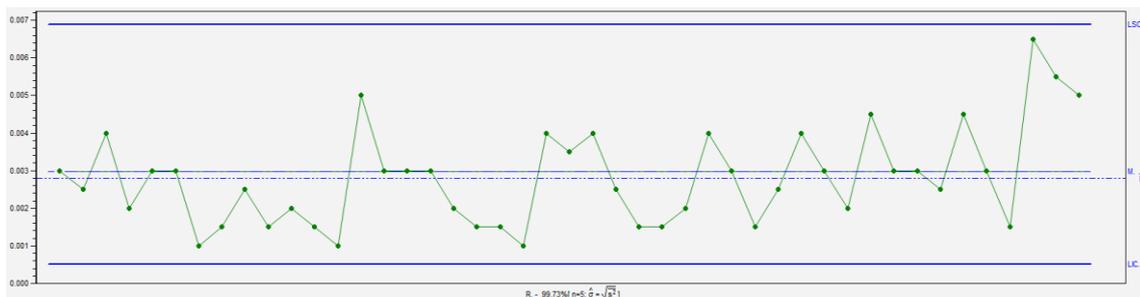


Figura 10 - Exemplo de uma carta das amplitudes (R) (Obtido através do software Q-Stat)

Cartas da Média (\bar{X}) e do Desvio-padrão (S)

De uma forma geral, tal como as cartas anteriores, as cartas de controlo \bar{X} - S são utilizadas quando o subgrupo da amostra é maior, geralmente superior a 8 unidades, ou quando a dimensão da amostra é variável. De acordo com Montgomery (2009), o método da amplitude (R) para estimar o desvio-padrão (σ) perde eficiência estatística para amostras maiores, tornando-se mais vantajoso calcular o desvio padrão (s) e recorrer às cartas \bar{X} - S .

À semelhança das cartas anteriormente descritas (\bar{X} -R), o método de cálculo dos limites de controlo do gráfico das médias é semelhante nas duas. Contudo, as constantes utilizadas para o cálculo dos limites de controlo no caso das cartas \bar{X} - S são diferentes. O cálculo dos limites

do gráfico das médias para as cartas Xbarra-S, são obtidos pelas equações 11, 12 e 13, sendo que o valor da constante A3 encontra-se disposto no Anexo I.

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S} \\ LC &= \bar{\bar{X}} \\ LIC &= \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S} \end{aligned} \tag{11;12;13}$$

Quanto à carta relativa ao desvio padrão (S), o desvio-padrão da amostra é calculado através da equação 14, em que x_i representa as observações individuais, \bar{X} a média de cada subgrupo e n o tamanho da amostra.

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \tag{14}$$

Relativamente ao cálculo da média dos desvio-padrão das amostras (\bar{S}), este valor pode ser obtido pela expressão 15, em que S_i corresponde ao desvio-padrão de cada subgrupo e n ao número de subgrupos.

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^k S_i}{n} \tag{15}$$

Os limites de controlo das cartas S (figura 11) são calculados pelas expressões 16, 17 e 18. Os valores da constante B3 e B4 encontram-se dispostos no Anexo I.

$$\begin{aligned} LSC &= B_4\bar{S} \\ LC &= \bar{S} \\ LIC &= B_3\bar{S} \end{aligned} \tag{16;17;18}$$

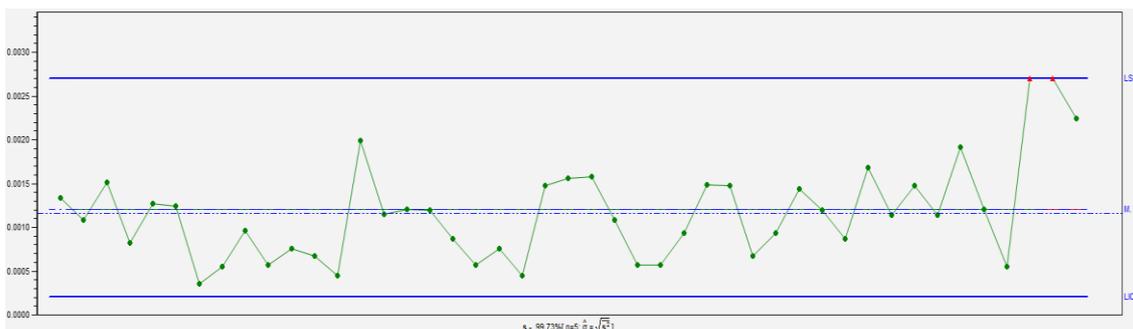


Figura 11 - Exemplo de uma carta dos desvios-padrões (S) (Obtido através do software Q-Stat)

2.2.3.3 Análise e interpretação dos gráficos de controlo

As cartas de controlo são a melhor ferramenta da qualidade para ajudar a identificar as causas especiais num processo. É assim importante analisar os gráficos de controlo, para identificar e avaliar determinados padrões que os dados possam seguir.

De acordo com Montgomery (2009), a maior parte das vezes, o principal problema consiste na capacidade de interpretar determinados padrões, sendo que requer experiência e conhecimento dos processos. A sua classificação como padrões aleatórios ou não aleatórios não se deve apenas orientar pelos princípios estatísticos das cartas de controlo.

Com o objetivo de ajudar a identificar determinados padrões não aleatórios, a Western Electric Company (1958) publicou um livro, onde constam oito regras de análise das cartas de controlo, também conhecidas como as oito regras de Shewhart, dispostas na Tabela 2.

Ao longo dos anos, estas regras têm vindo a ser republicadas, através de livros e normas, nomeadamente pela norma ISO 7870-2 (International Organization for Standardization, 2013).

A deteção de uma destas regras, indica a presença de causas especiais no processo, o que evidencia que este está fora de controlo estatístico. Desta forma, há a necessidade de compreender a causa e intervir para estabilizar o processo ou no limite redesenhá-lo.

Regra	Descrição
1	Um ou mais pontos fora dos limites de controlo
2	Nove pontos consecutivos no mesmo lado da linha central
3	Seis pontos consecutivos no sentido ascendente ou descendente
4	Catorze pontos consecutivos crescendo e decrescendo alternadamente
5	Dois de três pontos consecutivos na zona A, do mesmo lado da linha central

6	Quatro de cinco pontos consecutivos na zona B ou A do mesmo lado da linha central
7	Quinze pontos consecutivos na zona C acima e abaixo da linha central
8	Oito pontos consecutivos de ambos os lados da linha central, sem nenhum na zona C

Tabela 2 - Oito regras para detecção de causas especiais (adaptado de International Organization for Standardization, 2013)

Para analisar e aplicar as regras através das cartas de controlo, vários autores sugerem a divisão do gráfico em seis zonas iguais, designadas por A, B, C, sendo que cada uma delas se encontra a uma largura equivalente a 1 sigma (σ), e simétricas relativamente à linha central.

Na carta de controlo da figura 12 encontram-se representados os padrões exemplificativos das oito regras de detecção de causas especiais.

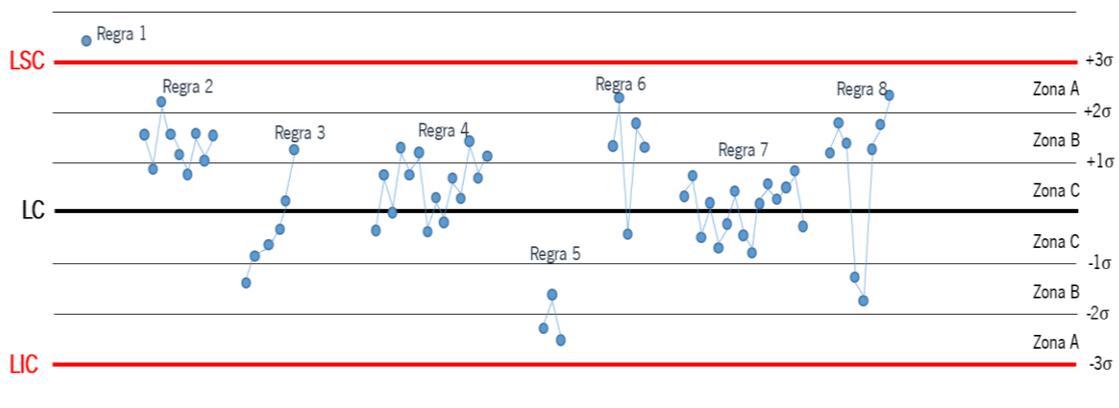


Figura 12 - Oito regras para a detecção de causas especiais (adaptado de QIMacros, 2022)

2.2.4 Capacidade Máquina e Processo

A capacidade de um processo, de acordo com a ASQ.d, (2022), é definida como uma medida estatística da variabilidade inerente a um processo de uma determinada característica.

Um estudo de capacidade pode ser utilizado para avaliar a capacidade de um processo produzir peças idênticas, durante um longo período de tempo, sob um determinado conjunto de condições, cumprindo em simultâneo com as necessidades do cliente.

De acordo com Pereira e Requeijo (2012), estes estudos têm extrema importância para um programa global da qualidade, pois possibilitam:

- Determinar se o processo é capaz de produzir de acordo com as especificações;
- Ajudar a selecionar ou a modificar um processo ou uma máquina;

- Selecionar fornecedores;
- Reduzir a variação do processo.

Geralmente, em projetos de melhoria contínua, nomeadamente projetos de *Six Sigma*, são efetuados estudos de capacidade do processo e calculados os respetivos índices no início e no final do projeto, de forma a se poder verificar e quantificar o nível de melhoria que ocorreu.

Habitualmente, é comum utilizarem-se dois índices para cálculo da capacidade:

- Índice Cp
- Índice CpK.

De acordo com George et al. (2005), o Cp é o índice que demonstra o potencial de capacidade de um processo, ou seja, qual a capacidade de este atender aos limites de especificação. O CpK é o índice que demonstra o desempenho real do processo, ou seja, o quão dentro dos limites o processo está a produzir. A figura 13 demonstra graficamente a relação da variação entre os dois índices.

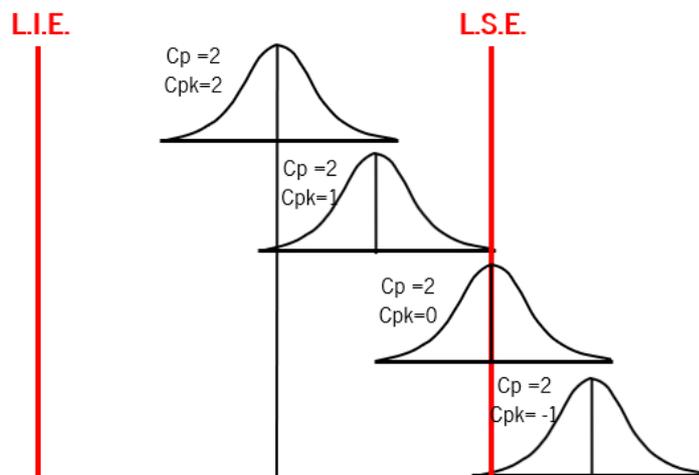


Figura 13 - Variação de Cp vs Cpk (adaptado de (InfinityQS, 2022))

Para efeitos do seu cálculo, o índice Cp baseia-se na relação entre os outputs do processo e os limites de especificação, ou seja, o valor do índice permite saber o quão dentro o processo está dos limites (McAdam e Lafferty, 2004).

Na figura 14 é possível visualizar graficamente o formato do modelo de distribuição quando se verifica o aumento do nível de Cp. No entanto, umas das limitações deste índice é que apenas

incide sobre a variabilidade do processo que está a ser avaliado, não tendo em conta a sua localização relativamente aos limites de especificação.

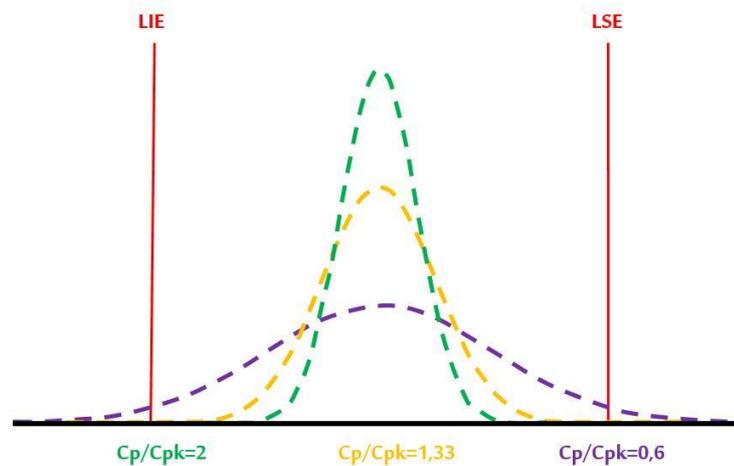


Figura 14 - Relação entre Cp e Cpk em processos centrados (fonte: CPK Studio, 2022)

A equação 19 indica a expressão matemática utilizada para o cálculo do índice de capacidade de processo, que corresponde ao quociente da variação permitida para o processo e a variação normal existente no mesmo (George et al., 2005).

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

σ – Desvio padrão do processo

(19)

O índice de capacidade do processo pode ser avaliado de acordo com a Tabela 3 que refere, para um determinado valor de índice, quais as características do produto produzido e quais as respetivas ações a adotar.

O índice de capacidade mínimo recomendável para um processo é de 1.33, o equivalente a 4 sigma (Pistamiglio, 1963).

Valor do Índice	Processo	Produto	Ações a adotar
$C_p < 1$	Incapaz	Fora dos limites de especificação	Aumento do controlo do processo, retrabalho, etc.

$C_p = 1$	Incapaz	Produto não conforme pode não ser detetado	Aumento do controlo do processo e inspeção
$1 < C_p < 1,33$	Aceitável	Capacidade de cumprir as especificações	Redução da inspeção e utilização de cartas de controlo
$C_p > 1,33$	Capaz	Totalmente capaz de cumprir com as especificações	Inspeção pontual e utilização de cartas de controlo

Tabela 3 - Relação entre o índice C_p e a percentagem de produtos defeituosos (fonte: Silveira, 2012)

Ao contrário do C_p , o índice C_{pk} tem em conta no seu cálculo a centralidade face à especificação técnica do processo, pelo que é um verdadeiro indicador da capacidade do processo (Requeijo, 2003).

Este índice é calculado em relação ao limite superior (LSE) e limite inferior (LIE) de forma individual. De acordo com George et al.(2005), este índice permite saber qual é o posicionamento da média do processo em relação a cada um dos limites de especificação, tal como evidenciado na equação 20.

$$C_{pk} = \text{mínimo} \left(\frac{LSE - \bar{x}}{3\sigma}; \frac{LSE - \bar{x}}{3\sigma} \right)$$

σ – Desvio padrão do processo

(20)

Quando $C_p = C_{pk}$, o processo está convenientemente centrado no ponto médio dos limites de especificação. No entanto, se $C_{pk} < C_p$, então o processo está descentrado. Segundo Montgomery (2009), a diferença do C_{pk} em relação ao C_p é uma medida direta de quão descentrado o processo está a operar.

Por vezes, é também comum utilizarem-se outros indicadores de desempenho para um processo, nomeadamente o nível de sigma (σ). Na Tabela 4, completada pelo Anexo 2, encontram-se representados alguns valores de capacidade de processo (C_{pk}) e a sua relação com outros indicadores, como DPMO (defeitos por milhão de oportunidades), nível de sigma e percentagem de produto conforme.

CpK	Nível Sigma	DPMO	% Produto OK
0,5	1.5	500 000	50%
1	3	66 800	93.32%
1,33	4	6210	99.379 %
2	6	3.4	99.99966%

Tabela 4 - Relação entre indicadores de desempenho ((Adaptado de: iSixSigma-Editorial, 2022)

2.2.5 Amostragem

Em linguagem matemática e estatística, uma amostra consiste num conjunto de elementos que são extraídos de um conjunto global, também designado de população. Estes elementos da amostra têm com função fornecer dados ou informações sobre determinadas características, que são normalmente utilizados para pressupor essas mesmas características na população global.

No CEP, o processo de amostragem tem uma grande importância, pois as amostras devem ser recolhidas do processo de forma a permitirem a aleatoriedade e independência dos dados, assim como a correta transmissão das informações sobre a população.

No que diz respeito à definição do processo de amostragem, para efeitos da implementação de CEP, existem dois componentes a ter em consideração:

- Dimensão
- Frequência

A dimensão da amostra, também designada por vezes de subgrupo, está relacionada com o número de itens recolhidos do processo de cada vez, que vão permitir avaliar uma determinada característica da qualidade. A dimensão deve ser pensada de modo que as diferenças entre subgrupos possam ser maximizadas e as diferenças devido a causas especiais dentro de um determinado subgrupo possam ser minimizadas.

Já a frequência diz respeito ao número de vezes, ou ao intervalo de tempo, em que o número de amostras deve ser recolhido. Geralmente, a frequência pode ser definida em termos temporais ou em intervalo de peças, como por exemplo recolher um subgrupo a cada duas horas, ou de trinta em trinta peças.

De acordo com Montgomery (2009), o dimensionamento da estratégia de amostragem é extremamente complexo, pois esta depende de vários fatores, como:

- Custos associados à recolha dos dados, nomeadamente mão-de-obra ou peças cujo controlo é destrutivo;
- Custos associados à análise das amostras;
- Perdas resultantes de um determinado processo a operar fora de controlo.

A taxa de produção tem também um papel importante no dimensionamento do processo de amostragem. Se num determinado produto a taxa de produção for alta, a amostragem deve ser mais frequente que num produto com taxa de produção mais lenta, pois há uma maior probabilidade de produzir uma maior quantidade de produto não conforme quando ocorrem mudanças no processo (Montgomery, 2009). Para o autor, a situação ideal do ponto de vista da qualidade, seria recolher uma grande quantidade de amostras com elevada frequência, de forma a aumentar a probabilidade de deteção de desvios da produção.

No entanto, este conceito de amostragem além de não ser economicamente viável devido aos custos associados, estaríamos a caminhar para um modelo de inspeção a 100%, fugindo aos conceitos da metodologia de CEP e à aplicação dos princípios estatísticos.

Geralmente na Fase I da implementação de um programa de CEP as amostras são recolhidas em intervalos mais curtos e subgrupos maiores. Contudo, após o gráfico de controlo ser estabelecido pode ser necessário redimensionar o tamanho da amostra, nomeadamente se o processo estiver estável e se a variabilidade dentro das amostras for muito pequena, pode-se reduzir o tamanho da amostra (Stapenhurst, 2005).

Juran e Godfrey (1998) salientaram que ao implementar sistemas de amostragem existem riscos associados, nomeadamente o de aceitar lotes não conformes e estes serem conformes, assim como o inverso. Estatisticamente, estes riscos são designados de Erro Tipo I e Tipo II, estando representados na Tabela 5.

