

# **Controlo Estatístico do Processo numa Empresa de Estampagem do Setor Automóvel**

**Renato Edgar Rodrigues Barros**

*Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Industrial - especialização em Engenharia Mecânica*

Orientado por:

**Carla Alexandra Soares Gerales (IPB | ESTiG)**

**João Paulo Almeida (IPB | ESTiG)**

**Bragança**

**Outubro de 2022**









# **Controlo Estatístico do Processo numa Empresa de Estampagem do Setor Automóvel**

**Renato Edgar Rodrigues Barros**

*Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Industrial - especialização em Engenharia Mecânica*

Orientado por:

**Carla Alexandra Soares Geraldès (IPB | ESTiG)**

**João Paulo Almeida (IPB | ESTiG)**

**Bragança**

**Outubro de 2022**



*À minha família, amigos e a todos aqueles que acompanharam de perto o meu crescimento*



## Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação e, em particular:

Aos meus orientadores, Professora Doutora Carla Alexandre Soares Geraldês e Professor Doutor João Paulo Almeida, por estabelecerem o contacto com a empresa Catraport e por todo o apoio e disponibilidade demonstrados ao longo dos últimos tempos.

Ao Engenheiro Osmano Morais, diretor do Departamento de Engenharia e Qualidade da Catraport, por permitir que este trabalho fosse realizado.

Ao Engenheiro Ricardo Oliveira, técnico do Departamento de Engenharia e Qualidade, pela integração, orientações e esclarecimentos prestados.

Por último, deixar também uma palavra de apreço àqueles que construíram as bases de tudo aquilo que sou e virei a ser.

Aos meus pais e irmãos, por todo o carinho, dedicação e pelo apoio incondicional durante todo o meu percurso académico, em especial, nestes últimos dois anos.

À minha namorada, Iris Eduarda, por todo o incentivo, carinho e companheirismo ao longo destas jornadas.

Por terem acreditado em mim, mesmo nos momentos em que eu próprio duvidei, o meu mais sincero obrigado.



## Resumo

Esta dissertação procura analisar o método de controlo estatístico do processo implementado na Catraport, assim como inculir algumas melhorias de modo a obter resultados mais precisos, para que a empresa possa intervir adequadamente nos mecanismos responsáveis por uma série de não-conformidades detetadas em algumas das peças produzidas.

Tratando-se de uma empresa pertencente a um grupo com um forte enraizamento no mercado global, e sendo a qualidade do produto/serviço a imagem de marca de todo o organismo empresarial, os mecanismos afetos à produção são então avaliados de forma a garantir a qualidade dos bens colocados à disposição dos clientes. O Controlo Estatístico do Processo (CEP) permite uma análise em tempo real de todo um qualquer processo produtivo, graças à utilização de ferramentas como as cartas de controlo do tipo Shewhart. O relatório proveniente dos *softwares* dedicados a esse controlo estatístico, possibilita não só uma análise através das cartas de controlo, como apresenta um vasto conjunto de gráficos e histogramas que auxiliam na tomada de decisão face a determinados resultados obtidos para um dado mecanismo, melhorando assim a qualidade e, por consequente, a diminuição do número de sucatas produzidas.

Para controlar estatisticamente os processos de estampagem a frio, a Catraport utilizava os relatórios *Capability Sixpack* do *Minitab*, no qual se elaboraram cartas de controlo de variáveis ( $\bar{X}$ - $R$ ), gráficos de probabilidade, gráficos de capacidade e histogramas, tudo para testar a capacidade dos processos. Analisando todos os procedimentos em torno do CEP implementado, apresentam-se algumas sugestões de melhoria de modo a obter resultados mais detalhados e precisos. Essas alterações possibilitarão que a intervenção seja mais rápida e precisa, o que resultará em processos mais estáveis e capazes de produzir de acordo com as especificações dos clientes, evitando assim a produção de produto não-conforme.

**Palavras-chave:** qualidade, controlo estatístico do processo, cartas de controlo do tipo Shewhart, *Minitab*.



## Abstract

This dissertation seeks to analyze the statistical process control method implemented at Catraport, as well as to instill some improvements to obtain more accurate results, so that the company can properly intervene in the mechanisms responsible for a number of non-compliances detected in some of the parts produced.

Being a company belonging to a group with strong roots in the global market and being the product/service quality the brand image of the whole corporate body, the mechanisms related to production are then evaluated to ensure the quality of the goods made available to customers. Statistical Process Control (SPC) allows a real-time analysis of any production process, thanks to the use of tools such as Shewhart-type control charts. The report coming from the software dedicated to this statistical control, allows not only an analysis through the control charts, but also presents a wide range of graphs and histograms that help in the decision-making process in face of certain results obtained for a given mechanism, thus improving the quality and, consequently, reducing the number of produced scraps.

To statistically control the cold stamping processes, Catraport used Minitab's Capability Sixpack reports, in which variable control charts ( $\bar{X}$ - $R$ ), probability graphs, capability graphs and histograms were created, all to test the process capability. By analyzing all the procedures around the implemented SPC, some suggestions for improvement are presented to obtain more detailed and accurate results. These changes will enable the intervention to be faster and more accurate, which will result in more stable processes capable of producing according to customer specifications, thus avoiding the production of non-compliant product.

**Keywords:** quality, statistical process control, Shewhart control charts, *Minitab*.



## Lista de Abreviaturas e Siglas

e.g. – do latim *exempli gratia*, ‘por exemplo’

PDCA – *Plan, Do, Check, Act*

DMAIC – *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*

etc. – do latim *et cetera*, ‘e o resto’

FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*

CEP – Controlo Estatístico do Processo

SPC – *Statistical Process Control*

LSE – Limite Superior de Especificação

LIE – Limite Inferior de Especificação

$C_p$  – índice de capacidade potencial

$C_{pk}$  – índice de capacidade real

$R$  – *Range*

$S$  – *Standard deviation*

PPM – Partes Por Milhão

LSC – Limite Superior de Controlo

LIC – Limite Inferior de Controlo

ISO – *International Organization for Standardization*

SGS Portugal – *Société Générale de Surveillance, Portugal*

CMM – *Coordinate Measuring Machine*



# Índice Geral

Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas .....	xvii
Capítulo 1 .....	1
Introdução.....	1
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Objetivos .....	1
1.3 Estrutura da Dissertação .....	2
Capítulo 2 .....	3
Fundamentação Teórica.....	3
2.1 Conceito de Qualidade.....	3
2.1.1 Dimensão da Qualidade.....	4
2.1.2 Impacto da Variância na Qualidade.....	5
2.1.3 Melhoria Contínua da Qualidade.....	7
2.2 Processo .....	11
2.2.1 A Voz do Processo – Controlo Estatístico do Processo.....	12
2.2.2 Ciclo de Melhoria do Processo – PDCA.....	14
2.3 Controlo Estatístico do Processo.....	16
2.3.1 Variabilidade dos Processos: Causas Comuns e Causas Especiais .....	17
2.3.2 Capacidade do Processo .....	21
2.3.3 Ferramentas CEP.....	25
2.4 Cartas de Controlo .....	33
2.4.1 Tipos de Cartas .....	35
2.4.2 Condições Necessárias para a Aplicação das Cartas de Controlo.....	47
2.4.3 Sinais de Alarme (Deteção de Padrões Não-Aleatórios no Processo) .....	48
2.4.4 Exatidão vs. Precisão.....	50
Capítulo 3 .....	53
Catraport Lda.....	53

---

3.1 Descrição da Empresa .....	53
3.1.1 Sistema de Gestão da Qualidade Implementado .....	54
3.2 Etapas do Processo Produtivo.....	55
3.2.1 Processo de Estampagem a Frio .....	56
3.2.2 O CEP da Empresa.....	56
Capítulo 4 .....	59
Análise e Aplicação do Controlo Estatístico do Processo .....	59
4.1 Medição e Recolha de Dados .....	59
4.1.1 Cartas de Controlo .....	61
4.2 Conclusões .....	69
4.3 Sugestões de Melhoria/Implementação de Novos Métodos de Controlo.....	70
Capítulo 5 .....	73
Conclusões Gerais e Trabalhos Futuros.....	73
Referências Bibliográficas.....	75
Anexos .....	77
Anexo A    Tabela de coeficientes para cartas de controlo tipo Shewhart.....	77
Anexo B    Certificação Catraport .....	78
Anexo C    Ensaio Macrográfico.....	83
Anexo D    Desenho Técnico “Inlet Cone”_ref. 1779061X .....	85
Anexo E    Dados recolhidos pela CMM.....	86

# Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> Custos com a garantia das transmissões.....	6
<b>Figura 2:</b> Distribuição das dimensões críticas das transmissões .....	6
<b>Figura 3:</b> Ciclo PDCA .....	8
<b>Figura 4:</b> Esquema da sequência do processo DMAIC .....	9
<b>Figura 5:</b> Esquema do processo produtivo.....	11
<b>Figura 6:</b> Inputs e outputs de um processo de fabrico segundo Montgomery .....	12
<b>Figura 7:</b> O CEP como peça central de um processo de transformação .....	13
<b>Figura 8:</b> Etapas do ciclo de melhoria contínua do processo .....	14
<b>Figura 9:</b> Variabilidade do processo .....	18
<b>Figura 10:</b> Causas de variação do processo.....	19
<b>Figura 11:</b> Variação natural do processo.....	20
<b>Figura 12:</b> Capacidade do processo.....	22
<b>Figura 13:</b> Estratificação .....	26
<b>Figura 14:</b> Folha de registo e verificação (caso prático).....	28
<b>Figura 15:</b> Diagrama de Pareto.....	29
<b>Figura 16:</b> Diagrama de Ishikawa .....	31
<b>Figura 17:</b> Diagrama de dispersão .....	32
<b>Figura 18:</b> Percentagem da distribuição normal .....	34
<b>Figura 19:</b> Processo instável .....	34
<b>Figura 20:</b> Tipos de cartas de controlo .....	35
<b>Figura 21:</b> Procedimento de seleção para o uso de cartas de controlo .....	36
<b>Figura 22:</b> Padrões não-aleatórios do processo .....	50
<b>Figura 23:</b> Exatidão e Precisão .....	51
<b>Figura 24:</b> Esquema da junta e requisitos mínimos associados .....	58
<b>Figura 25:</b> Gabarits de controlo.....	59
<b>Figura 26:</b> Hexagon Global Classic S.....	60
<b>Figura 27:</b> Interface do Minitab.....	61

<b>Figura 28:</b> Inlet cone.....	62
<b>Figura 29:</b> Conjunto de dados inseridos no Minitab .....	62
<b>Figura 30:</b> Resultados obtidos pelo Minitab na análise ao diâmetro da base da peça T .....	63
<b>Figura 31:</b> Resultados obtidos pelo Minitab na análise à espessura da peça T .....	64
<b>Figura 32:</b> Gráfico de probabilidade normal para o diâmetro da base .....	65
<b>Figura 33:</b> Gráfico de probabilidade normal para a espessura .....	65
<b>Figura 34:</b> Histograma da capacidade para o diâmetro da base.....	66
<b>Figura 35:</b> Histograma da capacidade para a espessura .....	66
<b>Figura 36:</b> Cartas de controlo X-R para o diâmetro da base .....	67
<b>Figura 37:</b> Cartas de controlo X-R para a espessura .....	67
<b>Figura 38:</b> Gráfico de capacidade para o diâmetro da base.....	68
<b>Figura 39:</b> Gráfico de capacidade para a espessura .....	69
<b>Figura 40:</b> Esquema exemplificativo para a organização da recolha de dados.....	70

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1:</b> Etapas do ciclo DMAIC.....	10
<b>Tabela 2:</b> Valores mínimos recomendáveis para os índices de capacidade do processo .....	24
<b>Tabela 3:</b> Valores de referência para $C_p = C_{pk}$ (processo centrado com o valor nominal) .....	25



# Capítulo 1

## Introdução

O presente capítulo constitui a parte introdutória da dissertação. Nele pretende-se fazer o Enquadramento ao tema, expor os Objetivos a alcançar e respetiva metodologia utilizada, e por último, fazer uma pequena descrição da Estrutura do documento.

### 1.1 Enquadramento

A indústria metalomecânica é, atualmente, um dos setores industriais portugueses mais exportadores, sendo, portanto, a sua atividade absolutamente crucial para a economia do país. Este segmento industrial é responsável por diversas formas de produção e transformação de metais, tendo evoluído significativamente ano após ano desde a descoberta dos primeiros minérios de fundição, tornando-se cada vez mais complexo.

Com o aumento da complexidade das peças produzidas e dado o elevado número de oferta no mercado global, surge a necessidade das empresas se destacarem das demais oferecendo aos seus clientes produtos com elevada qualidade de produção a um custo competitivo. Nesse sentido, as empresas são assim obrigadas a adotar medidas que visem evitar ou retardar a ocorrência de defeitos nas peças produzidas, sendo também necessário investir em ações corretivas para reparar os danos já instituídos.

Para tal, é necessário implementar ferramentas da qualidade que permitam às empresas controlar os seus produtos finais de forma a poderem avaliar as intervenções necessárias. A implementação do Controlo Estatístico do Processo (CEP), revela-se, nos dias de hoje, uma forte ferramenta competitiva no auxílio dessa avaliação, permitindo às indústrias intervir de forma rápida e precisa graças à sua reação, em tempo real, às oscilações sofridas pelos processos produtivos.

### 1.2 Objetivos

A presente dissertação tem com base motivacional a tentativa de resolução de problemas relacionados com a qualidade, nomeadamente a melhoria da qualidade de produção dos processos intervenientes na obtenção de peças metálicas por estampagem a frio. Como tal, pretende-se realizar uma análise e, se possível, desenvolver os métodos de controlo estatístico aplicados na empresa, para que a intervenção nos processos produtivos seja a mais frutífera possível. Sendo uma entidade que atua no ramo do setor automóvel, com foco na produção de componentes metálicos para o sistema de exaustão, a Catraport cinge-se à utilização das cartas de controlo do tipo Shewhart para avaliar os seus mecanismos de conformação metálica. Através desta ferramenta estatística, é possível verificar a existência de variações dimensionais entre lotes de produção, permitindo assim aferir a estabilidade e a capacidade do processo produtivo.

## 1.3 Estrutura da Dissertação

O documento encontra-se dividido em cinco capítulos principais, possuindo algumas Referências Bibliográficas e Anexos nas últimas divisões do mesmo.

No atual capítulo, intitulado por “Introdução”, é feito um enquadramento ao tema e também uma apresentação dos principais objetivos e respetivas motivações. A estrutura da dissertação também é aqui apresentada.

No segundo capítulo, designado por “Fundamentação Teórica”, são abordadas as principais temáticas consideradas relevantes para a discussão dos restantes capítulos da dissertação. Inicialmente, é feita uma contextualização do Conceito de Qualidade, sendo descrita a sua dimensão, o impacto causado pela variância e a abordagem de alguns procedimentos para a sua melhoria. Seguidamente, é introduzido um tópico relacionado ao Processo, no qual é abordada toda envolvente em torno de um processo produtivo, bem como o método utilizado na prevenção de falhas associadas. A abordagem à temática do Controlo Estatístico do Processo é realizada posteriormente, onde são detalhados os vários conceitos e metodologias referentes ao tema. As principais ferramentas do CEP são referenciadas e descritas neste subcapítulo. Logo de seguida, sendo as Cartas de Controlo a base de análise e discussão dos resultados obtidos, estas recebem no Capítulo 2 um certo ênfase de forma a poder dar resposta ao objetivo de estudo desta dissertação. Os diferentes tipos de cartas de controlo e respetivas fórmulas de cálculo, as condições necessárias para a sua aplicação, os padrões não-aleatórios, a distinção entre exatidão e precisão, são algumas das temáticas aqui abordadas [subcapítulo 2.4].

O terceiro capítulo, “Catraport Lda.”, inicia-se com uma breve descrição da empresa para a qual foi elaborada uma análise ao controlo estatístico do processo já implementado. Também neste capítulo, é feita referência ao sistema de gestão da qualidade pela qual a Catraport se rege, assim como uma descrição das etapas do processo produtivo e respetivo CEP.

O quarto capítulo, designado por “Análise e Aplicação do Controlo Estatístico do Processo”, apresenta, numa primeira fase, de que forma é realizada a medição e recolha de dados para a aplicação do CEP, mais concretamente, das cartas do tipo Shewhart. De seguida, são demonstrados os resultados obtidos da aplicação desta ferramenta de controlo para uma das várias referências de peças submetidas a análise. O capítulo encerra-se com as conclusões retiradas para o tipo de controlo aplicado e com algumas recomendações para a implementação de novos métodos.

Por último, no capítulo cinco, “Conclusões Gerais e Trabalhos Futuros”, são expostas as principais conclusões do trabalho desenvolvido, bem como as sugestões de trabalhos a desenvolver futuramente.

## Capítulo 2

### Fundamentação Teórica

#### 2.1 Conceito de Qualidade

O conceito de qualidade sempre foi inerente à natureza humana. A maioria das pessoas tem uma compreensão conceitual de qualidade relacionada a uma ou mais características desejáveis que um produto ou serviço deve possuir. [1]

A qualidade é simultaneamente um atributo e uma propriedade intrínseca das coisas, que permite que estas sejam comparadas com outras da mesma tipologia ou natureza [2]. Dada a sua apreciação subjetiva, a definição do termo não é exata [3]. A qualidade de um produto depende da forma como este responde qualitativa e quantitativamente a dada particularidade ou característica requerida, ou seja, a qualidade de um produto depende da forma como este cumpre as exigências do cliente, daí a subjetividade do conceito.

A qualidade tornou-se num dos mais importantes fatores de decisão do consumidor na seleção entre produtos e serviços concorrentes. O fenómeno é generalizado, independentemente do consumidor ser um indivíduo particular ou uma organização industrial. Consequentemente, a compreensão e a melhoria da qualidade são fatores-chave que levam ao sucesso, ao crescimento e ao aumento da competitividade do negócio empresarial. [1]

Nas empresas, existe o chamado padrão de qualidade que se trata de um conjunto de especificações, diretrizes e requisitos que orientam as empresas quanto aos processos que devem ser realizados de forma a ter um produto/serviço que vá de encontro às necessidades dos seus clientes [2]. A qualidade pode ser vista interna ou externamente à organização. Quando vista internamente, contribui para a redução do desperdício, aumento da produtividade e ausência de defeitos; vista externamente, facilita a conquista e manutenção de clientes. [4]

Atualmente, trata-se de um conceito multifacetado, no entanto, a sua definição tradicional baseia-se no ponto de vista de que os produtos e serviços devem atender aos requisitos de quem os utiliza. Tal como descrito por Montgomery [1], a *“Qualidade significa adequação ao uso”*, adequação essa que pode ser dividida em dois aspetos: qualidade de projeto e qualidade de conformidade. Todos os bens e serviços são produzidos em vários graus ou níveis de qualidade. Essas variações nos graus ou níveis de qualidade são intencionais sendo o termo técnico mais apropriado designado de qualidade de projeto. Os automóveis, por exemplo, têm como principal objetivo proporcionar transporte seguro ao utilizador, no entanto, os automóveis diferem em vários aspetos. Essas diferenças são o resultado de alterações intencionais no design dentro dos vários tipos de automóveis. As diferenças de projeto incluem os tipos de materiais utilizados na produção, especificações sobre os componentes, fiabilidade obtida através dos vários estudos realizados (e.g. mudança óleo do motor), entre outros acessórios e equipamentos. A qualidade da conformidade é o quão bem o produto está em conformidade com as especificações exigidas pelo projeto. A qualidade da conformidade é

influenciada por vários fatores, incluindo a escolha dos processos de fabrico; a formação e supervisão do trabalho desenvolvido pelos operários; os tipos de controlo de processo, testes e atividades de inspeção que são aplicados; até que ponto esses procedimentos são seguidos; e a motivação da força de trabalho para alcançar a qualidade. [1]

Executar bem um trabalho recorrendo às ferramentas ou meios mais adequados sempre foi uma preocupação em todas as civilizações. Apesar de esta noção ser desde sempre uma preocupação do Homem, quantificar esta qualidade envolvendo princípios estatísticos é um conceito recente. Gomes (2004) afirma que a definição de qualidade é resultado de esforços e estudos efetuados por diversas personalidades como os americanos Deming e Juran ou os nipónicos Ishikawa e Taguchi. Estas figuras, juntamente com outras suas contemporâneas, desenvolveram aquilo que hoje é conhecido como as Sete Ferramentas da Qualidade, sendo elas: Fluxograma, Histograma, Folhas de registo e verificação, Diagrama de Pareto, Gráfico de dispersão, Diagrama de causa-efeito e Cartas de controlo, ferramentas transversais na sua aplicação a qualquer tipo de indústria ou serviços. [3]

### 2.1.1 Dimensão da Qualidade

A qualidade de um produto pode ser então descrita e avaliada de diversas formas. A contribuição de David Garvin para a evolução do conceito de qualidade é substancialmente diferente das demais personalidades. Garvin analisou os contributos dos diversos autores e desenvolveu um léxico que permite descrever as diferentes dimensões da qualidade. Graças a essa análise e conseqüente formulação de um novo léxico é possível que gestores, operários e até clientes pensem e discutam questões da qualidade de uma forma mais precisa. Este vocabulário não só propicia discussões sobre qualidade mais aprofundadas e produtivas, como vem reforçar a ideia de que as organizações devem considerar a qualidade como um elemento importante no seu posicionamento estratégico. Na sua estratégia, as organizações devem identificar as dimensões da qualidade que consideram prioritárias, por exemplo, fiabilidade e serviço, em vez de manifestar um propósito genérico de melhoria da qualidade.

David Garvin (1987), definiu assim as oito dimensões da qualidade:

- **Performance:** medida de desempenho do produto a nível das principais funções.
- **Funcionalidades do produto:** conjunto de funções secundárias que complementam a oferta do produto.
- **Fiabilidade:** probabilidade do produto deixar de funcionar de forma adequada num determinado período.
- **Conformidade:** medida do nível de adequação do produto às suas especificações. Reflete a perspetiva de Deming e Juran, serve de base ao controlo estatístico do processo.
- **Durabilidade:** medida do tempo de vida do produto em termos técnicos ou até ao momento em que a reparação deixa de ser eficiente do ponto de vista económico.
- **Serviço:** inclui a rapidez, a cortesia, a competência e a facilidade em reparar o produto.

- **Aparência:** refere-se à estética ou apelo sensorial do produto.
- **Imagem:** refere-se a uma percepção subjetiva de qualidade associada à marca do produto. [5]

Estas oito dimensões são geralmente adequadas para descrever a qualidade na maioria das situações industriais e de negócios, no entanto, em organizações prestadoras de serviços e negócios transacionais, como bancos e finanças, assistência médica e organizações de atendimento ao cliente, podemos acrescentar as três dimensões seguintes:

- **Capacidade de resposta:** Quanto tempo levou o fornecedor de serviços a responder à sua solicitação de serviço? Quão disposto a ser útil estava o fornecedor de serviços? Com que rapidez o seu pedido foi tratado?
- **Profissionalismo:** Trata-se do conhecimento e das habilidades do fornecedor de serviços e está relacionado à competência da organização para fornecer os serviços necessários.
- **Atenção:** Os clientes geralmente querem atenção cuidadosa e personalizada dos seus fornecedores de serviços. Os clientes querem sentir que as suas necessidades e preocupações são importantes e estão a ser cuidadosamente abordadas. [1]

### 2.1.2 Impacto da Variância na Qualidade

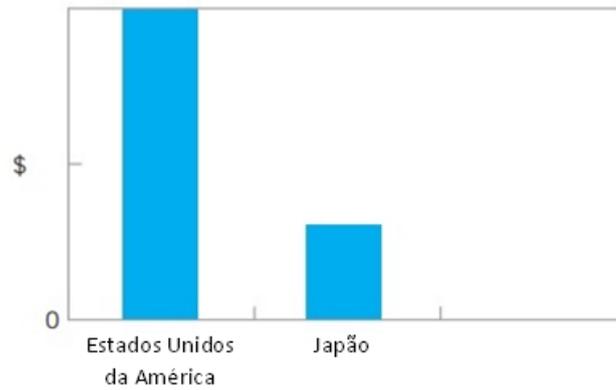
Uma definição mais simples da qualidade, apresentada por Douglas C. Montgomery [1] e que vai de encontro a todas as dimensões apresentadas por Garvin (1987), é a seguinte:

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

Esta definição indica-nos que se houver uma redução da variância das características relevantes de um produto, a qualidade do produto aumenta, ou seja, a melhoria da qualidade é, nada mais nada menos que a redução da variância nos processos e nos produtos.

Douglas C. Montgomery apresenta o seguinte exemplo como forma de corroborar a sua afirmação:

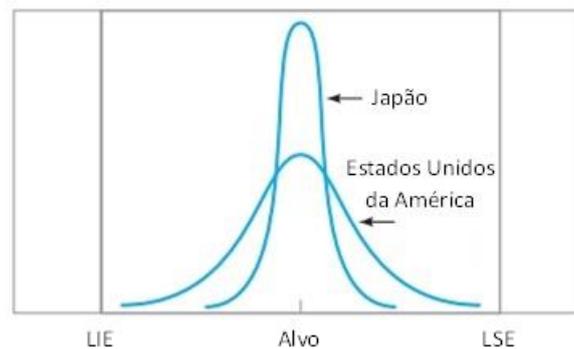
*“Como exemplo da eficácia operacional dessa definição, há alguns anos, um consórcio americano da indústria automóvel realizou um estudo comparativo entre uma transmissão fabricada em território nacional (EUA) e uma de um fornecedor japonês. Uma análise das reclamações de garantia e dos custos de reparação indicou que havia uma diferença substancial entre as duas fontes de produção, com a transmissão produzida no Japão a apresentar custos muito mais baixos, conforme demonstrado na Figura 1.*



**Figura 1:** Custos com a garantia das transmissões

**Fonte:** [1]

Como parte do estudo para descobrir a causa dessa diferença de custo e performance, o consórcio selecionou amostras aleatórias de transmissões de cada empresa, desmontou-as e mediu várias características críticas de qualidade [Figura 2].



**Figura 2:** Distribuição das dimensões críticas das transmissões

**Fonte:** [1]

Observe-se que ambas as distribuições das dimensões críticas estão centradas no valor desejado ou alvo. A distribuição das características críticas para as transmissões fabricadas nos Estados Unidos ocupa cerca de 75% da largura das especificações, indicando que muito poucas unidades não-conformes seriam produzidas. Em contrapartida, a fábrica japonesa produziu transmissões para as quais as mesmas características críticas ocupam apenas cerca de 25% da faixa de especificação. Como resultado, há consideravelmente menos variância nas características críticas de qualidade das transmissões fabricadas no Japão em comparação com as fabricadas nos Estados Unidos.

Jack Welch, diretor executivo aposentado da General Electric, observou que os seus clientes não veem o valor central do processo (“Alvo” Figura 2), eles veem apenas a variância que não foi removida em torno desse valor.

*Além da redução da variância traduzir-se diretamente em custos mais baixos, as transmissões fabricadas no Japão apresentavam um desempenho superior face às produzidas no mercado americano. Menos reparações e reclamações de garantia significam menos retrabalho e redução do desperdício de tempo, esforço e dinheiro. Deste modo, é possível aferir que de fato a qualidade é inversamente proporcional à variância.” [1]*

### 2.1.3 Melhoria Contínua da Qualidade

A melhoria contínua da qualidade é fundamental para que as organizações atinjam o sucesso no mercado. Uma organização deve ser vista como um todo, ou seja, como um processo ou conjunto de processos e, para tal, o esforço para a melhoria contínua é diário e da responsabilidade de todos. Deste modo, deve-se gerir a organização de forma a melhorar a qualidade e identificar todas as oportunidades de melhoria inerentes ao processo.

A melhoria pode ser contínua e/ou incremental, daí ser vista como um pilar fundamental da gestão da qualidade total. Todos os fatores devem ser analisados e avaliados com o intuito de eliminar as causas das situações adversas e assim alcançar a estabilidade. Para tal, é necessário a existência de um bom sistema de recolha e análise de dados, e que este assente num processo de melhoria contínua.

Para realizar a melhoria contínua da qualidade é necessário eliminar os problemas crónicos (projeto a projeto) e garantir que a organização se baseia em fatos conhecidos (através da recolha prévia de dados) de forma a prevenir a recorrência dos problemas esporádicos e a eliminar as possíveis causas dos problemas crónicos. [As causas comuns responsáveis pelos problemas crónicos, também designadas por causas naturais ou aleatórias, são imprevisíveis e quase impossíveis de resolver; e.g. os “picos” de corrente elétrica ou a variação da temperatura ambiente. As causas especiais ou assináveis, responsáveis pelos problemas esporádicos, apesar de casuais, provocam variações bastante superiores às das causas comuns; e.g. corte de energia, aquecimento da ferramenta, equipamentos de medição descalibrados, operador inexperiente. Neste tipo de causas, a intervenção no processo deve ser imediata.] Numa ótica em que, como referido anteriormente, a qualidade é inversamente proporcional à variância, serão estes os principais objetivos da melhoria da qualidade.

De entre as várias metodologias para a melhoria da qualidade destacam-se duas abordagens fundamentais: o ciclo PDCA e o método DMAIC. De salientar que a filosofia *Lean*<sup>1</sup> (*Lean Manufacturing* e *Lean Thinking*) deve estar implementada na empresa, por forma a obter os melhores resultados com a implementação de uma destas duas técnicas. [6]

#### 2.1.3.1 Ciclo PDCA

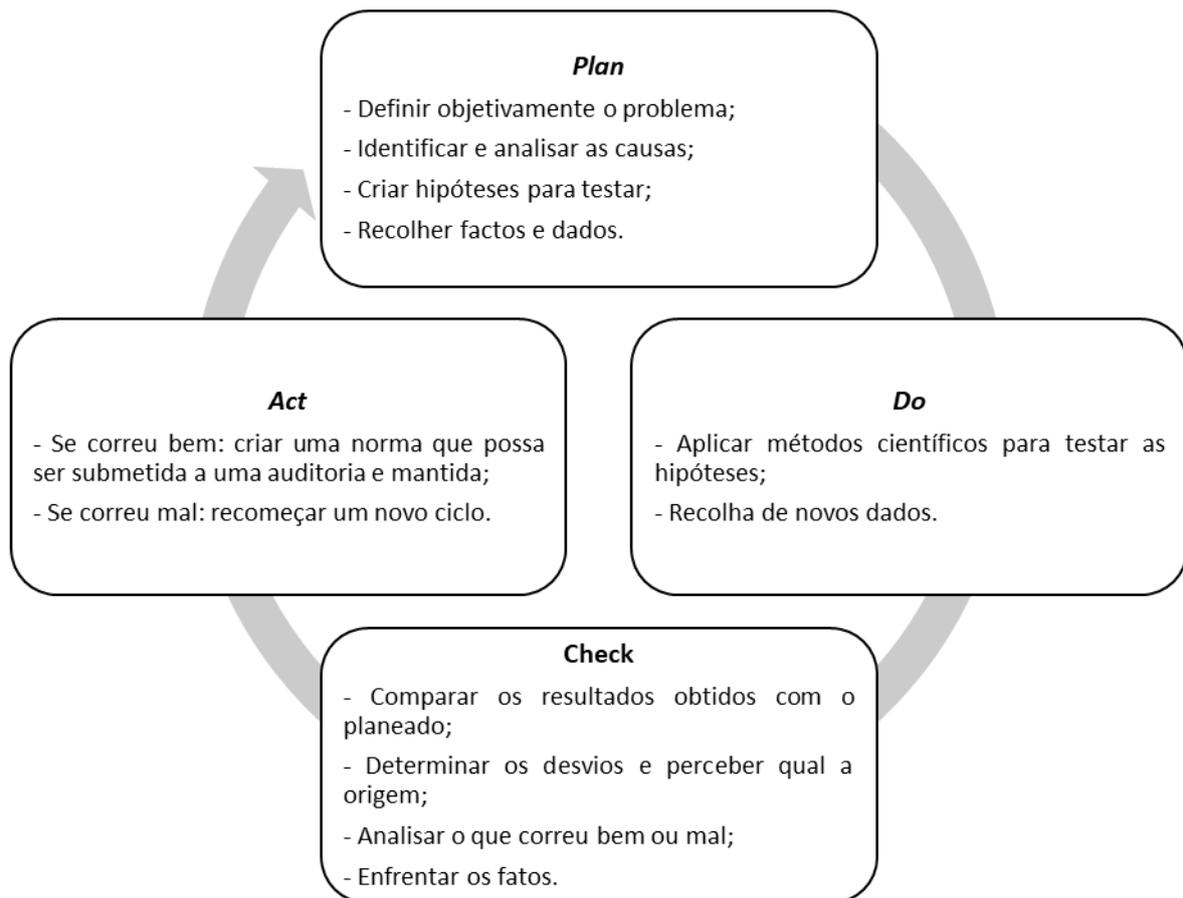
O ciclo PDCA é um modelo de melhoria contínua que tem como principal objetivo tornar mais claros e ágeis os processos envolvidos na execução da gestão. Concebido por Walter A. Shewhart e mais tarde desenvolvido por W. Edwards Deming, este modelo consiste numa sequência de quatro passos repetitivos de melhorias e

---

<sup>1</sup> **Filosofia Lean** – conjunto de princípios e técnicas operacionais, que visam a otimização de custos com o desperdício e o aumento da qualidade do produto final, através da melhoria contínua. Prima pela otimização dos recursos com foco na potencialização dos resultados, evitando assim falhas que comprometam a satisfação do cliente.

aprendizagens: *Plan* (planejar), *Do* (executar), *Check* (verificar), *Act* (agir). Este ciclo é aplicado principalmente nas normas de sistemas de gestão e deve ser utilizado em qualquer empresa de forma a garantir o sucesso nos negócios, independentemente da área ou departamento (vendas, compras, engenharia, etc.).

Este modelo de melhoria é representado em forma de círculo, em que cada ¼ de círculo representa uma das quatro fases e suas respectivas etapas, como se pode verificar na figura que se segue:



**Figura 3:** Ciclo PDCA

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

- Ajudar a implementar a filosofia *Kaizen*<sup>2</sup> ou as abordagens de Melhorias Contínuas, quando o ciclo é repetido vezes sem conta;
- Identificar novas soluções e melhorar processos que são executados frequentemente;

---

<sup>2</sup> **Filosofia *Kaizen*** – *Kaizen* é um termo japonês que significa “mudança para melhor” ou “melhoria contínua”. Trata-se de uma filosofia que procura eliminar desperdícios com base na aplicação de pequenas melhorias nos processos e nas normas de trabalho. Estas são aplicadas no dia-a-dia das organizações e resultam em melhores condições de trabalho, maior segurança, eficiência e lucro.

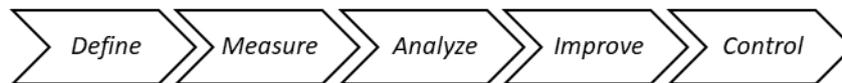
- Explorar um vasto leque de novas soluções possíveis para os problemas, “aplicá-las” e melhorá-las de modo controlado antes de selecionar uma para implementação.
- Evitar o desperdício de recursos em larga escala que resultam da implementação de uma solução medíocre ou pobre.

A aplicação de um modelo como o ciclo PDCA é lenta e mais quantificável (mensurável) – comparativamente a outros métodos –, o que pode significar que, em situações de verdadeira emergência, a sua utilização não seja aconselhável. [7]

### 2.1.3.2 Metodologia DMAIC

A metodologia DMAIC, acrônimo para *Define* (Definir), *Measure* (Medir), *Analyze* (Analisar), *Improve* (Melhorar) e *Control* (Controlar), diz respeito a um ciclo de melhoria (orientado por dados) usado para melhorar, otimizar e estabilizar processos e projetos de negócio. Esta metodologia pode ser aplicada quando novos produtos/serviços se encontram em fase de desenvolvimento ou sempre que se pretenda a implementação de melhoria. [8]

Todas as etapas do processo DMAIC são necessárias e decorrem pela ordem especificada na Figura 4.



**Figura 4:** Esquema da sequência do processo DMAIC

O ciclo DMAIC, que deriva do ciclo de melhoria de Deming (PDCA), divide-se em cinco etapas, etapas essas que correspondem a um determinado objetivo especificado na tabela que se segue:

**Tabela 1:** Etapas do ciclo DMAIC

Fonte: [8] [9]

<b>Fase</b>	<b>Objetivo</b>
<i>Define</i>	Definir os requisitos e expectativas do cliente; definir o âmbito, meta e objetivos dos projetos; definir as partes interessadas, os <i>inputs</i> e <i>outputs</i> e funções amplas; definir os limites do projeto; definir oportunidades de melhoria; definir o processo pelo mapeamento do fluxo de negócio.
<i>Measure</i>	Medir o processo para satisfazer as necessidades do cliente; desenvolver um plano de recolha de dados; indicar as métricas de forma confiável estabelecendo processos estimados; recolher e comparar dados para determinar problemas e deficiências; medir a performance.
<i>Analyze</i>	Analisar as oportunidades; analisar as causas de defeito e as fontes de variação; determinar as atividades que produzem valor; determinar as variações no processo; analisar as fontes das variações dos processos.
<i>Improve</i>	Melhorar a performance; propor alternativas e quantificar os seus benefícios; investigar e verificar onde se encontram as falhas de um novo processo; implementar e verificar novo processo.
<i>Control</i>	Controlar a performance; desenvolver uma estratégia para monitorizar e controlar o processo de melhoria; implementar as melhorias de sistema e infraestruturas; documentar as informações recolhidas.

Apesar do tempo e investimentos necessários, a aplicação desta metodologia permite aumentar a produtividade nas empresas, através da redução da variabilidade dos processos e diminuição do número de produtos não-conforme.

A inclusão das etapas do ciclo DMAIC num determinado projeto é não só um auxílio para os gestores de projeto se tornarem mais eficazes, mas também para alcançarem resultados inovadores. Algumas das vantagens na utilização desta ferramenta passam por:

- Fomentação de conhecimento estatístico de processos adequados para melhor compreender e melhorar os resultados futuros;
- Um conjunto de ferramentas para a melhoria de processos;
- Decisões baseadas em factos.

A metodologia DMAIC funciona como uma ferramenta de resolução de problemas, decompondo uma tarefa em várias subtarefas genéricas. Através de diversos estudos realizados, concluiu-se que o aumento da velocidade de fluxo e a diminuição do desperdício são os dois objetivos alcançáveis com a aplicação deste método. [8]

## 2.2 Processo

Todo o trabalho que é efetuado pode ser visto como um processo. Segundo Nolan e Provost, um processo pode ser definido como "um leque de causas e condições que repetidamente e em conjunto transformam *inputs* em *outputs*." Dos *inputs* podem fazer parte pessoas, materiais ou informação. Os *outputs* incluem produtos, serviços, comportamentos ou pessoas.

Os processos de produção abrangem um vasto conjunto de operações, desde processos subtrativos 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 a pulverização catódica. Todos estes processos de fabrico têm como *input* os materiais, de que fazem parte a matéria-prima assim como as ferramentas de auxílio, que serão posteriormente transformados em produto-final e matéria desperdiçada (*output*). De forma semelhante, as entradas de energia nestes processos (elétrica, calorífica, ...) são transformadas em trabalho útil, parte do qual está incluído na forma e composição dos produtos-finais e matéria desperdiçada, sendo outra parte libertada sob a forma de calor, tal como ilustrado na Figura 5. [7]

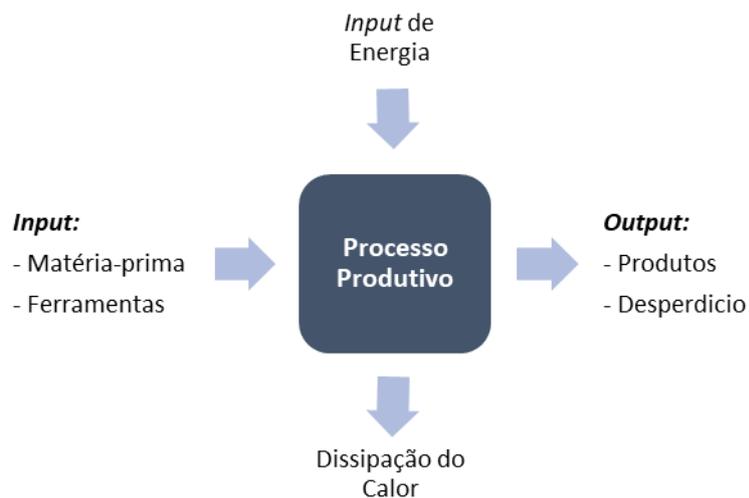
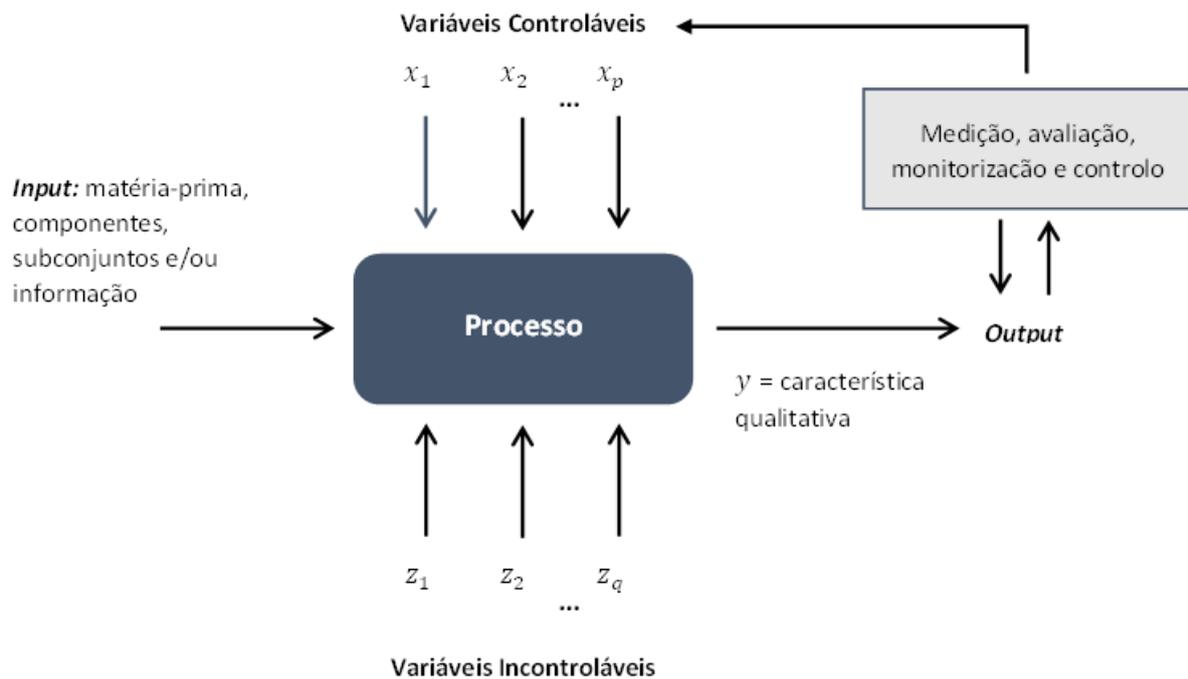


Figura 5: Esquema do processo produtivo

Douglas C. Montgomery, define o processo de uma forma mais elaborada – ilustrada na Figura 6; Este representa um processo como um sistema com várias entradas e saídas.



**Figura 6:** Inputs e outputs de um processo de fabrico segundo Montgomery  
Adaptado de: [1]

No caso dos processos de fabrico, os fatores controláveis  $x_1, x_2, \dots, x_p$  são variáveis do processo como temperatura, pressão, rácios de entrada, entre outras. Os *inputs*  $z_1, z_2, \dots, z_q$ , são entradas incontroláveis (ou difíceis de controlar), tal como fatores ambientais ou propriedades da matéria-prima. O processo de produção transforma as entradas de matéria-prima, componentes e partes pré-montadas num produto acabado que apresenta várias características qualitativas. A variável de saída é uma característica de qualidade, que é analisada e medida com o intuito de verificar a conformidade com o requerido pelo cliente. Posteriormente essa análise permite que se faça o controlo estático do processo de modo a garantir a estabilidade do processo. Este modelo – Figura 6 – também pode representar qualquer outro tipo de processo, como serviços entre outros. [1]

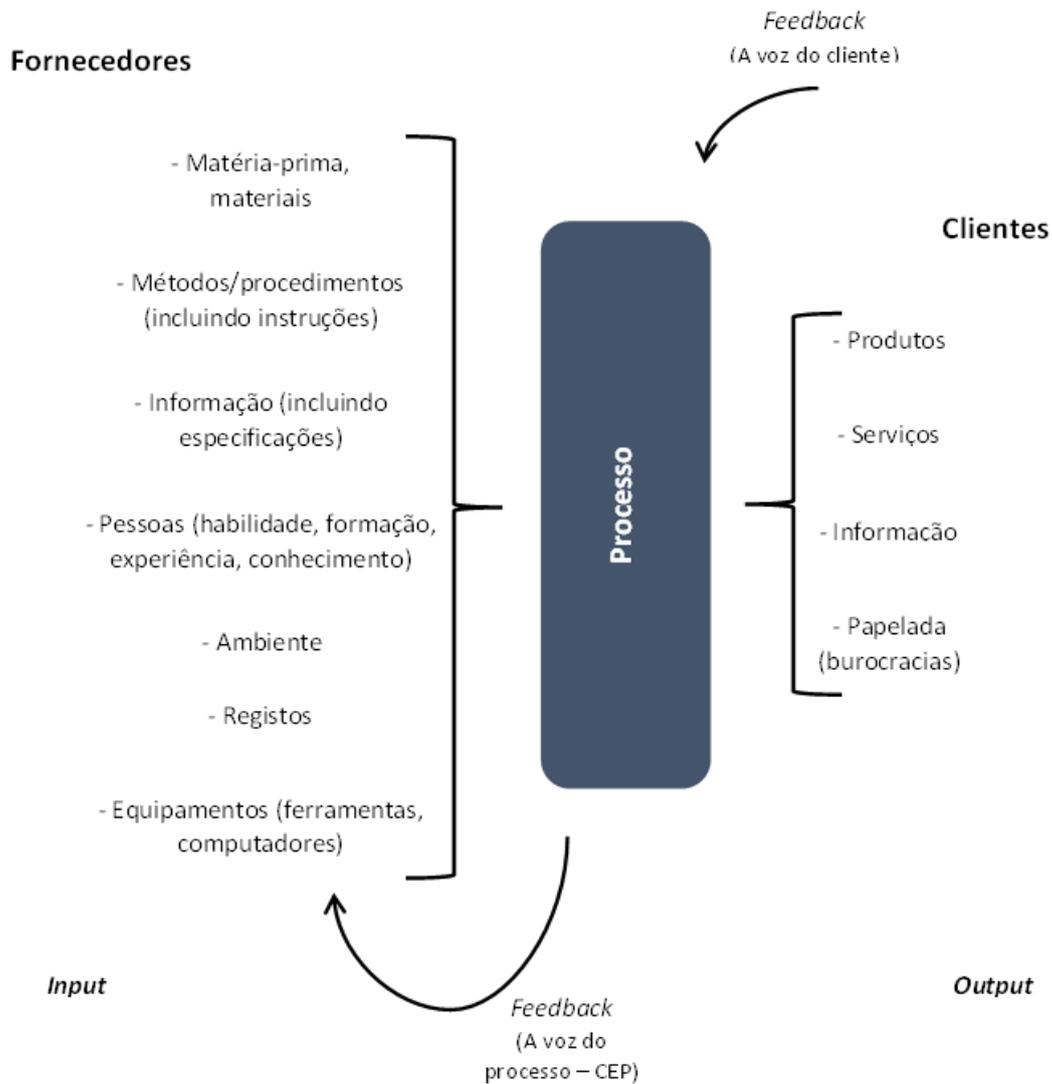
### 2.2.1 A Voz do Processo – Controlo Estatístico do Processo

Uma análise mais minuciosa e detalhada de toda a envolvente em torno do processo produtivo, permite-nos identificar o CEP como a “voz do processo”. Dado todo o *feedback* transmitido por este, é possível realizar as intervenções necessárias para que o processo vá de encontro aos requisitos iniciais, daí a designação de “voz do processo”. Para tal, é necessário monitorizar todo o processo produtivo verificando deste modo qual o seu comportamento e a sua performance.

Para começar a monitorizar qualquer processo, é necessário em primeiro lugar, identificar qual a sua função/objetivo e quais são os seus *inputs* e *outputs*. Uma vez que o processo é identificado, os *inputs* e os fornecedores, os *outputs* e os clientes também podem ser definidos, em conjunto com os requisitos dos

clientes. É óbvio que para produzir um *output* que obedeça às exigências dos clientes é necessário definir, monitorizar e controlar os *inputs* para o processo.

Em todas as relações fornecedor – cliente existe um processo de transformação e todas as tarefas, sem exceção, devem ser vistas como um processo deste tipo [ver Figura 7].

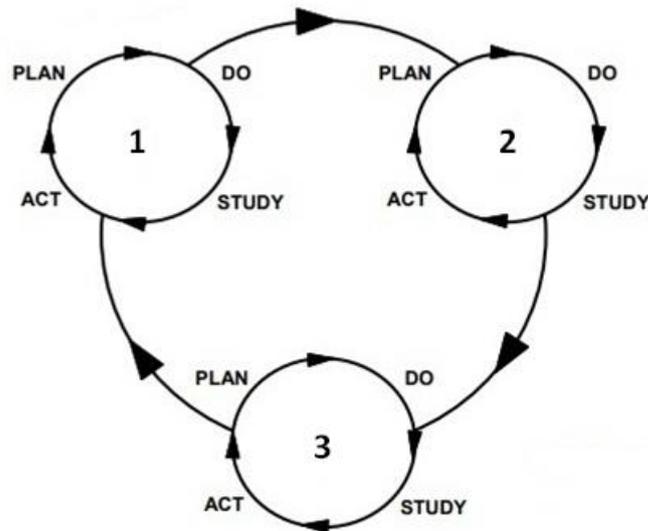


**Figura 7:** O CEP como peça central de um processo de transformação  
Adaptado de: [10]

O que define um bom processo é a produção de um *output* consistente. Seria desejável que isso fosse atingido com um ajuste cauteloso e minucioso do equipamento do processo produtivo e assim criar condições para que produza de um modo consistente. Infelizmente, isto raramente ou nunca irá resultar na produção uniforme de um produto, uma vez que implica precauções extraordinárias para assegurar a regularidade de fabrico do mesmo. [7]

## 2.2.2 Ciclo de Melhoria do Processo – PDCA

A prevenção de falhas é o principal objetivo do ciclo de melhoria do processo, sendo o ciclo de Deming (PDCA) o sistema que permite alcançar essa melhoria contínua. Ao aplicar o conceito de melhoria contínua aos processos, o ciclo de Deming é aplicado em três etapas distintas todas elas interligadas entre si [Figura 8]. [10]



*Figura 8: Etapas do ciclo de melhoria contínua do processo  
Fonte: [11]*

Em que,

### 1. Analisar o Processo

Uma compreensão básica do processo é uma obrigação quando se considera a melhoria. Entre as perguntas a serem respondidas para melhor compreensão do processo estão:

- O que o processo deve fazer?
  - O que se espera em cada etapa do processo?
- O que pode correr mal?
  - O que pode variar neste processo?
  - O que já sabemos sobre a variabilidade deste processo?
  - Quais os parâmetros mais sensíveis a variação?
- Qual a performance do processo?
  - Este processo está a produzir sucata? Os *outputs* requerem aperfeiçoamento?
  - Este processo produz um *output* que está em estado de controlo estatístico?
  - O processo é capaz?
  - O processo é confiável?

Diversas técnicas podem ser aplicadas para se obter uma melhor compreensão do processo. Essas atividades incluem:

- Reuniões de grupo;
- Parecer das pessoas que desenvolvam ou operem o processo;
- Revisão do histórico do processo;
- Construção de uma análise FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*).

As cartas de controlo são ferramentas que devem ser aplicadas durante o ciclo de melhoria do processo. Esta simples ferramenta estatística ajuda a diferenciar entre causas naturais e causas especiais de variação. Quando for alcançado um estado de controlo estatístico, o nível em que a capacidade do processo se encontra pode ser avaliado a longo prazo.

## 2. Manter (Controlar) o Processo

Depois de alcançar uma melhor compreensão de todo o processo, este deve ser mantido num nível de capacidade apropriado.

Os processos são dinâmicos e vão sofrendo alterações. O desempenho do processo deve ser monitorizado para que possam ser tomadas medidas eficazes para evitar mudanças indesejáveis. A mudança desejável também deve ser compreendida e institucionalizada. A construção e uso de cartas de controlo, assim como outras ferramentas da qualidade, permite a monitorização eficiente do processo. Quando a ferramenta sinalizar alterações no processo, devem ser tomadas medidas rápidas e eficientes para isolar a(s) causa(s) e agir sobre ela(s).

Nesta fase do ciclo de melhoria do processo, devido ao limite de recursos de algumas empresas, é expectável que muitas se fiquem por esta etapa do ciclo. No entanto, não avançar para a próxima etapa pode resultar numa desvantagem competitiva significativa. A obtenção de “classe mundial” requer um esforço constante e planeado para avançar em torno de todas as etapas do ciclo de melhoria.

## 3. Melhorar o Processo

Até aqui, o esforço tem sido para estabilizar e manter os processos. No entanto, para alguns processos, o cliente será sensível até mesmo à variação dentro das especificações de engenharia (tolerâncias). Nesses casos, a melhoria contínua não será realizada até que a variação seja reduzida. Neste ponto, ferramentas adicionais de análise de processos, incluindo métodos estatísticos mais avançados, podem se revelar úteis.

A melhoria do processo por meio da redução da variação normalmente envolve a introdução propositada de mudanças no processo e respetiva averiguação dos efeitos. O objetivo é uma melhor compreensão do processo, para que a variação de causa comum possa ser ainda mais reduzida. A intenção dessa redução é melhorar a qualidade a um custo menor.

Quando são determinados novos parâmetros do processo, o ciclo volta para a primeira etapa (“Analisar o Processo”). Como foram feitas alterações, a estabilidade do processo necessita ser reconfirmada. O processo continua então a avançar de etapa em etapa ao longo do ciclo de melhoria do processo. [11]

## 2.3 Controlo Estatístico do Processo

Atualmente, independentemente do ramo de negócio, as organizações competem em três frentes: qualidade, entrega e preço. Poucas dúvidas restam quando se afirma que a boa reputação das organizações quanto à qualidade dos seus produtos e serviços é um elemento-chave para o sucesso e garantia de futuro da empresa. [7]

O Controlo Estatístico do Processo – CEP ou SPC “*Statistical Process Control*”, desenvolvido numa primeira fase por Walter A. Shewhart, é uma ferramenta utilizada para controlar estatisticamente processos através da análise da sua variabilidade, funcionando também como uma metodologia para averiguar se determinado processo está a produzir de acordo com as especificações técnicas (estudo da capacidade do processo) [3]. A correta implementação do controlo estatístico do processo irá conduzir a decisões baseadas em fatos, uma crescente perceção 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 [7].

Diversos autores defendem que é fundamental perceber como é que os processos se comportam ao longo do tempo e que o controlo estatístico serve para controlar estes mesmos processos, possibilitando também a sua reorganização e melhoria. Segundo Montgomery, a introdução do CEP irá estabilizar o processo e reduzir a sua variabilidade. [3]

O CEP é um conjunto de ferramentas para a gestão dos processos e para a determinação e monitorização da qualidade dos *outputs* de uma organização, sendo também uma estratégia para reduzir a variabilidade dos produtos, entregas, processos, materiais e equipamentos. Trata-se de uma técnica, baseada na estatística, que analisa os dados recolhidos e que presta auxílio ao engenheiro do processo ou do controlo da qualidade em detetar e efetuar possíveis melhorias no processo.

Não sendo um sinónimo de controlo da qualidade, uma vez que não mede diretamente a qualidade, trata-se de uma ferramenta analítica que indica a possível existência de uma qualquer condição corrigível que cause uma variação indesejável. Essa variação afetarà a qualidade do produto, pelo que, uma ação corretiva será necessária ao ponto de reduzir a variação. [7]

Um dos principais objetivos do controlo estatístico do processo é detetar as causas especiais e distingui-las das causas comuns de variação. As causas comuns de variação são inerentes ao processo, por sua vez, as causas especiais causam excessiva variação e devem ser eliminadas. Idealmente, no processo, só devem existir causas comuns de variação, reproduzindo assim um processo estável e previsível. Um processo que opera segundo estas condições diz-se sob controlo estatístico. [3]

Para que o uso do controlo estatístico do processo seja eficaz, é necessário utilizá-lo em conjunto com outras ferramentas, ao que a formação para a aplicação dessas ferramentas deve ser disponibilizada a todos os colaboradores de uma organização, de modo que cada um possa contribuir para a melhoria da qualidade. Geralmente, o pessoal qualificado é o foco principal da formação em CEP, sendo as ferramentas mais técnicas, como as cartas de controlo, o principal objetivo dessas formações. Outras ferramentas básicas, como a estratificação, os histogramas, as folhas de registo e verificação, os diagramas de causa-efeito, os diagramas de dispersão e os diagramas de Pareto; não exigem alargados conhecimentos para a sua aplicação, ou seja, qualquer colaborador se encontra capaz de fazer uso destas. A compreensão e respetiva utilização de qualquer uma das ferramentas referidas não requer nenhum conhecimento prévio de estatística, no entanto, a sua abordagem teórica não é suficiente. Fazer uma transição a partir de exemplos teóricos para a sua aplicação em termos práticos é essencial para a implementação bem-sucedida do CEP e posterior resolução de problemas.

A responsabilidade pela qualidade em qualquer processo de transformação recai sobre os operadores desse mesmo processo. Como tal, é essencial disponibilizar-lhes as ferramentas necessárias por forma a:

- 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 estes não atendem às especificações impostas.

O sucesso desta abordagem permite que a informação flua através da cadeia de fornecedores e das organizações em todas as áreas industriais, incluído aquelas que operam na área dos serviços. Aos poucos, as empresas começam a ter noção do enorme potencial do CEP em termos de redução de custos, melhoria da qualidade, produtividade e quota de mercado. [7]

Em suma, o controlo estatístico do processo serve como uma análise ao desempenho do processo, com o objetivo de eliminar causas especiais de variação e com isto tornar o processo mais estável e com uma menor variabilidade. Para atingir estes objetivos, o CEP recorre às sete ferramentas da qualidade, com especial destaque para as cartas de controlo. [3]

### 2.3.1 Variabilidade dos Processos: Causas Comuns e Causas Especiais

A variabilidade é comum a todos os processos produtivos e impossível de se evitar. Para efetivamente utilizar os dados de medição recolhidos para o controlo do processo é necessário entender o conceito de variação. De facto, não existem dois produtos ou características exatamente iguais, dado que qualquer processo é afetado por diversas fontes de variação. A diferença entre produtos pode ser grande ou quase impercetível, porém estará sempre presente.

Nem todas as fontes de variação causam diferenças entre peças consecutivas (denominadas fontes instantâneas ou a curto prazo), e.g. folgas existentes na maquinaria e/ou nos seus acessórios; algumas tendem a causar alterações no produto final após longos períodos de produção, e.g. desgaste da ferramenta,

condições climáticas, picos de corrente. Assim sendo, o período e as condições de medição podem afetar a quantidade de variação total que se observa em determinado processo produtivo.

Embora os valores medidos individualmente possam ser todos diferentes, agrupados tendem a formar um padrão que pode ser descrito como uma distribuição [Figura 9]. Esta distribuição pode ser caracterizada por:

- Localização (valor típico);
- Dispersão (diferença entre o valor máximo e mínimo);
- Contorno (padrão de variação – simétrico, assimétrico). [11]

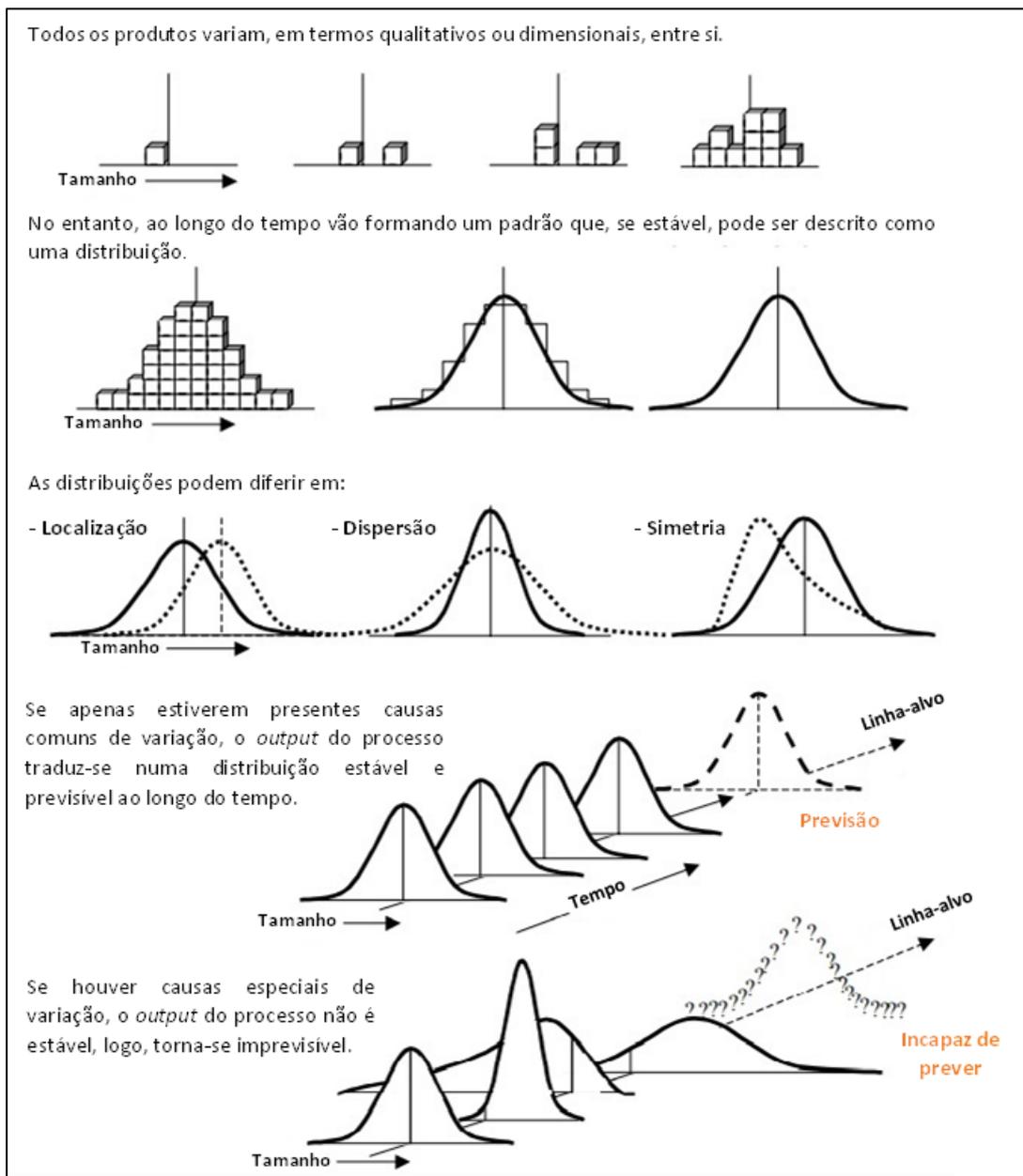
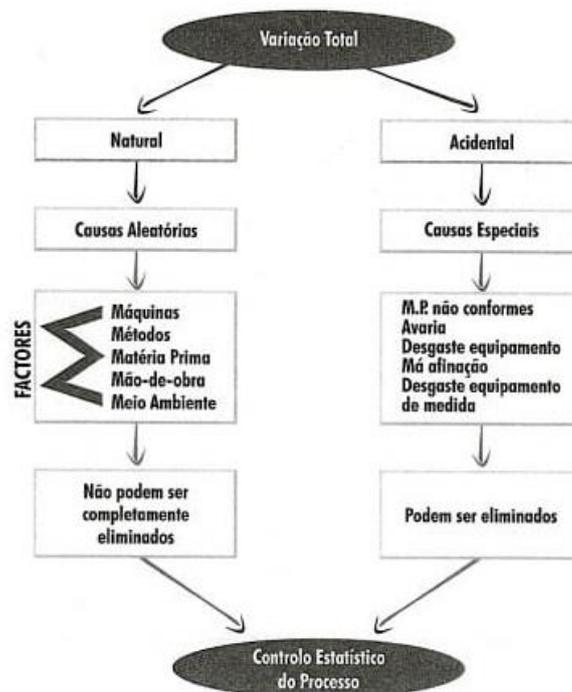


Figura 9: Variabilidade do processo  
Adaptado de: [11]

Do ponto de vista dos requisitos mínimos, a questão da variação é frequentemente simplificada: peças dentro dos limites de tolerância especificados são aceites; fora desses mesmos limites são rejeitadas. No entanto, o objetivo é manter a localização num valor alvo com variabilidade mínima. Para gerir qualquer processo e reduzir a sua variabilidade, é necessário identificar e eliminar as fontes de variação. O primeiro passo é então distinguir entre causas comuns e causas especiais de variação. A distinção entre estas duas causas é fundamental para o controlo do processo, um erro de interpretação, pode conduzir a decisões erradas.

As causas comuns (aleatórias e sistemáticas) referem-se à maioria das fontes de variação existentes no processo que têm uma distribuição estável e que se repetem ao longo do tempo. Quando apenas estão presentes causas comuns e se estas se mantêm, o resultado do processo torna-se previsível.

Estas causas estão ligadas à combinação dos cinco fatores [Figura 10] que fazem parte de um processo produtivo. Mesmo que estas gerem um “ruído” de fundo (desprezável) considera-se que o desempenho do processo é aceitável. Um processo nestas condições é um processo estável e previsível, estando então sob controlo estatístico.



**Figura 10:** Causas de variação do processo  
Fonte: [12]

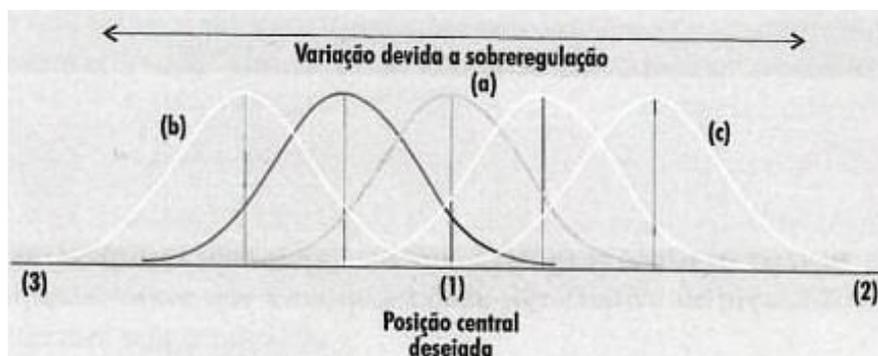
As causas especiais (também designadas causas assinaláveis ou acidentais) dizem respeito a quaisquer fatores causadores de variação que atuam de forma significativa no processo, ou seja, quando ocorrem, provocam uma alteração da distribuição do processo. A menos que todas as causas especiais de variação sejam identificadas e eliminadas, o resultado do processo será afetado de múltiplas formas, tornando o resultado do processo instável ao longo do tempo, logo imprevisível. [12]

A minimização das causas comuns e, principalmente, a eliminação de causas especiais são ações cruciais para garantir a estabilidade de um processo. O comportamento associado a um processo que se encontra sob controlo estatístico pode ser previsto, devido à estabilidade do mesmo. A diminuição das causas comuns de variação envolve, normalmente, a decisão de altos níveis de gestão, tais como a compra de novos equipamentos ou a mudança de fornecedores. A eliminação das causas especiais de variação é realizada por operadores que estão diretamente relacionados com o processo produtivo. [13]

O aumento da dispersão criada pelas fontes de variação pode ser atribuído, em regra, a quatro grandes tipos de fontes de variação:

- Deficiente funcionamento dos equipamentos (falta de afinação, desgaste);
- Erro do operador (introdução de parâmetros errados, matéria-prima incorreta, má afinação do equipamento);
- Matéria-prima não-conforme;
- Alteração ocasional das condições de trabalho ou operações (corrente de ar, variação brusca da temperatura).

A sobrerregulação é uma das causas mais evidentes e mais comuns para aumentar a variabilidade nos processos. A figura que se segue representa uma sequência de decisão, onde está explícito as consequências da sobrerregulação do processo.



*Figura 11: Variação natural do processo*  
*Fonte: [12]*

Sempre que pretende ajustar a máquina, o operador avalia uma grandeza sobre uma peça produzida, existindo uma probabilidade não nula de encontrar um valor em (2). Se considerar que esta peça é representativa do processo de produção, significa que toda a produção é idêntica e fará um ajuste da máquina por forma a deslocar o ponto (2) para o ponto (1), valor desejado para o processo. A distribuição da produção desloca-se então para a esquerda obtendo-se a distribuição (b). Nesta situação, ao fazer uma nova leitura existe uma probabilidade não nula de encontrar um valor em (3). Fazendo o mesmo raciocínio, o operador faz um ajuste para posicionar o ponto (3) em (1), objetivo do processo. A distribuição da produção desloca-

se para a direita obtendo-se a distribuição (c). Resumindo, na procura permanente do valor ótimo do processo e graças aos ajustes sucessivos, o operador está a incrementar, artificialmente, a dispersão natural do processo, podendo em certos casos duplicá-la.

A fim de evitar esta tendência de reajuste, é necessário implementar uma ferramenta que possibilite fazer a discriminação entre variabilidade natural e variabilidade acidental do processo. Este é o objetivo das cartas de controlo, permitindo identificar, rapidamente, as causas acidentais por forma a tomar as ações corretivas adequadas antes que uma quantidade significativa de peças não-conformes seja produzida. As cartas de controlo evidenciam também a capacidade do processo.

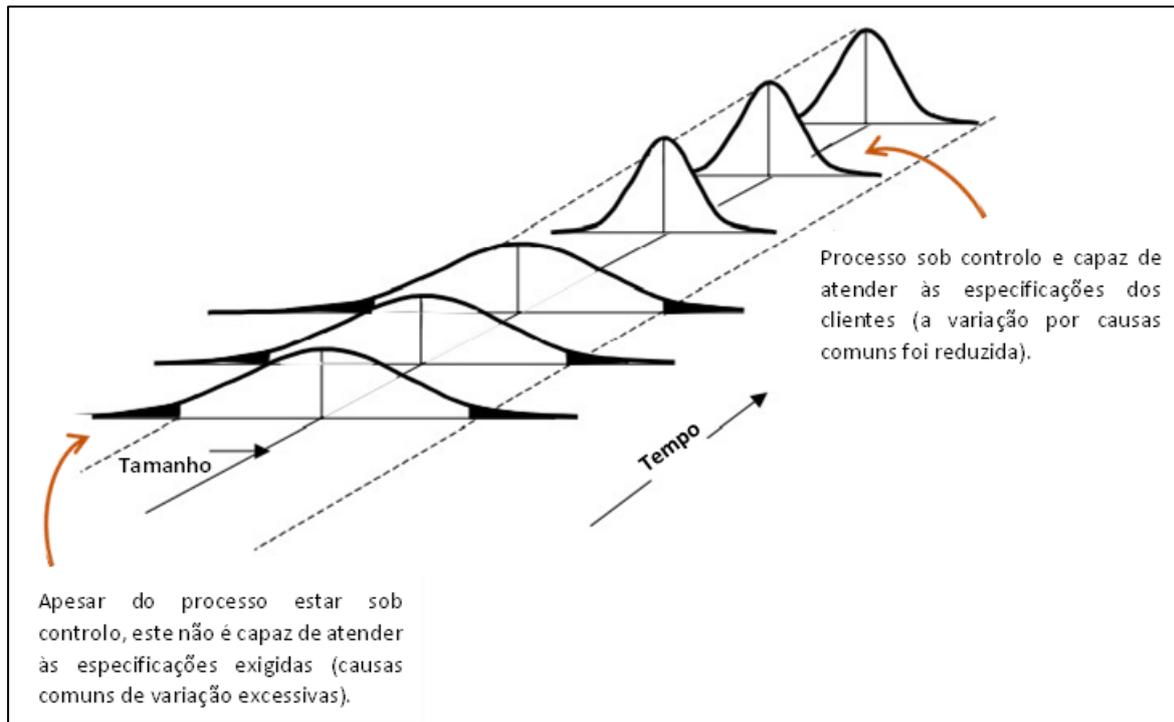
As alterações na distribuição do processo podem ser ou não vantajosas. Quando vantajosas, devem ser identificadas e adotadas como elementos do processo; se desvantajosas, têm de ser identificadas e eliminadas. [12]

### 2.3.2 Capacidade do Processo

Como referido anteriormente, a ausência de causas especiais de variação sugere que o processo se encontra apenas sujeito à variabilidade que lhe é inerente, estando assim sob controlo estatístico. Porém, essa estabilidade não garante que o processo seja capaz de produzir de acordo com as especificações impostas, apenas que o seu comportamento futuro pode ser adequadamente previsto.

A análise da capacidade do processo tem como intuito o estudo da aptidão com que o processo revela produzir de acordo com as especificações pré-estabelecidas. O estudo da capacidade do processo baseia-se na comparação entre a distribuição de uma determinada característica do produto e as especificações que lhe são impostas.

A figura que se segue, é exemplo de um processo que se encontra sob controlo estatístico, mas cuja variabilidade inicial ainda se apresenta elevada face ao intervalo das especificações estabelecidas (os limites superior e inferior de especificação encontram-se representados pelas linhas a tracejado). Ao longo do tempo denota-se uma diminuição da variabilidade, tornando assim o processo capaz de produzir de acordo com as especificações. [13]



*Figura 12: Capacidade do processo  
Adaptado de: [11]*

Segundo Montgomery, os resultados obtidos da análise da capacidade do processo permitem:

- Prever se o processo produz de acordo com as especificações exigidas;
- Auxiliar os responsáveis pelo desenvolvimento de produto a selecionar ou a modificar um processo;
- Auxiliar na definição da frequência de amostragem durante a monitorização do processo;
- Especificar os requisitos de desempenho para novos equipamentos;
- Selecionar fornecedores e outros aspetos da cadeia de abastecimento;
- Planear a sequência de processos de produção quando existem efeitos de interação dos processos nas tolerâncias;
- Reduzir a variabilidade do processo.

Normalmente, a capacidade de um determinado processo é avaliada com recurso ao cálculo dos índices de capacidade do processo, que permitem verificar de que modo o processo está a produzir face às especificações. [1] [13] [14]

### 2.3.2.1 Índices de Capacidade do Processo

Pressupondo que os dados recolhidos de uma característica relativa a determinado processo seguem uma distribuição normal – o que significa que 99,73% dos valores dessa característica estão compreendidos entre

$\mu \pm 3\sigma$ , em que  $\mu$  e  $\sigma$  representam, respetivamente, a média e o desvio padrão do processo –, considera-se uma variação aceitável do processo igual a  $6\sigma$  (seis vezes o desvio padrão).

O índice de capacidade potencial ( $C_p$ ), relaciona a amplitude da especificação (calculada pela diferença entre os limites superior e inferior) com a variação do processo ( $6\sigma$ ). O índice  $C_p$  é definido pela equação (1), em que LSE e LIE designam, respetivamente, o limite superior e o limite inferior da especificação.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (1)$$

A capacidade do processo em satisfazer os requisitos dos clientes, é tanto maior quanto maior for o valor do índice de capacidade potencial. No entanto, o índice  $C_p$  apenas avalia se a variabilidade do processo é adequada à amplitude da especificação técnica, não fornecendo qualquer tipo de informação a cerca da localização da média do processo. Deste modo, um processo pode possuir um índice de capacidade potencial satisfatório e não ser capaz de produzir de acordo com o valor nominal pretendido (*target*).

Para colmatar esta falta de informação, surgiram novos índices de avaliação de desempenho que consideram não só a variabilidade do processo como também a localização da média. De entre os vários índices, destaca-se o  $C_{pk}$ , que ao ter em consideração o parâmetro de localização do processo permite aferir se este está ou não descentralizado em relação aos limites de especificação. O índice  $C_{pk}$  é representado pela equação (2), que compara os índices  $(C_{pk})_I$  e  $(C_{pk})_S$  [equações (3) e (4)] devolvendo, de seguida, o valor mínimo.

$$C_{pk} = \min [(C_{pk})_I; (C_{pk})_S] \quad (2)$$

Em que,

$$(C_{pk})_I = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (3)$$

$$(C_{pk})_S = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (4)$$

Quanto mais elevado for o valor do  $C_{pk}$  maior será a aptidão do processo em se enquadrar com os requisitos pré-definidos. [13]

Contrariamente ao índice  $C_p$ , que só pode ser aplicado a especificações bilaterais, o  $C_{pk}$  pode ser utilizado tanto em características do processo que possuem especificações bilaterais como unilaterais [10].

Para especificações bilaterais, o processo encontra-se centrado com o valor nominal quando  $(C_{pk})_I = (C_{pk})_S$ , evidenciando assim que a média coincide com o valor especificado. No caso de a especificação ser unilateral, o processo é definido pela equação (3) sempre que a característica a ser avaliada contenha apenas um limite inferior de especificação (do tipo, quanto maior-melhor) e pela equação (4) sempre que contenha apenas um limite superior (do tipo, quanto menor-melhor). [13]

Um bom desempenho do processo implica que a variabilidade deste se faça mínima, ou seja, que os valores da capacidade do processo sejam o mais elevados possível. Na Tabela 2 são apresentados os valores mínimos dos índices de capacidade para cada tipo de especificação, tendo em conta o estado do processo (novo ou já existente) e também alguns fatores-chave como segurança, resistência ou parâmetro crítico.

**Tabela 2:** Valores mínimos recomendáveis para os índices de capacidade do processo  
Fonte: [1]

	Especificações Bilaterais	Especificações Unilaterais
Processos existentes	1,33	1,25
Novos processos	1,50	1,45
Segurança, resistência ou parâmetro crítico – processos existentes	1,50	1,45
Segurança, resistência ou parâmetro crítico – novos processos	1,67	1,60

Um processo centrado com o valor alvo apresenta um  $C_p = C_{pk}$ ; já um processo descentrado apresenta um valor de  $C_{pk}$  inferior ao valor de  $C_p$ , sendo neste caso a capacidade do processo obtida pelo valor de  $C_{pk}$ .

Montgomery afirma que o índice  $C_p$  mede a capacidade potencial de um processo enquanto que o  $C_{pk}$  mede a capacidade real [3] [1] –, assim sendo, quanto maior for o valor do  $C_p$  maior será a potencialidade do processo; e quanto maior for o valor do  $C_{pk}$  mais capaz será o processo.

Na tabela que se segue são apresentados alguns valores de referência para os índices de capacidade anteriormente referidos, assim como respetiva percentagem de defeitos e sua conversão em PPM<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> PPM - indica o número de peças não-conformes num processo, expresso em partes por milhão.

**Tabela 3:** Valores de referência para  $C_p = C_{pk}$  (processo centrado com o valor nominal)  
 Fonte: [15]

$C_p = C_{pk}$	% Defeitos	PPM
1,00	0,269980%	2700
1,33	0,006334%	63
1,50	0,000680%	6,8
1,67	0,000057%	0,57
2,00	0,00000020%	0,0020

### 2.3.3 Ferramentas CEP

Se um produto deve atender ou exceder as expectativas do cliente, este geralmente deve ser produzido por um processo que seja estável ou repetível, ou seja, o processo deve ser capaz de operar com pouca variabilidade em torno do alvo ou das dimensões nominais das características de qualidade do produto. O controlo estatístico do processo, dispõe de um conjunto de ferramentas que procuram solucionar problemas para alcançar a estabilidade do processo e melhorar a capacidade através da redução da variância.

O CEP é um dos maiores desenvolvimentos tecnológicos do século XX uma vez que se baseia em princípios sólidos, é fácil de usar, tem um impacto significativo e pode ser aplicado a qualquer processo. As sete principais ferramentas são:

1. Estratificação
2. Histograma
3. Folha de registo e verificação
4. Diagrama de Pareto
5. Diagrama de Causa-Efeito (Ishikawa)
6. Diagrama de dispersão
7. Cartas de controlo

Embora as ferramentas – também conhecidas como “*the magnificent seven*” (as sete magníficas) – sejam uma parte importante do CEP, estas abrangem apenas os seus aspetos técnicos. A implementação adequada do CEP ajuda a criar um ambiente no qual todos os indivíduos de uma organização procuram a melhoria contínua da qualidade e da produtividade. Este ambiente é mais bem desenvolvido quando a gestão se envolve no processo. Uma vez estabelecido esse ambiente, a aplicação rotineira das ferramentas do CEP torna-se parte integrante do negócio, estando a organização num bom caminho para atingir os seus objetivos de melhoria.

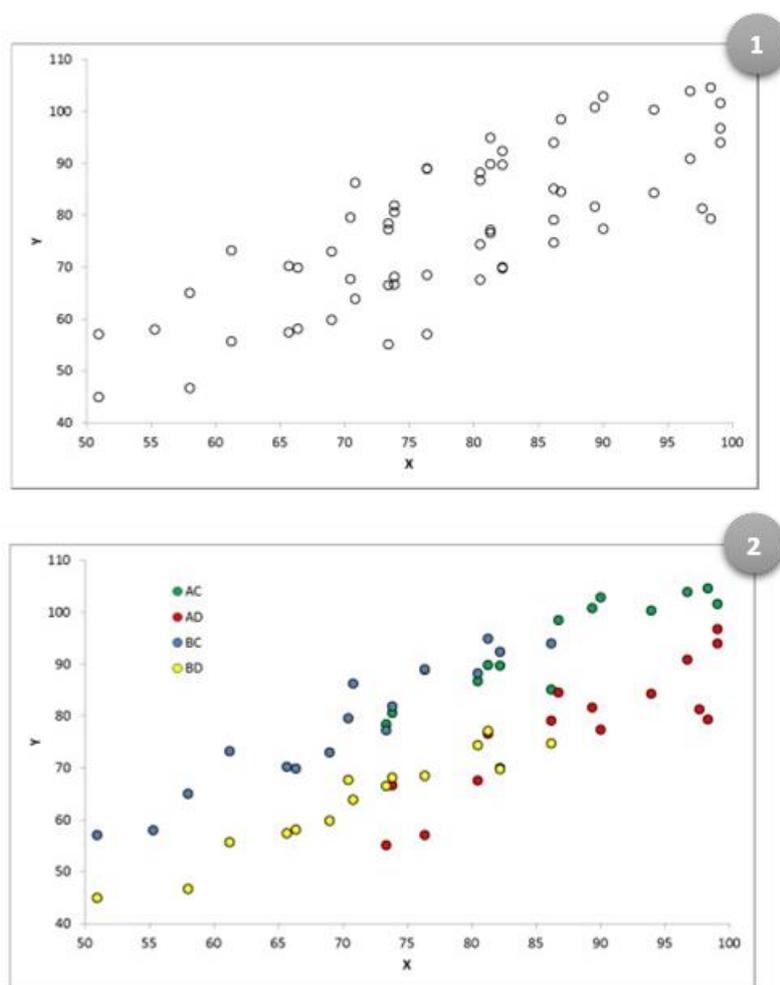
Das sete ferramentas, a carta de controlo de Shewhart é provavelmente a mais sofisticada tecnicamente. Foi desenvolvido na década de 1920 por Walter A. Shewhart dos Laboratórios Bell Telephone.

As sete principais ferramentas de resolução de problemas do CEP devem ser amplamente ensinadas em toda a organização e usadas rotineiramente para identificar oportunidades de melhoria, ajudar a reduzir a variabilidade e eliminar o desperdício. [1]

### 2.3.3.1 Estratificação

Quando os dados disponíveis são uma mistura de informação recolhida sob diversas condições, torna-se difícil a perceção do seu significado. A estratificação consiste em separar as informações pela sua origem ou condições de recolha e agrupa os dados em subconjuntos de forma a se poderem analisar separadamente os vários tipos de informação. [9]

Por exemplo, se se recolherem informações sobre duas variáveis  $X$  e  $Y$  relativamente a uma peça metálica e tendo como possibilidade de estratificação o tipo de torno ( $A$  e  $B$ ) e o fornecedor do aço ( $C$  e  $D$ ), a aplicação da estratificação a este caso, será a representada na Figura 13:



**Figura 13:** Estratificação

Fonte: [16]

① - Estratificação por variáveis; ② - Estratificação por tipo de torno e fornecedor.

A técnica de estratificação é extremamente importante para a descoberta de problemas e para a identificação e o direcionamento das ações de melhoria e das medidas corretivas a serem adotadas em diversas situações. [16]

### 2.3.3.2 Histograma

O histograma é um resumo gráfico em barras da variação de um específico conjunto de dados. A ideia do histograma é apresentar os dados para que os leitores possam analisar e retirar conclusões de forma mais simples e prática.

O histograma permite perceber a distribuição estatística de uma determinada característica. A construção deste gráfico pode ser feita diretamente após a recolha dos dados em combinação com as folhas de registo e verificação. [9]

Para construir um histograma de dados contínuos, é necessário dividir o intervalo de dados em intervalos de classe, células ou compartimentos, tendo estes a mesma largura para facilitar a leitura da informação. Na seleção do número de compartimentos deve ser utilizado algum tipo de critério para que uma exibição razoável possa ser desenvolvida. O número de compartimentos depende do número de observações e respetiva dispersão dos dados. Um inadequado número de compartimentos implica que este método não seja informativo. O limiar ótimo será aproximadamente entre 5 e 20 compartimentos, variando este valor em função do número de observações. Escolher o número de compartimentos aproximadamente igual à raiz quadrada do número de observações geralmente adequa-se para a maioria dos casos.

Uma vez determinados o número de compartimentos e os respetivos limites inferior e superior (para cada compartimento), os dados são então classificados nos compartimentos e é feita uma contagem do número de observações em cada um. Na elaboração de um histograma, utiliza-se o eixo horizontal para representar a escala de medição dos dados e a escala vertical para representar as contagens ou frequências.

Por vezes, as frequências em cada compartimento são divididas pelo número total de observações, sendo, nesse caso, a escala vertical do histograma representativa das frequências relativas. Para ambas as frequências, relativas ou não, à altura dos retângulos será sempre proporcional às mesmas. [1]

### 2.3.3.3 Folha de Registo e Verificação

A folha de registo e verificação é um método organizado para a recolha de dados. Nos estágios iniciais da melhoria do processo, é necessário recolher dados operacionais históricos ou atuais sobre o processo que se encontra sob investigação [1]. Uma folha de registo e verificação pode ser muito útil nesta atividade de recolha de dados. Durante os processos produtivos, todas as operações realizadas têm de ser documentadas. Com esta ferramenta é possível verificar e comparar resultados com o plano inicial e as causas de quaisquer falhas identificadas. [9]

A folha de registo apresentada na Figura 14 representa um caso pratico de aplicação a uma empresa aeroespacial que estava a investigar os defeitos que ocorreram num dos tanques de combustível produzidos.

CHECK SHEET DEFECT DATA FOR 2002-2003 YTD																		
Part No.:	TAX-41																	
Location:	Bellevue																	
Study Date:	6/5/03																	
Analyst:	TCB																	
Defect	2002												2003					Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	
Parts damaged		1		3	1	2		1		10	3		2	2	7	2		34
Machining problems			3	3				1	8		3		8	3				29
Supplied parts rusted			1	1		2	9											13
Masking insufficient			3	6	4	3	1											17
Misaligned weld	2																	2
Processing out of order	2														2			4
Wrong part issued		1						2										3
Unfinished fairing			3															3
Adhesive failure				1					1				2		1	1		6
Powdery alodine					1													1
Paint out of limits						1								1				2
Paint damaged by etching			1															1
Film on parts						3		1	1									5
Primer cans damaged							1											1
Voids in casting								1	1									2
Delaminated composite									2									2
Incorrect dimensions										13	7		13	1		1	1	36
Improper test procedure									1									1
Salt-spray failure													4		2			4
TOTAL	4	5	14	12	5	9	9	6	10	14	20	7	29	7	7	6	2	166

Figura 14: Folha de registo e verificação (caso prático)

Fonte: [1]

O engenheiro projetou a folha de registo e verificação para ajudar a resumir todos os dados históricos de defeitos ocorridos nos tanques. Como em cada mês são fabricadas poucas unidades, o mais apropriado era reunir os dados mensalmente e identificar tantos tipos diferentes de defeitos quanto possível. O registo desses dados tendo em consideração a altura do ano em que são recolhidos é particularmente valioso na procura de tendências ou outros padrões significativos. Por exemplo, se ocorrerem muitos defeitos durante o verão, uma possível causa pode ser o uso de trabalhadores temporários durante um período de férias intenso ou as próprias condições climáticas.

Ao projetar uma folha de registo e verificação, é importante especificar claramente o tipo de dados a serem recolhidos, o número da peça (nº série) ou operação, a data, o analista e qualquer outra informação útil para diagnosticar a causa do mau desempenho. Se a folha de registo for a base para realizar cálculos adicionais ou for usada como folha de cálculo para entrada de dados num sistema (digitalização da informação), é importante ter a certeza de que a folha de registo e verificação é adequada para esse fim, sendo por isso essencial validar periodicamente o seu *layout* e o seu design.

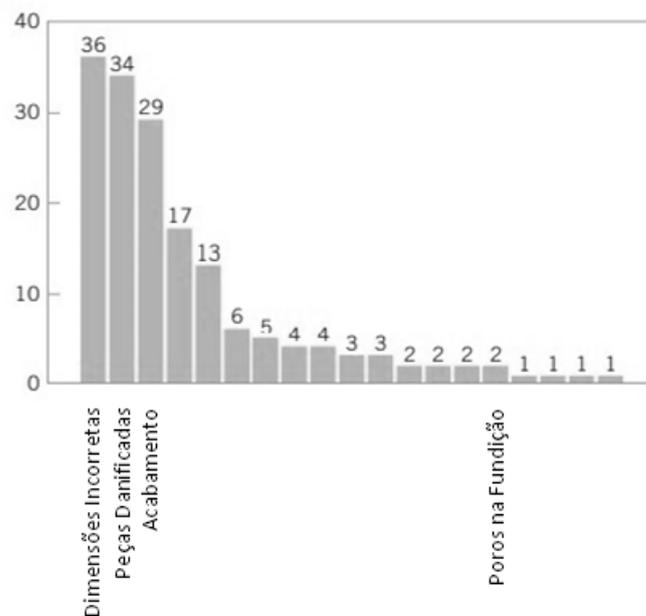
Esta folha de registo de dados é simples e prática, porém, pode não ser 100% fiável dada a possibilidade de manipulação dos dados, tornando assim falível o plano de melhoria. [1]

#### 2.3.3.4 Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto é uma abordagem que permite visualizar, identificar, classificar e trabalhar para a eliminação permanente de defeitos [9]. Trata-se de um simples gráfico de colunas que ordena (da maior para

a menor) e organiza por categorias a frequência de ocorrência de defeitos [1]. Dada a sua simplicidade e fácil leitura, visivelmente se verifica onde priorizar as ações de melhoria e quais os defeitos em que nos devemos focar [9].

Para ilustrar um exemplo de aplicação do gráfico de Pareto, consideram-se os dados apresentados na Figura 14. Ao traçar o número total de defeitos [última coluna da folha de registo e verificação (Figura 14)] em relação às várias categorias dará origem ao Diagrama de Pareto representado na Figura 15.



**Figura 15:** Diagrama de Pareto  
**Fonte:** [1]

Por meio deste gráfico, o operário pode identificar rapidamente os tipos de defeitos mais frequentes. Por exemplo, a Figura 15 indica que as dimensões incorretas, as peças danificadas e o acabamento são os defeitos mais comumente encontrados. Assim, as causas desses tipos de defeitos devem ser identificadas e resolvidas antes de qualquer outra.

De salientar que o diagrama de Pareto não identifica automaticamente os defeitos mais importantes, mas sim os mais frequentes. Por exemplo, na Figura 15, os “*Voids in casting*” (poros na fundição) ocorrem muito raramente (2 de 166 defeitos, ou seja, 1,2%). No entanto, os poros podem resultar no descarte da peça, uma exposição de custo potencialmente grande – talvez tão grande que os poros na fundição devam ser elevados a uma categoria de grande defeito.

Em geral, o diagrama de Pareto é das ferramentas mais úteis sendo a sua aplicação para melhoria da qualidade limitada apenas pela engenhosidade do analista. [1]

### 2.3.3.5 Diagrama de Causa-Efeito (Ishikawa)

O diagrama de causa-efeito, também conhecido por diagrama espinha de peixe ou diagrama de Ishikawa, é uma ferramenta fácil de usar e simples de entender.

Depois de identificadas as possíveis causas para um defeito ou problema, o diagrama organiza essa informação distribuindo as causas por entre um leque de diversas categorias. [9]

Quando um defeito, erro ou problema é identificado e isolado para a realização de um estudo mais aprofundado, devemos começar por analisar as potenciais causas desse defeito indesejável. Em situações em que as causas não são óbvias, o diagrama de causa-efeito revela-se ser uma ferramenta útil para desvendar essas potenciais causas de defeitos. Na Figura 16, é apresentado um exemplo de aplicação do diagrama de causa-efeito construído por uma equipa de melhoria da qualidade designada para identificar possíveis áreas problemáticas no processo de fabricação dos tanques mencionados anteriormente. As etapas na construção do diagrama de causa-efeito são:

- Definir o problema ou defeito a ser analisado;
- Formar uma equipa para realizar a análise. Muitas vezes, a equipa descobrirá potenciais causas por meio de “*brainstorming*”<sup>4</sup>;
- Desenhar caixas para as categorias de defeitos e a linha central;
- Especificar as principais categorias de potenciais causas e uni-las à linha central;
- Identificar as possíveis causas e classificá-las dentro das categorias da etapa anterior. Se necessário, criar categorias;
- Ordenar as causas para identificar aquelas que parecem mais prováveis de causar impacto no problema;
- Tomar medidas corretivas.

Ao analisar os problemas de defeitos nos tanques de combustível, a equipa optou por estabelecer as principais categorias de defeitos como: máquinas, materiais, métodos, pessoal, medição e ambiente. Seguiu-se uma sessão de “*brainstorming*” para identificar as várias subcausas em cada uma dessas categorias principais e preparar o diagrama da Figura 16. Por meio de discussão e do processo de eliminação, o grupo decidiu que os materiais e os métodos eram as categorias de causas mais prováveis.

---

<sup>4</sup> “*brainstorming*” – ou tempestade de ideias, é mais que uma técnica de dinâmica de grupo, é uma atividade desenvolvida para explorar a potencialidade criativa de um indivíduo ou de um grupo, por forma a propor soluções a um problema específico.

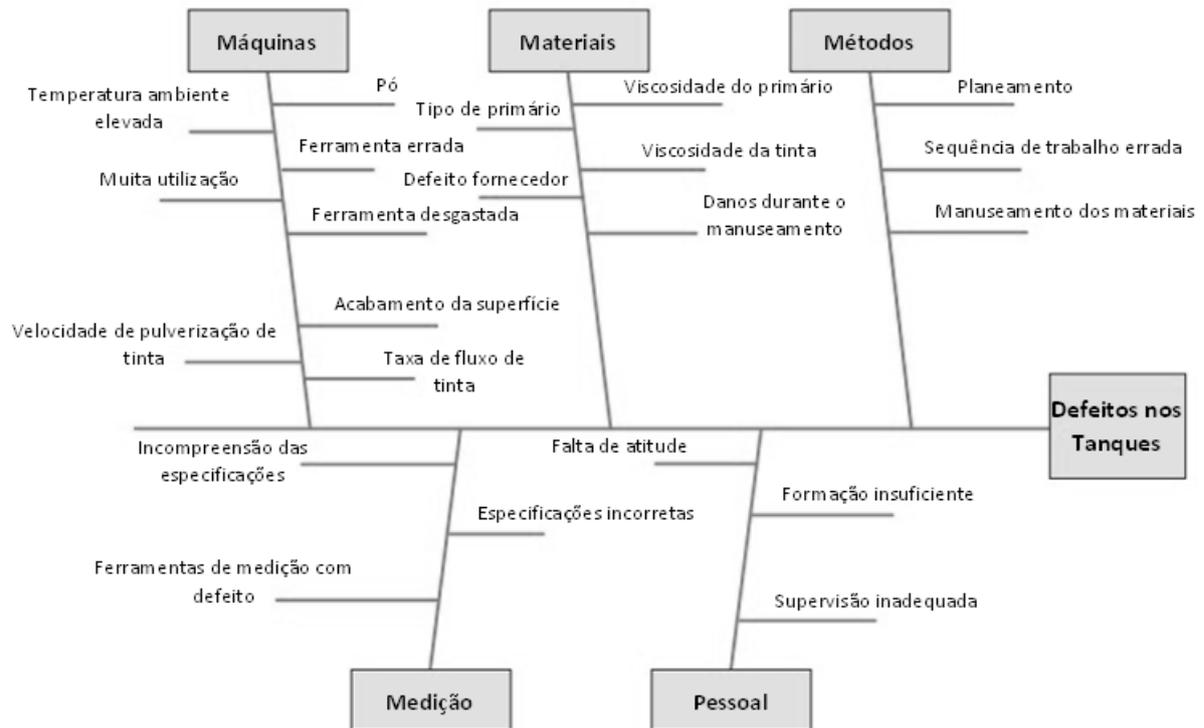


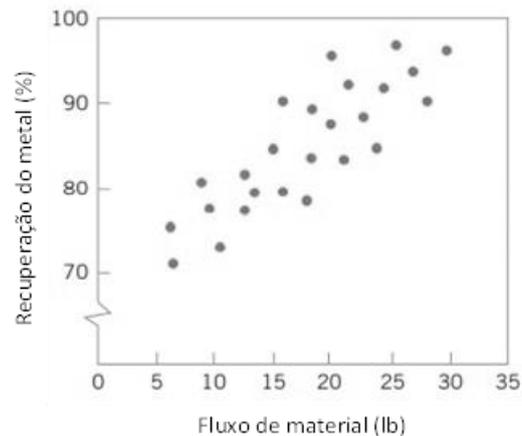
Figura 16: Diagrama de Ishikawa  
Adaptado de: [1]

A análise de causa-efeito é uma ferramenta extremamente poderosa, altamente detalhada pode servir como um auxílio eficaz na solução de problemas. Além disso, a construção de um diagrama de causa-efeito tende a envolver toda a equipa na busca de soluções, criando assim um espírito de entreajuda que impulsiona toda a organização no sentido dos seus objetivos. [1]

### 2.3.3.6 Diagrama de Dispersão

O diagrama de dispersão é um gráfico útil para identificar uma potencial relação entre duas variáveis quantitativas. Os dados das duas variáveis são recolhidos em pares, por exemplo,  $X_i, Y_i$  – com  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  –, sendo então  $X_i$  representado em relação ao  $Y_i$  correspondente [1]. Também possibilita construir uma regressão linear, determinando-se a reta que aponta a relação entre as duas variáveis e que indica a função que dá o comportamento da relação entre elas [17]. A forma do diagrama de dispersão geralmente indica se existe algum tipo de relação entre as duas variáveis [1]. Se as duas variáveis são diretamente proporcionais, diz-se que há uma correlação positiva; por sua vez, quando os valores das duas variáveis são inversamente proporcionais, há então uma correlação negativa [17].

A Figura 17 apresenta um diagrama de dispersão relacionando a recuperação do metal (em percentagem) num processo de fundição em relação aos valores correspondentes do fluxo de material adicionado ao cadinho. O diagrama de dispersão indica uma forte correlação positiva entre a recuperação do metal e o fluxo; isto é, à medida que o fluxo de material adicionado aumenta, a recuperação do metal também aumenta. [1]



*Figura 17: Diagrama de dispersão*

*Fonte: [1]*

De salientar que, para analisar a relação entre variáveis é necessária uma quantidade suficientemente grande de dados para revelar uma tendência. Quanto maior o tamanho da amostra, melhor será a análise final. [17]

#### 2.3.3.7 Cartas de Controlo

As cartas de controlo são usadas para controlar a variação e identificar as causas que originam essa mesma variação [1]. Estas são essenciais, quer na identificação de tendências que prejudicam os processos produtivos, quer na tomada de decisão sobre as medidas corretivas adequadas [18].

As cartas de controlo podem ser classificadas em dois tipos gerais. Se a característica de qualidade puder ser medida e expressa como um número em alguma escala contínua de medição, geralmente é chamada de variável. Nestes casos, é conveniente descrever a característica de qualidade com uma medida de tendência central e uma medida de variabilidade. As cartas de controlo para tendência central e variabilidade são chamados coletivamente de cartas de controlo por variáveis. A carta das médias é a mais utilizada para controlar a tendência central, enquanto as cartas baseadas no desvio padrão da amostra são usadas para controlar a variabilidade do processo.

Muitas características de qualidade não são medidas numa escala contínua ou mesmo numa escala quantitativa. Nestes casos, é possível julgar cada unidade de produto como conforme ou não-conforme com base no fato de possuir ou não determinado atributo, ou então através da contagem do número de não-conformidades (defeitos) que aparecem em cada unidade do produto. As cartas de controlo para tais características de qualidade são chamadas de cartas de controlo por atributos. [1]

De entre as diversas ferramentas da qualidade, a carta de controlo é uma das mais utilizadas na indústria para controlar a estabilidade dos processos. Resumidamente, este gráfico determina estatisticamente uma faixa que é delimitada por uma linha superior (LSC) e uma linha inferior (LIC), contendo também uma linha central (LC) que representa a média do processo. O objetivo é verificar, através do gráfico, se o processo está

sob controlo, isto é, isento de causas especiais de variação. Para tal, todas as medições efetuadas devem estar contidas dentro dos intervalos inferidos (faixa de controlo).

Existem várias formas de implementar esta ferramenta de controlo, desde a utilização do Excel até *softwares* específicos para o efeito. [18]

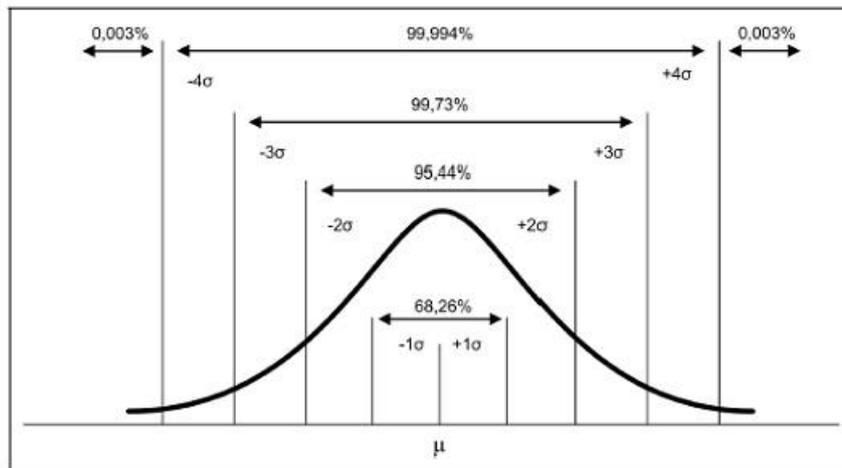
## 2.4 Cartas de Controlo

As cartas de controlo são uma representação gráfica de uma característica que foi medida/analísada ou calculada a partir de uma amostra, característica essa que é representada no gráfico através de pontos.

A carta contém uma linha central que representa o valor médio da característica de qualidade a ser controlada. Duas outras linhas horizontais, denominadas limite superior de controlo (LSC) e limite inferior de controlo (LIC), também são traçadas. Os limites de controlo são calculados de modo que, se o processo estiver sob controlo, todos os pontos de amostragem encontram-se entre os valores definidos para os limites. Enquanto os pontos estiverem dentro dos limites de controlo, presume-se que o processo de fabrico se encontra estável (sob controlo) e não é necessária qualquer ação. No entanto, um ponto fora dos limites estabelecidos é interpretado como prova de que o processo está fora de controlo, sendo necessário intervir de forma a eliminar a(s) causa(s) responsável(eis) por esse “comportamento”. Para uma melhor perceção da forma como a sequência de pontos evolui graficamente ao longo do tempo, os pontos das amostras são unidos com segmentos de reta.

Mesmo que todos os pontos estejam representados dentro dos limites de controlo, se se comportarem de forma sistemática ou não-aleatória, isto pode indicar que o processo está fora de controlo. e.g. Considerando uma carta na qual estão representados 20 pontos; se 18 desses pontos estiverem acima da linha central, mas abaixo do limite superior de controlo e os restantes dois pontos estiverem abaixo da linha central, mas acima do limite inferior de controlo, é um indício de que algo está errado. Se o processo estiver sob controlo, todos os pontos devem estar distribuídos num padrão essencialmente aleatório. Normalmente, há uma razão pela qual um determinado padrão não-aleatório aparece numa carta de controlo e, se pode ser encontrado e eliminado, o desempenho do processo pode ser melhorado. [1]

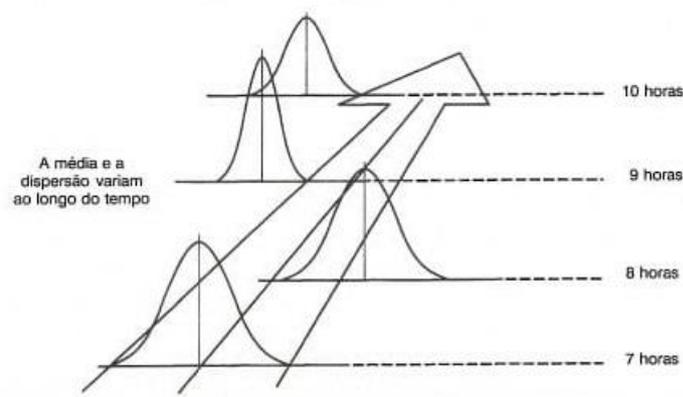
Recorrendo à distribuição normal reduzida (caracterizada por  $\bar{x} = 0$  e  $s = 1$ ) verifica-se que 99,73% da população encontra-se num intervalo centrado sobre a média de três desvios padrão [Figura 18].



**Figura 18:** Percentagem da distribuição normal  
Fonte: [12]

É comum fixar os limites de controlo considerando três vezes o desvio-padrão da população. Desta forma é possível detetar uma alteração ao controlo do processo. A escolha dos limites de controlo a três vezes o desvio-padrão é consequência de uma análise económica tendo em conta dois tipos de erro. O primeiro, chamado erro do tipo I, ocorre sempre que é diagnosticada a presença de uma causa especial de variação estando apenas presentes, supostamente, causas comuns (probabilidade de 0,27% de ocorrer). O segundo, chamado erro do tipo II, está associado a situações em que se estima que a dispersão do processo é devida apenas a causas comuns de variação estando, no entanto, também presentes causas especiais.

A carta de controlo é uma ferramenta que possibilita avaliar a estabilidade da distribuição da característica estudada ao longo do tempo, face à alteração da distribuição no mesmo período [Figura 19]. [12]



**Figura 19:** Processo instável  
Fonte: [12]

### 2.4.1 Tipos de Cartas

Shewhart diferencia as cartas de controlo em dois tipos: cartas de controlo de Variáveis e cartas de controlo de Atributos [Figura 20]. As cartas de controlo de variáveis utilizam-se quando as características em estudo podem ser expressas numa escala contínua de medição. As cartas de controlo de atributos são aplicadas quando a característica assume apenas valores discretos (como o número de unidades não-conformes ou o número de defeitos) [13]. Estas não são tão sensíveis à variação como as cartas de variáveis, no entanto, quando lidam com atributos e usadas de um modo apropriado (complementadas, por exemplo, com uma análise de Pareto) podem tornar-se em eficazes ferramentas de melhoria [7].

Uma variável contínua contém mais informação do que uma variável discreta, logo, sempre que for economicamente viável, é favorável utilizar cartas de controlo de variáveis [13].



**Figura 20:** Tipos de cartas de controlo

Fonte: [15]

O fluxograma que se segue [Figura 21] auxilia na seleção da carta de controlo mais adequada a cada tipo de situação.

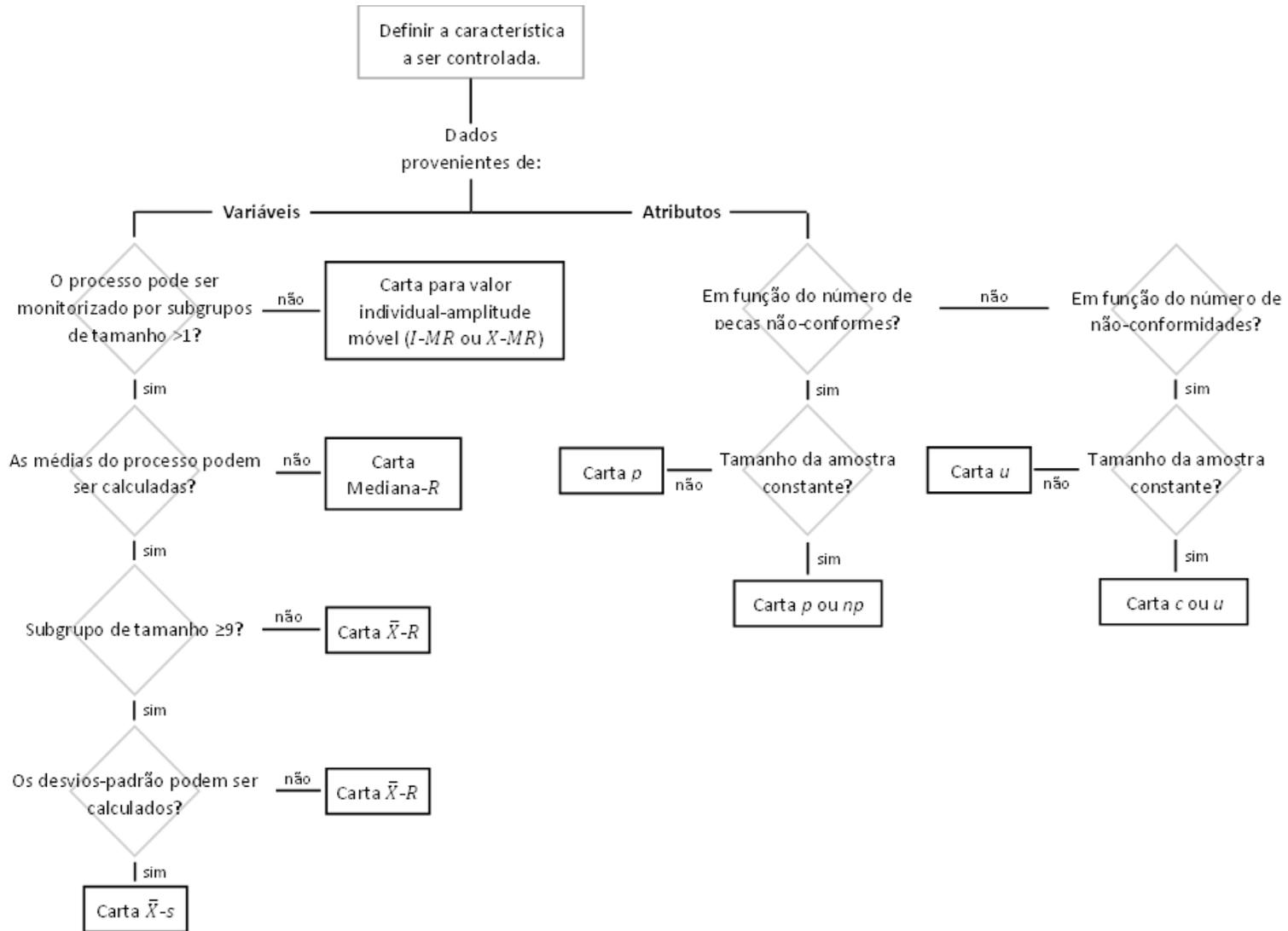


Figura 21: Procedimento de seleção para o uso de cartas de controle

### 2.4.1.1 Cartas de Controlo para Variáveis

Muitas características de qualidade podem ser expressas em termos de medição numérica, e.g., o diâmetro de um rolamento, que pode ser medido com um micrómetro e expresso em milímetros. Uma única característica de qualidade mensurável, como dimensão, massa ou volume, é chamada de variável. [19]

As cartas de controlo para variáveis, têm como objetivo acompanhar diretamente os valores das características suscetíveis de serem expressas numa escala quantitativa contínua (aproximadamente normal). Neste caso, dada a dispersão da população não depender unicamente da medida de tendência central, devem ser construídas cartas de controlo para controlar o parâmetro de localização (centralidade) e para controlar o parâmetro de dispersão da população. [20]

As cartas de controlo para variáveis são usadas extensivamente, sendo as mais recorrentes:

- Carta Média-Amplitude ( $\bar{X}$ - $R$ );
- Carta Média-Desvio ( $\bar{X}$ - $s$ ).

As finalidades de uma carta de controlo podem diferir em função do nível de desenvolvimento dos processos e dos métodos de controlo, bem como da capacidade dos operadores em conduzir os processos, contudo, os seguintes aspetos podem ser estabelecidos como os principais objetivos:

- Melhorar a análise do processo;
- Obter dados fiáveis da evolução do processo;
- Tomar decisões (aceitar ou rejeitar produtos fabricados ou adquiridos).

Como referido anteriormente, a variável escolhida para estabelecer uma carta de controlo para variáveis deve ser mesurável e expressa por valores numéricos, sendo a distribuição da variável na população aproximadamente normal. Caso a distribuição seja assimétrica, a carta tem tendência a ser mais sensível, isto é, a reagir mais cedo, logo, há um risco de aumento do erro do tipo II. [12]

Como as cartas de controlo detetam mudanças ao longo do tempo, a ordem dos dados é relevante, como tal, os dados devem ser inseridos por ordem cronológica para uma melhor análise dos resultados. Estes devem também ser recolhidos em intervalos de tempo com espaçamento igual, e.g. a cada 15 minutos, a cada turno, todos os dias; selecionar um intervalo de tempo curto o suficiente para que assim que ocorram mudanças no processo estas sejam identificadas, revela-se uma mais-valia e permite que sejam feitas as alterações necessárias de forma a produzir de acordo com o especificado/corriger as irregularidades do processo.

As medições feitas durante a recolha das amostras, num determinado momento, constituem um subgrupo. Normalmente, uma série inicial de subgrupos é usada para estimar a média e o desvio padrão de um processo, sendo estes posteriormente utilizados para estabelecer os limites de controlo e o intervalo de cada subgrupo. Durante esta fase inicial, o processo deve estar sob controlo, se os pontos estiverem fora dos limites de controlo, a causa atribuível deve ser determinada e o subgrupo deve ser removido da estimativa.

De salientar também que os subgrupos devem ser lógicos, isto é, devem agrupar uma pequena amostra de itens semelhantes, que são produzidos em um curto período sob as mesmas condições (como o operador, o equipamento, ou fornecedor) e que são representativos do *output* de um processo. Caso contrário, os limites de controlo estimados podem ser demasiado amplos.

A não utilização do número recomendado de observações, não implica a não utilização da carta de controlo, contudo, os resultados são preliminares uma vez que os limites de controlo podem não ser precisos. Se os dados consecutivos dentro de cada subgrupo estiverem correlacionados, os limites serão estreitos, podendo a carta de controlo apresentar incorretamente alguns pontos (dentro ou fora de controlo). [21]

#### 2.4.1.1.1 Carta Média-Amplitude ( $\bar{X}$ -R)

Trata-se de uma representação gráfica onde são registadas as médias amostrais e a variabilidade do processo, sendo esta última avaliada através da amplitude. Apresenta facilidade na elaboração e interpretação dos cálculos, porém indica com menor rigor a variabilidade do processo. Este tipo de gráficos aplica-se aos casos em que o tamanho da amostra de cada subgrupo está compreendida entre 2 a 6 unidades. [22]

Os gráficos de controlo  $\bar{X}$ -R são amplamente utilizados devido à sua simplicidade em monitorizar um processo cuja característica da qualidade em estudo é expressa numa escala continua de medida [23].

O gráfico de controlo da média (gráfico  $\bar{X}$ ) é utilizado para controlar o valor médio amostral de uma determinada variável de interesse, enquanto que o gráfico de controlo da amplitude (gráfico R) é utilizado para controlar a variabilidade do processo em questão. Devido à sua simplicidade de construção, o gráfico R é frequentemente utilizado, porém, em certos casos, não é o mais indicado para descrever a variabilidade do processo em análise. [24]

Como na prática desconhecem-se os valores da média ( $\mu$ ) e do desvio-padrão ( $\sigma$ ) do processo, estes devem ser inferidos a partir de amostras preliminares. Esta estimativa deve ser baseada em pelo menos 20 a 25 conjuntos/subgrupos de amostras, contendo cada um deles entre 2 a 6 exemplares.

Para a elaboração das cartas de controlo, é então necessário realizar um conjunto de cálculos de modo a determinar os limites de controlo e os demais valores relevantes à análise do processo.

Numa primeira fase, é calculada a média [equação (5)] e a amplitude [equação (6)] de cada subgrupo, valores sem os quais não é possível determinar os limites de controlo.

#### Média do subgrupo:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (5)$$

Em que,

$n$  – número de amostras no subgrupo

**Amplitude do subgrupo:**

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (6)$$

(dentro de cada subgrupo)

Uma vez obtidos os valores de  $\bar{X}$  e de  $R$ , prossegue-se com o cálculo da média das médias [equação (7)] e da média das amplitudes [equação (8)]. O resultado destes cálculos representará os limites centrais para cada uma das cartas de controlo, sendo  $\bar{\bar{X}}$  o valor do limite central para a carta das médias e  $\bar{\bar{R}}$  o valor do limite central para a carta das amplitudes.

**Média das médias:**

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k} \quad (7)$$

**Média das amplitudes:**

$$\bar{\bar{R}} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} \quad (8)$$

Em que,

 $k$  – número de subgrupos

Por último, para definir os limites de controlo (superior e inferior), é necessário estimar o desvio-padrão do processo ( $\hat{\sigma}$ ). Na elaboração dos gráficos de controlo média-amplitude, a estimativa de  $\sigma$  é baseada no método da amplitude das amostras. Este método baseia-se na constatação empírica da existência de uma relação direta entre a amplitude de uma amostra (proveniente de uma distribuição normal) e o desvio-padrão. Esta relação é demonstrada através da equação (9), que representa a formulação para o cálculo da amplitude relativa.

$$W = \frac{R}{\sigma} \quad (9)$$

Assumindo que a média e o desvio-padrão de  $W$  são denotados, respetivamente por:

$$E(W) = d_2 \quad (10)$$

$$DP(W) = d_3 \quad (11)$$

[em que  $d_2$  e  $d_3$  são valores tabelados para diferentes tamanhos amostrais (Coeficientes de Shewhart)]

E uma vez que a distribuição da amplitude relativa, assim como os coeficientes  $d_2$  e  $d_3$ , é fixada em função de  $R$ , ou seja:

$$\begin{aligned} E(W) &= \frac{E(R)}{\sigma} \\ &\approx d_2 = \frac{\bar{R}}{\sigma} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} DP(W) &= \frac{DP(R)}{\sigma} \\ &\approx d_3 = \frac{\hat{\sigma}_R}{\sigma} \end{aligned} \quad (13)$$

O valor estimado de  $\sigma$  pode ser definido por:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (14)$$

Como o desvio-padrão médio para um grupo de amostras representativo de uma população é determinado através da equação (15):

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \quad (15)$$

Substituindo o  $\hat{\sigma}$  pela equação (14), obtém-se o valor estimado do desvio-padrão para a carta das médias ( $\hat{\sigma}_{\bar{x}}$ ):

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \frac{\bar{R}}{\sqrt{n} * d_2} \quad (16)$$

De forma semelhante, para estimar o valor do desvio-padrão para a carta das amplitudes ( $\hat{\sigma}_R$ ), substitui-se a estimativa do desvio-padrão do processo ( $\hat{\sigma}$ ) [equação (14)] pelo desvio-padrão da distribuição da amplitude relativa ( $\sigma$ ) [equação (13)], obtendo-se a seguinte equação:

$$\hat{\sigma}_R = \frac{d_3 * \bar{R}}{d_2} \quad (17)$$

Posto isto, os limites de controlo para ambas as cartas resumem-se em:

- Para o gráfico das médias ( $\bar{X}$ ):

- Limite central:

$$LC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \quad (18)$$

- Limite superior de controlo:

$$\begin{aligned} LSC_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} + 3 * \hat{\sigma}_{\bar{X}} \\ &= \bar{\bar{X}} + \frac{3 * \bar{R}}{\sqrt{n} * d_2} \\ &= \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R} \end{aligned} \quad (19)$$

- Limite inferior de controlo:

$$\begin{aligned} LIC_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} - 3 * \hat{\sigma}_{\bar{X}} \\ &= \bar{\bar{X}} - \frac{3 * \bar{R}}{\sqrt{n} * d_2} \\ &= \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R} \end{aligned} \quad (20)$$

Dado que,

$$A_2 = \frac{3}{\sqrt{n} * d_2}$$

- Para o gráfico das amplitudes ( $R$ ):

- Limite central:

$$LC_R = \bar{R} \quad (21)$$

- Limite superior de controlo:

$$\begin{aligned}
 LSC_R &= \bar{R} + 3 * \hat{\sigma}_R \\
 &\simeq d_2 * \hat{\sigma} + 3 * d_3 * \hat{\sigma} \\
 &\simeq \hat{\sigma}(d_2 + 3 * d_3) \\
 &\simeq D_2 * \hat{\sigma} \\
 &\simeq D_2 * \frac{\bar{R}}{d_2} \\
 &\simeq D_4 * \bar{R}
 \end{aligned} \tag{22}$$

- Limite inferior de controlo:

$$\begin{aligned}
 LIC_R &= \bar{R} - 3 * \hat{\sigma}_R \\
 &\simeq d_2 * \hat{\sigma} - 3 * d_3 * \hat{\sigma} \\
 &\simeq \hat{\sigma}(d_2 - 3 * d_3) \\
 &\simeq D_1 * \hat{\sigma} \\
 &\simeq D_1 * \frac{\bar{R}}{d_2} \\
 &\simeq D_3 * \bar{R}
 \end{aligned} \tag{23}$$

De formar a simplificar os cálculos dos limites de controlo,  $\bar{R}$  e  $\hat{\sigma}_R$  são substituídos pelas equações (12) e (13), respetivamente, sendo as equações correspondes:

$$\bar{R} = d_2 * \hat{\sigma}$$

$$\hat{\sigma}_R = d_3 * \hat{\sigma}$$

De salientar que,

$$D_1 = d_2 - 3 * d_3$$

$$D_2 = d_2 + 3 * d_3$$

$$D_3 = \frac{D_1}{d_2}$$

$$D_4 = \frac{D_2}{d_2}$$

[Os coeficientes necessários para cálculo dos parâmetros acima apresentados, encontram-se expressos no Anexo A.]

#### 2.4.1.1.2 Carta Média-Desvio ( $\bar{X}$ -s)

A carta média-desvio ( $\bar{X}$ -s) é muito semelhante à carta  $\bar{X}$ -R, sendo a principal diferença a utilização do desvio-padrão na verificação da dispersão dos dados do subgrupo. Para a carta  $\bar{X}$ -s a dispersão é calculada a partir do desvio-padrão médio, enquanto que para a carta  $\bar{X}$ -R esse cálculo é feito através da amplitude média. A vantagem de utilizar o desvio-padrão ao invés da amplitude, traduz-se na representação gráfica mais assertiva da dispersão dos dados.

As cartas  $\bar{X}$ -s são utilizadas para monitorizar a média e a variação de um processo de dados contínuos e com subgrupos de tamanho  $\geq 9$ , dado que o desvio-padrão oferece uma melhor estimativa da variação em subgrupos de grandes dimensões. [19]

Assim como nas cartas média-amplitude, a determinação dos limites de controlo para as cartas  $\bar{X}$ -s inicia-se com os cálculos da média [equação (24)] e, para este tipo de cartas – ao invés da amplitude –, do desvio-padrão [equação (25)] de cada subgrupo.

##### Média do subgrupo:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (24)$$

$n$  – número de amostras no subgrupo

##### Desvio-padrão do subgrupo:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_{i,k} - \bar{X}_k)^2}{n - 1}} \quad (25)$$

(variação dentro do subgrupo)

De seguida, são efetuados os cálculos da média das médias [equação (26)] e da média dos desvios [equação (27)], resultados representativos dos limites centrais de controlo para as cartas  $\bar{X}$  e para as cartas s, respetivamente.

##### Média das médias:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k} \quad (26)$$

$k$  – número de subgrupos, utilizado para determinar a média das médias e a média dos desvios-padrão

##### Média dos desvios-padrão:

$$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_k}{k} \quad (27)$$

Uma vez mais, para definir os limites de controlo superior e inferior, é necessário estimar o desvio-padrão do processo ( $\hat{\sigma}$ ).

Contrariamente à média e à variância amostral – estimadores não-enviesados da média e da variância populacional –, o desvio-padrão amostral ( $s$ ) não é um estimador não-enviesado do desvio-padrão populacional ( $\sigma$ ). Assim sendo, e assumindo a normalidade dos dados, este deve ser deduzido através da seguinte expressão:

$$E(s) = \sqrt{\frac{2}{n-1}} * \frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)} * \sigma \quad (28)$$

$$\approx C_4 * \sigma$$

$$C_4 = \sqrt{\frac{2}{n-1}} * \frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)}$$

Posto isto, o estimador não-enviesado de  $\sigma$  é então dado pela equação (29):

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{c_4} \quad (29)$$

Isto permite que o desvio-padrão da carta das médias seja determinado ao substituir a variável  $\hat{\sigma}$  da equação (15), que representa a fórmula do desvio-padrão médio para um grupo de amostras representativo de uma população, pela equação (29), obtendo-se assim:

**Estimativa do desvio-padrão de  $\bar{X}$ :**

$$\hat{\sigma}_{\bar{X}} = \frac{\bar{s}}{c_4 * \sqrt{n}} \quad (30)$$

O gráfico de controlo  $s$  requer, de igual modo, o cálculo do desvio-padrão desse estimador que, sob normalidade da característica da qualidade monitorizada, é dado por:

$$DP(s) = \sigma * \sqrt{1 - \frac{E^2(s)}{\sigma^2}}$$

$$\approx \hat{\sigma} * \sqrt{1 - C_4^2} \quad (31)$$

$$\approx \hat{\sigma} * C_5$$

$$\hat{\sigma}_s \approx \frac{\bar{s}}{c_4} * C_5$$

$$C_5 = \sqrt{1 - C_4^2}$$

Tendo como objetivo a simplificação da expressão para os cálculos dos limites de controlo (superior e inferior), a variável  $\hat{\sigma}$  da equação acima apresentada é substituída pela equação (29).

Resumindo, os limites de controlo para cada tipo de carta são definidos como:

- Para o gráfico das médias ( $\bar{X}$ ):

- