



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Engenharia

**Controlo Estatístico do Processo**  
**Um estudo de caso numa empresa na área da indústria**  
**automóvel**

**Radu Godina**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em:  
**Engenharia e Gestão Industrial**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor João Carlos Oliveira Matias

**Covilhã, Outubro de 2013**



Dedico esse trabalho ao esteio, à base e à  
rampa de lançamento de tudo o que sou  
hoje e o que serei, ao meu Pai,  
Alexandru Godina (*in memoriam*) e à minha  
mãe e irmã, pelo apoio incondicional e por terem  
sempre acreditado em mim até nos momentos  
em que nem eu mesmo acreditei.



# Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de expressar a minha profunda gratidão ao Professor Doutor João Carlos Oliveira Matias, na qualidade de orientador, pelo seu contributo durante o decurso do trabalho, o seu encorajamento, suporte, comentários e sugestões que tanto enriqueceram este trabalho.

À empresa que me acolheu como estagiário, e aos seus colaboradores pelas condições de trabalho concedidas para poder efectuar a dissertação de mestrado, e pela abertura e disponibilização de informação sem a qual não teria sido possível desenvolver este trabalho.

À minha mãe e irmã por terem sempre acreditado em mim, e por terem oferecido o seu apoio incondicional.

Ao amigo Mike Maurizio Györgyi pelo magnífico trabalho que efectuou na criação, edição e padronização das figuras presentes nesta tese.

A todos os amigos que me apoiaram durante toda esta jornada.



“Es ist nichts schrecklicher als eine tätige Unwissenheit.”

*"Não há nada mais terrível do que a ignorância em ação."*

Johann Wolfgang von Goethe

“La liberté commence où l'ignorance finit.”

*"A liberdade começa onde a ignorância acaba."*

Victor Hugo

“Je préfère la liberté avec le danger que la paix avec l’esclavage.”

*"Prefiro uma liberdade com perigo do que uma paz em escravidão."*

Jean-Jacques Rousseau

“Freedom is the only thing worth living for. While I was doing that work, I used to think it didn't matter if I died, because without freedom there was no point in living.”

*"A liberdade é a única coisa para a qual vale a pena viver. Enquanto estava a fazer o tal trabalho (sabotar o inimigo na Segunda Grande Guerra), costumava pensar que não importava se eu morresse, porque sem liberdade não tinha sentido continuar a viver."*

Nancy Wake



# Resumo

No quadro de crescente globalização, a economia confronta as empresas com inúmeros desafios, já não chega produzir, as premissas actuais assentam na qualidade como condição para se atingir a produtividade e a competitividade. E, dado que a qualidade não é estática, está constantemente a ser alterada, porque os clientes são cada vez mais exigentes, qualquer organização empresarial, que queira ser competitiva, tem que inovar.

No ambiente competitivo em que vivemos as organizações procuram cada vez mais produzir com qualidade com o menor custo possível, ao garantir assim a sua própria sobrevivência. Uma das respostas a essa procura é o Controlo Estatístico do Processo (CEP) - um poderoso método de gestão que permite a melhoria da qualidade e a eliminação de desperdícios.

Este trabalho propõe-se a melhorar a qualidade de um processo através do uso do CEP numa empresa da indústria automóvel, bem como efectuar um estudo dos conceitos associados à metodologia e pretende demonstrar todas as vantagens associadas à sua utilização, como forma de melhoria de qualidade e redução de desperdícios.

Para o efeito, foi estudada a metodologia existente da implantação do CEP nesse mesmo processo, e procurou-se uma maneira de a adaptar à realidade da empresa após ter sido efectuada a recolha de amostras e as interpretações das cartas de controlo, ou seja, as análises.

## Palavras-chave

Qualidade, Controlo Estatístico do Processo, Controlo Estatístico da Qualidade, Cartas de Controlo, Variância



# Abstract

In this context of an increasing globalization, the economy defies firms with numerous challenges, it is no longer enough to produce, the current principles are based on quality as a condition for achieving productivity and competitiveness. And given that the quality is not static, it is constantly being changed, and since customers are increasingly demanding, any business organization that aims to be competitive it has to innovate.

In the competitive environment in which we live organizations increasingly seek to produce quality at the lowest possible cost, to ensure their own survival. One response to this claim is the Statistical Process Control (SPC) - a powerful management method which enables quality improvement and waste elimination.

This paper suggests the improvement of the quality of a process through the use of SPC in an enterprise of the automotive industry, makes a study of concepts related with the methodology and aims to demonstrate all the advantages associated with its use as a method for improving quality and reducing waste.

To accomplish this, after being completed the sample collection, the interpretations of control charts and its analysis, it has been made a study of the existing methodology of implementation of SPC in the same process, and it was sought a way to adapt it to the reality of the company.

## Keywords

Quality, Statistical Process Control, Statistical Quality Control, Control Chart, Variance



# Índice

Índice.....	xiii
Lista de Figuras.....	xv
Lista de Tabelas .....	xvii
Capítulo 1 .....	1
Enquadramento.....	1
1.1 Objectivos .....	2
1.2 Estrutura do trabalho .....	3
1.3 Metodologia de Estudo .....	4
Capítulo 2 .....	6
CEP - O pilar da melhoria de Qualidade .....	6
2.1 O Processo.....	7
2.1.1 A voz do Processo - O CEP .....	8
2.1.2 O ciclo de melhoria do processo - PDCA.....	10
2.2 TQM - Os alicerces da Gestão da Qualidade .....	11
2.3 A Qualidade - Peça vital para o sucesso de uma Organização .....	13
2.3.1 A luta pela redução da variância .....	14
2.3.2 A necessidade da melhoria contínua da qualidade .....	16
Capítulo 3 .....	19
O Controlo Estatístico do Processo .....	19
3.1 O que é o CEP .....	20
3.1.1 Análise de Pareto .....	23
3.1.2 Diagrama de causa-efeito.....	23
3.1.3 Histograma .....	25
3.2 Cartas de Controlo .....	26
3.2.1 Recolha dos Dados .....	31
3.2.2 A carta de controlo e as causas de variação.....	32
3.2.3 Exactidão vs. Precisão.....	34
3.2.4 O uso e os benefícios obtidos a partir das cartas de controlo .....	35
Capítulo 4 .....	39
A constituição das Cartas de Controlo .....	39
4.1 Cartas de Controlo de média e amplitude ( $\bar{x}$ , $R$ ) .....	40
4.1.1 Cálculo dos Limites Naturais .....	44

4.1.2 Índice de capacidade .....	45
4.2 Carta $p$ para fracção de não-conformes .....	48
4.2.1 Interpretação da capacidade do processo .....	50
4.3 Padrões de não-aleatoriedade do processo .....	51
4.4 Testes de hipóteses .....	54
4.4.1 O teste de Kolmogorov-Smirnov .....	55
Capítulo 5 .....	57
Aplicação do Controlo Estatístico do Processo .....	57
5.1 Descrição da empresa .....	58
5.2 A organização da unidade .....	58
5.2.1 O Sistema de Gestão da Qualidade implementado .....	59
5.3 O CEP na unidade.....	61
5.3.1 O processo.....	61
5.3.2 A medição e a recolha de dados.....	64
5.3.3 As cartas de controlo .....	65
5.3.4 Os resultados obtidos para a carta $(\bar{x}, R)$ .....	67
5.3.5 Os resultados obtidos para a carta $p$ .....	69
5.4 Interpretação dos Resultados.....	70
5.4.1 Análise dos resultados obtidos à partir da carta $(\bar{x}, R)$ .....	70
5.4.2 Análise dos resultados obtidos à partir da carta $p$ .....	74
Capítulo 6 .....	75
Conclusões Gerais .....	75
6.1 Critica aos resultados obtidos .....	76
6.2 Sugestões para futuros trabalhos .....	77
6.3 Recomendações.....	77
6.4 Apreciação final .....	78
Bibliografia .....	79
Anexo 1 .....	87
Anexo 2 .....	88
Anexo 3.....	89

# Lista de Figuras

Figura 1 - O esquema de um processo .....	7
Figura 2 - Entradas e saídas de um processo de produção .....	8
Figura 3 - O CEP como peça central dum processo de transformação .....	9
Figura 4 - Ciclo PDCA, também conhecido como ciclo de Deming .....	10
Figura 5 - Custos das garantias .....	15
Figura 6 - Distribuição das dimensões críticas .....	15
Figura 7 - O pensamento estatístico que visa a melhoria de qualidade.....	16
Figura 8 - Controlo de qualidade e melhoria de qualidade .....	18
Figura 9 - Abordagem passo-a-passo para desenvolver ou melhorar um processo.....	22
Figura 10 - Diagrama de causa-efeito .....	24
Figura 11 - Histograma .....	25
Figura 12 - Processo de selecção da Carta de Controlo adequada às necessidades .....	28
Figura 13 - Esquematização de uma carta de controlo .....	30
Figura 14 - Exemplo de uma Carta de Controlo.....	33
Figura 15 - Exactidão vs. Precisão .....	34
Figura 16 - O intervalo de confiança de 99,73 % é normalmente usado como limites de controlo.....	42
Figura 17 - Comparação entre capacidades .....	46
Figura 18 - Exemplo de padrões típicos de não-aleatoriedade .....	52
Figura 19 - Ilustração do teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov .....	56
Figura 20 - Process flow chart da Peça X .....	62
Figura 21 - Carta de controlo por variáveis. ....	65
Figura 22 - Carta de controlo por variáveis. ....	66
Figura 23 - O resultado gráfico da média ( $\bar{x}$ ) e amplitude ( $R$ ) dos primeiros 25 subgrupos. ....	68
Figura 24 - O resultado gráfico da média ( $\bar{x}$ ) e amplitude ( $R$ ) dos segundos 25 subgrupos. ....	68
Figura 25 - O histograma da carta ( $\bar{x}, R$ ). ....	70
Figura 26 - O gráfico de probabilidade normal prova que o conjunto de dados analisado provém duma população normal.....	71
Figura 27 - O resultado obtido a partir do teste de Kolmogorov-Smirnov .....	71



# Lista de Tabelas

Tabela 1 - Valores das constantes $D_4$ , $D_3$ , $d_2$ , $A_2$ utilizadas na construção das cartas de controlo.....	43
Tabela 2 - Valores das constantes $c_4$ , $d_2$ utilizados no cálculo dos limites naturais .....	45
Tabela 3 - Dados informativos da carta de controlo .....	67
Tabela 4 - Os primeiros 25 subgrupos. ....	67
Tabela 5 - Os segundos 25 subgrupos.....	67
Tabela 6 - Os dados das amostras do teste de estanquicidade da peça. ....	69
Tabela 8 - Informação e os padrões do processo. ....	72
Tabela 9 - Tabela dos PPM.....	72
Tabela 10 - A análise da capacidade do processo .....	73
Tabela 11 - Informação e os padrões do processo.....	74
Tabela 12 - A análise da capacidade do processo .....	74



# Lista de Acrónimos

5S	Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke
A.I.A.G.	Automotive Industry Action Group
CEP	Controlo Estatístico do Processo
CMM	Coordinate Measuring Machine
FIFO	First in, first out
FMEA	Failure mode and effects analysis
GC	Gama de Controlo
ISO	International Organization for Standardization
K-S	Teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov
CL	Control Limit
LCL	Lower Control Limit ( <i>Limite inferior de Controlo</i> )
OEM	Original Equipment Manufacturer
OHSAS	Occupational Health and Safety Advisory Services
PDCA	Plan-Do-Check-Act (Ciclo de Deming)
PPM	Partes por milhão
SPC	Statistical Process Control
SSO	Segurança e Saúde Ocupacionais
TQM	Total Quality Management
UCL	Upper Control Limit ( <i>Limite superior de Controlo</i> )



“You can't build a reputation on what you are going to do.”  
"Não se pode criar uma reputação sob aquilo que se está por fazer."  
Henry Ford

## Capítulo 1

### Enquadramento

A globalização da economia e a crescente competitividade impõem grandes desafios à indústria, assim a importância da qualidade tem sido cada vez mais evidente. A diminuição do tempo de desenvolvimento dos produtos, a necessidade de certificação ISO-9000 (*International Organization for Standardization*)<sup>1</sup> e outras [1], a melhoria da qualidade dos produtos e a redução dos custos são uma vincada exigência do mercado global [2]. Como consequência, de maneira a manterem margens que lhes permitam sobreviver, as empresas vêm-se forçadas a concentrarem os seus esforços na redução de custos, na criação de valor como resultado da melhoria de qualidade e na responsabilização face aos clientes.

Várias empresas já se aperceberam de que a venda de produtos de baixa qualidade, isto é, produtos que apresentam defeitos ou fiabilidade reduzida, diminuem largamente a competitividade da empresa. Estas empresas também sabem que a implantação de um programa para melhoria da qualidade pode eliminar desperdícios, reduzir os índices de produtos defeituosos fabricados [3], diminuir a necessidade da realização de inspeção e aumentar a satisfação dos clientes. Estes factores trazem como consequência um aumento da produtividade e da competitividade das empresas [4].

Como exemplo disso é a indústria automóvel, que é considerada uma referência no que diz respeito a níveis de produção, qualidade, emprego e por adoptar modelos de gestão inovadores. As medidas que têm vindo a ser tomadas por esta indústria, nomeadamente pelos fornecedores de componentes têm ido ao encontro da redução dos custos sem nunca porem em causa a qualidade [5]. Algumas dessas medidas têm passado pela análise do produto reduzindo custos mas aumentando simultaneamente o desempenho em termos de qualidade.

Para prosperar no presente, no clima económico actual, os produtores da indústria automóvel, de fornecedores à organizações de venda, têm que estar dedicados à melhoria contínua. Devem sempre procurar formas mais eficientes de produzir produtos e serviços. Estes produtos e serviços devem continuar a melhorar em valor. O foco deve concentrar-se sempre nos clientes, sejam internos ou externos, e tornar a satisfação do cliente o alvo principal do negócio [6].

---

<sup>1</sup> ISO 9000 engloba um grupo de normas técnicas que estabelecem um modelo de gestão da qualidade para organizações em geral, qualquer que seja o seu tipo ou dimensão.

Para alcançar as metas propostas, todos dentro da organização devem estar entregues à melhoria e usar métodos eficazes.

Para atingir estas metas, as organizações têm adoptado várias estratégias ao longo dos últimos anos, aplicando métodos e ferramentas de qualidade que possibilitam desde a melhoria até o controlo dos processos de produção [7]. Uma destas estratégias é o Controlo Estatístico de Processo - CEP ou SPC (de inglês - *Statistical Process Control*), objecto de estudo deste trabalho.

O Controlo Estatístico de Processo permite fazer uma distinção clara entre os tipos de causas de problemas que ocorrem no processo de produção, direccionando correctamente às acções necessárias e, no curto prazo, garante que possíveis falhas sejam identificadas durante o processo e não nas inspecções finais ou pelo próprio cliente [6] [7] [8] [9].

## 1.1 Objectivos

A principal razão para a realização desta dissertação surgiu na tentativa de resolução de um problema de qualidade, nomeadamente na melhoria da qualidade de um processo utilizando ferramentas estatísticas, e melhorar a utilização das mesmas. Assim, ficou decidido recorrer a uma metodologia de investigação qualitativa, com o intuito de examinar, de forma exacta e objectiva, através dos dados recolhidos, a utilização do CEP e o seu impacto no sucesso da empresa. Também foi colocada em cima da mesa, segundo os resultados obtidos, a possibilidade, caso assim o justifique, de se indicar possíveis melhorias no que toca ao uso deste conjunto de ferramentas.

Face ao contexto acima descrito, o objectivo geral deste trabalho é o estudo e melhoria da aplicação da filosofia do Controlo Estatístico do Processo no processo de estampagem de uma unidade fabril produtora de componentes metálicos, que pertence a um grupo industrial do sector automóvel. Perante este estudo de caso em contexto prático desta metodologia surgem também algumas questões às quais se vai tentar responder ao longo deste trabalho:

- Análise do processo produtivo da empresa e o seu controlo qualitativo;
- Análise dos resultados da utilização do CEP no processo de produção da empresa;
- Justificar ou não a necessidade do uso de controlo estatístico por atributos;

Estes objectivos justificam-se, na medida em que a empresa, no passado, efectuou várias tentativas de utilizar ferramentas estatísticas de diagnóstico e monitoramento sem sucesso, devido a problemas estruturais, falta de capacidade, falta de planeamento e de metodologia sistemática. Actualmente, a empresa percorre um momento diferente, emadureceu e tem implantado o método mencionado, aperfeiçoando o sistema de controlo da qualidade.

Com isso, o presente estudo pretende demonstrar, através de um estudo de caso concretizado na empresa, de que forma o CEP pode auxiliar no controlo qualitativo dos produtos e na tomada de decisão da gestão durante o processo de produção.

## 1.2 Estrutura do trabalho

A presente dissertação está dividida em 6 capítulos, e começa pelo presente capítulo 1, que de uma maneira geral concentra-se no enquadramento do trabalho, passa a explicar os objectivos gerais e a estrutura do mesmo, acabando por esclarecer a metodologia de estudo empregada.

Após este capítulo introdutório, a estrutura do trabalho desenvolve-se de uma forma afunilada, isto é, começa por estabelecer o contexto geral propício para a necessidade de melhoria de qualidade com o fim de aumentar a produtividade, explica o conceito de qualidade e o surgimento e dispersão do uso e da importância da estratégia CEP. Gradualmente segue-se uma evolução cada vez mais específica em encontro do que é CEP e como se utiliza e acaba por explicitar as fórmulas estatísticas em que está baseado. Parte-se do mais geral para o mais concreto.

Desta construção lógica de ideias fazem parte os capítulos 2,3 e 4, e começa pelo 2 que estabelece o contexto geral em que o CEP está inserido, criando as bases de entendimento quanto à necessidade do seu uso e da sua importância, aborda os conceitos de processo, qualidade, sistema de gestão da qualidade e variância. O capítulo 3 responde à pergunta: Como melhorar a qualidade? E a resposta é com o Controlo Estatístico de Processo, explica o que são cartas de controlo e todas as ferramentas estatísticas que fazem parte dela.

O capítulo 4 apresenta todas as “engrenagens” por trás da carta de controlo, seja por variáveis ou por atributos, e expõe as bases matemáticas das ferramentas estatísticas que as compõem. Até aqui é possível adquirir uma visão mais focada sobre aquilo em que consiste o CEP e o tipo de melhorias que este pode proporcionar, de acordo com a profundidade da sua aplicação, estabelecendo a ponte conceptual para o estudo prático do capítulo 5.

O capítulo 5 parte para o estudo de caso em si, e centra-se na aplicação do Controlo Estatístico do Processo na unidade fabril. Começa pela descrição desta, do sistema de gestão da qualidade implementado e do processo alvo de estudo com a finalidade de estudar os resultados obtidos a partir do *output* do processo. Por fim, no capítulo 6 apresentam-se as considerações finais e a crítica aos resultados.

### 1.3 Metodologia de Estudo

A metodologia é um enquadramento geral utilizado num trabalho de investigação e aborda uma perspectiva mais prática, referindo-se aos caminhos concretos utilizados para melhor compreender as realidades envolvidas [10].

Investigadores com poucos recursos e até sozinhos, mas pondo à prova as suas qualidades de pesquisa, podem dar uma contribuição séria para a investigação, através do estudo de caso, em alternativa a estudos de perspectiva mais vasta mas que exigem mais recursos em material e pessoas. E esse estudo pode obviamente ser depois prosseguido com futuros trabalhos do próprio ou de outros investigadores. A reflexão deste trabalho baseia-se em vários autores, com particular incidência nas obras de John S. Oakland, Douglas C. Montgomery, no manual de A.I.A.G. e em numerosas dissertações e artigos científicos.

O estudo de caso pode constituir uma contribuição importante para o desenvolvimento científico [11] e tal pesquisa não equivale a simplismo, antes exige enquadramento teórico adequado, domínio de instrumentos e disponibilidade de tempo. Por outro lado, certos processos e situações correm risco de passar despercebidos em estudos de maior dimensão (e de maior prestígio nos meios académicos...) ao passo que a análise de casos, mesmo de casos pouco habituais, pode ser ilustrativa de circunstâncias cruciais para os sistemas e organizações [12].

Existem vários passos a efectuar neste tipo de estudos, o primeiro passo: definir o caso que está a estudar ou seja, o tópico ou unidade de análise e o seu subtópico ou contexto social. Conceber essa definição ajuda enormemente a organizar o estudo de caso e essa escolha pode manter-se na medida em que se apoiou em perguntas de pesquisa e literatura adequada, mas, depois de coligir os primeiros dados, pode redefinir-se o caso, o que pode obrigar a rever as perguntas e a literatura de apoio.

O segundo passo: optar por um estudo singular de caso (*single study*) ou por um estudo múltiplo de casos (*multiple-case study*). Mas também é preciso decidir se o caso singular é holístico ou tem incluídos (*embedded*) sub-casos dentro do caso holístico [13]. Por exemplo, um caso holístico pode analisar porquê um determinado grupo industrial aplicou certas orientações para uso de ferramentas estatísticas e, nesse estudo, várias unidades industriais desse sistema podem servir como sub-casos incluídos.

É importante a decisão de usar estudo singular ou múltiplo, pois focar um caso singular obriga a devotar cuidadosa atenção a esse caso [12].

E por fim o terceiro passo: decidir usar ou não desenvolvimento teórico (*theory development*) para ajudar a seleccionar o caso, desenvolver o protocolo de recolha de dados e organizar as

estratégias iniciais de análise de dados. Um estudo de caso pode tentar construir, alargar ou desafiar esta perspectiva [13].

Em suma, um estudo de caso feito em profundidade pode constituir um bom começo para uma investigação mais global, a desenvolver depois com mais tempo e recursos. A vantagem é a de, à partida, exigir menos recursos e poder ser assumido por um investigador ou pequena equipa mas, como toda a investigação, quanto à problemática, ao enquadramento teórico, à escolha das “unidades” a inquirir ou à lógica da análise dos dados, põe igualmente à prova as qualidades da investigação [12].

Tendo em consideração os objectivos definidos, recorreu-se a uma metodologia de investigação qualitativa, com o intuito de examinar, de forma exacta e objectiva, através dos dados recolhidos, a utilização do CEP e o seu impacto no sucesso da empresa.

“I really like Chinese food, but I don’t want to eat it every night.”

*“Eu gosto imenso da comida chinesa, mas eu não quero comê-la sempre ao jantar.”*

Bob Hogg

## Capítulo 2

### CEP - O pilar da melhoria de Qualidade

Neste capítulo são apresentados os factores que levam à necessidade da melhoria de qualidade para a permanência ou conquista de uma organização no mercado e o papel decisivo que a implementação do controlo estatístico do processo pode ter, tal como o impacto positivo que a sua boa aplicação pode trazer.

O capítulo está dividido nas seguintes secções e conteúdos: o item 2.1 aborda o conceito de processo, não só de fabrico, mas de todo tipo de trabalho ou tarefa; o subitem 2.1.1 destaca o CEP como o “electrocardiograma” do processo segundo John S. Oakland (2004). O item 2.2 aborda ligeiramente a filosofia de gestão da qualidade *Total Quality Management*. O item 2.3 esclarece o conceito da qualidade de vários pontos de vista conforme vários destacados autores; o subitem 2.3.1 revela o que é a variância e a importância da redução da mesma; o subitem 2.3.2 torna elucidativo a necessidade da melhoria de qualidade e porque é que a redução da variância é vital para atingir essa melhoria, desvendando o controlo estatístico do processo como a peça-chave da redução dessa mesma variância e consequentemente da melhoria efectiva da qualidade.

## 2.1 O Processo

Antes de tudo, é necessário entender o que é o processo. E o que realmente é? Todo o trabalho que é efectuado pode ser visto como um processo [14]. Um processo pode ser definido segundo Nolan e Provost como: "um leque de causas e condições que repetidamente e em conjunto transformam entradas em saídas, ou *inputs* em *outputs* [15]." Os *inputs* podem fazer parte pessoas, materiais ou informação. As saídas incluem produtos, serviços, comportamentos ou pessoas.

Os processos de produção abrangem um vasto leque de operações, desde processos subtractivos como a maquinação e o polimento, passando por processos de moldagem por injeção líquida até processos de carácter aditivo como a deposição química em fase gasosa ou pulverização catódica. Todos estes processos de fabrico têm como entrada os materiais, tanto a matéria-prima como as ferramentas de auxílio e os transforma em produto-final e matéria desperdiçada. De forma semelhante, as entradas de energia nestes processos (eléctrica, calorífica, etc.) são transformadas na saída em trabalho útil, parte do qual está incluído na forma e composição dos mesmos produtos-finais e matéria desperdiçada, e parte é desperdiçada na forma de calor, tal como ilustrado na figura 1 [16].

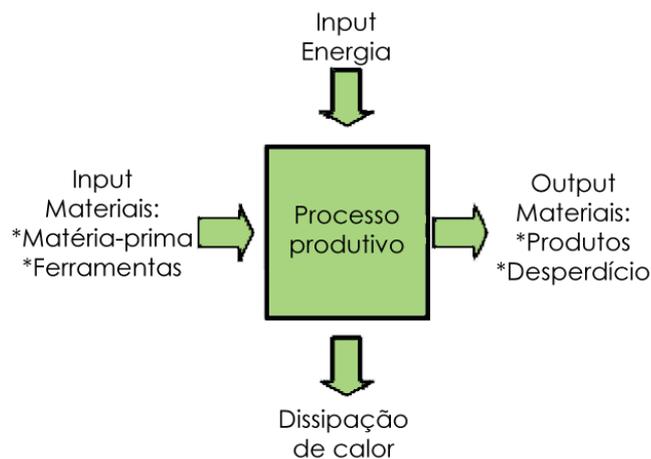


Figura 1 – O esquema de um processo [16].

Já Douglas C. Montgomery define o processo de uma maneira mais elaborada - ilustrado na Figura 2 que representa um processo como um sistema com um leque de entradas e saídas. No caso dos processos de fabrico, os factores controláveis  $x_1, x_2, \dots, x_p$  são variáveis do processo como temperatura, pressão, rácios de entrada e muitas outras variáveis de processo. Os inputs  $z_1, z_2, \dots, z_q$  são entradas incontroláveis (ou difíceis de controlar), tal como factores ambientais ou propriedades da matéria-prima fornecidos por um fornecedor externo. O processo de produção transforma as entradas de matéria-prima, componentes e partes pré-

montadas num produto acabado que tem várias características qualitativas. A variável de saída é uma característica de qualidade, que é, uma medição de processo e de qualidade do produto. Este modelo (ver figura 2) também pode representar qualquer outro tipo de processo, como serviços entre outros [17].

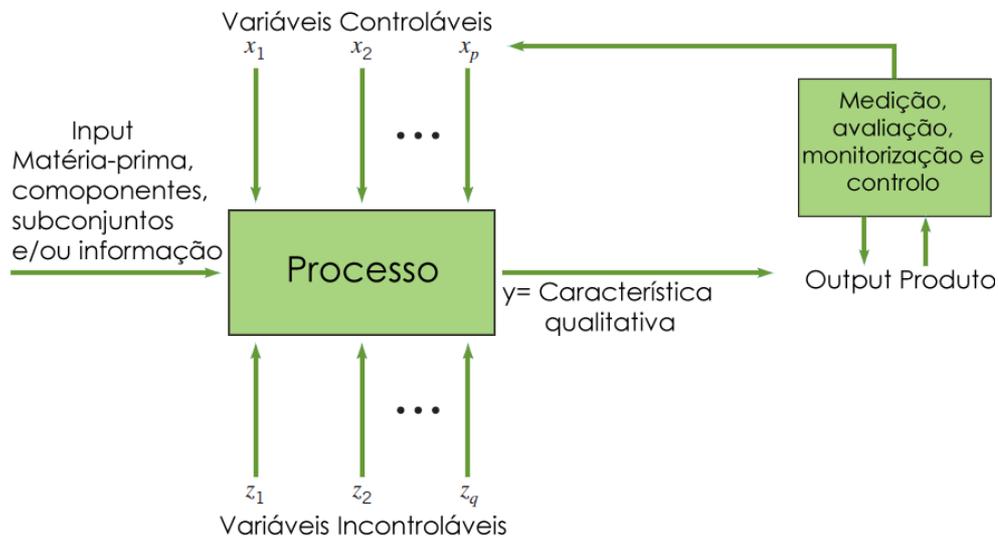


Figura 2 – Entradas e saídas de um processo de produção [17].

### 2.1.1 A voz do Processo - O CEP

Uma análise mais minuciosa e detalhada do que é o processo permite-nos identificar o CEP como a “voz do processo”, isto é, monitoriza e “diz-nos” qual é o comportamento do processo e a sua performance. Para começar a monitorizar qualquer processo, é necessário em primeiro lugar, identificar o que este processo é e quais são os *inputs* e *outputs*. Muitos processos são fáceis de perceber e relacionar com outros processos conhecidos, enquanto outros são muito menos fáceis de identificar como por exemplo: servir um cliente, discursar numa palestra, armazenar um produto, etc. Nalgumas situações pode tornar-se muito difícil identificar o processo. Uma vez que o processo é identificado, os *inputs* e os fornecedores, as saídas e os clientes também podem ser definidos, em conjunto com os requisitos dos clientes (a voz do cliente). É óbvio que para produzir um *output* que obedece às exigências dos clientes, é necessário definir, monitorizar e controlar os *inputs* para o processo, que por sua vez, pode ter sido fornecido como *output* de um processo anterior [18]. Em todas as relações fornecedor-cliente reside um processo de transformação e todas as tarefas sem excepção, devem ser vistas como um processo deste tipo (ver figura 3).

Repare-se então que, o CEP (ou em inglês SPC) está no coração do processo!

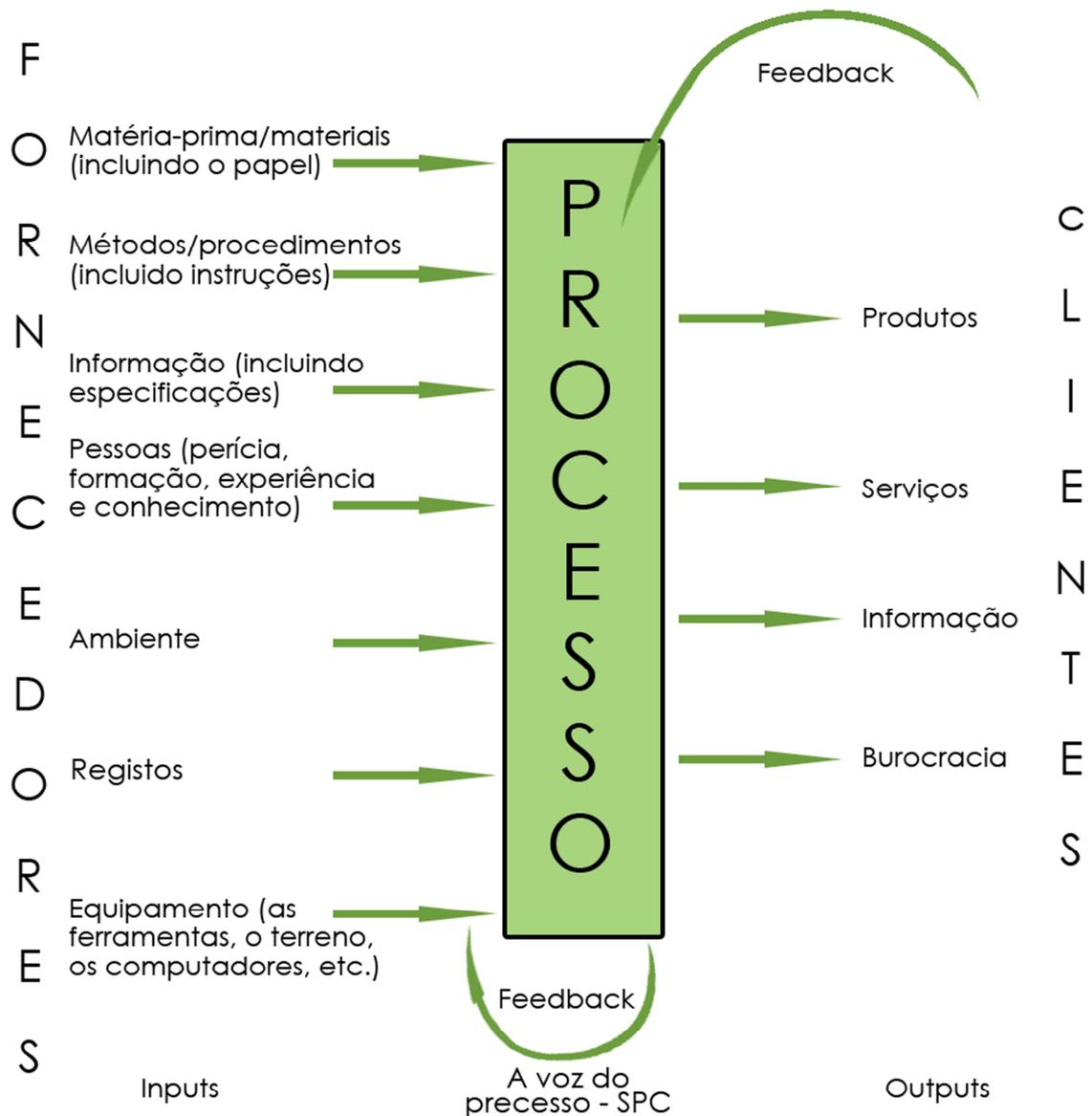


Figura 3 – O CEP como peça central dum processo de transformação [18].

O que define um bom processo é uma produção de um *output* consistente. Seria desejável que isso fosse atingido, de um modo conclusivo, por um ajustamento cauteloso e minucioso do equipamento do processo e assim criar condições para que produza de um modo consistente. Infelizmente, isto raramente ou nunca irá resultar na produção uniforme dum produto porque requer precauções extraordinárias para assegurar a regularidade de fabrico do mesmo [19].

### 2.1.2 O ciclo de melhoria do processo - PDCA

O ciclo PDCA é um modelo de melhoria contínua que tem por princípio tornar mais claros e ágeis os processos envolvidos na execução da gestão. Originalmente concebido por Walter A. Shewhart, e mais tarde desenvolvido e popularizado por W. Edwards Deming [20], consiste numa sequência de quatro passos repetitivos de melhorias e aprendizagem: Planear, Executar, Conferir e Agir [21] [22]. Este ciclo é aplicado principalmente nas normas de sistemas de gestão e deve ser utilizado (pelo menos na teoria) em qualquer empresa de forma a garantir o sucesso nos negócios, independentemente da área ou departamento (vendas, compras, engenharia, etc...).

Muito sinteticamente, e segundo a figura 4, as quatro fases do ciclo PDCA envolvem:

- Planear: Identificar e analisar o problema.
- Executar (Do): Desenvolver e testar a potencial solução.
- Conferir: Medir a eficácia da solução testada e analisar se esta pode ser melhorada de alguma forma.
- Agir: Implementar totalmente a solução melhorada.

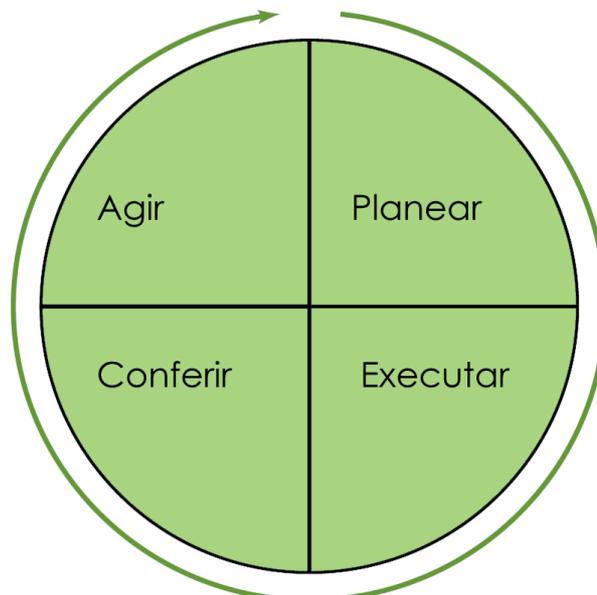


Figura 4 – Ciclo PDCA, também conhecido como ciclo de Deming [17] [20] [21] [22].

O ciclo PDCA fornece-nos um processo de resolução de problemas útil e controlado. É particularmente útil para:

- Ajudar a implementar a filosofia *Kaizen* ou as abordagens de Melhorias Contínuas, quando o ciclo é repetido vezes sem conta.
- Identificar novas soluções e melhorar processos que são executados frequentemente.
- Explorar um vasto leque de novas soluções possíveis para os problemas, tentá-las e melhorá-las de modo controlado antes de seleccionar uma para implementação.
- Evitar o desperdício de recursos em larga escala que resultam da implementação de uma solução medíocre ou pobre.

A utilização de uma abordagem como o ciclo PDCA é lenta e mais quantificável (mensurável) do que a implementação de outras abordagens mais simples. Em situações de verdadeira emergência isto significa que pode não ser apropriada a sua utilização. Contudo não se esqueça de que é muito fácil as pessoas pensarem que as situações têm mais emergência do que na realidade têm [23].

## 2.2 TQM - Os alicerces da Gestão da Qualidade

Para muitos condutores, velocidade é sinónimo de exultação. Mas para um director executivo da indústria automóvel, é mais provável que a palavra rapidez seja sinónimo de sucesso. Pois quando se trata de sobrevivência, a empresa deve responder no mínimo tão ou mais rápido que os competidores devido às constantes mudanças a nível global das exigências dos clientes e do mercado. Para prosperar, terá que o fazer ainda mais rápido. É hoje particularmente claro que os tempos dos sistemas discretos de produção automóvel acabaram. O que foi uma vez opaco e rígido deve tornar-se integrado, flexível e informatizado. Toda a informação deve fluir livremente em todas as direcções, para e do chão de fábrica, englobando todos os equipamentos, os operários, controladores, engenheiros, *designers* e fornecedores, e por vezes atravessar diversas fábricas [24]. É um dos poucos métodos que pode aumentar drasticamente a produtividade - medido pelo *time-to-market*<sup>2</sup>, qualidade do processo e do produto e eficiências de custo - através de todas as operações de fabrico. É também uma das poucas formas de atingir os níveis de capacidade de resposta e flexibilidade necessários para segurar uma forte posição na indústria automóvel mundial.

---

<sup>2</sup> É o período de tempo compreendido entre o início da concepção do produto e a data de lançamento de venda ao público [87].

A maior dificuldade encontrada pelas empresas é a de fazer o produto fluir através dos processos, sem interrupções e a um custo aceitável. Outro foco que é almejado é a eliminação de desperdícios dos processos, agregando valor para o cliente e melhorando as bases de competição das empresas [25].

O TQM *Total Quality Management* pode ser visto como métodos de gestão usados para melhorar a qualidade e a produtividade nas organizações. O TQM é uma abordagem de gestão que abrange transversalmente toda a empresa envolvendo todos os departamentos e colaboradores e estende-se para fora da organização incluindo os fornecedores e os clientes. Esta filosofia de gestão disponibiliza uma estrutura para a implementação efectiva da qualidade e iniciativas de aumento de produtividade o que pode originar num acréscimo de rentabilidade e de competitividade das organizações.

A aplicação do método pelos japoneses produziu inegáveis e significativos resultados, claramente visíveis como o crescimento gritante da qualidade dos produtos japoneses e o sucesso japonês na exportação. Face a estes excelentes resultados, originou-se uma propagação mundial dos movimentos pela qualidade.

No mercado global, o aumento dos níveis de competitividade originaram numa crescente importância do factor qualidade para as organizações e conseqüentemente o *Total Quality Management* (TQM) tornou-se uma peça chave na gestão. Um considerável número de empresas aplica o TQM e é um tema de muitos livros e artigos e é um sistema consensual e aceite de gestão [26].

A conquista pela qualidade produziu muitas iniciativas e destas, a perseguição pelo comprimento dos padrões nacionais e internacionais não está a abrandar, apesar das opiniões de que estas não produziram os resultados desejáveis. A maior motivação é o facto de que, se nós não agirmos já, iremos perder os nossos clientes e podemos perder mercado para os competidores que agiram com maior agilidade [27].

A derradeira raiz de um movimento pela qualidade, a base na qual tudo o resto assenta, é o Controlo Estatístico do Processo [28].

## 2.3 A Qualidade - Peça vital para o sucesso de uma Organização

A definição de qualidade contém dificuldades quanto à conceituação pelo facto de ser um termo extremamente abrangente e as definições tentarem dar um único sentido [29]. A palavra "Qualidade" é muitas vezes compreendida como "excelência" de um produto ou serviço como por exemplo, ouvimos sempre falar de "qualidade de um Rolls-Royce" e "qualidade de topo". Nalgumas empresas de produção o termo "qualidade" e emprega-se para indicar se um produto está conforme segundo certas características que obedecem a uma qualquer especificação mais ou menos "apertada". Mas se nós pretendermos gerir a qualidade, então esta tem que ser definida num modo que identifique as reais especificações do cliente. A qualidade é definida segundo Oakland simplesmente como atender às especificações do cliente e esta tem sido uma ideia salientada por muitos outros autores [18] [27] [30] [31] e mesmo pela norma ISO 9001:2008 [21] e ISO/TS 16949:2002 (E) [22].

Até a revolução industrial, os processos produtivos eram realizados por famílias de artesões. A qualidade do produto final era de responsabilidade do artesão e a satisfação do cliente final trazia um retorno imediato através de maiores vendas e prestígio na sociedade.

Com o princípio da industrialização, as tarefas de produção foram divididas entre vários operários. A qualidade final só era detectada depois do produto estar acabado, muitas vezes já na posse do cliente.

Falhas detectadas depois de encerrado o processo de produção, causam um maior prejuízo, uma vez que aumentam o número de ferramentas necessários para o retrabalho, aumentam o número de sucata e obrigam o produtor a trabalhar com um stock bem maior. É importante salientar que um problema na qualidade, detectado pelo consumidor, pode vir a causar a perda da boa reputação do fabricante, o que acarreta muitas vezes prejuízos irreversíveis [32].

Nos anos mais recentes tem-se aceite a ideia de que a boa qualidade dos produtos é crucial para a produção porque a qualidade e a rentabilidade "andam de mãos dadas". A má qualidade é dispendiosa, porque o produto defeituoso tem que ser desvalorizado, retrabalhado, ou sucitado. Sendo assim, é sempre mais vantajoso produzir o produto bem da primeira vez [19].

O controlo e a melhoria de qualidade tornou-se uma das mais importantes estratégias de negócio de inúmeras organizações, produtores e fabricantes, distribuidores, transportadoras, organizações de serviços financeiros, de saúde e do estado. A Qualidade é uma vantagem competitiva. Um negócio que satisfaz os clientes por intermédio do controlo e da melhoria da qualidade consegue prevalecer perante a competição [17].

Podemos definir a qualidade de várias maneiras. A maioria das pessoas tem um entendimento conceptual da qualidade como por exemplo, o afecto por uma ou mais características que um produto ou serviço deve possuir. Se bem que esta percepção conceptual é certamente um bom ponto de partida, dar-se-á uma definição mais útil e precisa do conceito.

A qualidade tornou-se num das mais importantes factores da decisão do consumidor na selecção entre produtos e serviços concorrentes. Este fenómeno é largamente generalizado, independentemente de o consumidor ser um individuo, uma organização industrial, uma loja de retalho, um banco ou uma instituição financeira ou até mesmo um programa de defesa militar. Por conseguinte, entender e melhorar a qualidade são factores-chave dum caminho de crescimento, sucesso, e reforço da competitividade. Existe um retorno substancial do investimento a partir de uma qualidade melhorada e da aplicação bem-sucedida da qualidade como uma parte integral da estratégia global de gestão [17].

A qualidade de um produto pode ser vista por diferentes dimensões [33]. A proposta de Garvin (1992) sugere oito dimensões para a qualidade do produto: desempenho, confiabilidade, durabilidade, assistência técnica, características, estética, qualidade percebida e conformidade com as especificações [34].

### **2.3.1 A luta pela redução da variância**

Outro aspecto sobre a qualidade que pode ser estendido a todas as dimensões apresentadas por Garvin (1992) é uma definição mais simples da qualidade, a de Douglas C. Montgomery que diz o seguinte:

*“A qualidade é inversamente proporcional a variância.”*

Repare-se que a definição dá a seguinte indicação: se houver uma redução da variância das características importantes de um produto, a qualidade do produto aumenta, portanto, a melhoria de qualidade é, nada mais nada menos que a redução da variância nos processos e nos produtos [17].

Usando um exemplo do Douglas C. Montgomery:

*“...uma clara evidência da veracidade prática desta definição é um estudo de comparação (ver figuras 5 e 6) efectuado a uns anos atrás por um dos consórcios americanos de indústria automóvel que pretendia comparar uma caixa de velocidades produzida nos EUA e outra de um fornecedor japonês. Uma análise dos accionamentos de garantias e dos custos de reparação indicou que havia um fosso entre as duas fontes da produção - as transmissões de origem japonesa*

tinham custos muito mais baixos (como se pode observar na Figura 4). Este estudo também tinha o objectivo de descobrir a causa desta diferença nos custos e na performance então escolheram-se amostras aleatórias de transmissões de cada uma das fábricas ao desmontarem-se foram medidas várias características críticas de qualidade. A Figura 5 representa claramente os resultados deste estudo...  
...Concluiu-se então que existe uma variância consideravelmente mais baixa nas características críticas de qualidade das peças de origem japonesa em comparação com as mesmas produzidas nos EUA...

...Este foi um achado muito importante, e tal como Jack Welch observou, o cliente não vê o valor central do processo mas sim a variância que não foi eliminada. Em quase todos os casos, a variância tem um impacto significativo no cliente.

...Uma reduzida variância pode ser então directamente traduzida em diminuição de custos. Consequentemente, as transmissões de origem japonesa mudavam de velocidade mais suavemente, eram mais silenciosas e gozavam de uma melhor apreço pelo cliente em relação às concebidas pela fábrica americana. Menos reparações e accionamentos de garantias significam menos retrabalho e redução de tempo, esforços e dinheiro desperdiçados. Deste modo, a qualidade é decididamente inversamente proporcional à variância.”

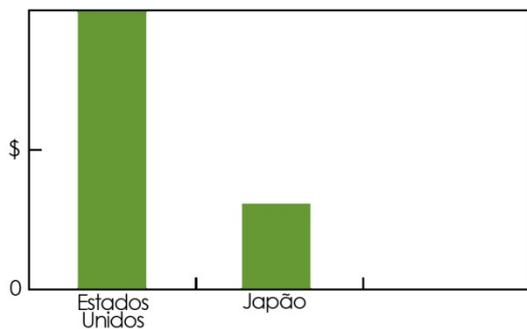


Figura 5 - Custos das garantias [17].

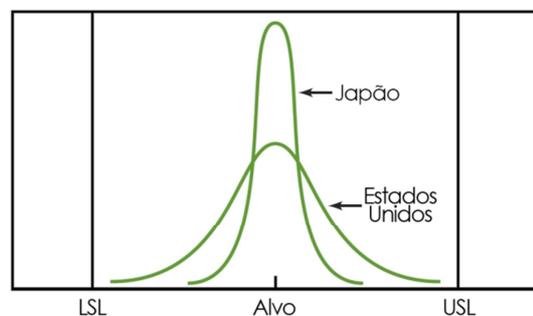


Figura 6 - Distribuição das dimensões críticas [17].

Só muito recentemente é que a indústria automóvel norte-americana tem encurtado o fosso entre a diferença de qualidade em relação aos produtores asiáticos [35].

As empresas estão constantemente a procura de causas que justifiquem os seus desempenhos financeiros. As investigações até a data apuraram modificações de processos de fabrico muito específicas para diagnosticar, gerir e reduzir a variância do processo. Mais, provou-se que reduzir a variância em toda a cadeia de produção e de toda a linha de processos envolvidos também resulta em melhores resultados financeiros [36].

Para que um produto possa corresponder às exigências do consumidor, este deve ser, no mínimo, fabricado num processo que seja estável. Desta forma, tal processo deve ter uma capacidade de operar com uma variância pequena em relação às dimensões nominais das características e especificações de qualidade do produto [17].

### 2.3.2 A necessidade da melhoria contínua da qualidade

A aplicação prática da ideia de melhoria de qualidade pela redução da variância é na maioria dos casos limitada ao mundo industrial. No entanto, o conceito poderá ser aplicado a muitos outros tipos diferentes de organização. Em *Snee*, o lugar do CEP é abordado num contexto muito mais abrangente enquanto parte do TQM. Uma implementação de sucesso deste tipo de estratégia requer uma nova maneira de pensar, a que *Snee* chama de pensamento estatístico (ver figura 7). Estas ideias podem ter uma útil contribuição para os esforços direccionados para a melhoria de qualidade em todos os níveis da organização, a começar pela produção e a acabar em vendas. *Snee* descreve a essência do "pensamento estatístico" como o seguinte: "...todo o trabalho é uma série de processos interconectados e ao identificar, caracterizar, quantificar, controlar e reduzir a variância origina oportunidades de melhoria" [37].

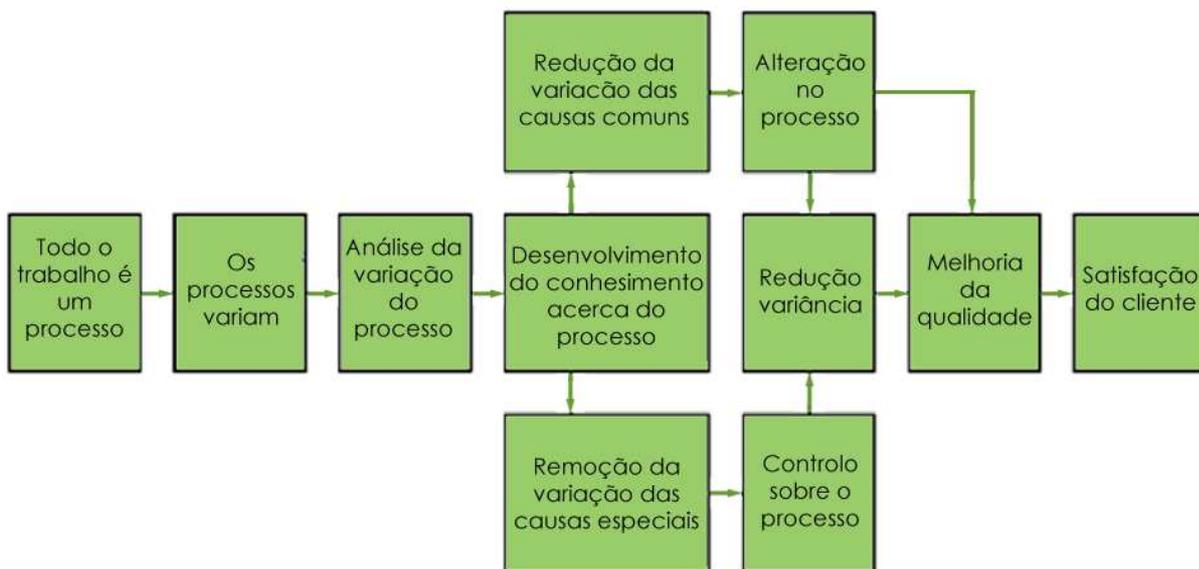


Figura 7 – O pensamento estatístico que visa a melhoria de qualidade [37].

Todos os dias as pessoas em certas fábricas escrutinam juntas os resultados da produção do dia anterior, e começa a batalha do costume acerca do produto ser aceitável de enviar para o cliente. Esta tradição é associada com a tentativa de encontrar uma resposta à pergunta: "Será que fizemos o trabalho correctamente?" - e por "correctamente" entende-se um termo flexível dado à interpretação nesse mesmo dia da especificação do cliente em causa. Isto não

é controlo de qualidade, isto é detecção de pós-produção, detecção e segregação de produto desperdiçado antes que seja enviado para o cliente [18]. Existe a crença generalizada nalguns meandros da indústria em que para que se atinja a qualidade desejada tem-se de verificar, testar, inspeccionar e medir - um mau costume afeiçoado à qualidade no final do processo - e essa qualidade, é, por conseguinte, muito cara.

A melhoria de qualidade (através de um melhor controlo) melhora o rácio em que o cumprimento de uma norma acordada é alcançado por cada vez mais entidades. É, portanto, um processo que visa a redução da do alcance da variância para que, desde modo, todos os produtos cumpram as normas acordadas. A performance dos produtos ou dos processos podem variar devido tanto às causas de variação comuns como às especiais. Ao investigar os sintomas da falha e ao determinar a causa raiz, as causas especiais podem ser eliminadas e as causas comuns reduzidas para que a performance do processo se possa tornar viável. Uma típica melhoria de qualidade deste tipo pode ser a redução do alcance da variação de um tal modo que o valor médio de um certo parâmetro coincida com o valor nominal (i. e. colocar o parâmetro sob controlo.) Outro exemplo poderá ser a redução do rácio de um defeito de 1/100 para 1/1.000.000. Outro poderá ser simplesmente a correcção dos pontos fracos no modelo de gestão da qualidade implementado para que passe na reavaliação e recertificação das auditorias externas independentes [27].

A melhoria da qualidade através da inovação é a subida de nível que um padrão aceite é atingido. Novos padrões/normas são criados através de um processo que começa no estado da factibilidade e passa pelos estados de pesquisa e desenvolvimento para resultar numa nova norma, provado através de inúmeros testes práticos. Tais normas resultam da inovação na tecnologia, no marketing e na gestão. Uma melhoria típica deste tipo pode ser o redimensionamento um leque de produtos para atingir uma fiabilidade de 1 falha em cada 5.000 horas para 1 falha em cada 100.000 horas.

A transição entre onde a melhoria de qualidade para e onde o controlo da qualidade começa é quando o nível foi estabelecido e os mecanismos estão na posição de partida para manter a qualidade no nível estabelecido, ou, se possível, num superior. Por exemplo, se a melhoria de qualidade reduz os custos de qualidade de 25 % para 10 % então o objectivo do controlo de qualidade é impedir que os custos de qualidade ultrapassem os 10 %. Melhoria através de um controlo melhor é atingida por intermédio de mecanismos de acções correctivas. Melhoria através da subida de *standards* requer um processo novo, um processo que possa estabelecer, no futuro, novos standards [27]. Exemplo do que está escrito mais acima é a figura 8.

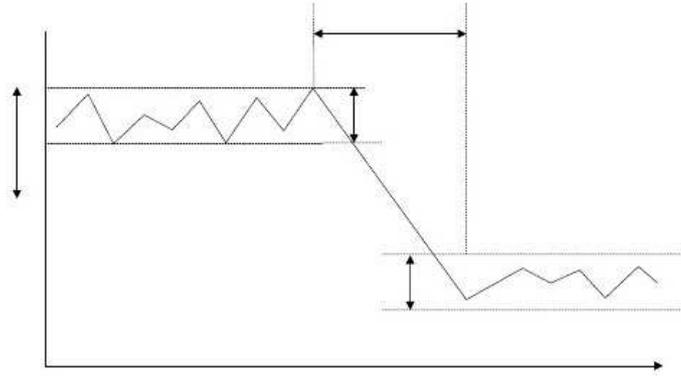


Figura 8 – Controlo de qualidade e melhoria de qualidade [27] [37].

Durante o século passado, a indústria de produção atingiu um grande sucesso na melhoria da qualidade dos produtos fabricados. Um factor essencial no alcance deste sucesso foi o uso do trabalho pioneiro de Walter A. Shewhart no controlo económico da variância, que culminou no desenvolvimento de uma simples mas poderosa ferramenta gráfica conhecida como carta de controlo [38]. Esta carta classifica a variação como tendo uma causa comum ou uma causa especial e então após, guia o utilizador para tomar a acção mais apropriada para efectuar uma melhoria. Segundo Walter A. Shewhart [39]:

*“...A aplicação de métodos estatísticos na indústria de produção torna possível o mais eficiente uso da matéria-prima e dos processos de fabrico, afecta a economia de produção e torna possíveis os mais altos padrões económicos de qualidade para os bens produzidos e usados por todos os nós...”*

Mas como poder-se-á reduzir a variância e consequentemente obter uma melhoria de qualidade? Como vimos ao longo deste capítulo, o conceito do controlo estatístico do processo (CEP) surge com alguma frequência e é compreendido por vários autores como a voz do processo e o pilar da melhoria da qualidade, portanto é lhe atribuída uma importância vital pelos mesmos, visto que é um método estatístico que analisa certas características de um certo produto e que tem como objectivo a redução da variância, a partir da qual consegue-se um alcance de um novo nível de qualidade por ter a capacidade de criar condições para que melhorias possam ser feitas no processo [40].

“No tengas miedo a la perfección, nunca la alcanzarás.”  
*“Não tema a perfeição – pois nunca irá alcançá-la.”*  
Salvador Dalí

## Capítulo 3

### O Controlo Estatístico do Processo

O desenvolvimento deste capítulo começa no significado do controlo estatístico do processo (CEP) e a sua importância com o objectivo de responder à pergunta: “O que é o CEP?” e passa pela explanação de algumas ferramentas do CEP. Após feita essa abordagem introdutória, inicia-se a descrição das cartas de controlo, passando pelo processo de selecção da carta de controlo, pela recolha dos dados, pelas causas de variação, pela temática da exactidão e da precisão e acabando no uso e nos benefícios obtidos a partir das cartas de controlo.

O capítulo está dividido nas seguintes secções e conteúdos: o item 3.1 destaca o significado e a importância do controlo estatístico do processo; os subitens 3.1.1, 3.1.2 e 3.1.3 abordam algumas ferramentas do CEP como a análise da Pareto, o diagrama de causa-efeito e o histograma. O item 3.2 esclarece o conceito das cartas de controlo, o processo de selecção das mesmas para o uso mais adequado; o subitem 3.2.1 fala sobre a maneira de recolher os dados; o subitem 3.2.2 inicia a exposição da temática das cartas de controlo, como são construídas e elucida as causas de variação; o subitem 3.2.3 clarifica a diferença entre exactidão e precisão e finalmente o subitem 3.2.4 torna elucidativo o uso e os benefícios obtidos a partir das cartas de controlo.

### 3.1 O que é o CEP

Quando fala-se do CEP, não se fala só de estatística e de controlo, fala-se de competitividade. As organizações, independentemente do ramo de negócio, competem em três frentes: qualidade, entrega e preço. Poucas dúvidas restam quando se enuncia que a boa reputação das organizações quanto à qualidade dos seus produtos e serviços é um elemento-chave para o sucesso e a garantia do futuro dos seus colaboradores [18]. Mais ainda, se a qualidade for a certa, há grandes possibilidades da entrega e dos preços também serem competitivos. A implementação correcta do CEP ira conduzir para decisões baseadas em factos, uma crescente percepção da qualidade a todos os níveis, uma abordagem sistemática na resolução de problemas, acumulação de experiência, e todo e qualquer tipo de melhorias, especialmente na comunicação.

CEP é um conjunto de ferramentas para a gestão dos processos e para a determinação e monitorização da qualidade dos outputs de uma organização. É também uma estratégia para reduzir a variância dos produtos, entregas, processos, materiais, atitudes e equipamentos. A pergunta que precisa de ser feita continuamente é "Podemos fazer o trabalho melhor?"

O controlo estatístico do processo (CEP) é um método de gestão que nasceu nos Estados Unidos da América mas foram os japoneses que primeiro entenderam o seu valor e o importaram e implementaram [41]. Ignorado durante décadas na América, enquanto auxiliou o Japão a tornar-se líder mundial no que toca à qualidade. Só nas últimas duas dúzias de anos o ocidente redescobriu o CEP para dar início à conquista pela melhoria de qualidade.

Certos conceitos do CEP são aplicáveis a certos processos, mas não são universalmente aplicáveis a todos os processos. Uma aplicação bem-sucedida destas ferramentas requer um bom entendimento dos métodos e das limitações das mesmas.

O CEP, uma técnica a qual os defensores advogam que irá melhorar a qualidade de todos os produtos em todas as indústrias, foi desenvolvido nas "partes discretas" das indústrias de produção. O sucesso do CEP é inquestionável na indústria de fabrico. [40].

O nome do CEP por vezes certos equívocos e pode criar a falsa noção de que é um algoritmo de controlo, ou que pode ser usado para fornecer um feedback para o processo. O controlo estatístico do processo é um método de análise baseado na estatística que analisa os dados recolhidos do processo, e desejavelmente, que presta um auxílio ao engenheiro do processo ou de controlo de qualidade em detectar e efectuar possíveis melhorias no processo.

O CEP não é um sinónimo de Controlo de Qualidade. Não mede a qualidade directamente. Em vez disso, é uma ferramenta analítica que indica a possível existência de uma qualquer

condição corrigível e que causa uma variação indesejada e que afecta a qualidade do produto e que uma acção correctiva poderá reduzir a variação [40].

O CEP é uma das muitas ferramentas disponíveis para assegurar uma qualidade óptima, mas para que o seu uso seja eficaz é necessário utiliza-la em conjunto com outras ferramentas, tal como a análise de Pareto, FMEA, diagramas de causa e efeito, sinópticos, histogramas e estudos de capacidade do processo [42]. Esta dissertação irá concentrar-se nas cartas de controlo.

Todos os processos têm problemas que necessitam de ser resolvidos, e as ferramentas do CEP são universalmente aplicáveis ao emprego de toda gente - gestor, operador, secretário, químico, engenheiro, etc. A formação no uso dessas ferramentas deve ser disponível para todos dentro de uma organização, para que cada operador possa contribuir para a melhoria da qualidade no seu trabalho. Normalmente, o pessoal qualificado é o foco principal da formação em CEP, com a concentração nas ferramentas mais técnicas, como as cartas de controlo. Outras ferramentas básicas, como fluxogramas, folhas de verificação, diagramas de causa-efeito e os diagramas Pareto, estão bem dentro da capacidade de todos os empregados. Uma compreensão das ferramentas e como usá-los não requer nenhum conhecimento prévio de estatística. No entanto ensinar simplesmente as ferramentas individuais CEP aos operadores não é suficiente. Fazer uma transição bem-sucedida a partir de exemplos teóricos para aplicação no terreno é a chave para a implementação bem-sucedida do CEP e a resolução de problemas.

Um estatístico puro pode reiterar que o CEP é uma aplicação apropriada de ferramentas estatísticas no processo que visa a melhoria contínua na qualidade dos produtos e serviços, e produtividade dos operadores. Não deixa de ser correcto, mas à partida, em muitas organizações, CEP seria melhor definido como uma simples e eficaz abordagem à resolução de problemas passo a passo (ver figura 9) e melhoria do processo ou mesmo parar de produzir caos [18].

A responsabilidade pela qualidade em qualquer processo de transformação deve pertencer aos operadores desse mesmo processo - os produtores. No entanto, para transmitir esta responsabilidade, torna-se necessário disponibilizar as ferramentas necessárias para:

- Saber se o processo é capaz de atingir as especificações do cliente;
- Saber se o processo atende às especificações em qualquer ponto específico no tempo;
- Corrigir ou ajustar o processo ou os *inputs* quando não atende às especificações.

O sucesso desta abordagem permitiu que a informação fluísse através da cadeia de fornecedores e das organizações em todas as áreas industriais, incluído aquelas que operam na área dos serviços que aos poucos começam a ter noção do enorme potencial do CEP, em termos de redução de custos, melhoria de qualidade, produtividade e quota de mercado.

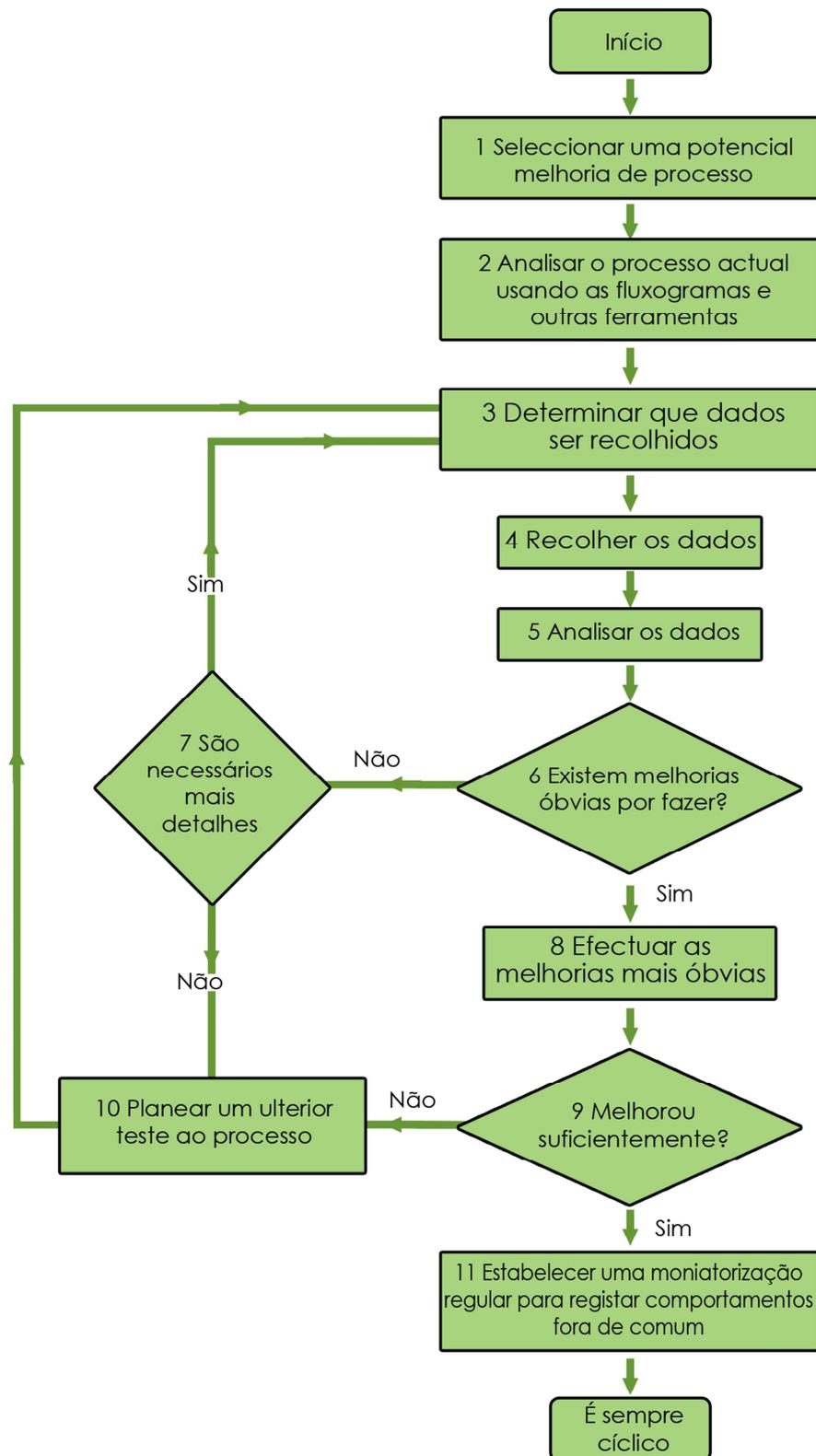


Figura 9 - Abordagem passo-a-passo para desenvolver ou melhorar um processo [18].

### 3.1.1 Análise de Pareto

A Análise de Pareto é uma técnica estatística utilizada na tomada de decisão que permite seleccionar e priorizar um número pequeno de itens capazes de produzir grande efeito na melhoria dos processos. Esta ferramenta tem a sua funcionalidade gerada através de um gráfico de barras que identifica as frequências dos registos ou ocorrências num processo, de maior para menor, permitindo a priorização no que diz respeito sobre acções.

Podemos através do diagrama de Pareto filtrar os problemas menores dos maiores, onde é claro que as falhas maiores necessitam de acções mais dinâmicas e urgentes, os problemas ou falhas menores necessitam de acções por igual, e quando se torna disponível a visualização do grau de importância de cada falha sempre devemos originar a acção correctiva sobre a mais crítica [43].

### 3.1.2 Diagrama de causa-efeito

O também chamado de diagrama de espinha de peixe ou diagrama de Ishikawa é uma representação gráfica que permite a organização das informações o que possibilita a identificação das possíveis causas de um determinado problema ou efeito (ver figura 10).

Mostra-nos as causas principais de uma acção, as quais dirigem para as sub-causas, levando ao resultado final. Embora não identifique, ele próprio, as causas do problema, o diagrama funciona como um veículo para produzir com o máximo de foco possível, uma lista de todas as causas conhecidas ou presumíveis, que potencialmente contribuem para o efeito observado. O diagrama pode não identificar as causas, mas nenhuma outra ferramenta organiza tão bem a busca [44].

Na indústria, as causas primárias potenciais são conhecidas como factores de produção ou 6 M's .Pode considerar-se os 6 M:

- Materiais
- Métodos
- Máquinas/meios
- Mão-de-obra
- Medidas
- Meio ambiente

Quando se utiliza o diagrama de causa-efeito:

- Quando há a necessidade de identificar todas as causas possíveis de um problema.
- Obter uma melhor visualização da relação entre a causa e o efeito delas decorrentes
- Classificar as causas dividindo-as em sub-causas, sobre um efeito ou resultado.
- Para saber quais as causas que estão a provocar este problema.
- Identificar com clareza a relação entre os efeitos e suas prioridades.
- Na análise dos defeitos: perdas, falhas, desajuste do produto, etc. com o objectivo de identificá-los e melhorá-los.
- Utilizar em conjunto com a Análise de Pareto, para revelar a causa mais dominante.

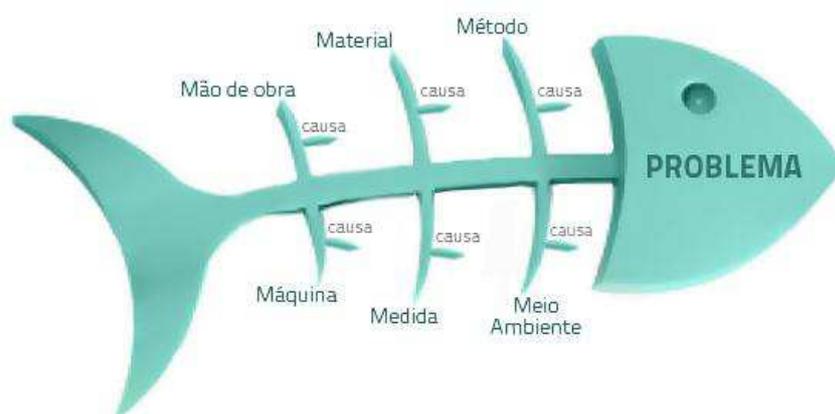


Figura 10 - Diagrama de causa-efeito [89].

Na construção dum Diagrama de causa-efeito, costuma-se ignorar se estas causas são ou não responsáveis pelos efeitos. Por outro lado, quando bem estruturado, constitui uma ajuda fundamental para que as partes interessadas tenham uma concessão comum de um problema complexo, com todos os seus elementos e relações claramente visíveis a qualquer nível de detalhe requerido [45].

Este diagrama pode também ser utilizado para outros propósitos que não o da análise de causa principal. O formato desta ferramenta ajusta-se bastante bem ao planeamento. Apesar de existir um esqueleto a ser preenchido, não há restrição às acções dos participantes quanto às propostas a serem apresentadas e permite ter uma visão ampla de todas as variáveis que interferem no bom andamento da actividade, ajudando a identificar a não-conformidade.

### 3.1.3 Histograma

O histograma é uma das ferramentas estatísticas da qualidade e é utilizado para representar graficamente uma grande quantidade de dados numéricos (ver figura 11). Através da análise do histograma é possível interpretar estas informações de forma mais fácil e simples, do que acompanhar uma tabela grande ou um relatório só com números e/ou valores [46]. Definido por Kume como uma ferramenta de visualização de uma grande quantidade de dados de uma amostra de uma população. É um método rápido para exame, que por meio de uma organização de muitos dados, permite conhecer a população de maneira objectiva [47].

A aplicação desta ferramenta na gestão da Qualidade tem um número considerável de utilidades. Inicialmente, exemplifica como se pode descrever, de forma simples e eficiente, uma dada situação; estimula o uso de imagens como elementos básicos de descrição da realidade e induzem as pessoas a utilizar visões globais dos processos para melhor entendê-los. Dessa forma, a sua aplicação tem reflexos na concepção e na implantação de métodos de gestão [48].

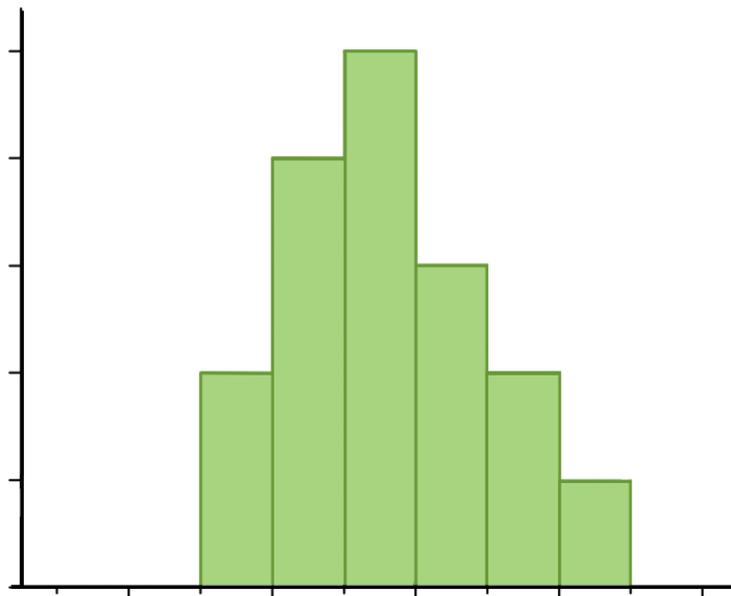


Figura 11 – Histograma.

Os histogramas também são construídos com uma certa quantidade de dados. Quando o número dos dados aumenta consideravelmente, há a tendência de se criar uma representação gráfica de uma curva suave. Entre as mais típicas e características, ocorre a distribuição da curva normal.

## 3.2 Cartas de Controlo

A origem desta técnica gráfica é geralmente associada com a publicação do livro de Shewhart em 1931. Foi aqui que o conceito de cartas de controlo foi introduzido pela primeira vez. Assenta no pressuposto de que as características mensuráveis de produtos manufacturados estão sempre sujeitas a algumas variações incontroláveis. A definição destas variações está baseada em estatísticas apropriadas e com a ajuda de imagens gráficas [19].

As cartas de controlo são utilizadas para verificar a estabilidade do processo. Neste contexto, refere-se a um processo de estar em "controlo estatístico" se a probabilidade da distribuição de uma dada característica qualitativa for constante ao longo do tempo [49]. Se acontecerem alterações após algum tempo nesta distribuição, o processo é designado de "fora de controlo". Esta definição tradicional do controlo estatístico tem sido generalizada ao longo dos anos para incluir os casos em que um modelo estatístico subjacente dum característica de qualidade é estável ao longo do tempo.

A introdução da carta de controlo auxilia na determinação das capacidades do processo de produção. Uma acção é tomada quando esses recursos estimados são insatisfatórios em relação às especificações do projecto. Além disso, uma vez que a capacidade de processo foi determinada, e é satisfatória, uma acção é tomada apenas quando o gráfico de controlo indica que o processo está fora do controlo estatístico.

A carta de controlo de Shewhart ainda é, sem dúvida, a mais importante e única ferramenta estatística no controlo de qualidade e na melhoria do processo [50]. A ideia de Shewhart foi surpreendentemente simples: se acompanhar o processo de fabricação regularmente, conseguirá:

- Saber como o processo deve funcionar e
- Saber quando não funciona

Para isso, ele desenvolveu a carta de controlo. No contexto de uma indústria de produção de peças, onde os itens são produzidos num fluxo regular, envolve a medição de um parâmetro chave de qualidade, em intervalos regulares, medindo várias peças de cada vez e o esboçar do valor médio e desvio de cada subgrupo entre certos limites lineares, tal como exemplificado no subtítulo **3.2.1 A carta de controlo e as causas de variação**.

A compreensão da variância traduzida em valores de uma característica qualitativa é de uma importância vital para o CEP. A existência das causas comuns de variação deve-se à natureza inerente do próprio processo e este não pode ser alterado sem que se mude o próprio processo. As causas assinaláveis ou causas especiais de variação podem ser vistas como choques invulgares ou outras perturbações do processo, causas que podem e devem ser removidas. Um propósito das cartas de controlo, as ferramentas de eleição do CEP, é distinguir os dois tipos de variação com o que permite prevenir um hipotético excesso e/ou negligente intervenção no processo. A distinção entre causas comuns e causas especiais depende do contexto [49]. Uma causa comum hoje poderá ser uma causa especial amanhã. A designação também pode mudar após uma alteração no sistema de amostragem. Só é prudente reagir quando uma causa tem um impacto suficiente tal que seja prático e económico removê-la a fim de melhorar a qualidade.

Parafraseando Shewhart:

*"...Um fenómeno considera-se controlado quando, através do uso da experiência acumulada, podemos prever, nem que seja entre certos limites, como o fenómeno poderá variar no futuro. Por aqui entende-se que a previsão dentro de certos limites significa que é possível estabelecer, aproximadamente, a probabilidade do fenómeno observado irá encontrar-se dentro dos mesmos limites [51]."*

A selecção adequada das cartas de controlo é essencial para a implementação efectiva do CEP e o seu uso. Existem muitas cartas que usam técnicas estatísticas. É muito importante usar a carta adequada consoante os dados, a situação e a necessidade. Alguns gráficos "rudimentares" permitem um processamento básico, contudo valioso dos dados e devem ser considerados como alternativas práticas. Deste leque de gráficos fazem parte: gráficos de execução, histogramas, análise de Pareto, gráficos "fatias de pizza", diagramas de dispersão e gráficos de distribuição da probabilidade.

Há também gráficos avançados que proporcionam análises estatísticas mais eficazes porque utilizam análise estatística mais sofisticada, incluindo limites de acção, normalmente de dois indicadores, em oposição à informação fornecida normalmente pelos gráficos rudimentares, bem como outros indicadores especiais, dependendo do próprio gráfico [52]. Estes chamam-se de Cartas de Controlo. Os dois tipos básicos de gráficos avançados, isto é, cartas de controlo, e que dependendo do tipo de dados colhidos são os por variáveis e por atributos (ver figura 12).

- As cartas por controlo de variáveis são projectadas para controlar parâmetros do produto ou do processo, que são medidos numa escala contínua de medição, tais como libras, polegadas, milhas, etc., em vez de quantidade de produtos defeituosos. Para dados variáveis, as cartas habitualmente utilizadas são cartas de controlo da média ( $\bar{x}$ ), amplitude R e cartas para valores individuais. As outras duas, raramente usadas, são as cartas de controlo da mediana e do desvio-padrão.
- Atributos são características de um processo que se expressam em termos de bom ou mau, aceitar ou rejeitar, OK e NOK, etc. As cartas de controlo por atributos não são tão sensíveis à variação como as por variáveis. No entanto, quando lidam com atributos e usadas de um modo apropriado, especialmente pela incorporação de uma análise de Pareto em tempo real, podem tornar-se em eficazes ferramentas de melhoria. Para análise dos dados por atributos, existem cartas  $p$ , cartas  $np$ , cartas  $c$  e cartas  $u$ .

### Processo de selecção das cartas de controlo

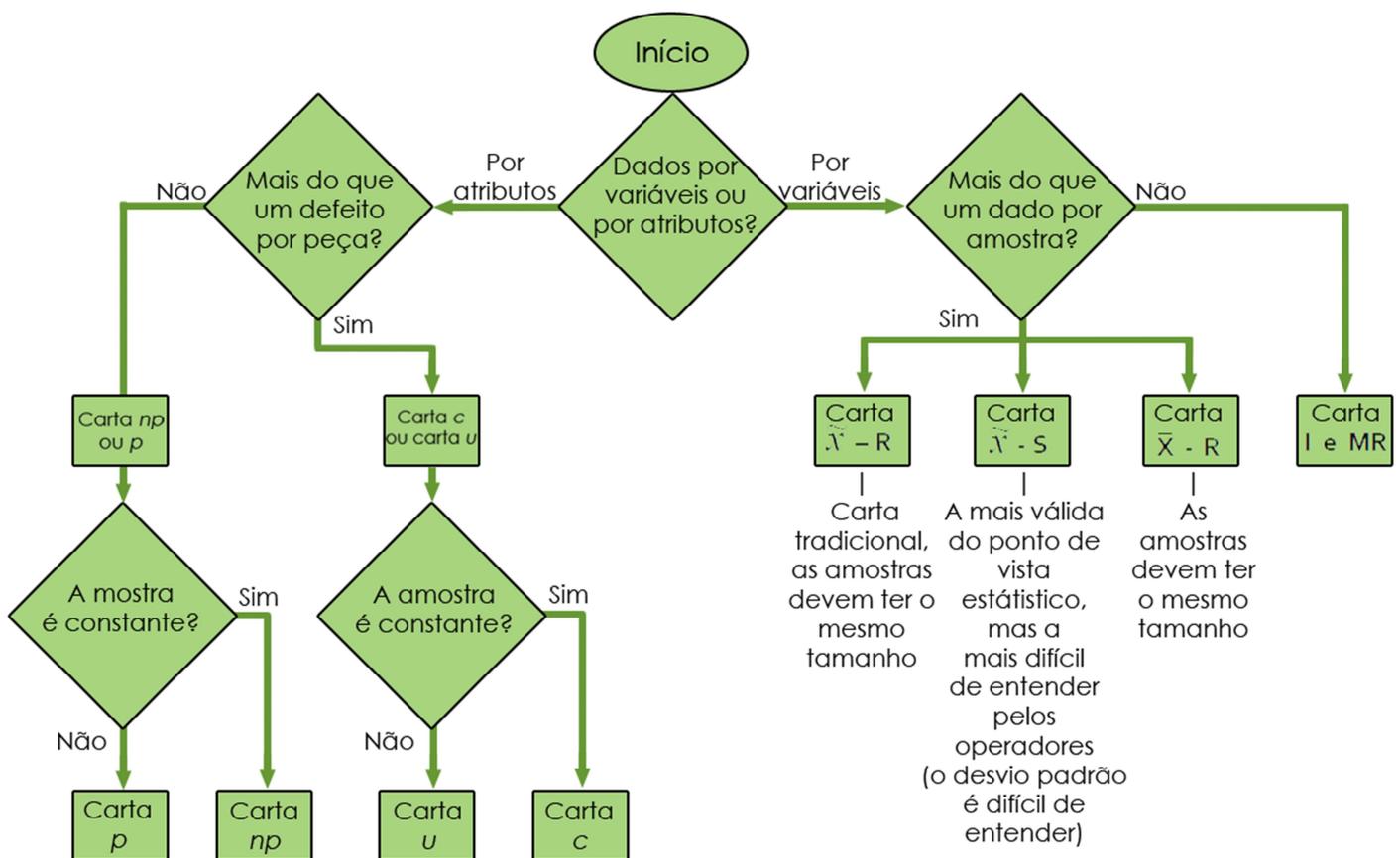


Figura 12 - Processo de selecção da Carta de Controlo adequada às necessidades [52].

Existem quatro tipos de carta por atributos [53]:

- Carta  $p$  para fracção de não-conformes (as amostras podem ser de tamanhos diferentes);
- Carta  $np$  para número de unidades não-conformes (as amostras devem ter o mesmo tamanho);
- Carta  $c$  para número de não-conformidades (as amostras devem ser do mesmo tamanho);
- Carta  $u$  para número de não-conformidades por unidade (as amostras podem ser de tamanhos diferentes).

Existem também quatro tipos de carta por variáveis:

- A carta de controlo para a média ( $\bar{x}$ ) e amplitude ( $R$ ) é adequada quando são utilizados subgrupos constituídos entre 2 e 9 amostras. Das cartas de controlo por variáveis essa é a mais aplicada na indústria [54].
- Recomenda-se o uso da carta para o desvio-padrão ( $\bar{x} - S$ ) quando: a) os dados forem recolhidos por um computador e for fácil de implementar uma rotina de cálculo, b) os processos forem sofisticados, controlados por especialistas e c) as amostras forem grandes (subgrupos de tamanho  $n > 10$ ).
- A carta de controlo para a mediana ( $\bar{X}$ ) e amplitude ( $R$ ) é a aplicada quando a) a mediana é mais fácil de calcular que a média e b) a mediana é robusta à presença de dados atípicos.
- A carta de controlo para valores individuais usa-se quando a) taxa de produção muito baixa (por ex: 1 produto por dia), b) testes muito caros (por ex: testes destrutivos ou que exijam a parada da produção) e c) características muito homogéneas, que variam muito lentamente (por ex: um digestor químico).

Uma carta de controlo é um dispositivo destinado a ser utilizado no momento da operação em que o processo é realizado e pelos operadores do mesmo. Os resultados estão representados num gráfico que reflecte a variação no processo. Como se pode ver na figura 13, o gráfico de controlo tem três zonas e as acções a aplicar dependem da zona em que os resultados aparecem. As possibilidades são:

- Seguir em frente ou não intervir (zona estável - apenas causas comuns de variação).
- Tenha cuidado e busque mais informações, pois o processo pode mostrar causas especiais de variação (zona de aviso).

Agir, investigar ou, se for o caso, ajustar o processo (zona de acção - estão presentes causas especiais de variação).

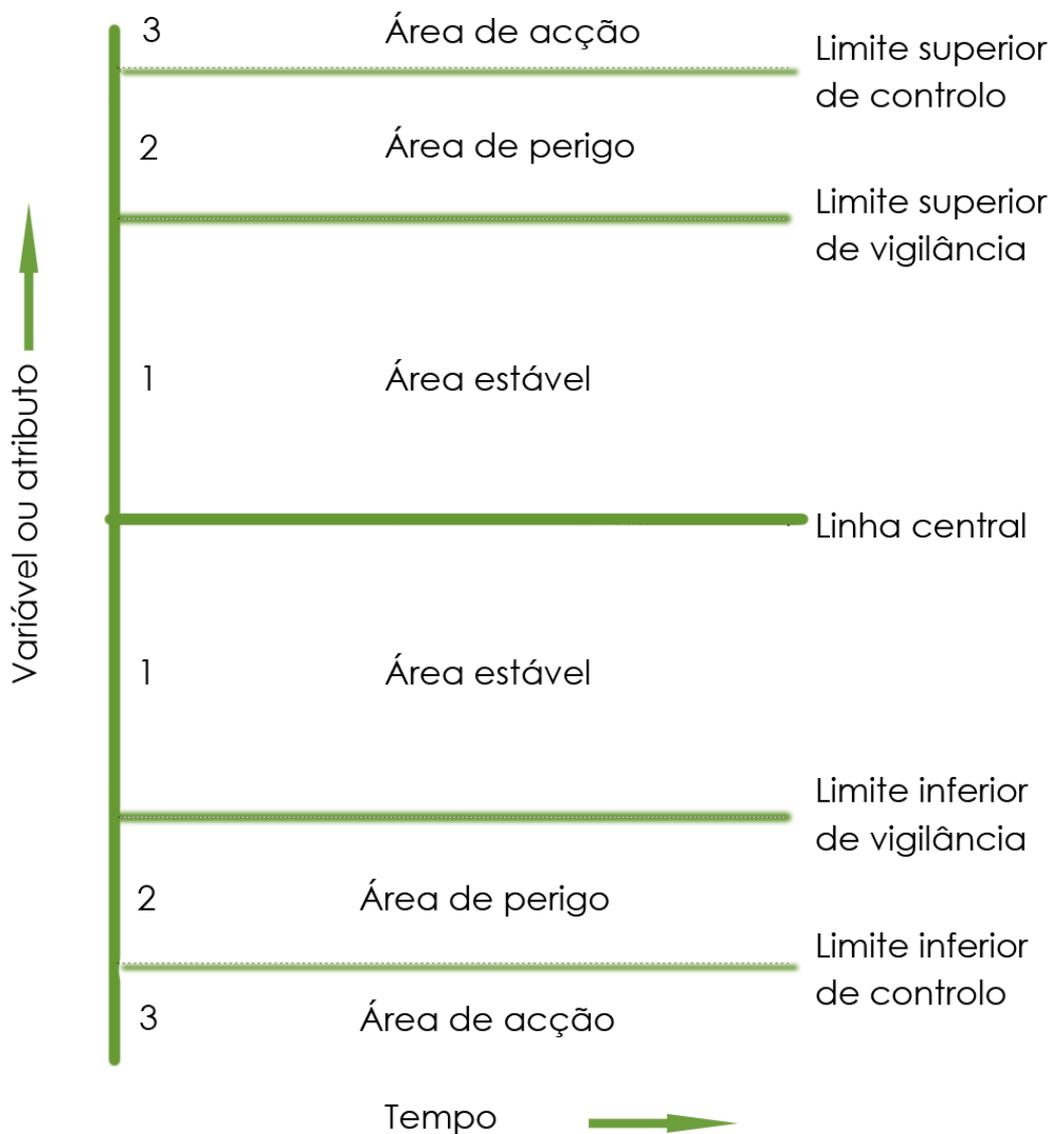


Figura 13 - Esquematização de uma carta de controlo [18]

### 3.2.1 Recolha dos Dados

Os dados devem formar a base para a análise, decisão e acção, e o modo como estes dados são apresentados obviamente que difere de processo para processo. A informação é recolhida para descobrir a estado real do processo. Estes dados podem ser usados como uma parte dum sistema de controlo do produto ou do processo, e é importante saber em primeiro lugar o objectivo para qual os dados são colhidos. Deve ser dada uma plena consideração à razão para qual é feita a recolha de dados, às técnicas correctas de amostragem e à estratificação. Os métodos de recolha de dados e dos valores arrecadados devem ter em conta a necessidade de informação e não a facilidade de recolha em si; não deve haver uma quantidade desproporcional de um certo tipo de dados, simplesmente porque podem ser recolhidos facilmente.

Sem registos a análise não é possível. Regista-se o que se observa e não o facto de que houve uma observação, o que torna possível a análise e também melhora a fiabilidade dos dados registados. Existem dois tipos de dados numéricos: variáveis que resultam da medição, e por atributos que resultam da contagem. Os métodos de recolha de dados e o formato de apresentação devem ser projectados para que sejam uma reflexão da proposta de utilização dos dados e dos requisitos daqueles que foram encarregues pelo registo. Também é necessária uma facilidade de acesso aos mesmos [18]. Na prática, a melhoria dos processos, muitas vezes pode ser alcançada pela apresentação correta dos dados. Em muitos casos, ao longo de muitos anos, Oakland [18] observou que a performance dos registos, e a apresentação de forma adequada dos dados, muitas vezes é o primeiro passo para uma maior compreensão do comportamento do processo pelas pessoas envolvidas.

O desenvolvimento das cartas de controlo deve-se a medição duma característica particular ou funcionalidade dum certo processo. Estas medições são combinadas então, num dado estatístico (ex.: média, mediana, desvio padrão, etc.) [6]. Os dados das medições são recolhidos a partir de amostras provenientes do processo e as amostras são recolhidas em subgrupos - estas podem consistir de uma ou mais peças.

Para que as cartas de controlo sejam eficazes o plano da recolha de amostras deve prever subgrupos racionais. Um subgrupo racional é um subgrupo no qual as amostras são seleccionadas de tal modo que a probabilidade de haver uma variação devido a uma causa especial dentro do subgrupo seja minimizada e por conseguinte, que a probabilidade de haver uma variação devido a uma causa especial entre os subgrupos seja maximizada.

### 3.2.2 A carta de controlo e as causas de variação

Na base da teoria do controlo estatístico do processo está uma diferenciação das causas de variação durante a operação de qualquer processo, seja este um processo de lubrificação ou de venda. Algumas variações pertencem à categoria do acaso ou no campo do aleatório, sobre o qual pouco ou nada pode ser feito, além de fazer-se uma revisão ao processo. Este tipo de variação é a soma duma miríade de efeitos de uma complexa interacção de causas comuns, muitas das quais são triviais. Quando existem variações aleatórias de um modo isolado, não é possível traçar as causas. Isto é análogo ao conjunto de factores que causam uma moeda após atirada, pousar como cara ou como coroa. Quando apenas causas comuns de variação estão presentes num processo, então este é considerado como "estável", 'sob controlo estatístico' ou 'sob controlo'.

Causas de variação que são de uma grandeza notável e facilmente identificáveis são classificadas como causas "assinaláveis" ou "especiais" [18]. Quando causas especiais de variação estão presentes, a variação será excessiva e o processo é classificado como 'instável' ou 'fora de controlo estatístico ". A presença de causas especiais pode significar adulteração ou ajuste desnecessário do processo, quando este é inerentemente estável, e variações estruturais causadas por factores tais como as quatro estações do ano.

É importante para determinar o alcance da variância quando um processo é estável ou 'sob controlo", de modo que os sistemas possam ser configurados para detectar a presença de causas especiais. Um estudo sistemático do processo proporciona então o conhecimento da variância e da capacidade do processo, e das causas especiais - potenciais fontes de mudança nos outputs. O conhecimento do estado actual do processo também permite um julgamento mais equilibrado das limitações de todos os tipos de recursos no que diz respeito às tarefas dentro de sua capacidade e da sua utilização racional.

A mudança na distribuição do processo devido a causas especiais pode ser benéfica ou prejudicial [6]. Quando é prejudicial, estas tem que ser compreendidas e depois removidas. Quando são benéficas, devem ser compreendidas e transformadas numa parte permanente do processo.

Quanto a variação e sua natureza, em termos de causas comuns e especiais, esta pode ser determinada através da realização de cálculos estatísticos simples com base nos dados do processo, a partir dos quais podem ser estabelecidos limites de controlo - utilizados nos gráficos de execução simples (ver figura 14). Isto ilustra a extensão da variação que é visível no processo devido a todas as causas comuns, e indica a presença de quaisquer causas especiais. Se ou quando as causas especiais foram identificadas, contabilizadas ou eliminadas, habilitam os limites de controlo de informar a gestão para que esta possa efectuar uma previsão do futuro desempenho do processo com alguma confiança.

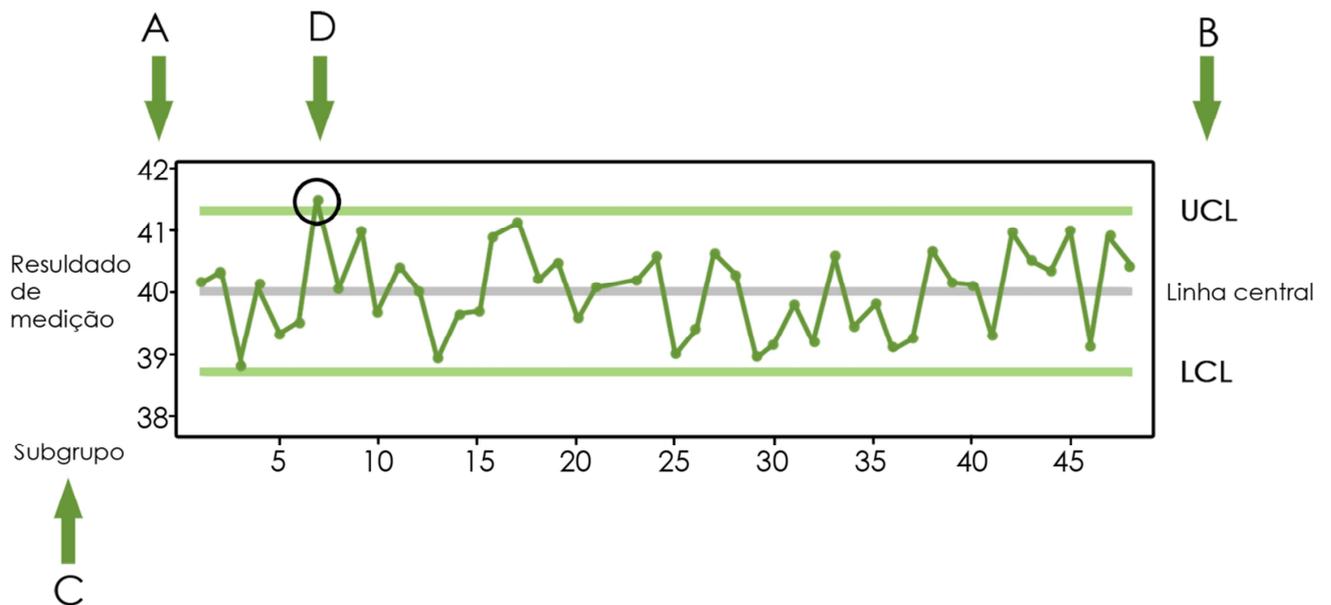


Figura 14 - Exemplo de uma Carta de Controle [6]

Explicação dos pontos assinalados na figura:

A - Escala - As escala deve ser de tal modo dimensionada para que o gráfico seja facilmente visível.

B - UCL, LCL - A capacidade de identificar pontos fora de controlo requer limites de controlo baseados na distribuição por amostragem [6]. Os limites especificados pelo cliente nunca devem ser usados para substituir os limites de controlo, obtidos a partir do desempenho do processo. O gráfico de controlo também requer uma linha central baseada na distribuição por amostragem de modo que seja possível a identificação de padrões não-aleatórios.

C - Sequência de subgrupos/eixo temporal - A manutenção da sequência na qual os dados são recolhidos fornece duas informações, a primeira: de quando a causa especial ocorre e a segunda: se a mesma tem orientação temporal.

D - Identificação de pontos fora de controlo - Os pontos registados que estão fora de controlo devem ser identificados na carta de controlo. Para que exista uma utilização eficaz da carta é necessário que sempre que se acrescenta uma nova amostra seja efectuada uma nova identificação e análise das causas especiais tal como revisões periódicas de toda a carta com o objectivo de despistar padrões não-aleatórios.

### 3.2.3 Exactidão vs. Precisão

No decorrer de uma análise aos dados recolhidos dum certo processo, muitas vezes pode-se instalar a confusão quanto a distinção entre exactidão e precisão. Para efectuar uma clara distinção deste tipo é necessário analisar vários resultados obtidos e não um só resultado individual. A figura 15 também pode auxiliar na compreensão desta distinção.

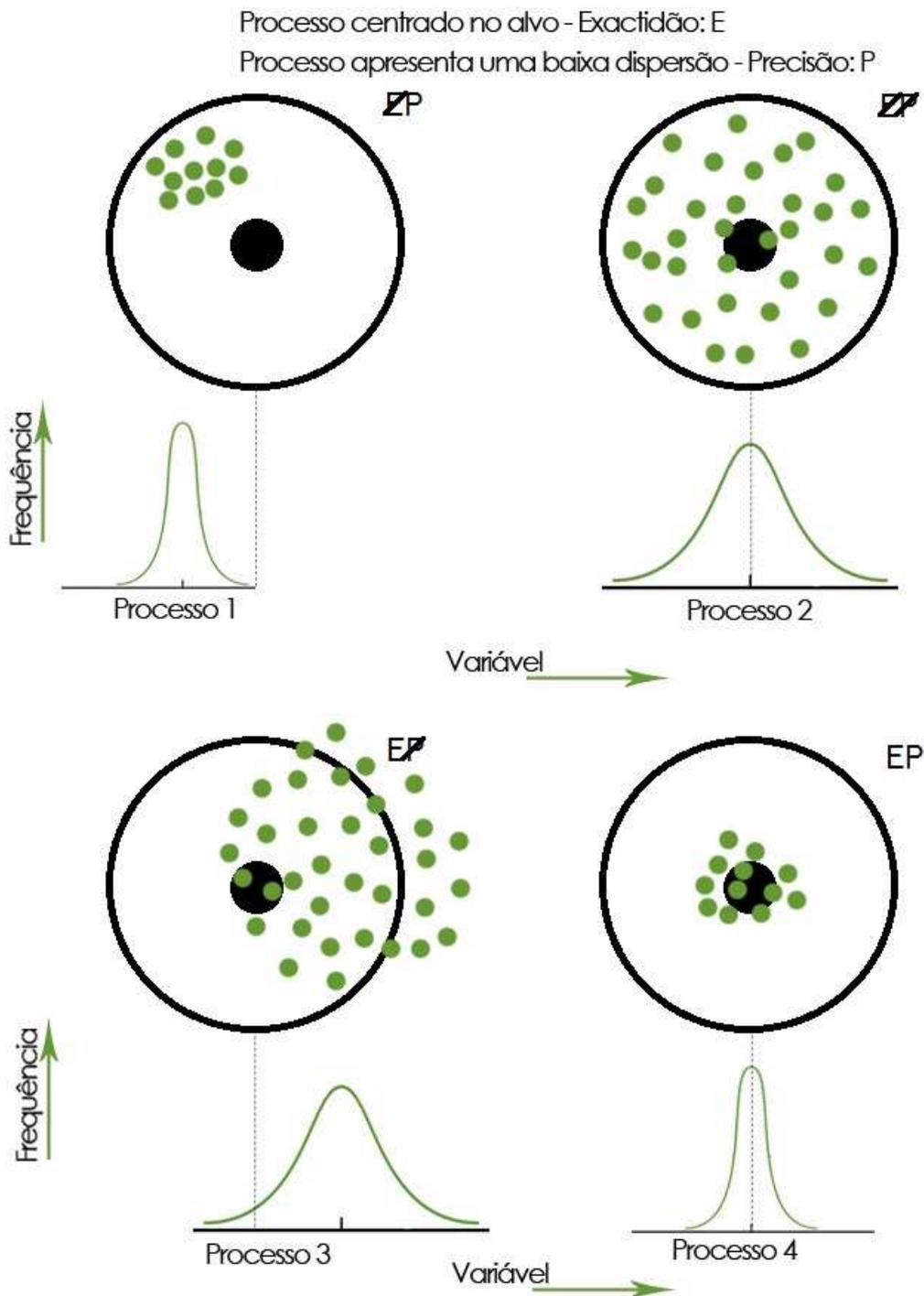


Figura 15 - Exactidão vs. Precisão [18]

Existem vários pontos a ter em conta:

- A exactidão dum processo é a capacidade atingir o valor-alvo ou valor nominal
- A precisão dum processo é a o grau de dispersão dos valores colhidos
- A tomada de decisões sobre os ajustes a ser feitos num processo, com base no resultado duma medição, pode originar um resultado indesejável, devido à falta de informação sobre a precisão e a exactidão do processo;
- O ajuste necessário para a correcção da falta de exactidão do processo é susceptível de ser "mais simples" do que uma extensa investigação, geralmente necessária para compreender ou corrigir problemas duma ampla dispersão ou variação.

### **3.2.4 O uso e os benefícios obtidos a partir das cartas de controlo**

Benefícios muito importantes podem ser obtidos a partir de um uso adequado das cartas de controlo. Os ganhos e os benefícios das cartas de controlo estão directamente relacionados com o que se segue:

Filosofia da Gestão: como a organização é gerida pode ter uma influência directa na eficácia do CEP. Assim, alguns tópicos a ser seguidos são:

- Focar a organização na redução da variância.
- Estabelecer um ambiente livre o que minimiza a competição interna e estimula o trabalho multifuncional em equipa.
- Apoiar e financiar a formação dos operários e das supervisões no uso propício e adequado do CEP.
- Demonstrar interesse e apoio na aplicação e no benefício dos resultados de um uso adequado do CEP. Fazer visitas regulares e fazer perguntas nestas áreas.
- Aplica o CEP nos dados da Gestão e usar essa informação nas decisões do dia-a-dia.

Filosofia da Engenharia: Como a engenharia utiliza os dados para os projectos pode e terá uma influência no nível e no tipo de variância no produto acabado. Assim, alguns tópicos a ser seguidos são:

- Focar a organização do departamento da engenharia na redução da variância ainda na concepção do projecto. Por exemplo: número de alterações no projecto.

- Estabelecer um ambiente livre no departamento da engenharia o que minimiza a competição interna e estimula o trabalho multifuncional em equipa.
- Apoiar e financiar a formação dos operários e das supervisões no uso propício e adequado do CEP.
- Aplicar o CEP para promover a real compreensão da variância durante o processo de engenharia.
- Requerer um entendimento da variância e da estabilidade em relação à medição e aos dados que são usados para o desenvolvimento do projecto.
- Apoiar mudanças da engenharia originadas a partir da análise da informação obtida do CEP com o objectivo de diminuir a variância.

Filosofia da Industrialização: Como a industrialização desenvolve e opera as máquinas e os sistemas de transferência pode ter impacto no nível e no tipo de variância no produto acabado:

- Focar o departamento de industrialização na redução da variância. Por exemplo: manutenção das ferramentas e das máquinas.
- Estabelecer um ambiente livre no departamento da industrialização o que minimiza a competição interna e estimula o trabalho multifuncional em equipa.
- Apoiar e financiar a formação dos operários e das supervisões no uso propício e adequado do CEP.
- Aplicar o CEP para promover a real compreensão da variância durante o processo de industrialização.
- Requerer um entendimento da variância e da estabilidade em relação à medição e aos dados que são usados para o desenvolvimento do projecto.
- Utilizar a informação obtida a partir do CEP como suporte para alterações no processo que visam a redução da variância.
- Não colocar ao dispor dos operadores as cartas de controlo até o processo se tornar estável.
- Assegurar um adequado registo e colocação dos dados e para tornar eficaz o uso desta informação por todos.

Filosofia da Industrialização: Como a industrialização desenvolve e opera as máquinas e os sistemas de transferência pode ter impacto no nível e no tipo de variância no produto acabado:

- Focar o departamento de industrialização na redução da variância. Por exemplo: manutenção das ferramentas e das máquinas.
- Estabelecer um ambiente livre no departamento da industrialização o que minimiza a competição interna e estimula o trabalho multifuncional em equipa.
- Apoiar e financiar a formação dos operários e das supervisões no uso propício e adequado do CEP.
- Aplicar o CEP para promover a real compreensão da variância durante o processo de industrialização.
- Requerer um entendimento da variância e da estabilidade em relação à medição e aos dados que são usados para o desenvolvimento do projecto.
- Utilizar a informação obtida a partir do CEP como suporte para alterações no processo que visam a redução da variância.
- Não colocar ao dispor dos operadores as cartas de controlo até o processo se tornar estável.
- Assegurar um adequado registo e colocação dos dados e para tornar eficaz o uso desta informação por todos

Filosofia da Qualidade - a função da Qualidade é crítica pois fornece o suporte indispensável para a eficácia do processo do CEP:

- Apoio na formação para a gestão, engenharia e para os operadores da organização.
- Orientar pessoas chave na organização com o propósito de se efectuar uma aplicação adequada do CEP.
- Efectuar um devido auxílio na identificação e na redução das origens de variação
- Assegurar um óptimo uso dos dados e da informação obtida a partir do CEP.

Filosofia da Produção: Os colaboradores pertencentes ao departamento da produção estão directamente relacionados com o processo e podem afectar a variância do processo.

- Estar devidamente formado na aplicação do CEP na resolução de problemas.
- Compreender a variância e a estabilidade em relação à forma de medição e dos dados que são usados para o controlo do processo e a sua melhoria.
- Estar em alerta e comunicar quando há uma alteração nas condições.
- Actualizar, manter e exibir as cartas de controlo na área destinada para o efeito.
- Interagir e aprender acerca do processo a partir da informação obtida.
- Usar a informação do CEP em tempo real para executar o processo.

Para um processo que está sob controlo estatístico, os esforços de melhoria vão frequentemente cair sobre a redução da variação das causas comuns do processo. A redução desta variação vai ter como resultado visível o "encolher" dos limites de controlo na carta de controlo (isto é, os limites após o recalculados, vão-se aproximar). Muitas pessoas que não estiverem familiarizadas com as cartas de controlo sentirão que estão a penalizar a melhoria do processo. No entanto, se o processo for estável e se os limites de controlo forem calculados correctamente, a probabilidade de surgir algum ponto fora dos limites de controlo é a mesma independentemente da distância dos limites de controlo [6].

Quanto a recálculo dos limites de controlo, pode-se dizer que, se estes forem devidamente calculados e se não houver alterações na variação das causas comuns então os limites de controlo permanecem legítimos. Quaisquer sinais de variação de causas especiais não requerem um recálculo dos limites de controlo. Para uma análise a longo prazo das cartas de controlo, o melhor é não recalculá-los sempre que possível. Só se justifica quando é efectuada uma alteração no processo.

Deming (1986) e muitos outros argumentam que atender aos limites especificados não é suficiente para assegurar uma boa qualidade e a variância das características qualitativas deve ser reduzida de um tal modo que, os limites sejam "perdidos para lá do horizonte". Assim sendo, para muitas características qualitativas, a melhoria de qualidade corresponde centralização da distribuição da probabilidade das mesmas à volta de um valor alvo e reduzir a variância [55].

“Success is stumbling from failure to failure with no loss of enthusiasm.”

*“O sucesso é um tropeçar de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo.”*

Winston Churchill

## Capítulo 4

### A constituição das Cartas de Controlo

A orientação do capítulo que se segue é no sentido de examinar a constituição de uma carta de controlo, os cálculos inerentes à sua construção bem como alguns dos seus indicadores. Começa-se a analisar a carta de controlo mais utilizada na indústria, a de média e amplitude ( $\bar{x}$ ,  $R$ ), de seguida explana-se a temática dos índices de capacidade. Apresenta um exemplo de uma carta por atributos - a carta  $p$  para fracção de não-conformes e após feita essa abordagem aos tipos de cartas de controlo passa-se pela exposição do tema dos padrões de não-aleatoriedade do processo. E termina com o teste de hipóteses e com a explanação de um teste deste tipo - o teste de Kolmogorov-Smirnov.

Este capítulo está dividido nas seguintes secções e conteúdos: o item 4.1 apresenta a composição de uma carta de controlo de média e amplitude ( $\bar{x}$ ,  $R$ ), os cálculos inerentes à sua construção; o subitem 4.1.1 fala sobre o cálculo dos limites naturais e o subitem 4.1.2 aborda o uso e o cálculo dos índices de capacidade. O item 4.2 esclarece o outro tipo de carta de controlo - a carta por atributos  $p$  para fracção de não-conformes; o subitem 4.2.1 interpreta a capacidade do processo deste tipo de carta. O item 4.3 passa a explicar o significado e a interpretação dos padrões de não-aleatoriedade do processo e o item 4.4 destaca outra ferramenta estatística na composição das cartas de controlo, o teste de hipóteses e um exemplo deste tipo de teste - o teste de Kolmogorov-Smirnov esclarecido no subitem 4.4.1.

## 4.1 Cartas de Controle de média e amplitude ( $\bar{x}$ , $R$ )

Os gráficos de controle de média e amplitude ( $\bar{x}$ ,  $R$ ), normalmente acompanham-se, dado que só se poderá falar num controle da média ( $\bar{x}$ ), se existir um controle da amplitude ( $R$ ). Deste modo, na construção de um gráfico de controle ( $\bar{x}$ ,  $R$ ), deve sempre começar-se pela elaboração do gráfico da amplitude ( $R$ ), pois o cálculo dos limites de controle para o gráfico da média depende de ( $R$ ) [3].

O cálculo preliminar dos limites de controle pode ser feito após a recolha de umas 20 ou 30 amostras (subgrupos) sem indícios de uma situação fora do controle. Ou seja, recolhe-se 20 a 30 amostras, calcula-se os limites de controle para a média e amplitude e compara-se essas mesmas amostras com os limites de controle calculados [53].

Caso haja pontos fora dos limites de controle, deve-se retirar as amostras correspondentes e recalcular os limites de controle. Esse processo iterativo acontece no início, pois os limites de controle devem estar associados apenas às causas comuns de variação. Convém salientar que os pontos são eliminados do cálculo dos limites de controle, mas não dos gráficos de controle.

O Teorema do Limite Central indica que a soma (e, por conseguinte, a média) de  $n$  variáveis independentes seguirá o modelo Normal, independentemente da distribuição das variáveis individuais [53]. A aproximação melhora na medida em que  $n$  aumenta. Se as distribuições individuais não são muito diferentes da Normal, basta  $n = 4$  ou  $5$  para se obter uma boa aproximação. Se as distribuições individuais forem radicalmente diferentes da Normal, então será necessário  $n = 20$  ou mais.

O Teorema do Limite Central é básico para a maioria das aplicações do controle estatístico da qualidade. O controle estatístico do processo, em geral, trabalha com a média das amostras, pois independente da distribuição dos valores individuais, a média desses valores irá seguir aproximadamente a distribuição Normal.

A distribuição Normal é uma teoria básica para o desenvolvimento das cartas de controle e é a principal ferramenta do controle estatístico de processos.

A partir do Teorema do Limite Central, sabe-se que a distribuição amostral das médias apresenta os seguintes parâmetros:

$$\bar{\bar{x}} = \mu \quad (4.1)$$

Onde:

- $\bar{\bar{x}}$  representa a média das médias amostrais;
- $\mu$  representa a média dos valores individuais da população.

A amplitude é definida como sendo a diferença entre o maior e o menor valor do conjunto de dados. Denotaremos a amplitude por R.

Desvio padrão dos valores individuais:

$$\sigma = \sqrt{\sum \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad \text{para } n > 30 \quad (4.2)$$

$$S = \sqrt{\sum \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{para } n < 30 \quad (4.3)$$

Desvio-padrão:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4.4)$$

onde:

- $\sigma_{\bar{x}}$  representa o desvio-padrão das médias amostrais;
- $\sigma$  representa o desvio-padrão dos valores individuais da população;
- $n$  representa o tamanho da amostra.

No CEP, normalmente utiliza-se intervalos de confiança de 99,73%. Por exemplo, para construir um intervalo de confiança de 99,73% para a média, é necessário achar os limites L e U, tais que:

$$P\{L \leq \mu \leq U\} = 99,73 \% \quad (4.5)$$

Os limites de confiança de  $100(1 - \alpha)\%$  são calculados usando-se a distribuição Normal.

$$\bar{\bar{x}} - Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{\bar{x}} + Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4.6)$$

Para intervalos de confiança de 99,73 % tem-se:

$$\bar{\bar{x}} - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{\bar{x}} + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \Leftrightarrow \bar{\bar{x}} - 3\sigma_{\bar{x}} \leq \mu \leq \bar{\bar{x}} + 3\sigma_{\bar{x}} \quad (4.7)$$

A figura 16 apresenta a distribuição de probabilidade das médias e o intervalo de confiança de 99,73% utilizados como limites de controlo nas cartas de controlo.

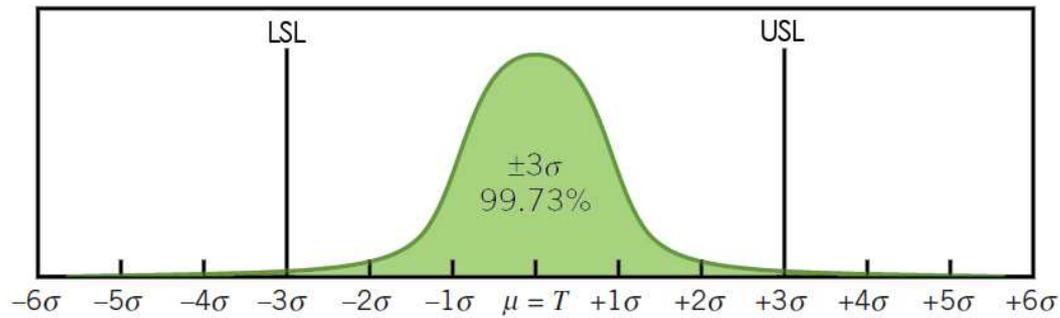


Figura 16 - O intervalo de confiança de 99,73 % é normalmente usado como limites de controle [17] [53].

A fim de calcular os limites de controle, inicialmente calcula-se a amplitude e a média para cada amostra. Logo após, calcula-se a média das amplitudes e a média das médias das amostras como se segue:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_K}{K} \quad (4.8)$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_K}{K} \quad (4.9)$$

Como pode-se observar, a variabilidade é estimada usando-se a média das amplitudes dentro de cada amostra para garantir que ela esteja associada apenas às causas comuns. Logo, não é correto estimar a variância usando a fórmula tradicional de desvio-padrão ( $S$ ) aplicada sobre o conjunto de todos os dados, pois desta forma a estimativa da variância poderia estar associada com causas comuns (dentro das amostras) e causas especiais (entre amostras).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{\bar{x}})^2}{mn-1}} \quad (4.10)$$

Onde:

- $x_{ij}$  representa um valor individual;
- $m$  representa o número de amostras;
- $n$  representa o tamanho das amostras.

Uma vez calculados  $\bar{x}$  e  $R$ , calcula-se os limites de controle das médias considerando-se a extensão de seis desvios-padrões das médias (três para cada lado), que segundo a distribuição Normal compreende 99,73 % dos valores de médias amostrais. A fórmula resulta:

$$CL = \bar{\bar{x}} \pm 3\sigma_{\bar{x}} \quad (4.11)$$

Onde a variância das médias é estimada a partir da variância dos valores individuais ao usar:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4.12)$$

Substituindo esta expressão na equação anterior, resulta:

$$CL = \bar{\bar{x}} \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4.13)$$

Onde a variabilidade dos valores individuais é estimada a partir da média das amplitudes dos subgrupos ao usar:

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (4.14)$$

Onde  $d_2$  é uma constante que depende do tamanho da amostra, cujos valores encontram-se na Tabela 1, a seguinte:

<i>n</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
$D_4$	3,27	2,57	2,28	2,11	2,00	1,92	1,86	1,82	1,78	1,65	1,59
$D_3$	0	0	0	0	0	0,08	0,14	0,18	0,22	0,35	0,42
$d_2$	1,13	1,69	2,06	2,33	2,53	2,70	2,85	2,97	3,08	3,47	3,74
$A_2$	1,88	1,02	0,73	0,58	0,48	0,42	0,37	0,34	0,31	0,22	0,18

Tabela 1 – Valores das constantes  $D_4$ ,  $D_3$ ,  $d_2$ ,  $A_2$  utilizadas na construção das cartas de controlo [3] [6] [53].

Substituindo-se essa expressão na equação anterior, resulta:

$$CL = \bar{\bar{x}} \pm 3 \frac{\sigma \bar{R}}{\sqrt{n} d_2} \quad (4.15)$$

Substituindo-se:

$$A_2 = \frac{3}{\sqrt{n} d_2} \quad (4.16)$$

na equação anterior, tem-se os limites de controlo para as médias:

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \quad (4.17)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \quad (4.18)$$

Onde  $A_2$  é uma constante que depende do tamanho da amostra, cujos valores são apresentados na Tabela 1.

Os limites de controlo para as amplitudes são calculados como segue:

$$CL = \bar{R} \pm 3\sigma_R \quad (4.19)$$

Onde:

$$\sigma_R = d_3\sigma = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (4.20)$$

Substituindo-se essa expressão na equação anterior, tem-se:

$$UCL = \bar{R} + 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (4.21)$$

$$LCL = \bar{R} - 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (4.22)$$

Substituindo  $D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$  e  $D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2}$  nas equações anteriores, tem-se os limites de controlo para as amplitudes:

$$UCL = D_4 \bar{R} \quad (4.23)$$

$$LCL = D_3 \bar{R} \quad (4.24)$$

Onde  $D_4$  e  $D_3$  são constantes que dependem do tamanho da amostra, cujos valores são apresentados na Tabela 1.

#### 4.1.1 Cálculo dos Limites Naturais

Uma vez identificada a distribuição dos valores individuais calcula-se os limites naturais.

Caso a distribuição dos valores individuais seja Normal, os limites naturais são calculados considerando-se a extensão de seis desvios-padrões (6  $\sigma$ ). Dessa forma, os limites naturais compreendem 99,73% dos valores, ou seja, teoricamente 99,73% das peças produzidas estarão dentro dos limites naturais e 0,27% estarão fora dos limites naturais.

Os limites naturais da distribuição Normal são calculados usando a fórmula:

$$LNI = \mu - 3\sigma \quad (4.25)$$

$$LNS = \mu + 3\sigma \quad (4.26)$$

A estimativa do desvio-padrão dos valores individuais ( $\sigma$ ) é obtida a partir da média das amplitudes das amostras ao usar:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (4.27)$$

Onde  $d_2$  é uma constante que depende do tamanho da amostra, cujos valores encontram-se na Tabela 1 e 2. Ou a partir do desvio-padrão das amostras ao usar:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{c_4} \quad (4.28)$$

Onde  $c_4$  é uma constante que depende do tamanho da amostra, cujos valores encontram-se na Tabela 2.

$n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
$d_2$	1,13	1,69	2,06	2,33	2,53	2,70	2,85	2,97	3,08	3,47	3,74
$c_4$	0,80	0,89	0,92	0,94	0,95	0,96	0,965	0,969	0,973	0,982	0,987

Tabela 2 - Valores das constantes  $c_4$ ,  $d_2$  utilizados no cálculo dos limites naturais [6] [53].

#### 4.1.2 Índice de capacidade

A Qualificação do Processo é uma das metas mais importantes para o responsável de qualidade visto que é necessário certificar-se se o processo será capaz de satisfazer as especificações. Isto é, avaliar a capacidade do processo em estudo. Um dos motivos da sua avaliação é conseguir satisfazer as tolerâncias acordadas [3].

Muitas vezes é vantajoso ter uma maneira simples e quantitativa de expressar a capacidade do processo. Uma maneira é utilizar os índices de capacidade que comparam os limites naturais do processo com a amplitude das especificações exigidas para o processo [53].

O cálculo dos índices de capacidade é realizado ao supor que as variáveis provêm de uma distribuição [56] Normal<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Um pressuposto subjacente é que as medições de output do processo são distribuídas como variáveis aleatórias normais. Quando se assume que os dados tomam distribuições normais, mas diferentes distribuições estão presentes - como distribuições assimétricas, de cauda longa e cauda curta - as percentagens de peças não-conformes são significativamente diferentes do que os índices de capacidade indicam [56].

A figura 17 ilustra a situação de processos capaz e não-capaz:

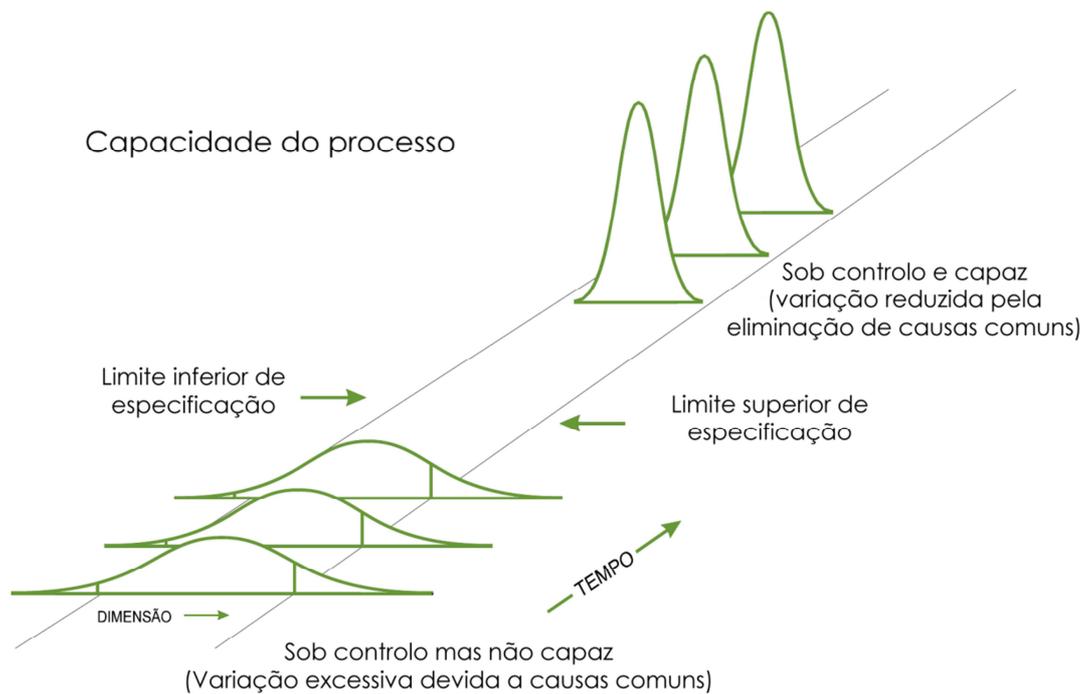


Figura 17 – Comparação entre capacidades [3] [6] [17] [53].

Há vários tipos de índice de capacidade. Um índice usado com frequência para avaliação de características do tipo nominal-é-melhor, ou seja, características que possuem um valor alvo a ser atingido e qualquer desvio desse valor alvo é prejudicial, é o  $C_p$  calculado segundo a equação abaixo:

$$C_p = \frac{LES - LEI}{6\hat{\sigma}} \quad (4.29)$$

O índice  $C_p$  avalia a capacidade potencial do processo, que poderia ser atingida se o processo estivesse centrado.

Os valores de  $C_p$  poderão ser interpretados do seguinte modo:

- Capacidade adequada:
- Capacidade satisfatória:
- Capacidade inadequada:

A capacidade real do processo para características do tipo nominal-é-melhor é estimada pelo índice  $C_{pk}$  que considera a média do processo [6] [53] [56]:

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{LES - \bar{x}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\bar{x} - LEI}{3\hat{\sigma}} \right\} \quad (4.30)$$

Onde:

$$C_{pk\ inf} = \frac{\bar{x} - LEI}{3\hat{\sigma}} \quad (4.31)$$

$$C_{pk\ sup} = \frac{LES - \bar{x}}{3\hat{\sigma}} \quad (4.32)$$

Pode-se fazer algumas observações a respeito dos índices  $C_p$  e  $C_{pk}$ :

- O índice  $C_{pk}$ , que mede a capacidade real do processo, é sempre menor ou igual ao índice  $C_p$  que mede a máxima capacidade do processo quando ele está centrado;
- O índice  $C_{pk}$  é menor do que o índice  $C_p$  quando o processo está descentrado e é igual ao  $C_p$  quando o processo está centrado;
- O  $C_{pk} > 1$  é condição necessária para a especificação do cliente contemple 6  $\sigma$  - 99,73 % das peças produzidas e que a fracção de defeituosos seja de 0,27%.
- Muitas empresas utilizam como padrão de qualidade a meta  $C_{pk} > 1,33$  que garante que a especificação contemple 8  $\sigma$  do processo ou  $C_{pk} > 1,67$  que garante 10  $\sigma$  dentro da tolerância.

Neste caso devemos igualar o  $C_{pk}$  ao valor desejado e isolar e calcular o valor do sigma correspondente:

$$C_p = \frac{LES - LEI}{6\hat{\sigma}} = 1,33 \quad (4.33)$$

$$\sigma = \frac{LES - LEI}{6 \times 1,33} = \frac{LES - LEI}{8} \quad (4.34)$$

No caso de um processo que tem um  $C_{pk} < 1$  e um  $C_p > 1$ , basta centrar-se o processo que ele torna-se capaz. Esse é um processo que, com pouco investimento consegue-se torná-lo capaz, pois centrar o processo é normalmente uma tarefa fácil. Dessa forma, processos com  $C_{pk} < 1$  e  $C_p > 1$  devem ser priorizados nas acções de melhoria.

Caso a características de qualidade for do tipo maior-é-melhor, o valor do limite de especificação superior é teoricamente infinito, logo a avaliação da capacidade do processo será realizada apenas com o  $C_{pk}$  inferior.

Caso a característica for do tipo menor-é-melhor, o valor do limite de especificação inferior é teoricamente zero, logo a avaliação da capacidade do processo será realizada apenas com o  $C_{pk}$  superior.

O valor de  $C_{pk}$  pode auxiliar na decisão sobre onde concentrar os esforços de engenharia sendo que processos com menor  $C_{pk}$  devem ter prioridade nas acções de melhoria.

Note-se a importância de diferenciar um processo em estado de controlo estatístico e um processo que satisfaz os limites de especificação. Um processo que esteja estatisticamente sob controlo não quer dizer que produza dentro das especificações. Se não o fizer, é conveniente mudar algo. Mas se não estiver estatisticamente sob controlo mas dentro das especificações, não é obrigatório tomar qualquer tipo de medidas de alteração.

## 4.2 Carta $p$ para fracção de não-conformes

A carta  $p$  mede a fracção de produtos defeituosos ou produtos não conformes numa amostra. O grupo pode ser definido como 100 unidades recolhidas duas vezes ao dia ou 80 unidades extraídas de cada lote de produção, etc.

As cartas por atributos exigem subgrupos de tamanho considerável (em geral, 50 a 200 unidades ou mais) para serem eficientes na detecção de alterações no processo [53]. Alguns estatísticos recomendam  $n\bar{p} \geq 5$  para que seja possível uma análise eficiente de padrões. O tamanho dos grupos ( $n$ ) pode ser variável, mas é mais prático trabalhar com subgrupos de tamanho constante. A frequência de amostragem deve fazer sentido em termos de períodos de produção. Por exemplo, 1 amostra a cada lote, ou 1 amostra por turno, ou 1 amostra a cada troca de setup<sup>4</sup>, etc.

Para cada subgrupo, anota-se os valores:

- $n$  = número de itens inspeccionados
- $d$  = número de itens defeituosos (não-conformes)

---

<sup>4</sup> Setup: é o tempo decorrido para a troca (ferramenta, programa, equipamento) de um processo em execução até o início do próximo processo [86].

E então calcula-se fracção de não-conformes:

$$p_i = \frac{d_i}{n_i} \quad (4.35)$$

A fracção média de não-conformes é calculada da seguinte forma:

$$\bar{p} = \frac{d_1+d_2+\dots+d_k}{n_1+n_2+\dots+n_k} \quad (4.36)$$

$$\sigma_{pi} = \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n_i}} \quad (4.37)$$

Onde  $d_i$  é o número de não-conformes no subgrupo  $i$ ,  $n_i$  é o tamanho da amostra do subgrupo  $i$  e  $k$  é o número de subgrupos.

Esses cálculos devem ser feitos com um número grande de subgrupos, por exemplo,  $k > 25$ , e numa situação de processo sob controlo.

Linha central:

$$CL_p = \bar{p} \quad (4.38)$$

Os limites de controlo são calculados da seguinte forma:

$$UCL = \bar{p} + 3\sigma_{pi} \quad (4.39)$$

$$LCL = \bar{p} - 3\sigma_{pi} \quad (4.40)$$

Se o limite inferior resultar negativo, então este deve ser fixado no zero. Se o tamanho dos subgrupos for variável, o desvio-padrão é variável e por consequência, os limites de controlo também, gerando uma carta com limites de controlo de forma dentada.

Se a diferença nos tamanhos de amostras for pequena (< 25%), pode-se usar a média dos tamanhos de amostras [6]. Dessa forma, o desvio-padrão será calculado usando-se:

$$\sigma_p = \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{\bar{n}}} \quad (4.41)$$

A presença de um ou mais pontos fora dos limites de controlo é uma evidência de instabilidade do processo.

Se o processo está em controlo estatístico, a probabilidade de um ponto fora dos limites de controlo é muito pequena, de forma que, caso isso aconteça, deve-se assumir a presença de causas especiais.

Um ponto acima do Limite superior de Controlo (UCL) indica que o processo piorou. Um ponto abaixo do Limite inferior de Controlo (LCL) indica uma melhoria no processo. Ambos devem ser investigados, pois são causas não naturais ao processo. Convém que ter em conta que antes de iniciar a inspecção, deve-se verificar se o ponto não foi mal registado ou se há algum problema no sistema de medição.

Mesmo com todos os pontos dentro dos limites de controlo, poderá haver evidências de que o processo sofreu alterações. As seguintes constatações indicam alterações no processo (válidas para  $n\bar{p} \geq 9$ ):

- Sete pontos em sequência acima (ou abaixo) da linha central;
- Sete pontos em sequência ascendente (ou descendente).

As corridas ascendentes ou corridas acima da média indicam que o desempenho do processo piorou. As corridas descendentes ou corridas abaixo da média indicam que o processo melhorou.

Quando um resultado fora do controle é identificado, o processo deve ser estudado para determinar a causa. No caso de pontos acima do limite de controlo superior, a causa deve ser corrigida e as acções devem ser tais que impeçam a sua recorrência. No caso de pontos abaixo do limite inferior, as causas devem ser padronizadas, pois representam uma melhoria no processo.

Para o estudo das causas especiais, a análise de Pareto e diagramas de causa e efeito são recomendados.

Se acções de melhoria estão sendo tomadas, o processo deve apresentar um desempenho mais consistente, com redução da fracção média de não-conformes. Assim, periodicamente os limites de controlo devem ser reavaliados e, sempre que houver evidência para tanto, estreitados. Esse enfoque dinâmico mantém as cartas de controlo actualizadas e eficazes na tarefa de continuar revelando fontes de variabilidade.

#### **4.2.1 Interpretação da capacidade do processo**

Após a identificação e eliminação das causas especiais, o processo pode ser avaliado em relação a sua capacidade. No caso de atributos, a capacidade é em geral expressa como o percentual (%) de produtos conformes que o processo produz, ou seja,

$$Capacidade = (1 - \bar{p}) \times 100 \quad (4.42)$$

Assim, se um processo tem  $\bar{p} = 0,031$  a sua capacidade, segundo a equação 4.42 será:

$$Capacidade = (1 - 0,031) \times 100 = 96,9\%$$

Essa capacidade deve ser comparada com as expectativas e metas gerenciais. Caso ela não seja satisfatória, a gerência deve agir sobre o sistema (causas comuns).

Alternativamente, o percentual de não-conformes pode ser comparado com as expectativas e metas da gestão ao gerar um índice de capacidade  $C_p$ , dado por:

$$C_p = \frac{P_{meta}}{\bar{p}} \quad (4.43)$$

Caso  $C_p < 1$ , a gerência deve agir sobre o sistema. A acção sobre as causas comuns é mais difícil e, em geral, irá envolver o estudo de variáveis, e o uso de técnicas estatísticas como projecto de experimentos ou análise multivariada.

### 4.3 Padrões de não-aleatoriedade do processo

A interpretação dos gráficos de controlo e a definição do momento em que o processo se encontra fora de controlo são feitas por meio da inspecção da ocorrência (ou não) dos padrões de não-aleatoriedade.

A identificação e a eliminação dessas causas especiais podem vir a reduzir a variância do processo, que é o objectivo do CEP e também trarão o processo para uma condição de controlo estatístico [57]. A observação de padrões pode disparar uma acção sobre o sistema antes mesmo que um ponto apareça fora dos limites de controlo. Alguns padrões podem ser favoráveis e podem fornecer a pista para eventuais melhorias permanentes no processo [53].

A identificação dos padrões de não-aleatoriedade do processo é um ponto crítico no Controlo Estatístico do Processo [58]. Padrões anómalos exibidos nas cartas de controlo podem ser associados a certas causas especiais que afectam negativamente a estabilidade do processo.

As causas dos problemas devem ser encontradas e a produção deve ser restaurada até a um nível satisfatório de operacionalidade. É a procura das causas dos pontos fora de controlo e a restituição do processo que completam o CEP [58]. A eficácia do uso das cartas de controlo depende da habilidade de reconhecer padrões de não-aleatoriedade do processo.

Segundo a Western Electric Company [59], existem 15 tipos comuns de padrões de não-aleatoriedade do processo, como na figura 18, nomeadamente:

- Normal
- Tendência crescente
- Tendência decrescente
- Cíclico
- Sistemático
- Mistura
- Deslocação da média para uma posição inferior
- Deslocação da média para uma posição superior

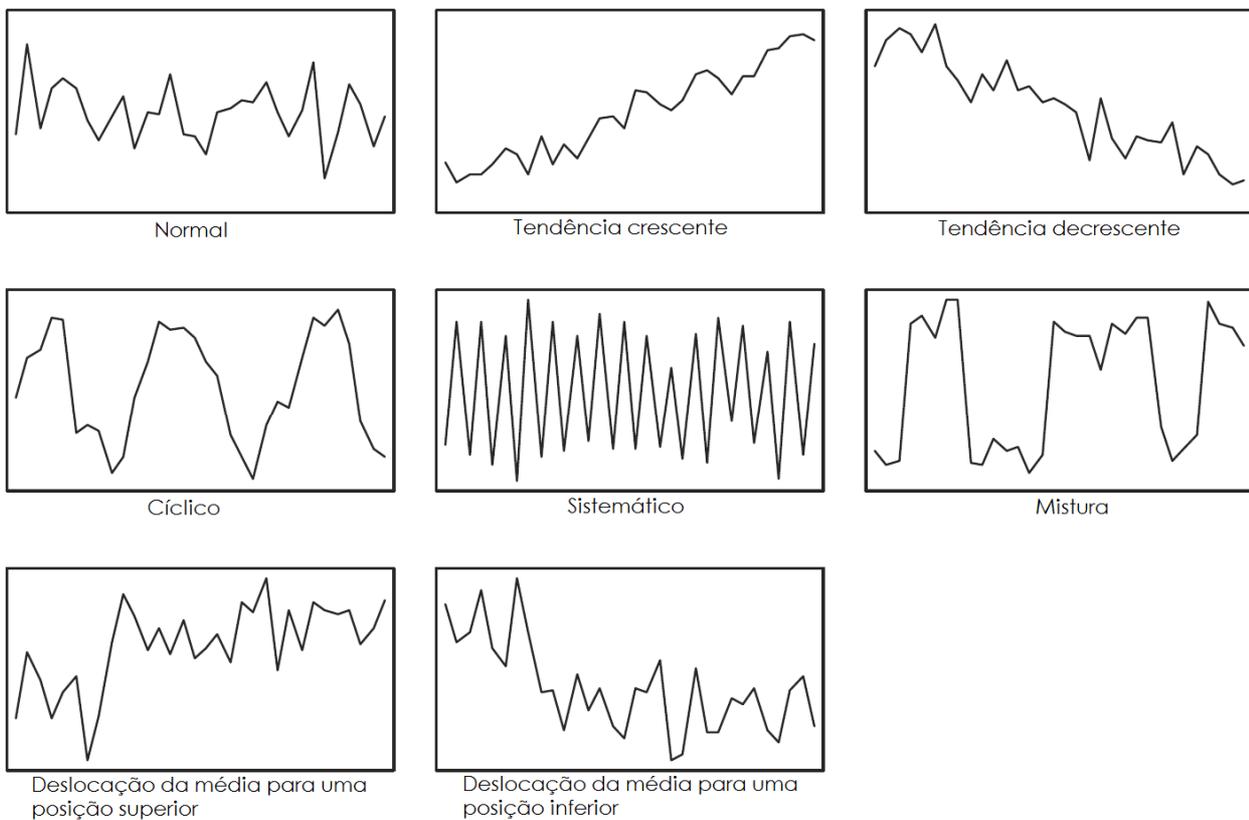


Figura 18 - Exemplo de padrões típicos de não-aleatoriedade [58].

Todos os outros padrões de não-aleatórios ou são formas especiais dos anteriormente citados ou uma mistura de dois ou mais padrões básicos. Só o padrão normal é consistente com a hipótese de que o processo continua a operar sem a presença de causas especiais, todos os outros padrões não o são e devem ser considerados como não naturais.

A identificação de padrões de não-aleatórios pode facilitar uma detecção antecipada de um processo a sair do controlo e um processo de pesquisa diagnóstico para estreitar o leque de possíveis causas que devem ser investigadas. Por exemplo, padrões de deslocação de média podem indicar mudanças na matéria-prima, máquina ou operador enquanto padrões de tendência podem indicar desgaste da ferramenta. Padrões cíclicos podem indicar flutuação de tensão na fonte de alimentação.

Os padrões típicos não naturais das cartas de controlo são classificados do seguinte modo [58]:

- Tendências: Pode ser definido como um movimento contínuo numa só direcção. Se existirem sete ou mais pontos consecutivos a seguirem a tendência, é considerado um padrão de não aleatoriedade.
- Deslocações súbitas da média: Uma mudança repentina ou abrupta na média do processo.
- Variações Sistemáticas: Uma das características de um padrão natural são as flutuações de ponto-a-ponto que são imprevisíveis e não sistemáticas. Nas variações sistemáticas, um ponto baixo é sempre seguido por um ponto alto ou vice-versa.
- Ciclos: O comportamento cíclico de um processo pode ser reconhecido por uma série sequencial de muitos picos e intercalada com uma série sequencial de muitos vales.
- Misturas: Numa mistura, os pontos tendem a concentrar-se perto dos limites de controlo, tanto superior como inferior tendo uma ausência de flutuações normais próximo do centro. Uma mistura é, na realidade, uma combinação de dados a partir de várias distribuições separadas.

A solução do problema é o passo mais árduo e que consome maior tempo. É preciso paciência, intuição e experiência para gradualmente eliminar, uma-a-uma, as causas especiais. Técnicas de solução de problemas como a análise de Pareto ou os diagramas de causa e efeito podem ajudar na análise.

## 4.4 Testes de hipóteses

A teoria do teste de hipóteses diz respeito ao problema de determinar se uma hipótese estatística, isto é, uma afirmação sobre a distribuição probabilística dos dados é ou não é consistente com a evidência da amostra disponível [60]. A hipótese particular a ser testada é chamada a hipótese nula e é caracterizada por  $H_0$ . O objectivo final é a aceitação ou rejeição de  $H_0$  [61].

Além da hipótese nula  $H_0$ , também é necessário tomar em consideração um determinado conjunto de desvios de  $H_0$  - a chamada hipótese alternativa e simbolizada por  $H_1$ . Normalmente, hipótese nula e a hipótese alternativa não estão em pé de igualdade:  $H_0$  está claramente especificada e de interesse intrínseco, enquanto  $H_1$  serve apenas para indicar que tipo de desvios de  $H_0$  são de interesse.

Por conseguinte, em qualquer procedimento com o objectivo de testar uma dada hipótese nula dois tipos diferentes de erros podem surgir. O primeiro, chamado um erro de tipo I, é evocado quando o teste rejeita  $H_0$  quando  $H_0$  é verdadeira. O segundo, chamado um erro de tipo II, ocorre sempre que o teste não rejeita  $H_0$  embora  $H_0$  seja falsa [62]. Logo, deve ser entendido que o objectivo de um teste estatístico da hipótese nula  $H_0$  não é para determinar se  $H_0$  é verdadeira, mas sim, para determinar se a sua veracidade é consistente com os dados resultantes. Portanto, dado esse objectivo, é razoável que  $H_0$  deve ser rejeitada só se os dados da amostra forem muito improváveis quando  $H_0$  é verdadeira.

O modo clássico de alcançar o que foi descrito no parágrafo anterior é especificar um pequeno valor  $\alpha$  e, em seguida, requerer que o teste tenha a propriedade de que, sempre que a hipótese  $H_0$  for verdadeira, a sua probabilidade de ser rejeitada seja inferior ou igual a  $\alpha$ . O valor de  $\alpha$ , chamado de nível de significância do teste, é normalmente definido com antecedência e com os valores do  $\alpha$  mais comuns:  $\alpha = 0,10, 0,05$  e  $0,01$  [62].

Se estiver a tentar estabelecer uma determinada hipótese, então essa hipótese deve ser designada como hipótese alternativa. Do mesmo modo, se estiver a tentar desacreditar a hipótese, essa hipótese deve ser designado a hipótese nula.

#### 4.4.1 O teste de Kolmogorov-Smirnov

Na estatística, o teste Kolmogorov-Smirnov é usado para determinar se duas distribuições de probabilidade subjacentes diferem uma da outra ou se uma das distribuições de probabilidade subjacentes difere da distribuição em hipótese, em qualquer dos casos com base em amostras finitas [63] [64]. O nome é uma referência aos matemáticos russos Andrey Kolmogorov e Vladimir Ivanovich Smirnov.

O teste de Kolmogorov-Smirnov faz parte deste trabalho porque as cartas de controlo exigem a normalidade, logo pode ser utilizado para avaliar as hipóteses:

$$\begin{cases} H_0: Os\ dados\ seguem\ uma\ distribuição\ normal \\ H_1: Os\ dados\ não\ seguem\ uma\ distribuição\ normal \end{cases} \quad (4.44)$$

Este teste observa a máxima diferença absoluta entre a função de distribuição acumulada assumida para os dados, no caso a Normal, e a função de distribuição empírica dos dados [65]. Como critério, comparamos esta diferença com um valor crítico, para um dado nível de significância.

Dado  $n$  número de pontos,  $x_1 < x_2 < x_3 \dots < x_n$ , define-se o teste proposto por Kolmogorov como:

$$T = \sup_x |F^*(x) - F_n(x)| \quad (4.45)$$

Onde  $\sup$  significa supremo ou o maior. No teste de Kolmogorov-Smirnov da normalidade,  $F^*(x)$  é considerada como uma distribuição normal com uma média conhecida,  $\mu$ , e um desvio padrão,  $\sigma$  [66].  $F_n(x)$  é uma função distribuição acumulada empírica estimada baseada numa amostra aleatória.

O teste estatístico K-S tem o objectivo de testar se:

$H_0: F(x) = F^*(x)$  para todos o  $x$ , de  $-\infty$  até  $+\infty$  (Os dados seguem uma distribuição específica)

$H_1: F(x) \neq F^*(x)$  para, no mínimo, um valor de  $x$  (Os dados não seguem nenhuma distribuição específica)

Se  $T$  exceder o quantil  $1-\alpha$  como dado pela tabela dos quantis do teste Kolmogorov-Smirnov, então rejeita-se  $H_0$  no nível de significância  $\alpha$ .

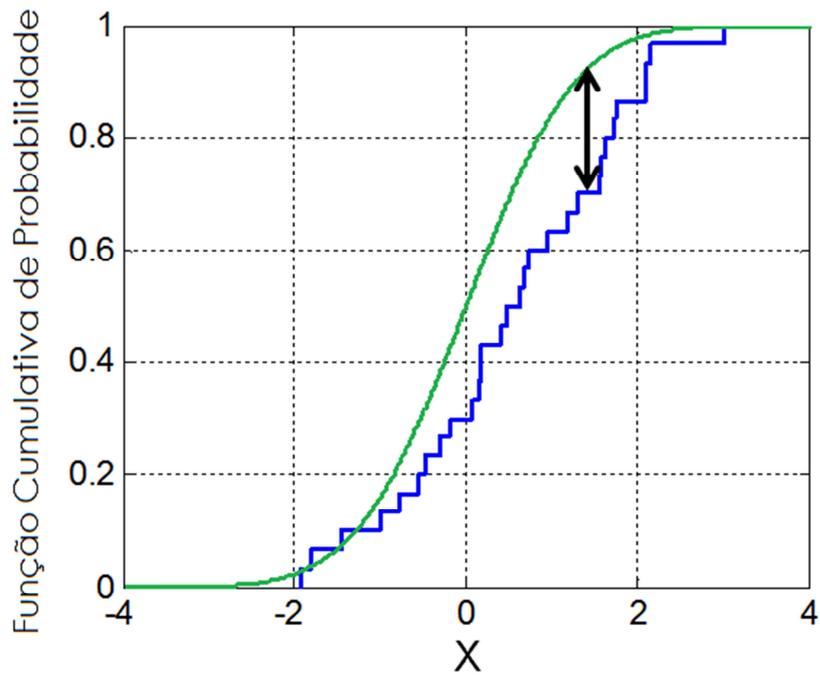


Figura 19 - Ilustração do teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov [63] [67].

Na ilustração mais acima (figura 19) do teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov, a linha verde é uma função distribuição acumulada, a linha azul é uma função distribuição acumulada empírica, e por fim, a seta preta é a estatística K-S [63] [67].

“There are worse crimes than burning books. One of them is not reading them.”

*“Existem crimes piores que a queima de livros. Um desses é não lê-los.”*

Иосиф Александрович Бродский (Joseph Brodsky)

## Capítulo 5

### Aplicação do Controlo Estatístico do Processo

A presente dissertação tem como objectivo o estudo da implementação e aplicação prática da metodologia do Controlo Estatístico do Processo. Este estudo de caso foi elaborado junto de uma unidade fabril pertencente a um grupo industrial português do sector automóvel. O capítulo inicia-se com a descrição da empresa, passa a esclarecer o processo produtivo alvo de análise, passa a explicar a composição das cartas de controlo utilizadas e por fim é efectuada a análise dos resultados obtidos.

Este capítulo está dividido nas seguintes secções e conteúdos: no item 5.1 começa-se com a descrição da empresa; o item 5.2 explana a organização da unidade; o subitem 5.2.1 explica o Sistema de Gestão da Qualidade implementado na unidade industrial; o item 5.3 descreve o modelo CEP utilizado na unidade; o subitem 5.3.1 descreve o processo de fabrico; o subitem 5.3.2 aborda o método de medição e de recolha de dados; o subitem 5.3.3 explica as cartas de controlo utilizadas pela unidade fabril, o subitem 5.3.4 apresenta os resultados obtidos para a carta  $(\bar{x}, R)$ ; no subitem 5.3.5 são expostos os resultados obtidos para a carta  $p$ ; No item 5.4 encontra-se tudo sobre a interpretação dos resultados obtidos a partir dos dois tipos de carta de controlo; o subitem 5.4.1 trata da análise dos resultados obtidos à partir da carta  $(\bar{x}, R)$  e finalmente o subitem 5.4.2 analisa os resultados obtidos à partir da carta  $p$ .

## 5.1 Descrição da empresa

A unidade industrial onde se estudou a implementação da metodologia pertence a um grupo industrial português que foi fundado na década de 1980. Hoje a o grupo possui unidades de negócio em 4 regiões do mundo: Europa, América do Sul, América do Norte e Ásia Pacífico. A sua presença mundial conta um conjunto aproximado de 30 unidades de negócio.

O *core business*<sup>5</sup> do grupo, enquanto organização, é a produção de componentes para a indústria automóvel, bem como o desenvolvimento nos seus centros de investigação na Europa e América do Norte [68].

Ao nível da produção de componentes, tem uma carteira de clientes bastante ampla e apresenta-se, hoje em dia, com um papel importante na indústria automóvel. Fornece as principais *Original Equipment Manufacturer*<sup>6</sup> (OEM) do sector - peças metálicas estampadas, subconjuntos, conjuntos soldados, chassis e mais recentemente algumas peças de precisão.

O estudo do caso foi efectuado numa das unidades do grupo, sediada em Portugal no interior do país. De dimensões relativamente pequenas, a unidade fabril possui uma produção diversificada em cerca de 90 produtos diferentes [69]. Uma média de 80% das referências de produção da empresa são peças metálicas estampadas a frio, para as quais está equipada com um sector de prensas hidráulicas até a capacidade máxima de 630 Ton. Esta unidade caracteriza-se por uma produção diversificada, com diferentes processos de fabrico, como soldadura automática e manual de estruturas e pequenos componentes, tratamento de superfícies e estampagem de pequenas e grandes dimensões.

Os produtos produzidos são independentes e cada um segue um fluxo diferenciado, exemplo disso é o facto de cada produto estampado necessitar de uma ferramenta específica. Na unidade operam 82 colaboradores.

## 5.2 A organização da unidade

A unidade visada apresenta uma estrutura formal, mas pouco complexa e a estrutura organizacional é hierárquica. Assim sendo, a direcção/administração incorpora todas as áreas funcionais da empresa, permitindo assim que haja uma maior simplicidade, rapidez e eficácia nas trocas de informação dentro da organização.

---

<sup>5</sup> O *core business* é a parte central ou nuclear de um negócio ou de uma unidade de negócios tal como definido por Kotler & Keller [74].

<sup>6</sup> Quando se refere à indústria automóvel, *Original Equipment Manufacturer* significa uma peça de serviço ou de substituição fabricada pelo produtor da peça original [75].

O grupo aplica determinados conceitos do *Lean Manufacturing*<sup>7</sup> e as respectivas práticas, bem como do potencial associado à implementação de tal modelo.

Numa perspectiva de manter uma elevada competitividade, num mercado altamente exigente - o da indústria automóvel, a organização incentiva as diversas unidades à implementação dos conceitos *Lean Manufacturing* e procura partilha com elas um alto grau de comprometimento e incentivo. Sinal disso é a integração de vários objectivos como a execução de 12 eventos *Kaizen*<sup>8</sup> por ano em cada unidade e a criação de concursos trimestrais entre as várias unidades, em que o grupo premeia o evento que apresente a melhoria mais significativa, estabelecendo a ponte entre o ganho económico e as boas práticas *Lean* - com o claro objectivo de incentivar e premiar as boas práticas desta filosofia.

O grupo aplica com veemência também outra ferramenta *Lean*, existe uma implementação firme e uma prática dos 5S<sup>9</sup> que faz parte do ADN de todos os colaboradores, que por sua vez tiram partido das diversas formações organizadas pelo grupo ao nível das várias unidades em conceitos e práticas 5S e *Lean Manufacturing*.

A unidade industrial em questão é uma, entre as diversas que partilham dessa cultura organizacional focada na integração consistente do *Lean Manufacturing* como modelo produtivo do grupo, numa escala temporal de médio-longo prazo.

### **5.2.1 O Sistema de Gestão da Qualidade implementado**

A política de qualidade de uma empresa é a optimização sistemática dos processos recorrendo ao correcto planeamento e à plena utilização dos recursos técnicos e humanos.

Neste sentido, a política de qualidade do grupo consiste em:

- Optimizar e reduzir custos;
- Trabalhar com eficiência e dentro dos prazos;
- Inovar produtos, bens e serviços;
- Motivar e estimular os seus colaboradores;
- Ampliar e consolidar a relação com os clientes.

O grupo económico engloba um conjunto de empresas detentoras de diversos certificados de qualidade.

---

<sup>7</sup> Uma filosofia de gestão focada na redução dos sete tipos de desperdícios (sobreprodução, tempo de espera, transporte, excesso de processamento, inventário, movimento e defeitos). Ao eliminar esses desperdícios, a qualidade melhora e o tempo e custo de produção diminuem [76].

<sup>8</sup> *Kaizen* é um termo japonês e significa mudança para melhor ou melhoria contínua. É uma peça fundamental para o *Lean Manufacturing* - um esforço contínuo para melhorar [77].

<sup>9</sup> Uma eficiente ferramenta com a capacidade de criar uma cultura e um ambiente de economia, organização, limpeza, higiene e disciplina aos colaboradores, factores fundamentais para o aumento da produtividade [78].

Para o grupo, a certificação na área da qualidade permite um aumento na satisfação e confiança dos seus clientes. Por outro lado, a redução de custos internos, o aumento de produtividade, a melhoria na imagem e os processos continuados possibilitam também uma melhor e mais eficaz abordagem a novos mercados.

A certificação permite avaliar as conformidades determinadas pela organização através de processos internos, garantindo ao cliente um produto concebido conforme padrões, procedimentos e normas.

Sendo fornecedora das principais *OEMs* do mercado automóvel, tem certificação nas normas internacionais ISO/TS 16949:2002 e ISO 14001:2004.

A ISO/TS 16949 é uma especificação técnica, cujo objectivo é indicar quais são os requisitos específicos da Norma ISO-9001:2000 para a indústria automóvel. Em conjunto com a ISO-9001:2000, define os requisitos do Sistema de Gestão da Qualidade para o projecto, o desenvolvimento, a produção e, quando relevante, a instalação e serviço dos produtos relacionados com a indústria automóvel [22]. Esta certificação permite à empresa harmonizar o seu sistema da Qualidade com aquele das *OEM* que fornece. A ISO 14001 permite definir quais são os requisitos necessários ao estabelecimento de um Sistema de Gestão Ambiental efectivo, procurando através do comprometimento da organização criar um equilíbrio entre a manutenção da rentabilidade e a redução do impacto ambiental [70].

A filosofia da organização coloca em primeiro lugar o factor segurança dos seus colaboradores, mantendo uma política assente no objectivo de zero acidentes por ano e por isso, no ano transacto, a unidade industrial iniciou um processo com o objectivo de obter a certificação OHSAS 18001<sup>10</sup> [71].

A norma ISO/TS 16949:2002(E) obriga ao uso de ferramentas estatísticas na organização onde está implementada, pois segundo os parágrafos 8.1.1 e 8.1.2 da norma [22]:

*“...Ferramentas estatísticas apropriadas para cada processo devem ser determinadas durante o planeamento da qualidade e incluídas no plano de controlo...*

*...Conceitos estatísticos básicos, tal como a variância, controlo (estabilidade), capacidade do processo e processos de sobre ajustamento deverão ser compreendidos e utilizados através e ao longo da organização.”*

---

<sup>10</sup> A OHSAS 18001 consiste em uma série de normas britânicas para orientação de formação de um Sistema de Gestão e certificação da segurança e saúde ocupacionais (SSO). É uma ferramenta que fornece orientações sobre as quais uma organização pode implantar e ser avaliada, com relação aos procedimentos de saúde e segurança do trabalho.

Ora como a unidade do caso em estudo é certificada nesta norma então terá que ter claros indícios de implementação e utilização de métodos estatísticos de controlo. Sendo assim, esta unidade emprega várias ferramentas do Controlo Estatísticos do Processo, tal como está descrito no item mais abaixo, **5.3 O CEP na unidade**.

### **5.3 O CEP na unidade**

Esta fábrica produz cerca de 90 produtos diferentes e a maioria dos processos centram-se na estampagem, mas existem processos mais complexos que envolvem tratamento de superfícies, soldadura automática e manual de estruturas e pequenos componentes. Perante este tipo processos e para ter um melhor controlo da qualidade nas várias fases dos mesmos surge a necessidade do uso do CEP. Como resposta, a unidade industrial visada pelo estudo do caso tem um vasto leque de ferramentas do CEP implementadas.

Durante os processos de produção de peças metálicas é necessário controlo estatístico tal como requerido pelas especificações do cliente. Sendo assim, existem algumas características de cada peça concebida, na maioria dimensionais, que devem ser controladas, pois tal é exigido. Certas peças mais complexas que outras contêm mais características significativas<sup>11</sup> que as restantes, como todas essas têm que ser controladas, existe uma maior necessidade de cartas de controlo. Igualmente, as peças com produção mais frequente exigem mais atenção e controlo do que as *slow movers*<sup>12</sup>.

Este estudo do caso cinge-se ao estudo do controlo estatístico do processo de uma só referência de peça ao analisar as cartas de controlo por variáveis da peça mais produzida da unidade industrial, e também ao exemplo de uma carta de controlo por atributos da mesma peça se assim o justificar. Assim, o estudo é baseado nestes dois tipos de carta de controlo, cada uma referente ao processo de produção de duas referências da mesma peça, deixando de parte o estudo das restantes referências visto que não são muito semelhantes entre si e o método de controlo varia muito de uma para outra. Também são colocadas de parte todas as *slow movers* pois o controlo estatístico do processo das mesmas deixa de fazer sentido.

#### **5.3.1 O processo**

Como já foi referido anteriormente, irá analisar-se um processo que justifica o uso de cartas de controlo por variáveis e por atributos. Começa-se então, pela análise detalhada do processo. A peça produzida por este chamar-se-á durante todo o trabalho de peça X.

---

<sup>11</sup> Por características significativas de uma peça entende-se atributos fundamentais que não podem estar fora dos limites especificados pelo cliente.

<sup>12</sup> Peças com um volume de vendas muito baixo e com uma procura irregular, isto é, peças produzidas em pequena quantidade e com intervalos de tempo significativamente maiores entre cada fabrico [88].

Antes de começar com a análise do processo, primeiro é importante descrever a peça que irá ser alvo de medição e estudo - uma peça côncava que assemelha-se a uma panela de cozinha com alguma complexidade na forma estampada e assimétrica. Na base interior da peça encontra-se um elemento soldado e composto por um tubo e uma platina.

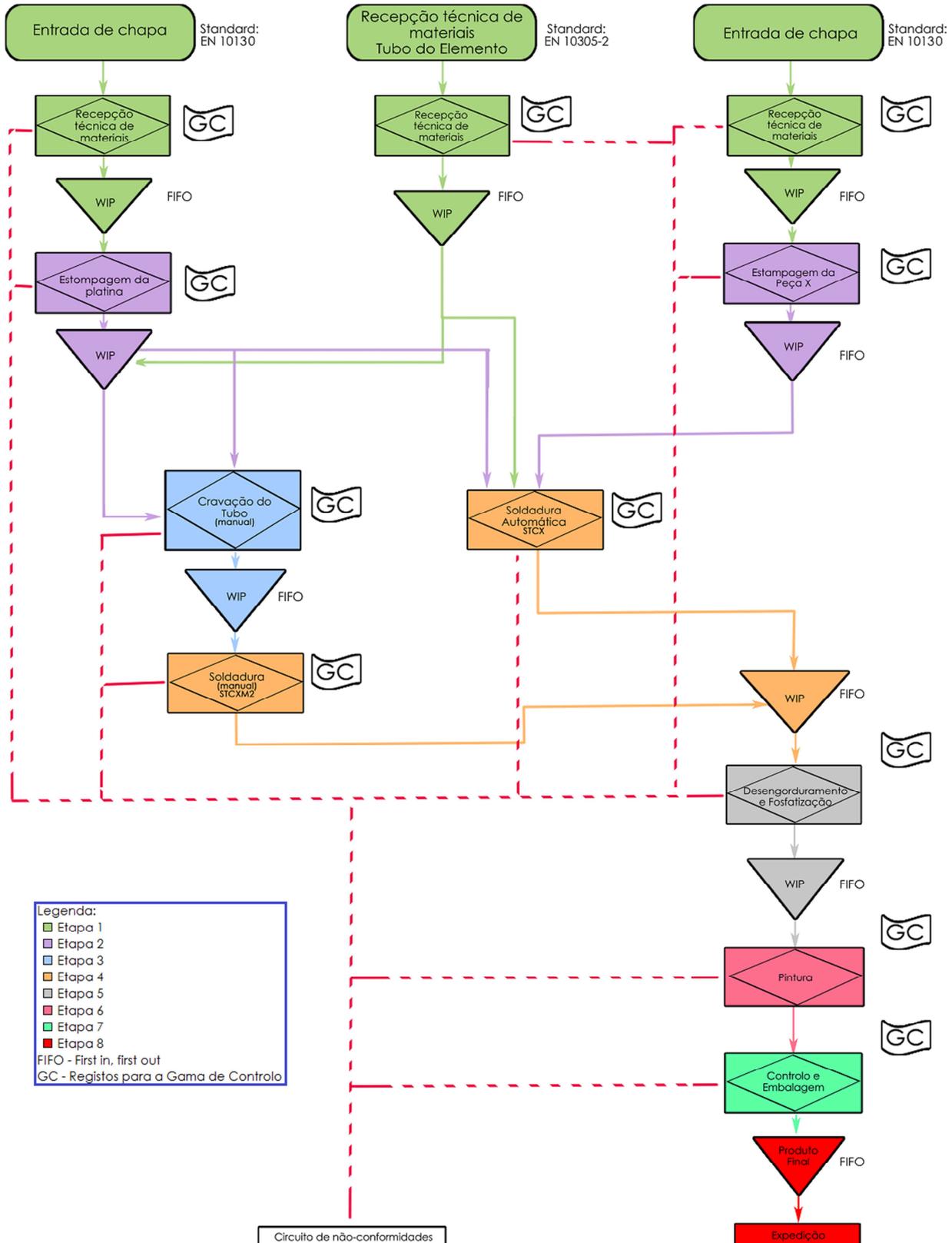


Figura 20 – Process flow chart da Peça X.

Para compreender melhor o processo estudado, a figura 20 expõe o Sinóptico do Processo ou o *process flow chart*<sup>13</sup> da peça em questão, também disponível nos anexos, como Anexo 1.

A descrição por etapas encontra-se a seguir:

- Etapa 1 - Dá-se entrada de matéria-prima no armazém de chapa que é fornecida pelos centros de corte em forma de rolos. Estes rolos são descarregadas e inspeccionadas, sendo verificado o peso total, a largura do mesmo e o certificado de matéria-prima<sup>14</sup>, no qual consta as características mecânicas e químicas do aço fornecido. Também dá-se entrada dum pequeno tubo - também inspeccionado, sendo verificado o certificado de matéria-prima e medidas várias características dimensionais.
- Etapa 2 - Após a colocação dos respectivos rolos em prensas hidráulicas, é efectuada a estampagem da peça X e da platina que mais tarde irá ser soldada na peça. A peça X sofre uma estampagem profunda o que é feita numa prensa com a capacidade de 630 Ton, já a platina é estampada numa prensa com capacidade inferior mas com uma frequência de produção de unidades por minuto mais elevada.
- Etapa 3 - Esta etapa cinge-se somente à cravação do tubo na platina da qual origina-se o chamado “elemento” - uma peça que posteriormente irá ser soldada na peça X. Só realiza-se esta fase para alimentar o posto de soldadura manual por resistência<sup>15</sup>.
- Etapa 4 - Nesta fase do processo estão presentes dois meios produtivos de soldadura do elemento na peça X, um manual e outro automático. No posto de soldadura automático existem 6 bases num prato rotativo e distribuídas uniformemente e onde o tubo é automaticamente cravado no elemento e este logo soldado na peça X. No posto manual o elemento cravado é soldado na peça por um operador, uma a uma. Repare-se que o posto de soldadura automática não necessita da etapa 3, pois é tudo executado numa só etapa.
- Etapa 5 - As peças X já soldadas passam todas por um processo de desengorduramento e após por um de fosfatização. O desengorduramento é necessário para remover o óleo [72] originário dos rolos recebidos e também outros óleos entretanto adquiridos em prensa. A fosfatização é um processo na indústria metalomecânica de protecção superficial de metais, que consiste em se recobrir as peças metálicas com fosfatos de zinco, ferro e manganês com o propósito de proteger as peças da corrosão [73].

---

<sup>13</sup> Por sinóptico de processo ou *process flow chart* entende-se um gráfico que demonstra a sequência operacional do desenvolvimento de um processo através de figuras que ilustram de forma descomplicada a transição de informações entre os elementos que o compõem. Um bom *process flow chart* pode conduzir à uma melhoria da qualidade do produto e redução do ciclo de produção e de custos [79].

<sup>14</sup> Um certificado de matéria-prima fornece a prova de que o que está enviando é, de facto, o que o cliente encomendou, e também é de boa qualidade [80].

<sup>15</sup> A soldadura por resistência agrupa vários processos nos quais o calor de soldadura é gerado pela resistência a um fluxo de corrente eléctrica que atravessa as partes a serem unidas. Estes processos são utilizados com mais frequência para soldar juntas sobrepostas de chapas com diferentes espessuras [81].

- Etapa 6 - Nesta fase as peças são pintadas com cor preta por meio de pintura electrostática<sup>16</sup>, continuando de seguida para um estágio na estufa.
- Etapa 7 - Por meio de um manipulador, as peças são retiradas da linha de pintura e chegam de forma automática ao posto de controlo e embalagem. O controlo visual, à saída da linha de pintura e antes da embalagem, é efectuado por operadores a 100 %. Verifica-se a qualidade da pintura para que não haja marcas, riscos, poros e deslocamento de tinta e também é testada estanquicidade da peça.
- Etapa 8 - Por meio de uma movimentação coordenada, as paletes/contentores são colocados numa zona de armazém (aguardando a sua expedição).

Para além destas 8 etapas, existe ainda um circuito de segregação de peças e/ou partes não conformes que é o mesmo todas as fases. Isto é, caso se verifique uma parte e/ou peça não conforme em cada uma das etapas do processo, esta é isolada e identificada numa área especificadamente designada para o efeito.

### 5.3.2 A medição e a recolha de dados

A recolha desta peça para análise qualitativa e medição efectua-se em 2 etapas do processo anteriormente descrito. Após a etapa 2 - a estampagem da platina, e após a etapa 4 - a soldadura do elemento na peça X. Segundo o desenho técnico da peça, fornecido pelo cliente, as características dimensionais críticas para este são 9 cotas significativas após a etapa 2 e 4 cotas após a etapa 4. As outras cotas não são significativas e não requerem controlo permanente, no entanto também são importantes. O controlo estatístico do processo é efectuado para estas 13 características dimensionais tal como o cliente exige, dos quais 12 são por variáveis e uma é por atributos, pertencente às 4 após a etapa 4. Durante este trabalho irá analisar-se uma carta de controlo de cada tipo desta peça, isto é, uma por variáveis e uma por atributos.

A frequência de recolha para medição e inspecção está estabelecida numa amostra de 5 peças por turno e existe um turno diariamente, então, por dia, resulta uma amostra para medição. A medição das variáveis das cotas é efectuada por uma máquina CMM<sup>17</sup> quando são necessários dados de uma amostra de 5 peças para completar uma carta de controlo por variáveis. Já o gabarito de controlo<sup>18</sup> é usado na etapa 7 para recolha de dados para detectar uma fracção de produtos defeituosos ou produtos não conformes numa amostra variável de peças por turno.

---

<sup>16</sup> A pintura electrostática tem como finalidade o revestimento do ferro, alumínio ou outros metais com uma película de polímero termoendurecível colorido (pó de poliéster). Após tal procedimento, a peça é levada para uma estufa, quando a estufa aquece, a tinta seca e é fixada [82].

<sup>17</sup> CMM ou *Coordinate Measuring Machine* é um dispositivo para medir as características físicas e geométricas de um objecto. É um versátil instrumento usado na indústria para medições com uma elevada precisão [83].

<sup>18</sup> É um aparelho no qual a peça a controlar baseia-se em localizadores que a localizam com precisão e é fixada com grampos com o intuito de a segurar contra os localizadores durante o controlo, garantindo assim, a localização da peça e a conformidade ou não conformidade da mesma [84].

As não-conformidades identificadas são registadas, e seguem um padrão identificado com o problema tal como a nomenclatura do problema ou defeito. Esta padronização permite fazer uma consulta dos dados recolhidos e a análise dos principais problemas da linha de produção, a identificação de problemas epidémicos e a priorização das acções correctivas para a sua eliminação.

### 5.3.3 As cartas de controlo

Tal como referido anteriormente, a frequência de amostragem é de 5 peças por turno e como existe um por dia, diariamente é registado na carta de controlo um ponto.

Há dois tipos de cartas de controlo utilizadas para o processo apresentado, uma por variáveis e uma por atributos e ao longo deste trabalho será estudada uma carta de controlo de cada um dos tipos.

Na figura seguinte (fig. 21) encontra-se uma imagem ilustrativa de uma carta de controlo por variáveis ( $\bar{x}$ , R), para uma visualização mais detalhada desta carta, ver Anexo 2 em Anexos.

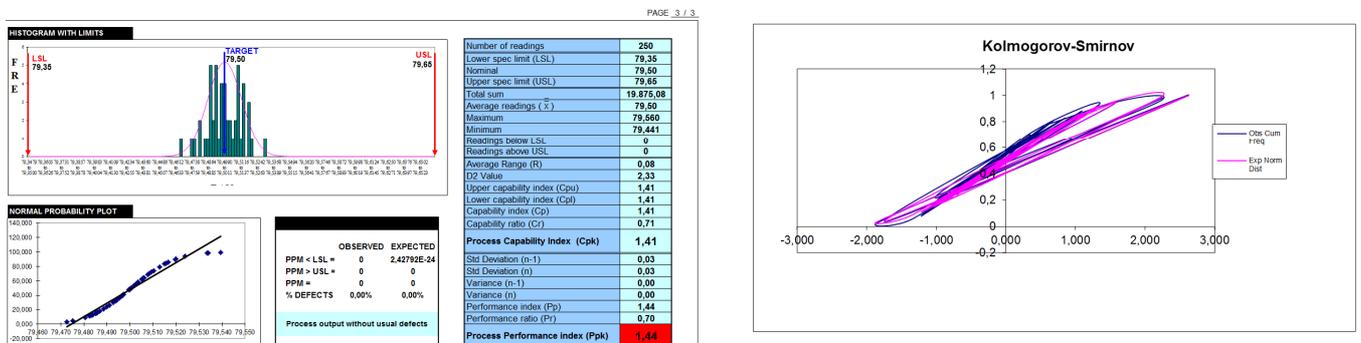
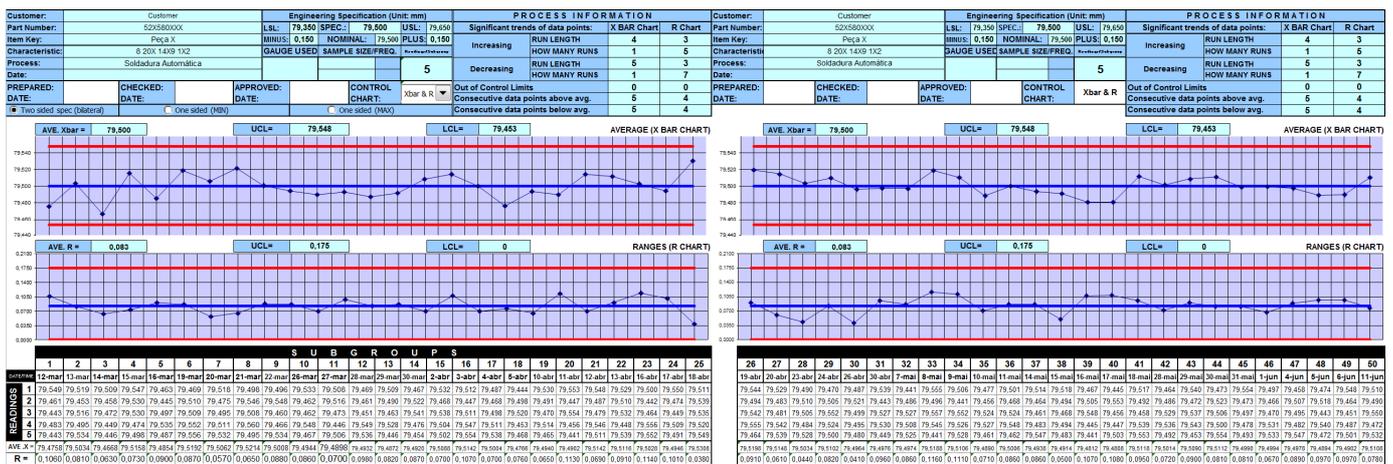


Figura 21 – Carta de controlo por variáveis.

Esta carta está dividida em duas grandes partes, cada uma com dados de 25 amostras cada.

A carta de controlo por variáveis é composta por várias secções, que são as seguintes:

- Dados identificativos da carta e do processo.
- Gráfico de controlo estatístico.
- Tabela onde introduzem-se os dados das medições da amostra recolhida.
- Secção dos resultados, um dos quais a capacidade do processo.
- Histograma.
- Gráfico de probabilidade normal<sup>19</sup>.
- Teste de Kolmogorov-Smirnov.
- Partes por milhão (PPM).

A Figura 22 ilustra uma carta de controlo  $p$  por atributos, para uma visualização mais detalhada desta carta, ver Anexo 3 em Anexos.

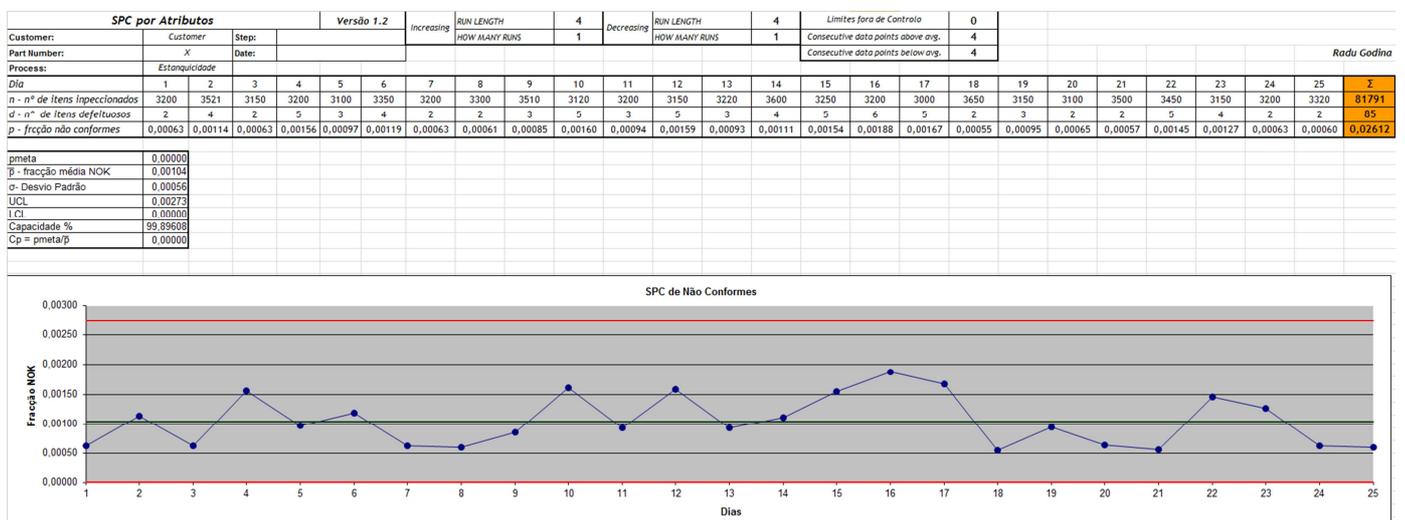


Figura 22 - Carta de controlo por variáveis.

A carta de controlo  $p$  por atributos é composta por menos secções, que são:

- Dados identificativos da carta e do processo.
- Gráfico de controlo estatístico.
- Tabela onde introduzem-se os dados das medições da amostra recolhida.
- Secção dos resultados, um dos quais a capacidade do processo.

Repare-se que esta carta de controlo padece de várias ferramentas estatísticas presentes nas cartas de controlo por variáveis, como os testes de normalidade e o histograma.

<sup>19</sup> O gráfico de probabilidade normal é uma técnica gráfica para o teste de normalidade e qualquer não-linearidade encontrada proporcionaria evidência de que o conjunto de dados analisado não provém duma população normal [85].

### 5.3.4 Os resultados obtidos para a carta ( $\bar{x}$ , $R$ )

Para o estudo do comportamento de uma carta de controlo ( $\bar{x}$ ,  $R$ ) da peça X irá ser usada como alvo a característica dimensional 79,5 mm com uma tolerância de  $\pm 0,15$  mm. A amostra de 5 peças recolhida diariamente provém da etapa 4 do processo, a partir do posto de soldadura automático e todas as peças provêm do posto 6 do prato rotativo. As amostras recolhidas para a análise do processo desta carta começam no dia 12 de Março de 2012 e acabam no dia 11 de Junho de 2012. Repare-se que os feriados e os fins-de-semana não são contados. Para uma consulta mais detalhada de toda a carta de controlo, por favor, ver Anexo 2 dos Anexos.

Na tabela 3 estão discriminados todos os dados informativos da carta de controlo:

<b>Customer:</b>	Customer			<b>Engineering Specification (Unit: mm)</b>						
<b>Part Number:</b>	52X580XXX			<b>LSL:</b>	79,350	<b>SPEC.:</b>	79,500	<b>USL:</b>	79,650	
<b>Item Key:</b>	Peça X			<b>MINUS:</b>	0,150	<b>NOMINAL:</b>	79,500	<b>PLUS:</b>	0,150	
<b>Characteristic:</b>	8 20X 14X9 1X2			<b>GAUGE USED</b>	<b>SAMPLE SIZE/FREQ.</b>		<b>Readings/Subgroup</b>			
<b>Process:</b>	Soldadura Automática							<b>5</b>		
<b>Date:</b>										
<b>PREPARED:</b>		<b>CHECKED:</b>		<b>APPROVED:</b>		<b>CONTROL CHART:</b>		Xbar & R		
<b>DATE:</b>		<b>DATE:</b>		<b>DATE:</b>						
<input checked="" type="radio"/> Two sided spec (bilateral)			<input type="radio"/> One sided (MIN)			<input type="radio"/> One sided (MAX)				

Tabela 3 – Dados informativos da carta de controlo.

Na tabela 4 está apresentada a primeira parte dos dados das amostras - os primeiros 25 subgrupos. Também repare-se que está dividida em 5 leituras e fornece a informação da média ( $\bar{x}$ ) (em inglês *average*) e também da amplitude ( $R$ ) e das datas.

		S U B G R O U P S																								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
DATE/TIME		12-Mar	13-Mar	14-Mar	15-Mar	16-Mar	19-Mar	20-Mar	21-Mar	22-Mar	26-Mar	27-Mar	28-Mar	29-Mar	30-Mar	2-Abr	3-Abr	4-Abr	5-Abr	10-Abr	11-Abr	12-Abr	13-Abr	16-Abr	17-Abr	18-Abr
<b>READINGS</b>	<b>1</b>	79,549	79,519	79,509	79,547	79,463	79,469	79,518	79,498	79,496	79,533	79,508	79,469	79,509	79,467	79,532	79,512	79,487	79,444	79,530	79,553	79,548	79,529	79,500	79,550	79,511
	<b>2</b>	79,461	79,453	79,458	79,530	79,445	79,510	79,475	79,546	79,548	79,462	79,516	79,461	79,490	79,522	79,468	79,447	79,487	79,498	79,491	79,447	79,487	79,510	79,442	79,474	79,539
	<b>3</b>	79,443	79,516	79,472	79,530	79,497	79,509	79,495	79,508	79,460	79,462	79,473	79,451	79,463	79,541	79,538	79,511	79,498	79,520	79,470	79,554	79,479	79,532	79,464	79,449	79,535
	<b>4</b>	79,483	79,495	79,449	79,474	79,535	79,552	79,511	79,560	79,466	79,548	79,446	79,549	79,528	79,476	79,504	79,547	79,511	79,453	79,514	79,456	79,546	79,448	79,556	79,509	79,520
	<b>5</b>	79,443	79,534	79,446	79,498	79,487	79,556	79,532	79,495	79,534	79,467	79,506	79,536	79,446	79,454	79,502	79,554	79,538	79,468	79,465	79,441	79,511	79,539	79,552	79,491	79,549
<b>AVE .X =</b>		79,4758	79,5034	79,4668	79,5158	79,4854	79,5192	79,5062	79,5214	79,5008	79,4944	79,4898	79,4932	79,4872	79,4920	79,5088	79,5142	79,5004	79,4766	79,4940	79,4902	79,5142	79,5116	79,5028	79,4946	79,5308
<b>R =</b>		0,1060	0,0810	0,0630	0,0730	0,0900	0,0870	0,0570	0,0650	0,0880	0,0860	0,0700	0,0980	0,0820	0,0870	0,0700	0,1070	0,0700	0,0760	0,0650	0,1130	0,0690	0,0910	0,1140	0,1010	0,0380

Tabela 4 - Os primeiros 25 subgrupos.

Já na tabela 5 está apresentada a segunda parte dos dados das amostras - os segundos 25 subgrupos:

		S U B G R O U P S																								
		26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
DATE/TIME		19-Abr	20-Abr	23-Abr	24-Abr	26-Abr	30-Abr	7-Mai	8-Mai	9-Mai	10-Mai	11-Mai	14-Mai	15-Mai	16-Mai	17-Mai	18-Mai	28-Mai	29-Mai	30-Mai	31-Mai	1-Jun	4-Jun	5-Jun	6-Jun	11-Jun
<b>READINGS</b>	<b>1</b>	79,544	79,529	79,490	79,470	79,487	79,539	79,441	79,555	79,506	79,477	79,501	79,514	79,518	79,467	79,445	79,517	79,464	79,540	79,473	79,554	79,497	79,458	79,474	79,548	79,5100
	<b>2</b>	79,494	79,483	79,510	79,505	79,521	79,443	79,486	79,496	79,441	79,456	79,468	79,464	79,494	79,505	79,553	79,492	79,486	79,472	79,523	79,473	79,466	79,507	79,518	79,464	79,4900
	<b>3</b>	79,542	79,481	79,505	79,552	79,499	79,527	79,527	79,557	79,552	79,524	79,524	79,461	79,468	79,548	79,456	79,458	79,529	79,537	79,506	79,497	79,470	79,495	79,443	79,451	79,5800
	<b>4</b>	79,555	79,542	79,484	79,524	79,495	79,530	79,508	79,545	79,526	79,527	79,548	79,483	79,494	79,445	79,447	79,539	79,536	79,543	79,500	79,478	79,531	79,482	79,540	79,487	79,4720
	<b>5</b>	79,464	79,539	79,528	79,500	79,480	79,449	79,525	79,441	79,528	79,461	79,462	79,547	79,483	79,441	79,503	79,553	79,492	79,453	79,554	79,493	79,533	79,547	79,472	79,501	79,5320
<b>AVE .X =</b>		79,5198	79,5148	79,5034	79,5102	79,4964	79,4976	79,4974	79,5188	79,5106	79,4890	79,5006	79,4938	79,4914	79,4812	79,4808	79,5118	79,5014	79,5090	79,5112	79,4990	79,4994	79,4978	79,4894	79,4902	79,5108
<b>R =</b>		0,0910	0,0610	0,0440	0,0820	0,0410	0,0960	0,0860	0,1160	0,1110	0,0710	0,0880	0,0860	0,0500	0,1070	0,1080	0,0950	0,0720	0,0900	0,0810	0,0810	0,0670	0,0890	0,0970	0,0970	0,0780

Tabela 5 – Os segundos 25 subgrupos.

Após o preenchimento dos espaços dos subgrupos com os dados recolhidos, são colocados os pontos no gráfico e a o gráfico ( $\bar{x}$ ,  $R$ ) aparece. Nas figuras seguintes aparece o resultado dos dados recolhidos durante esses dias. É possível ver, na linha e pontos azuis, o comportamento do gráfico. A vermelho é possível visualizar os limites de controlo tal como nas pequenas caixinhas acima dos gráficos estão presentes os valores calculados da média e dos limites.

O resultado gráfico da média ( $\bar{x}$ ) e amplitude ( $R$ ) dos primeiros 25 subgrupos é:

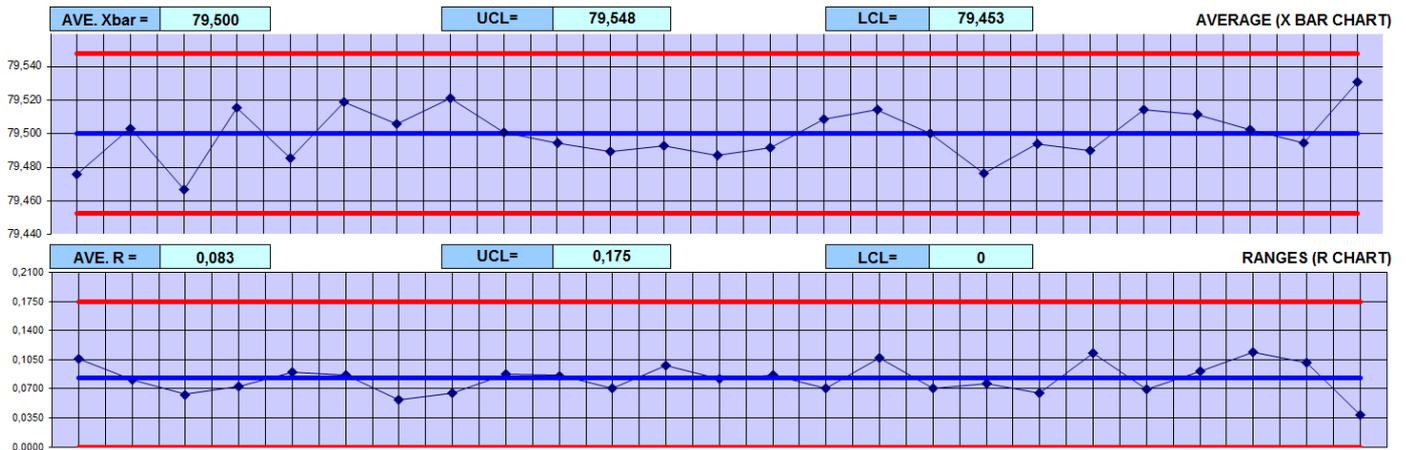


Figura 23 - O resultado gráfico da média ( $\bar{x}$ ) e amplitude ( $R$ ) dos primeiros 25 subgrupos.

O resultado gráfico da média ( $\bar{x}$ ) e amplitude ( $R$ ) dos segundos 25 subgrupos é exposto pela figura 24:

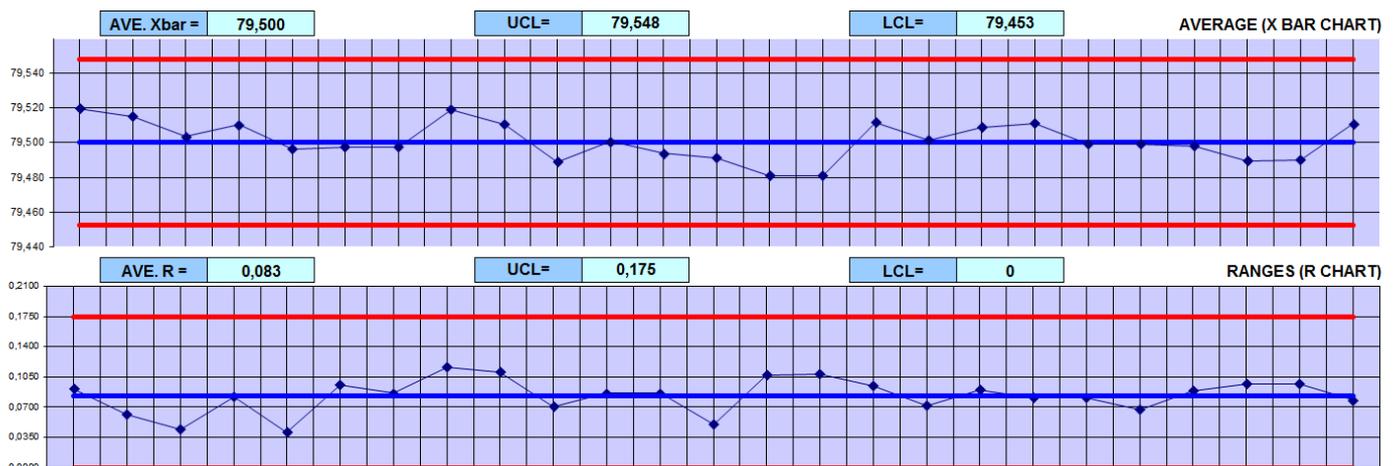


Figura 24 – O resultado gráfico da média ( $\bar{x}$ ) e amplitude ( $R$ ) dos segundos 25 subgrupos.

A interpretação e os resultados obtidos a partir desta carta de controlo irão ser discutidos no item **5.4 Interpretação dos Resultados**. Para uma consulta mais detalhada de toda a carta de controlo, por favor, ver Anexo 2 dos Anexos.

### 5.3.5 Os resultados obtidos para a carta p

Para o estudo do comportamento de uma carta de controlo  $p$  irá ser utilizada uma característica da peça  $X$  - o teste de estanquicidade da peça. Por número de itens inspeccionados entende-se o número de peças testadas no gabarito de controlo e pelo número de itens defeituosos entende-se o número de peças não conformes, isto é, rejeitadas.

Na tabela seguinte estão apresentados os dados das amostras, divididas em 25 subgrupos e nesta tabela consegue-se ver a linha dos itens inspeccionados, o número de itens defeituosos e a fracção de não conformes. Também pode-se ver uma coluna da média destas três linhas.

Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	$\Sigma$
$n$ - nº de itens inspeccionados	3200	3521	3150	3200	3100	3350	3200	3300	3510	3120	3200	3150	3220	3600	3250	3200	3000	3650	3150	3100	3500	3450	3150	3200	3320	81791
$d$ - nº de itens defeituosos	2	4	2	5	3	4	2	2	3	5	3	5	3	4	5	6	5	2	3	2	2	5	4	2	2	85
$p$ - fracção não conformes	0,00063	0,00114	0,00063	0,00156	0,00097	0,00119	0,00063	0,00061	0,00085	0,00160	0,00094	0,00159	0,00093	0,00111	0,00154	0,00188	0,00167	0,00055	0,00095	0,00065	0,00057	0,00145	0,00127	0,00063	0,00060	0,02612

Tabela 6 - Os dados das amostras do teste de estanquicidade da peça.

Após o preenchimento dos espaços dos subgrupos com os dados recolhidos, são colocados os pontos no gráfico e a o gráfico  $p$  aparece. Na figura seguinte aparece o resultado dos dados recolhidos durante esses dias. É possível ver, na linha e pontos azuis, o comportamento do gráfico. A vermelho é possível visualizar os limites de controlo e a verde a linha da média.

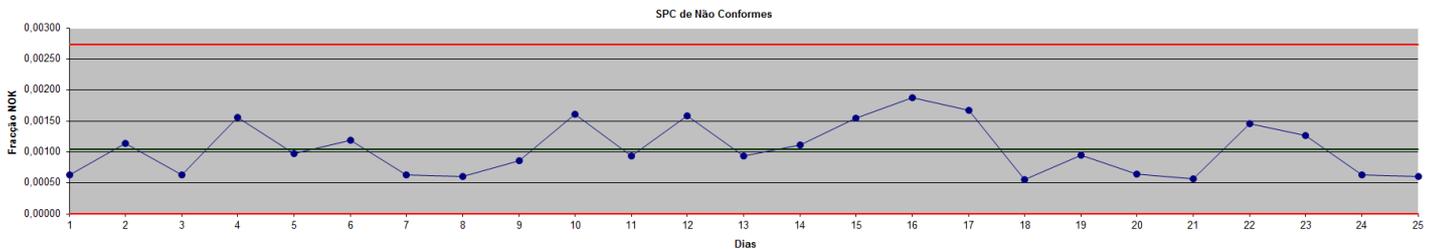


Figura 25 - O resultado gráfico da carta p.

A interpretação e os resultados obtidos a partir desta carta de controlo irão ser discutidos no item **5.4 Interpretação dos Resultados**. Para uma consulta mais detalhada de toda a carta de controlo, por favor, ver Anexo 3 dos Anexos.

## 5.4 Interpretação dos Resultados

Após a colocação dos dados nas cartas de controlo e após visualizar a forma que os gráficos de controlo tomaram é possível deduzir algumas fórmulas e índices, como o índice de capacidade, para melhor entender os relutados obtidos. O cálculo da capacidade do processo foi elaborado pelo próprio software, neste caso - Excel<sup>®</sup>, que analisa as tendências e os índices de capacidade do processo.

Também com outras ferramentas estatísticas em jogo no caso da carta de controlo por variáveis consegue-se compreender melhor os resultados obtidos e verificar o teste de normalidade.

A crítica a estes resultados e as vantagens e desvantagens da utilização do controlo estatístico do processo irão ser discutidas no *Capítulo 6*.

### 5.4.1 Análise dos resultados obtidos à partir da carta ( $\bar{x}$ , $R$ )

Antes de começar a analisar os resultados dos gráficos directamente deve-se verificar se os dados recolhidos são viáveis ou não, logo deve-se testar a normalidade, isto é, verificar se o conjunto de dados analisado provém ou não duma população normal. O histograma obtido é o seguinte:

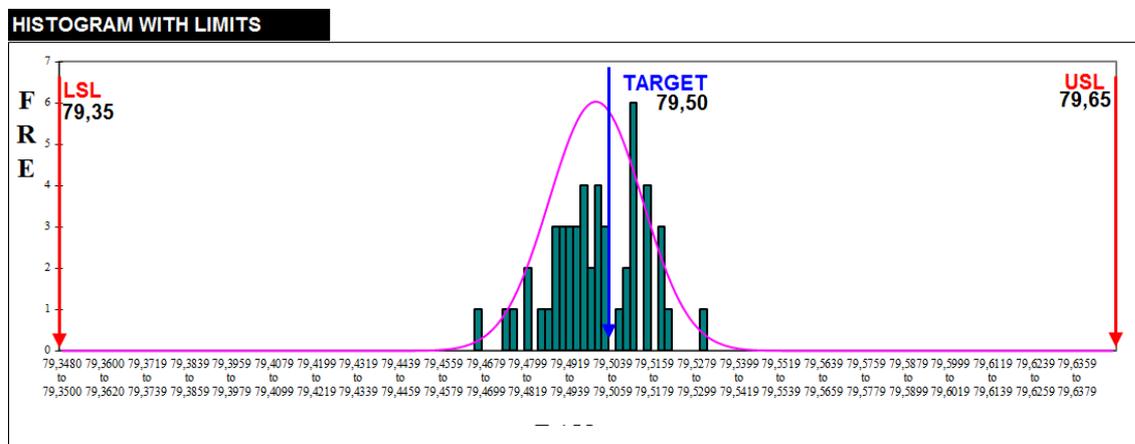


Figura 26 – O histograma da carta ( $\bar{x}$ ,  $R$ ).

Ao observar este histograma, verifica-se que a distribuição dos dados recolhidos encontra-se entre os limites especificados e a tendência de se criar uma representação gráfica de uma curva suave - a distribuição da curva normal.

Outro gráfico que auxilia na melhor compreensão dos dados recolhidos é o de probabilidade normal e que proporciona uma evidência de que o conjunto de dados analisado provém duma população normal.

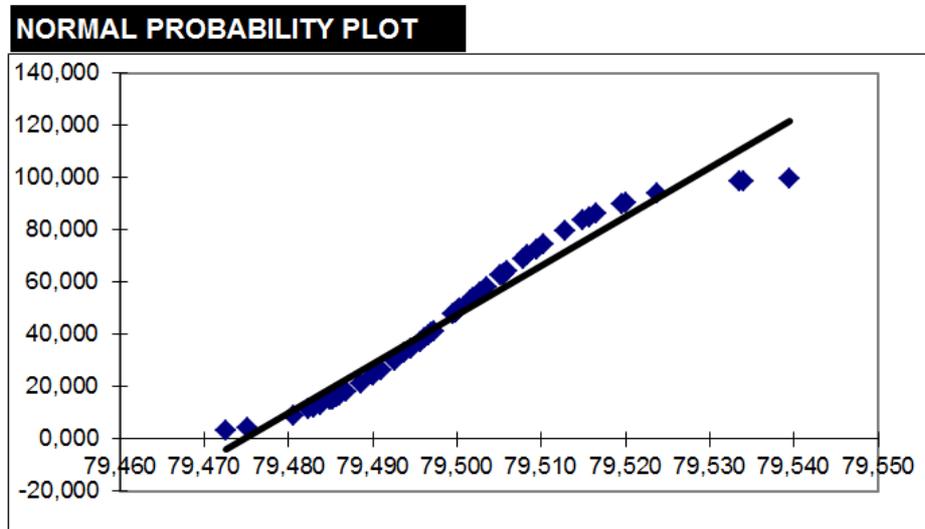


Figura 27 – O gráfico de probabilidade normal prova que o conjunto de dados analisado provém duma população normal.

A análise efectuada ao gráfico de probabilidade normal desta carta de controlo comprova que os dados colocados seguem a normalidade.

Por sua vez o teste de Kolmogorov-Smirnov faz parte deste trabalho porque as cartas de controlo exigem a normalidade. O resultado obtido foi o seguinte:

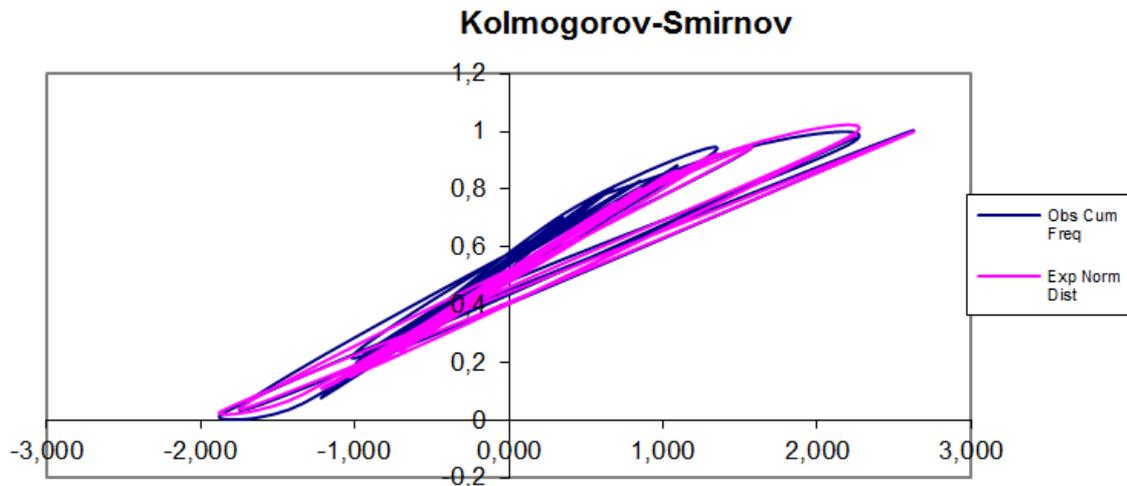


Figura 28 - O resultado obtido a partir do teste de Kolmogorov-Smirnov.

A observação deste gráfico permite concluir que os dados seguem uma distribuição normal.

Visto que a obtenção dos resultados anteriores garantem a viabilidade dos dados recolhidos, passa-se a análise do comportamento dos gráficos obtidos a partir destes.

Uma interpretação dos gráficos de controlo é efectuada por meio do estudo da ocorrência (ou não) de padrões de não-aleatoriedade. Ao examinar os gráficos obtidos à procura de padrões e ao contar os pontos obtidos, chegou-se a este resultado:

<b>PROCESS INFORMATION</b>			
<b>Significant trends of data points:</b>		<b>X BAR Chart</b>	<b>R Chart</b>
<b>Increasing</b>	<b>RUN LENGTH</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
	<b>HOW MANY RUNS</b>	<b>1</b>	<b>5</b>
<b>Decreasing</b>	<b>RUN LENGTH</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
	<b>HOW MANY RUNS</b>	<b>1</b>	<b>7</b>
<b>Out of Control Limits</b>		<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Consecutive data points above avg.</b>		<b>5</b>	<b>4</b>
<b>Consecutive data points below avg.</b>		<b>5</b>	<b>4</b>

Tabela 7 – Informação e os padrões do processo.

A leitura da Tabela 6 permite concluir que não existe nenhum padrão de não-aleatoriedade, pois não se verificam sete ou mais pontos consecutivos a seguirem uma tendência ou a estarem fixados acima ou abaixo da média, tanto no caso do gráfico da média ( $\bar{x}$ ) como no de amplitude ( $R$ ).

Outra tabela que faz parte desta carta de controlo, é a dos PPM.

	<b>OBSERVED</b>	<b>EXPECTED</b>
<b>PPM &lt; LSL =</b>	<b>0</b>	<b>2,42792E-24</b>
<b>PPM &gt; USL =</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>PPM =</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>% DEFECTS</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>
<b>Process output without usual defects</b>		

Tabela 8 – Tabela dos PPM.

Ao examinar a Tabela 9, nota-se que os PPM observados são 0 e muito inferiores aos esperados, e chega-se à conclusão que o output do processo não produz itens defeituosos.

Por último é necessário efectuar a análise da capacidade do processo, para confirmar se o processo é capaz ou não. A tabela seguinte dispõe todos os dados necessários para o efeito:

Number of readings	<b>250</b>
Lower spec limit (LSL)	<b>79,35</b>
Nominal	<b>79,50</b>
Upper spec limit (USL)	<b>79,65</b>
Total sum	<b>19.875,08</b>
Average readings ( $\bar{x}$ )	<b>79,50</b>
Maximum	<b>79,560</b>
Minimum	<b>79,441</b>
Readings below LSL	<b>0</b>
Readings above USL	<b>0</b>
Average Range (R)	<b>0,08</b>
D2 Value	<b>2,33</b>
Upper capability index (Cpu)	<b>1,41</b>
Lower capability index (Cpl)	<b>1,41</b>
Capability index (Cp)	<b>1,41</b>
Capability ratio (Cr)	<b>0,71</b>
<b>Process Capability Index (Cpk)</b>	<b>1,41</b>

Tabela 9 – A análise da capacidade do processo.

Os dados obtidos à partir da tabela 10 permitem tirar algumas conclusões. Após os cálculos resultou que o índice de capacidade do processo  $C_{pk}$  é 1,41. Esta unidade industrial tal como muitas empresas utilizam como padrão de qualidade a meta  $C_{pk} > 1,33$  que garante que a especificação contemple  $8\sigma$  do processo tal como descrito no subitem **4.1.2 Índice de capacidade**. Ora como  $1,41 > 1,33$  pode-se concluir que o processo é capaz. Também o índice  $C_p$  que avalia a capacidade potencial do processo é calculado, o resultado 1,41 é maior que 1,33 logo o processo é potencialmente capaz.

Como se pode verificar pelas figuras e tabelas anteriores, o processo em estudo é estável e não apresenta causas especiais e apresenta comportamento previsível ao longo do tempo, o que possibilita avaliar a capacidade de produzir as peças X conforme a especificação. Este processo apresenta resultados satisfatórios na análise de estabilidade e capacidade.

### 5.4.2 Análise dos resultados obtidos à partir da carta *p*

Ao colocar os dados nas cartas de controlo e após visualizar a forma que o gráfico de controlo tomou é possível deduzir o índice de capacidade, para melhor entender os resultados obtidos. Ao examinar a carta *p* e ao efectuar a procura de padrões e contar os pontos obtidos, preencheu-se esta tabela:

Increasing	RUN LENGTH	4	Decreasing	RUN LENGTH	4	Limites fora de Controlo	0
	HOW MANY RUNS	1		HOW MANY RUNS	1	Consecutive data points above avg.	4
						Consecutive data points below avg.	4

Tabela 10 - Informação e os padrões do processo.

Ao ler a Tabela 9 permite concluir que não existe nenhum padrão de não-aleatoriedade, pois não se verificam sete ou mais pontos consecutivos a seguirem uma tendência ou a estarem fixados acima ou abaixo da média.

Os cálculos para a obtenção da capacidade do processo à partir dos pontos da carta *p* figuram na seguinte tabela:

p <sub>meta</sub>	0,00000
$\bar{p}$ - fracção média NOK	0,00104
$\sigma$ - Desvio Padrão	0,00056
UCL	0,00273
LCL	0,00000
Capacidade %	99,89608
$C_p = p_{meta}/\bar{p}$	0,00000

Tabela 11 - A análise da capacidade do processo.

A tabela 10 fornece a informação de que o percentual de não-conformes ao ser comparado com as expectativas e metas da gestão geraram o índice de capacidade de  $C_p = 0$  e como  $C_p < 1$ , a direcção deve agir sobre o processo tal como explicitado no subitem **4.2.1 Interpretação da capacidade do processo**.

Este processo não apresenta resultados satisfatórios de estabilidade e capacidade na análise da carta de controlo *p*. Entretanto, devido às exigências do cliente, a utilização deste tipo de carta caiu em desuso. Como o cliente exigiu 0 % de peças não conformes quanto ao parâmetro de estanquicidade a gestão decidiu abandonar este método de controlo e implementou um controlo a 100%, isto é, unitário no fim da etapa 7.

"O homem é do tamanho do seu sonho."  
Fernando Pessoa

## Capítulo 6

### Conclusões Gerais

Este capítulo tece a análise crítica dos resultados e as considerações finais. Sucintamente, o desenvolvimento deste trabalho permitiu um aprofundamento dos conhecimentos ao redor do método de gestão ou conjunto de ferramentas para a gestão dos processos - o controlo estatístico do processo (CEP) no que toca ao seu âmbito, à sua abrangência e à sua aplicação na realidade.

O objectivo principal deste trabalho foi apresentar a aplicação de uma abordagem sistemática de utilização do Controlo Estatístico de Processo (CEP) numa das etapas de produção da peça X na unidade industrial, de modo a identificar através de cartas de controlo, os problemas existentes no processo produtivo da empresa, tendo como propósito à melhoria da qualidade nos processos produtivos da mesma.

Através da aplicação deste modelo, foi possível colocar em prática o que foi apresentado e estudado na teoria, aprofundar o conhecimento e a aprendizagem, através das dificuldades e desafios encontrados em cada etapa de aplicação do modelo conceitual. Assim, é possível demonstrar que para cada estudo de caso é necessário ao investigador desenvolver alternativas para tornar um modelo conceitual aplicável no aspecto prático, posto que todas as empresas e processos apresentam as suas rotinas e particularidades, exigindo adaptações específicas.

Apesar das análises dos resultados das cartas de controlo, em específico a por atributos, terem demonstrado que o processo não é capaz de produzir a 100 % peças dentro do especificado, pode-se observar que, através destas informações que permitiram conhecer melhor o processo de fabrico da peça X e facilita a análise dos resultados e a aplicação de acções de correcção e melhoria.

Na elaboração do estudo de caso foi possível aplicar esta solução à realidade de uma unidade industrial com toda a sua complexidade. Contudo este estudo apresentou algumas limitações, dado que a aplicação do método no âmbito do estudo de caso foi feita apenas numa unidade industrial.

## 6.1 Critica aos resultados obtidos

A implementação e o uso do CEP produziu resultados claramente satisfatórios no caso das características dimensionais que produzem dados variáveis, perante aquilo que tinham sido os objectivos delineados pela direcção. Com efeito, conseguiu-se visualizar o comportamento do processo produtivo e calcular a capacidade do mesmo e conclui-se que o processo é capaz.

Quanto aos resultados obtidos da carta de controlo por atributos, tornaram-se insatisfatórios pois não se consegue garantir 0% de defeitos e algumas peças não-conformes acabam por chegar ao cliente. A solução escolhida e executada pela gestão foi o controlo de 100 % unitário à saída da etapa 7. Embora seja um processo mais caro e que necessita de mais mão-de-obra, garante a 100 % a estanquicidade da peça X.

A escolha das etapas certas para o uso deste método é muito importante pois permite controlar melhor o processo nas suas várias fases de produção e cria a possibilidade de identificar alguns problemas na raiz e não só os detectar no fim do processo.

Durante esta análise não surgiram nenhuma causa especiais, todas as causas dos problemas encontrados, especialmente no caso da estanquicidade, são comuns o que para a sua correcção exige um investimento avultado, coisa que a unidade fabril, de momento, não está em modo de o efectuar.

A abordagem de implantação proposta por este trabalho, poderá ser aplicada em outras etapas do processo, contribuindo significativamente para a redução e/ou eliminação de falhas no processo de produção, permitindo o atendimento das metas de qualidade definidas pela gestão da empresa para os próximos. Isto demonstra que a melhoria contínua é uma necessidade que deve nascer desde o projecto do produto ou de novos processos, o que possibilitará ganho de tempo e recursos, tendo em vista que a empresa passa a trabalhar de modo preventivo e não de modo correctivo.

Este trabalho também apresentou uma revisão bibliográfica sobre o Controlo Estatístico de Processo, através de uma fundamentação teórica que abordou três assuntos principais:

- Qualidade
- Controle Estatístico do Processo e
- Implantação e Uso do Controlo Estatístico da Processo

Onde procurou-se dar maior ênfase às aplicações necessárias para o entendimento do estudo de caso apresentado.

## 6.2 Sugestões para futuros trabalhos

Este trabalho apresentou a melhoria de implantação de ferramentas estatísticas para a melhoria da qualidade na empresa. Através deste trabalho, foi possível demonstrar a grande necessidade que a empresa tem para a aplicação destas ferramentas, pois através delas será possível tomar decisões corretas por meio de informações precisas levantadas através de pesquisas.

A implantação de novos projectos é um assunto sobre o qual não há informação detalhada até agora. Contudo, a direcção já transmitiu que o processo está em desenvolvimento e que a unidade terá que se preparar para uma nova etapa no seu contexto produtivo, que contemplará a aquisição de novos equipamentos e a ampliação das instalações actuais, possibilitando deste modo, também, melhoria no processo produtivo analisado neste trabalho com o fim de eliminar algumas causas comuns.

Este trabalho abre caminho a novas pesquisas futuras dentro do mesmo âmbito. Seguindo essa linha, seria muito importante desenvolver trabalhos como:

- Desenvolver uma ferramenta no sentido de a adaptar aos diferentes processos industriais, bem como fazer a sua aplicação em mais unidades industriais, para se conseguir uma avaliação mais consistente da sua aplicabilidade;
- Encontrar e estudar outro modelo estatístico a aplicar na etapa 7 removendo, assim, o uso do controlo qualitativo a 100 %;
- A consideração pela gestão de topo da hipótese de aquisição de equipamentos mais optimizados para o processo estudado poderá originar em alterações no processo, ajustando assim todo o método de controlo estatístico do processo;
- Estudar uma possível redução dos índices de sucata e retrabalho;
- Maior envolvimento e comprometimento de todos com a qualidade do processo;
- Aumentar a frequência de amostragem e estudar os resultados provenientes desse aumento.

## 6.3 Recomendações

Numa economia global, com mercados cada vez mais competitivos, exigentes e selectivos, só sobrevive quem tem capacidade para se adaptar às novas exigências, seja flexível e responda, com eficácia, às questões relacionadas com a qualidade em geral, uma “exigência da sociedade moderna”.

Sendo assim, tanto ao método do Controlo Estatístico do Processo como toda a filosofia envolta na melhoria de qualidade em geral tem a colaboração das pessoas como peça vital.

Nesse sentido, lança-se o desafio à empresa e ao grupo no geral para que não poupe esforços na gestão, formação e motivação de todos os colaboradores e envolva ao máximo os seus quadros nas melhorias e que lhes reconheça o mérito pelo bom resultado conseguido até agora, pois só deste modo poder-se-á criar uma cultura de qualidade e excelência e uma estrutura sólida e confiável para enfrentar os desafios de um mercado cada vez mais competitivo e em contexto de crise no país.

## **6.4 Apreciação final**

Este estudo permitiu constatar que o Controlo Estatístico do Processo tem um impacto claramente positivo no desempenho de uma organização/empresa. Importa, no entanto, salientar que o facto de assentar na análise de apenas um determinado contexto organizacional pode constituir uma limitação, condicionando a generalização dos resultados. Se a amostra objecto de estudo fosse mais abrangente, constituída por vários processos e/ou várias organizações/empresas e integrando diferentes ramos de actividade, as conclusões seriam, obviamente, mais sólidas.

Através dos resultados obtidos no estudo de caso, acredita-se que a aplicação do modelo proposto apresentado neste trabalho, com as devidas adaptações, pode auxiliar outras empresas a atingirem níveis de qualidade elevados, resultando em ganhos e no atendimento das expectativas do cliente final o que poderá contribuir de um modo crucial para o crescimento da imagem da empresa, que é seu maior património.

Estou grato pela oportunidade dada pela unidade para fazer parte da equipa da Engenharia e Qualidade ao permitir-me criar uma base mais sólida no conhecimento do Controlo Estatístico do Processo, e particularmente, da sua aplicação no terreno com todas as variáveis e dificuldades associadas. O desenvolvimento pessoal e profissional que esta experiência proporcionou é de toda uma mais-valia preciosa e com impacto significativo. Estou grato por, também, ter contribuído, no seio da equipa, nem que seja por um pouco, na melhoria de qualidade e aumento de produtividade da unidade industrial - dois factores nucleares na manutenção, crescimento e operação no contexto do mercado automóvel actual.

## Bibliografia

- [1] D. S. Sharma, "The association between ISO 9000 certification and financial performance," *The International Journal of Accounting*, vol. 40, n.º Issue 2, pp. 151-172, 2005.
- [2] M. Artis e T. Okubo, "Globalization and business cycle transmission," *The North American Journal of Economics and Finance*, vol. 20, n.º Issue 2, pp. 91-99, 2009.
- [3] J. C. d. O. Matias, *Controlo Estatístico do Processo na Fabricação*, Covilhã: Universidade da Beira Interior - Departamento de Engenharia Electromecânica, 1997.
- [4] I. Heras, F. Marimon e M. Casadesús, "Impacto competitivo de las herramientas para la gestión de la calidad," *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, vol. 12, n.º Issue 41, pp. 7-35, 2009.
- [5] E. N. Cinicioglu, Ş. Önsel e F. Ülengin, "Competitiveness analysis of automotive industry in Turkey using Bayesian networks," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, n.º Issue 12, pp. 10923-10932, 15 September 2012.
- [6] DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, and General Motors Corporation, *Statistical Process Control*, A.I.A.G., 2005.
- [7] G. Škulj, R. Vrabič, P. Butala e A. Sluga, "Statistical Process Control as a Service: An Industrial Case Study," *Procedia CIRP*, vol. 7, pp. 401-406, 2013.
- [8] S. Joeques e E. P. Barbosa, "An improved attribute control chart for monitoring non-conforming proportion in high quality processes," *Control Engineering Practice*, vol. 21, n.º Issue 4, pp. 407-412, April 2013.
- [9] Y. Xiang, "Joint optimization of control chart and preventive maintenance policies: A discrete-time Markov chain approach," *European Journal of Operational Research*, vol. 229, n.º 2, pp. 382-390, 1 September 2013.
- [10] A. P. Gama, "O Estudo de Caso Como Metodologia de Investigação em Marketing e Gestão," *Revista Portuguesa de Marketing*, vol. 25, pp. 71-83, 2009.
- [11] . G. Miallaret, *Introduction aux sciences de l'éducation*, Lausanne: Unesco -Delachaux e Niestlé, 1985.
- [12] J. B. Duarte, "Estudos de caso em educação. Investigação em profundidade com recursos reduzidos e outro modo de generalização.," *Revista Lusófona de Educação*, vol. 11, pp. 113-132, 2008.
- [13] R. K. Yin, *Case studies research: design and methods*, 3ª ed. ed., Thousands Oaks: Sage Publications, 2003.
- [14] J. E. Wieringa, *Statistical Process Control for Serially Correlated Data*, Groningen: Labyrinth Publication, 1999.

- [15] T. W. Nolan e L. P. Provost, "Understanding Variation," *Quality Progress*, pp. 70-78, 1990.
- [16] T. Gutowski, J. Dahmus e A. Thiriez, "Electrical Energy Requirements for Manufacturing Processes," em 13th CIRP International Conference of Life Cycle Engineering, Lueven, 2006.
- [17] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, Sixth Edition, Jefferson City: John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- [18] J. S. Oakland, *Statistical Process Control*, Fifth Edition ed., Leeds: Butterworth-Heinemann Ltd, 2003.
- [19] K. . Ibrahim, *Active Statistical Process Control*, Newcastle: University of Newcastle Library, 1996.
- [20] M. Lynne, A. Spector e M. Treger, "Chapter 21 - Plan, Do, Check, Act: The Deming or Shewhart Cycle," em *Managing Smart*, Boston, Gulf Professional Publishing, 1999, p. 25.
- [21] *Quality management systems, ISO 9001:2008*, ISO copyright office, 2008.
- [22] *Quality management systems, ISO/TS16949:2002*, Second edition ed., ISO copyright office, 2002, p. 1.
- [23] A. Jesus, "O que é o Ciclo PDCA?," *Portal Gestão*, 2013. [Online]. Available: <http://www.portal-gestao.com/item/6687-o-que-%C3%A9-o-ciclo-pdca?.html>. [Acedido em 11 06 2013].
- [24] IBM Business Consulting Services, "Helping you achieve excellence in global manufacturing," 2005.
- [25] R. Tondato e M. B. Gonçalves, "Aplicação e Implementação do CEP e Ciclo PDCA," em O maior congresso de administração da américa latina, 2012.
- [26] A. R. Martínez-Lorente, F. Dewhurst e B. G. Dale, "Total Quality Management: Origins and Evolution of The Term," *The TQM Magazine*, vol. 10, pp. 378-386, 1988.
- [27] D. Hoyle, *Automotive Quality Systems Handbook*, Butterworth-Heinemann Ltd, 2000, p. 20.
- [28] Inc.com, "Total Quality Management (TQM)," Mansueto Ventures LLC., [Online]. Available: <http://www.inc.com/encyclopedia/total-quality-management-TQM.html>. [Acedido em 20 05 2013].
- [29] T. H. d. P. Alvarenga, J. V. M. Bittencourt, E. A. d. S. A. d. Matos, J. L. Kovaleski e A. Gonçalves, "A importância da utilização do Controle Estatístico de Processo (CEP) nas indústrias de alimentos," em II Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa, PR, Brasil, 2012.
- [30] N. e. a. SLACK, *Administração da produção*, São Paulo: Atlas, 2009.
- [31] V. F. Campos, *Controle de qualidade total (no estilo japonês)*, Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 2004.

- [32] R. R. Magalhães e R. Cymrot, “Técnicas Alternativas De Monitoramento E Controle Estatístico De Processos Aos Gráficos De Controle De Shewhart,” em III Jornada de Iniciação Científica, 2007.
- [33] B. M. P. Coelho, R. E. Mendes, W. B. Paulino e R. C. Mergulhão, “Investigação sobre o Controle Estatístico de Processos em uma Siderúrgica,” INGEPRO - Inovação, Gestão e Produção, vol. 02, pp. 37-44, Setembro 2010.
- [34] D. A. Garvin, *Managing Quality: The Strategic and Competitive Edge*, Free Press, 1988.
- [35] O. Senoz, W. Daughton, A. Gosavi e E. Cudney, “An evaluation of professional quality measurement systems for the automotive industry,” *International Journal of Engineering, Science and Technology*, vol. 3, n.º Department of Engineering Management & Systems Engineering, Missouri University of Science and Technology, USA, pp. 101-108, 2011.
- [36] R. Germain, C. Claycomb e C. Dröge, “Supply chain variability, organizational structure, and performance: The moderating effect of demand unpredictability,” *Journal of Operations Management*, vol. 26, pp. 557-570, 2007.
- [37] R. D. Snee, “Statistical thinking and its contribution to total quality,” *Statistics Division Newsletter*, pp. 9-14, 1991.
- [38] M. A. Mohammed, T. Marshall, A. Rouse e K. K. Cheng, “Bristol, Shipman, and clinical governance: Shewhart’s forgotten lessons,” *THE LANCET*, vol. 357, n.º Public health, pp. 463-467, 2001.
- [39] W. A. Shewhart, *Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control*, Washington: The Graduate School, Department of Agriculture, 1939.
- [40] J. A. Shaw, “Statistical Process Control for the Process Industries,” *ISA TRANSACTIONS*, vol. 30, pp. 99-106, 1991.
- [41] S. Berk e J. Berk, *Statistical Process Control - A secret weapon we gave to Japan...*, 2000.
- [42] T. Pawlicki e M. Whitaker, “Variation and control of process behavior,” *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, vol. 71, n.º Process behavior, Variation, Statistical process control, Action limits., p. S210-S214, 2008.
- [43] S. F. d. A. Joel, “Cana da Estratégia,” [Online]. Available: <http://www.canaldaestrategia.com.br/?tag=analise-de-pareto>. [Acedido em 11 06 2013].
- [44] “Anexo A - Ferramentas da Qualidade,” pp. A1-A27.
- [45] H. Mata-Lima, “Aplicação de ferramentas da gestão da qualidade e ambiente na resolução de problemas,” Universidade da Madeira, Madeira, 2007.
- [46] E. Kurokawa, “Utilizando o histograma como uma ferramenta estatística de análise da produção de água tratada de Goiânia,” em XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún, México, 2012.

- [47] H. Kume, Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade, 11<sup>a</sup> ed., São Paulo: Gente, 1993.
- [48] E. P. Paladini, Gestão da Qualidade, São Paulo: Atlas, 2000.
- [49] W. H. Woodall, “Controversies and Contradictions in Statistical Process Control,” em 44th Annual Fall Technical Conference of the Chemical and Process Industries Division and Statistics Division of the American Society for Quality and the Section on Physical & Engineering Sciences of the American Statistical Association, Minneapolis, Minnesota, 2000.
- [50] M. Stuart, E. Mullins e E. Drew, “Statistical quality control and improvement,” European Journal of Operational Research, vol. 88, pp. 203-214, 1995.
- [51] W. A. Shewhart, Economic Control of Quality of Manufactured, Toronto: D. van Nostrand Company, Inc., 1931.
- [52] R. P. Anjard, “SPC Chart Selection Process,” Microelectron. Reliab., vol. 35, pp. 1445-1447, 1992.
- [53] J. L. D. Ribeiro e C. S. t. Caten, Série monográfica Qualidade - Controle Estatístico do Processo, Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2012.
- [54] Datalyzer Spectrum, “CEP - Controle Estatístico de Processo - Ano IV - Nº 37 - Janeiro/2007,” Datalyzer Spectrum, 01 2007. [Online]. Available: <http://www.datalyzer.com.br/site/suporte/administrador/info/arquivos/info64/64.html>. [Acedido em 18 06 2013].
- [55] W. E. Deming, Out of the Crisis, Massachusetts Institute of Technology, 1986.
- [56] L. A. R. Rivera, N. F. Hubele e F. P. Lawrence, “Cpk Index Estimation Using Data Transformation,” Computers ind. Engng, vol. 29, n.º Industrial and Management Systems Engineering, pp. 55-58, 1995.
- [57] Q. S. S. Nomelini, Padrões de Não-Aleatoriedade no Controle Estatístico de Processo, Minas Gerais - Brasil: LAVRAS, 2007.
- [58] W. Hachicha e A. Ghorbel, “A survey of control-chart pattern-recognition literature (1991-2010) based on a new conceptual classification scheme,” Computers & Industrial Engineering, vol. 63, n.º Padrões de não-aleatoriedade do processo, pp. 204-222, 2012.
- [59] Western Electric Company, Statistical quality control handbook, Indianapolis: Indiana: Western Electric Co. Inc., 1958.
- [60] D. F. Groebner, P. W. Shannon, P. C. Fry e K. D. Smith, “Chapter 9: Introduction to Hypothesis Testing,” em Business Statistics (7th Edition), Prentice-Hall, Inc. | A Pearson Education Company, 2007, pp. 375-428.
- [61] G. Casella e R. Berger, “Hypothesis Testing in Statistics,” em International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences, Oxford, Pergamon, 2001, p. 7118-7121.
- [62] S. M. Ross, Introductory Statistics, San Diego, California: Elsevier Inc., 2010.

- [63] Wikipédia, “Teste Kolmogorov-Smirnov,” Wikipédia, 15 03 2013. [Online]. Available: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Teste\\_Kolmogorov-Smirnov](http://pt.wikipedia.org/wiki/Teste_Kolmogorov-Smirnov). [Acedido em 20 06 2013].
- [64] M. P. d. Santos, *Introdução à Simulação Discreta*, Rio de Janeiro: Universidade do estado do Rio de Janeiro, 1999.
- [65] Portal Action, “6.2 - Teste de Kolmogorov-Smirnov,” Estatcamp, 2011. [Online]. Available: <http://www.portalaction.com.br/content/62-teste-de-kolmogorov-smirnov>. [Acedido em 2013 06 21].
- [66] Y. B. Wah e N. M. Razali, “Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests,” *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, vol. 2, pp. 21-33, 2011.
- [67] Z. Drezner e O. Turel, “Normalizing variables with too-frequent values using a Kolmogorov-Smirnov test:,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 61, n.º 4, pp. 1240-1244, 2011.
- [68] T. F. T. Bidarra, *Implementação da metodologia SMED numa empresa do sector da indústria automóvel*, Covilhã: Universidade da Beira Interior - Ciências da Engenharia, 2011.
- [69] T. J. A. Ferreira, *Desenvolvimento de uma ferramenta de suporte à implementação do Lean Manufacturing em ambientes de produção intermitentes*, Covilhã: Universidade da Beira Interior - Ciências da Engenharia, 2011.
- [70] A. M. Turk, “The benefits associated with ISO 14001 certification for construction firms: Turkish case,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 17, pp. 559-569, 2009.
- [71] B. Fernández-Muniz, J. M. Montes-Peón e C. J. Vázquez-Ordás, “Safety climate in OHSAS 18001-certified organisations: Antecedents and consequences of safety behaviour,” *Accident Analysis and Prevention*, vol. 45, n.º OHSAS 18001 e segurança do trabalho, pp. 745-758, 2012.
- [72] E. Björklund, C. Turner, L. Karlsson, L. Mathiasson, B. Sivik e J. Skogsmo, “The influence of oil extractability and metal part geometry in degreasing processes using supercritical carbon dioxide,” *The Journal of Supercritical Fluids*, vol. 9, n.º Issue 1, pp. 56-60, 1996.
- [73] N. V. Phuong, S. Moon, D. Chang e K. H. Lee, “Effect of microstructure on the zinc phosphate conversion coatings on magnesium alloy AZ91,” *Applied Surface Science*, vol. 264, pp. 70-78, 2013.
- [74] P. Kotler e K. L. Keller, *Marketing Management 14th Edition*, New Jersey: Pearson, 2012, p. 76.
- [75] ThePartsBin.com, “Original Equipment Manufacturer (OEM) and Aftermarket Parts,” [thepartsbin.com](http://www.thepartsbin.com), [Online]. Available: [http://web.archive.org/web/20130307091455/http://www.thepartsbin.com/oem\\_vs\\_aftermarket.html](http://web.archive.org/web/20130307091455/http://www.thepartsbin.com/oem_vs_aftermarket.html). [Acedido em 18 07 2013].

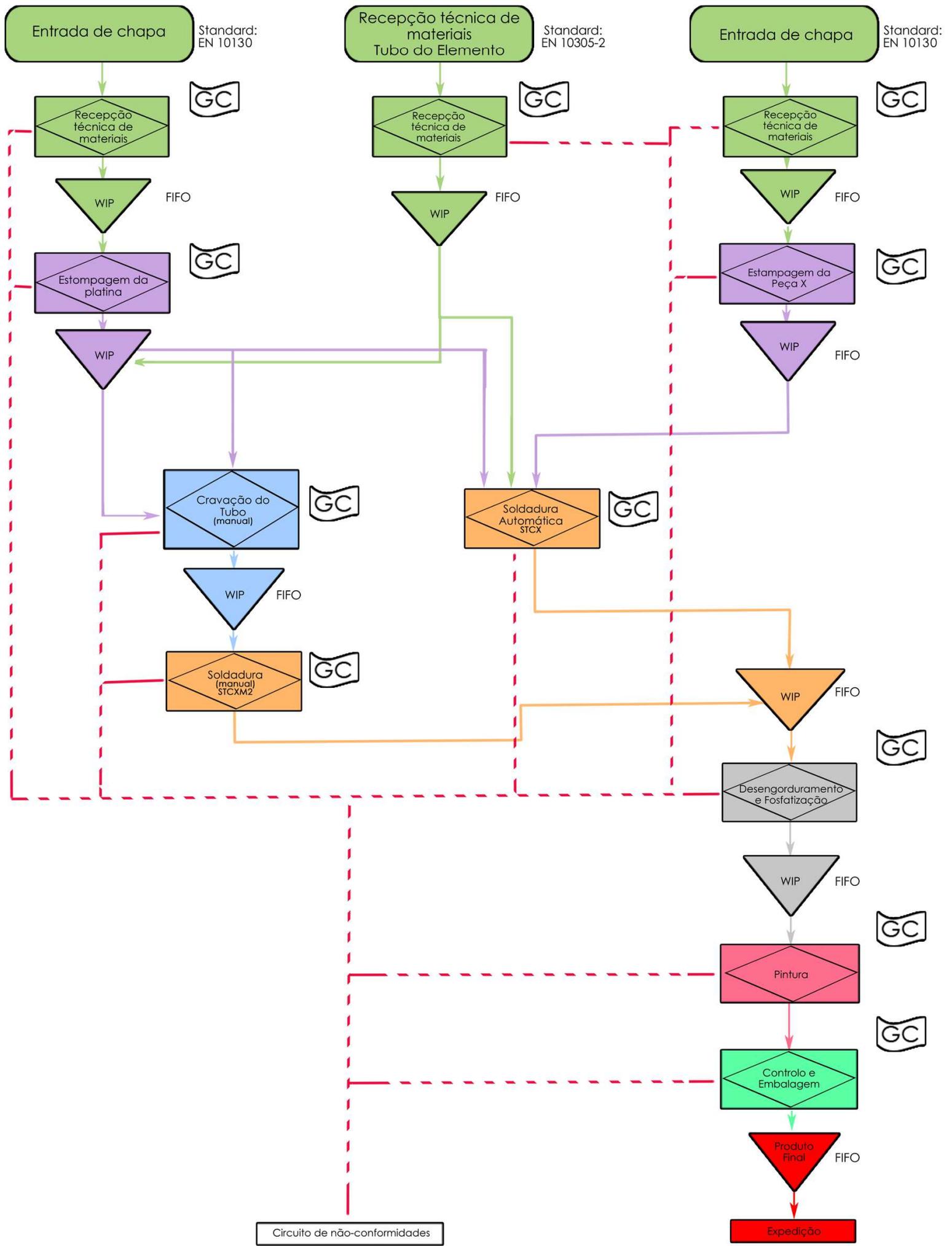
- [76] T. Melton, "The Benefits of Lean Manufacturing: What Lean Thinking has to Offer the Process Industries," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 83, n.º Lean Manufacturing, p. 662-673, 2005.
- [77] R. Moore, "8 - Kaizen," em *Selecting the Right Manufacturing Improvement Tools*, Burlington, Butterworth-Heinemann, 2007, pp. 159-172.
- [78] M. V. Rodrigues, "5 - Programas e Métodos para a Melhoria dos Processos e da Qualidade," em *Ações Para a Qualidade (Quarta Edição)*, Rio de Janeiro, Elsevier Editora Ltda., 2012, pp. 199-232.
- [79] X. Ji, S. Lei, C. Rong e H. Shen, "Development of Apparel Process Flow Chart Design Software Based on VC++," *Procedia Engineering*, vol. 15, pp. 3796-3801, 2011.
- [80] L. Delaney, "Inspection Certification: What Is An Inspection Certificate? The Ins and Outs of Inspection Certification," *About.com Guide*, 2013. [Online]. Available: <http://importexport.about.com/od/InternationalDocumentation/a/Inspection-Certification-What-Is-An-Inspection-Certificate.htm>. [Acedido em 23 07 2013].
- [81] P. Wei e T. Wu, "Electrical contact resistance effect on resistance spot welding," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 55, n.º Issues 11-12, pp. 3316-3324, 2012.
- [82] M. C. Zaretsky, S. A. Billow e R. A. Whitney, "Electrostatic assist for coating: the effect of surface resistivity," *Journal of Electrostatics*, vol. 61, n.º Issue 1, pp. 31-42, 2004.
- [83] F. Aggogeri, G. Barbato, E. M. Barini, G. Genta e R. Levi, "Measurement uncertainty assessment of Coordinate Measuring Machines by simulation and planned experimentation," *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 4, n.º Issue 1, pp. 51-56, 2011.
- [84] S. Zeng, X. Wan, W. Li, Z. Yin e Y. Xiong, "A novel approach to fixture design on suppressing machining vibration of flexible workpiece," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 58, pp. 29-43, 2012.
- [85] W. Tan, F. Gan e T. Chang, "Using normal quantile plot to select an appropriate transformation to achieve normality," *Computational Statistics & Data Analysis*, vol. 45, n.º Issue 3, pp. 609-619, 2004.
- [86] A. Allahverdi, C. Ng, T. Cheng e M. Y. Kovalyov, "A survey of scheduling problems with setup times or costs," *European Journal of Operational Research*, vol. 187, n.º Issue 3, pp. 985-1032, 2008.
- [87] K. B. Kahn, *PDMA Handbook of New Product Development (2nd Edition)*, John Wiley & Sons, 2005.
- [88] G. Nenes, S. Panagiotidou e G. Tagaras, "Inventory management of multiple items with irregular demand: A case study," *European Journal of Operational Research*, vol. 205, n.º Issue 2, pp. 313-324, 2010.

- [89] H. Xavier, “Planejamento e Organização do Trabalho,” Santa Luzia/Vespasiano, 2012. [Online]. Available: <http://hudsonxavier.webnode.com.br/mensagens/atendimento-ao-publico/planejamento%20e%20organiza%C3%A7%C3%A3o%20do%20trabalho/>. [Acedido em 11 06 2013].



## **Anexo 1**

**Process flow chart da Peça X**



## **Anexo 2**

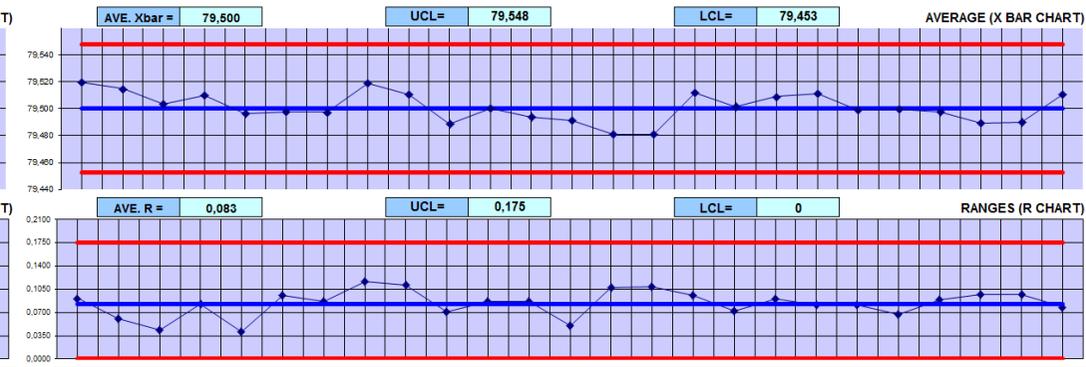
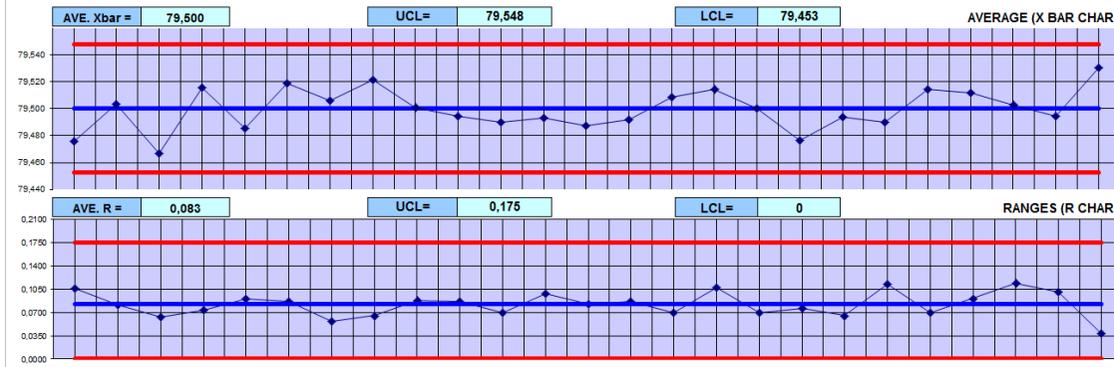
**Carta de Controlo ( $\bar{x}$ ,  $R$ ) e os respectivos resultados obtidos**

Customer:	Customer			Engineering Specification (Unit: mm)			
Part Number:	52X580XXX	LSL:	79,350	SPEC.:	79,500	USL:	79,650
Item Key:	Peça X	MINUS:	0,150	NOMINAL:	79,500	PLUS:	0,150
Characteristic:	8 20X 14X9 1X2	GAUGE USED		SAMPLE SIZE/FREQ.		Readings/Subgroup	
Process:	Soldadura Automática					5	
Date:							
PREPARED:		CHECKED:		APPROVED:		CONTROL CHART:	Xbar & R
DATE:		DATE:		DATE:			
<input checked="" type="checkbox"/> Two sided spec (bilateral)		<input type="checkbox"/> One sided (MIN)		<input type="checkbox"/> One sided (MAX)			

PROCESS INFORMATION		
Significant trends of data points:	X BAR Chart	R Chart
Increasing	RUN LENGTH 4	3
	HOW MANY RUNS 1	5
Decreasing	RUN LENGTH 5	3
	HOW MANY RUNS 1	7
Out of Control Limits	0	0
Consecutive data points above avg.	5	4
Consecutive data points below avg.	5	4

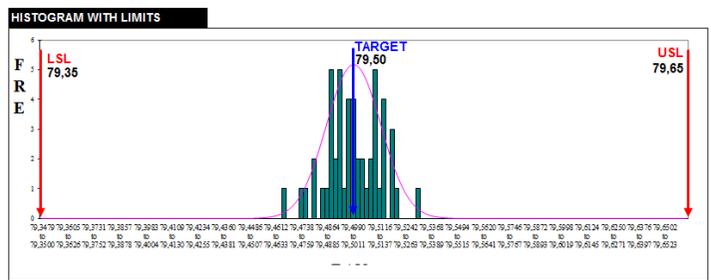
Customer:	Customer			Engineering Specification (Unit: mm)			
Part Number:	52X580XXX	LSL:	79,350	SPEC.:	79,500	USL:	79,650
Item Key:	Peça X	MINUS:	0,150	NOMINAL:	79,500	PLUS:	0,150
Characteristic:	8 20X 14X9 1X2	GAUGE USED		SAMPLE SIZE/FREQ.		Readings/Subgroup	
Process:	Soldadura Automática					5	
Date:							
PREPARED:		CHECKED:		APPROVED:		CONTROL CHART:	Xbar & R
DATE:		DATE:		DATE:			

PROCESS INFORMATION		
Significant trends of data points:	X BAR Chart	R Chart
Increasing	RUN LENGTH 4	3
	HOW MANY RUNS 1	5
Decreasing	RUN LENGTH 5	3
	HOW MANY RUNS 1	7
Out of Control Limits	0	0
Consecutive data points above avg.	5	4
Consecutive data points below avg.	5	4

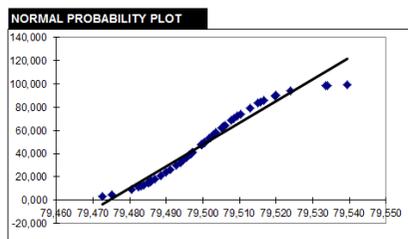


		SUBGROUPS																									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
DATE/TIME		12-mar	13-mar	14-mar	15-mar	16-mar	19-mar	20-mar	21-mar	22-mar	26-mar	27-mar	28-mar	29-mar	30-mar	2-abr	3-abr	4-abr	5-abr	10-abr	11-abr	12-abr	13-abr	16-abr	17-abr	18-abr	
READINGS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
		79,549	79,519	79,509	79,547	79,463	79,518	79,498	79,496	79,508	79,469	79,509	79,467	79,532	79,512	79,487	79,444	79,530	79,553	79,548	79,529	79,500	79,550	79,550	79,511	79,539	
		2	79,461	79,453	79,458	79,530	79,445	79,510	79,475	79,545	79,548	79,462	79,516	79,461	79,490	79,522	79,468	79,447	79,468	79,498	79,491	79,447	79,487	79,520	79,474	79,539	
		3	79,443	79,516	79,472	79,530	79,497	79,509	79,495	79,508	79,460	79,462	79,473	79,451	79,463	79,541	79,538	79,511	79,498	79,520	79,470	79,554	79,479	79,532	79,464	79,449	79,535
		4	79,483	79,495	79,449	79,474	79,535	79,552	79,511	79,560	79,466	79,548	79,446	79,549	79,528	79,476	79,504	79,547	79,511	79,453	79,514	79,456	79,546	79,448	79,556	79,509	79,520
		5	79,443	79,534	79,446	79,498	79,487	79,556	79,532	79,495	79,534	79,467	79,506	79,536	79,446	79,454	79,502	79,554	79,538	79,468	79,465	79,441	79,511	79,539	79,552	79,491	79,549
AVE. X =		79,4758	79,5034	79,4668	79,5158	79,4854	79,5192	79,5062	79,5214	79,5008	79,4944	79,4898	79,4932	79,4872	79,4920	79,5088	79,5142	79,5004	79,4788	79,4940	79,4902	79,5142	79,5116	79,5028	79,4946	79,5308	
R =		0,1060	0,0810	0,0630	0,0730	0,0900	0,0870	0,0570	0,0650	0,0880	0,0860	0,0700	0,0980	0,0820	0,0870	0,0700	0,1070	0,0700	0,0760	0,0650	0,1130	0,0690	0,0910	0,1140	0,1010	0,0380	

		SUBGROUPS																									
		26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
DATE/TIME		19-abr	20-abr	23-abr	24-abr	26-abr	30-abr	7-mai	8-mai	9-mai	10-mai	11-mai	14-mai	15-mai	16-mai	17-mai	18-mai	28-mai	29-mai	30-mai	31-mai	1-jun	4-jun	5-jun	6-jun	11-jun	
READINGS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
		79,544	79,529	79,490	79,470	79,487	79,539	79,441	79,555	79,506	79,477	79,501	79,514	79,518	79,467	79,445	79,517	79,464	79,540	79,473	79,554	79,497	79,458	79,474	79,548	79,510	
		2	79,494	79,483	79,510	79,505	79,521	79,443	79,486	79,496	79,441	79,456	79,468	79,464	79,494	79,505	79,553	79,492	79,486	79,472	79,523	79,473	79,466	79,507	79,518	79,464	79,490
		3	79,542	79,481	79,505	79,552	79,499	79,527	79,557	79,552	79,524	79,524	79,461	79,468	79,548	79,456	79,458	79,529	79,537	79,506	79,497	79,470	79,495	79,443	79,451	79,550	
		4	79,555	79,542	79,484	79,524	79,495	79,530	79,508	79,545	79,526	79,527	79,548	79,483	79,494	79,445	79,447	79,539	79,536	79,543	79,500	79,478	79,482	79,540	79,487	79,472	
		5	79,464	79,539	79,528	79,500	79,480	79,449	79,525	79,441	79,528	79,461	79,462	79,547	79,483	79,441	79,503	79,553	79,492	79,453	79,554	79,493	79,533	79,547	79,472	79,501	79,532
AVE. X =		79,5198	79,5148	79,5034	79,5102	79,4984	79,4976	79,4974	79,5188	79,5106	79,4890	79,5006	79,4938	79,4914	79,4812	79,4808	79,5118	79,5014	79,5090	79,5112	79,4990	79,4984	79,4970	79,4894	79,4902	79,5108	
R =		0,0910	0,0610	0,0440	0,0820	0,0410	0,0960	0,0860	0,1160	0,1110	0,0710	0,0860	0,0860	0,0500	0,1070	0,1080	0,0950	0,0720	0,0900	0,0810	0,0810	0,0670	0,0890	0,0970	0,0970	0,0780	

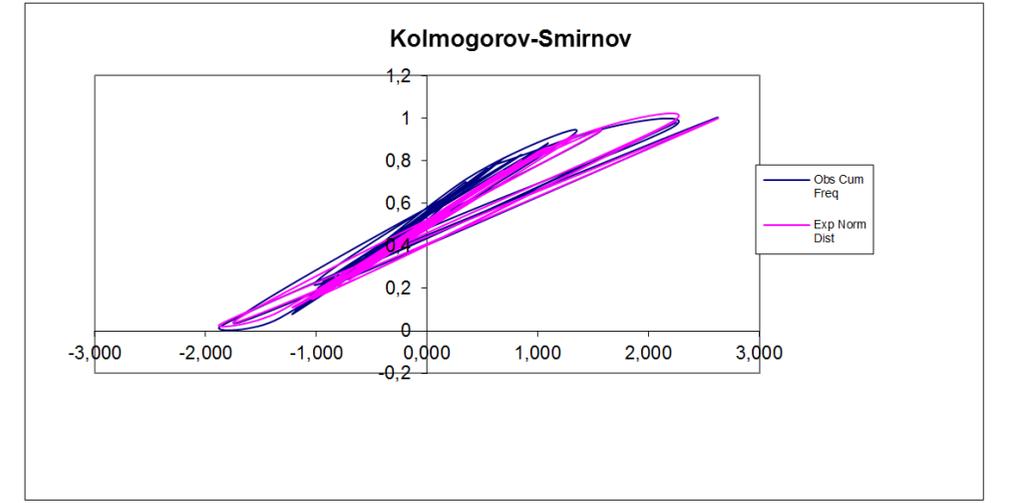


Number of readings	250
Lower spec limit (LSL)	79,35
Nominal	79,50
Upper spec limit (USL)	79,65
Total sum	19,875,08
Average readings (x̄)	79,50
Maximum	79,560
Minimum	79,441
Readings below LSL	0
Readings above USL	0
Average Range (R)	0,08
D2 Value	2,33
Upper capability index (Cpu)	1,41
Lower capability index (Cpl)	1,41
Capability index (Cp)	1,41
Capability ratio (Cr)	0,71
Process Capability Index (Cpk)	1,41
Std Deviation (n-1)	0,03
Std Deviation (n)	0,03
Variance (n-1)	0,00
Variance (n)	0,00
Performance index (Pp)	1,44
Performance ratio (Pr)	0,70
Process Performance index (Ppk)	1,44



	OBSERVED	EXPECTED
PPM < LSL =	0	2,42792E-24
PPM > USL =	0	0
PPM =	0	0
% DEFECTS	0,00%	0,00%

Process output without usual defects



## **Anexo 3**

**Carta de Controlo  $p$  e os respectivos resultados obtidos**

SPC por Atributos						Versão 1.2		Increasing		Decreasing		Limites fora de Controlo														
Customer:	Customer		Step:			RUN LENGTH	4	RUN LENGTH	4	Consecutive data points above avg.		4														
Part Number:	X		Date:			HOW MANY RUNS	1	HOW MANY RUNS	1	Consecutive data points below avg.		4														
Process:	Estanquicidade																									
Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	$\Sigma$
n - nº de itens inspeccionados	3200	3521	3150	3200	3100	3350	3200	3300	3510	3120	3200	3150	3220	3600	3250	3200	3000	3650	3150	3100	3500	3450	3150	3200	3320	81791
d - nº de itens defeituosos	2	4	2	5	3	4	2	2	3	5	3	5	3	4	5	6	5	2	3	2	2	5	4	2	2	85
p - fracção não conformes	0,00063	0,00114	0,00063	0,00156	0,00097	0,00119	0,00063	0,00061	0,00085	0,00160	0,00094	0,00159	0,00093	0,00111	0,00154	0,00188	0,00167	0,00055	0,00095	0,00065	0,00057	0,00145	0,00127	0,00063	0,00060	0,02612
pmeta	0,00000																									
$\bar{p}$ - fracção média NOK	0,00104																									
$\sigma$ - Desvio Padrão	0,00056																									
UCL	0,00273																									
LCL	0,00000																									
Capacidade %	99,89608																									
Cp = pmeta/ $\bar{p}$	0,00000																									

Radu Godina

SPC de Não Conformes

