



João Alves Pessoa Amaro

Implementação do Controlo Estatístico de
Processo numa empresa de Metalomecânica

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

João Alves Pessoa Amaro

Implementação do Controlo Estatístico de Processo numa empresa de metalomecânica

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia e
Gestão da Qualidade

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Paulo Alexandre 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

À JASIL, com especial agradecimento ao Eng.º Luís e à Dra. Manuela pela oportunidade concedida da realização desta dissertação na empresa.

Aos meus orientadores Nuno Lopes e Renato Vale pela sua orientação, incentivo, e acima de tudo pela disponibilidade, mesmo com uma enorme carga de trabalho, a disponibilidade para me acompanhar e ajudar esteve sempre presente.

Aos meus colegas de departamento, Ricardo Freitas e José Maria Dourado pela integração na equipa e prontidão de ajuda.

Aos colegas do departamento de Qualidade, em especial ao Filipe Costa e João Rodrigues, pela orientação, e apoio prestado durante a realização do estudo.

A todos os colaboradores dos diversos setores com quem tive o gosto e prazer de trabalhar, pela disponibilidade que sempre tiveram para comigo e toda a ajuda prestada.

Ao Professor Doutor Paulo Sampaio, pela sua orientação, disponibilidade, prontidão e ajuda prestada ao longo da dissertação.

De forma especial, à minha namorada, pelo incentivo, apoio incondicional, muita paciência, compreensão, ao longo desta caminhada.

Agradeço ainda a todos os meus colegas de curso com quem tive o prazer de partilhar estes dois anos, pela partilha de ideias e ajuda durante a realização desta formação, da união, e momentos passados.

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.

Implementação do Controle Estatístico de Processo numa empresa de Metalomecânica

RESUMO

Com a grande competitividade que as empresas atravessam, estas necessitam de controlar cada vez mais os seus processos e métodos de produção com a implementação de ferramentas e procedimentos que garantam a qualidade dos seus produtos. Através da implementação do Controle Estatístico de Processo, é possível às indústrias analisar e melhorar a estabilidade dos seus processos, reduzindo os custos e o número de defeitos nos seus produtos.

Assim, surgiu a oportunidade da realização desta dissertação na empresa JASIL, uma empresa do setor da metalomecânica de precisão, com o objetivo da implementação do Controle Estatístico de Processo para um produto do setor automóvel.

De acordo com o objetivo definido, recorreu-se a algumas ferramentas da qualidade nomeadamente o diagrama de Pareto, diagrama Ishikawa, e os gráficos de controlo. Tendo-se iniciado este estudo com uma análise de Pareto aos defeitos que ocorrem com maior frequência, foi realizada de seguida uma sessão de *brainstorming* com o objetivo de se estudar as causas dos defeitos.

Os resultados obtidos indicaram que o defeito que ocorria com maior frequência no processo da JASIL, eram as peças oxidadas. Contudo, verificou-se que o cliente tinha apresentado uma reclamação para dois tipos de defeitos, peças oxidadas e um desvio no diâmetro da rosca.

Realizou-se de seguida uma Análise ao Sistema de Medição por variáveis, tendo-se concluído através desta análise que o sistema se apresentava aceitável.

O projeto terminou com a realização do estudo do Controle Estatístico de Processo do produto alvo do estudo, tendo-se concluído que para as características estudadas o processo estava sob controlo estatístico, mas com possibilidades de melhoria.

PALAVRAS-CHAVE

Análise ao Sistema de Medição; Controle Estatístico de Processo; Ferramentas da Qualidade

Implementation of Statistical Process Control in a Metalwork company

ABSTRACT

With the great competitiveness that companies go through, they need to increasingly control their processes and production methods with the implementation of tools and procedures that ensure the quality of their products. Through the implementation of Statistical Process Control, it is possible for industries to analyze and improve the stability of their processes, reducing costs and the number of defects in their products.

Thus, the opportunity arose to conduct this dissertation in the company JASIL, a company in the precision metalworking sector, with the objective of implementing Statistical Process Control for a product of the automotive sector.

According to the defined objective, some quality tools were used, namely the Pareto diagram, the Ishikawa diagram, and the control charts. Having started this study with a Pareto analysis of the most frequently occurring defects, a brainstorming session was then performed with the objective of studying the causes of defects.

The results obtained indicated that the most frequently occurring defect in the JASIL process was oxidized parts. However, it was found that the customer had filed a complaint for two types of defects, oxidized parts, and a deviation in the thread diameter.

An analysis of the variable measurement system was then performed, and it was concluded from this analysis that the system was acceptable.

The project ended with the Statistical Process Control study of the target product, having concluded that for the characteristics studied the process was under statistical control, but with room for improvement.

KEYWORDS

Measurement System Analysis; Statistical Process Control; Quality Tools

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	x
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas	xiv
1. Introdução	15
1.1 Enquadramento	15
1.2 Motivação e Objetivos.....	17
1.3 Metodologia de Investigação.....	18
1.4 Estrutura da dissertação.....	19
2. Fundamentação Teórica.....	20
2.1 Qualidade	20
2.2 Ferramentas da Qualidade	21
2.3 Controlo Estatístico de Processo.....	25
2.3.1 Variabilidade do processo	26
2.3.2 Tamanho da amostra e frequência.....	28
2.3.3 Gráficos de Controlo	29
2.3.4 Gráficos de Controlo por Variáveis.....	32
2.3.5 Capacidade do Processo.....	35
2.3.6 Implementação do CEP	39
2.4 Análise Sistema de Medição	42
2.4.1 Análise do sistema de medição por variáveis.....	46
3. Apresentação da Empresa	48
3.1 JASIL - J. António da Silva, Lda.....	48
3.2 Processos Produtivos	49
3.3 Principais equipamentos de controlo e inspeção	52

3.4	Principais Clientes.....	53
3.5	Principais produtos.....	53
4.	Estudo de Caso.....	55
4.1	Produto alvo do estudo.....	55
4.2	Processo produtivo das mangas	56
4.3	Análise de Pareto	60
4.3.1	Análise crítica aos defeitos.....	62
4.3.2	Análise das causas dos defeitos.....	62
4.3.3	Análise através do diagrama de causa-efeito	63
4.4.1	Contramedida definida para os defeitos	65
4.5	Análise do Sistema de Medição – Equipamentos utilizados	70
4.6	Controlo Estatístico de Processo.....	76
4.6.1	Caraterísticas alvo do estudo	77
4.6.2	Equipamentos de medição utilizados	77
4.6.3	Tamanho da amostra	78
4.6.4	Frequência da amostra.....	78
4.6.5	Análise aos dados recolhidos	79
4.6.6	Gráficos de Controlo	80
4.6.7	Análise dos dados recolhidos da cota 6.....	80
4.6.8	Análise dos dados recolhidos da cota 7.....	82
4.6.9	Análise dos dados recolhidos da cota 9.....	84
4.6.10	Análise aos dados recolhidos da cota 10.....	86
5.	Conclusão	89
5.1	Limitações	90
	Referências Bibliográficas	92
	Anexos 1 – Tabela das constantes	95
	Anexo 2 – Dados da análise das mangas.....	96
	Anexo 3 – Desenho da Manga	97
	Anexo 4 – Análise à cota 1	98
	Anexo 5 – Análise à cota 2	99
	Anexo 6 – Análise à cota 3	100

Anexo 7 – Análise à cota 4	101
Anexo 8 – Análise à cota 5	102
Anexo 9 – Análise à cota 8	103
Anexo 10 – Análise à cota 11	104
Anexo 11 – Análise à cota 12	105

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

ARL – Average Run Length

C&D – Conceção e Desenvolvimento

CEP – Controlo Estatístico de Processo

CMM – Coordinate Measuring Machine

CNC – Computer Numeric Control

ERP – Enterprise Resource Planning

JUSE – Union of Japanese Scientists and Engineers

LIC – Limite Inferior de Controlo

LSC – Limite Superior de Controlo

LSL – Lower Specification Limit

MSA – Measurement Systems Analysis

NOK – Não OK

PDCA – Plan Do Check Act

RPN - Risk Priority Number

R&R – Repetibilidade e Reprodutibilidade

USL – Upper Specification Limit

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama de Ishikawa	22
Figura 2 - Diagrama de Pareto	23
Figura 3 – Fluxograma.....	23
Figura 4 - Carta de Controlo.....	24
Figura 5 - Histograma	25
Figura 6 - Esquema de um Gráfico de Controlo	30
Figura 7 - Gráfico de Controlo das médias.....	32
Figura 8 - Gráfico de Controlo das amplitudes	33
Figura 9 – Capabilidade do Processo	36
Figura 10 - Comparação de Capacidades.....	37
Figura 11 - Exemplo de um FMEA.....	40
Figura 12 - Verificação da estabilidade do processo.....	43
Figura 13 - Estudo da Tendência.....	43
Figura 14 - Estudo da Linearidade.....	44
Figura 15 - Estudo de repetibilidade	44
Figura 16 - Estudo da reprodutibilidade.....	45
Figura 17 - Aplicabilidade de um sistema de medição em função do número de categorias (Ribeiro & Caten, 2012).....	45
Figura 18 - Etapas do Forjamento	50
Figura 19 – Processo de Torneamento.....	50
Figura 20 – Processo de Maquinagem	51
Figura 21 - Tipos de retificação da JASIL.....	51
Figura 22 - Coordinate Measuring Machine	52
Figura 23 - VICIVision	52
Figura 24 - Renishaw Equator	53
Figura 25 - Biela e Cambota da JASIL	54
Figura 26 - Axle Spindle	55
Figura 27 - Fluxograma do processo das mangas.....	55
Figura 28 - Localização da manga nos veículos	56
Figura 29 - Serrote de fita automático (JASIL, 2022)	56

Figura 30 – Robot a colocar peça dentro de um dos tornos (JASIL, 2022)	57
Figura 31 - QR Code marcado numa manga	57
Figura 32 - Renishaw Equator 500	58
Figura 33 - VICI M618 da célula das mangas	58
Figura 34 - Peça NOK através do controlo por Magnaflux	59
Figura 35 - Manga produzida, protegida e embalada	59
Figura 36 - Diagrama de causa-efeito peças oxidadas	63
Figura 37 - Diagrama de causa-efeito desvios dimensionais na rosca	64
Figura 38 - Linha de secagem automática produzida	69
Figura 39 - Etiqueta de calibração dos equipamentos	70
Figura 40 - Resultados das medições para o estudo GRR	71
Figura 41 - Ambiente de trabalho do Minitab	72
Figura 42 - Resultados do MSA por variáveis	72
Figura 43 - Resultados numéricos do MSA	75
Figura 44 - Software utilizado na JASIL (Vanguarda/JASIL, 2022)	77
Figura 45 - Controlo dos equipamentos através do software (Vanguarda/JASIL, 2022)	78
Figura 46 - Software Vanguarda - Indicação medir peça a peça	79
Figura 47 - Teste Anderson-Darling à normalidade dos dados da cota 6	80
Figura 48 - Cálculo da capacidade do processo para a cota 6	82
Figura 49 - Teste de Anderson-Darling à normalidade dos dados da cota 7	82
Figura 50 - Cálculo da capacidade do processo para a cota 7	84
Figura 51 - Teste de Anderson-Darling à normalidade dos dados da cota 9	84
Figura 52 - Cálculo da capacidade do processo para a cota 9	86
Figura 53 - Teste de Anderson-Darling à normalidade dos dados da cota 10	86
Figura 54 - Cálculo da capacidade do processo para a cota 10	88
Figura 55 - Tabela de constantes para cálculo dos limites de controlo (Montgomery, 2009)	95
Figura 56 - Dados da análise das mangas	96
Figura 57 - Desenho das Mangas	97
Figura 58 - Análise realizada à Cota 1	98
Figura 59 - Análise realizada à Cota 2	99
Figura 60 - Análise realizada à Cota 3	100
Figura 61 - Análise realizada à Cota 4	101

Figura 62 - Análise realizada à Cota 5.....	102
Figura 63 - Análise realizada à Cota 8.....	103
Figura 64 - Análise realizada à Cota 11.....	104
Figura 65 - Análise realizada à Cota 12.....	105

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Limites para os Gráficos de controlo por variáveis - Fase I (Lopes, 2020).....	34
Tabela 2 - Limites para os Gráficos de controlo por variáveis - Fase II (Lopes, 2020).....	35
Tabela 3 - Intervalos de referência para análise do índice C_p	38
Tabela 4 - Valores de referência do índice C_{pk}	39
Tabela 5 - Critérios de aceitação (Ribeiro & Caten, 2012).....	47
Tabela 6 - Defeitos encontrados nas mangas	60
Tabela 7 - Defeitos do processo da JASIL.....	61
Tabela 8 - Ações adotadas para mitigação das causas da Oxidação.....	66
Tabela 9 – Ações adotadas para mitigação das causas do desvio na rosca.....	67

1. INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo será abordado um enquadramento teórico da presente dissertação, apresentando-se ainda dentro do mesmo, os objetivos, a metodologia e a estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento

A qualidade sempre acompanhou o Homem nas suas atividades ou artigos por este produzidos, tendo predominado até ao séc. XIX apenas a aquisição de mão-de-obra para a realização dessas atividades ou artigos. Segundo Faria (2008) a qualidade como a conhecemos hoje, surgiu devido á segunda guerra mundial em que, era esperado que todos os produtos fabricados tivessem as mesmas características e não apresentassem defeitos. Para tal, foram criados os inspetores da qualidade que teriam como principal função inspecionar produto a produto, contudo, não tendo sido um método eficiente, foram substituídos pelas técnicas estatísticas de controlo da qualidade, criadas em 1920 por Walter A. Shewart.

Os produtos começavam assim a ter métodos de controlo que garantissem a qualidade dos mesmos, no entanto, o conceito de qualidade ainda hoje não apresenta uma unanimidade. Para Crosby (1979) a qualidade é livre, o que custa dinheiro é a falta de qualidade em todas as atividades que não produzem bem à primeira, ou seja, todos os produtos devem estar em conformidade com os requisitos exigidos procurando assim atingir os zero defeitos e evitar retrabalho ou defeitos. De acordo com a definição de Taguchi citada em Ribeiro & Caten (2012) um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente às especificações, atingindo o valor alvo com a menor variabilidade possível em torno dele. Deming (1968) citado em Sampaio (2020) defende que a qualidade de um produto ou serviço apenas pode ser definida pelo cliente, referindo claramente que cada cliente é que pode através dos seus requisitos, definir qualidade do produto ou serviço adquirido. A qualidade é a totalidade das características que tornam o produto ou serviço atrativo para os utilizadores, sendo que, cada característica de qualidade do produto ou serviço deve ser definida pela conformidade das características com as especificações exigidas pelo cliente (Oliveira, 2004a). Para Sampaio (2020), a qualidade é dar ao cliente aquilo que ele quer e, se possível, superar as expectativas, criando valor para o cliente.

Para atender ou se possível, superar as expectativas dos seus clientes, as organizações foram recorrendo a métodos e ferramentas da qualidade que proporcionam o controlo e tornam os seus processos mais eficientes, adotando uma cultura de melhoria contínua. De acordo com Motorcu & Gullu (2006), citado em Santos (2014), as empresas devem ponderar a aposta no desenvolvimento de processos mais

eficientes para que se consigam debater com o mercado cada vez mais exigente e competitivo. No entanto, para que a melhoria desenvolvida nos processos tenha sucesso, Bubbey & Dale (1997), citados em Santos (2014), afirmam, que esse sucesso se deve ao uso das ferramentas e técnicas da qualidade. Apesar de existir uma grande variedade de ferramentas da qualidade, as mais populares são as sete ferramentas básicas da qualidade.

Segundo Bamford & Greatbanks (2003), citando Ishikawa (1976), as sete ferramentas básicas da qualidade citadas são: análise de Pareto, diagrama de causa e efeito, histogramas, gráficos de controle, fluxogramas, folhas de verificação e diagramas de dispersão.

Durante a realização deste estudo, foi relevante recorrer à utilização de algumas destas sete ferramentas, proporcionando uma interpretação mais simples dos problemas detetados, levando à toma de decisões com base em dados concretos.

Hoje, e cada vez mais, um dos principais objetivos das indústrias passa pela minimização ou eliminação da variabilidade nos processos, que permita o alcance de uma produção de zero defeitos. Quando os requisitos de um produto estão fora dos limites de controle, ou seja, produto com não conformidades, é porque (na maior parte dos casos) existem elevadas variações nos processos, levando as indústrias atuar para melhorar a capacidade do processo (Sanchez, 2018).

Assim, o Controlo Estatístico de Processo tornou-se numa parte importante das atividades de controlo da qualidade (Does et al., 1997) aos quais as empresas recorreram.

O CEP, fornece uma radiografia do processo identificando variações presentes no mesmo, permitindo o controle dessas variações ao longo do tempo através da coleta de dados continua (processo de amostragem), respetiva análise (através de ferramentas da qualidade) que desencadeia à implementação de medidas sobre as possíveis causas que tornam o processo instável (Ribeiro & Caten, 2012). Segundo Toledo et al. (2017) esta técnica tem vindo a ser utilizada em processos industriais desde que Shewhart preparou o primeiro rascunho – hoje conhecido como carta de controlo.

As cartas de controlo são uma das ferramentas que podem ajudar a detetar variações de causas especiais (quando um dos pontos da carta de controlo ultrapassa um dos limites) com maior facilidade e rapidez, avaliar a eficácia de um processo, e garantir a sustentabilidade das melhorias ao longo do tempo (Benneyan, 2003). No entanto, até se construir as cartas de controlo, segundo Guerra (2013) a abordagem metodológica para a implementação do CEP incorpora alguns passos como, conhecer os processos e as características críticas da qualidade; Análise do Sistema de Medição (MSA); construção das cartas de controlo; avaliar a capacidade do processo e; acompanhamento e consolidação.

Uma vez que a validade das análises relativas ao desempenho do processo depende da validade dos dados, é essencial que o sistema de medição seja adequado. É importante entender qual a precisão associada ao sistema de medição, a que está relacionada com o próprio equipamento de medição e também com outras fontes de variação (Ribeiro & Caten, 2012).

Para isso, após conhecimento dos processos e as características críticas da qualidade, procedeu-se à Análise do Sistema de Medição, uma vez que, segundo (Santos, 2014) antes de se tentar melhorar um processo, deve ser investigada tanto a variação do processo de medição, como a variação do processo de fabrico.

Durante este projeto recorreu-se à Análise do Sistema de Medição, e ao uso de algumas das sete ferramentas básicas da qualidade.

O desenvolvimento deste projeto de dissertação realizou-se na JASIL – J.António da Silva, Lda, no departamento de C&D, em colaboração com o departamento de Qualidade e de Produção.

1.2 Motivação e Objetivos

As organizações enfrentam mercados cada vez mais competitivos, necessitando de dar ênfase ao controlo dos seus processos para que, consigam responder ou até superar as expectativas dos seus clientes.

Encontrando-se a JASIL dentro destes mercados, o controlo dos seus processos, tempos e custos necessitam de ser monitorizados constantemente para que os seus produtos mantenham o máximo de qualidade com o menor tempo e custo possível.

Assim, surgiu a necessidade de dar suporte na implementação do Controlo Estatístico num dos processos que atende aos requisitos de um cliente do sector automóvel.

Recorrendo-se ao uso de algumas ferramentas da qualidade para dar suporte na identificação das principais causas de variação do processo, aplicando (após uma devida análise) ações que visassem reduzir ou até eliminar essas mesmas variações.

Enquadrando-se com um conceito e uma abordagem metodológica de Controlo Estatístico de Processo, definiram-se como objetivos:

1. Análise ao Sistema de Medição;
2. Definição do processo alvo de estudo;
3. Realização de estudo R&R;
4. Estudo do CEP;

5. Análise dos dados;
6. Implementação de soluções e melhorias.

Para que estes objetivos fossem alcançados, foi necessário recorrer ao uso de algumas ferramentas da qualidade, com particularidade para o fluxograma, diagrama causa-efeito e gráfico de controlo.

1.3 Metodologia de Investigação

Para suporte aos objetivos propostos, a metodologia utilizada neste projeto de dissertação foi o estudo de caso. Esta é uma metodologia em que, segundo Yin (1994) o investigador tem um pequeno controlo sobre os eventos, trabalhando sobre um contexto real.

Segundo Pedron (2008), citando Benbasat et al. (1987), nesta metodologia, um ou poucos elementos são analisados, sendo os dados recolhidos em múltiplas fontes. Os resultados de estudo estão dependentes da capacidade de integração do investigador.

Este projeto de dissertação teve o foco num contexto real da empresa, tendo-se recorrido a múltiplas fontes de informação disponíveis, como, documentos, através da recolha de dados e posterior análise.

Para tal, na sua primeira fase foram identificados os potenciais produtos e processos que seriam alvo do projeto académico e desenvolvimento a nível interno da empresa.

Num segundo plano, e com recurso a artigos de autores que contribuíram de forma determinante para o desenvolvimento do tema em questão, procedeu-se à revisão da literatura relativa às diferentes temáticas a aplicar neste projeto.

Em termos experimentais, este projeto iniciou-se com a aplicação de uma das ferramentas da qualidade nomeadamente o diagrama de Pareto, realizando-se uma análise aos defeitos que ocorrem com maior frequência. Foi ainda realizada uma Análise ao Sistema de Medição por variáveis. Numa segunda fase experimental, realizou-se um estudo do Controlo Estatístico de Processo do produto alvo deste projeto com recurso aos gráficos de controlo e, histogramas.

A etapa final consistiu numa análise crítica dos resultados obtidos, identificando oportunidades de melhoria e a sugestão de continuar um trabalho futuro.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos, apresentando no final alguns Anexos.

Neste primeiro capítulo, foi desenvolvida uma breve introdução, um enquadramento do tema em que esta dissertação se baseia, a motivação para a realização e os objetivos esperados. É ainda apresentada a sua metodologia e a respetiva estrutura da dissertação.

No segundo capítulo, é exposta uma revisão bibliográfica dos conceitos teóricos e dos métodos imprescindíveis ao desenvolvimento prático da dissertação. Inicialmente é realizada uma abordagem da contextualização histórica da Qualidade, sendo à posteriori apresentadas as ferramentas da qualidade usadas ao longo da dissertação. De seguida é abordado o conceito do CEP, e a sua metodologia.

No terceiro capítulo, Apresentação da Empresa, é realizada uma breve apresentação da empresa na qual foi desenvolvida a dissertação, descrevendo a sua história, apresentação da sua estrutura organizacional, o seu processo produtivo e alguns dos produtos fabricados.

O quarto capítulo, expõe a parte prática da dissertação, onde é explicado os produtos alvos do estudo, e os procedimentos utilizados para se aplicar o CEP, bem como, os resultados obtidos.

Por último, o quinto capítulo, são expostas as conclusões obtidas ao longo deste projeto, assim como, sugestões de melhoria a realizar futuramente aos processos produtivos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No desenrolar deste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica realizada no âmbito desta dissertação.

2.1 Qualidade

A qualidade enquanto conceito, é um valor conhecido por todos, no entanto, definida de forma diferente. A percepção das pessoas é diferente em relação aos mesmos produtos e/ou serviços, sendo em função das suas necessidades, experiências e expectativas (Longo, 1996).

A relevância dada pelo Homem à execução de tarefas de forma cuidadosa e eficaz remonta às civilizações ancestrais, que, desde logo, revelaram preocupação em assegurar o bom funcionamento dos produtos que concebiam para consumo próprio (Caramujo, 2018). Pode-se, segundo Longo (1996), caracterizar essa preocupação como a era da inspeção, que se focava apenas no produto acabado, ou seja, produzir sem qualidade detetando os produtos defeituosos apenas no fim da produção. Face ao aparecimento da produção em massa, e tornando a era da inspeção ineficiente, esta foi substituída pela era do controlo estatístico.

Após a segunda guerra Mundial, os EUA incentivaram os seus fornecedores a utilizar o controlo estatístico, ajudando assim a espalhar este novo método da qualidade pelo mundo (Faria, 2008). No entanto, e segundo Pereira & Requeijo (2012), citado em Caramujo (2018), o Japão iniciou uma crise social e económica intensa, tendo surgido então, a necessidade de se implementarem estratégias que permitissem o fabrico de produtos a baixo custo, mas de alta qualidade, com elevada ênfase na exportação. Com a formação da JUSE, esta, convidou Deming e Juran para divulgar princípios no âmbito da qualidade aos empresários japoneses, levando o Japão a conseguir melhorias notáveis na qualidade e custo dos seus produtos.

Com esta postura, o Japão desencadeou o sucesso que desfruta até hoje, como potência mundial da qualidade (Longo, 1996).

Ao longo dos anos, os gurus da qualidade foram desenvolvendo ferramentas que permitissem às empresas desenvolver os seus processos com o intuito de procurar a melhoria da qualidade para que os seus produtos fossem de encontro às expectativas dos seus clientes.

Esta preocupação com a qualidade teve início com Shewhart que se questionou sobre a variação dos processos, levando-o a criar o Controlo Estatístico de Processo.

2.2 Ferramentas da Qualidade

Num mercado cada vez mais competitivo, a qualidade tem-se vindo a tornar num fator determinante na hora de escolher um produto, serviço ou fornecedor.

Assim, as organizações necessitam de fomentar uma cultura de melhoria contínua, assente numa utilização estruturada e sistemática, de metodologias e ferramentas de análise e resolução de problemas, sendo suficientes na maioria dos casos, o recurso às sete ferramentas básicas da qualidade (APQ, 2022). Diminuir o desperdício, atingir as expectativas dos clientes, reduzir custos, procurar melhorias e alcançar o desenvolvimento dos produtos são os principais resultados da implementação das sete ferramentas da qualidade no controlo da qualidade (Hamid & Abdelhaleem, 2019).

De acordo com a ISO (2008), as organizações, ao se gerirem pela ISO 9001:2015, precisam de demonstrar a sua capacidade para fornecer produtos que atendam aos requisitos do cliente, visando aumentar a sua satisfação.

Para apoiar, desenvolverem e avançarem com os seus processos para a melhoria contínua, as organizações necessitam de utilizar uma seleção de ferramentas e técnicas (Dale, 2003).

Segundo Kaoru Ishikawa (1971), citado em Silveira (2013), cerca de 95% dos problemas que as organizações enfrentam podem ser resolvidos com a utilização das sete ferramentas da qualidade.

Na maioria dos casos, estas ferramentas básicas da qualidade garantem suficiente agilidade e rapidamente suscitam a adesão das equipas e o aparecimento de resultados, quando aplicadas a problemas reais (APQ, 2022).

- **Diagrama de Causa e Efeito**

O diagrama de causa e efeito representado na Figura 1 é uma ferramenta que visa identificar as possíveis causas para um problema (causa) e qual o seu recurso (efeito) (Sestrem, 2021).

Também conhecido de “Diagrama espinha de peixe” devido à sua aparência, ou de “Diagrama Ishikawa” uma vez que foi inventado por Kaoru Ishikawa (1943), que popularizou o seu uso no Japão. Com esta ferramenta é possível identificar, explorar, apresentar todas as possíveis causas relacionadas com um problema ou as condições que a levam a descobrir a causa (Silveira, 2013).

As causas dos problemas são divididas em seis áreas (método, matéria – prima, mão de obra, máquina, medida e meio ambiente), em que para cada uma delas podem derivar várias subcausas (Sestrem, 2021).

Com estas seis áreas pretende-se alcançar a possível causa para a falha (efeito).

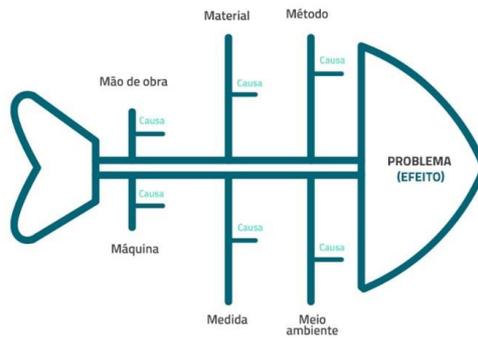


Figura 1- Diagrama de Ishikawa
(Sestrem, 2021)

Para a construção de um diagrama causa e efeito é necessário respeitar alguns passos que passam por definir o processo (efeito) a ser avaliado; ter conhecimento sobre o processo; realizar um *brainstorming* com as pessoas envolvidas no processo; fazer um levantamento das possíveis causas que estejam a originar o problema; construção do diagrama (linha central) com o efeito a ser estudado na ponta direita dessa linha; dividir as possíveis causas identificadas pelas suas áreas, dividindo-as ainda em causas principais, secundárias e terciárias; análise do diagrama com as pessoas envolvidas no processo; identificar as causas com maior impacto no problema e; definir as ações corretivas.

Com estes procedimentos, consegue-se assim construir esta ferramenta que facilita na identificação das causas principais e na definição das ações que devem ser implementadas para eliminar essas mesmas causas, mantendo-se os princípios da melhoria contínua (Sestrem, 2021).

- **Diagrama de Pareto**

O diagrama de Pareto (Figura 2) é um tipo de histograma, bom como um gráfico de barras. Segundo Juran & Godfrey (1998), citados em Hamid & Abdelhaleem (2019), esta ferramenta foi introduzida pela primeira vez pelo economista italiano Pareto, no séc. XIX, tendo sido depois, estabelecido por Juran em (1950). O diagrama mostra a importância relativa das variáveis, organizando-as em ordem decrescente, de acordo com as suas prioridades.

Através desta ferramenta, consegue-se perceber os problemas detetados, e com que frequência estão no processo, levando a definir prioridades (Silveira, 2013).

Segundo, Sestrem (2021), para aplicação desta ferramenta devem ser seguidos alguns passos essenciais como definir um objetivo, determinar as causas e forma de medição, determinar a periodicidade, definir a forma de coleta de dados, análise de dados e, a construção do diagrama.

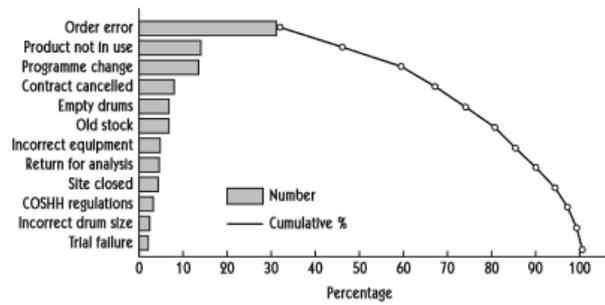


Figura 2 - Diagrama de Pareto

(Dale, 2003)

- Fluxograma

O fluxograma é uma representação gráfica onde estão contidas as entradas, atividades, pontos de decisão e saídas com o objetivo de representar o processo (Hamid & Abdelhaleem, 2019).

Recorrendo-se a figuras geométricas e setas indicativas, permite-se criar a representação gráfica das etapas do processo e a sua frequência. Assim, consegue-se obter uma visão clara de todas as etapas, sendo possível reavaliar todo o processo, ou retirá-lo em caso de necessidade (Sestrem, 2021).

Na Figura 3 é apresentado um exemplo de um fluxograma.

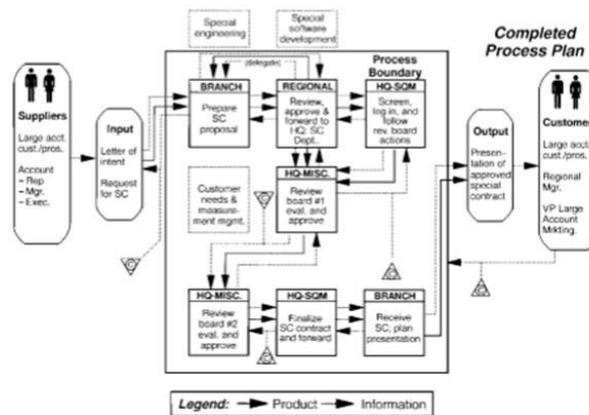


Figura 3 – Fluxograma

(Juran, 1998)

- Gráficos de Controle

Os gráficos de controle (Figura 4) são um instrumento eficaz para se poder perceber se um processo se encontra estável ou não, ou seja, se as condições do processo estão ou não estabilizadas para que se consigam satisfazer as especificações exigidas (Oliveira, 2004a).

Estes gráficos apresentam uma linha central que representa o valor médio das características da qualidade, uma linha superior do limite superior de controle (LSC) e uma linha inferior do limite inferior de controle (LIC) (Montgomery, 2009).

Quando bem aplicados, os gráficos de controle prestam auxílio na detecção de causas assinaláveis de variação que o processo apresenta ao longo do tempo. Estas causas de variação podem ser de dois tipos: causas comuns e causas especiais (Ribeiro & Caten, 2012).

Uma vez que esta ferramenta se tornou essencial para o desenvolvimento deste projeto, mais á frente é apresentado um estudo mais aprofundado sobre esta ferramenta.



Figura 4 - Carta de Controle
(Montgomery, 2009)

- Histograma

O Histograma, ilustra a frequência da distribuição dos valores observados numa monitorização. Tal como apresentado na Figura 5, é um tipo de gráfico de barras que descreve os dados de atributos e variáveis, a distribuição dos dados, assim como, a variação no processo (Haid & Abdelhaleem, 2019).

Através da visualização da distribuição dos dados, é revelada a variação existente no processo. A forma de distribuição encontrada com maior frequência, é a distribuição normal ou gaussiana (Dale, 2003).

Segundo Ribeiro & Caten (2012), para construir um histograma deve-se:

1. Inicialmente, dividir o conjunto de dados em classes (ou categorias) e verificar o número de elementos que pertencem a cada classe, ou seja, a frequência da classe;

- De seguida, deve-se organizar as classes e a frequência de cada classe em uma tabela de frequência. Neste caso, os detalhes originais dos dados serão perdidos, mas a vantagem está em observar os aspetos globais do problema.

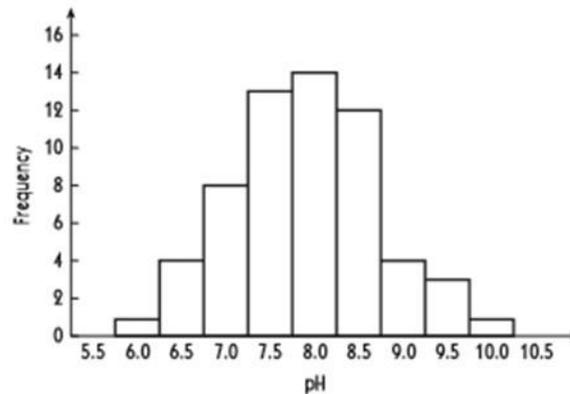


Figura 5 - Histograma
(Dale, 2003)

2.3 Controlo Estatístico de Processo

O Controlo Estatístico de Processo é um sistema de inspeção por amostragem, que opera ao longo do processo com o objetivo de verificar a presença de causas que não são naturais ao processo e que podem prejudicar a qualidade do produto. O CEP, ao contrário da inspeção a 100%, prioriza as ações sobre as causas especiais, isto é, canaliza os seus esforços sobre a origem do problema. Já a inspeção, canaliza o tempo e os recursos em atividades que não agregam valor, não promovendo a melhoria dos processos, e, evitam que os recursos canalizem os seus esforços sobre das causas especiais que afetam o processo (Ribeiro & Caten, 2012).

Desde a década de 1920, que a teoria do CEP tem apresentado um desempenho importante na melhoria da qualidade do produto e supervisão da qualidade (Zan et al., 2019).

Desenvolvida por Shewart, um estatístico do AT&T Bell Laboratories nos EUA, esta ferramenta foi à posteriori popularizada mundialmente por Deming. Depois de Shewart ter trabalhado inicialmente esta ferramenta apenas em processos de fabrico, ambos observaram que a repetição de medições de um processo apresentaria uma variação, podendo assim ser aplicado a qualquer tipo de processo e não apenas a processos de fabrico (Benneyan et al., 2003).

O CEP tornou-se numa importante ferramenta de gestão da qualidade na indústria, tendo ainda um grande significado para o contexto da indústria 4.0. Com esta ferramenta, consegue-se detetar as variações anormais de qualidade existentes no produto (Zan et al., 2019).

Segundo Ribeiro & Caten (2012), o CEP possibilita a monitorização das características de interesse, assegurando que elas irão se manter dentro dos limites pré-estabelecidos, indicando quando devem ser tomadas ações de correção e melhoria. É importante realçar a importância de se detetar os defeitos o mais cedo possível, para evitar a adição de matéria-prima e mão-de-obra a um produto defeituoso.

Um dos objetivos do CEP, passa por detetar rapidamente a ocorrência de causas atribuíveis de mudanças de processo para que a investigação do processo e a ação corretiva possam ser realizadas antes que muitas unidades não conformes sejam fabricadas (Montgomery, 2009).

Outro dos objetivos do CEP é possibilitar um controle eficaz da qualidade, feito pelo próprio operador em tempo real, o que, por sua vez aumenta o comprometimento do operador com a qualidade do que está a produzir, libertando as chefias para as tarefas de melhoria (Ribeiro & Caten, 2012).

Em suma, o CEP foi uma solução desenvolvida para coletar e analisar dados com facilidade, permitindo a monitorização do desempenho, aumentar a capacidade dos processos, reduzir custos de produtos não conformes, eliminar variações no processo, assim como de obter melhorias sustentáveis na qualidade, que por sua vez permite o aumento de lucros às organizações (Godina, et al., 2018).

2.3.1 Variabilidade do processo

A variabilidade encontra-se sempre presente em qualquer processo produtivo, independentemente se está bem projetado e operado. Se compararmos por exemplo, dois produtos produzidos pelo mesmo processo, eles jamais serão exatamente idênticos. Contudo, a diferença entre peças pode ser grande, provocando o aparecimento de produtos defeituosos, ou pode ser praticamente impercetível. Além disso, as fontes de variabilidade podem agir de forma diferente sobre o processo. Conforme a fonte de variabilidade, o resultado pode ser:

1. Pequenas diferenças peça-a-peça (habilidade do operador, diferenças na matéria-prima etc.),
2. Alteração gradual no processo (desgaste de ferramentas, temperatura do dia etc.),
3. Alterações no processo (mudança de procedimento, queda de corrente, troca de set up etc.).

(Ribeiro & Caten, 2012)

Segundo Montgomery (2009), a maioria das organizações acha difícil e caro, fornecer ao cliente produtos com características de qualidade sempre idênticas de unidade para unidade, ou, em níveis que correspondam às expectativas do cliente. Para tal, uma das principais razões para isso é a variabilidade. Um importante meio de melhoria para a redução da variabilidade é o CEP, uma vez que, dada a capacidade do sistema de medição, esta ferramenta verifica a extensão da variação e aponta as possíveis causas dessa variabilidade (Dale, 2003).

Assim, segundo Montgomery (2009), é na etapa de análise do CEP, que se deve determinar as potenciais causas dos defeitos para que assim, se consiga separar as causas dessa variabilidade em causas comuns ou causas especiais.

Para tal, e na procura da melhoria do processo, é importante que seja feita uma distinção entre as fontes de variação comuns e especiais, dado que, a eliminação de uma ou de ambas pode exigir diferentes tipos de níveis de recursos e ações de melhoria (Dale, 2003).

As causas comuns são as diversas fontes de variação que atuam de forma aleatória no processo, gerando uma variabilidade inerente do mesmo. Essa variabilidade representa o padrão natural do processo, pois é resultante do efeito cumulativo de pequenas fontes de variabilidade que acontecem diariamente, mesmo quando o processo está a trabalhar sob condições normais. Um processo em que atuam apenas causas comuns, é definido como um processo estável ou sob controle, pois apresenta sempre a mesma variabilidade ao longo do tempo. Estas causas, em geral, só podem ser resolvidas por uma ação global sobre o sistema, e muitas vezes a atuação sobre elas não se justifica economicamente. Os operadores, dado o posto que ocupam no chão de fábrica, conseguem identificá-las facilmente, contudo, a sua correção exige normalmente uma decisão ao nível da gerência (Ribeiro & Caten, 2012).

Dale (2003), apresentou algumas das causas comuns mais recorrentes: máquinas com falta de manutenção; layout do posto trabalho inadequado; falhas na supervisão e; materiais e equipamentos não adequados para os requisitos exigidos.

As causas especiais ou, também chamadas de causas assinaláveis, são causas que não são pequenas e não seguem um padrão aleatório, sendo consideradas falhas de operação. Estas, fazem com que o processo saia fora do seu padrão natural de operação, ou seja, provocam alterações na forma, tendência central ou variabilidade das características de qualidade, reduzindo significativamente o desempenho do processo. Em comparação com as causas comuns, também as causas especiais são facilmente identificadas pelos operadores. No entanto, a diferença existente é na sua correção uma vez que, a correção ao ser justificável economicamente, é da responsabilidade dos operadores. Só em algumas situações é que essa correção deve ser resolvida ao nível da gerência (Ribeiro & Caten, 2012).

Dale (2003), assinalou algumas das causas especiais mais típicas, dando como exemplo, possíveis alterações na matéria-prima ou nos parâmetros dos equipamentos; digitação errada de parâmetros; problemas com ferramentas e; falhas no funcionamento do equipamento.

Segundo Deming (1986) citado em Ribeiro & Caten (2012) é de extrema importância ter uma noção bem definida sobre causas comuns e especiais, uma vez que, uma possível confusão entre estas causas pode originar maior variabilidade no processo e um aumento dos custos. Por exemplo, atuar sobre

causas comuns como se fossem causas especiais, pode representar um aumento indesejado da variação, e posteriormente um aumento de custos desnecessários. Por outro lado, se as causas especiais não forem identificadas e prontamente corrigidas, estas podem ser incorporadas ao resultado do processo, levando a que se torne aceitável o que deveria ser rejeitado, além de se perder uma oportunidade de melhoria.

2.3.2 Tamanho da amostra e frequência

Para a construção de um gráfico de controle, é necessário especificar, tanto o tamanho da amostra como a frequência da amostragem (Montgomery, 2009).

A amostra consiste na coleta de elementos de uma população, que, tem como objetivo recolher informações sobre as características dessa população.

Segundo Ribeiro & Caten (2012), quanto maior o tamanho da amostra maior a sensibilidade das cartas, ou seja, permite que estas detetem com maior facilidade pequenas mudanças no processo.

Contudo, Montgomery (2009) defende que, a coleta de amostras grandes e com muita frequência não é economicamente viável.

Assim, a definição de tamanho de amostra e frequência de amostragem mais económicos poderiam ser definidas apenas se fossem conhecidos a estabilidade do processo, os custos de amostragem, os custos de investigação e da correção de causas especiais e o custo de fabricar peças fora de especificação. Em geral, amostras de três a seis peças consecutivas já formam uma amostra adequada, uma vez que, as peças de uma amostra como são produzidas em condições muito similares, acredita-se que a variabilidade dentro de cada amostra será devido às causas comuns. Já a frequência de amostragem deve ser definida de forma que, exista uma forte possibilidade de mudança dos resultados (causa especial) de uma amostra para outra (Ribeiro & Caten, 2012).

No entanto, Montgomery (2009) apresentou outras formas de avaliar as decisões quanto ao tamanho da amostra e frequência de amostragem:

1. Com o desenvolvimento da tecnologia no campo da deteção e medição automática, cada unidade pode ser testada à medida que vai sendo produzida, em que, sistemas de medição automáticos e microcomputadores com software SPC implementados nos postos de trabalho, permitem controlar o processo em tempo real, aplicando de maneira eficaz o CEP;
2. Outra das formas de avaliar o tamanho da amostra e respetiva frequência é através do ARL do gráfico de controle, em que, o ARL é o número médio de amostras necessárias para que se consiga obter um ponto que exceda os limites de controle. Assim, para qualquer carta de controle

de Shewhart, e caso as observações do processo não apresentem correlação entre si, o ARL pode ser calculado através da seguinte equação:

$$ARL = \frac{1}{p}$$

Esta equação pode ser usada para avaliar o desempenho que o gráfico de controlo apresenta na capacidade de detetar causas assinaláveis.

Segundo Oliveira (2004b), o interesse da avaliação dos valores dos ARL é evidente, já que interessa poder dispor de um gráfico que proporcione avisos rápidos para as variações significativas na média (ARL com valores baixos) e baixas frequências de falsos avisos de variação (ARL com valores elevados).

2.3.3 Gráficos de Controlo

O gráfico de controlo de Shewhart, é, segundo Montgomery (2009), das sete ferramentas da qualidade, a mais sofisticada tecnicamente. Foi desenvolvido na década de 1920 por Walter A. Shewhart da Bell Telephone Laboratórios. O gráfico de controlo é uma ferramenta que permite a monitorização e melhoria dos processos, estimar os parâmetros de um processo produtivo, e, por meio dessas informações, determinar a capacidade do processo e, de eliminar a variação no processo. Pode não ser possível eliminar completamente a variabilidade, mas o gráfico de controle é uma ferramenta eficaz para reduzir ao máximo a variabilidade.

Segundo Oakland (2003), esta é uma ferramenta destinada a ser usada no chão de fábrica, ou seja, onde o processo é realizado e controlado pelos operadores. Assim, os operadores, através da introdução dos dados num software SPC constroem o gráfico que reflete a variação no processo, levando a que estes, atuem sob as causas de variabilidade. Conforme a Figura 6, o gráfico de controlo possui três zonas, estando a ação necessária dependente da zona em que os resultados se enquadram.

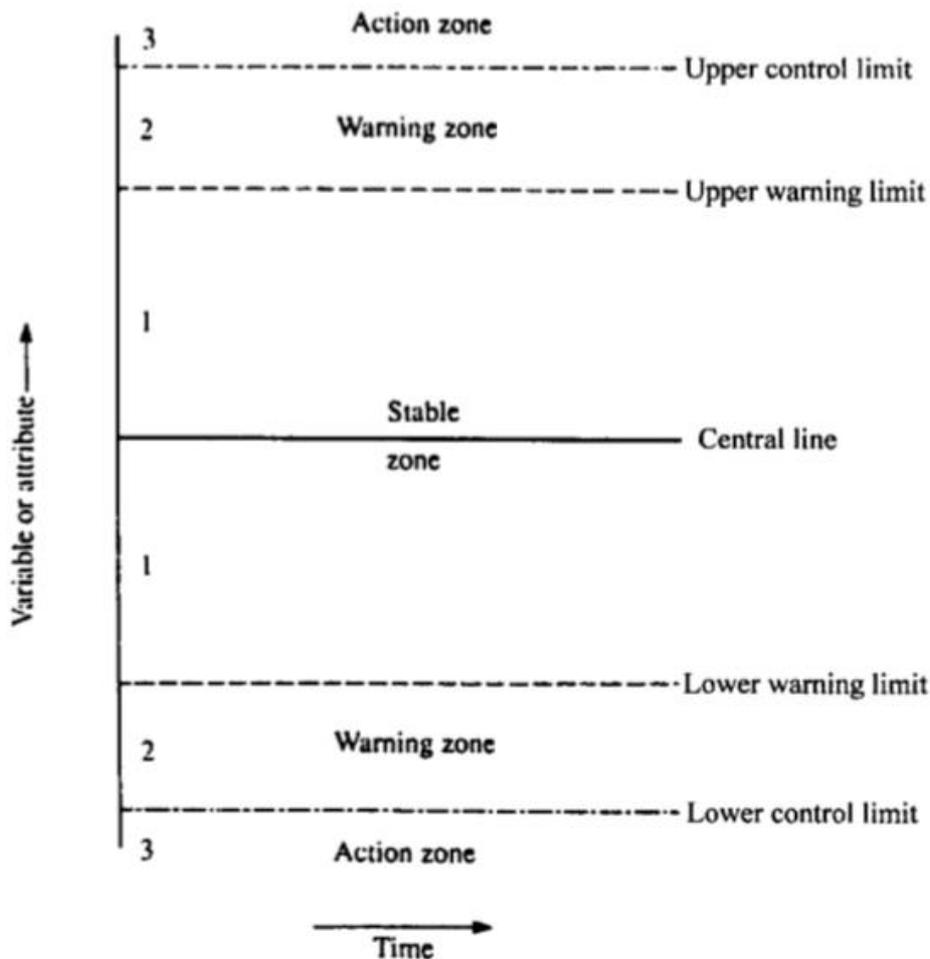


Figura 6 - Esquema de um Gráfico de Controle
(Oakland, 2003)

As três zonas presentes no gráfico são:

1. *Stable Zone* (Zona Estável): Apenas causas comuns de variabilidade;
2. *Warning Zone* (Zona de Perigo): O processo necessita de atenção, uma vez que pode começar a apresentar causas especiais de variabilidade;
3. *Action Zone* (Zona de Ação): Necessário investigar e agir, e se necessário ajustar o processo. Nesta zona as causas especiais de variabilidade estão presentes.

No entanto, Juran (1999) determinou alguns passos para a construção de um gráfico de controle em que, não se tendo nenhum conhecimento acerca do processo, pretende-se determinar se este está controlado estatisticamente:

1. Escolher a característica da qualidade a ser estudada. Dentro desta escolha, é necessário considerar ainda:

- a) Escolher uma característica que apresenta um grande número de não conformidades;
 - b) Identificar as variáveis no processo que contribuem para as características do produto final;
 - c) Escolher características chave, isto é, que forneçam dados que levem à identificação e diagnóstico dos problemas.
2. Escolher o tipo de gráfico de controlo (gráfico de variáveis ou de atributos).
 - a) O gráfico de variáveis é usado para controlar as características mensuráveis. Através deste consegue-se controlar a variabilidade do processo.
 - b) O gráfico de atributos é usado para controlar o número de produtos não conformes, ou o número de não conformidades por produto. São utilizados para melhorar o processo, controlando características individuais.
 3. Escolher a linha central do gráfico e a base para o cálculo dos limites de controlo. Para a linha central pode ser utilizada a média de dados anteriores, a média de dados ainda a serem coletados ou um valor padrão.
 4. Escolher a amostra. Para gráficos de variáveis, são usadas geralmente amostras com o tamanho de quatro ou cinco itens, enquanto para gráficos de atributos, as amostras são de cinquenta ou cem itens.
 5. Determinar a frequência de amostragem;
 6. Calcular os limites de controlo;
 7. Fornecer instruções adequadas a todos os envolvidos no processo, sobre o significado e a interpretação dos resultados, para que, os operadores sejam capazes de interpretar os resultados e realizarem ações corretivas quando necessário.

Além dos pontos acima apresentados, Juran (1999), determinou ainda os passos para a construção de todos os tipos de gráficos:

1. Recolher vinte a trinta amostras do processo;
2. Na recolha das amostras, devem ficar registadas quaisquer alterações sofridas pelo processo, como alterações de operadores, máquinas ou materiais;
3. Calcular os limites de controlo;
4. Construir o gráfico com os limites de controlo para se perceber se existe algum ponto fora desses limites.

Assim que o gráfico está construído é necessário proceder à sua análise. Caso não se encontre nenhum ponto fora dos limites de controlo, pode-se afirmar que o processo está “sob controlo” e, utilizar os limites para manter o controlo do processo. No entanto, se algum ponto se encontrar fora dos limites de controlo afirma-se que o processo “não está sob controlo”, ou seja, existem causas especiais de variabilidade no processo. Para esta última situação, deve-se olhar para a etapa 2 da construção do gráfico, e, se possível, determinar qual a causa para cada ponto que se encontra fora de controlo, eliminando essa amostra dos dados e, recalculando os limites de controlo. Contudo, caso algum ponto se mantenha fora desses limites recalculados, a etapa 2 deve ser repetida até que nenhum ponto esteja fora dos limites de controlo, podendo assim, se usar agora esses limites para um controlo futuro (Juran, 1999).

2.3.4 Gráficos de Controlo por Variáveis

As variáveis são características de qualidade mensuráveis, por exemplo, o diâmetro ou comprimento de uma peça, o tempo de resposta a um pedido de cotação, o tempo de operação, entre outros. Muitos processos, apresentam características mensuráveis, o que, permite o uso das cartas para variáveis.

O controle estatístico por variáveis é realizado através do uso de dois gráficos de controlo que representam a aplicação clássica do controlo do processo:

- O gráfico das médias \bar{X} (Figura 7) que monitoriza a variabilidade entre as médias amostrais ao longo do tempo;

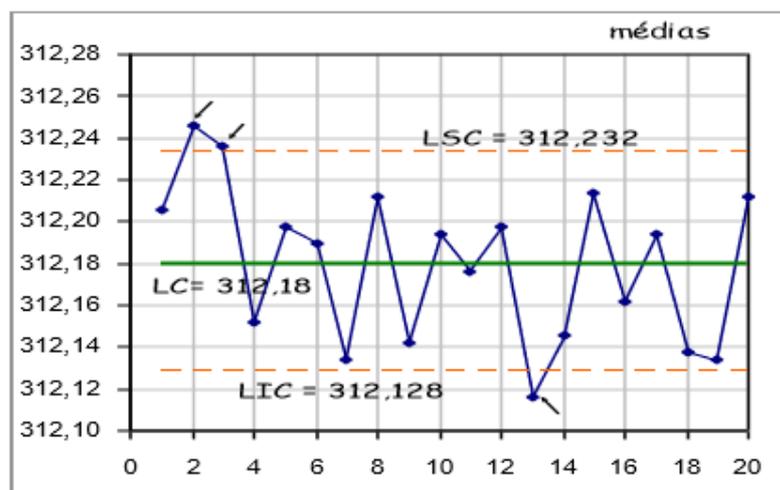


Figura 7 - Gráfico de Controlo das médias

(Lopes, 2020)

- O gráfico de amplitude R (Figura 8) que monitoriza a variabilidade dentro da amostra, ou seja, a variabilidade em um determinado período tempo.

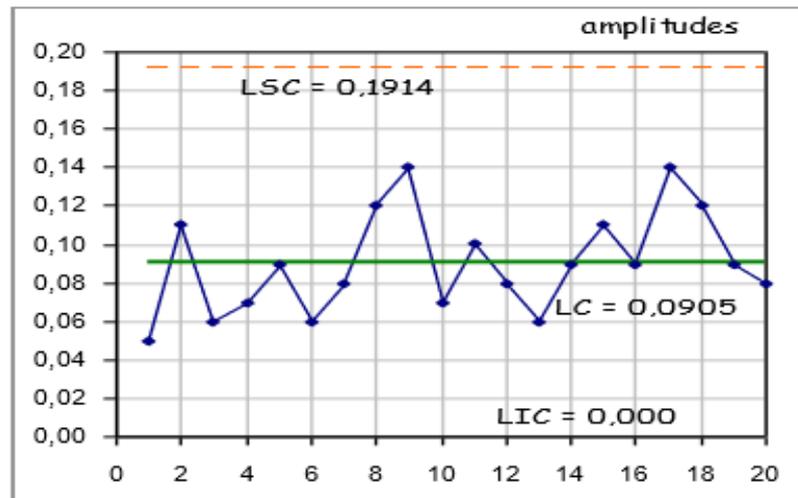


Figura 8 - Gráfico de Controle das amplitudes
(Lopes, 2020)

Uma das vantagens da utilização dos gráficos de controlo por variáveis, é da exigência de uma amostragem pequena, permitindo assim que, o tempo entre a produção e a ação corretiva seja menor. Quando se usam as variáveis, a análise do desempenho do processo pode ser feita mesmo que, todas as unidades estejam dentro dos limites de especificação. Isto, permite ir em busca da melhoria contínua e torna as cartas de controlo por variáveis numa ferramenta de controle mais poderosa do que as cartas por atributos (Ribeiro & Caten, 2012).

Contudo, segundo Montgomery (2009), para a implementação dos gráficos de controlo por variáveis, é necessária a aplicação de duas fases (Fase I e Fase II), que apresentam dois objetivos diferentes e distintos:

- **Fase I:** é necessário especificar, tanto o tamanho da amostra como a frequência da amostragem, para à posteriori serem alvos de uma análise retrospectiva. Assim, é permitido construir os limites de controlo de teste para se determinar, se o processo está sob controlo durante o período de tempo em que os dados foram recolhidos; e se estes são confiáveis para que se possa estabelecer limites de controlo para futuras produções. Nesta fase, supõe-se que o processo se encontra inicialmente fora de controlo, sendo da responsabilidade de quem analisa o processo, colocar o mesmo num estado de controlo estatístico. Os limites de controlo são calculados com base em subgrupos ($n=20$ ou 25 subgrupos) e nos dados introduzidos nos gráficos de controlo. Os pontos que estejam fora dos limites de controlo são investigados, com a finalidade de procurar

possíveis causas assinaláveis. Os pontos fora dos limites de controlo são então excluídos, sendo necessário recalculer os novos limites de controlo. Os gráficos de controlo na Fase I, auxiliam principalmente os operadores a colocar o processo num estado de controlo estatístico, uma vez que, só com a Fase I estabilizada se poderá dar início à Fase II.

Tabela 1 - Limites para os Gráficos de controlo por variáveis - Fase I (Lopes, 2020)

	LSC	LC	LIC
Carta das médias \bar{X}	$\bar{\bar{X}} + A2 * \bar{R}$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} - A2 * \bar{R}$
Carta das amplitudes R	$D3 * \bar{R}$	\bar{R}	$D4 * \bar{R}$

Para definição de alguns parâmetros da Tabela 1, é necessário proceder aos seguintes cálculos:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x}{n}$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n x}{n}$$

Em que:

\bar{X} – Média da amostra;

n – Tamanho da amostra;

R – Amplitude da amostra.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_i}{m}$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m}$$

Em que:

$\bar{\bar{X}}$ – Média das médias da amostra;

m – Número de amostras;

\bar{R} – Média da amplitude da amostra.

- **Fase II:** nesta fase, utiliza-se o gráfico de controlo para a monitorização do processo, comparando a estatística da amostra para cada amostra sucessiva. Dentro desta fase os parâmetros do processo (μ e σ) são conhecidos.

Tabela 2 - Limites para os Gráficos de controle por variáveis - Fase II (Lopes, 2020)

	LSC	LC	LIC
Carta das médias \bar{X}	$\mu + A * \sigma$	μ	$\mu - A * \sigma$
Carta das amplitudes R	$D1 * \sigma$	$d2 * \sigma$	$D2 * \sigma$

Em que:

μ – Média do processo;

σ – Desvio padrão do processo.

Na Tabela 1 e Tabela 2 são apresentadas algumas constantes utilizadas para os cálculos dos limites de controle. O valor destas depende da dimensão da amostra (n), estando apresentado no Anexo I – Tabela das constantes.

2.3.5 Capacidade do Processo

A capacidade do processo, pode ser definida como sendo a capacidade que este tem em cumprir as exigências de uma determinada especificação (Lopes, 2020).

Segundo Oakland (2003), quando a capacidade do processo é conhecida, ela pode ser comparada com os requisitos. Essa comparação, mostrará se o processo pode atender aos requisitos do processo ou serviço. Quando o processo for adequado, isto é, capaz, os dados de capacidade do processo podem ser usados para configurar gráficos de controle, com o intuito de controlar esse processo. Sendo o processo incapaz, a base é estabelecida para uma decisão racional sobre as ações necessárias, ou seja, proceder à revisão dos requisitos, ou do processo.

Citando Oliveira (2004b), o objetivo primário dos gráficos de controle é de controlar as condições de produção, ou seja, verificar se estas estão estáveis e sob controle; há regularidade estatística nas unidades produzidas e; a distribuição dos valores é estável.

Dentro destas condições é possível estimar os limites de variação dos valores individuais e averiguar se esses limites estão ou não dentro do intervalo das tolerâncias fixadas, ou seja, analisar se o processo tem capacidade para cumprir ou satisfazer as especificações.

Para Oakland (2003), a relação entre variabilidade do processo e tolerâncias, pode ser formalizada considerando o desvio padrão do processo. Assim, para produzir dentro, e satisfazer as especificações,

a distância entre o limite superior de especificação (USL) ou tolerância superior (+T) e o limite inferior de especificação (LSL) ou tolerância inferior (-T), ou seja, (USL-LSL) ou $2T$ deve ser igual ou maior que a largura da base da “curva” do processo, ou seja, 6σ (Figura 9).

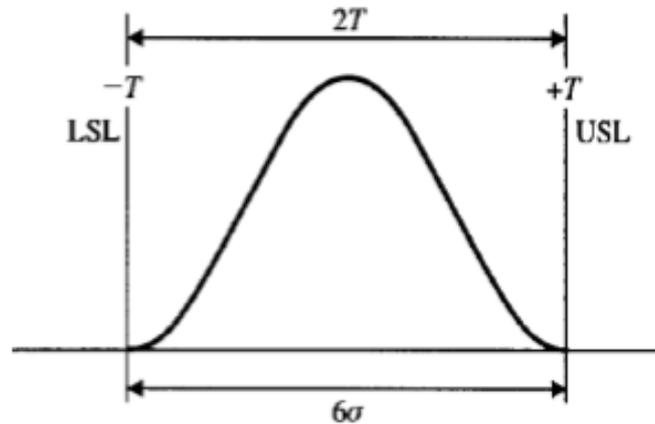


Figura 9 – Capabilidade do Processo
(Oakland, 2003)

Segundo Ribeiro & Caten (2012), um processo em controle estatístico ou estável, é aquele que possui variabilidade associada apenas às causas comuns, ou seja, aquele que segue um certo padrão previsível ao longo do tempo. No entanto, esse padrão estável do processo pode ou não ser capaz de produzir peças que atendam às especificações dos clientes ou do projeto. Uma vez eliminadas as causas especiais, pode-se então avaliar a real capacidade do processo comparando sua variabilidade (associada apenas às causas comuns) com as especificações.

Na Figura 10, consegue-se visualizar que, se a variabilidade devida às causas comuns for excessiva, ou seja, maior do que a amplitude das especificações, o processo é dito não capaz e a gerência deve atuar sobre o sistema. Se a variabilidade inerente do processo for menor do que a amplitude de especificações, o processo é dito capaz. Nesse caso, as ações devem ser tomadas apenas quando o processo apresentar eventuais causas especiais.

Quando o processo é instável, ou seja, apresenta causas especiais, a avaliação da capacidade deste não faz muito sentido, uma vez que, reflete apenas um determinado momento já que o processo não apresenta um comportamento previsível.

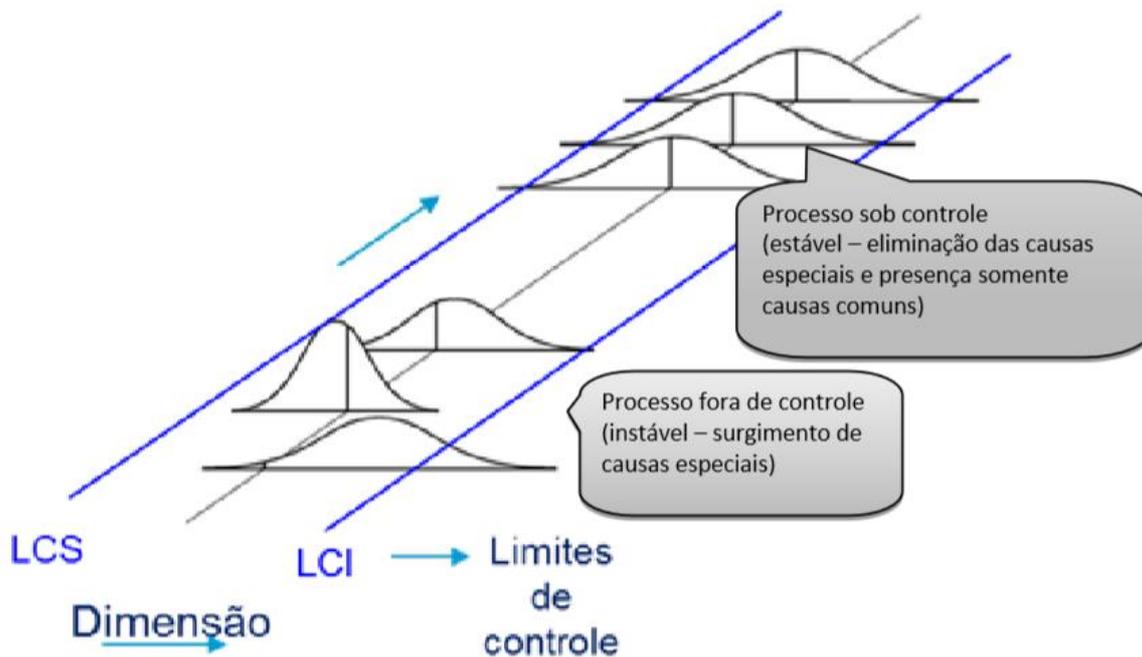


Figura 10 - Comparação de Capacidades
(Ribeiro & Caten, 2012)

Quando as causas especiais de variação são eliminadas de um processo com distribuição normal relativo à característica de qualidade em estudo, diz-se que o processo está sob controle estatístico ou estável. No entanto, um processo sob controle estatístico produz itens defeituosos, logo, é fundamental avaliar se o processo é capaz de atender às especificações estabelecidas a partir das necessidades dos clientes. Conforme Montgomery (1997) e Deleryd (1999), citados em Gonçalves & Werner (2009), os índices de capacidade para dados normalmente distribuídos que permitem uma quantificação do desempenho de processos são: C_p , C_{pk} , C_{pm} e C_{pmk} , no entanto, os mais comuns são o C_p e o C_{pk} . Segundo Oakland (2003), o índice de capacidade de processo (C_p), é uma medida que relaciona o desempenho real de um processo com o seu desempenho específico onde, os processos são considerados como uma combinação do equipamento, método, pessoas, materiais e ambiente. O índice C_p , é definido pela seguinte equação:

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

em que:

LSE é o limite superior de especificação;

LIE é o limite inferior de especificação;

σ é o desvio-padrão do processo.

Este índice relaciona a variabilidade permitida ao processo, com a variabilidade natural do processo, podendo-se definir assim que, quanto maior for o valor de C_p , maior será a capacidade do processo em satisfazer as especificações, desde que a média esteja centrada no valor nominal (González & Werner, 2009).

Segundo Montgomery (2009), uma regra prática para analisar este índice é definir três intervalos de referência, mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Intervalos de referência para análise do índice C_p

C_p	Itens não conformes (PPM)	Interpretação
$C_p < 1$	Acima de 2700	Processo Incapaz
$1 \leq C_p \leq 1,33$	Entre 64 e 2700	Processo aceitável ou relativamente incapaz
$C_p \geq 1,33$	Abaixo de 64	Processo potencialmente capaz

Através do cálculo e interpretação do resultado do índice C_p , consegue-se perceber a capacidade que o processo tem de produzir dentro do intervalo de especificação definido durante a fase de projeto.

Contudo, segundo Lopes (2020), o índice de capacidade nada diz sobre a centragem do processo relativamente aos limites de especificação. Para verificar se o processo está ou não centrado é necessário comparar a média do processo com o valor nominal - centro das especificações.

Para tal, Kane (1986), citado em González & Werner (2009), este propôs o índice de desempenho (C_{pk}), é dado pela equação:

$$C_{pk} = \min \left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \right)$$

em que:

LSE é o limite superior de especificação;

LIE é o limite inferior de especificação;

μ é a média do processo;

σ é o desvio-padrão do processo.

De acordo com Oakland (1999), citado por Antony & Taner (2003), os valores de C_{pk} apresentados na Tabela 4, representam o nível de confiança na capacidade do processo:

Tabela 4 - Valores de referência do índice C_{pk}

C_{pk}	Interpretação
$C_{pk} < 1$	Processo incapaz, com elevada taxa de produtos não conformes.
$C_{pk} = 1$	Processo incapaz, em que alterações dentro do processo irão originar produtos não conformes não detetados.
$C_{pk} = 1,33$	Processo longe de uma situação aceitável, sendo improvável que a não conformidade seja detetada pelos gráficos de controlo do processo.
$C_{pk} = 1,67$	Processo potencialmente capaz, uma vez que, apesar da produção de não conforme, existe uma forte possibilidade de detetar.
$C_{pk} > 2$	Processo altamente capaz, fornecendo um grande nível de confiança.

Ao se verificar $C_p = C_{pk}$, conclui-se que o processo está centrado no valor nominal de especificação; caso se verifique $C_p \neq C_{pk}$, então o processo está descentrado, ou seja, a média não coincide com o valor nominal das especificações.

2.3.6 Implementação do CEP

Muitas organizações, utilizam o CEP no seu processo produtivo, contudo, estas também exigem que os seus fornecedores demonstrem que os seus processos estão sob controlo estatístico e com capacidade. Segundo Oakland (2003), para a implementação do CEP ser bem-sucedida, qualquer organização, independentemente do seu tamanho, tecnologia ou gama de produto/serviço, necessita de realizar uma abordagem bem estruturada do trabalho em curso. Qualquer procedimento adotado, exige que a direção da empresa se comprometa com os objetivos do trabalho, disponibilizando um coordenador interno. A seleção de um projeto para a introdução do CEP deve ter em conta o conhecimento disponível e a melhoria do processo como altamente desejável, mensurável, ser possível dentro de um período aceitável e, ser possível com o uso de técnicas que requerem uma simples formação.

No entanto, muitas organizações ainda dão pouca importância a uma boa formação aos seus operadores, levando a que estes criem ideias erradas à cerca do CEP.

Para confirmação de tal fato, e segundo o estudo de Antony & Taner (2003), em algumas situações, durante a aplicação desta técnica existe algum insucesso, uma vez que, as pessoas acreditam se tratar apenas de uma técnica de construção de gráficos de controlo para satisfazer os requisitos dos clientes.

Assim, e para uma aplicação bem-sucedida do CEP, é importante as organizações conjugarem a formação, comunicação, planeamento, gestão e habilidades estatísticas.

Dale (2003), apresentou no seu estudo que, as principais dificuldades na implementação do CEP por parte das organizações, passava pela falta de conhecimento/experiência sobre o CEP; em aplicar o CEP a um processo; decidir que característica medir; a falta de compreensão e consciência dentro das organizações sobre o CEP; existir resistência à mudança e; falta de ações por parte da administração. Contudo, para ultrapassar as dificuldades acima mencionadas, Does et al. (1997), apresentarem uma metodologia para a implementação do CEP numa organização:

- 1. Descrição do processo:** O processo deve ser descrito e os limites do processo em estudo, determinados. Este, deve ser, se possível, dividido em etapas e estas numeradas, sendo importante descrever a situação atual do processo, anotando os resultados;
- 2. Análise de causa e efeito:** Das etapas mais importantes do processo que forem descritas na etapa 1, os problemas (causas) e efeitos destas devem ser anotados. Para suporte, o uso dos diagramas de Ishikawa pode ser uma mais-valia;
- 3. Análise de risco:** Através da Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA) (Figura 11), deve ser calculada a importância relativa para se determinar a relação da causa e efeito.

Cod_pec : Nome da Peça: Data: Folha No. _____ de _____											<input type="checkbox"/> FMEA de Processo <input type="checkbox"/> FMEA de Produto					
Descrição do Produto/ Processo	Função(ões) do produto	Tipo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa da Falha em Potencial	Controles Atuais	Índices				Ações Recomendadas	Responsável/ Prazo	Medidas Implantadas	Índices Atuais			
						S	O	D	R				S	O	D	R
(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
Produto/ Processo objeto de análise FLUXOGRAMA Quem está sendo analisado ? Quais funções ou características devem ser atendidas ?	Função e/ou características que devem ser atendidas pelo produto. Ex.: Suportar o conjunto do eixo.	Forma e modo como as características ou funções podem deixar de ser atendidas. Ex.: Desbalanceado, Rugoso, Trincado...	Efeitos (consequências) do tipo de falha, sobre o sistema e sobre o cliente. Ex.: vazamento de ar, ruidoso, desgaste prematuro, etc...	Causas e condições que podem ser responsáveis pelo tipo de falha em potencial. Ex.: Erro de montagem, falta de lubrificação, etc...	Medidas Preventivas e de detecção que já tenham sido tomadas e/ou são regularmente utilizadas nos produtos/processos das da empresa.	S	O	D	R	Ações recomendadas para a diminuição dos riscos Quais os riscos prioritários ? Quais medidas podem ser tomadas para atenuar os riscos?	Responsável e Prazo	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)

Figura 11 - Exemplo de um FMEA

O cálculo do RPN é calculado através da multiplicação dos valores entre um e dez, atribuídos aos três índices: gravidade, ocorrência e detecção.

4. **Implementação de ações:** Nesta etapa, as equipas devem gerar e implementar melhorias para diminuir o risco das relações de causa-efeito mais crítico. Com recurso a alguma das ferramentas da qualidade, tenta-se encontrar as causas raiz dos problemas e implementar as ações de melhoria ao processo.
5. **Definição dos parâmetros a controlar:** Para encontrar as causas raiz dos problemas e as possíveis melhorias a implementar, é nesta fase que, os parâmetros e as características do produto devem ser monitorizados. Para tal, a equipa deve seleccionar:
 - Os parâmetros a controlar no processo;
 - Definir um plano para coletar, monitorizar e analisar as medições.
6. **Estudo de repetibilidade e reprodutibilidade (estudo R&R):** A equipa deve verificar se o sistema de medição utilizado para monitorizar os parâmetros seleccionados do processo, ou, as características do produto são os adequados. Uma vez que o erro sistemático do sistema de medição é frequentemente verificado pela calibração, mas, a variação não é conhecida, então recorre-se ao estudo R&R.
7. **Gráficos de controlo:** Nesta fase, a equipa deve obter informações sobre as características que podem ser utilizadas para controlar o processo. O gráfico de controlo deve ser utilizado para alcançar esse objetivo. No geral, as características do processo são os melhores parâmetros para monitorizar alterações no processo.
8. **Plano de ação – Processo fora de controlo:** Dentro desta etapa, pretende-se dar aos operadores o conhecimento de diagnóstico para estes determinarem as causas que colocam o processo fora de controlo. Deve-se incluir as ações necessárias para lidar com produtos que são produzidos quando o processo se encontra fora de controlo, assim como, as que devem tomar para resolver o problema.
9. **Estudo da capacidade do processo:** Nesta etapa, caso o processo se encontre sob controlo estatístico, a percentagem de produtos não conforme pode ser prevista. Para ajudar na avaliação do nível de controlo estatístico do processo, deve-se usar histogramas e gráfico de controlo recentes. Os índices de capacidade do processo (C_p e C_{pk}) podem ser calculados.
10. **Certificação:** Na última fase, são realizados ajustes finais que permitam manter e melhorar o CEP. O desempenho do CEP será avaliado, preferencialmente, pelo gestor da qualidade e pelo gestor do departamento de produção. Em caso de aprovação, deve-se definir como regra, realizar verificações regulares aos limites de controlo, assim como, registar alterações efetuadas no processo, procurando sistematicamente a melhoria contínua.

2.4 Análise Sistema de Medição

A sociedade, negócios e indústrias, tornaram-se de dia para dia impulsionados por dados, dados esses que são usados de diversas maneiras e, para diferentes fins. Hoje, as indústrias de produção, coletam enormes quantidades de dados através das inspeções realizadas aos seus produtos, tornando o MSA indispensável. Uma vez que, esses mesmos dados de medição levam à tomada de decisões sobre os processos, é vital que os mesmos sejam precisos, isto é, se houver erros no sistema de medição, as decisões poderão ser baseadas em dados incorretos (Santos, 2019).

Segundo Ribeiro & Caten (2012), é importante que as organizações percebam qual a precisão que está associada ao seu sistema de medição, assim como, a que está relacionada com o instrumento de medição e com outras fontes de variação, ou seja, fatores ambientais, de temperatura, humidade ou fatores humanos. O estudo MSA pode ainda ajudar a quantificar a variação peça-a-peça e a variação dentro da peça. Ao especificar ou analisar um sistema de medição, pretende-se detetar pequenas mudanças na característica em estudo. Os sistemas de medição, podem ser analisados quanto à sua:

1. Estabilidade;
2. Tendência;
3. Linearidade;
4. Repetibilidade;
5. Reprodutibilidade.

1. Estabilidade

A estabilidade de um sistema de medição expõe o desempenho deste ao longo do tempo. Em geral, a estabilidade não é quantificada, contudo, esta pode ser avaliada através do uso dos gráficos de controlo (Figura 12). Neste caso, é medida uma peça padrão ao longo de alguns dias ou semanas, sendo os resultados posteriormente transpostos para um gráfico de controlo. Caso existam problemas no sistema de medição, isso irá se refletir no gráfico, com o aparecimento de um ponto fora dos limites de controlo. Sempre que surja um ponto fora dos limites de controlo, tanto no gráfico das médias como no gráfico das amplitudes, estes revelam a falta de estabilidade no sistema de medição (Ribeiro & Caten, 2012).

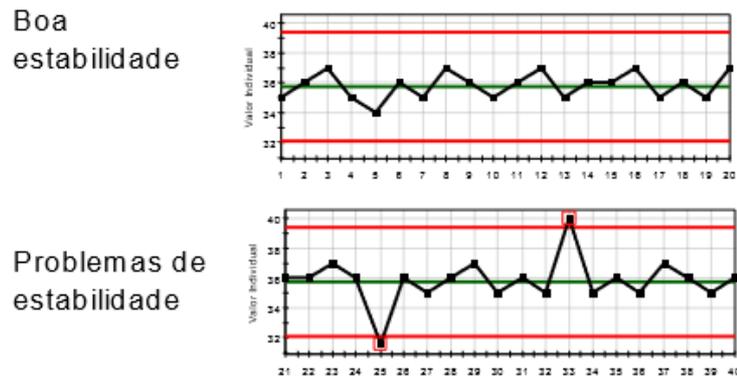


Figura 12 - Verificação da estabilidade do processo
(Ribeiro & Caten, 2012)

2. Tendência

A tendência é definida como a diferença entre o valor de referência (variabilidade) e a média observada nas medições da mesma característica na mesma peça (Ribeiro & Caten, 2012) (Figura 13). Através da análise dos resultados de uma amostra, o laboratório de metrologia da organização, obtém o verdadeiro valor da média e o valor de referência, ou seja, consegue-se obter a distância entre a média observada e o valor de referência, descobrindo assim a exatidão com que o processo de medição se mantém centralizado.

Segundo Ribeiro & Caten (2012), o estudo de tendência pode ser feito segundo o seguinte procedimento:

1. Escolher uma amostra de uma ou mais peças e estabelecer o valor de referência dessas peças (fazer várias medições e calcular a média);
2. Fazer o operador medir a peça 10 vezes;
3. Calcular a média das leituras feitas sobre as peças;
4. Calcular a Tendência.

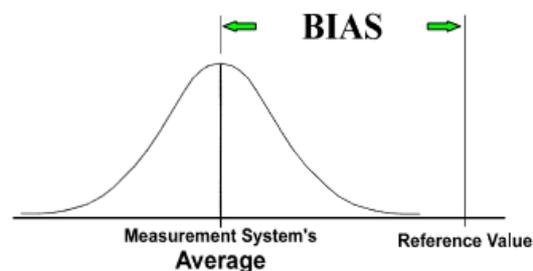


Figura 13 - Estudo da Tendência
(Down et al., 2010)

3. Linearidade

Com este método, pretende-se verificar o desempenho que o equipamento apresenta para peças com diferentes características, ou seja, revela-se se a tendência observada dos valores medidos se encontra (ou não) em torno do valor medido (Ribeiro & Caten, 2012) (Figura 14).

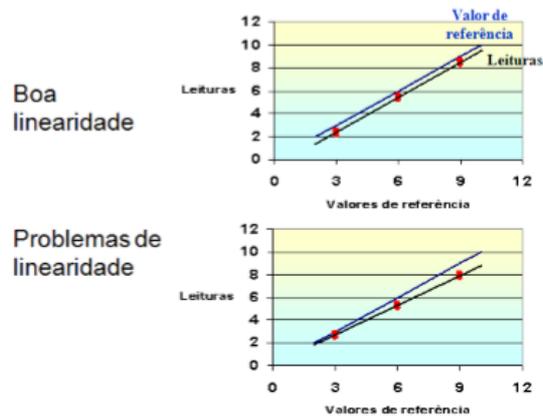


Figura 14 - Estudo da Linearidade
(Ribeiro & Caten, 2012)

4. Repetibilidade

A repetibilidade consiste em observar a variação existente no sistema (Figura 15) sempre que, as medições que um operador realiza à mesma peça mantém as condições de medição (peça, operador, equipamento, condições ambientais). A repetibilidade é a causa comum (erro aleatório) da variação das tentativas de medição sob as condições de medição definidas (Down, et al., 2010).

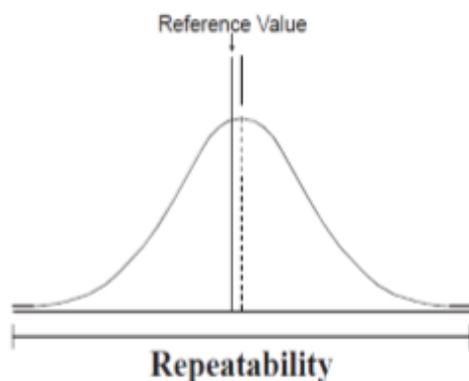


Figura 15 - Estudo de repetibilidade
(Down et al., 2010)

5. Reprodutibilidade

A reprodutibilidade é a variação existente na média das medições, feitas por diferentes operadores recorrendo ao uso do mesmo equipamento de medição e a mesma característica da peça (Down, et al., 2010).

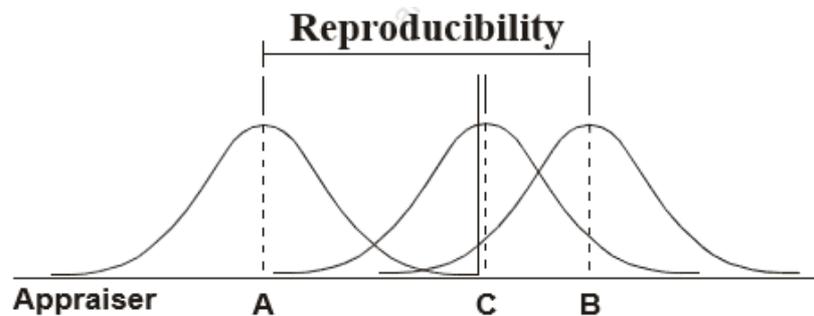


Figura 16 - Estudo da reprodutibilidade

(Down et al.,2010)

Os gráficos de controlo das médias e das amplitudes revelam o número de categorias de dados (Figura 17) que podem ser identificadas no sistema de medição.

Discriminação	Observações
	<p>Só pode ser usado para controle em condições especiais, por exemplo, no caso de um processo muito capaz, com função de perda achatada no intervalo das especificações.</p> <p>Não pode ser usado para estimar parâmetros e índices do processo.</p>
	<p>Pode ser usado no controle de características que não são críticas e onde o processo tem boa capacidade.</p> <p>Fornece apenas estimativas grosseiras dos parâmetros e índices do processo.</p>
	<p>Pode ser usado no controle de características críticas.</p> <p>Fornece estimativas precisas dos parâmetros e índices do processo.</p>

Figura 17 - Aplicabilidade de um sistema de medição em função do número de categorias (Ribeiro & Caten, 2012)

Analisando a Figura 17, consegue-se concluir que:

1. Para uma categoria, não é aceitável estimar parâmetros e índices do processo, isto é, neste caso só indica se o processo produz peças conformes ou não conformes;
2. Para duas a quatro categorias, e dado que só fornece estimativas grosseiras, pode-se considerar inaceitável para estimar parâmetros e índices do processo;
3. Para mais de cinco categorias, é recomendado, uma vez que fornece estimativas precisas dos parâmetros e índices do processo.

2.4.1 Análise do sistema de medição por variáveis

O sistema de medição, segundo Ribeiro & Caten (2012), é avaliado em termos percentuais. Quantifica-se a percentagem da variabilidade total do processo que é devida ao sistema de medição, isto é:

$$R\&R \% = 100 \times R\&R / VT$$

Segundo Down et al. (2010), para a realização de um estudo R&R o número de peças deve ser no mínimo de dez ($n > 10$), que representem o intervalo de variação do processo. As peças devem ser numeradas, para à posteriori três operadores medir cada peça três vezes. A numeração das peças não deve estar visível, e cada operador deve realizar a medição sem que outro esteja a ver.

Para se proceder ao estudo da R&R, e de acordo com Ribeiro & Caten (2012), podem ser utilizados três métodos:

1. **Método da amplitude:** realiza uma primeira avaliação ao sistema de medição, não decompondo a variabilidade em R&R, isto porque, para este método são necessários apenas dois operadores e, cinco a dez peças, realizando cada operador uma única medição a cada peça;
2. **Método da média e amplitude:** este método permite distinguir as duas fontes de variação (R&R), quantificando a contribuição de cada uma delas para a variabilidade total. Para tal, cada operador deve realizar no geral duas ou três medições à mesma peça. Conforme os resultados, a causa da variabilidade deve ser investigada, para que se possam tomar medidas e adotar melhorias no sistema de medição. Caso a Repetibilidade seja a causa da variabilidade, então devem ser adotadas medidas na formação dos operadores, adquirir instrumentos com maior precisão ou de leitura mais simples; sendo a Reprodutibilidade a contribuir para a variabilidade total, poderá ser necessário realizar formação específica aos operadores, ou adotar modelos standard para os procedimentos de medição;
3. **Método ANOVA:** o método de análise de variância (ANOVA) é uma técnica estatística que pode ser usada num estudo de variabilidade de um sistema de medição. Através deste método,

decompõe-se a variabilidade em quatro campos: peça, operador, interação peça vs operador e, erro do dispositivo de medição. A ANOVA tem como vantagens o poder trabalhar com qualquer arranjo experimental, e estimar com maior precisão a variação.

Em suma o método da amplitude apresenta uma recolha de dados simplificada; já os outros dois métodos seguem basicamente o mesmo procedimento na recolha dos dados. O método aplicado nesta dissertação, foi o da média e da amplitude.

Para aceitação da análise do sistema de mediação, os critérios de aceitação são apresentados na Tabela 5:

Tabela 5 - Critérios de aceitação (Ribeiro & Caten, 2012)

GRR	Decisão
Inferior a 10%	O sistema de medição é aceitável.
Entre 10% e 30%	O sistema de medição pode ser aceitável.
Superior a 30%	O sistema de medição não é aceitável.

3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Neste capítulo faz-se a apresentação da empresa onde se realizou este projeto, dando-se a conhecer a história da JASIL, os seus principais clientes, uma breve descrição dos seus processos produtivos, concluindo com alguns dos produtos fabricados.

3.1 JASIL - J. António da Silva, Lda

A JASIL – J. António da Silva, Lda iniciou a sua atividade em 1948 pelas mãos do Sr. José António da Silva, sob a denominação de Micromecânica, dedicando-se à produção de alfabetos e numerários para marcações a punção, e de ferramentas de precisão – como os caçonetes.

Em 1973 começou a introduzir na sua gama de fabrico algumas peças para motos e bicicletas de conceção simples.

Em 1978, com o crescimento da empresa a nível organizacional e a nível de instalações, a JASIL consegue alargar a sua gama de peças para motores de motos, tendo o seu cliente Famel – do grupo alemão Zundapp – contribuído de forma preponderante para o seu desenvolvimento, uma vez que, a exigência de qualidade nos produtos para este cliente, obrigou a JASIL a revolucionar os seus métodos e processos de fabrico.

No ano de 1985, e já impulsionada pela Famel para a produção de bielas, dá-se o início da produção de pares de cambotas.

Com a entrada de Portugal na CEE a JASIL, e tal como nos dias de hoje, entrou no desafio do desenvolvimento de novos produtos para motos, tendo como principais mercados a Holanda, França e Itália. No entanto, e para responder ao desenvolvimento de novos produtos foi necessário apostar em tecnologia que levou ao investimento nos primeiros tornos CNC.

Na década de 90, a JASIL apostou numa marca própria – Top Racing – iniciando a sua distribuição para a Holanda, Dinamarca e Espanha.

Em 2004, foi dado início à profissionalização dos métodos de trabalho, informatizando a produção e as máquinas produtivas que permitem a monitorização de tempos e otimização de processos. Para tal, a empresa recorreu á implementação do software ERP, permitindo-lhe ainda, ter acesso imediato à informação de stocks, preços e prazos de entrega.

Com a melhoria de processos constante, obteve em 2011 a certificação de conformidade com a norma NP EN ISO 9001 – Sistema de Gestão da Qualidade para o Âmbito da Conceção, Desenvolvimento e Produção de componentes e acessórios para veículos motorizados e bicicletas.

Em 2017, a JASIL foi premiada pelo Kaizen Institute com o prémio PME Kaizen Lean 2016 – Excelência na Produtividade, como reconhecimento do trabalho desenvolvido.

Neste momento, encontra-se a expandir o seu negócio para a área do setor automóvel, estando em fase de implementação dos requisitos da norma IATF.

Contando já com mais de 70 anos de existência, a JASIL continua uma empresa moderna fruto do seu permanente investimento em novas tecnologias que a façam se manter competitiva. O desenvolvimento de novos produtos, a aposta na qualidade e a focalização no cliente são as ferramentas com que a JASIL projeta o futuro e ultrapassa novos desafios, procurando sempre aprender com o passado, agir no presente, e antecipar o futuro.

3.2 Processos Produtivos

Para responder aos requisitos dos seus clientes, a JASIL conta com seis processos produtivos, cerca de cento e cinquenta máquinas espalhadas por uma área de produção a rondar os cinco mil metros quadrados. Dentro destes processos, muitas das ferramentas e acessórios utilizados são desenvolvidos internamente.

1. **Forjamento:** É um processo de fabrico que envolve a formação de metais usando forças de compressão localizadas. O forjamento pode ser classificado de acordo com a temperatura na qual é realizado: forjamento a frio e o forjamento a quente (o material é aquecido, por exemplo, numa forja ou por indução).

A JASIL tem capacidade para forjamento a quente e a frio, em aço, alumínio e latão. As máquinas disponíveis são, quatro máquinas de fricção até quinhentas toneladas de força; quatro máquinas mecânicas de até duzentos e cinquenta toneladas de força e; uma máquina hidráulica que permite o forjamento 3D em alumínio.

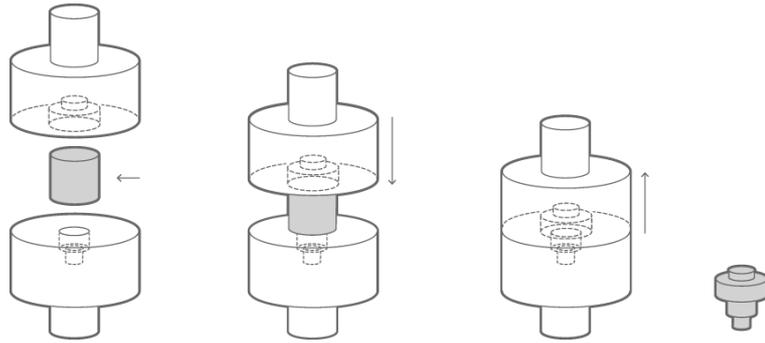


Figura 18 - Etapas do Forjamento
(JASIL, 2022)

2. **Torneamento:** O conceito mais aplicado ao torneamento é que se trata de um processo em que a ferramenta é estacionária e a peça gira. Contudo, o torneamento pode ser dividido em algumas aplicações, exigindo para tal, tipos de ferramentas específicos, dados de corte e programação para a operação ser realizada da maneira mais eficiente possível (Figura 19).

A JASIL conta com cerca de vinte tornos CNC, sendo alguns com alimentador de barra automático e até seis eixos de trabalho, que permitem produzir peças de elevada complexidade e precisão, com um baixo custo de mão de obra.

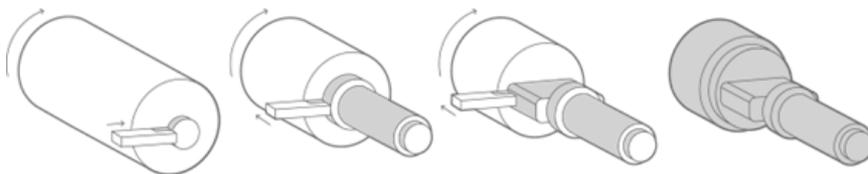


Figura 19 – Processo de Torneamento
(JASIL, 2022)

3. **Maquinagem:** A maquinagem CNC é um processo de fabrico que tem grande aplicação na indústria metalomecânica. Trata-se de um processo de fabrico mecânico que envolve a remoção de materiais através de ferramentas de corte, visando dar forma a uma peça, seja ela metálica ou não (Figura 20).

A JASIL dispõe de centros de maquinagem de três ou quatro eixos, e tornos CNC com alimentador de barras manual de até oito eixos de trabalho que abrangem qualquer operação de maquinagem. Os centros de torneamento são centros de fresamento/torneamento multitarefa de alta precisão e acabamentos de superfície superiores.

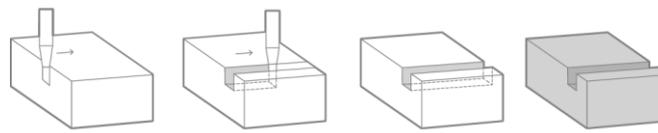


Figura 20 – Processo de Maquinagem
(JASIL, 2022)

4. **Retificação:** O processo de retificação permite corrigir as irregularidades que as peças apresentam em sua superfície, ou seja, tem como objetivo dar à peça um acabamento tanto fino quanto exato das dimensões que são necessários para que esta realize as suas funções. Por meio do procedimento, a remoção no material é executada a partir do contato que é estabelecido entre a ferramenta abrasiva e a peça.

O equipamento de retificação da JASIL (Figura 21), é capaz de retificar com um alto nível de qualidade superfícies planas, interiores de furos, eixos com apenas um diâmetro sem pontos e, eixos com mais que um diâmetro, incluindo superfícies cônicas entre dois pontos.

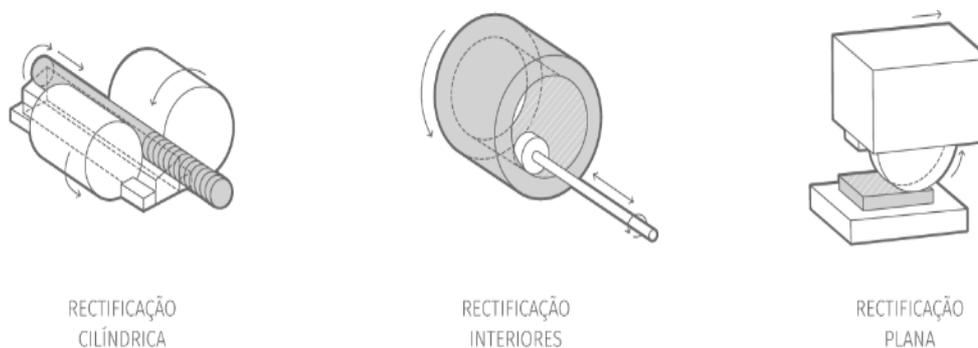


Figura 21 - Tipos de retificação da JASIL
(JASIL, 2022)

5. **Marcação e Estampagem:** A JASIL dispõe de máquinas de estampagem e marcação laser, que permitem uma grande versatilidade na personalização dos produtos.
6. **Outros Serviços:** A nível interno, a JASIL dispõe do serviço de montagem e embalagem dos produtos dos seus clientes. No entanto, para realizar tratamentos tanto superficiais como térmicos, a JASIL tem parceiros especiais que realizam esses serviços.

3.3 Principais equipamentos de controlo e inspeção

Com foco nas necessidades do cliente, ao longo dos anos a JASIL foi investindo em equipamentos de controlo que permitam responder aos requisitos dos seus clientes. Assim, neste momento a JASIL encontra-se equipada com:

- **CMM:** realiza medições 3D das peças ponto a ponto até 5 microns;



Figura 22 - *Coordinate Measuring Machine*
(Mitutoyo, 2022)

- **VICIVision MTL 500 Ergon & MTL M2:** as medições neste equipamento sendo complexas, não existe qualquer contacto entre a ferramenta de medição e a peça, ou seja, é realizada uma medição ótica.



Figura 23 - VICIVision
(Msvision, 2022)

- **Renishaw Equator:** estes equipamentos encontram-se junto aos centros CNC para que, todas as medições necessárias ponto a ponto sejam realizadas. Através deste equipamento consegue-se medir a altura e largura das peças em simultâneo.



Figura 24 - Renishaw Equator
(Renishaw, 2022)

Indo de encontro a um dos objetivos do CEP, de comprometer o operador com a qualidade do que está a produzir, em todos os processos produtivos da JASIL, o controlo da qualidade é feito pelo próprio operador. Assim, e para medição de outras características dos produtos, como a rugosidade, dureza, espessura, encontram-se também disponíveis outros equipamentos.

3.4 Principais Clientes

A JASIL conta com uma vasta lista de clientes, contudo, neste projeto apresentam-se apenas alguns deles:

- Atlas Copco;
- CIE Galfor;
- CGN – Centre Grossiste Nantais;
- NCTE;
- Sodikart;
- Streetbuzz Distribution GmbH.

3.5 Principais produtos

Apesar da vasta gama de produtos para as diferentes áreas de negócio para qual a JASIL produz, os produtos que a diferenciam são as cambotas e bielas para motos. Desde o início da sua produção, que

estes foram os produtos que impulsionaram a JASIL e desmarcaram-se da concorrência pela sua qualidade.



Figura 25 - Biela e Cambota da JASIL
(JASIL Comercial, 2020)

4. ESTUDO DE CASO

No decorrer deste capítulo será apresentado o caso de estudo desenvolvido neste projeto. Para tal, juntamente com o Departamento de C&D e o Departamento da Qualidade, foram selecionadas para este estudo CEP as peças designadas por mangas.

A sua seleção baseou-se em dois aspetos, o custo que este produto apresenta, e no requisito do cliente em que fosse realizado o controlo estatístico do processo.

4.1 Produto alvo do estudo

As mangas, ou conhecidas no mercado como Axle Spindle (Figura 26) são um dos projetos mais importantes para a JASIL uma vez que, permitiu à empresa sair da sua zona de conforto na produção de produtos para as duas rodas, entrando assim na indústria automóvel.



Figura 26 - Axle Spindle

Estas mangas, são peças usadas no eixo de direção dos veículos comerciais (eixo traseiro ou reboque) tendo como finalidade fixar o sistema de freio e montar as rodas no eixo (Figura 28). As peças têm como principal matéria-prima o aço, e chegam à JASIL já com o primeiro processo de fabrico realizado, o forjamento. Compete à JASIL realizar os processos segundo o fluxograma representado na Figura 27.



Figura 27 - Fluxograma do processo das mangas

Uma vez que se trata de peças para o setor automóvel, esta peça exige um elevado nível de controlo a nível da Qualidade, onde todos os pontos da peça são controlados e monitorizados.

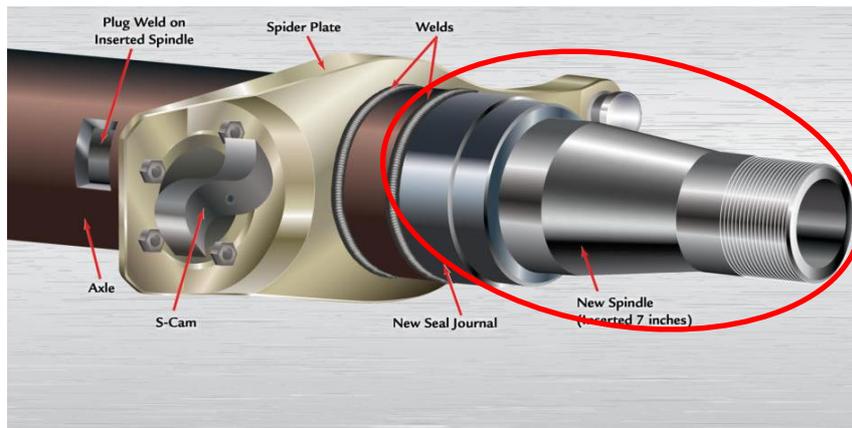


Figura 28 - Localização da manga nos veículos
(Axle Surgeons, 2022)

4.2 Processo produtivo das mangas

Para este projeto, a JASIL investiu numa célula de produção quase toda ela automática. O primeiro processo produtivo de que as mangas são alvo dentro da JASIL, é o corte de excesso de material. Após a peça ser cortada, é colocada pelo robot no equipamento de medição do diâmetro interno da peça. Caso o resultado da medição esteja conforme, a peça pode seguir para o processo de torneamento; caso o diâmetro interno esteja mais largo ou apertado, a peça é rejeitada de imediato. O processo de corte é constituído por dois serrotes de fita automáticos (Figura 29).



Figura 29 - Serrote de fita automático (JASIL, 2022)

De seguida, o robot coloca a peça conforme no tapete para que, o robot da área de torneamento pegue na peça e coloca-a dentro de um dos tornos (Figura 30), dando-se início ao processo de torneamento.



Figura 30 – Robot a colocar peça dentro de um dos tornos (JASIL, 2022)

Após o processo de torneamento, o robot coloca a peça para marcação do QR Code. Este código transmite várias informações tanto a nível interno como ao cliente. A nível interno, ajuda os operadores a perceber o número da máquina em que a peça foi produzida, e o número da peça desde as 24h. A legenda para interpretação do código encontra-se documentada.

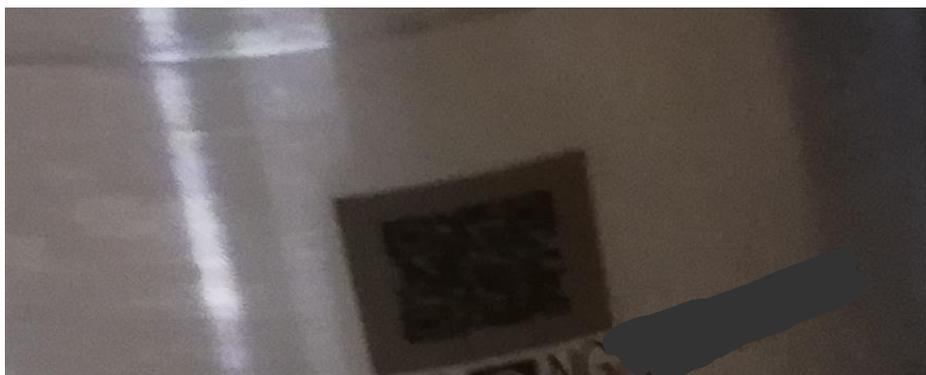


Figura 31 - QR Code marcado numa manga
(JASIL, 2022)

De seguida, as peças seguem para o controlo dimensional sendo a Renishaw Equator 500 a fazer o primeiro controlo. Todas as peças, são alvo deste controlo em cinco características.



Figura 32 - Renishaw Equator 500
(JASIL, 2022)

Depois de a peça ser medida na Renishaw Equator, o robot pega na peça e coloca-a na VICI M618 Techno para medição de vinte e duas características.



Figura 33 - VICI M618 da célula das mangas
(JASIL, 2022)

Após o controlo dimensional, as peças são colocadas pelo robot no tapete para que os operadores procedam à inspeção da peça através de medições manuais. Nesta etapa, os operadores utilizam equipamentos manuais como é o caso dos micrómetros, paquímetros, e outros calibres especiais.

Estando as peças com todas as dimensões conforme, estas seguem para o controlo por Magnaflux. Este processo de inspeção, envolve a aplicação de um produto químico penetrante, visível ou fluorescente sobre a peça a inspecionar. Este produto penetrante sob a luz ultravioleta, torna o penetrante fluorescente realçando assim, possíveis rachadelas nas peças (Magnaflux, 2021).

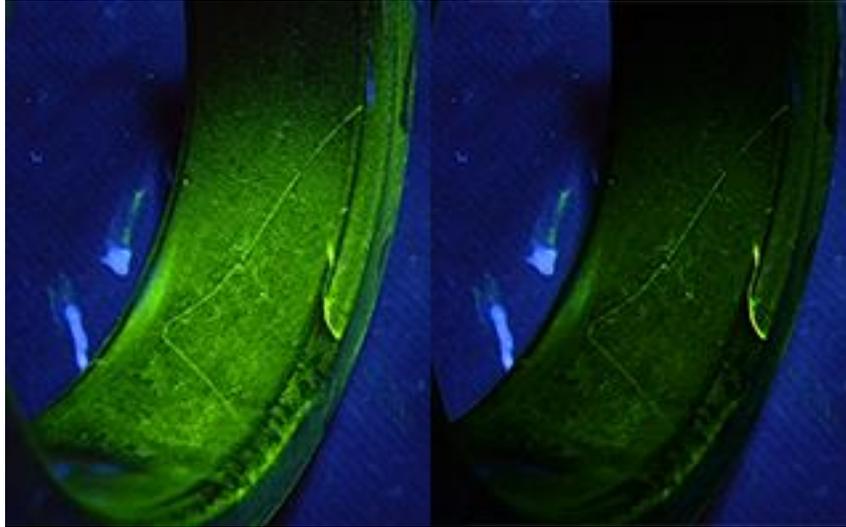


Figura 34 - Peça NOK através do controlo por Magnaflux
(Magnaflux, 2021)

Por fim, as peças são controladas visualmente pelos operadores, que lhes colocam o protetor da rosca, embalam e preparam para expedição (Figura 35).



Figura 35 - Manga produzida, protegida e embalada
(JASIL, 2022)

4.3 Análise de Pareto

Com o objetivo de se perceber quais os tipos de defeitos que as mangas apresentavam, foi realizada uma análise de Pareto. Através desta análise, consegue-se perceber com que frequência é que os defeitos estão no processo levando a definir prioridades e agir sobre eles.

Uma vez que os defeitos vão sendo registados no software pelos operadores ao longo da produção, foi necessário realizar um levantamento dos mesmos e os transpor para a Tabela 6, para à posteriori se realizar a devida análise. Este levantamento foi realizado durante os meses de Abril, Maio e Junho para um total de 5717 peças produzidas.

Tabela 6 - Defeitos encontrados nas mangas

Tipo de defeito	Nº de peças com defeitos	Frequência cumulativa	% de defeitos	% Frequência cumulativa
Peças Oxidadas	207	207	33%	33%
Falta Material	117	324	19%	52%
Ø Externo Rosca	90	414	14%	66%
Ø Primitivo Rosca	63	477	10%	76%
Dimensão 107.065	51	528	8%	84%
Dimensão 100.865	36	564	6%	90%
Comprimento NOK	24	588	4%	94%
Ø Apertado	18	606	3%	96%
Ø Largo	15	621	2%	99%
Peça descentrada	7	628	1%	100%

Com base nos dados da Tabela 6, foi construído o diagrama de Pareto (Gráfico 1).

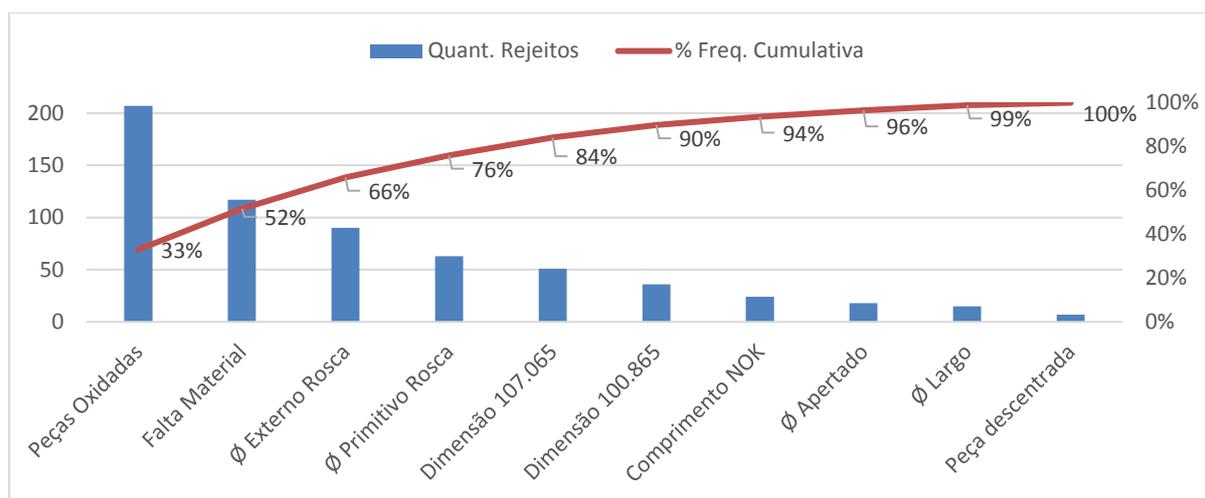


Gráfico 1 - Diagrama de Pareto para o total de rejeitos

Assim, segundo o Gráfico 1, conclui-se que o defeito com maior impacto na produção ao longo destes três meses, foram as peças oxidadas.

Contudo, uma vez que as mangas apresentaram alguns defeitos provenientes do processo do cliente, optou-se por separar esses rejeitos, dos rejeitos provenientes do processo da JASIL. Para isso, foi construída a Tabela 7, onde são apresentados apenas os defeitos que provêm do processo da JASIL, defeitos estes alvos deste estudo.

Tabela 7 - Defeitos do processo da JASIL

Tipo de defeito	Nº de peças com defeitos	Frequência cumulativa	% de defeitos	% Frequência cumulativa
Peças Oxidadas	207	207	46%	46%
Ø Externo Rosca	90	297	20%	66%
Ø Primitivo Rosca	63	360	14%	81%
Dimensão 107.065	51	411	11%	92%
Dimensão 100.865	36	447	8%	100%

Com recurso aos dados apresentados na Tabela 7, foi construído um segundo diagrama de Pareto (Gráfico 2).

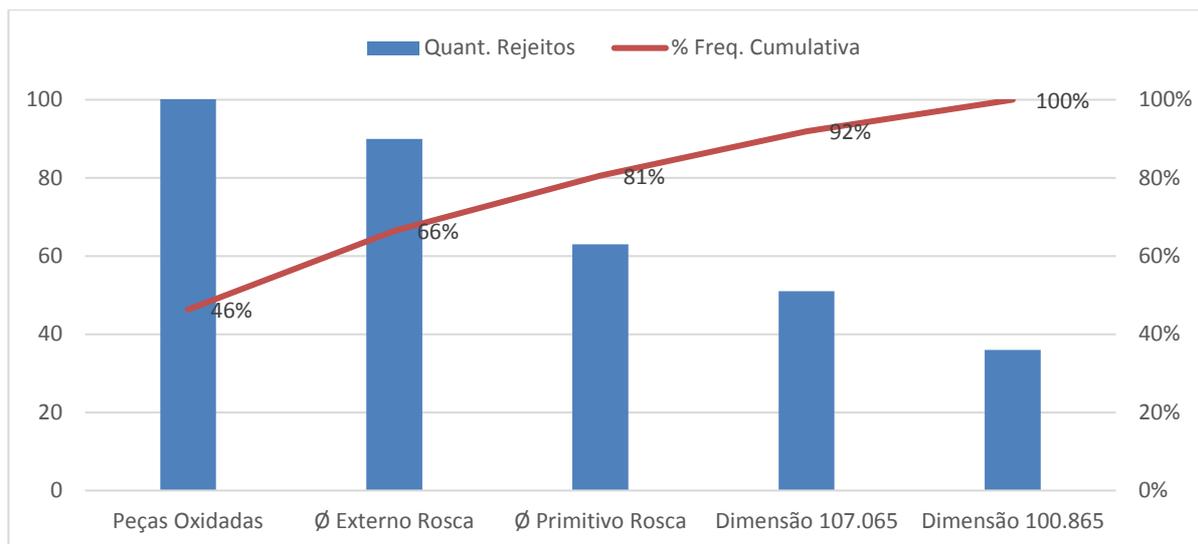


Gráfico 2 - Diagrama de Pareto dos rejeitos do processo da JASIL

De acordo com o gráfico 2, o defeito com maior impacto é as peças oxidadas, representando 46% dos defeitos encontrados ao longo dos meses de estudo.

4.3.1 Análise crítica aos defeitos

Depois de realizada a análise aos defeitos identificados ao longo dos meses de estudo, foram assim definidos como rejeitos os desvios dimensionais dos diâmetros externos e primitivos da rosca, desvios na dimensão 107.065 e dimensão 100.865, e peças oxidadas.

No entanto, e apesar de através do gráfico 2 se verificar que o defeito mais crítico do processo da JASIL foram as peças oxidadas com 46% dos rejeitos, verificou-se junto do departamento da Qualidade que o cliente apresentou reclamação para dois tipos de defeitos: peças oxidadas e desvio dimensional no diâmetro da rosca, tanto externo como primitivo. Assim, foi necessário realizar um levantamento das causas para estes dois defeitos.

4.3.2 Análise das causas dos defeitos

Através da análise de Pareto conseguiu-se fazer um levantamento e identificar quais os rejeitos que ocorriam com maior frequência. No entanto, e sendo necessário analisar as causas dos defeitos identificados, foi necessário recorrer ao diagrama de causa-efeito e à técnica de *brainstorming*. Para tal, foi definido um grupo de trabalho com elementos envolvidos no processo que, na sessão de *brainstorming* ajudaram a construir o diagrama de causa-efeito. Em paralelo construiu-se um FMEA para analisar as reclamações apresentadas pelo cliente, assim como outros tipos defeitos.

4.3.3 Análise através do diagrama de causa-efeito

Com ajuda do diagrama de causa-efeito ou Ishikawa preenchido na sessão de *brainstorming* realizada, foi possível efetuar uma análise às causas dos defeitos identificados na análise de Pareto. Como já mencionado antes, uma vez que o cliente apresentou reclamação para dois tipos de rejeitos (peças oxidadas e desvio dimensional no diâmetro da rosca), realizou-se uma análise através do diagrama de causa-efeito para estes dois tipos de rejeitos.

Na Figura 36 apresenta-se o resultado da sessão de brainstorming para o defeito das peças oxidadas. Neste diagrama de causa-efeito, as causas foram classificadas segundo o método de produção, matéria-prima, máquina, mão-de-obra e meio ambiente.

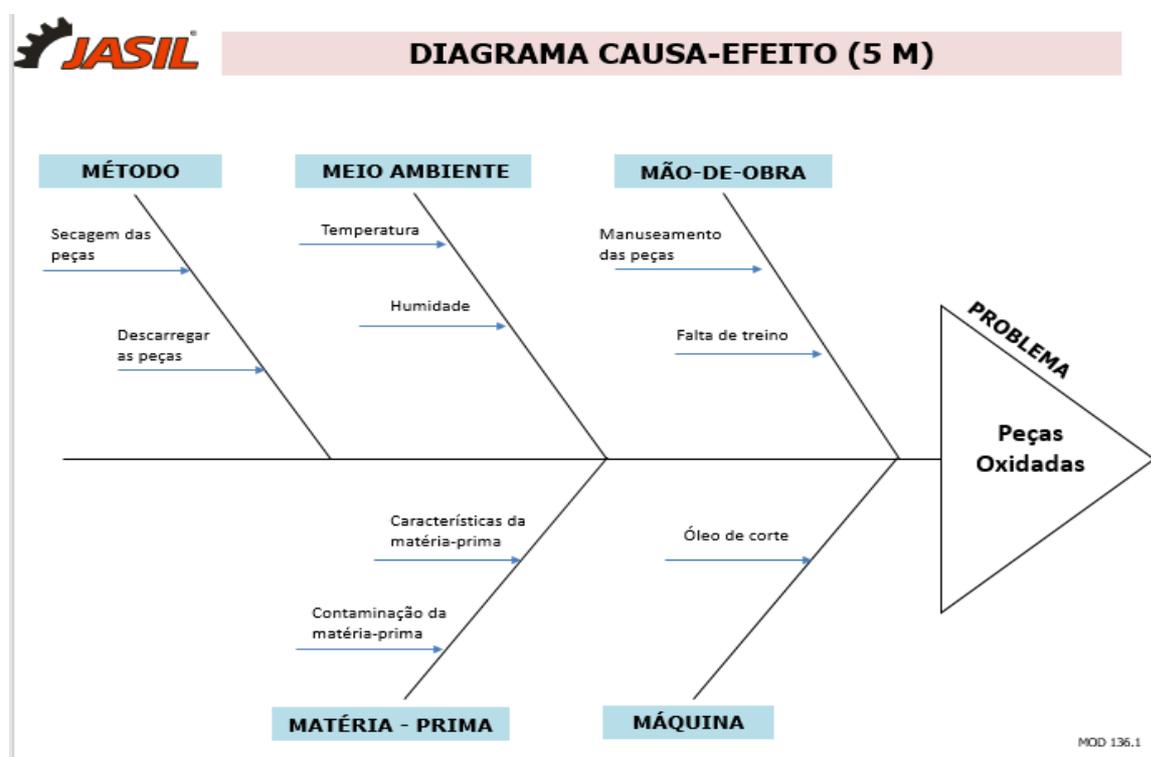


Figura 36 - Diagrama de causa-efeito peças oxidadas

Para este defeito, foram considerados como possíveis causas, a mão-de-obra (manuseamento das peças), o método (secagem das peças), e o meio ambiente (humidade).

- Método: dentro desta categoria encontram-se duas possíveis causas que justifiquem o problema. Em relação à descarga das peças, nos dias de chuva desde que as peças saem do camião até entrarem nas instalações, a chuva que estas apanharem vai provocar oxidação nas mesmas. Em relação à secagem, este processo é importante uma vez que, qualquer líquido acumulado na peça pode originar oxidação.

- Manuseamento das peças: o fato de os operadores durante a inspeção visual e com os aparelhos de medição como o micrómetro e paquímetro, não utilizarem luvas, pode provocar a oxidação das peças;
- Humidade: a humidade presente no ar das instalações onde se encontra implementada a célula, pode originar oxidação enquanto as peças aguardam em stock pelo processo de torneamento, ou a expedição para o cliente.

Através da Figura 37 consegue-se verificar as possíveis causas atribuídas para o defeito nos diâmetros da rosca. Neste diagrama de causa-efeito, as causas foram classificadas segundo o método de produção, medição, matéria-prima, máquina e mão-de-obra.

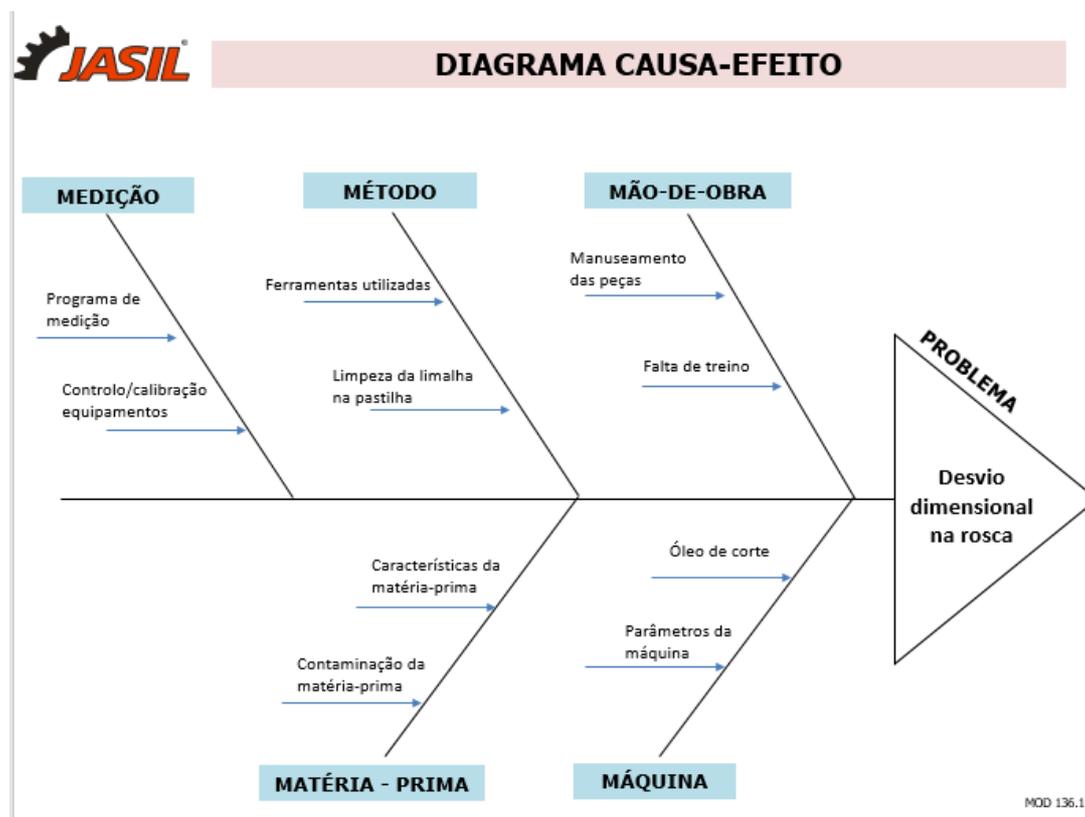


Figura 37 - Diagrama de causa-efeito desvios dimensionais na rosca

- Matéria-prima: a matéria-prima ao apresentar alguma diferença nas suas características pode provocar alterações no resultado do processo, isto é, se matéria-prima apresentar um grau de dureza superior ao normal, ou apresentar algum tipo de contaminação, isto pode originar problemas às ferramentas de corte que afetam as tolerâncias finais da peça;
- Medição: uma vez que se trata de desvios dimensionais, a falta de controlo/calibração dos equipamentos ou, a introdução durante o *setup* do programa errado para o tipo de manga, pode originar leituras erradas;

- Parâmetros da máquina: uma alteração num parâmetro da máquina, seja ela alguma coordenada, ou velocidade de corte, influencia as características finais das peças;
- Ferramentas utilizadas: durante o processo de *setup*, ou durante uma avaria da máquina as ferramentas montadas podem não ser as destinadas ao processo. No entanto, uma outra situação prende-se com as pastilhas de corte que podem ser de fraca qualidade, em que, uma possível variação das características, ou contaminação do material, levem a que estas se danifiquem e provoquem rejeitos.

4.4 Ações de melhoria para as causas identificadas

Tendo por base a análise realizada durante as sessões de *brainstorming*, foram definidas algumas contramedidas para as causas mais críticas.

4.4.1 Contramedida definida para os defeitos

As contramedidas para mitigar as causas que originavam as peças oxidadas e o desvio dimensional no diâmetro da rosca, encontram-se estipuladas na Tabela 8 e Tabela 9 respetivamente. Estas tabelas foram construídas com base no FMEA construído em paralelo com a análise à causa dos defeitos realizada neste projeto.

Tabela 8 - Ações adotadas para mitigação das causas da Oxidação

Problema	Modo de Falhas Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Causas Potenciais do Modo de Falha	Ações	Responsável	Data/Prazo
Oxidação das peças	Descarregar peças à chuva.	Oxidação das peças em stock.	Descarregar à chuva.	Utilização de uma lona para proteger as peças durante a descarga.	Responsável pela Logística/Armazém	Imediato
	Não assegurar as condições de temperatura e humidade	Oxidação das peças em stock.	Falha na climatização do armazém	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação de Ar Condicionado; • Adquirir Higrometro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Serviço Externo; • Dept. Qualidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Junho • Junho
	Mau manuseamento	Reclamação do cliente	Incumprimento do procedimento	Obrigatório o uso de luvas no manuseamento das peças	Responsável da Produção e Qualidade	Imediato
	Falha na secagem das peças	Reclamação do cliente	Peças com excesso de humidade após a Magnaflux	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação de um líquido antioxidantes; • Fabricar uma linha de secagem automática. 	<ul style="list-style-type: none"> • Responsável da Produção; • Dept. C&D 	<ul style="list-style-type: none"> • Julho • Julho/Agosto

Tabela 9 – Ações adotadas para mitigação das causas do desvio na rosca

Problema	Modo de Falhas Potenciais	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Causas Potenciais do Modo de Falha	Ações	Responsável	Data/Prazo
Desvio dimensional na rosca	Dimensão do diâmetro exterior da rosca fora de especificação	Rejeição por desvios dimensionais no diâmetro	Desgaste das fresas	<ul style="list-style-type: none"> • Atualizar a frequência de troca das ferramentas (fresas); • Criar registo no sistema informático das trocas de ferramentas; 	<ul style="list-style-type: none"> • Responsável da Produção; • IT; 	<ul style="list-style-type: none"> • Imediato • Junho
	Rebarbas na zona do escatel e da rosca	Falha no cliente – dificuldade na montagem	Desgaste das ferramentas	<ul style="list-style-type: none"> • Controlar a peça visualmente; • Criar uma IT para retoque das peças 	Dept. Qualidade	<ul style="list-style-type: none"> • Imediato • Imediato
	Dimensão do diâmetro primitivo da rosca fora de especificação	Rejeição por desvios dimensionais no diâmetro	Desgaste das pastilhas	<ul style="list-style-type: none"> • Atualizar a frequência de troca de ferramentas de corte; • Criar registo no sistema informático das trocas de ferramentas; • Avaliar junto do fornecedor as ferramentas que partem prematuramente 	<ul style="list-style-type: none"> • Responsável da Produção; • IT; • Responsável das Ferramentas 	<ul style="list-style-type: none"> • Imediato • Junho • Julho

A. Aplicação das contramedidas para mitigar as peças oxidadas

Durante a realização deste projeto, foram implementadas quatro das seis contramedidas sugeridas: utilização de uma lona para a descarga das peças, a implementação do ar condicionado nas instalações e a aquisição do higrómetro, e deu-se início ao desenvolvimento/produção da linha de secagem automática. O uso de luvas para o manuseamento das peças já era um item obrigatório, no entanto passou a ter um controlo mais apertado.

a. Lona para descarga das peças

Uma das possíveis causas levantadas, foi da descarga das peças em tempos de chuva. Uma vez que o cais de descarga não é coberto, desde que o empilhador tira o contentor do camião, até entrar nas instalações, a chuva ao entrar em contacto com as peças acaba por lhes provocar oxidação. Assim, surgiu a ideia de colocar uma lona por cima dos contentores, evitando assim o contacto da chuva com as peças e posterior oxidação. Esta contramedida foi aplicada de imediato.

b. Aquisição do higrómetro e ar condicionado

A segunda contramedida implementada foi a aquisição de um higrómetro e a instalação de ar condicionado para se controlar o nível de humidade nas instalações. Esta contramedida já se encontra em funcionamento.

c. Produção da linha de secagem automática

Uma vez que o controlo da humidade nas instalações era importante para que a peça não oxidasse, uma das causas apontadas prendeu-se com o fato de a peça após o processo de controlo por Magnaflux, ficar com o líquido/humidade agarrada a esta, não fazendo assim qualquer sentido o controlo da humidade nas instalações. Surgiu assim a ideia da produção da linha de secagem automática das peças. A linha foi produzida tal como mostra a Figura 38, tendo ficado apenas a colocação desta no *layout* e os ajustes finais de trabalho por realizar.



Figura 38 - Linha de secagem automática produzida
(JASIL, 2022)

A contramedida que ficou por implementar foi da aquisição de um líquido antioxidante, uma vez que, o objetivo passa pela secagem completa da peça.

B. Aplicação das contramedidas para mitigar o desvio dimensional na rosca

No decorrer da realização deste projeto, as três contramedidas sugeridas foram todas implementadas.

a. Atualizar a frequência de troca das ferramentas

Estando as ferramentas a partir com alguma frequência, pretendia-se realizar uma análise aos registos das trocas. No entanto, e uma vez que esse registo não estava a ser feito com regularidade, não foi possível realizar a devida análise. Assim, foi então definido que essa atualização passaria a ser uma regra geral, tendo-se procedido também à criação de um registo informático no imediato.

b. Criar registo no sistema informático das trocas de ferramentas

Uma das contramedidas para colmatar a falta de atualização das trocas de ferramentas, foi a criação de um registo no sistema interno, para que sempre que se efetuasse a troca de uma ferramenta esta fosse devidamente registada, e assim, monitorizada o tempo de produção ou de vida dessa ferramenta. Esta ação foi aplicada no imediato.

c. Avaliar junto do fornecedor as ferramentas que partem prematuramente

Tendo sido inicialmente levantada a hipótese de que a matéria-prima da peça poderia ter sido alterada e as ferramentas não serem as adequadas para o tipo de matéria, foi questionado ao cliente esta

hipótese. No entanto, o cliente confirmou que a matéria-prima se mantinha inalterada. Assim, e uma vez que o registo das trocas de ferramentas se encontrava atualizado, expôs-se a situação junto do fornecedor, para que se conseguisse entender o motivo para as ferramentas partirem prematuramente. Ficou à responsabilidade do fornecedor avaliar com a sua equipa de engenharia as ferramentas que partiram prematuramente.

As ações sugeridas para eliminar as rebarbas na zona do escatel e da rosca, uma vez que passam apenas pelo controlo visual e retrabalho, não foram aqui descritas, uma vez que são apenas ações de controlo.

4.5 Análise do Sistema de Medição – Equipamentos utilizados

Uma vez que a análise ao sistema de medição é importante para que se perceba qual a precisão que está associada ao seu sistema de medição, procedeu-se à análise dos equipamentos utilizados para a medição das peças deste projeto. Assim, os equipamentos alvos desta análise foram a Renishaw Equator 500 e a Vicivision M618 Techno. Dentro de uma análise por variáveis, é possível analisar a estabilidade, a tendência, linearidade, repetibilidade e a reprodutibilidade. Contudo, na análise aqui realizada, recaiu sobre um estudo de repetibilidade e reprodutibilidade ao sistema de medição, tendo como objetivo estimar uma variação do sistema. Recorrendo-se ao software Minitab, foi possível efetuar a análise gráfica deste estudo. A calibração e verificação destes equipamentos é realizada internamente pelo departamento da Qualidade uma vez por ano (Figura 39) para ambos os equipamentos.

	Estado de Calibração/ Verificação
EMM: Equator 500	
Cód: 25.059.0803	
Data de Calibração/ Verificação: 19 / 06 / 2021	
Próxima Calibração/ Verificação: 19 / 06 / 2022	
Departamento Qualidade: 	
MOD 027.0	

Figura 39 - Etiqueta de calibração dos equipamentos

4.5.1 Metodologia

Para este estudo por variáveis, escolheram-se dez amostras (peças), o número mínimo para que se represente o intervalo de variação da característica a ser controlada. As amostras foram numeradas de

forma que os três operadores (A, B e C) selecionados não as conseguissem identificar. Cada operador realizou três medições a cada amostra de forma aleatória.

Os valores obtidos foram registados num documento pré-definido pela JASIL, podendo-se verificar os mesmos na Figura 40.

APPRAISER/ TRIAL #		PART										AVERAGE	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1. A	1	78,933	78,927	78,935	78,921	78,928	78,911	78,929	78,918	78,912	78,919		78,923
2.	2	78,931	78,919	78,945	78,922	78,935	78,920	78,927	78,909	78,909	78,926		78,924
3.	3	78,935	78,910	78,939	78,941	78,921	78,922	78,924	78,923	78,916	78,921		78,925
4.	AVE	78,93	78,92	78,94	78,93	78,93	78,92	78,93	78,92	78,91	78,92	$\bar{X}_a=$	78,924
5.	R	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	$\bar{R}_a=$	0,011
6. B	1	78,943	78,952	78,945	78,944	78,943	78,946	78,956	78,937	78,933	78,919		78,942
7.	2	78,949	78,938	78,941	78,933	78,935	78,944	78,938	78,932	78,928	78,931		78,937
8.	3	78,942	78,948	78,940	78,937	78,930	78,940	78,941	78,934	78,933	78,927		78,937
9.	AVE	78,94	78,95	78,94	78,94	78,94	78,94	78,95	78,93	78,93	78,93	$\bar{X}_b=$	78,939
10.	R	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	$\bar{R}_b=$	0,010
11. C	1	78,926	78,920	78,941	78,935	78,930	78,932	78,910	78,936	78,931	78,922		78,928
12.	2	78,922	78,924	78,938	78,935	78,934	78,934	78,912	78,938	78,933	78,929		78,930
13.	3	78,924	78,921	78,927	78,937	78,924	78,930	78,907	78,938	78,916	78,927		78,925
14.	AVE	78,92	78,92	78,94	78,94	78,93	78,93	78,91	78,94	78,93	78,93	$\bar{X}_c=$	78,928
15.	R	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	$\bar{R}_c=$	0,007
16. PART												$\bar{X}=$	78,930
	AVE (\bar{X}_p)	78,93	78,93	78,94	78,93	78,93	78,93	78,93	78,93	78,92	78,92	$R_p=$	0,016

Figura 40 - Resultados das medições para o estudo GRR

4.5.2 Análise gráfica aos resultados do MSA

A análise gráfica dos resultados do MSA foi realizada com ajuda do software Minitab. Este software é um programa para fins estatísticos, com um ambiente de trabalho (Figura 41) muito idêntico ao do Microsoft Excel, no entanto, as suas funcionalidades permitem executar com grande capacidade análises estatísticas complexas.

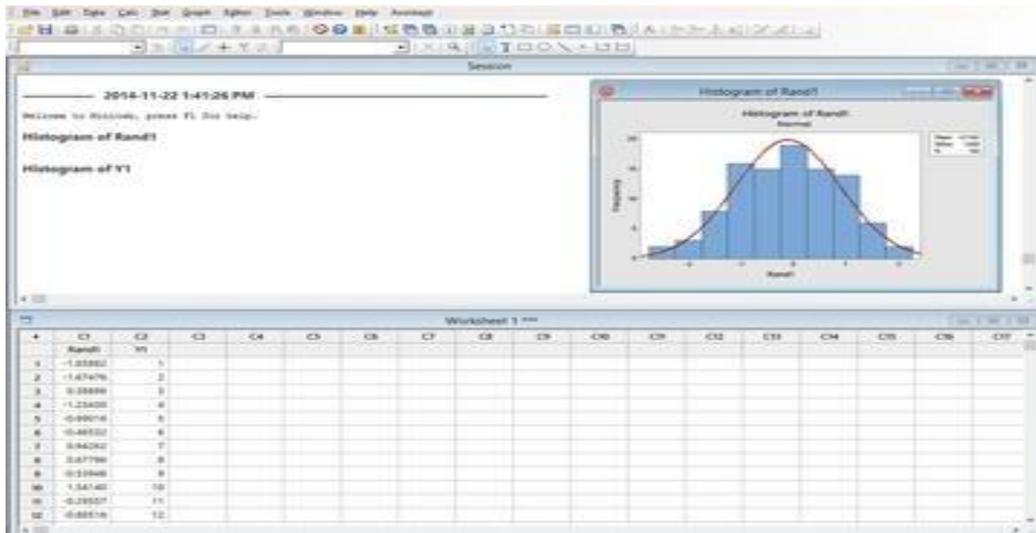


Figura 41 - Ambiente de trabalho do Minitab
(Minitab, 2022)

Para esta análise gráfica, o equipamento de medição alvo do estudo foi a ViciVision, selecionando-se o método dos gráficos de controle – o método da média e da amplitude.

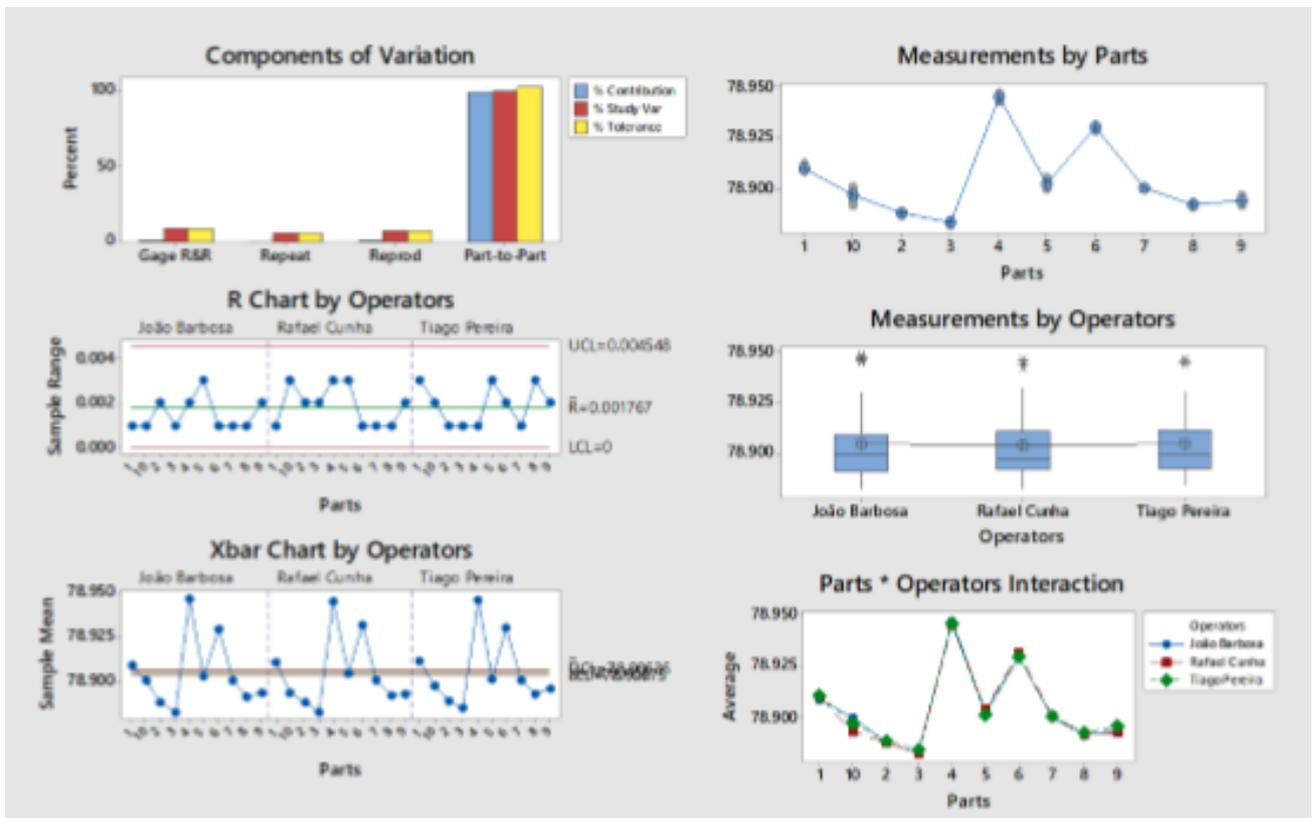


Figura 42 - Resultados do MSA por variáveis

A. Análise da variação

Com base na Figura 42, e observando o gráfico da variação (*Components of Variation*), verifica-se que a maior componente da mesma deriva das peças de amostra (*part-to-part*). Esta é uma situação desejável para um bom sistema de medição.

B. Análise da repetibilidade e da estabilidade

Através do gráfico das amplitudes (*R Chart by Operators*) consegue-se analisar a repetibilidade e estabilidade. O resultado pretendido, é que todos os pontos se encontrem dentro dos limites de controlo. Assim, e com base no gráfico acima referido verifica-se que todos os pontos se encontram dentro dos limites de controlo, podendo-se assim concluir que, a repetibilidade dos operadores é positiva. Analisando os resultados obtidos por cada operador, consegue-se perceber que todos apresentam um amplitude e repetibilidade muito idêntica, não havendo uma evidência de qual é que tem uma maior repetibilidade. Relativamente à estabilidade, o resultado desejável é de que também aqui, todos os pontos se encontrem dentro dos limites de controlo. Uma vez que todos os pontos estão dentro dos limites de controlo, pode-se concluir que o sistema de medição é estatisticamente estável.

C. Análise da variação do sistema vs variação das peças e da reprodutibilidade

Em relação ao gráfico das médias (*Xbar Chart by Operators*), este, permite analisar a reprodutibilidade e obter uma indicação da variação existente no sistema de medição em relação à variação das peças. Para que se verifique uma variação das peças superior à variação da medição, cerca de 70% dos pontos devem estar fora dos limites de controlo. Com base no gráfico referido, consegue-se verificar e concluir que a maior parte dos pontos (cerca de 70%) estão fora dos limites de controlo, permitindo assim, afirmar que a variação das peças é maior do que a variação da medição.

Quanto à reprodutibilidade, pretende-se que o gráfico de cada operador apresente valores de medição próximos uns dos outros, para que assim, se possa concluir que a variabilidade entre operadores é reduzida ou inexistente. Analisando o gráfico, verifica-se que a situação desejável ocorre entre os três operadores uma vez que, os valores de medição são aproximadamente iguais entre eles, concluindo-se que a variação é reduzida e existe uma boa reprodutibilidade.

D. Análise da medição por peças

Para a análise da medição por peças, tomou-se como base o gráfico medições por peça (*Measurement by parts*). Analisando o mesmo, verifica-se que, para os três operadores selecionados para o estudo só

é apresentado no gráfico uma linha. No entanto, é esta apresentação que se pretende, ou seja, o objetivo é que a maioria dos pontos estejam sobrepostos indicando que todos os operadores apresentam a mesma média para cada peça. Uma vez que a maioria dos pontos se encontram sobrepostos, conclui-se que a média para cada peça foi igual para os três operadores.

E. Análise da medição por operadores

Com base no gráfico medições por operador (*Measurement by operators*), este apresenta o resultado médio obtido por cada operador. O resultado ideal que se espera verificar no gráfico, é que a linha que une os pontos de cada operador seja paralela ao eixo do X, permitindo concluir que a medição de cada operador é análoga entre eles. Assim, e através da análise do gráfico acima mencionado, verifica-se que as medições realizadas pelos operadores, apresentam uma média análoga entre eles, podendo-se assim considerar que, o sistema de medição é consistente.

F. Análise da interação de peças vs operadores

Por último, a análise da interação das peças vs operadores foi realizada segundo o gráfico interação das peças * operadores (*Parts * Operators Interaction*). Através deste, consegue-se analisar a média das medições de cada peça por operador, sendo esta análise um suplemento à análise da reprodutibilidade. Nesta análise, a situação desejável é similar à análise da medição por peças, ou seja, que as linhas de cada operador se sobreponham. Para tal, de acordo com o gráfico em questão, consegue-se concluir que as linhas sobrepõem-se refletindo assim a consistência que os operadores têm nas suas medições.

4.5.3 Análise numérica aos resultados do MSA

Com o objetivo de se obter conclusões mais sólidas em relação à análise do sistema de medição, realizou-se uma análise numérica aos resultados do MSA complementando a análise gráfica aos resultados antes realizada e apresentada. Assim, e com recurso ao software Minitab, os resultados obtidos apresentam-se na Figura 43.

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Measurements

Gage name: ViciVision
 Date of study: 07-06-2022
 Reported by: QD
 Tolerance:
 Misc: Ref: 25.059.0802

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	0.0311136	0.0034571	495.001	0.000
Operators	2	0.0000063	0.0000031	0.450	0.644
Parts * Operators	18	0.0001257	0.0000070	6.687	0.000
Repeatability	60	0.0000627	0.0000010		
Total	89	0.0313082			

α to remove interaction term = 0.05

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000030	0.78
Repeatability	0.0000010	0.27
Reproducibility	0.0000020	0.51
Operators	0.0000000	0.00
Operators*Parts	0.0000020	0.51
Part-To-Part	0.0003833	99.22
Total Variation	0.0003864	100.00

Process tolerance = 0.114

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0017390	0.010434	8.85	9.15
Repeatability	0.0010220	0.006132	5.20	5.38
Reproducibility	0.0014071	0.008442	7.16	7.41
Operators	0.0000000	0.000000	0.00	0.00
Operators*Parts	0.0014071	0.008442	7.16	7.41
Part-To-Part	0.0195791	0.117475	99.61	103.05
Total Variation	0.0196562	0.117937	100.00	103.45

Number of Distinct Categories = 15

Figura 43 - Resultados numéricos do MSA

Com recurso à Figura 43, procedeu-se a uma análise dos valores da Repetibilidade e Reprodutibilidade (estudo GRR) e do número de categorias distintas.

Na análise gráfica, as conclusões obtidas foram que grande parte da variação era originada devido às peças e não devido à repetibilidade e reprodutibilidade. Com recurso aos resultados apresentados na Figura 43 confirma-se assim que, segundo a linha - Medida Total R&R (*Total Gage R&R*), a repetibilidade e a reprodutibilidade contribuíram com 0,78%; já as variações das peças contribuíram com 99,22%, complementando assim as conclusões descritas na análise gráfica.

Assim, com base na revisão de literatura (Secção 2.4) e na Tabela 5, pode-se concluir que, o sistema de medição é considerado aceitável, uma vez que a percentagem de variação do estudo da repetibilidade e reprodutibilidade (GRR) é menor que 10%. Para confirmar a aceitabilidade do sistema de medição o número de categorias distintas, de acordo com a Figura 19, deve ser igual ou superior a cinco categorias. Uma vez que nesta análise o número de categorias foi igual a quinze, complementa-se que o sistema é aceitável e pode ser usado para o controlo de características críticas, fornecendo estimativas precisas dos parâmetros.

4.5.4 Análise crítica aos resultados do estudo do MSA

De acordo com os resultados obtidos no estudo do MSA, tanto nos resultados gráficos como numéricos, conseguiu-se concluir que, o sistema de medição é aceitável.

No entanto, e segundo Down et al.,2010, sempre que se verifique que o resultado da repetibilidade é superior ao da reprodutibilidade, existem possíveis causas que devem ser analisadas como, o equipamento de medição estar a precisar de manutenção; haver uma possível alteração no equipamento de medição; um ponto de medição da peça pode necessitar de ser melhorado e haver demasiada variação no interior da peça.

Uma vez que Down et al.,2010, não quantifica a superioridade da repetibilidade em relação à reprodutibilidade, as causas acima referidas devem ser analisadas por uma equipa com o intuito de analisar e entender que pontos devem ser melhorados.

4.6 Controlo Estatístico de Processo

O presente projeto, teve como objetivo a implementação do controlo estatístico de processo, no entanto, a JASIL apesar de ter um software interno onde os operadores registam todas as medições de controlo que vão fazendo ao longo do dia (Figura 44), o departamento da qualidade não tem disponibilidade de realizar estudos aos processos. Para exemplo disso, um estudo CEP que estava a ser realizado, ficou em *standby* na fase da análise de Pareto aos rejeitos. Assim, surgiu a oportunidade da realização deste

projeto com objetivo de realizar um estudo do CEP de início ao fim de forma a responder à exigência do cliente das Mangas, produto sobre o qual recaiu o estudo.

Uma vez que as Mangas são destinadas ao setor automóvel, foi exigido pelo cliente que se realizasse um estudo aos doze pontos da peça.

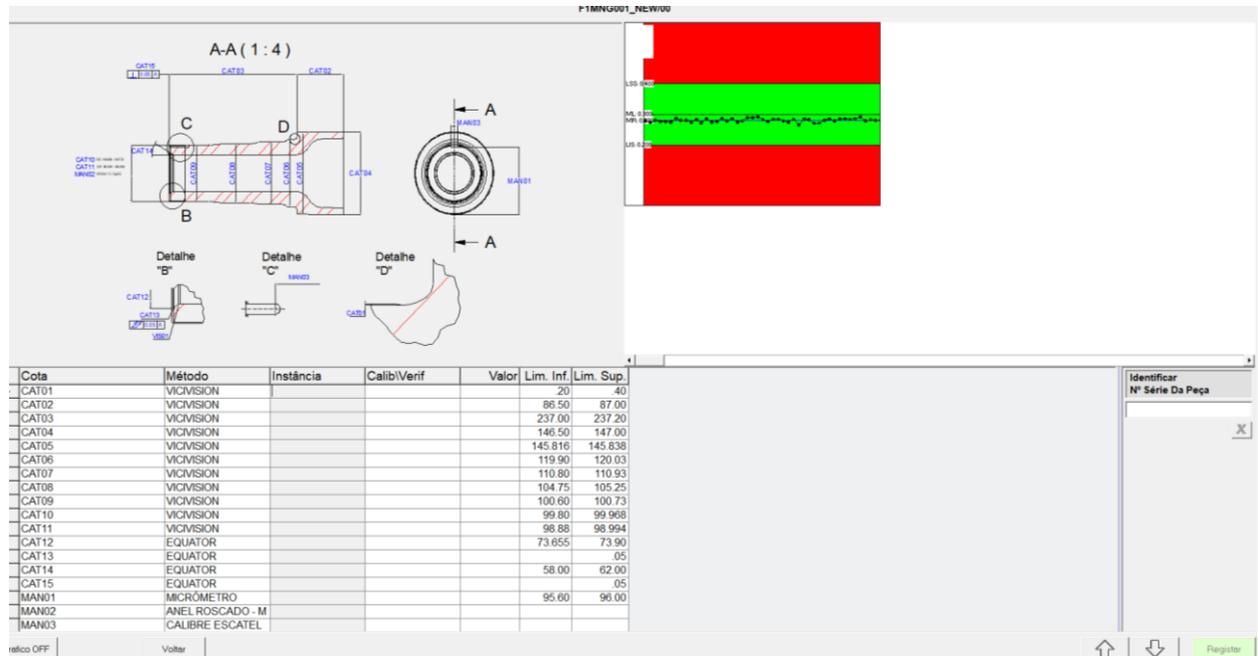


Figura 44 - Software utilizado na JASIL (Vanguarda/JASIL, 2022)

4.6.1 Características alvo do estudo

As características exigidas pelo cliente para a realização do estudo encontram-se representadas no desenho da peça, que se encontra no Anexo 3 – Desenho da Manga. Contudo, e apesar do cliente exigir o estudo a doze características, o estudo aqui apresentado baseou-se apenas nas quatro características que apresentaram o maior número de defeitos na análise de Pareto e, reclamadas pelo cliente. Assim, e tendo por base o FMEA realizado em paralelo com este projeto para análise das reclamações do cliente, as características alvo deste estudo foram a Cota 6, Cota 7, Cota 9 e Cota 10. As outras oito características foram alvo de recolha de dados, apresentando-se em anexo os resultados obtidos.

4.6.2 Equipamentos de medição utilizados

Para apoio na realização deste estudo, foram utilizados como principais equipamentos a Renishaw Equator 500 e a VICIVision M618 Techno. O departamento da Qualidade realiza anualmente a calibração e verificação destes equipamentos. Antes de se iniciar o estudo, confirmou-se que os equipamentos se encontravam calibrados e verificados segundo a etiqueta colocada nos mesmos, e no registo de controlo de equipamentos no software Vanguarda.

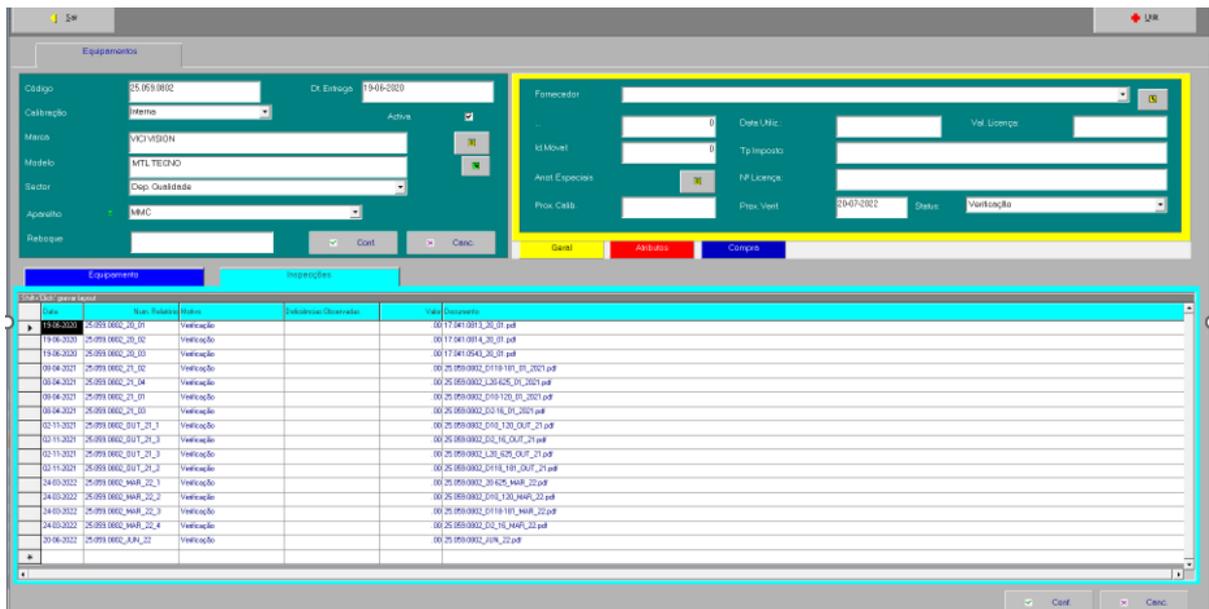


Figura 45 - Controlo dos equipamentos através do software (Vanguarda/JASIL, 2022)

4.6.3 Tamanho da amostra

Com base no que foi referido na revisão da literatura (Subsecção 2.3.2), na célula de produção das mangas estão implementados sistemas automáticos de medição que permitem controlar cada unidade à medida que vão sendo produzidas. Estes sistemas permitem controlar o processo em tempo real aplicando de maneira eficaz o CEP. A JASIL, definiu assim no seu modelo SPC um número de amostra de 30 peças, tendo a monitorização do processo seguido o modelo que se encontrava previamente definido.

4.6.4 Frequência da amostra

A frequência da amostra foi definida de forma que existisse uma forte possibilidade de mudanças dos resultados de uma amostra para outra. Estando definido no software Vanguarda (Figura 46), que todas as peças devem ser controladas, para este estudo, definiu-se a recolha de dados de duas peças a cada cinco minutos.

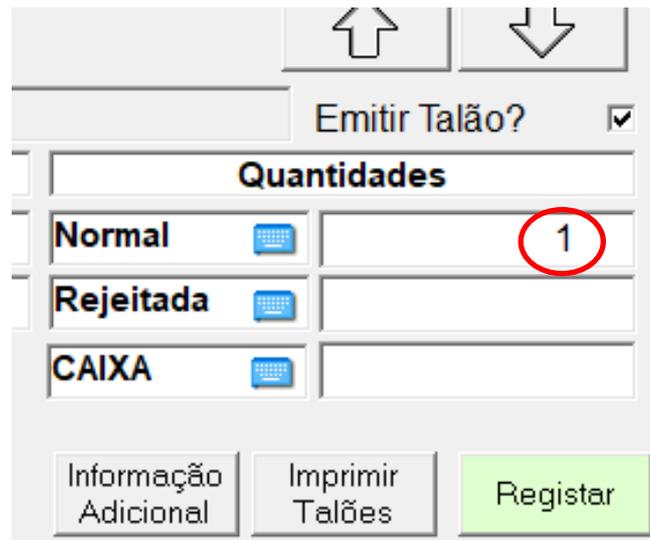


Figura 46 - Software Vanguarda - Indicação medir peça a peça

4.6.5 Análise aos dados recolhidos

As mangas são produzidas numa célula com três centros CNC, em dois turnos diários. Assim, e sendo possível acompanhar meio horário de laboração do segundo turno, foi definida a recolha de dados em ambos os turnos para o torno CNC número 57.

Uma vez que, para o cliente todas as cotas são de extrema importância, foi necessário desenvolver um estudo às doze características. No entanto, como já foi referido anteriormente, as características apresentadas neste estudo serão apenas quatro, tendo sido colocado em anexos os dados das outras oito.

Após a recolha dos dados referentes às características em estudo e com ajuda do software Minitab, a primeira análise realizada foi à normalidade dos dados através do teste Anderson-Darling (Figura 47). Com esta primeira análise, pretende-se que a hipótese de os dados seguirem uma distribuição normal seja aceite. Para tal, o nível de significância (valor-p), deve ser superior a 0,05. Os dados desta análise às características em estudo, encontram-se no Anexo 2 - Dados da análise das mangas.

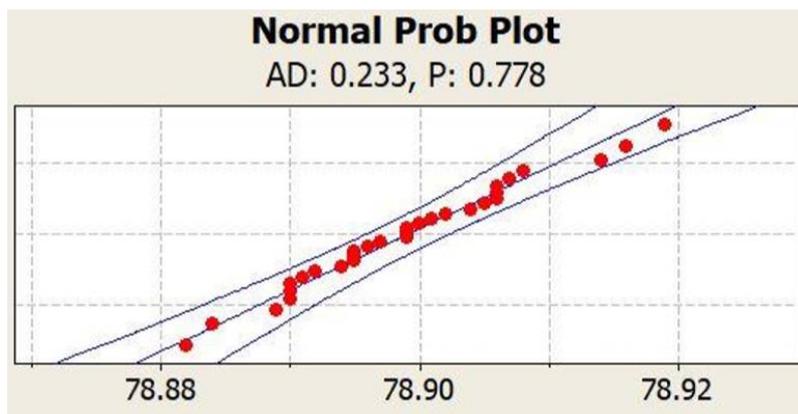


Figura 47 - Teste Anderson-Darling á normalidade dos dados da cota 6

Assim, de acordo com a Figura 47 e uma vez que o nível de significância (valor-p) é superior a 0,05 pode-se concluir que os dados seguem uma distribuição normal.

4.6.6 Gráficos de Controlo

Para a construção dos gráficos de controlo presentes neste subcapítulo, foi necessário recorrer aos dados apresentados no Anexo II e a alguns elementos de apoio presentes neste relatório:

- Gráfico das amplitudes (R): recorreu-se às expressões apresentadas na Tabela 1, e à tabela presente no Anexo I – Tabela de constantes para cálculo dos limites de controlo para retirar aos valores das constantes D_3 e D_4 para um $n=2$.
- Gráfico das médias (\bar{X}): para o cálculo dos limites destes gráficos, recorreu-se às expressões da Tabela 1, ao Anexo I – Tabela de constantes de onde foi retirado o valor da constante A_2 para um $n=2$.

4.6.7 Análise dos dados recolhidos da cota 6

Após se ter realizado um estudo à normalidade dos dados (Figura 47), procedeu-se à construção dos gráficos referentes ao resultado das amplitudes e das médias das amostras da cota 6 da manga. Através do Gráfico 3 construído com recurso ao software Minitab, observa-se as amplitudes das amostras.

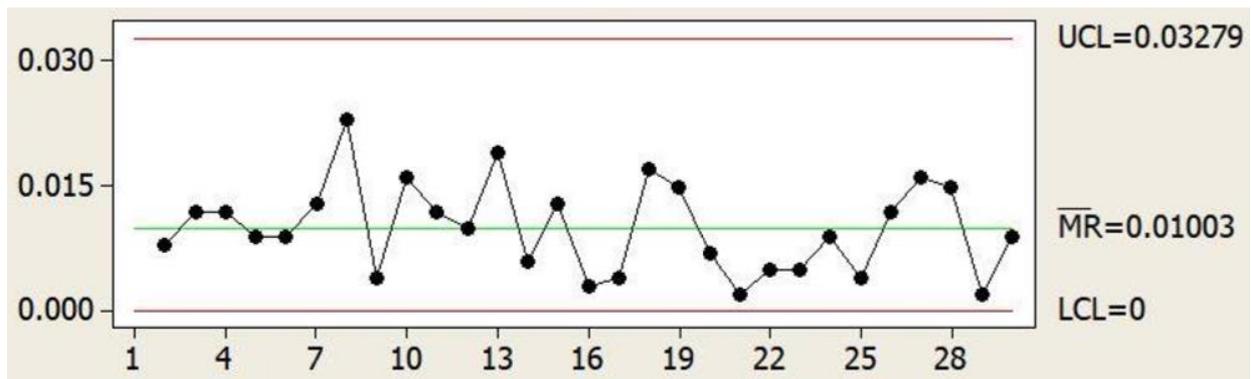


Gráfico 3 - Gráfico das amplitudes (R) das amostras da cota 6

Assim, e tendo por base a análise do gráfico R, conclui-se que a processo se encontra estável em relação à sua dispersão. No entanto, para se concluir que este está sob controlo estatístico procedeu-se à construção do gráfico das médias (\bar{X}). Caso ambos os gráficos (\bar{R} e \bar{X}) apresentem estabilidade, pode-se concluir que o processo está sob controlo estatístico.

Com recurso ao software Minitab construiu-se o Gráfico 4 para a média das amostras.

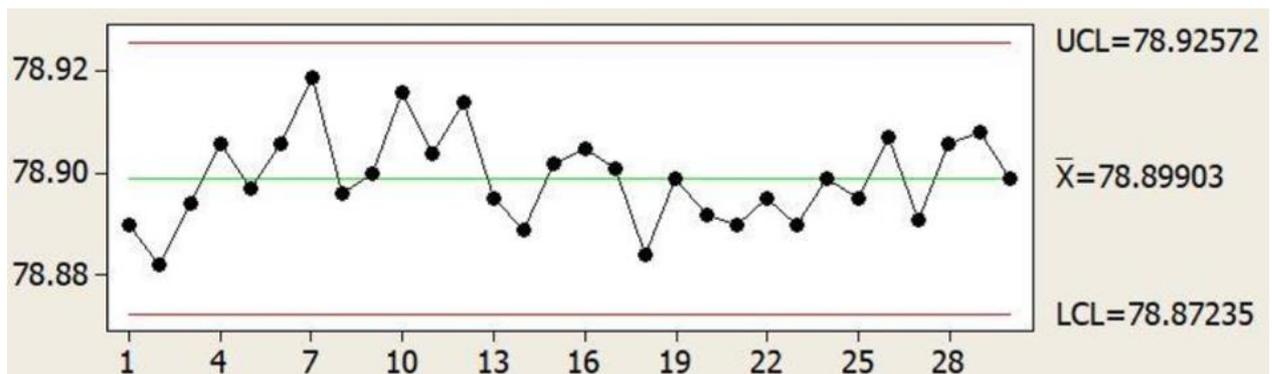


Gráfico 4 - Gráfico das médias (X) das amostras da cota 6

Com recurso ao gráfico das amplitudes e ao gráfico das médias, verifica-se que ambos não apresentam nenhuma causa assinalável podendo-se concluir assim que, o processo se encontra estável. Assim, e uma vez que o processo se encontra sob controlo estatístico procedeu-se ao estudo da capacidade do processo C_p e C_{pk} , encontrando-se os resultados deste estudo presentes na Figura 48.

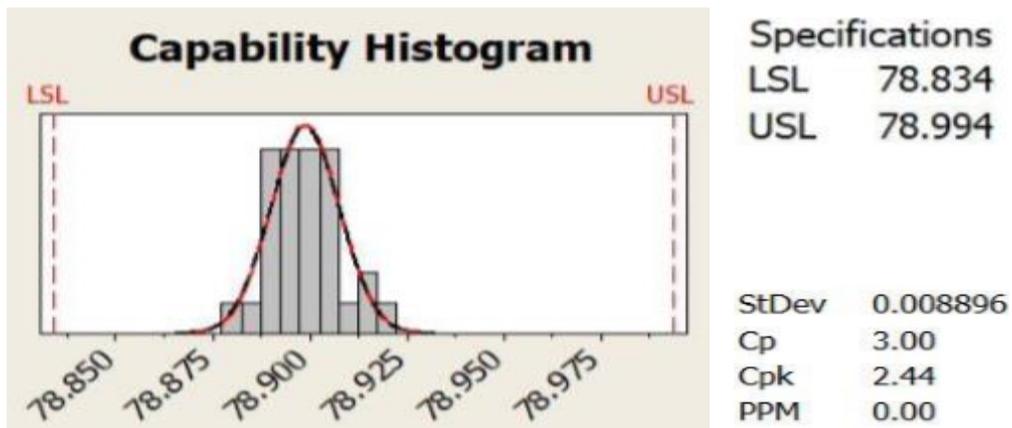


Figura 48 - Cálculo da capacidade do processo para a cota 6

Tendo por base a Tabela 3 e Tabela 4, pode-se concluir que o processo é potencialmente capaz uma vez que, segundo a Figura 48 o valor de $C_p = 3,00$ ($C_p \geq 1,33$) e $C_{pk} = 2,44$ ($C_{pk} > 2$) confirmam a capacidade do mesmo. Contudo, e uma vez que se verifica $C_p > C_{pk}$, pode-se afirmar que o processo não está centrado. Através do histograma da capacidade confirma-se a conclusão anterior, apesar de os valores se encontrarem todos dentro dos limites, estes estão mais à esquerda do valor central, levando assim a que o processo esteja descentrado.

4.6.8 Análise dos dados recolhidos da cota 7

Decidiu-se iniciar a análise aos dados da cota 7, pelo teste de Anderson-Darling (Figura 49) para se analisar a normalidade dos dados.

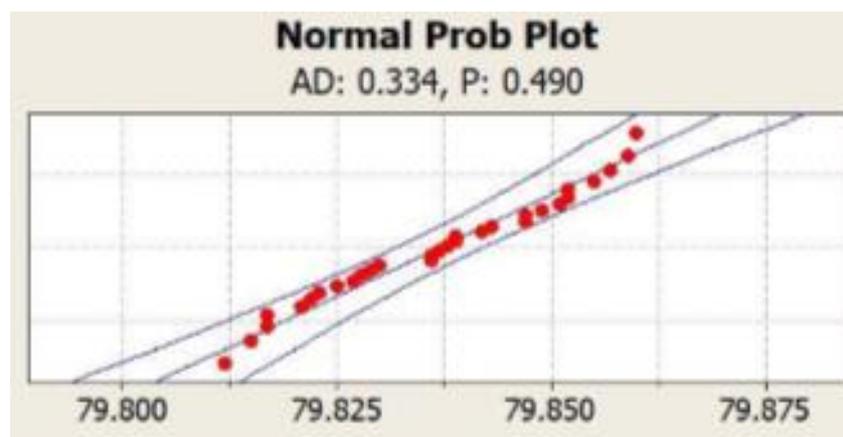


Figura 49 - Teste de Anderson-Darling à normalidade dos dados da cota 7

Assim, de acordo com o teste de normalidade realizado aos dados e através da Figura 49, verificamos que os dados seguem uma distribuição normal uma vez que, o nível de significância (valor-p) é de 0,490 (valor-p > 0,05).

De seguida, construiu-se o gráfico das amplitudes (R) referentes às amostras da cota 7 da manga representado no Gráfico 5.

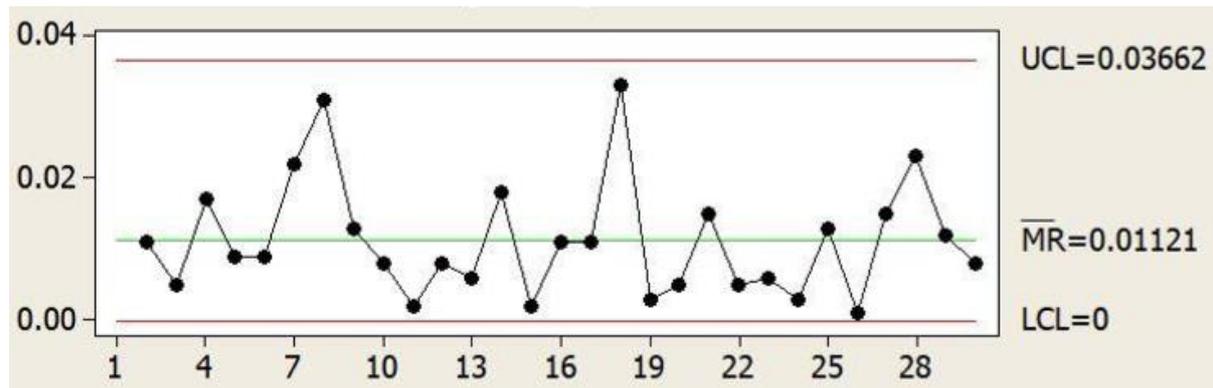


Gráfico 5 - Gráfico das amplitudes (R) das amostras da cota 7

Com base na análise do gráfico R, conclui-se que a processo se encontra estável em relação à sua dispersão, uma vez que, não existem causas assinaláveis. Contudo, procedeu-se à construção do Gráfico 6 (gráfico das médias (\bar{X})) para analisar se o processo se encontra sob controlo estatístico.

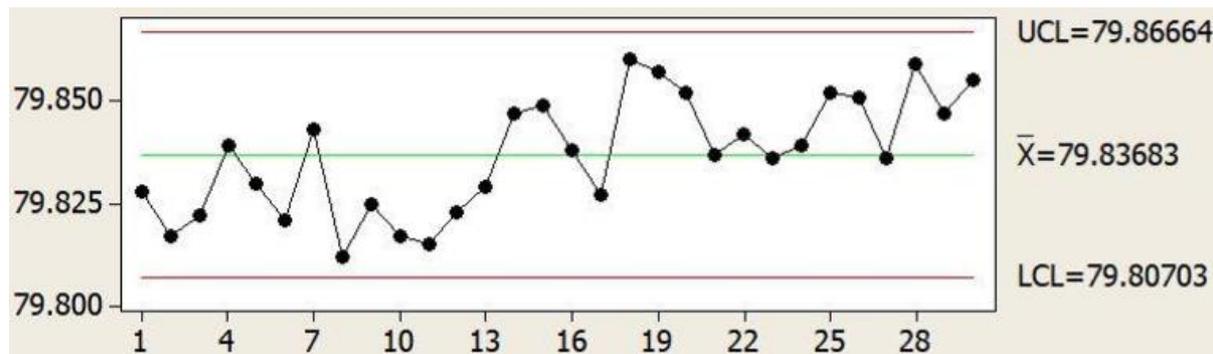


Gráfico 6 - Gráfico das médias (X) das amostras da cota 7

Uma vez que ambos os gráficos (\bar{R} e \bar{X}) não apresentam nenhuma causa assinalável, pode-se concluir assim que o processo se encontra estável, e sob controlo estatístico. Assim, dada as conclusões apresentadas, realizou-se o estudo de capacidade do processo C_p e C_{pk} recorrendo-se à Figura 50 para se extrair as informações acerca deste estudo.

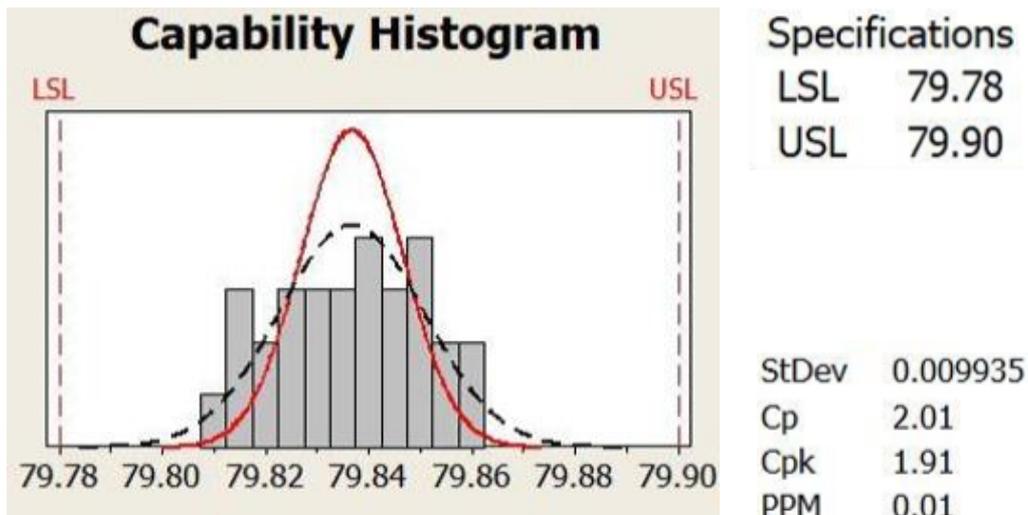


Figura 50 - Cálculo da capacidade do processo para a cota 7

De acordo com a Figura 50, e verificando-se que o valor de $C_p > 1,33$ e o de $C_{pk} < 2$ pode-se concluir que o processo é potencialmente capaz de satisfazer com folga as especificações exigidas. Ainda assim, e uma vez que se verifica que $C_p > C_{pk}$, conclui-se que o processo não está centrado, isto é, a média não coincide com o valor nominal das especificações.

4.6.9 Análise dos dados recolhidos da cota 9

Adotando os mesmos procedimentos de recolha de dados utilizados para a cota 6 e 7, iniciou-se a análise à normalidade dos dados através do teste de Anderson-Darling (Figura 51).

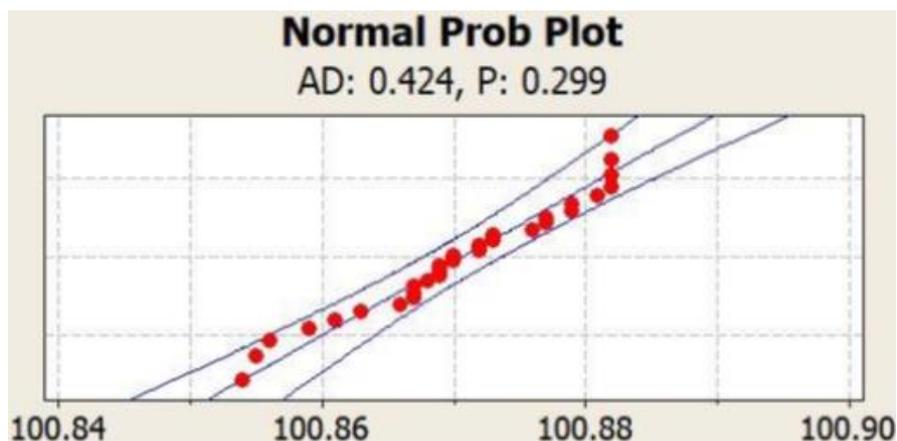


Figura 51 - Teste de Anderson-Darling à normalidade dos dados da cota 9

Com base na Figura 51 e sendo o valor-p = 0,299 (valor-p > 0,05), pode-se concluir que os dados seguem uma distribuição normal.

Para se analisar a estabilidade do processo e verificar se este se encontrava sob controlo estatístico, procedeu-se à construção dos gráficos das amplitudes (\bar{R}) e das médias (\bar{X}). O Gráfico 7 corresponde à amplitude das amostras da cota 9, e permite analisar a estabilidade do processo.

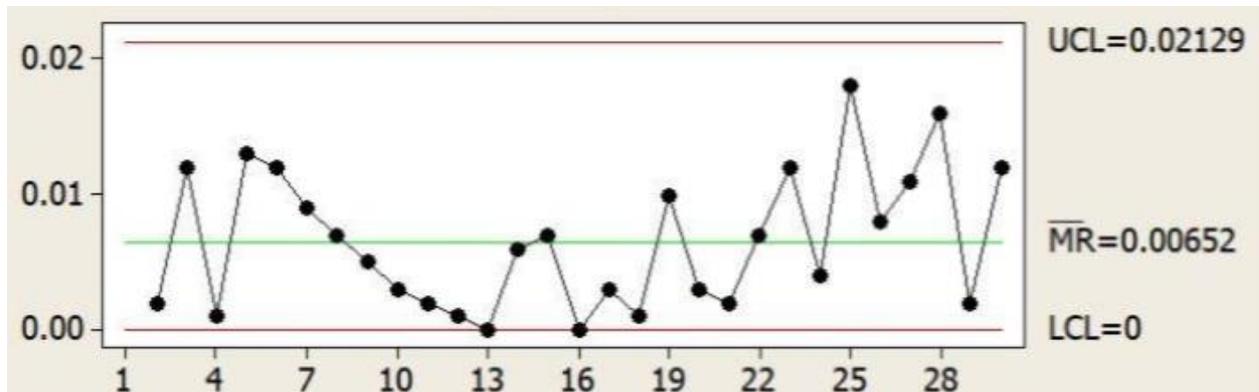


Gráfico 7 - Gráfico das amplitudes (R) das amostras da cota 9

Já o Gráfico 8, é referente à média das amostras que permite analisar se o processo se encontra sob controlo estatístico.

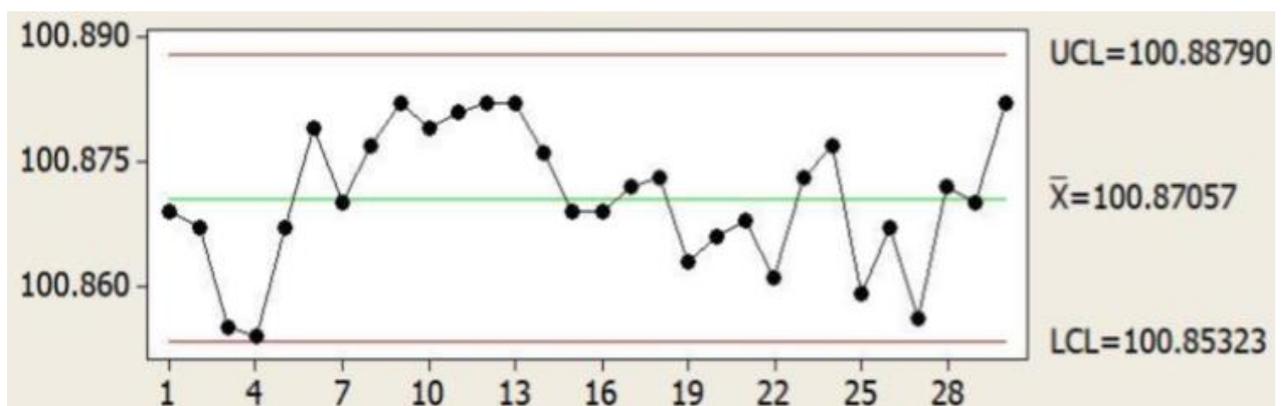


Gráfico 8 - Gráfico das médias (X) das amostras da cota 9

Após se analisar ambos os gráficos (\bar{R} e \bar{X}), e uma vez que estes não apresentam nenhuma causa assinalável, pode-se concluir assim que o processo se encontra estável, e sob controlo estatístico, sendo assim possível realizar o estudo de capacidade do processo. Com recurso à Figura 52 consegue-se retirar as informações necessárias para que seja possível obter uma conclusão acerca deste estudo.

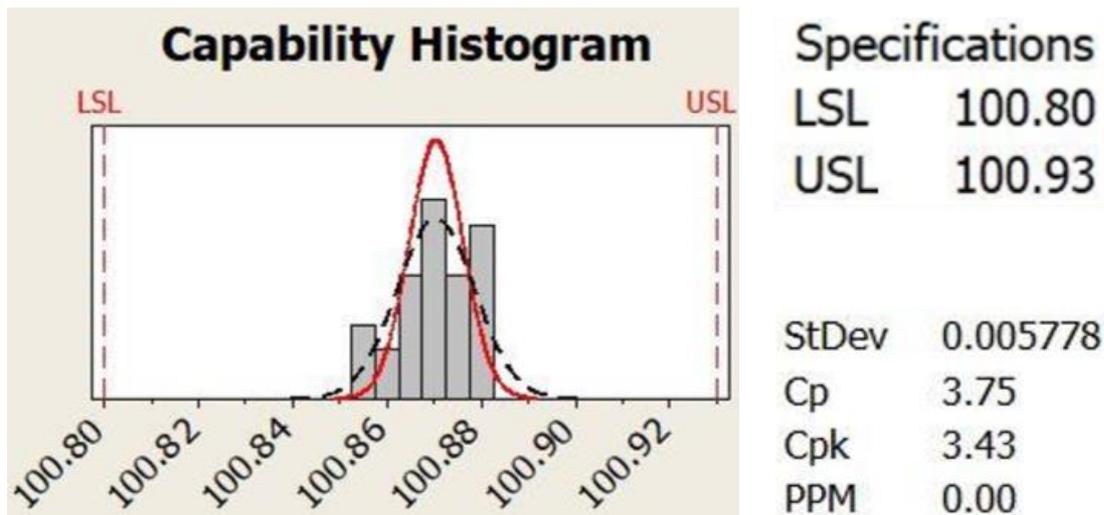


Figura 52 - Cálculo da capacidade do processo para a cota 9

Com base nos dados apresentados na Tabela 3 e Tabela 4, pode-se concluir que o processo é potencialmente capaz. Para confirmar essa conclusão verifica-se através da Figura 54 um valor de $C_p = 3,75$ ($C_p \geq 1,33$) e $C_{pk} = 3,43$ ($C_{pk} > 2$). Contudo, e uma vez que se verifica que o valor $C_p > C_{pk}$, pode-se afirmar que o processo não está centrado. Através do histograma da capacidade confirma-se a conclusão anterior, apesar de os valores se encontrarem todos dentro dos limites, estes estão mais à direita do valor central, levando assim a que o processo esteja descentrado.

4.6.10 Análise aos dados recolhidos da cota 10

Como nas cotas estudadas anteriormente, pretende-se que a hipótese de os dados seguirem uma distribuição normal seja aceite. Para isso, o nível de significância (valor-p), deve ser superior a 0,05. Procedeu-se então à realização do estudo da normalidade dos dados através do teste Anderson-Darling que se pode verificar através da Figura 53.

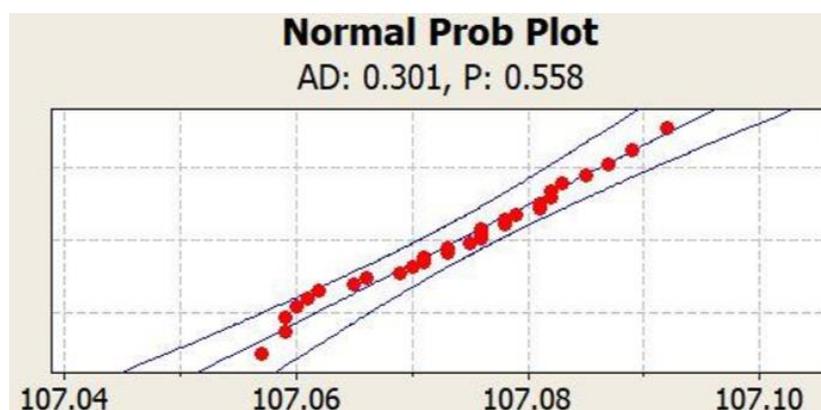


Figura 53 - Teste de Anderson-Darling à normalidade dos dados da cota 10

De acordo com o teste de normalidade realizado aos dados, verificamos através da Figura 53 que os dados seguem uma distribuição normal uma vez que, o nível de significância (valor-p) é de 0,558 (valor- $p > 0,05$).

Tendo-se verificado que os dados seguem uma distribuição normal, procedeu-se à construção dos gráficos das amplitudes (\bar{R}) e das médias (\bar{X}), para ser possível analisar a estabilidade do processo e verificar se este se encontra sob controlo estatístico. O Gráfico 9 corresponde à amplitude das amostras da cota 10, e permite analisar a estabilidade do processo.

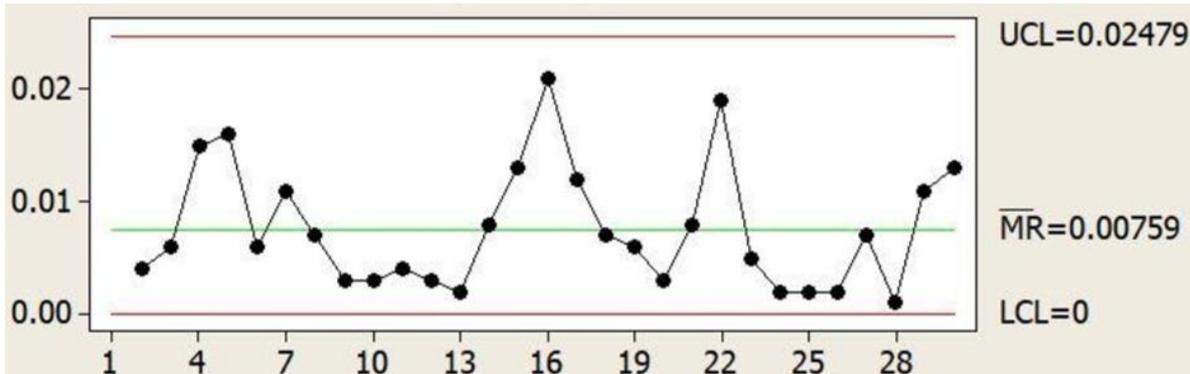


Gráfico 9 - Gráfico das amplitudes (R) das amostras da cota 10

Através do Gráfico 10 consegue-se analisar se o processo se encontra sob controlo estatístico.

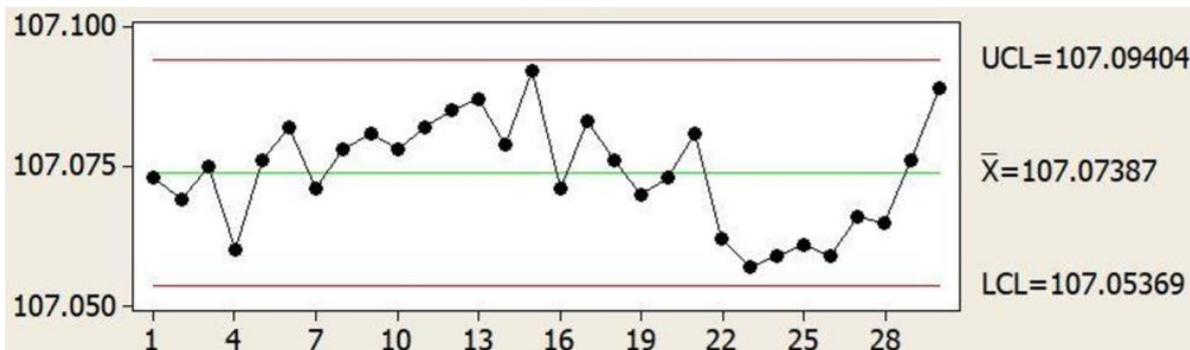


Gráfico 10 - Gráfico das médias (X) das amostras da cota 10

Procedendo-se à análise de ambos os gráficos (\bar{R} e \bar{X}), e uma vez que estes não apresentam nenhuma causa assinalável, pode-se concluir assim que o processo se encontra estável, e sob controlo estatístico. Com a conclusão obtida, é assim possível realizar o estudo de capacidade do processo (Figura 54) consegue-se retirar as informações necessárias para que seja possível obter uma conclusão acerca deste estudo.

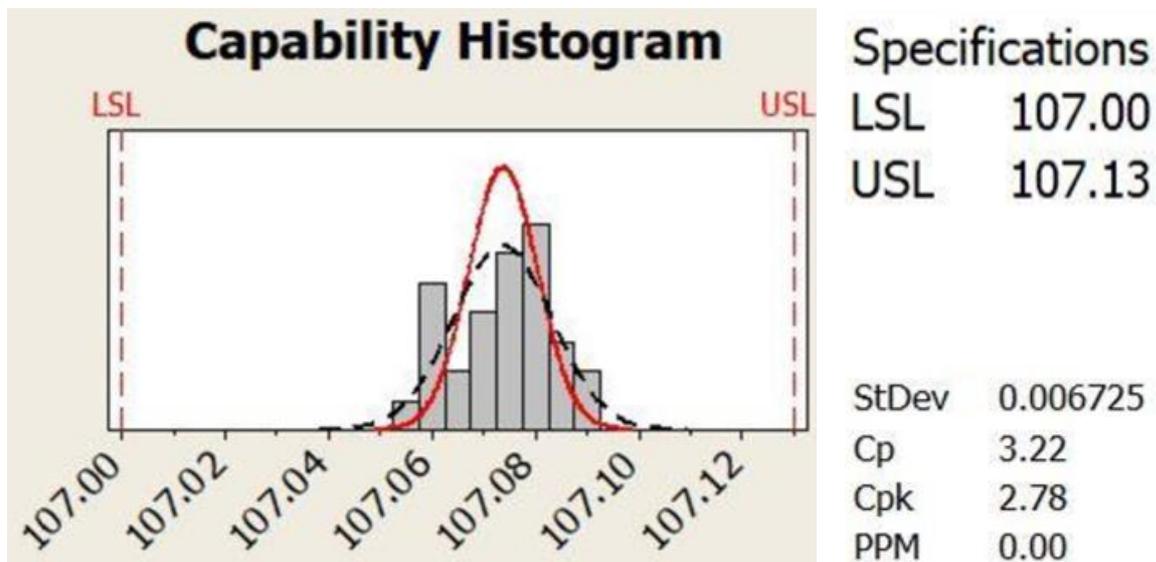


Figura 54 - Cálculo da capacidade do processo para a cota 10

Uma vez que o valor de $C_p = 3,22$ ($C_p \geq 1,33$) e $C_{pk} = 2,78$ ($C_{pk} > 2$), pode-se concluir que o processo é potencialmente capaz. No entanto, verificando-se que o valor $C_p > C_{pk}$, pode-se afirmar que o processo não está centrado. Recorrendo-se ao histograma da capacidade (Figura 54) confirma-se a conclusão anterior, apesar de os valores se encontrarem todos dentro dos limites, estes tendem a estar ligeiramente à direita do valor central, levando assim a que o processo esteja descentrado.

5. CONCLUSÃO

Neste capítulo são apresentadas as conclusões a retirar do desenvolvimento deste projeto, assim como as dificuldades sentidas e recomendações para um trabalho futuro.

Este projeto foi desenvolvido na JASIL uma empresa de metalomecânica de precisão, e teve como principal objetivo a implementação do Controlo Estatístico do Processo na produção de uma peça para o setor automóvel. Dentro de uma vasta lista de produtos com a qual a JASIL conta, a seleção desta peça deveu-se ao fato de esta ser uma peça com muitas características para analisar, para além de requerer uma análise elaborada e com um certo grau de exigência, e tendo o cliente exigido um estudo do CEP. Recorrendo-se ao uso de algumas das ferramentas da qualidade, partiu-se para a realização da análise de Pareto com o objetivo de se identificar os defeitos que ocorriam com maior frequência. Os resultados obtidos numa primeira análise apresentavam todos os tipos de rejeitos identificados, isto é, rejeitos provenientes do cliente e rejeitos do processo da JASIL. Uma vez que só os rejeitos provenientes do processo interno seriam alvo de estudo, realizou-se uma segunda análise em que, os resultados indicaram que o defeito que ocorria com maior frequência no processo interno, foram as peças oxidadas que representaram 46% dos defeitos. De seguida, para se conseguir analisar as causas dos defeitos identificados, foi necessário recorrer ao diagrama de causa-efeito e ainda à técnica de *brainstorming* onde foram definidas as ações para reduzir ou eliminar as causas dos defeitos.

Algumas das medidas definidas na sessão de brainstorming foram implementadas no imediato. No caso das peças oxidadas, tivemos como ações imediatas a aplicação de uma lona para a que durante a descarga dos contentores as peças fossem protegidas com a mesma de modo a evitar o contacto da chuva com as peças. Foi ainda instalado o ar condicionado para que se conseguisse controlar o nível de humidade no interior das instalações. A linha de secagem automática das peças foi produzida, tendo ficado apenas a colocação da mesma no layout da célula e os ajustes finais de trabalho por realizar.

Sendo importante perceber qual a precisão associada ao sistema de medição, realizou-se uma Análise ao Sistema de Medição. Inicialmente os equipamentos alvos eram a Renishaw Equator 500 e a ViciVision M618 Techno, no entanto, uma vez que a Renishaw Equator 500 é um equipamento de medição automática, as variações devido à reprodutibilidade eram praticamente nulas ou inexistentes. Assim, através da análise realizada à ViciVision M618 Techno concluiu-se que o sistema de medição era aceitável.

De seguida, deu-se início ao estudo do controlo estatístico das peças. Foi definido que as amostras seriam de 30 peças com uma dimensão de 2. Para ajuda na análise dos dados foram construídos os gráficos das amplitudes (R) e o gráfico das médias (\bar{X}).

Das doze características que a peça apresenta, neste estudo procedeu-se à análise detalhada de apenas quatro. Estas quatro, Cota 6, 7, 9 e 10 tomaram por base uma reclamação apresentada pelo cliente. Na análise realizada, foi possível concluir que o processo se encontrava sob controlo estatístico. No entanto, devido a pequenas intervenções que ocorreram na máquina durante o período da recolha de amostras, os resultados de algumas cotas apesar de estarem sob controlo apresentaram valores menos satisfatórios. Porém, uma vez que o processo estava sob controlo estatístico estavam reunidas as condições para o cálculo dos índices de capacidade. Para três das quatro cotas em estudo, o processo mostrou é potencialmente capaz de satisfazer com folga as especificações exigidas uma vez que $C_p \geq 1,33$ e $C_{pk} > 2$. Na Cota 7 o processo mostrou ser apenas potencialmente capaz uma vez que apresentou um valor de $C_{pk} < 2$. Apesar do processo se apresentar potencialmente capaz de satisfazer as especificações exigidas este, não estava centrado uma vez que $C_p > C_{pk}$.

Com a análise realizada às quatro cotas estudadas, pode-se concluir que o processo de produção das Mangas pode ser considerado um processo estável. Verificando os resultados obtidos para as outras oito cotas, esta conclusão poderá ser aplicada a um nível geral do processo, sendo necessário num futuro trabalho realizar uma análise detalhada às oito cotas em falta.

Recomenda-se que seja dada uma continuidade deste estudo para as restantes cotas, alargar a implementação do estudo do Controlo Estatístico do Processo para outros produtos. De notar que, com o software interno que a JASIL possui a monitorização de dados está assegurada e simplificada, necessitando apenas que a Qualidade tenha recursos/ capacidade de resposta para proceder à análise do mesmo.

5.1 Limitações

Durante a realização deste estudo surgiram algumas limitações que dificultaram e colocaram em causa o desenvolvimento do mesmo dado o prazo de entrega deste. Uma vez que a célula teve que ser instalada em novas instalações, foi necessário fazer a movimentação de todo o equipamento e posterior instalação, montagem e calibração dos mesmos. Assim, o início da recolha de dados teve que ser reagendado até que todos os equipamentos da célula estivessem novamente operacionais para se dar início a uma recolha com os equipamentos estabilizados.

Outra das limitações sentidas, prendia-se com o fato de o cliente ter encomendas para dois tipos de Mangas o que, sempre que trocava de modelo a recolha de dados tinha que ser suspensa até uma nova encomenda.

De um modo geral, as limitações sentidas não permitiram realizar um estudo mais aprofundado assim como, de realizar um estudo para a centralização do processo.

5.2 Trabalho futuro

Como trabalho futuro recomenda-se a continuidade do estudo CEP para as restantes cotas, que se realize um estudo para a centralização do processo assim como, uma análise ao impacto que as ações implementadas produziram para a redução dos defeitos. Uma vez que a linha de secagem automática das peças ficou por colocar no layout da célula, deve ser analisado o impacto da mesma em eliminar a oxidação das peças.

Tendo-se notado que um estudo CEP tinha ficado em *standby* na fase de análise de Pareto, recomenda-se que estes estudos sejam levados em consideração até à sua conclusão, visto que estes estudos permitem analisar e melhorar a estabilidade dos seus processos, reduzindo os custos e o número de defeitos nos seus produtos.

Por fim, sugere-se que com a capacidade de monitorização dos dados em tempo real que o software interno da JASIL apresenta, o departamento da Qualidade aplique os estudos CEP a outros produtos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antony, J., & Taner, T. (2003). A Conceptual framework for the effective implementation of statistical process control. *Business Process Management Journal*, 9. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/235303804_A_conceptual_framework_for_the_effective_implementation_of_statistical_process_control
- APQ. (2022). *Ferramentas da Qualidade*. Retrieved from <https://apq.pt/formacoes/ferramentas-da-qualidade-4/>
- Axle Surgeons. (2022). *Products*. Retrieved from Axle Surgeons: <https://axlesurgeons.com/>
- Bamford, D. R. (2003). The use of quality management tools and techniques: *A study of application in everyday situations*. Retrieved from https://moodle1819.up.pt/pluginfile.php/232114/mod_resource/content/1/IJQRM_The%20use%20of%20quality%20management%20tools%20and%20tehniques.pdf
- Benneyan, J. C., Llyod, R. C., & Plsek, P. E. (2003). Quality Improvement Research: Statistical process control as a tool for research and healthcare Improvement. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/8984505_Statistical_process_control_as_a_tool_for_research_and_healthcare_improvement
- Caramujo, P. B. (2018). *Controlo Estatístico do Processo de Injeção de um Fabricante de Intercoolers*. Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa. Retrieved from https://run.unl.pt/bitstream/10362/65916/1/Caramujo_2018.pdf
- Crosby, P. B. (1979). *Quality is Free*. New York: McGraw-Hill, Inc. Retrieved from <https://archive.org/details/qualityisfree00cros/page/n327/mode/2up>
- Dale, B. (2003). *Managing Quality* (4 ed.). Oxford: Blackwell Publishers. Retrieved from https://ubblab.weebly.com/uploads/4/7/4/6/47469791/managing_quality,_4th_ed.pdf
- Does, R. J., Trip, A., & Schippers, W. A. (1997). A framework for implementation of statistical process control. Retrieved from <http://pure.tue.nl/ws/files/4351303/496265.pdf>
- Down, M., Czubak, F., Gruska, G., Stahley, S., & Benham, D. (2010). *Measurement Systems Analysis*. Retrieved from https://www.rubymetrology.com/add_help_doc/MSA_Reference_Manual_4th_Edition.pdf
- Faria, C. (2008). *História da Qualidade*. Retrieved from Infoescola: https://www.infoescola.com/administracao_/historia-da-qualidade/

- Godina, R., Pimentel, C., & Silva, F. J. (2018). Improvement of the Statistical Process Control Certainty in an Automotive Manufacturing Unit. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918312411>
- Gonçalez, P. U. (2009). Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições. Retrieved from <https://www.scielo.br/j/gp/a/cJGRz7YBW6kBZgSFdnzmYTS/?lang=pt&format=pdf>
- Guerra, L., Sousa, S. D., & Nunes, E. P. (2013). Statistical Process Control automation in the final inspection process: an industrial case study. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1822/50589>
- Hamid, A. M. (2019). Improving the Construction Industry Quality using the Seven Basic Quality Control Tools. Retrieved from https://www.scirp.org/pdf/JMMCE_2019110715372507.pdf
- JASIL. (2022). *Processos*. Retrieved from JASIL: <https://www.jasil.com/>
- JASIL. (2022). *Produtos*. Retrieved from JASIL: <https://www.jasil.com/>
- Juran, J. M. (1999). *Juran's Quality Handbook* (5 ed.). New York: McGraw-Hill Companies, Inc. Retrieved from https://www.academia.edu/35811421/Juran_Quality_Handbook_Fifth_Edition
- Longo, R. M. (1996). Gestão da Qualidade: Evolução Histórica, Conceitos Básicos e Aplicação na Educação. (397). Retrieved from http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1722/1/td_0397.pdf
- Lopes, I. (2020). Controlo Estatístico de Processo.
- Mitutoyo. (2022). *Products*. Retrieved from Mitutoyo: <https://www.mitutoyo.com/products/coordinate-measuring-machines/>
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control* (6 ed.). EUA, Arizona State University: John Wiley & Sons, Inc. Retrieved from <https://www.uaar.edu.pk/fs/books/12.pdf>
- Oakland, J. S. (2003). *Statistical Process Control* (5 ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann. Obtido de <https://es.b-ok.xyz/book/946342/6dd762>
- Oliveira, J. A. (2004a). Gráficos de Controlo - Introdução e Fundamentação dos Gráficos. Retrieved from <https://elearning.uminho.pt/bbcswebdav/pid-1159745-dt-content-rid>
- Oliveira, J. A. (2004b). Gráficos de Controlo por Variáveis. Retrieved from <https://elearning.uminho.pt/bbcswebdav/pid-1159745-dt-content-rid>
- Renishaw. (2022). *Gauging System*. Retrieved from Renishaw: <https://www.renishaw.com/en/equator-500-gauging-system-43237>
- Ribeiro, J. L. (2012). Série Monográfica Qualidade: *Controlo Estatístico de Processo*. Retrieved from http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/388_apostilacep_2012.pdf

- Sampaio, P. (2020). Implementação e Certificação de Sistemas de Gestão da Qualidade: *Fundamentos. Definições. Conceitos*. Retrieved from <https://elearning.uminho.pt/bbcswebdav/pid-1036653-dt-content-rid>
- Sanches, H. G. (2018). *Implementação do Controlo Estatístico de Processo numa Indústria Metalomecânica de Produção de Componentes Metálicos*. Tese de Mestrado, Universidade do Minho. Retrieved from <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/57271>
- Santos, J. G. (2014). *Melhoria do Programa de Controlo Estatístico de um Processo de Injeção de Plásticos*. Tese de Mestrado, Universidade do Minho. Retrieved from <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/33172>
- Santos, V. M. (2019). *Análise Sistema de Medição*. Retrieved from <https://www.fm2s.com.br/msa-analise-do-sistema-de-medicao/>
- Sestrem, T. (2021). *Ferramentas de gestão na qualidade: 16 principais para conhecer*. Retrieved from QualyTeam: <https://qualyteam.com/pb/blog/ferramentas-da-qualidade/>
- Silveira, C. B. (2013). *7 Ferramentas da Qualidade*. Retrieved from Citisystems: <https://www.citisystems.com.br/7-ferramentas-da-qualidade/>
- Sousa, S. &. (2019). Integrating quality costs and real time data to define quality control. Retrieved from http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/14395/browse?type=title&sort_by=1&order=ASC&rpp=50&etal=20&null=&offset=567
- Stockhausen, C. (2021). *Product Applications Manager*. Retrieved from Magnaflux: <https://www.magnaflux.com/Magnaflux/Blog/AMS-2644-Penetrant-Sensitivity-Levels>
- Toledo, J. C., Lizarellia, F. L., & & Juniora, M. B. (2017). Success factors in the implementation of statistical process control: action research in a chemical plant. Retrieved from <https://www.scielo.br/j/prod/a/75rF7VMXFGyZGJtLqHyKY3C/?format=pdf&lang=en>
- Vanguarda. (2022). *Soluções de Gestão*. Retrieved from Vanguarda: <https://www.vanguarda.pt/>
- Yin, K. R. (1994). *Case study research: design and methods* (2 ed.). Porto Alegre, Brasil: Sage Publications, Inc. Retrieved from <https://saudeglobaldotorg1.files.wordpress.com/2014/02/yinmetodologiadapesquisaestudodecasoyin.pdf>
- Zan, T., Liu, Z., Su, Z., Wang, M., Gao, X., & Chen, D. (2019). Statistical Process Control with Intelligence Based on the Deep Learning Model. Obtido de https://www.researchgate.net/publication/338290858_Statistical_Process_Control_with_Intelligence_Based_on_the_Deep_Learning_Model

ANEXOS 1 – TABELA DAS CONSTANTES

Factors for Constructing Variables Control Charts

Observations in Sample, <i>n</i>	Chart for Averages					Chart for Standard Deviations					Chart for Ranges					
	Factors for Control Limits			Factors for Center Line		Factors for Control Limits				Factors for Center Line		Factors for Control Limits				
	<i>A</i>	<i>A</i> ₂	<i>A</i> ₃	<i>c</i> ₄	1/ <i>c</i> ₄	<i>B</i> ₃	<i>B</i> ₄	<i>B</i> ₅	<i>B</i> ₆	<i>d</i> ₂	1/ <i>d</i> ₂	<i>d</i> ₃	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>D</i> ₃	<i>D</i> ₄
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.0423	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541

For *n* > 25.

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{3}{\sqrt{n}} & A_3 &= \frac{3}{c_4 \sqrt{n}} & c_4 &\equiv \frac{4(n-1)}{4n-3} \\
 B_3 &= 1 - \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}} & B_4 &= 1 + \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}} \\
 B_5 &= c_4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}} & B_6 &= c_4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}
 \end{aligned}$$

Figura 55 - Tabela de constantes para cálculo dos limites de controlo (Montgomery, 2009)

ANEXO 2 – DADOS DA ANÁLISE DAS MANGAS

												
	Referência	6600002/1472										
	Torno:	57										
	COTA 1 L68.25	COTA 2 Raio 3.6 (DETAIL A)	COTA 3 Raio 8.6 (DATAIL A)	COTA 4 Perpendicularity	COTA 5 RUNOUT 0.05	COTA 6 Rosca M80x1.5 - Diâmetro Primitivo	COTA 7 Rosca M80x1.5 - Diâmetro Exterior	COTA 8 CONCENTRICIDADE 0.3	COTA 9 Diâmetro 100.8	COTA 10 Diâmetro 107	COTA 11 Coaxialidade ø139	COTA 12 Diâmetro 124.25
Nominal value	68	3,6	8,6	0	0	78,994	79,968	0	100,8	107,065	0	124,275
Lower tolerance	0	-0,25	-0,2	0	0	-0,125	-0,236	0	0	0	0	-0,025
Upper tolerance	0,5	0,25	0,2	0,1	0,05	0	0	0,3	0,13	0,13	0,15	0,025
1	68,17	3,507	8,706	0,019	0,042	78,880	79,895	0,053	100,866	107,070	0,037	124,273
2	68,19	3,505	8,654	0,012	0,041	78,870	79,884	0,019	100,874	107,070	0,049	124,274
3	68,20	3,553	8,673	0,016	0,041	78,878	79,897	0,089	100,859	107,057	0,027	124,272
4	68,16	3,567	8,642	0,016	0,040	78,886	79,895	0,070	100,871	107,062	0,040	124,274
5	68,16	3,575	8,612	0,007	0,040	78,879	79,890	0,033	100,866	107,060	0,040	124,275
6	68,16	3,563	8,685	0,011	0,043	78,874	79,885	0,095	100,876	107,062	0,030	124,275
7	68,17	3,671	8,608	0,012	0,043	78,871	79,883	0,102	100,884	107,056	0,018	124,273
8	68,17	3,594	8,626	0,017	0,040	78,881	79,891	0,022	100,882	107,073	0,018	124,272
9	68,19	3,599	8,701	0,012	0,043	78,882	79,893	0,122	100,874	107,063	0,040	124,272
10	68,17	3,611	8,643	0,019	0,041	78,880	79,892	0,044	100,880	107,062	0,047	124,273
11	68,21	3,595	8,705	0,014	0,045	78,882	79,893	0,072	100,883	107,060	0,046	124,279
12	68,18	3,561	8,712	0,010	0,040	78,891	79,901	0,104	100,890	107,073	0,013	124,282
13	68,21	3,608	8,719	0,014	0,041	78,892	79,899	0,034	100,870	107,051	0,018	124,279
14	68,21	3,537	8,660	0,003	0,041	78,877	79,886	0,041	100,877	107,041	0,018	124,278
15	68,22	3,574	8,701	0,014	0,041	78,886	79,898	0,036	100,872	107,038	0,042	124,280
16	68,20	3,545	8,654	0,019	0,043	78,875	79,883	0,069	100,869	107,037	0,039	124,284
17	68,18	3,573	8,624	0,019	0,041	78,874	79,885	0,122	100,874	107,038	0,049	124,284
18	68,20	3,645	8,660	0,019	0,042	78,877	79,881	0,093	100,884	107,047	0,030	124,282
19	68,21	3,660	8,685	0,011	0,040	78,890	79,901	0,055	100,863	107,055	0,028	124,281
20	68,21	3,543	8,611	0,013	0,043	78,890	79,899	0,053	100,882	107,070	0,035	124,285
21	68,21	3,592	8,708	0,017	0,044	78,877	79,886	0,078	100,864	107,049	0,044	124,285
22	68,19	3,605	8,632	0,016	0,039	78,890	79,905	0,137	100,868	107,054	0,022	124,282
23	68,20	3,609	8,659	0,014	0,040	78,879	79,899	0,138	100,859	107,048	0,030	124,276
24	68,17	3,588	8,638	0,017	0,041	78,885	79,905	0,036	100,860	107,051	0,037	124,274
25	68,22	3,605	8,683	0,014	0,042	78,886	79,902	0,040	100,855	107,041	0,019	124,275
26	68,20	3,644	8,688	0,010	0,040	78,890	79,897	0,062	100,882	107,054	0,037	124,278
27	68,22	3,563	8,672	0,003	0,039	78,878	79,890	0,070	100,864	107,060	0,049	124,279
28	68,21	3,544	8,645	0,006	0,038	78,871	79,885	0,094	100,878	107,055	0,027	124,279
29	68,18	3,568	8,644	0,009	0,041	78,882	79,891	0,080	100,845	107,052	0,006	124,278
30	68,20	3,602	8,644	0,009	0,040	78,879	79,876	0,083	100,848	107,038	0,044	124,281

Figura 56 - Dados da análise das mangas

ANEXO 3 – DESENHO DA MANGA

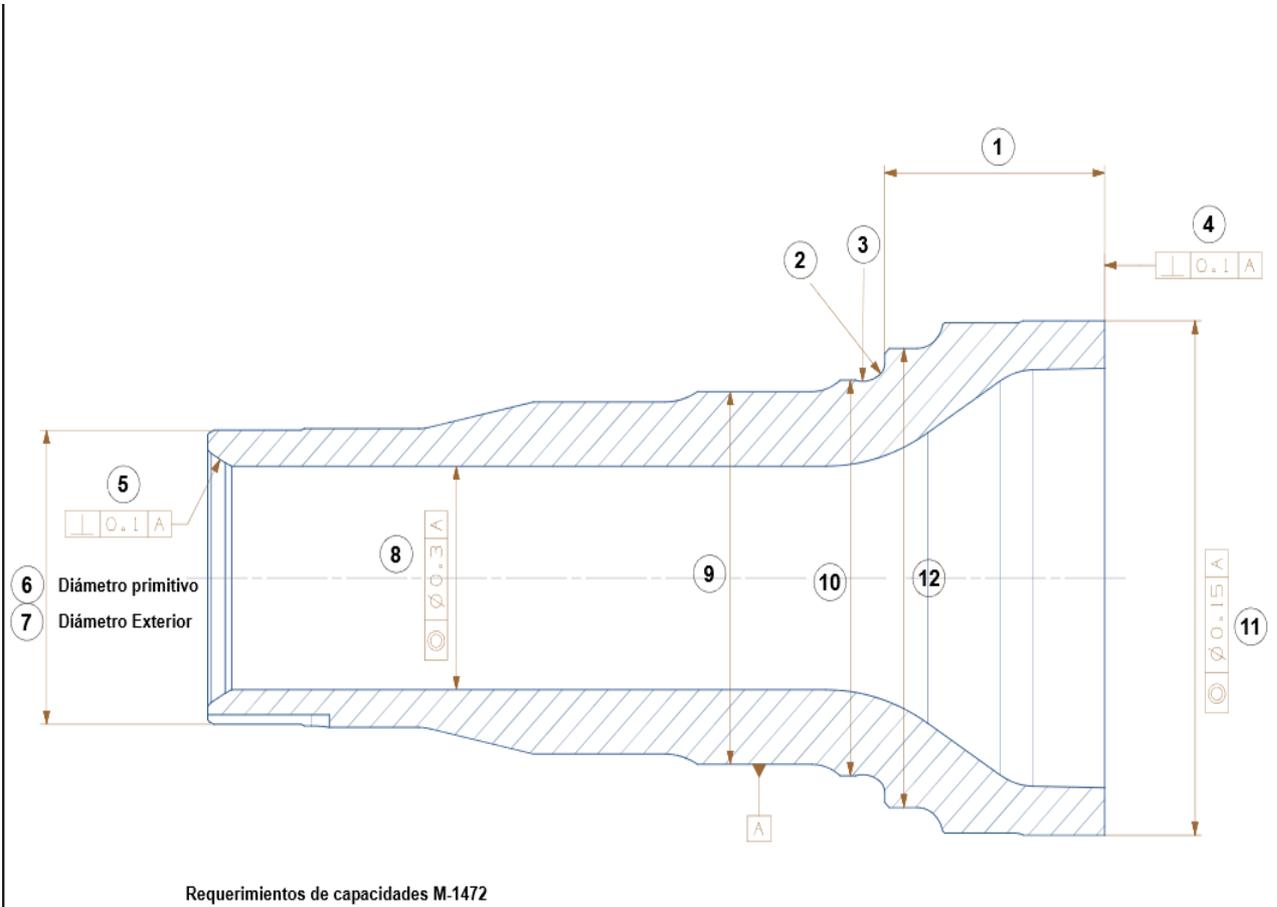


Figura 57 - Desenho das Mangas

ANEXO 4 – ANÁLISE À COTA 1

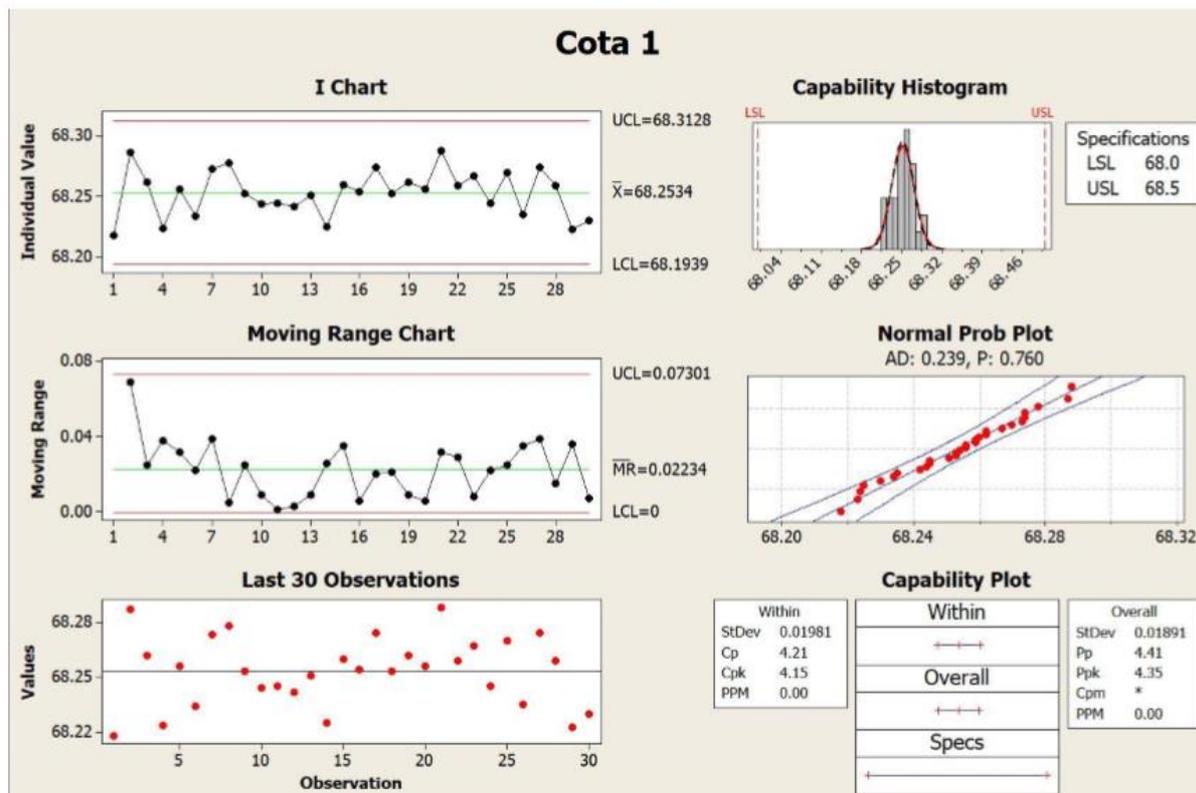


Figura 58 - Análise realizada à Cota 1

ANEXO 5 – ANÁLISE À COTA 2

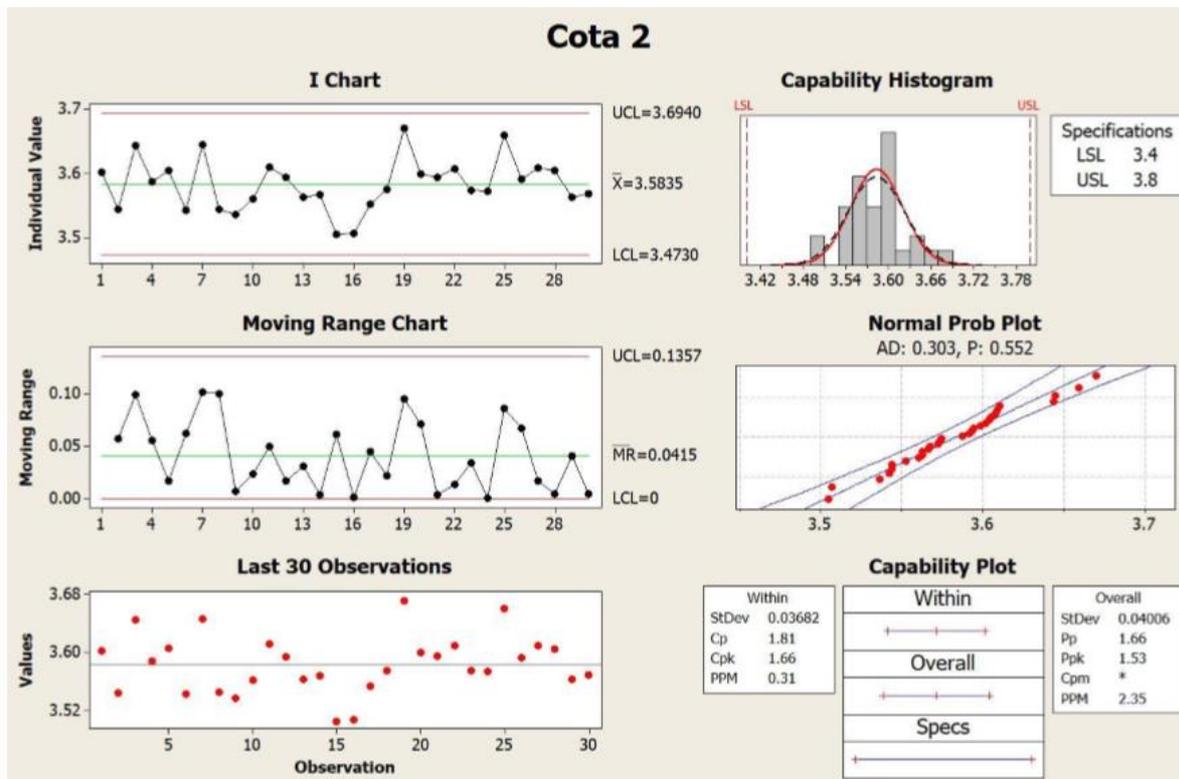


Figura 59 - Análise realizada à Cota 2

ANEXO 6 – ANÁLISE À COTA 3

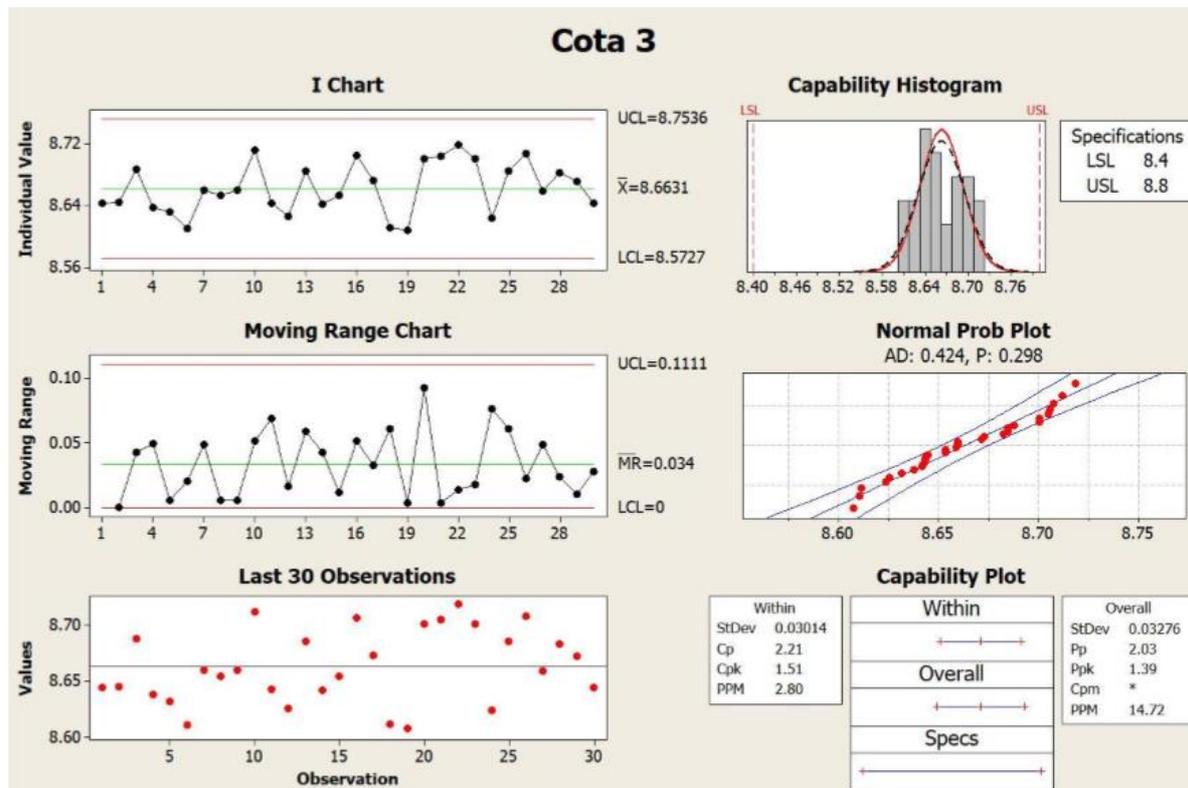


Figura 60 - Análise realizada à Cota 3

ANEXO 7 – ANÁLISE À COTA 4

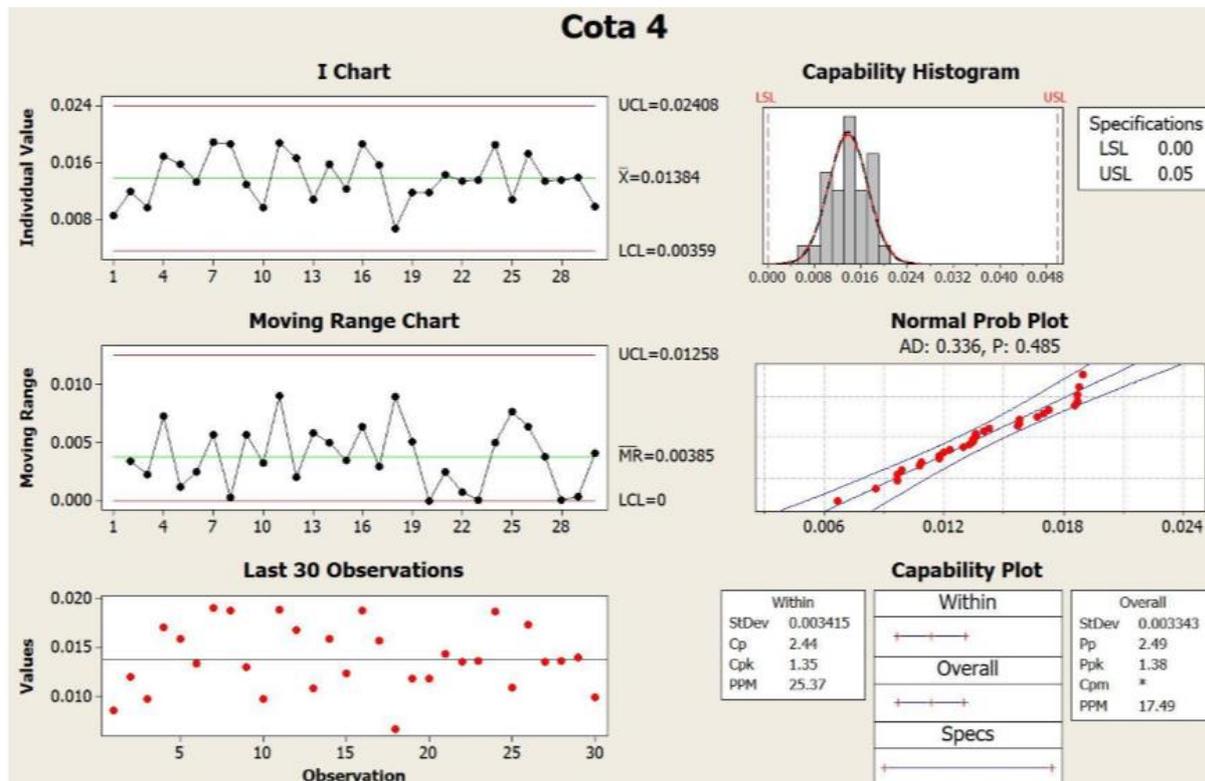


Figura 61 - Análise realizada à Cota 4

ANEXO 8 – ANÁLISE À COTA 5

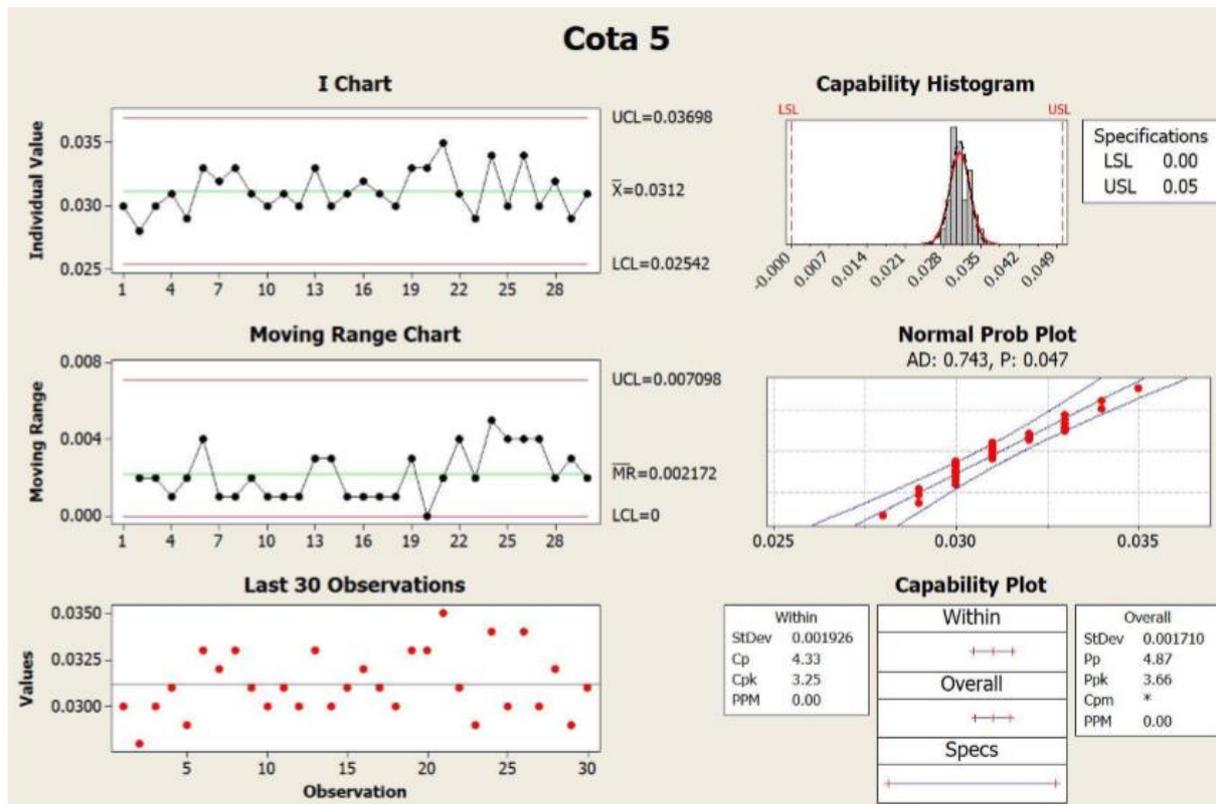


Figura 62 - Análise realizada à Cota 5

ANEXO 9 – ANÁLISE À COTA 8

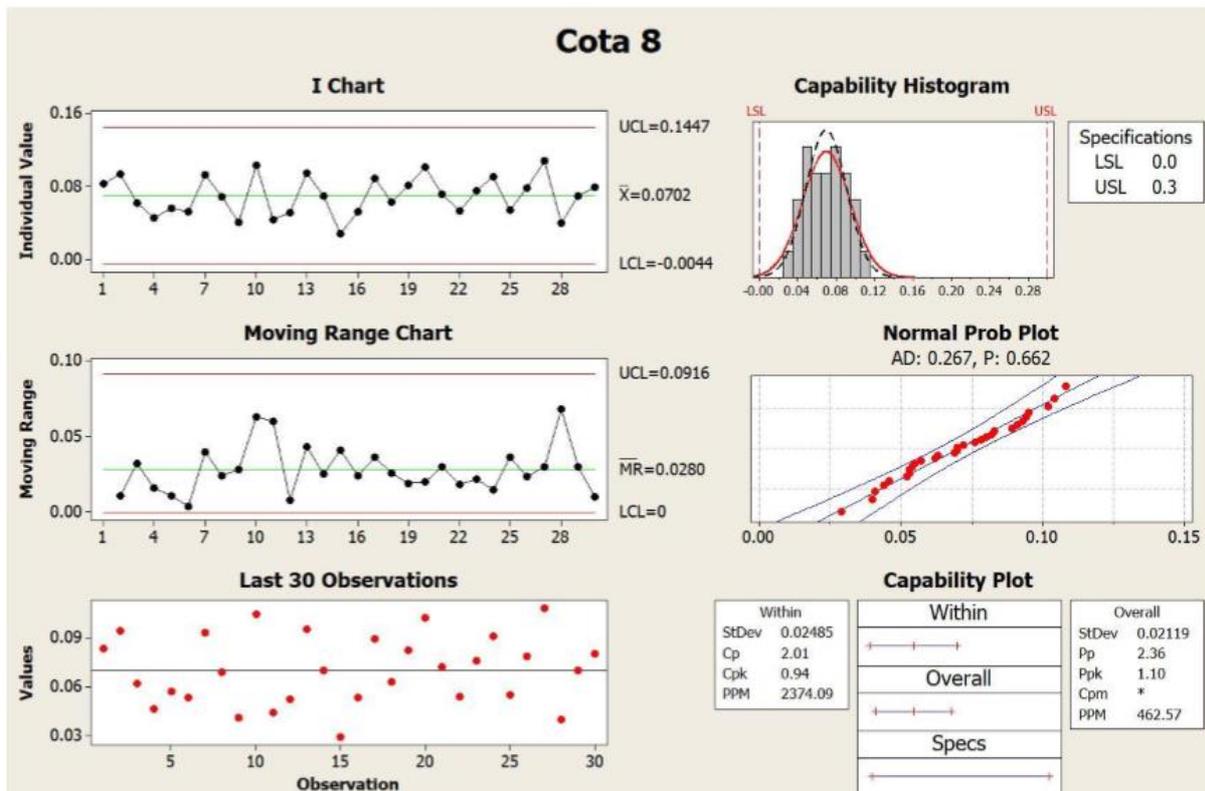


Figura 63 - Análise realizada à Cota 8

ANEXO 10 – ANÁLISE À COTA 11

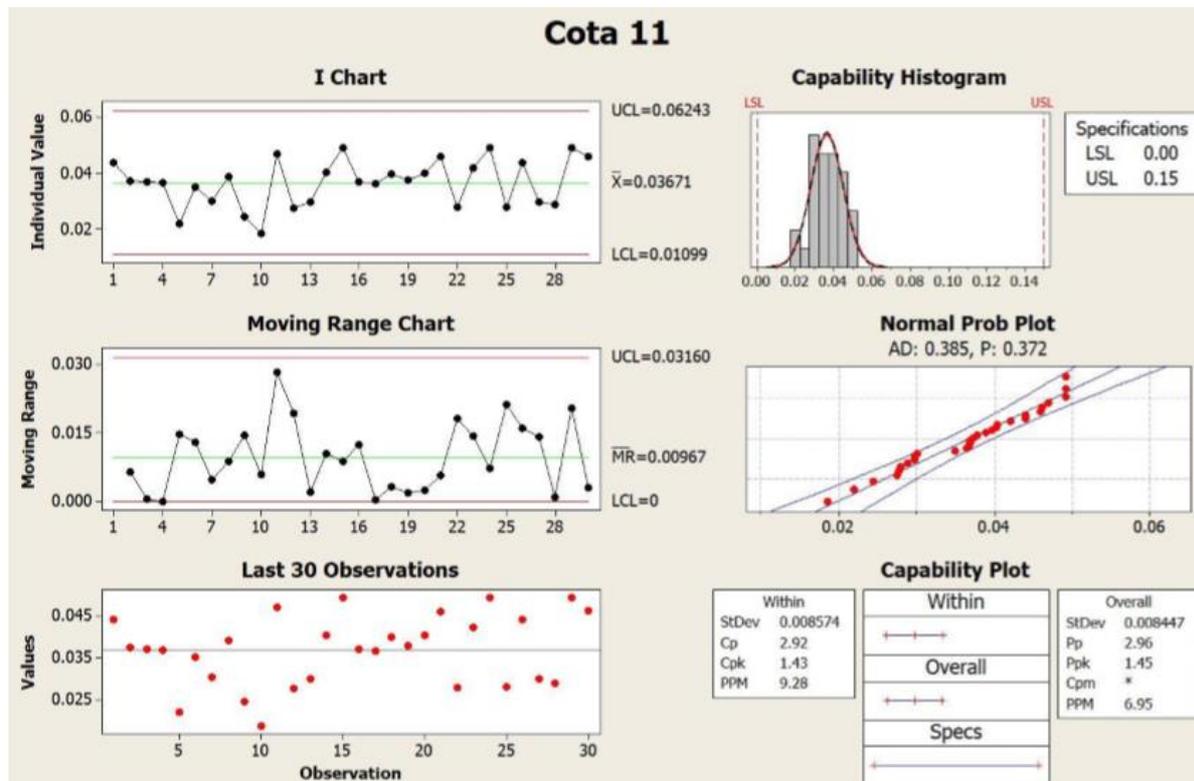


Figura 64 - Análise realizada à Cota 11

ANEXO 11 – ANÁLISE À COTA 12

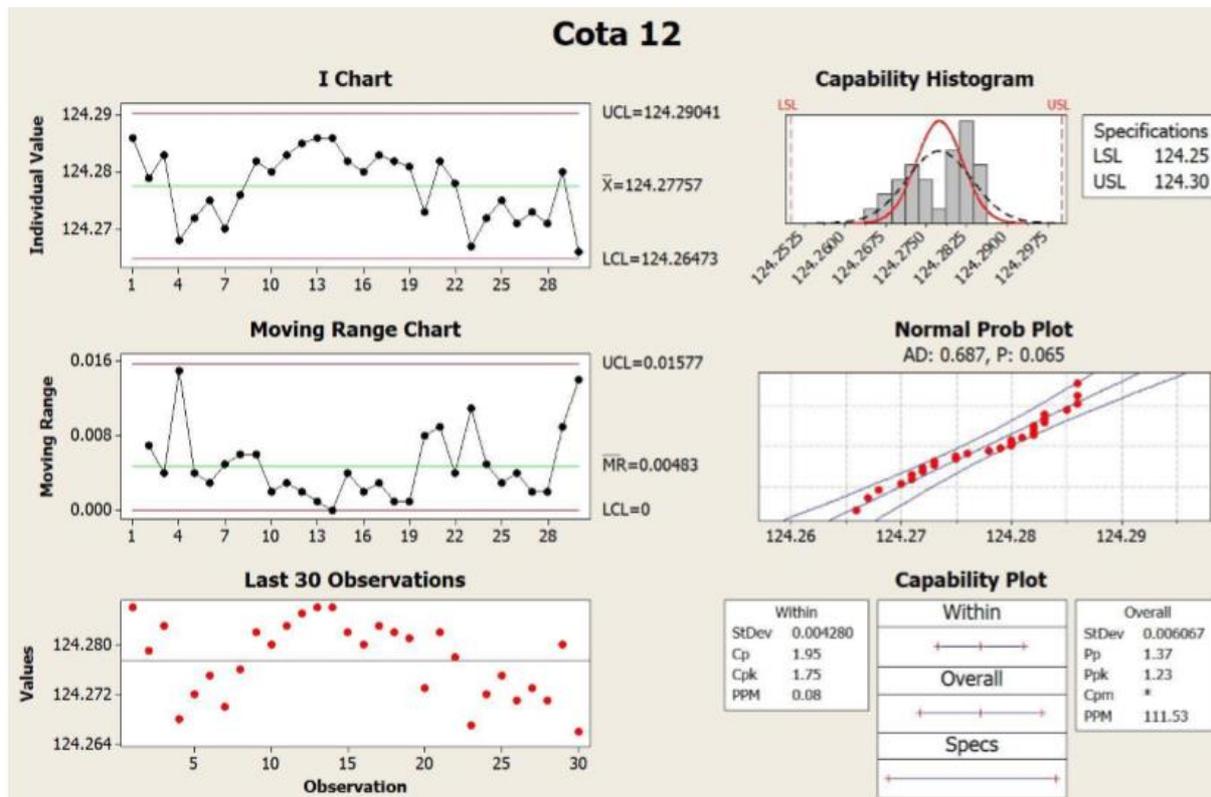


Figura 65 - Análise realizada à Cota 12