Conclusões a partir da amostra	Alternativas verdadeiras	
	H0 (lote "bom")	H1 (lote "mau")
H0 (decisão: aceitar o lote)	Conclusão correta!	Erro de tipo II (probabilidade β de ocorrer ou "risco do consumidor")

H1 (decisão: rejeitar o lote)	Erro de tipo I (probabilidade α de ocorrer ou “risco do produtor”)	Conclusão correta!
----------------------------------	---	--------------------

Tabela 5 - Erros associados à amostragem (fonte: Esteves, 2012)

Uma forma de avaliar se o processo de amostragem está bem definido e se as decisões relativas à dimensão e à frequência da amostragem estão corretas, é através do *Average Run Length* (ARL). O ARL consiste no número médio de amostras necessárias até obter um ponto fora dos limites de controlo. O ARL pode ser calculado a partir da expressão 21.

$$ARL = \frac{1}{1 - \beta}$$

(21)

Quando um processo se encontra sob controlo estatístico, é desejável que o valor de ARL seja maior quanto possível de forma a reduzir o número de falsos alarmes. Já quando um processo está fora de controlo estatístico, é desejável que o valor do ARL seja o menor possível, de forma a detetar com maior rapidez uma alteração no processo.

Assim, os erros do tipo I e II permitem avaliar a eficiência dos gráficos na sua capacidade de detetar a presença de causas assinaláveis no processo, já o ARL mede a rapidez da deteção.

2.2.6 Implementação do CEP

De acordo com Antony e Taner (2003) geralmente as pessoas pensam que o CEP se resume à implementação de gráficos de controlo para visualizar os dados recolhidos, e que a sua utilização é meramente para a satisfação dos clientes.

A implementação da metodologia de CEP é um processo bastante complexo em quase todas as organizações, devido a fatores como a dimensão, tecnologia disponível, tipo de produtos ou serviços produzidos e, sobretudo um dos mais importantes, a cultura organizacional.

A execução bem-sucedida de um programa de CEP necessita do envolvimento de toda a organização e sobretudo do apoio da gestão de topo. Geralmente, quando um programa de CEP é implementado tem tendência a expor os pontos fracos da estrutura organizacional ou a sua falta de comprometimento para com os novos projetos. Oakland (2003) refere que nas organizações

onde a metodologia de CEP foi implementada inadequadamente, esta deveu-se sobretudo há falta de compromisso ou incentivo da gestão de topo. Qualquer sistema de controlo de processos resistirá à falta de compromisso da gestão. Contudo, a ausência de apoio poderá levar à perda de controlo da qualidade dos produtos produzidos e aos custos associados.

A implementação da metodologia de CEP numa organização deve ser constituída por várias etapas. Neste sentido, no Anexo 3 encontra-se representado um fluxograma sobre a sua implementação.

2.3 Software Estatístico: Q-DAS

Devido à necessidade de registo e recolha de dados, assim como a elaboração de cartas de controlo e realização de estudos de capacidade máquina e capacidade do processo, recorreu-se ao uso de softwares digitais especializados na metodologia. Foram assim utilizados dois *softwares* do grupo Q-DAS, o Procella para registo e recolha de dados dos processos e o Q-STAT para a construção das cartas de controlo e realização dos estudos de capacidade máquina e capacidade de processo.

2.3.1 Q-DAS: Procella

O *software* Procella é um software utilizado pelos operadores no chão de fábrica que permite o registo de dados de forma manual, ou de forma direta, através da interface dos equipamentos de medição. A conexão dos equipamentos de medição com o Procella, traz enormes vantagens para os operadores e empresas, pois facilita a recolha de dados, permite uma grande redução de tempo no registo de dados por parte do operador em relação ao registo manual e reduz significativamente a probabilidade de erros na inserção de dados. Devido ao facto de ser um *software* com bastantes anos e já há muito utilizado em várias indústrias, o Procella tem vindo a aumentar as suas funcionalidades, permitindo, neste momento, uma total personalização de acordo com os requisitos do utilizador (exemplo do layout do operador disposto na figura 15).

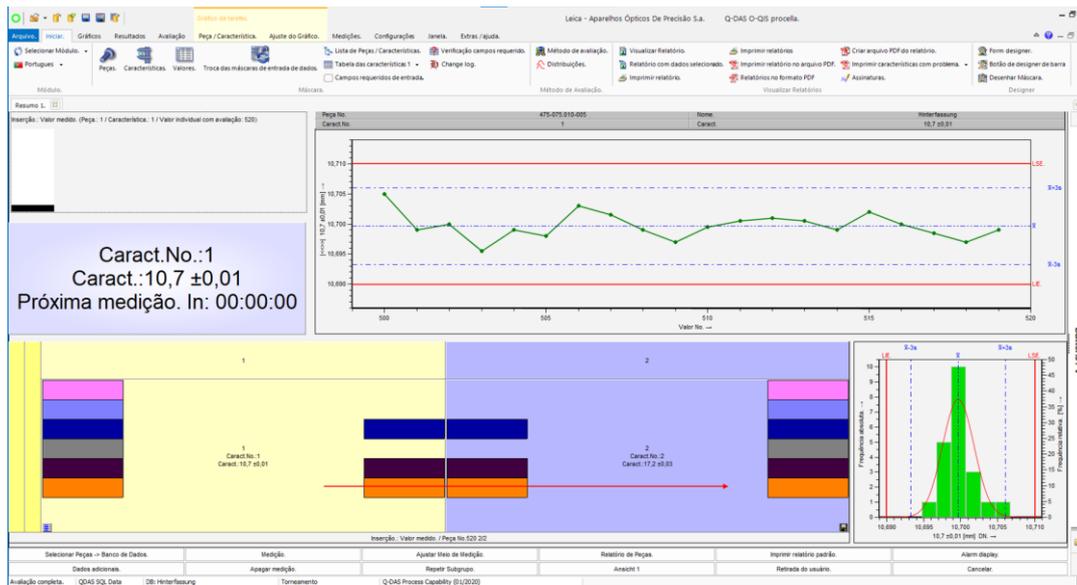


Figura 15 - Exemplo de *layout* operador do *software* Procella

O Procella dispõe assim de uma grande variedade de gráficos e funcionalidades estatísticas disponíveis, assim como a possibilidade de configuração de alarmes de controlo de processo e a possibilidade de integração de modelos CAD 3D para dar apoio visual ao operador do local onde deve efetuar o controlo de qualidade e o tipo de característica. Além destas funções, o Procella® permite ainda a integração com o sistema SAP, possibilitando assim uma combinação entre os dois *softwares* e a maximização da eficiência das empresas e da recolha de dados.

2.3.2 Q-DAS: Q-STAT

O Q-STAT, disposto na figura 16, é um *software* estatístico utilizado para análise de dados, construção das cartas de controlo e elaboração de estudos e relatórios de capacidade de máquinas e processos.



Figura 16 - Exemplo de layout do software Q-STAT

Para efeitos de análise, o Q-STAT® trabalha com dados registrados anteriormente pelo Procella na base de dados da organização que é comum a ambos os softwares. Após a leitura dos dados selecionados, o programa gera de forma automática relatórios de capacidade, dando a possibilidade ao utilizador de o relatório seguir métodos de cálculo de acordo diferentes referenciais normativos.

A figura 17, apresenta um exemplo de um relatório de capacidade de processo elaborado pelo software Q-STAT®.

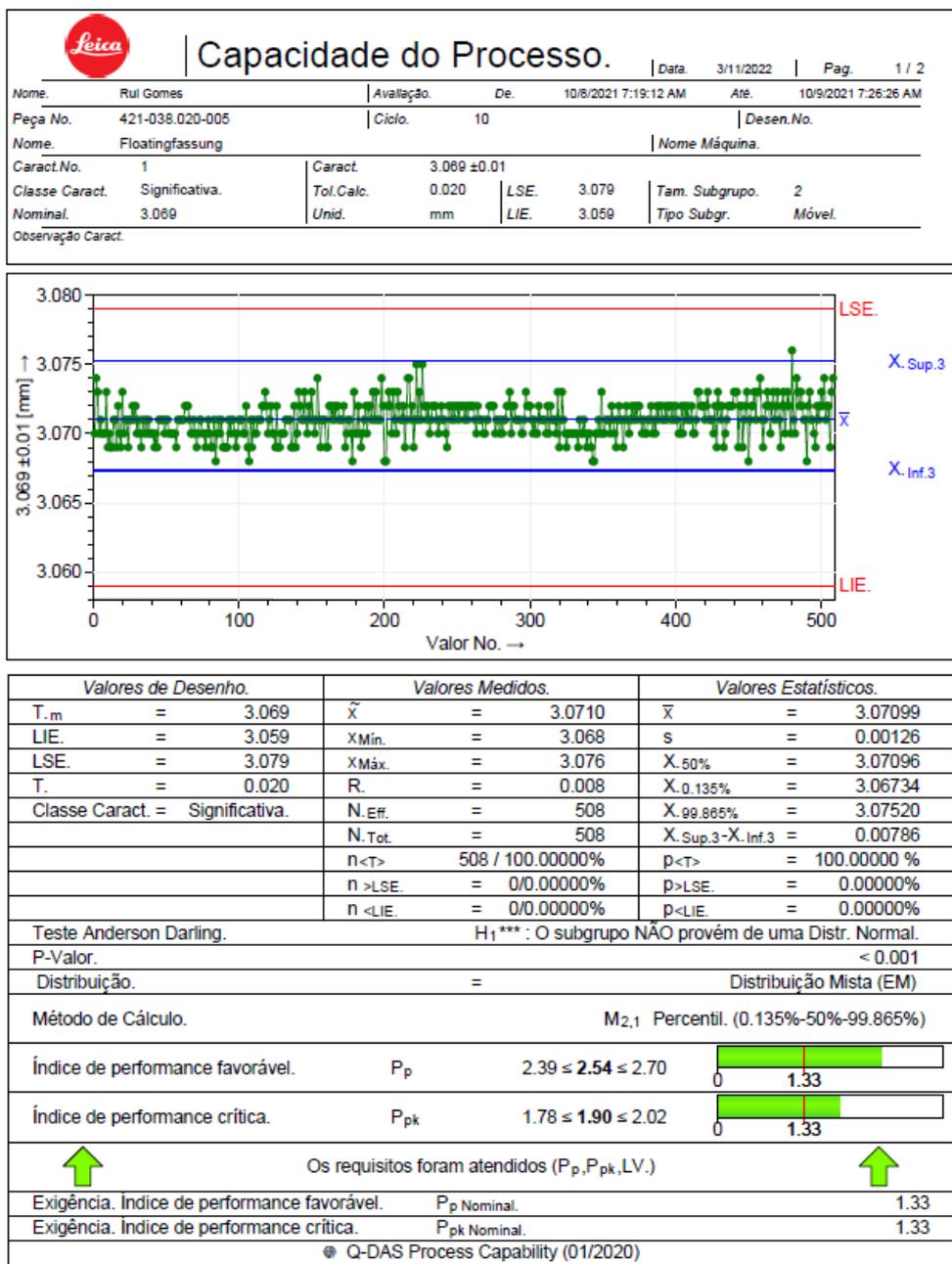


Figura 17 - Exemplo relatório de capacidade do processo

3 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Neste capítulo da dissertação é apresentado o grupo empresarial Leica *Camera*, assim como a unidade industrial onde se desenvolveu o presente trabalho. Inicialmente é feita uma breve descrição do grupo Leica *Camera*, discriminando a sua história, as suas divisões e as suas unidades de negócio. Seguidamente, é indicada a missão, visão, estratégia e valores que a empresa procura transmitir. Por fim, é apresentada a Leica Portugal e a sua unidade produtiva, onde são descritas as diferentes secções da produção, assim como os seus processos produtivos.

3.1 Leica Camera

A Leica é uma empresa ótica alemã, fundada em 1869 por Ernst Leitz, em Wetzlar, na Alemanha e foi pioneira no fabrico de câmaras fotográficas 35mm (figura 18) com formato compacto. Este formato permitia uma maior portabilidade aos fotógrafos da época, assim como uma maior qualidade das suas fotografias. Ainda nos dias, hoje a Leica é reconhecida como uma das melhores marcas a nível mundial, quer pela qualidade de fotografia das suas câmaras e objetivas, quer pela durabilidade e robustez dos seus produtos.



Figura 18 - Protótipo da primeira câmara Leica UR - 35mm

Aquando da fundação da empresa em 1869 por Ernst Leitz, o logótipo da marca e os seus produtos ostentavam o nome do seu fundador, Leitz. No entanto, em 1986, a marca até então

designada por Leitz, passou a chamar-se de Leica devido à fama do seu nome comercial. Este nome, resultou da junção das primeiras 3 letras do nome Leitz, com as duas primeiras letras da palavra câmara, resultando em Leica. Esta alteração está evidenciada na figura 19.



Figura 19 - Alteração logótipo Leica em 1986

A Leica *Camera* está presente em diversos países do mundo através das suas diversas *Galleries*, *Akademies* e as Leica *Retail Stores* que se dedicam à venda a retalho dos produtos. Além disso, de forma a homenagear o Oscar Barnack, o “pai” da Leica-Ur, a organização atribui anualmente o prémio Oskar Barnack *Award*.

Os centros de produção e desenvolvimento dos produtos do grupo Leica estão centralizados em dois países europeus, Alemanha e Portugal. A casa mãe localiza-se na Alemanha, na cidade onde a marca foi fundada, em Wetzlar. Em Portugal, a organização está sediada na cidade de Vila Nova de Famalicão. A figura 20 evidencia a distribuição das unidades produtivas da Leica.



Figura 20 - Distribuição das unidades de produção da Leica *Camera*

Atualmente, a Leica produz essencialmente seis gamas de produtos, apresentados na figura 21.



Câmaras

Objetivas

Miras



Binóculos



Monóculos



Rangemaster

Figura 21 - Gamas de produtos Leica (fonte: Leica Portugal)

3.1.1 Missão e Visão

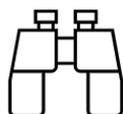
Hoje em dia, os produtos e os mercados estão sujeitos a fortes mudanças. Existem segmentos da indústria da fotografia e vídeo que já estão a ser fortemente afetados pelas tecnologias dos *smartphones*, e que, por isso, correm um grande risco de ver os seus produtos serem substituídos por eles. Esta mudança nos mercados tradicionais apesar de representar uma grande ameaça para este tipo de organizações, traz também consigo um conjunto de oportunidades.

A Leica continua assim a investir no seu *core business*, a fotografia e a *sportoptics*, através do desenvolvimento de novos produtos e procurando apostar em mercados de nicho e locais de venda que garantem estabilidade e lucro. A missão e a visão da Leica estão apresentadas na figura 22.



Missão:

Baseado numa marca forte oferecemos soluções inovadoras “Premium” com qualidade indiscutível. Este é o fundamento da nossa herança para um futuro de sucesso e mundialmente ser sempre a primeira escolha para os nossos clientes.



Visão:

Com soluções “Premium” e orientadas para clientes, observamos, alcançamos e guardamos momentos inesquecíveis do nosso mundo.

Figura 22 - Missão e Visão (fonte: Leica Portugal)

3.1.2 Valores

Os valores da marca, representados na figura 23, transmitem os princípios com que a Leica se compromete e que devem servir de guia à organização.



Figura 23 - Valores da marca Leica (fonte: Leica)

Na unidade produtiva de Portugal, a Leica procura transmitir aos seus funcionários os valores representados na figura 24.

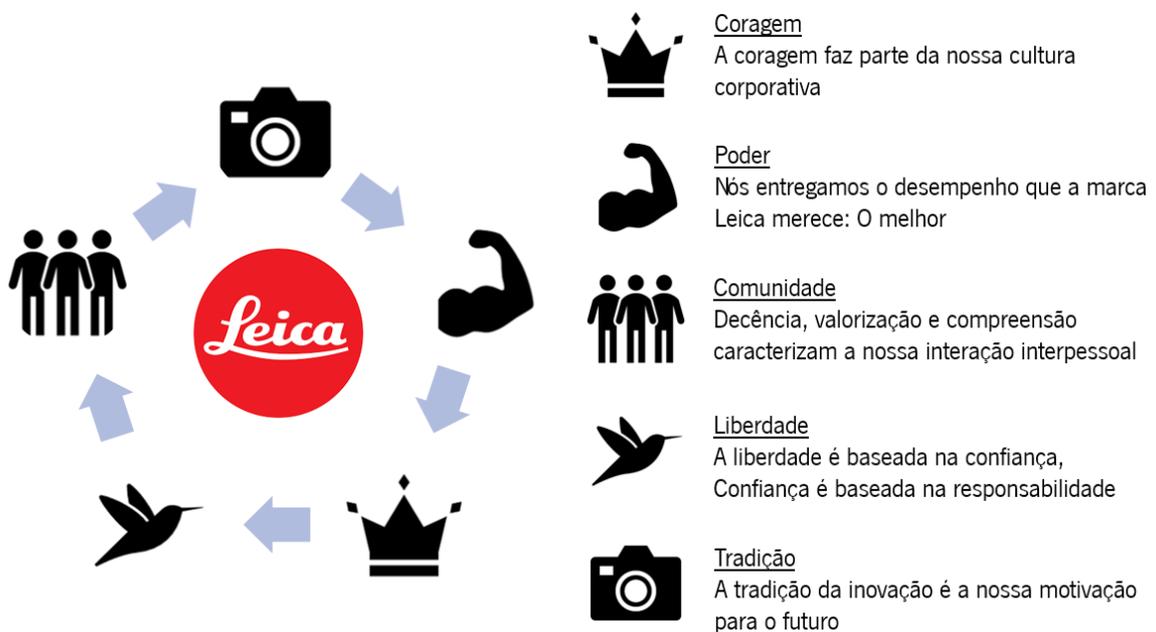


Figura 24 - Valores Leica Portugal (fonte: Leica Portugal)

3.2 Leica Portugal

Em Portugal, a Leica está representada na cidade de Vila Nova de Famalicão com a sua unidade produtiva, e no Porto com a Leica *store*, como evidenciado na figura 25.

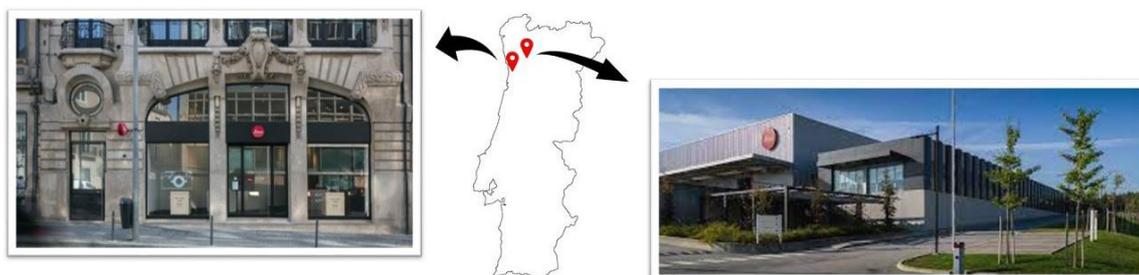


Figura 25 - Distribuição da presença da Leica em Portugal

A fábrica é especializada na produção de componentes mecânicos e óticos, que posteriormente são pré-montados e enviados para a casa mãe. Na Alemanha é terminada a montagem e são efetuados os acabamentos finais.

Atualmente, a Leica Portugal é constituída por aproximadamente 800 colaboradores e está, juntamente com a casa mãe, envolvida na produção e desenvolvimento de quase todo o tipo de produtos.

Geralmente, o desenvolvimento dos novos produtos é iniciado na sede e a sua produção é acompanhada pela engenharia da unidade portuguesa. Na Tabela 6 estão evidenciadas as responsabilidades de cada unidade.

Leica Camera AG (Wetzlar, Alemanha)	Leica – Aparelhos Óticos de Precisão, SA (VN Famalicão, Portugal)
Gestão estratégica (investimentos, marketing, posicionamento da empresa, etc.); Compras estratégicas (procurement); Investigação e desenvolvimento de produtos; Validação de produtos; Indicação de necessidades de venda; Finalização de produtos semiacabados recebidos de LCP.	Relatório operacional e financeiro; Planeamento da produção, cumprimento de encomendas; Gestão de clientes terceiros; Investigação e desenvolvimento; Qualificação de processos e produtos; Gestão de fornecedores locais; Gestão de recursos humanos; Serviço Técnico (Sport Optics).

Tabela 6 - Responsabilidades da LCW e LCP

No ano de 2020, a Leica Portugal começou a comercializar produtos totalmente desenvolvidos e fabricados em Portugal, tendo a designação comercial no produto “*made in Portugal*”. Além dos produtos Leica são também produzidos alguns artigos para clientes externos à empresa.

Atualmente, a empresa Portuguesa atinge uma faturação anual de sensivelmente 52 milhões de euros.

3.3 Processo Produtivo

A fábrica em Vila Nova de Famalicão foi inaugurada em 2013 e é constituída por apenas um edifício equipado com a mais recente tecnologia. Na figura 26 encontra-se representado o *layout* do edifício, mostrando as secções produtivas e as restantes áreas de suporte.

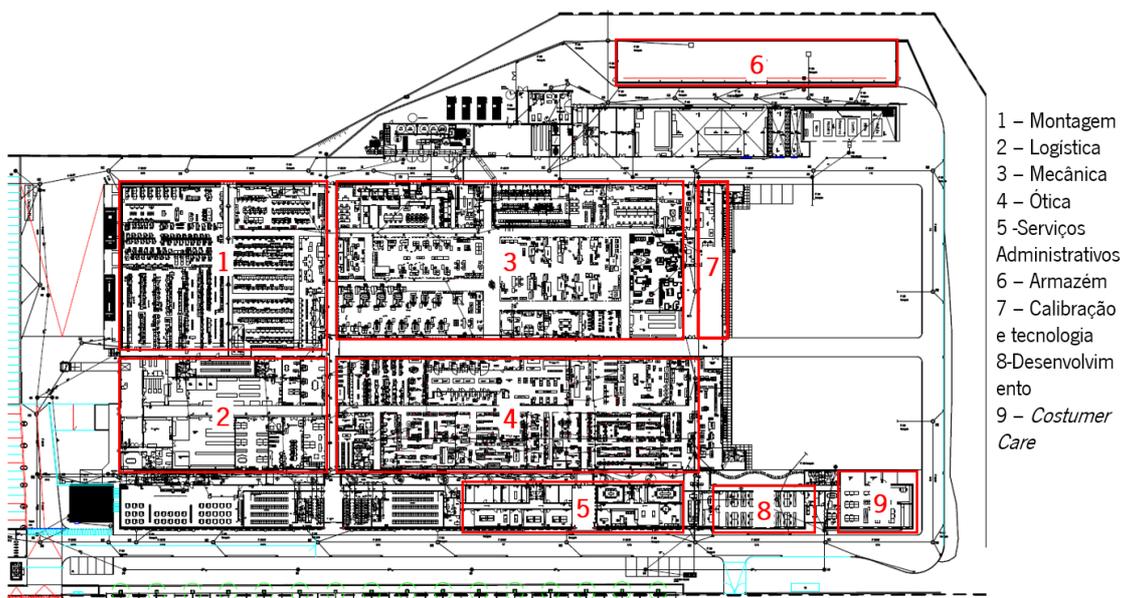


Figura 26 - Layout Empresa

A secção de Mecânica dedica-se à produção e acabamento estético de componentes mecânicos dos produtos. A secção de ótica dedica-se à produção de lentes e prismas que garantem a qualidade da captura de imagem das câmaras. Por fim, a secção de montagem é onde são agregados os componentes provenientes da secção de Mecânica e da secção de ótica, bem como componentes eletrónicos provenientes de fornecedores externos, resultando no produto final de excelência que caracteriza a Leica.

3.3.1 Secção Mecânica

A secção de Mecânica, onde se realizou o presente projeto, está dividida em duas grandes áreas produtivas, a maquinagem e o tratamento de superfícies.

A secção de maquinagem engloba as seguintes subsecções: torneamento, fresagem, torneamento fino, maquinação convencional e gravação. Já o tratamento de superfícies é composto por seis subsecções: polimento, anodização, cromagem, pintura cataforética (KTL), pintura e pintura de baixo-relevo. O *layout* da secção de Mecânica está representado na figura 27.

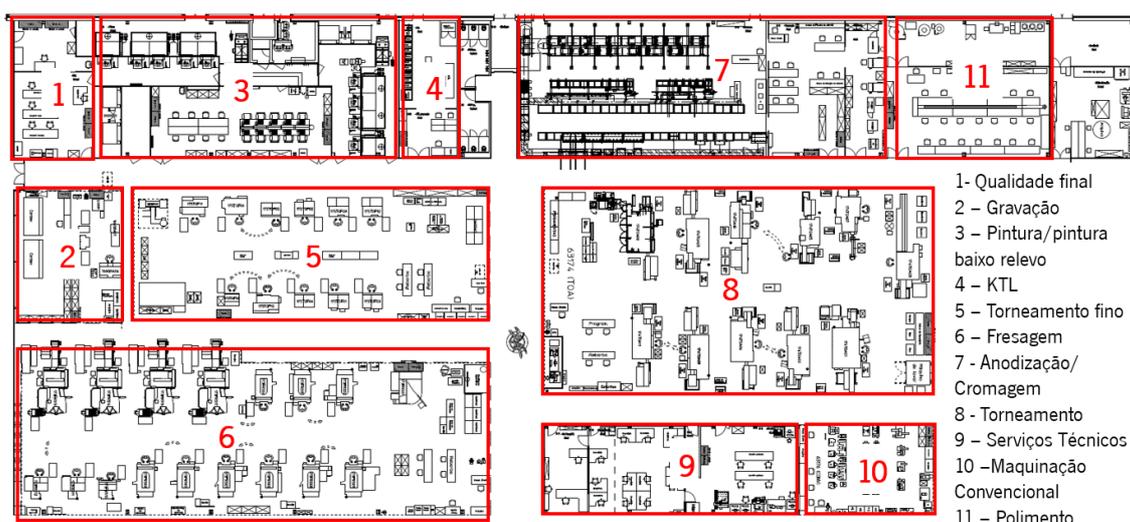


Figura 27 - Layout Secção Mecânica

3.3.1.1 Maquinagem

A maquinagem consiste num conjunto de processos mecânicos de corte e desbaste de materiais metálicos, com o objetivo de criar uma peça ou de proporcionar uma forma. A secção de Mecânica está equipada com máquinas de Controlo Numérico Computorizado (CNC) de última geração para a produção das peças metálicas, no entanto possui também outros equipamentos, ditos convencionais, que são utilizados pontualmente no processo produtivo.

Nos produtos Leica as principais matérias-primas utilizadas são o alumínio, latão, magnésio, aço e titânio. As peças podem ser maquinadas ou a partir de blocos, ou a partir de peças provenientes de fundição ou a partir de peças pré-maquinadas originárias de fornecedores externos.

Torneamento

O torneamento é a primeira fase do processo de produção de peças cilíndricas, como por exemplo, o corpo de uma objetiva ou a estrutura de uma mira, como representado na figura 28. Esta subsecção está equipada com equipamentos que dispõem de alimentação automática por barra, de forma a reduzir a intervenção do operador no processo e garantir uma melhor e maior cadência de produção.



Figura 28 - Torneamento

Fresagem

Na subsecção da fresagem, as peças são maquinadas em equipamentos horizontais, no caso de peças que se iniciam a partir de blocos maciços, como o exemplo da figura 29, ou em equipamentos verticais, no caso de peças provenientes da fundição ou de componentes maquinados previamente. No caso de peças com elevado nível de complexidade ou para a investigação e desenvolvimento de protótipos, a fresagem dispõe ainda de equipamentos CNC de cinco eixos. Estes equipamentos são utilizados devido à sua versatilidade, precisão de medidas e qualidade de acabamento.



Figura 29 – Fresagem

Torneamento Fino

No torneamento fino as peças são maquinadas de forma individual, dado a tipologia de máquinas utilizadas não permitir alimentação automática de peças. Esta seção possui também equipamento específico para roscar o corpo das objetivas, possibilitando assim a integração de duas ou três peças. Esta junção é efetuada através de roscas trapezoidais com dezenas de entradas, que possibilitam e garantem o movimento de focagem constante e uniforme das famosas objetivas Leica.



Figura 30 - Torneamento fino

Maquinação Convencional

A maquinação convencional é uma subsecção com um número reduzido de equipamentos, dos quais fazem parte as fresadoras e os tornos convencionais. Atualmente, esta subsecção oferece capacidade produtiva adicional, sendo utilizada em intervenções simples de suporte às outras secções. Além disso, tem uma importante função na produção de máquinas analógicas, hoje em dia referenciadas como *vintage*, que estão novamente a ganhar alguma expressão no mercado.

Gravação

A gravação é a último processo da maquinagem, onde as peças são gravadas através da penetração de fresas, figura 31, ou por equipamento laser.

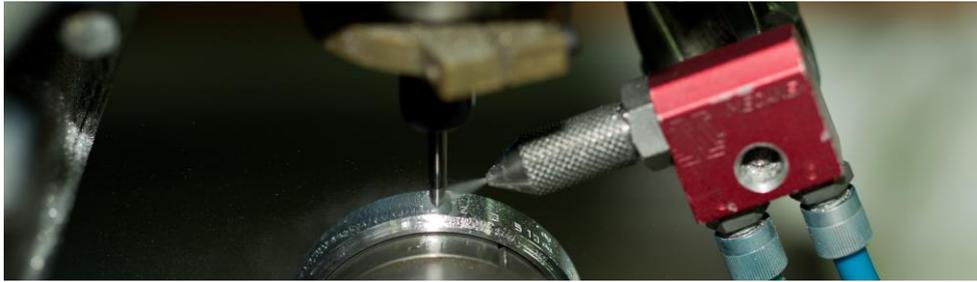


Figura 31 – Gravação

3.3.1.2 Tratamento de superfícies

O tratamento de superfícies, como próprio nome indica, tem como objetivo dar um conjunto de tratamentos estéticos e funcionais às superfícies das peças metálicas provenientes da maquinagem.

Polimento

Nesta área produtiva o processo inicia-se com o polimento das peças. O polimento é um processo muito exigente e moroso, no qual os colaboradores de forma manual e totalmente artesanal realizam o polimento (figura 32). Este tratamento tem com finalidade proporcionar às peças uma rugosidade constante e um acabamento único.



Figura 32 - Polimento

Anodização

A anodização é um processo químico que consiste na deposição de um filme de óxido sobre as peças metálicas. A deposição é feita através da imersão das mesmas em um banho eletrolítico (figura 33). Este tratamento confere resistência à peça e garante uma elevada qualidade estética.



Figura 33 – Anodização

Cromagem

A cromagem é um processo idêntico à anodização, sendo a cobertura do metal feita com uma fina camada de cromo em vez de óxido. Esta subsecção está dirigida para os produtos produzidos em latão.

Pintura Cataforética (KTL)

A pintura cataforética (KTL), representada na figura 34, consiste num processo de eletrodeposição de tinta através de um efeito elétrico, onde o metal é penetrado e coberto de tinta. Este processo é, geralmente, utilizado em peças de magnésio, e além de conferir cor ao material concede também resistência à corrosão.



Figura 34 – KTL

Pintura

A pintura, representada na figura 35, é um processo que é realizado de forma manual e individual numa sala *class* 10000. Neste processo as peças são colocadas em mecanismos próprios para evitar sombras e marcas da pintura.



Figura 35 - Pintura

A pintura de baixo-relevo, evidenciada na figura 36, é um processo onde o operador utiliza um doseador com uma agulha muito fina para colocar tinta em excesso nas ranhuras das gravações. Após a secagem da tinta, procede-se à remoção da tinta em excesso, resultando num preenchimento uniforme das zonas gravadas.



Figura 36 - Pintura baixo-relevo

3.3.2 Secção Ótica

A secção de ótica é composta por duas grandes áreas produtivas: a ótica plana e a ótica esférica. A ótica plana é onde se produzem prismas com aplicação em binóculos e máquinas fotográficas. A ótica esférica é onde se produzem as lentes para binóculos, miras e objetivas. As lentes e os prismas são componentes óticos que têm como finalidade guiar e corrigir os raios de luz desde a entrada no aparelho, de modo a produzir uma imagem perceptível ao olho humano ou, no caso de uma câmara, de um sensor ótico. Estes componentes chegam às linhas de

produção em formas prensadas de lentes ou prismas e com geometria aproximada do produto final.

A secção da ótica engloba um conjunto de diferentes processos, representados na figura 37.

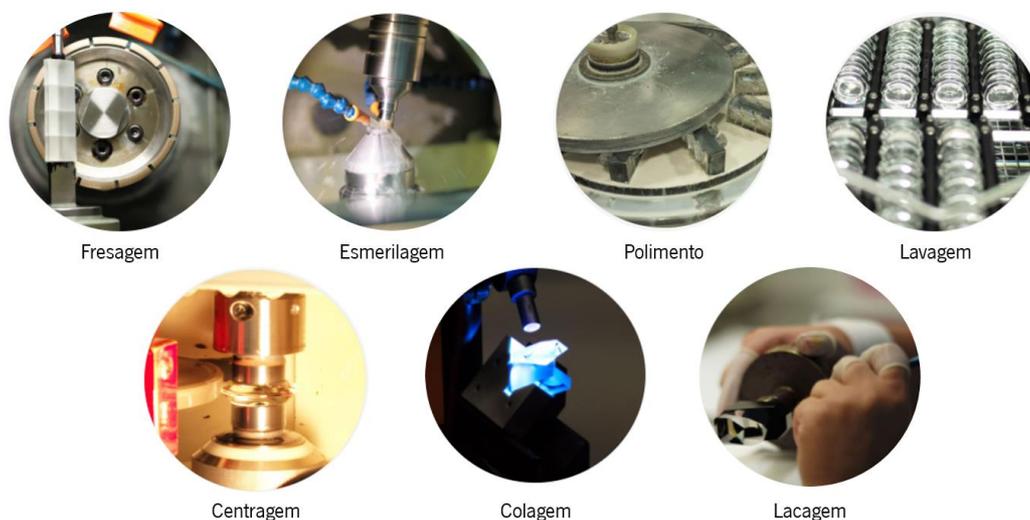


Figura 37 - Ótica (fonte: Leica.pt)

3.3.3 Secção Montagem

A secção de montagem é onde os produtos Leica começam a ganhar vida. É nesta secção que derivado de um enorme conjunto de complexos processos produtivos aliados à mais recente tecnologia e mão-de-obra precisa, são obtidos os principais instrumentos óticos produzidos, nomeadamente binóculos, telescópios, máquinas fotográficas, objetivas e miras telescópicas.

O processo de montagem é um processo realizado de forma totalmente manual, que permite obter produtos quase artesanais, sendo este um fator diferenciador face a outras empresas concorrentes.

Na montagem, os componentes provenientes da secção de Mecânica e óticos são acoplados juntamente com componentes eletrónicos provenientes de fornecedores externos.

Quando concluído o processo de montagem, os produtos passam pela inspeção de qualidade e são expedidos para o cliente final, como demonstra no esquema da figura 38.

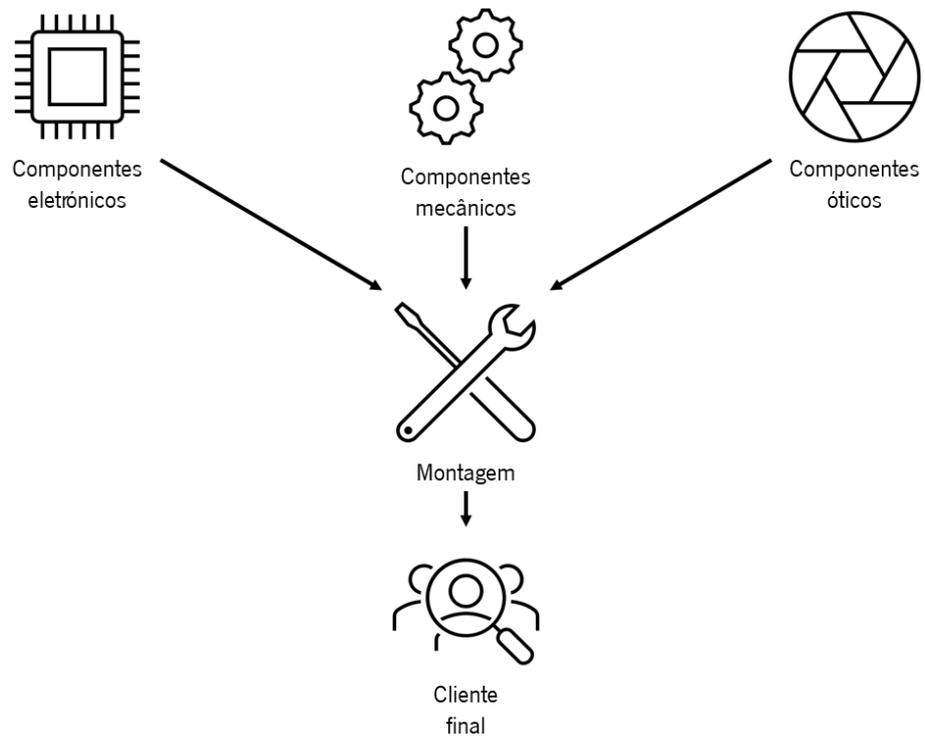


Figura 38 - Esquema secção de montagem

4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL

No presente capítulo da dissertação é feita uma breve descrição da situação atual da secção de Mecânica no que diz respeito à aplicação da metodologia de CEP nos seus processos. Seguidamente, é exposto o modo como são executadas algumas atividades complementares relacionadas com a aplicação da metodologia, nomeadamente processos de amostragem, tipos de documentos e cartas de controlo utilizadas, para posteriormente permitir a identificação de possíveis oportunidades de melhoria.

4.1 Estado Atual

Metodologia CEP

No que diz respeito à aplicação da metodologia de CEP, a secção de Mecânica não tinha implementada esta metodologia nos seus processos, mas sim, apenas algumas das suas ferramentas.

Nesta secção, a única ferramenta e abordagem utilizada da metodologia, era a utilização de cartas de controlo para verificar tendências na produção. Contudo, esta ferramenta da qualidade apenas era utilizada para a inspeção de características do produto cujo controlo era realizado a 100%, não sendo a sua utilização transversal a todas as características. Outro aspeto a salientar, é que as cartas utilizadas eram cartas de controlo de valores individuais, ou seja, cartas em que cada ponto assinalado correspondia a uma peça, como demonstrado na figura 39.

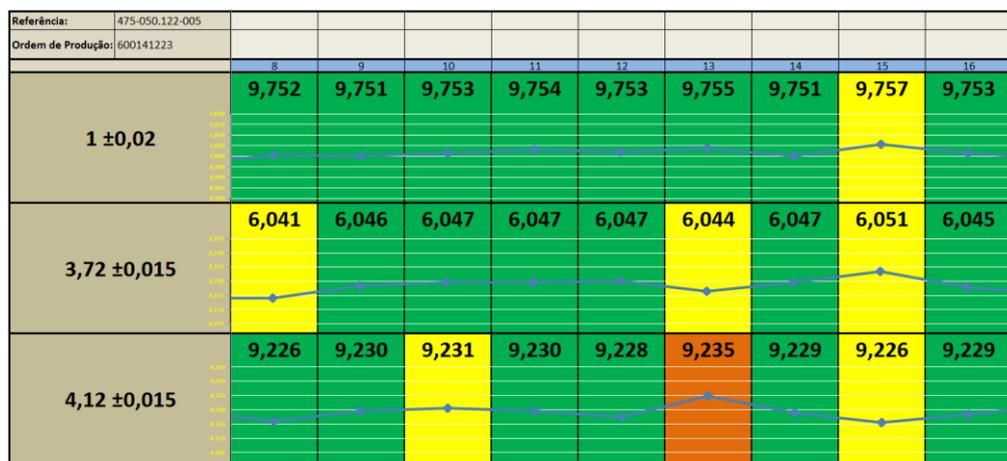


Figura 39 - Exemplo de uma carta de controlo previamente utilizada

- Relativamente à peça:
 - Referência;
 - Fase de produção;
 - Número da alteração: versão do desenho técnico utilizada atualmente;
 - Centro de trabalho: indica a subsecção e máquina onde é produzida;
 - Ordem de produção: número de lote que deve ser preenchido pelo operador de acordo com a ordem emitida pelo sistema SAP;
 - Número de revisão PCD: este número deve ser correspondente com o da alteração. Sempre que um desenho técnico é alterado, o PCD tem de também ser revisto para certificar que as cotas e tolerâncias correspondem às do desenho técnico.
- Relativamente às características que devem ser monitorizadas:
 - Posição: coordenada onde se situa no desenho técnico;
 - Periodicidade de controlo;
 - Exigência e tolerância;
 - Meio de Controlo: instrumento que deve ser utilizado para controlar a dimensão.

Atualmente, este documento é utilizado nas linhas de produção em suporte de papel. No entanto, a Leica encontra-se a investir na digitalização dos seus documentos e processos, de forma a promover a melhoria da eficiência, produtividade, sustentabilidade, assim como a adaptação gradual à nova realidade da indústria 4.0.

Um dos primeiros passos dados nesse sentido, foi o da aquisição de licenças do *software* de recolha de dados, o Procella. Este *software* permite a transição dos planos de controlo existentes em formato de papel para um formato digital (exemplo representado na figura 41), permite a sua ligação e conexão com vários instrumentos de medição, assim como permite a ligação com a base de dados do *software* Q-STAT.

O Q-STAT possibilita assim uma análise rápida, recorrente e em tempo real dos dados dos processos de produção.

Como referido anteriormente, o *software* de recolha de dados implementado, o Procella, permite a conexão com vários instrumentos de medição. A aquisição e renovação destes instrumentos para instrumentos com conexão sem fios, tem vindo também a ser desenvolvida de forma gradual e progressiva na empresa.

Os novos equipamentos sem fios adquiridos, nomeadamente comparadores e micro-hites (figura 42), possibilitam aos operadores efetuar o controlo das peças na sua bancada de trabalho e enviar diretamente os valores obtidos para o *software*. Esta funcionalidade, evita assim pequenas deslocações entre o posto de trabalho e o posto de registo, elimina a possibilidade de erro do operador inserir mal os valores obtidos, assim como procura a otimização do tempo.

Atualmente existem em média três comparadores com ligação sem fios por cada secção de maquinaria, sendo que foram detetadas diversas falhas, nomeadamente:

- Comparadores de um grupo produtivo comunicarem valores para um computador de outro grupo produtivo;
- Falhas de ligação constantes entre comparadores e *software* Procella.



Figura 42 - Instrumentos de medição com conexão sem fios existentes

5 DEFINIÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DIGITAL DE CEP

Neste capítulo é apresentado o trabalho desenvolvido na empresa. Numa primeira fase, são descritos os procedimentos implementados para aplicar a metodologia, assim como são descritas algumas ações de melhoria realizadas para eliminar problemas detetados inicialmente e descritos no capítulo anterior. Numa segunda fase são explicitados os resultados obtidos da expansão do sistema digital de CEP, é descrita a ferramenta criada para monitorizar a implementação do projeto e o seu controlo de futuro, assim como são expostas algumas considerações sobre como alargar a metodologia a todas as referências da secção de Mecânica. Por fim, são apresentados os resultados de estudos de capacidade do processo realizados a 3 referências previamente selecionadas para teste do projeto piloto.

5.1 Procedimentos implementados para CEP

Com base no diagnóstico efetuado no capítulo anterior, e com recurso a bases de fundamentação teórica e pensamento crítico, foram propostas e implementadas ações de melhoria a diversas atividades complementares ao projeto.

Formação CEP e *software* Procella

Na fase inicial do projeto desta dissertação, foi percebido junto dos operadores quais os tópicos pertinentes para a execução de uma ação de formação sobre a metodologia, assim como as dificuldades sentidas no manuseamento do *software* Procella.

Após a elaboração da lista de tópicos, procedeu-se assim à realização de uma ação de formação sobre a metodologia e o *software*, assim como a disponibilização da respetiva documentação de suporte presente no Anexo 4.

Depois da ação de formação promovida, os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, uma vez que os operadores sentiram uma grande diferença na sua destreza no manuseamento do *software* implementado, assim como a sua colaboração e motivação para a implementação do projeto foi notória.

Contudo, é de salientar, que esta ação de formação foi facultada apenas aos operadores que intervieram diretamente no projeto piloto. À medida que este projeto cresça dentro da empresa, será necessário alargar a formação a todos os operadores das subsecções.

Plano de Controlo Dimensional

Quanto à problemática dos planos de controlo, existiam 2 questões essenciais a implementar de forma imediata para a execução do projeto piloto:

- Conceito de subgrupo;
- Transição de PCD para formato digital.

Durante a implementação e realização do projeto, para o controlo das características nas referências selecionadas, foi aplicado o conceito de subgrupo, sendo o controlo geralmente efetuado em grupos de 5 unidades. Esta opção foi ponderada tendo por base fatores como o tamanho médio dos lotes produzidos e amostragem pretendida.

Dado as referências e as características selecionadas para implementação inicial da metodologia serem controladas a 100%, conseguiu-se desta forma:

- Diminuir a inspeção, mantendo o nível de qualidade dos produtos;
- Aumentar o conhecimento existente sobre os processos;
- Implementar cartas de controlo;
- Detetar a presença de causas especiais.

De futuro sugere-se que o documento interno, PCD, seja redesenhado e repensado. O modelo de desenvolvimento, deve ter como objetivo a sua transição para o *software* Procella, e a implementação de CEP em todas as referências. Alguns dos fatores que esta “nova versão” deve ter em atenção, é a implementação do conceito de subgrupo, assim como o fator quantidade de amostragem, de forma a se obterem dados significativos do processo e se poder proceder à sua análise.

Outro fator relevante a implementar é a utilização de cartas de controlo durante a produção. É de salientar, que a utilização de cartas de controlo juntamente com outras funcionalidades do Procella, como os alarmes, trarão grandes benefícios à organização na prevenção de produção de peças não conformes.

Na fase do projeto piloto, iniciou-se a transição do PCD de formato papel para formato digital em 234 referências, como demonstrado no exemplo da figura 43.

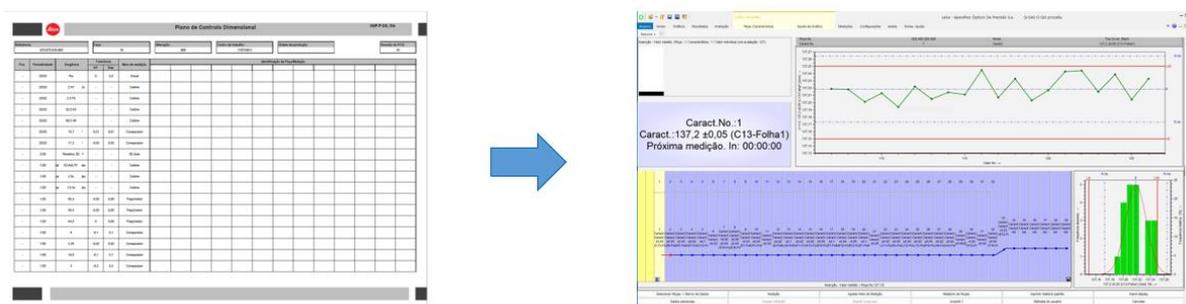


Figura 43 - Exemplo de PCD transitado de formato papel para digital

Esta mudança no documento interno, permitirá à empresa:

- Reduzir o consumo de papel, contribuindo assim para a sustentabilidade ambiental;
- Providenciar dados sobre a produção em tempo real, assim como a sua análise semanal, o que não acontecia anteriormente;
- Aumentar a eficiência e eficácia no registo de dados;
- Promover ferramentas de controlo visual, como as cartas de controlo, para facilitar a visualização do comportamento do processo e detetar a presença de causas especiais.

Com o crescimento do número de PCD digitais e o aumento de ligações com instrumentos de medição sem fios, a problemática da ligação entre o *software* e os instrumentos terá uma maior dimensão de futuro.

Foi assim procurado apurar qual causa raiz para este problema previamente identificado, concluindo-se que as frequências de comunicação entre as diferentes subsecções de maquinaria eram aleatórias. Este fator levava a que por vezes os instrumentos de medição de uma subsecção comunicassem valores para outra subsecção, originando sucessivos erros no registo das medições.

Desta forma, procedeu-se ao contacto direto com os fornecedores dos instrumentos de medição, para procurar uma alternativa e solucionar este problema.

Foram assim estabelecidos 3 canais de comunicação, um para cada subsecção de maquinaria, sendo que estes canais funcionam agora em frequências distintas. Deste modo, com frequências

de ligação diferentes entre cada subsecção, evita-se que esse mesmo erro volte a ocorrer novamente.

Os canais de ligação foram distribuídos de acordo com a figura 44.

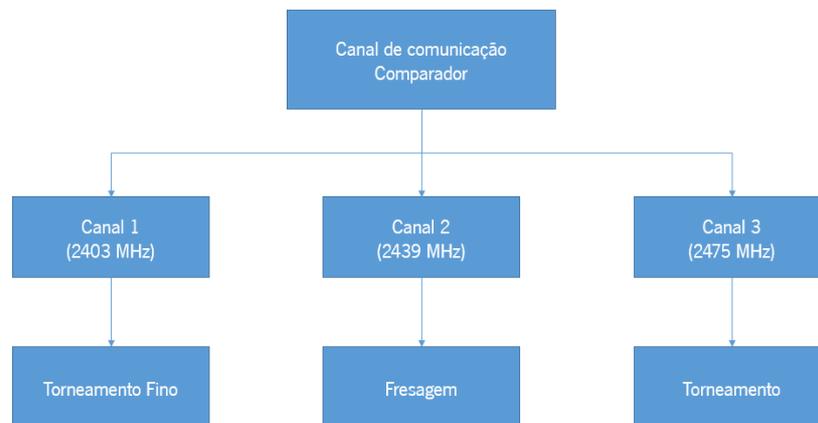


Figura 44 - Canais de comunicação comparador estabelecidos por subsecção

5.2 Implementação Sistema Digital de CEP

Como referido anteriormente, a implementação de programas de qualidade e melhoria contínua, deve ser um esforço contínuo para uma organização. Estes têm como foco melhorar os produtos e processos, reduzir desperdícios e aumentar a qualidade num trabalho contínuo em busca da perfeição. O CEP é assim uma metodologia que vai de encontro a estes objetivos e que auxilia as empresas a fazer esse caminho.

Para o desenvolvimento inicial deste projeto e realização do teste piloto de implementação de CEP na secção de Mecânica, foram selecionadas referências com mecanismos de medição designados por “calotas”, e cujas características são consideradas críticas para o produto final, e como tal o controlo era realizado a 100%.

As calotas (figura 45) são peças metálicas que são desenhadas e produzidas internamente na empresa, que têm como função simular o diâmetro de uma lente de vidro e simplificar o processo de controlo.

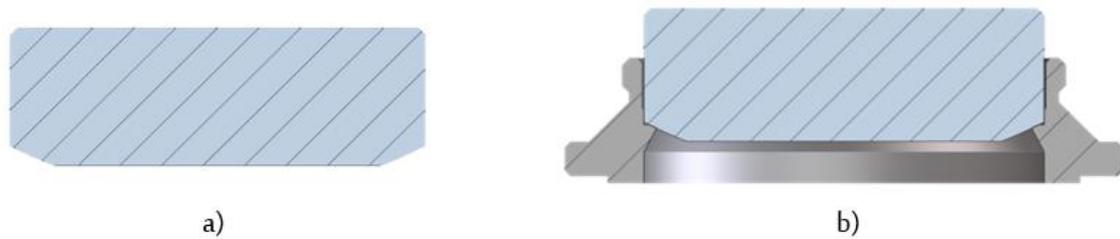


Figura 45 - Exemplo de uma calota. a) Calota; b) Calota montada na peça

Anteriormente ao desenvolvimento deste sistema, o processo de medição da distância entre lentes era realizado com lentes de vidro. A distância entre lentes numa objetiva, é uma característica extremamente importante para a qualidade de imagem. A sua variação, afeta de forma negativa a entrada do caminho de luz dentro da objetiva, tendo graves repercussões na qualidade de imagem das fotografias. Geralmente, a tolerância exigida para este tipo de características é muito apertada, usualmente valores inferiores a 0.02 mm.



Figura 46 - Sistema de medição. a) Lentes b) Calotas

Para o seu controlo, previamente as lentes de vidro eram assim montadas nas peças metálicas durante a sua produção, sendo efetuado o controlo. Na figura 46 é possível evidenciar a diferença do controlo entre estes 2 sistemas de medição. Este sistema de medição era altamente complexo e instável, pois, para medir a distância correta, era necessário encontrar o ponto mais alto da lente, assinalado com a seta verde na figura 46.a. Eram assim necessários operadores com muita experiência, além de o tempo dedicado ao controlo ser significativamente superior.

Este novo sistema de medição permite ao operador controlar a altura da lente em qualquer ponto da calota, como demonstrado na figura 46.b. As calotas tornaram assim este processo de inspeção mais estável, mais seguro e mais rápido.

As referências com calotas foram assim as selecionadas para a implementação do projeto piloto, dado este sistema de medição ter sido previamente validado pela empresa, havendo assim confiança nos dados obtidos, e como tal ser possível implementar CEP.

Atualmente, existem em produção 26 referências com calotas, sendo que apenas foi possível expandir a metodologia em 8 destas referências, perfazendo um total de 30,76%. Este resultado foi limitado no decorrer desta dissertação devido ao reduzido número de referências produzidas durante a realização do presente projeto.

Ferramenta de monitorização

Em complementaridade com este estudo, foi idealizada e elaborada uma ferramenta que permite acompanhar e monitorizar o crescimento do projeto, assim como de futuro controlar a manutenção do controlo estatístico.

Esta ferramenta consiste numa base de dados onde são registadas todas as referências e características monitorizadas no *software* Procella, o seu índice Cp e Cpk, assim como a quantidade de peças controladas, sendo esta atualizada com periodicidade semanal.

Com recurso aos dados existentes na base dos dados, procedeu-se à verificação do crescimento do número de PCD transitados para formato digital, estando este crescimento representado no gráfico da figura 47.

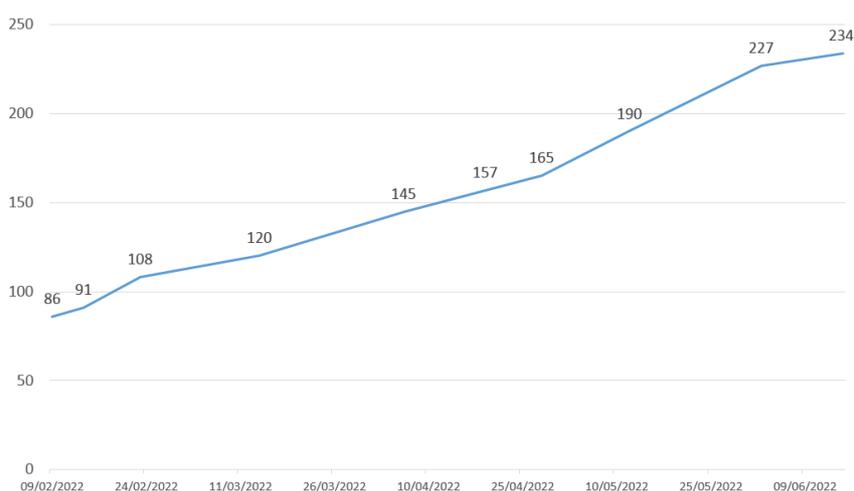


Figura 47 - Gráfico crescimento Ref^ª Monitorizadas no Procella

É de salientar que este aumento das referências monitorizadas no *software* Procella tem sido considerável, aumentando em cerca de 270% em 4 meses. Contudo, é de referir que apenas 8

planos dizem respeito a referencias onde foi implementado CEP, sendo que as restantes dizem respeito a planos de controlo que foram transitados apenas para formato digital, sendo que de futuro será aplicada a metodologia de CEP. Este crescimento tem sido limitado devido ao reduzido número de licenças disponíveis.

Juntamente com esta ferramenta, foi elaborado um modelo de relatório padrão, apresentado na figura 48, que futuramente será elaborado semanalmente para análise da evolução dos diferentes grupos de maquinação. Este modelo é totalmente personalizável, de forma a se poder adequar às necessidades da empresa.



Figura 48 - Modelo de relatório da ferramenta de monitorização projeto

Expansão da metodologia à secção

De futuro espera-se que o trabalho de implementação da metodologia de CEP desenvolvido seja continuado, no sentido de aumentar a qualidade dos produtos e processos, reduzir custos de não qualidade e otimizar recursos da organização. Contudo, só se poderá alargar esta metodologia a outras referências e a toda a secção à medida que mais sistemas de medição forem sendo avaliados e validados pelo departamento de metrologia.

A implementação da metodologia em toda a secção, seguindo os passos “normais”, seria um processo extremamente moroso e complexo, dado que seria necessário efetuar um estudo de CEP para cada referência e respetivas características associadas.

Dado que atualmente existem 2043 referências ativas e a quantidade de diferentes fases de maquinação e características por cada referência, recomenda-se que a metodologia de CEP seja alargada a todas as características de acordo com os princípios do fluxograma da figura 49.

Este esquema de implementação de CEP na seção de Mecânica da Leica, tem por base o agrupamento das características das peças e, posteriormente, a classificação de cada grupo.

Este agrupamento inicia com a classificação das peças por 3 grandes grupos, respeitantes à base de matéria-prima utilizada. Seguidamente, as peças são classificadas de acordo com a sua complexidade técnica, A, B e C, sendo que as A são as peças mais exigentes e complexas, e as referências tipo B e C, menos exigentes, optou-se por se enquadrar no mesmo grupo.

Seguidamente, para as referências de tipologia A, foi pensado distinguir as referências de acordo com a tipologia de maquinação, torneado ou fresado. Posteriormente, as referências são agrupadas quanto à sua tolerância geométrica e, por fim, de acordo com a tipologia de máquina onde é produzida (máquina CNC de 2, 3 e 4 eixos).

Este esquema tem em consideração que por vezes existem referências cujo processo e características são iguais ao de uma outra referência, sendo as diferenças respeitantes a fatores como matéria-prima utilizada, cor, modelo do produto, etc.

É assim de esperar que uma referência que se encontre num determinado grupo, quando é efetuado um estudo de CEP, o processo para uma outra referência ou característica do mesmo grupo venha a ter um desempenho muito semelhante, podendo seguir o mesmo procedimento de amostragem.

Ao seguir esta metodologia de classificação e agrupamento das referências, a implementação do projeto será bastante mais rápida e eficiente.

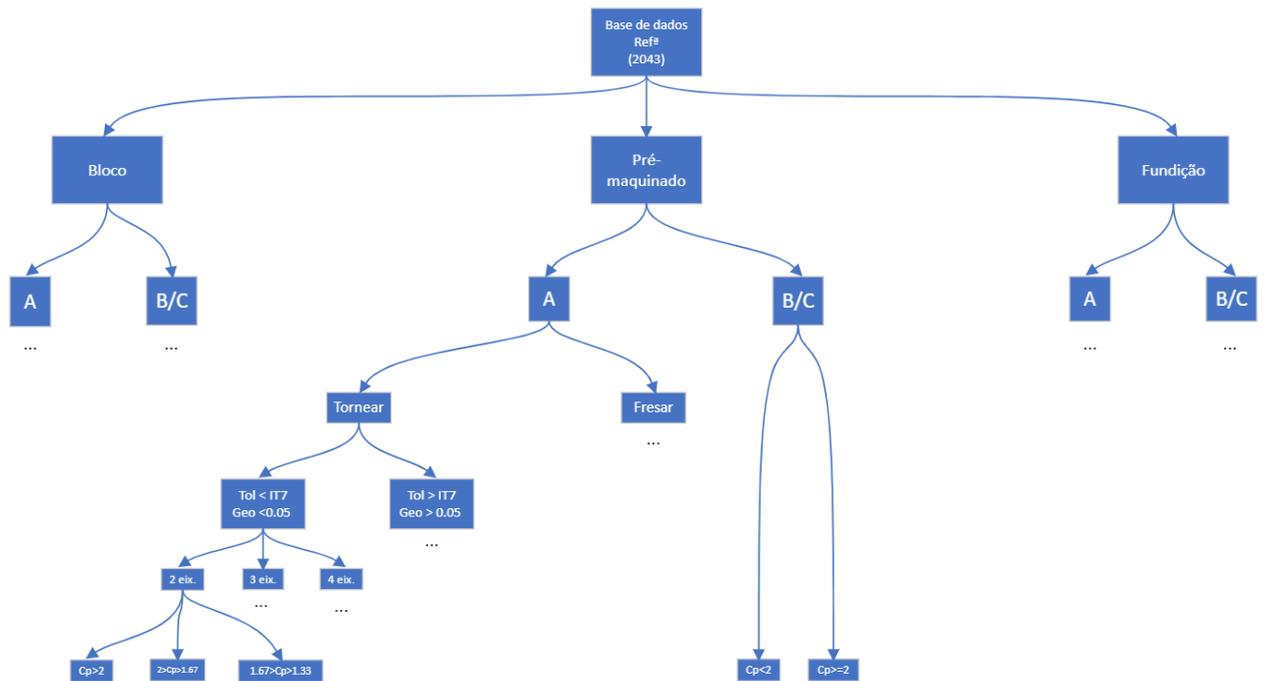


Figura 49 - Esquema para implementação de CEP na Leica

5.3 Estudos de monitorização do Processo

Para iniciar os primeiros estudos de monitorização do processo e verificar a aplicabilidade do projeto piloto foram selecionadas 3 referências. Nestas foram efetuados estudos de CEP e, conseqüentemente, calculados os índices de capacidade do processo. As referências são as seguintes:

- 475-035.016-005
- 475-035.023-005
- 475-035-126-005

5.3.1.1 Hauptfassung - 475-035.016-005

Para a realização do estudo de CEP na referência acima mencionada, foi definido que se iria implementar a metodologia com amostras cuja dimensão do subgrupo era de 5 unidades.

De acordo com o tamanho do lote, foi possível obter um total 23 amostras, perfazendo um total de 115 unidades (valores obtidos no Anexo 5). Esta frequência de amostragem conseguiu reduzir a inspeção de 100% para cerca de 50%. Apesar desta redução na amostragem, o tamanho da

amostra foi considerado como válido, dado que se conseguiu obter mais de 100 medições, valor mínimo recomendado para definir limites das cartas de controlo.

Foram assim monitorizadas cinco características especiais, presentes na Tabela 7, sendo todas elas alturas.

Características a controlar:				
7.839 ± 0,015	5.345 ± 0,01	24.539 ± 0,015	12.464 ± 0,015	15 ± 0,015

Tabela 7 - Características especiais Refª nº 475-035.016-005 (valores em mm)

Para detetar a existência de eventuais causas especiais no processo e verificar se este se encontra sob controlo estatístico, procedeu-se à elaboração das cartas de controlo X-barra e R para cada característica, através do *software* Q-STAT.

- 7.839 ± 0.015 mm

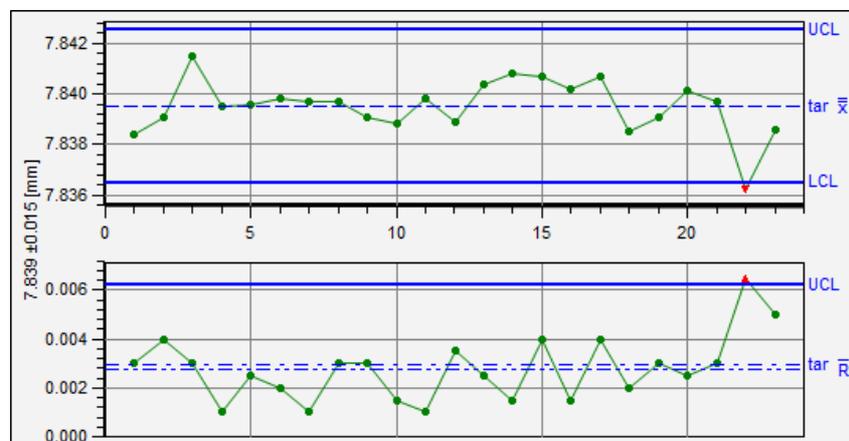


Figura 50 - Refª 475-035.016-005 - Carta \bar{X} e R (7.839 ± 0.015 mm)

Pela análise dos gráficos Xbarra e R, figura 50, o processo manteve-se sob controlo estatístico até à amostra 22, amostra na qual foi detetada uma causa especial.

Procurou-se assim fazer uma investigação às causas e descobriu-se que durante a recolha de dados, na amostra 20, decorreu a troca do turno da manhã para o turno da tarde. Neste último turno, foi dada a um operador novo na fábrica a prática de efetuar o controlo de características com sistema de calotas. Apesar deste sistema de medição ser bastante estável, a inexperiência

do operador ao limpar a peça antes da medição, ou algum outro fator semelhante, refletiu-se na medição. Apesar da causa especial detetada, optou-se por considerar o processo como estatisticamente controlado e considerar a causa especial detetada como um *outlier*.

- 5.345 ± 0.01 mm

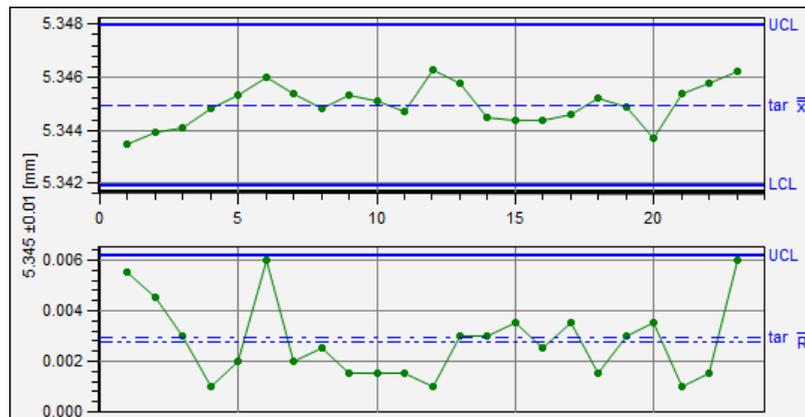


Figura 51 - Refª 475-035.016-005 – Carta \bar{X} e R (5.345 ± 0.01 mm)

Pela análise dos gráficos Xbarra e R, não foi detetada qualquer causa especial, de acordo com os gráficos da figura 51.

- 24.539 ± 0.015 mm

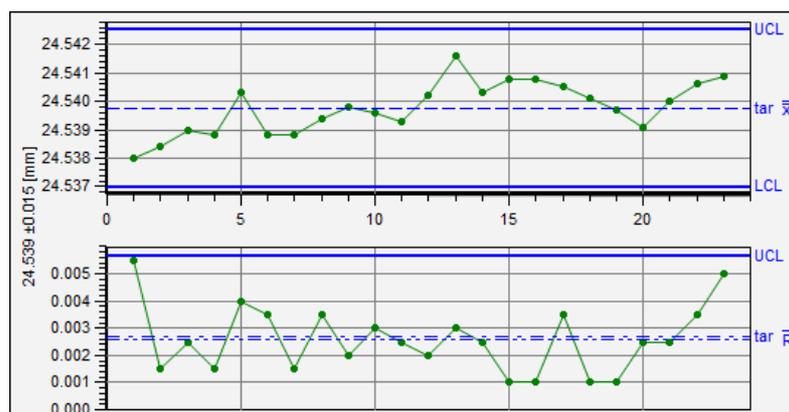


Figura 52 - Refª 475-035.016-005 – Carta \bar{X} e R (24.539 ± 0.015 mm)

Pela análise dos gráficos Xbarra e R, não foi detetada qualquer causa especial, de acordo com os gráficos da figura 52.

- 12.479 ± 0.015 mm

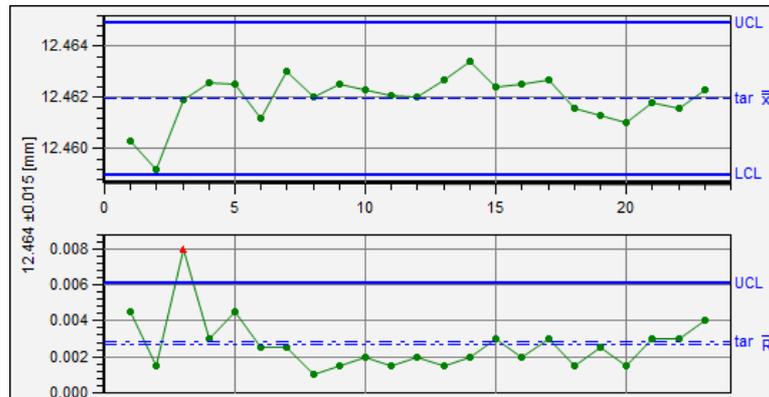


Figura 53 - Ref^o 475-035.016-005 - Carta \bar{X} e R (12.479 ± 0.015mm)

Pela análise das cartas de controlo da figura 53, foi detetada uma causa especial na amostra 3 da carta das amplitudes (R).

Procurou-se assim perceber quais as causas e descobriu-se que a amostra 3 foi a primeira amostra recolhida pelo turno da manhã, sendo que a amostra 1 e 2 tinham sido recolhidas pelo turno da noite. Apesar de não ter sido apurada em concreto qual a sua causa devido à falha de registos dos operadores, considerou-se pela experiência no processo que a causa especial se deveu a um pequeno ajuste dado na máquina CNC pelo operador do turno da manhã. O processo não foi considerado sob controlo estatístico para esta característica, sendo que num próximo lote se revalidarão as cartas de controlo.

- 15 ± 0.015 mm

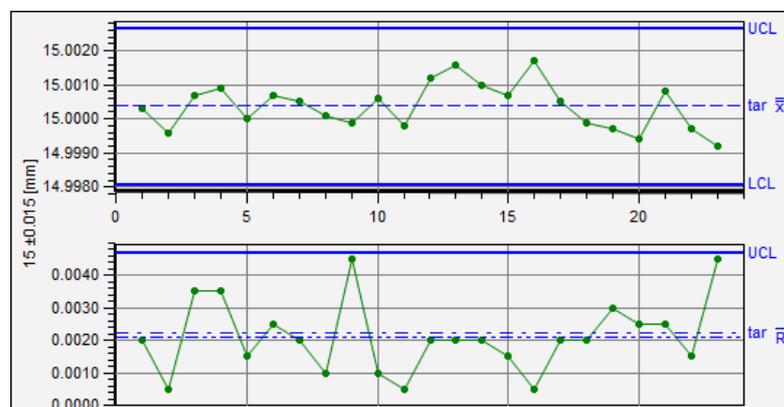


Figura 54 - Ref^o 475-035.016-005 - Carta \bar{X} e R (15 ± 0.015 mm)

Pela análise dos gráficos Xbarra e R, não foi detetada qualquer causa especial, de acordo com os gráficos da figura 54.

Definidas quais as características que se encontram sob controlo estatístico, procedeu-se ao cálculo e elaboração do relatório de capacidade do processo de cada característica através do *software* Q-Stat. Na figura 55, é demonstrado um exemplo do relatório obtido.

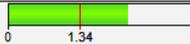
Part no. 475-035.016-005		Part descr. Hauptfassung	
Char.No. 1		Char.Descr. 7.839 ±0.015	
Drawing Values		Collected Values	
		Statistics	
T _m	7.839	\bar{x}	7.8395
LSL	7.824	x _{min}	7.832
USL	7.854	x _{max}	7.843
T	0.030	R	0.012
Characteristics C: significant		n _{eff}	115
		n _{tot}	115
		n _{-T+}	115 / 100.00000%
		n _{-USL}	0/0.00000%
		n _{-LSL}	0/0.00000%
Model distribution		Mixed distribution (EM)	
Distr.regress.coef.		r _{tot}	: 0.99098121
Distr.regress.coef.		r _{25%}	: 0.91132125
Calculation method		M _{2,1} Percentile (0.135%-50%-99.865%)	
Potential Performance index (A)	P _p	1.96 ≤ 2.25 ≤ 2.54	
Critical performance index (A)	P _{pk}	1.50 ≤ 1.73 ≤ 1.96	
The requirements were met (P _p , P _{pk} , LV)			
Demand Potential Performance index (A)	P _{p target}	1.34 (1.33)	
Demand Critical performance index (A)	P _{pk target}	1.34 (1.33)	
© Q-DAS Process Capability (01/2020)			

Figura 55 - Relatório de Capacidade do Processo Q-STAT

Para cada característica obtiveram-se os seguintes índices CpK, de acordo com a Tabela 8.

	7.839 ±0.015	5.345 ±0.01	24.539 ±0.015	15 ±0.015
Cp	2.25	2.12	3.67	4.68
Cpk	1.73	1.95	3.48	4.67

Tabela 8 - Índices de Capacidade Ref^o 475-035.016-005

De acordo com os valores obtidos, os processos foram considerados como capazes, dado que todos os valores de Cp obtidos superaram os objetivos inicialmente delineados de Cp > 1.33, equivalente a um nível de 4 sigma.

Contudo, através da análise dos índices CpK os processos podem e devem ser melhorados com a continuidade deste trabalho, sugerindo-se o ajustamento do processo, dado que o índice Cp > Cpk.

5.3.1.2 Mount - 475-075.020-005

Para a realização do estudo de CEP na referência acima mencionada, foi definido que se iria implementar a metodologia com amostras cuja dimensão do subgrupo era de 3 unidades.

De acordo com o tamanho do lote, foi possível obter um total 27 amostras, perfazendo um total de 81 unidades (valores obtidos no Anexo 6). Esta frequência de amostragem, tal como na referência anterior, reduziu a inspeção de 100% para cerca de 50%.

Foram assim monitorizadas duas características especiais, presentes na Tabela 9, sendo todas elas alturas.

Características a controlar:	
7.293 ±0.015	8.722 ±0.02

Tabela 9 - Características especiais Refª n° 475-075.020-005 (valores em mm)

Para detetar a existência de eventuais causas especiais no processo e verificar se este se encontra sob controlo estatístico, procedeu-se à elaboração das cartas de controlo X-barra e R para cada característica.

- 7.293 ±0.015 mm

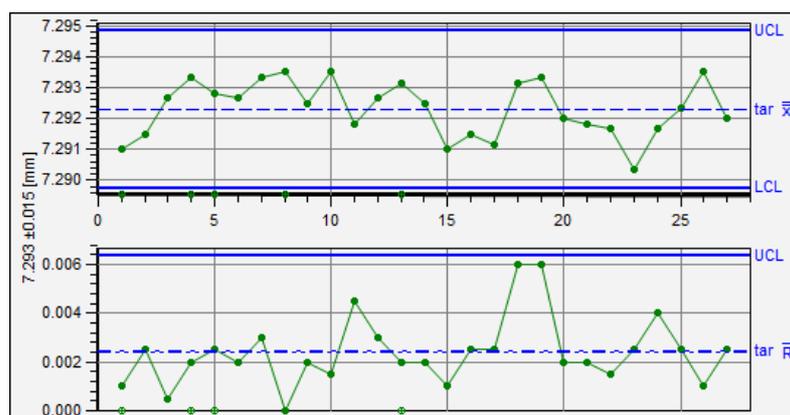


Figura 56 - Refª 475-075.020-005 - Carta \bar{X} e R (7.293 ± 0.015 mm)

Pela análise dos gráficos Xbarra e R, não foi detetada qualquer causa especial, de acordo com os gráficos da figura 56.

- 8.722 ±0.02mm

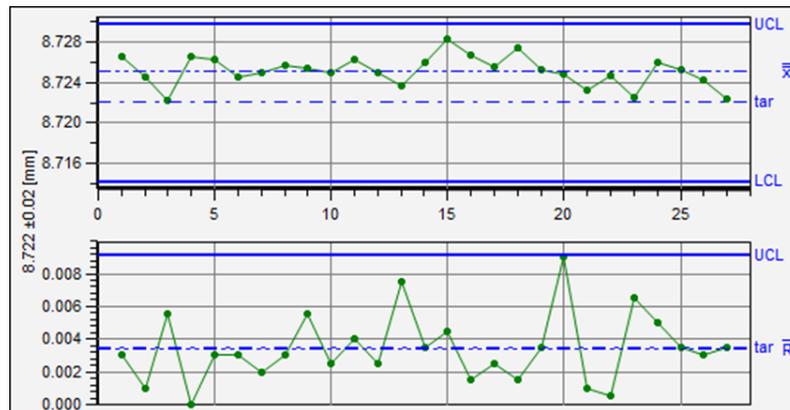


Figura 57 - Ref^a 475-075.020-005 - Carta \bar{X} e R (8.722 ±0.02mm)

Pela análise dos gráficos Xbarra e R, não foi detetada qualquer causa especial, de acordo com os gráficos da figura 57.

Uma vez que as características analisadas se encontram sob controlo estatístico, procedeu-se ao cálculo e elaboração do relatório de capacidade do processo de cada característica com recurso ao *software* Q-Stat.

	7.293 ±0.015	8.722 ±0.02
Cp	3.36	3
Cpk	3.21	2.54

Tabela 10 - Índices de Capacidade Ref^a 475-075.020-005

De acordo com os valores obtidos, os processos foram considerados como capazes, dado que todos os valores de Cp obtidos superaram os objetivos inicialmente delineados de $Cp > 1.33$, equivalente a um nível de 4 sigma. Contudo, através da análise dos índices CpK, sugere-se o ajustamento do processo, dado que $Cp > Cpk$.

No entanto, os índices CpK obtidos foram bastante satisfatórios, $Cpk > 2$, correspondendo estatisticamente a 100% das peças produzidas, serem produzidas em conformidade. A empresa deve assim dar continuidade a este trabalho e alargar a periodicidade de monitorização do processo.

5.3.1.3 Fassung - 475-090.123-005

Para a realização do estudo de CEP na referência acima mencionada, foi definido que se iria implementar a metodologia com amostras cuja dimensão do subgrupo era de 5 unidades.

De acordo com o tamanho do lote, foi possível obter um total 16 amostras, perfazendo um total de 80 unidades (valores obtidos no Anexo 7). Esta frequência de amostragem, tal como na referência anterior, reduziu a inspeção de 100% para cerca de 50%.

Foram assim monitorizadas cinco características especiais, presentes na Tabela 11, sendo todas elas alturas.

Características a controlar:			
6.202 ±0.02 mm	10.494 ± 0.02 mm	7.787 ± 0.02 mm	2.599 ± 0.02 mm

Tabela 11 - Características especiais Refª n° 475-090.123-005 (valores em mm)

Para detetar a existência de causas especiais e verificar se o processo de encontra sob controlo estatístico, procedeu-se à elaboração das cartas de controlo Xbarra e R para cada característica.

- 6.202 ±0.02 mm

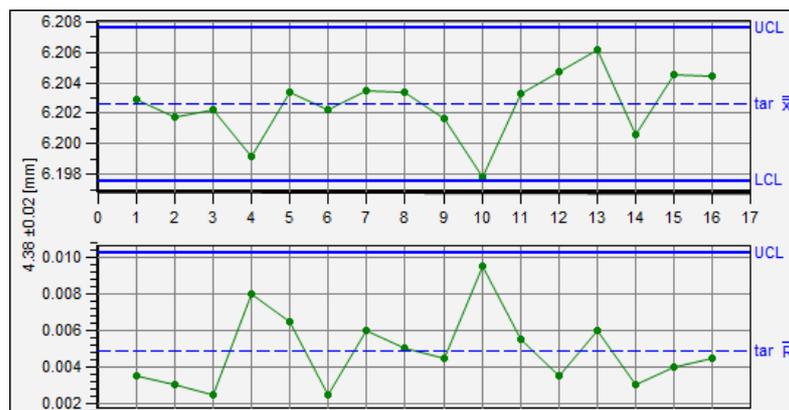


Figura 58 - Refª 475-090.123-005- Carta \bar{X} e R (4.38 ±0.02 mm)

Pela análise dos gráficos Xbarra e R, não foi detetada qualquer causa especial, de acordo com os gráficos da figura 58.

- 10.494 ± 0.02 mm

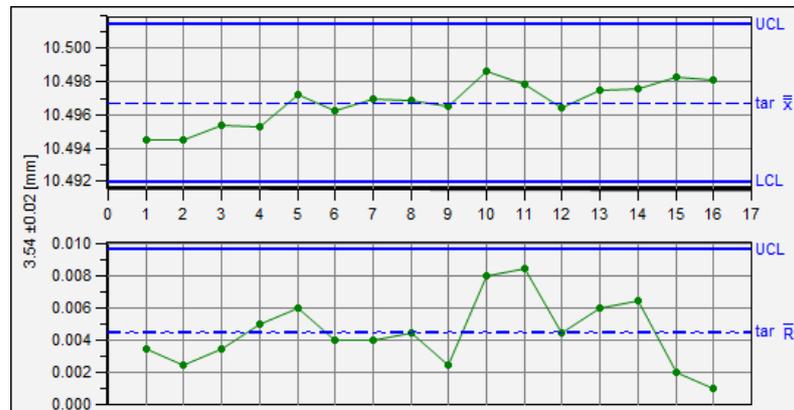


Figura 59 - Refª 475-090.123-005- Carta \bar{X} e R (3.54 ± 0.02 mm)

Pela análise dos gráficos Xbarra e R, não foi detetada qualquer causa especial, de acordo com os gráficos da figura 59.

- 7.787 ± 0.02 mm

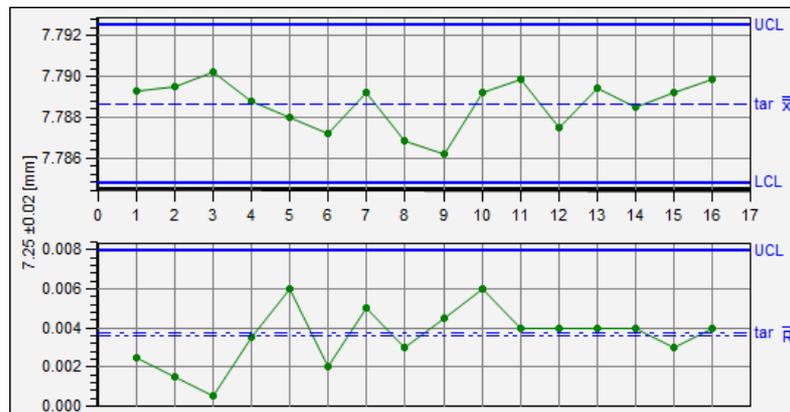


Figura 60 - Refª 475-090.123-005- Carta \bar{X} e R (7.25 ± 0.02 mm)

Pela análise dos gráficos Xbarra e R, não foi detetada qualquer causa especial, de acordo com os gráficos da figura 60.

- 2.599 ± 0.02 mm

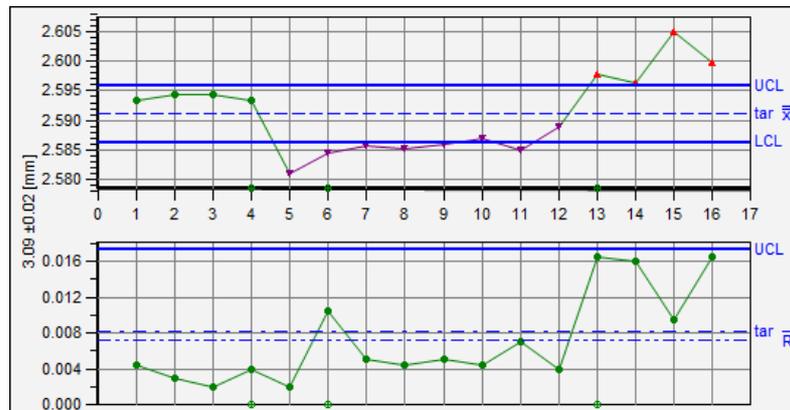


Figura 61 - Refª 475-090.123-005- Carta \bar{X} e R (3.09 ± 0.02 mm)

Pela análise da carta Xbarra, figura 61, verificou-se que a partir da amostra 4 o processo saiu fora de controlo estatístico.

Procurou-se assim perceber junto do operador o que tinha acontecido no processo, e verificou-se que entre as amostras 3 e 4, o operador deu uma correção na máquina CNC para uma característica. Dado a ferramenta em que o operador deu a correção, executar duas dimensões na peça, ao corrigir uma característica, afetou negativamente a característica monitorizada, levando a sair de controlo estatístico.

Na figura 62 é possível verificar, através da disposição dos valores individuais, quando o operador procedeu à correção. Esta ação de correção está assinalada com um triângulo vermelho na carta Xbarra, onde se verifica que a média do processo baixou para valores próximos dos LIE.



Figura 62 - Dados individuais Refª 475-090.123-005

Definidas quais as características que se encontram sob controlo estatístico, procedeu-se ao cálculo e elaboração do relatório de capacidade do processo de cada característica com recurso ao software Q-Stat®.

Para cada característica obtiveram-se os seguintes índices CpK de acordo com a Tabela 12.

	6.202 ± 0,02	10.494 ± 0,02	7.787 ±0,02
Cp	2.39	3.55	4.14
Cpk	2.32	2.84	3.82

Tabela 12 - Índices de Capacidade Refª 475-090.123-005

De acordo com os valores obtidos, os processos para as cotas mencionadas na Tabela 12 foram considerados como capazes, dado que todos os valores de Cp obtidos superaram os objetivos inicialmente delineados de $Cp > 1.33$, equivalente a um nível de 4 sigma.

Contudo, através da análise dos índices CpK, sugere-se o ajustamento do processo, dado que $Cp > Cpk$. Este resultado pode e deve, contudo, ser melhorado com a continuidade deste trabalho pela empresa.

Relativamente à cota de 2.599 ± 0.02 , recomenda-se que num próximo lote seja alterado o programa de maquinação para que o operador não tenha de dar correções na ferramenta que executa o trabalho. Irão assim ser novamente recolhidos dados do processo, para que se possa verificar se as melhorias implementadas levam a que esta característica se mantenha sob controlo estatístico.

6 CONCLUSÃO

O presente projeto desenvolvido na Leica teve como principal objetivo a Conceção e Implementação de um sistema digital de CEP na secção de Mecânica da empresa.

Para a implementação deste projeto foram inicialmente selecionadas apenas as referências e características que possuíam componentes de medição, designados por “calotas”. A seleção das referências em causa, deveu-se ao facto das características controladas por estes sistemas serem críticas para o produto final, e estes sistemas de medição já se encontrarem previamente validados pelo departamento de metrologia da empresa, e como tal os dados serem considerados como válidos.

O projeto iniciou com uma análise da situação atual da empresa no que diz respeito à implementação da metodologia, e como tal foi essencial conhecer todo o processo produtivo.

Da análise efetuada, foi possível identificar as seguintes oportunidades de melhoria:

- Formação de colaboradores;
- Necessidade de implementar conceito de subgrupo e aumentar quantidade de dados recolhidos;
- Adaptar planos de controlo ao *software* digital;
- Melhorar comunicação do *software* com instrumentos de medição;
- Necessidade de implementar cartas de controlo.

Posteriormente, procedeu-se à implementação de ações de melhoria tendo em conta as oportunidades identificadas. Das ações de melhoria implementadas, podem-se destacar a transição dos planos de controlo atualmente existentes para o *software* de CEP adquirido, a aplicação do conceito de subgrupo, a resolução dos problemas de conexão do *software* com os instrumentos de medição e a formação dos colaboradores.

Iniciou-se também a transição dos planos de controlo existentes para formato digital, tendo este crescimento atingido um crescimento de 270% no decorrer da presente dissertação. Em seguida, procedeu-se à implementação do projeto piloto nas referências selecionadas, onde foi possível expandir a metodologia a 30,76% destas.

Por fim, foram selecionadas as referências 475-035.016-005, 475-075-020.005 e 475-090-123-005 para a implementação do projeto piloto e obtenção de resultados.

Realizou-se assim um estudo de CEP das características das referências mencionadas utilizando cartas de controlo por variáveis, nomeadamente cartas das médias (\bar{X}) e das amplitudes (R),

devido à dimensão dos subgrupos serem iguais ou inferior a 5 unidades. Seguidamente, para as características que se encontravam sob controlo estatístico foi calculado o respetivo índice de capacidade.

Para a peça 475-035.016-005 foram monitorizadas 5 características, todas elas alturas.

Na primeira análise, verificou-se que as cotas 5.345, 24.539, 7.839 e 15mm se encontravam sob controlo estatístico dado que não foram detetadas quaisquer causas especiais. É de salientar, que a cota 7.839, optou-se por considerar sob controlo estatístico, dado que a única causa especial detetada se deveu à medição por parte de um operador inexperiente e, como tal, essa causa especial foi considerada com um outlier. Relativamente à cota 12.479 mm, esta não se encontrava sob controlo estatístico dado que foram detetadas causas especiais no processo. Porém, não foi possível apurar a razão da causa especial ocorrida, esperando-se no seguimento deste trabalho poder estabilizar o processo. Posteriormente, foram calculados os índices de capacidade para as cotas sob controlo estatístico, e verificou-se que os processos eram altamente capazes, dado que o valor de $C_{pk} > 1.67$. Apesar disso os processos não se encontravam centrados, uma vez que $C_p > C_{pk}$.

Para a peça 475-075-020.005, foram assim controladas 2 características e realizadas as respetivas análises aos dados obtidos. Na primeira análise, verificou-se que as cotas 7.293 e 8.722 mm se encontravam sob controlo estatístico, dado que as cartas de controlo calculadas não detetaram a presença de qualquer causa especial. Posteriormente, procedeu-se ao cálculo dos respetivos índices de capacidade do processo, verificando que os processos eram altamente capazes, dado que ambos os valores de C_{pK} eram superiores a 2, o equivalente a um nível de 6 sigma.

Por fim, para a peça 475-090-123-005 foram monitorizadas 4 cotas e realizadas as respetivas análises. Na primeira análise, verificou-se que as cotas 4.38, 3.54 e 7.25 mm se encontravam sob controlo estatístico, dado que as cartas de controlo elaboradas não detetaram a presença de qualquer causa especial. Quanto à cota de 3.09 mm, foi possível verificar através da carta Xbarra, que a partir da amostra 3 esta deixou de estar sob controlo estatístico, o que não se sucedeu na carta das amplitudes. Apurou-se que este fator foi derivado de uma correção na máquina CNC dada pelo operador. Foi assim identificada a causa raiz, no entanto não foi possível verificar a melhoria do processo, uma vez que no decorrer do projeto não foi produzido mais nenhum lote da referência em causa. Na segunda análise, foram calculados novamente os índices de

capacidade para as cotas sob controlo estatístico, e verificou-se que os processos eram altamente capazes, dado que os valores de $CpK > 2$, contudo os processos não se encontravam centrados. Conclui-se assim que, de um modo geral, há um longo caminho a percorrer para implementar a metodologia no seu pleno, dado que é necessário modificar um vasto conjunto de documentos e procedimentos na empresa, assim como promover e “enraizar” uma cultura de melhoria contínua. Contudo, os resultados da implementação do projeto piloto foram bastante promissores, dado que foi possível verificar que as referencias selecionadas para a realização do teste piloto têm valores de Cp e Cpk bastante idênticos, assim como os fatores que influenciam a sua instabilidade são semelhantes. Desta forma, atesta-se que a implementação do projeto poderá ser realizada de acordo com o esquema apresentado na dissertação.

Por fim, conclui-se que os processos de produção possuem na sua maioria bastante estabilidade, dado que uma boa parte das características analisadas não apresentaram quaisquer causas especiais, e os índices de capacidade calculados apresentavam valores elevados.

6.1 Limitações ao Projeto

É de referir que, durante o decorrer deste projeto surgiram várias limitações.

Uma das principais limitações sentidas deveu-se ao facto de poucos sistemas de medição se encontrarem validados. Este fator limitou as referências onde se podia aplicar a metodologia, uma vez que os dados recolhidos não eram confiáveis.

A segunda limitação a considerar, deveu-se à relutância inicial de alguns operadores à implementação da metodologia. Um dos fatores desta resistência estava relacionado com o facto da implementação do conceito de subgrupo, e como tal olharem para este fator como um “aumento de trabalho”. Este “pensamento” foi desaparecendo com o decorrer do projeto, uma vez que com a implementação da metodologia a inspeção foi diminuindo nas características monitorizadas a 100%.

No decorrer do projeto, é de mencionar que a empresa utilizava dois programas de controlo estatístico, o Procella e o Q-STAT. Devido ao facto de estes terem sido implementados recentemente na empresa, o seu uso para CEP ainda não é eficiente. Acredita-se que com a continuidade deste projeto a utilização destes *softwares* será otimizada.

Por fim, a última limitação sentida deveu-se à reduzida periodicidade de produção de determinadas referências. Este fator não permitiu durante o decorrer da presente dissertação obter resultados

em mais do que um lote, de modo a se poder verificar e quantificar as melhorias implementadas, assim como os ganhos que a metodologia pode gerar para a organização.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antônio, N., & Teixeira, A. (2009). *Gestão da Qualidade – De Deming ao modelo de excelência da EFQM*. Edições Sílabo, Lda.
- Antony, J., McDermott, O., Sony, M., Fernandes, M. M., & Ribeiro, R. V. C. (2021). A study on the Ishikawa's original basic tools of quality control in South American companies: results from a pilot survey and directions for further research. *The TQM Journal*, 33(8), 1770–1786. <https://doi.org/10.1108/TQM-01-2021-0004>
- Antony, J., & Taner, T. (2003). A conceptual framework for the effective implementation of statistical process control Article information. *Business Process Management Journal*, 9. <http://www.emeraldinsight.com/researchregister>
- ASQ.a. (2022). *Quality Glossary*. <https://asq.org/quality-resources/quality-glossary>
- ASQ.b. (2022). *What is Statistical Process Control?* ASQ - American Society for Quality. <https://asq.org/quality-resources/statistical-process-control>
- ASQ.c. (2022). *What is the law of variation?* <https://asq.org/quality-resources/variation>
- ASQ.d. (2022). *What is Process Capability?* American Society for Quality. <https://asq.org/quality-resources/process-capability>
- Bamford, D. R., & Greatbanks, R. W. (2005). The use of quality management tools and techniques: A study of application in everyday situations. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 22(4), 376–392. <https://doi.org/10.1108/02656710510591219>
- Bradford, P. G., & Miranti, P. J. (2019). Information in an Industrial Culture: Walter A. Shewhart and the Evolution of the Control Chart, 1917–1954. *Information & Culture*, 54(2), 179–219. <https://doi.org/10.7560/IC54203>
- Bunney, H. S., & Dale, B. G. (1997). The implementation of quality management tools and techniques: a study. *The TQM Magazine*, 9(3), 183–189. <https://doi.org/10.1108/09544789710168966>
- Cardoso, R. B. (2016). *Determinação de parâmetros das cartas de controlo CUSUM e CUSUM-In (S 2) com recurso a ferramentas computacionais*. Universidade Nova de Lisboa.
- Carpinetti, L. C. R. (2012). *Gestão da Qualidade (2ª Edição)*. Atlas S.A.
- CPK Studio. (2022). *Process Capability*. <https://cpk-studio.com/index.php/resources/process-capability/?cn-reloaded=1>
- Crosby, P. B. (1979). *Quality is free: The Art of Making Quality Certain (1ª Edição)*. McGraw-Hill.

- Esteves, E. (2012). *Controlo Estatístico da Qualidade* (pp. 1–52). UNIVERSIDADE DO ALGARVE - Instituto Superior de Engenharia - Departamento de Engenharia Alimentar. https://www.academia.edu/2993355/Controlo_Estat%C3%ADstico_Qualidade
- Garvin, D. (1984). What Does “Product” Quality" Really Mean ? *Sloan Management Review*, 25–43.
- George, M., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2005). *Lean Six Sigma Pocket Toolbook*. Mcgraw-hill Education - Europe.
- Heizer, J., & Render, B. (2011). *Statistical Process Control – Principles of Operations Management*. Pearson Education, Inc.
- Hoyer, R., & Hoyer, B. (2001, July). The Different Definition of Quality - What is Quality ? *Quality Progress*, 53–62.
- InfinityQS. (2022). *How do you use Cp and Cpk?* <https://www.infinityqs.com/statistical-process-control/spc-101/process-capability>
- Instituto Português da Qualidade. (2015). *Sistemas de Gestão da Qualidade - Fundamentos e Vocabulário (NP EN ISO 9000:2015)*. www.iso.org/iso/foreword.html.
- International Organization for Standardization. (2013). *Control charts - Part 2: Shewhart control charts (ISO 7870-2)*.
- International Organization for Standardization. (2019). *Control charts – Part 1: General guidelines (ISO 7870-1:2019)*.
- Ishikawa, K. (1985). *What is total quality control? The Japanese way*. Prentice-Hall.
- iSixSigma-Editorial. (2022). *Sigma to DPMO to Yield to Cpk Table*. <https://www.isixsigma.com/new-to-six-sigma/sigma-level/sigma-to-dpmo-to-yield-to-cpk-table/>
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1998). *Juran's Quality Handbook* (5th Edition). McGraw-Hill.
- Mann, P. (2008). *Introductory Statistics (7ª Edição)*. John Wiley & Sons Inc.
- McAdam, R., & Lafferty, B. (2004). A multilevel case study critique of six sigma: statistical control or strategic change? *International Journal of Operations & Production Management*, 24(5), 530–549. <https://doi.org/10.1108/01443570410532579>
- Minitab. (2022). *Overview for Xbar-R Chart*. <https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/control-charts/how-to/variables-charts-for-subgroups/xbar-r-chart/before-you-start/overview/>
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control (6ª Edição)*. John Wiley & Sons Inc.

- Nikkel, W. (2007). Estatística aplicada à produção. In *Apontamentos* (pp. 1–114). <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM267/Apostila-Estatistica%20Aplicada-a-Producao-TM267.pdf>
- Oakland, J. S. (2003). *Statistical Process Control (5ª Edição)*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Pacheco, M., Sampaio, P., & Rodrigues, C. (2011). *Ferramentas da qualidade: Estudo da sua aplicação e uso nas organizações certificadas*. www.asq.org
- Paladini, E. P. (1994). *Qualidade total na prática: implantação e avaliação de sistemas de qualidade total*. São Paulo: Atlas S.A.
- Pereira, Z. L., & Requeijo, J. G. (2012). *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos (2ª Edição)*. Fundação FCT.
- Pires, A. (2016). *Sistemas de Gestão da Qualidade - Ambiente, Segurança, Responsabilidade Social, Indústrias e Serviços (Second Edition)*. Edições Sílabo, Lda.
- Pistamiglio, M. (1963). *Controlo Estatístico da Qualidade*. Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial.
- QIMacros. (2022). *Control chart rules are used to perform stability analysis*. <https://www.qimacros.com/control-chart/stability-analysis-control-chart-rules/>
- Requeijo, J. F. (2003). *Técnicas Avançadas do Controlo Estatístico do Processo*. Universidade Nova de Lisboa.
- Ribeiro, J., & Caten, C. (2012). *Série monográfica Qualidade. Controle Estatístico do Processo*. FEENG/UFRGS – Fundação Empresa Escola de Engenharia da UFRGS. http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/388_apostilacep_2012.pdf
- Roldão, V., & Ribeiro, J. (2004). *Organização da produção e das operações*. Monitor.
- Salazar, R. (2019, October 19). *Quality Control Charts: x-bar chart, R-chart and Process Capability Analysis*. Towards Data Science. <https://towardsdatascience.com/quality-control-charts-x-bar-chart-r-chart-and-process-capability-analysis-96caa9d9233e>
- Sampaio, P. (2011, October). Customers Define Quality. *Forbes Insights*, 16–17.
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2007). *Research Methods for Business Students. 4th. Edition* (Financial Times Prentice-Hall, Ed.).
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *Research Methods for Business Students (Fifth edition)* (Pearson Education, Ed.).
- Silveira, C. (2012, November 19). *Relação entre o índice CP e a porcentagem de produtos defeituosos*. Citisystems. <https://www.citisystems.com.br/cpk-indice-capacidade-performance-processo/>

- Singh, M., Khan, I. A., & Grover, S. (2012). Tools and Techniques for Quality Management in Manufacturing Industries. Proceedings of National Conference on Trends and Advances in Mechanical Engineering. *YMCA University of Science & Technology*, 853–859.
- Stapenhurst, T. (2005). *Mastering Statistical Process Control (1ª Edição)*. Elsevier Ltd.
- Tague, N. R. (2005). *The quality toolbox (Second Edition)* (Quality Press). ASQ Quality Press.
- Vieira, S. (2012). *Estatística para a Qualidade (2ª Edição)*. Elsevier.
- Walliman, N. (2001). *Your Project Research: A step-by-step guide for the first-time researcher* (Sage, Ed.).
- Wernke, R., & Bornia, A. C. (1999). *Mensuração dos desperdícios: uma ferramenta eficiente para verificar as melhorias decorrentes dos programas de qualidade*.
- Western Electric Company. (1958). *Statistical Quality Control Handbook*.
- Woodruff, D. (2012). *Statistical Methods for Process Improvement Part 3: Using Process Control Charts*. PDHcenter.

Anexos

ANEXO 1 – CONSTANTES LIMITES DE CONTROLO

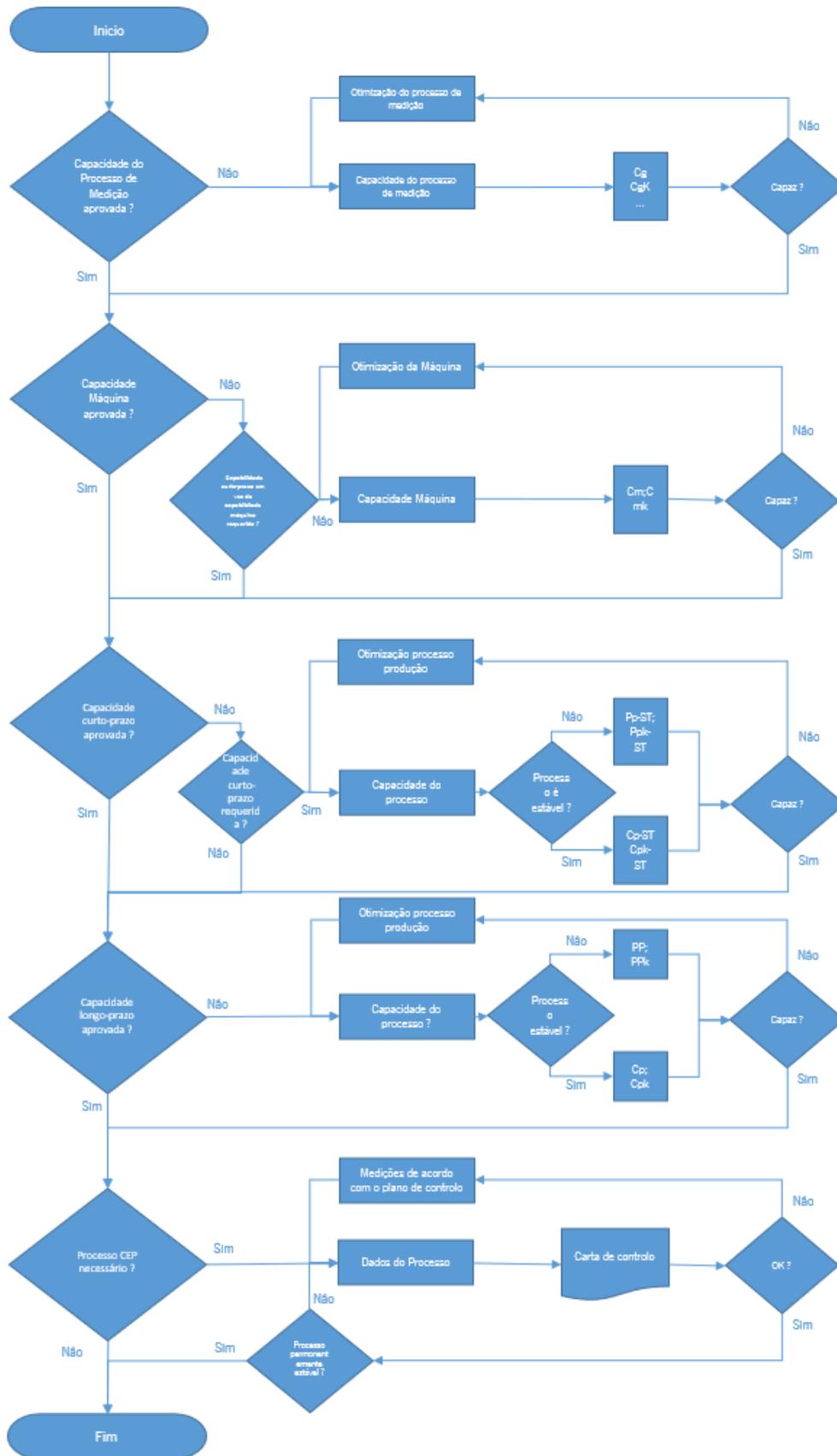
Valores das constantes, para cálculo de:															
Tamanho do subgrupo	Carta \bar{X}			Carta \bar{X} - S						Carta \bar{X} - R					
	Limites de controlo das médias			Linha central do desvio padrão		Limites de controlo dos desvios padrão				Linha central das amplitudes		Limites de controlo das amplitudes			
n	A	A2	A3	c4	c5	B3	B4	B5	B6	d2	d3	D1	D2	D3	D4
2	2,121	1,881	2,659	0,798	0,603	0	3,267	0	2,606	1,128	0,853	0	3,687	0	3,269
3	1,732	1,023	1,954	0,886	0,463	0	2,568	0	2,276	1,693	0,888	0	4,357	0	2,574
4	1,5	0,729	1,628	0,921	0,389	0	2,266	0	2,088	2,059	0,88	0	4,699	0	2,282
5	1,342	0,577	1,427	0,94	0,341	0	2,089	0	1,964	2,326	0,864	0	4,918	0	2,115
6	1,225	0,483	1,287	0,952	0,308	0,03	1,97	0,029	1,874	2,534	0,848	0	5,078	0	2,004
7	1,134	0,419	1,182	0,959	0,282	0,118	1,882	0,113	1,806	2,704	0,833	0,205	5,203	0,076	1,924
8	1,061	0,373	1,099	0,965	0,262	0,185	1,815	0,179	1,751	2,847	0,82	0,387	5,307	0,136	1,864
9	1	0,337	1,032	0,969	0,246	0,239	1,761	0,232	1,707	2,97	0,808	0,546	5,394	0,184	1,816
10	0,949	0,308	0,975	0,973	0,232	0,284	1,716	0,276	1,669	3,078	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777
11	0,905	0,285	0,927	0,975	0,221	0,321	1,679	0,313	1,637	3,173	0,787	0,812	5,534	0,256	1,744
12	0,866	0,266	0,886	0,978	0,211	0,354	1,646	0,346	1,61	3,258	0,778	0,924	5,592	0,284	1,716
13	0,832	0,249	0,85	0,979	0,202	0,382	1,618	0,374	1,585	3,336	0,77	1,026	5,646	0,308	1,692
14	0,802	0,235	0,817	0,981	0,194	0,406	1,594	0,399	1,563	3,407	0,762	1,121	5,693	0,329	1,671
15	0,775	0,223	0,789	0,982	0,187	0,428	1,572	0,421	1,544	3,472	0,755	1,207	5,737	0,348	1,652
16	0,75	0,212	0,763	0,983	0,181	0,448	1,552	0,44	1,526	3,532	0,749	1,285	5,779	0,364	1,636
17	0,728	0,203	0,739	0,985	0,175	0,466	1,534	0,458	1,511	3,588	0,743	1,359	5,817	0,379	1,621
18	0,707	0,194	0,718	0,985	0,17	0,482	1,518	0,475	1,496	3,64	0,738	1,426	5,854	0,392	1,608
19	0,688	0,187	0,698	0,986	0,165	0,497	1,503	0,49	1,483	3,689	0,733	1,49	5,888	0,404	1,596
20	0,671	0,18	0,68	0,987	0,161	0,51	1,49	0,504	1,47	3,735	0,729	1,548	5,922	0,414	1,586
21	0,655	0,173	0,663	0,988	0,157	0,523	1,477	0,516	1,459	3,778	0,724	1,606	5,95	0,425	1,575
22	0,64	0,167	0,647	0,988	0,153	0,534	1,466	0,528	1,448	3,819	0,72	1,659	5,979	0,434	1,566
23	0,626	0,162	0,633	0,989	0,15	0,545	1,455	0,539	1,438	3,858	0,716	1,71	6,006	0,443	1,557
24	0,612	0,157	0,619	0,989	0,147	0,555	1,445	0,549	1,429	3,895	0,712	1,759	6,031	0,452	1,548
25	0,6	0,153	0,606	0,99	0,144	0,565	1,435	0,559	1,42	3,931	0,709	1,804	6,058	0,459	1,541

ANEXO 2 – TABELA CPK PARA NÍVEL DE SIGMA

DPMO	Sigma Short Term (Zst)	Sigma Long Term (Zlt)	Yield	Cpk
2	6,00	4,50	99,99966	2,00
5	5,90	4,40	99,99954	1,97
9	5,80	4,30	99,99915	1,93
13	5,70	4,20	99,9987	1,90
21	5,60	4,10	99,9979	1,87
32	5,50	4,00	99,9968	1,83
48	5,40	3,90	99,995	1,80
72	5,40	3,90	99,993	1,77
108	5,20	3,70	99,989	1,73
159	5,10	3,60	99,984	1,70
233	5,00	3,50	99,98	1,67
337	4,90	3,40	99,97	1,63
483	4,80	3,30	99,95	1,60
687	4,70	3,20	99,93	1,57
968	4,60	3,10	99,9	1,53
1 350	4,50	3,00	99,87	1,50
1 866	4,40	2,90	99,81	1,47
2 555	4,30	2,80	99,74	1,43
3 467	4,20	2,70	99,65	1,40
4 661	4,10	2,60	99,5	1,37
6 210	4,00	2,50	99,4	1,33
8 198	3,90	2,40	99,2	1,30
10 724	3,80	2,30	98,9	1,27
13 903	3,70	2,20	98,6	1,23
17 864	3,60	2,10	98,2	1,20
22 750	3,50	2,00	97,7	1,17
28 716	3,40	1,90	97,1	1,13
35 930	3,30	1,80	96,4	1,10
44 565	3,20	1,70	95,5	1,07
54 799	3,10	1,60	94,5	1,03
66 807	3,00	1,50	93,3	1,00
80 757	2,90	1,40	91,9	0,97
96 801	2,80	1,30	90,3	0,93
115 070	2,70	1,20	88,5	0,90
135 666	2,60	1,10	86,4	0,87
158 655	2,50	1,00	84,1	0,83
184 060	2,40	0,90	81,6	0,80
211 855	2,30	0,80	78,8	0,77
241 964	2,20	0,70	75,8	0,73
274 253	2,10	0,60	72,6	0,70

308 538	0,20	0,50	69,1	0,67
344 578	0,19	0,40	65,5	0,63
382 089	1,80	0,30	61,8	0,60
420 740	1,70	0,20	57,9	0,57
460 172	1,60	0,10	54	0,53
500 000	1,50	0,00	50	0,50
539 828	1,40	-0,10	46	0,47
579 260	1,30	-0,20	42,1	0,43
617 911	1,20	-0,30	38,2	0,40
655 422	1,10	-0,40	34,5	0,37
691 462	1,00	-0,50	30,9	0,33
725 747	0,90	-0,60	27,4	0,30
758 036	0,80	-0,70	24,2	0,27
788 145	0,70	-0,80	21,2	0,23
815 940	0,60	-0,90	18,4	0,20
841 345	0,50	-1,00	15,9	0,17
864 334	0,40	-1,10	13,6	0,13
884 930	0,30	-1,20	11,5	0,10
903 199	0,20	-1,30	9,7	0,07
919 243	0,10	-1,40	8,1	0,03
933 193	0,00	-1,50	6,7	0,00

ANEXO 3 – FLUXOGRAMA IMPLEMENTAÇÃO CEP



ANEXO 4 – MANUAL FORMAÇÃO METODOLOGIA E SOFTWARE



Registos do Operador

Registos do Operador

- 1 - Metodologia SPC
- 2 - Abertura da peça no Q-DAS e registo de Dados
- 3 - Alterar método de medição da peça
- 4 - Ligação dos instrumentos de medição com o Q-DAS
 - Mahr

• 1 – Metodologia SPC

08_Abr_2022 Q-DAS Software/Manual Page 3

08_Abr_2022 Q-DAS Software/Manual Page 4

1 – Metodologia SPC

Registos do Operador



Principais objetivos

- Reduzir inspeção a 100%, mantendo o mesmo nível de qualidade
- Aumentar conhecimento sobre os processos e seu comportamento
- Prevenção de produtos ci defeito

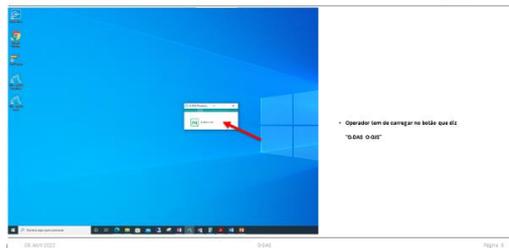
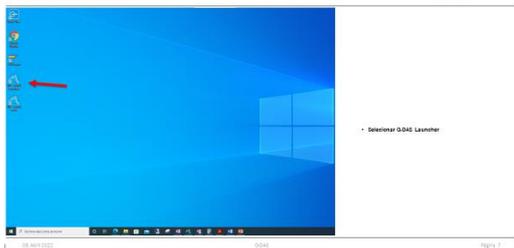
• 2 – Abertura da peça no Q-DAS e registo de Dados

08_Abr_2022 Q-DAS Software/Manual Page 5

08_Abr_2022 Q-DAS Software/Manual Page 6

2 - Abertura da peça no Q-DAS e registo de Dados

2 - Abertura da peça no Q-DAS e registo de Dados



2 - Abertura da peça no Q-DAS e registro de Dados

• Usar nome Operador
• Password: Nôta

08 Abr 2022 00:04 Página: 8

2 - Abertura da peça no Q-DAS e registro de Dados

1. Carregar na base selecionar peça

08 Abr 2022 00:04 Página: 10

2 - Abertura da peça no Q-DAS e registro de Dados

1. Escolher a nº peça para anotar/abertura a peça e registrar dados
2. Clicar Fazer no início da aplicação
3. Verificar esta da última alteração (versão Nô)
4. Carregar em si para abrir registro de dados

08 Abr 2022 00:04 Página: 11

2 - Abertura da peça no Q-DAS e registro de Dados

1. Preencher a nº lista
2. Preencher a nº de operador
3. Selecionar a resposta

08 Abr 2022 00:04 Página: 12

2 - Abertura da peça no Q-DAS e registro de Dados

1. Programa pronto a efetuar registro de dados

08 Abr 2022 00:04 Página: 13

2 - Abertura da peça no Q-DAS e registro de Dados

1. Gerar dados registros (Atenção)

1. Nôta: O QUEM NÃO REGISTRA NA MÁQUINA, INDICA O Nº DE PEÇAS REGISTRADAS

Caso ocorra alguma situação com o software, e o operador verificar que por algum motivo os dados não estão a ser registados, deve de **IMEDIATO** avisar o chefe de grupo de forma a arranjar uma solução alternativa para o registo dos dados e reportar a situação à pessoa Responsável pelo software

08 Abr 2022 00:04 Página: 14

2 - Abertura da peça no Q-DAS e registro de Dados

1. Carregar em arquivo
2. Pastar registro de dados

NOTA: ESTA OPERAÇÃO DEVE SER SEMPRE REALIZADA NO FINAL DO TURNO

08 Abr 2022 00:04 Página: 15

Registos do Operador

• 3 - Alterar método de medição da peça

08 Abr 2022 00:04 Software: mediant Página: 16

3 - Alterar método de medição da peça

• Selecionar Características

08 Abr 2022 00:04 Página: 17

3 - Alterar método de medição da peça

• Selecionar Tipo de Entrada:
• Matrícula Interface Box ou
• Tera Data View

08 Abr 2022 00:04 Página: 18

3 - Alterar método de medição da peça

Peça: (CH1-F1)
Peça: 4713
Sensor: 1430
(CH1-F2)
Peça: 420-400-215-014
Sensor: (CH1-F3)

- Ajustar a interface que envia medições para o sistema de peças
 - Identificar CH1 de item
 - Senal

! Este operação só deve ser realizada depois de o sistema de peças ligado com a interface para SHARP GUI, O CANAL 1!

08-Abr-2022 09:45 Página 18

3 - Alterar método de medição da peça

1- GRAVAR AS ALTERAÇÕES

2- FECHAR E ABRIR NOVAMENTE PEÇA

08-Abr-2022 09:46 Página 20

Registos do Operador

4 - Ligação dos instrumentos de medição com o Q-DAS

08-Abr-2022 09:45 SoftwareInstalator Página 21

Registos do Operador

Mahr

- Instrumentos Mahr:
 - Canal 1 - 175TOF - Torneamento Fino
 - Canal 2 - 173FRS - Fresagem
 - Canal 3 - 174TOA - Torneamento

- 2 possibilidades:
 - Reconectar o aparelho de medição
 - Adicionar novo aparelho de medição

08-Abr-2022 09:45 SoftwareInstalator Página 22

Registos do Operador

- 1 - Abrir Software Mahr
- 2 - Carregar 2x no símbolo Mahr
- 3 - Aparece uma mensagem de ERRO, selecionar a opção NÃO

08-Abr-2022 09:45 SoftwareInstalator Página 23

Registos do Operador

- Software Mahr:**
 - 1 - Carregar 2x no símbolo de exemplo 1004 para abrir o programa
 - 2 - Carregar no botão "Iniciar" (instalar e iniciar) e clicar no botão "OK" para confirmar a instalação
- Comparador:**
 - 1 - Ligar comparador
 - 2 - Verificar que a conexão para o comparador está ligada
 - 3 - Desligar a chave a voltagem ligar
 - 4 - Carregar no botão "Temperatura"
 - 5 - Deve aparecer um símbolo de erro, assim que aparecer o símbolo de erro clicar no botão "OK" e clicar no botão "OK" para aceitar a mensagem

08-Abr-2022 09:45 SoftwareInstalator Página 24

Registos do Operador

Adicionar novo aparelho:

- No software:
 - Instrumentos de medição
 - Adicionar dispositivo RF
 - RF&K
- Selecionar:
 - Canal do centro de custo
 - Instrumento: Manual 10040
 - No botão "Iniciar" para selecionar "Iniciar a medição"
 - Selecionar uma porta disponível (verde em branco)
 - Temperatura não RF&K e canal para cada conexão de dispositivo no Q-DAS

08-Abr-2022 09:45 SoftwareInstalator Página 25

Q-DAS | Registos do Operador
08-04-2022

ANEXO 5 – VALORES OBTIDOS REF^a 475-035.016-005

Características									
7.839 ±0.015		5.345 ±0.01		24.539 ±0.015		12.479 ±0.015		15 ±0.015	
7.8375	7.8375	5.3425	5.3465	24.535	24.54	12.46	12.461	15.0005	15.0015
7.8375	7.8395	5.3465	5.346	24.539	24.5395	12.458	12.463	15.001	15.0025
7.8405	7.839	5.343	5.3445	24.5405	24.541	12.461	12.462	15.001	15.002
7.8375	7.8395	5.3445	5.3465	24.5385	24.5405	12.46	12.4635	14.999	15.001
7.839	7.8415	5.341	5.3475	24.537	24.5435	12.4625	12.463	15	15.0025
7.841	7.841	5.343	5.345	24.5375	24.5415	12.4595	12.463	14.9995	15.0005
7.837	7.841	5.3435	5.3455	24.539	24.5415	12.459	12.462	14.9995	15.002
7.839	7.8415	5.346	5.344	24.5385	24.5395	12.4585	12.4625	15	15.001
7.84	7.8405	5.3415	5.3445	24.5385	24.541	12.459	12.463	14.9995	15
7.8385	7.84	5.3455	5.3465	24.5385	24.5405	12.46	12.4645	14.9995	15.0005
7.842	7.841	5.3455	5.344	24.5385	24.539	12.4615	12.463	14.9995	15.002
7.841	7.841	5.3425	5.3435	24.538	24.5415	12.46	12.464	15.003	15.0015
7.8405	7.8405	5.344	5.3455	24.5405	24.5405	12.458	12.463	15.001	15
7.8435	7.8385	5.3445	5.3465	24.54	24.5405	12.466	12.464	15	15
7.8405	7.8425	5.344	5.3435	24.538	24.541	12.464	12.461	15	15.001
7.8395	7.8405	5.3445	5.343	24.5395	24.5405	12.4625	12.4615	15.0025	15.001
7.84	7.8415	5.3445	5.3435	24.538	24.5415	12.4635	12.4625	15.001	15.0015
7.839	7.841	5.3455	5.343	24.539	24.5405	12.4605	12.463	15.002	15.0015
7.8395	7.8405	5.345	5.344	24.5385	24.5405	12.463	12.4635	15	15.0015
7.8395	7.8405	5.3445	5.3455	24.539	24.5415	12.4635	12.462	14.999	15.002
7.84	7.8395	5.3455	5.3445	24.54	24.5405	12.465	12.4615	15.0005	15.0015
7.84	7.8395	5.3445	5.345	24.5385	24.541	12.463	12.4625	14.999	15.002
7.838	7.8425	5.3465	5.346	24.5405	24.5415	12.463	12.464	15.0005	15.0015
7.8405	7.841	5.3445	5.346	24.5425	24.5415	12.4605	12.463	15.0005	14.9995
7.8395	7.8405	5.3455	5.3435	24.54	24.542	12.461	12.464	14.9995	14.9995
7.8395	7.841	5.343	5.3425	24.537	24.5385	12.4625	12.461	15.001	15.001
7.841	7.8385	5.349	5.345	24.539	24.539	12.4615	12.4615	15.0005	15.001
7.84	7.839	5.346	5.346	24.5395	24.5405	12.461	12.4615	15.0015	14.999
7.839	7.837	5.3445	5.3445	24.538	24.54	12.461	12.4625	15.0015	15
7.8395	7.8385	5.3475	5.345	24.5405	24.5405	12.46	12.461	14.999	15.0005
7.84	7.839	5.345	5.3455	24.5385	24.54	12.463	12.462	15.0005	15.001
7.84	7.839	5.345	5.345	24.539	24.5395	12.462	12.461	14.9995	14.999
7.839	7.8385	5.3465	5.3455	24.5395	24.54	12.4645	12.4625	15.0015	14.998
7.84	7.8375	5.3445	5.346	24.539	24.5395	12.463	12.461	15	15.0005
7.8395	7.8405	5.346	5.343	24.538	24.539	12.4625	12.46	15.001	15.001
7.8415	7.8395	5.343	5.345	24.5375	24.54	12.4615	12.4605	15.0005	14.999
7.839	7.8395	5.345	5.345	24.5385	24.54	12.4625	12.4625	15	15

7.8395	7.839	5.345	5.3445	24.5395	24.5405	12.4625	12.4615	15	14.999
7.84	7.84	5.3455	5.3425	24.5405	24.538	12.462	12.4615	14.9995	15.001
7.8385	7.839	5.3455	5.3455	24.541	24.539	12.4615	12.46	15.0005	14.9995
7.8405	7.8415	5.3455	5.344	24.539	24.539	12.463	12.461	15.002	14.9985
7.84	7.841	5.3445	5.342	24.539	24.539	12.4625	12.461	15	14.999
7.8385	7.838	5.3455	5.346	24.5395	24.541	12.4615	12.4605	14.9995	15
7.8375	7.84	5.345	5.3455	24.5405	24.5385	12.463	12.461	14.9975	15.0005
7.839	7.841	5.346	5.345	24.541	24.5405	12.4625	12.4615	15.0005	15.0005
7.838	7.839	5.3445	5.345	24.539	24.541	12.4615	12.4635	15	15.0025
7.8385	7.8405	5.346	5.3455	24.54	24.539	12.462	12.4625	15.001	15.0005
7.839	7.8315	5.345	5.345	24.5415	24.542	12.463	12.46	15.001	14.9995
7.8395	7.838	5.3445	5.3465	24.5385	24.542	12.4615	12.461	15.001	15
7.839	7.837	5.3455	5.3465	24.539	24.5395	12.4635	12.4615	15	14.999
7.8395	7.8365	5.344	5.3455	24.5395	24.541	12.4615	12.463	15	14.9995
7.8405	7.838	5.3445	5.3455	24.54	24.5385	12.4625	12.4625	14.9995	15.0005
7.84	7.8355	5.345	5.3495	24.5375	24.5435	12.462	12.46	14.9995	15.0015
7.8395	7.8405	5.3445	5.3435	24.54	24.5405	12.4615	12.462	15	14.9995
7.8395	7.8395	5.3455	5.346	24.5395	24.5385	12.463	12.464	15	14.9985
7.8405	7.8405	5.346	5.3455	24.5405	24.5415	12.462	12.4615	15.001	14.997
7.84	7.837	5.346	5.3465	24.5395	24.5405	12.4625	12.464	15.0005	14.9995
7.837		5.347		24.5415		12.4615		15.0005	

ANEXO 6 – VALORES OBTIDOS REFª 475-075.020-005

Características				
7.293 ±0.015			8.722 ±0.02	
	Eventos			
7.2915		7.2915	8.7265	8.728
7.291		7.2915	8.725	8.731
7.2905	Correção de parâmetros	7.291	8.728	8.727
7.291		7.2905	8.724	8.7265
7.2905		7.29	8.7245	8.7275
7.293		7.2925	8.725	8.726
7.293		7.292	8.721	8.7265
7.2925		7.292	8.7255	8.727
7.2925		7.292	8.72	8.725
7.294		7.2895	8.7265	8.7245
7.294	Correção de parâmetros	7.2905	8.7265	8.7275
7.292		7.2965	8.7265	8.728
7.2915		7.2925	8.7265	8.7265
7.293		7.2895	8.7245	8.726
7.294	Correção de parâmetros	7.295	8.7275	8.723
7.2915		7.2955	8.726	8.7265
7.2935		7.291	8.723	8.729
7.293		7.292	8.7245	8.7255
7.2945		7.293	8.724	8.72
7.2915		7.2915	8.725	8.7225
7.294		7.291	8.726	8.7235
7.2935		7.293	8.724	8.7235
7.2935		7.2925	8.727	8.7245
7.2935	Intervalo	7.2915	8.726	8.7245
7.2935		7.291	8.728	8.725
7.2925		7.2905	8.7225	8.722
7.2915		7.2915	8.7255	8.7195
7.293		7.289	8.724	8.726
7.2945		7.2895	8.7245	8.727
7.293		7.2935	8.7265	8.723
7.2945		7.292	8.7245	8.728
7.291		7.2925	8.7285	8.726
7.29		7.291	8.7255	8.7265
7.2945		7.2935	8.724	8.723
7.2915		7.2935	8.7245	8.723
7.292		7.294	8.7265	8.726
7.2935		7.293	8.728	8.7235

7.294	Correção de parâmetros	7.2935	8.7205	8.7205
7.292		7.291	8.7225	8.724
7.2935		7.2915	8.7255	8.7225
7.2925			8.7245	

ANEXO 7 – VALORES OBTIDOS REFª 475-090.123-005

Características							
6.202 ± 0,02		10.494 ± 0,02		7.787 ±0,02		2.599 ±0,02	
6.20 35	6.20 4	10.49 65	10.49 8	7.79	7.78 35	2.593	2.5865
6.20 5	6.19 95	10.49 3	10.49 65	7.78 9	7.78 8	2.5905	2.5855
6.20 15	6.20 1	10.49 4	10.49 6	7.78 9	7.78 6	2.594	2.583
6.20 15	6.20 05	10.49 35	10.49 55	7.78 8	7.78 6	2.595	2.588
6.20 3	6.20 35	10.49 55	10.49 65	7.79 05	7.78 75	2.5945	2.5865
6.20 2	6.19 45	10.49 6	10.49 5	7.78 9	7.78 5	2.594	2.5855
6.20 2	6.19 6	10.49 4	10.49 7	7.78 9	7.78 95	2.593	2.5885
6.20 35	6.19 55	10.49 4	10.49 75	7.78 95	7.79 1	2.5935	2.585
6.20 05	6.19 9	10.49 35	10.50 05	7.78 95	7.78 95	2.596	2.5895
6.20 1	6.20 4	10.49 5	10.50 3	7.79 05	7.79 1	2.595	2.586
6.20 35	6.20 4	10.49 7	10.50 15	7.79	7.79 1	2.594	2.582
6.20 3	6.20 3	10.49 65	10.49 9	7.79	7.78 8	2.5955	2.5855
6.20 1	6.20 65	10.49 5	10.49 95	7.79 05	7.78 75	2.595	2.584
6.20 25	6.20 1	10.49 35	10.49 3	7.79 05	7.79 15	2.5935	2.589
6.20 1	6.20 2	10.49 5	10.49 6	7.79	7.79 15	2.5935	2.5845
6.20 4	6.20 6	10.49 8	10.49 75	7.79	7.78 55	2.594	2.5885
6.19 95	6.20 6	10.49 55	10.49 4	7.78 75	7.78 85	2.5915	2.5865
6.19 8	6.20 25	10.49 5	10.49 45	7.79	7.78 95	2.5955	2.5905
6.19 85	6.20 5	10.49 5	10.49 75	7.79	7.78 7	2.594	2.5905
6.19 6	6.20 4	10.49 3	10.49 85	7.78 65	7.78 7	2.592 (Correção de parâmetros)	2.5885
6.20 2	6.20 9	10.49 6	10.49 9	7.78 9	7.79	2.582	2.593 (Correção de parâmetros)

6.20 5	6.20 7	10.49 8	10.49 8	7.78 6	7.78 9	2.58	2.587
6.20 05	6.20 3	10.49 5	10.49 35	7.79 2	7.79 2	2.582	2.603
6.20 7	6.20 7	10.50 1	10.49 75	7.78 6	7.78 8	2.581	2.6025
6.20 25	6.20 5	10.49 6	10.49 95	7.78 7	7.78 8	2.5805	2.6035
6.20 3	6.20 05	10.49 65	10.49 75	7.78 65	7.78 95	2.579 (Correção de parâmetros)	2.5995
6.20 05	6.19 95	10.49 7	10.49 3	7.78 7	7.78 85	2.5825	2.591
6.20 3	6.2 5	10.49 6	10.49 95	7.78 65	7.78 95	2.5855	2.599
6.20 3	6.20 25	10.49 8	10.49 95	7.78 75	7.78 95	2.5865	2.604
6.20 15	6.20 05	10.49 4	10.49 85	7.78 85	7.78 55	2.5895	2.588
6.20 15	6.20 55	10.49 55	10.49 7	7.78 85	7.78 85	2.583	2.608
6.20 25	6.20 35	10.49 5	10.49 8	7.79 15	7.78 85	2.5865	2.605
6.20 3	6.20 55	10.49 75	10.49 9	7.78 95	7.79	2.5855	2.607
6.20 3	6.20 2	10.49 8	10.49 85	7.78 65	7.78 8	2.588	2.5985
6.20 75	6.20 6	10.49 9	10.49 9	7.79	7.79 1	2.586	2.606
6.20 45	6.20 45	10.49 65	10.49 85	7.78 65	7.79 05	2.5865	2.607
6.20 65	6.20 5	10.49 95	10.49 75	7.78 5	7.78 95	2.586	2.6025
6.20 15	6.20 5	10.49 75	10.49 8	7.78 8	7.79 05	2.586	2.6005
6.20 3	6.20 6	10.49 5	10.49 85	7.78 65	7.78 75	2.582	2.5985
6.20 15	6.20 15	10.49 6	10.49 8	7.78 8	7.79 15	2.5855	2.591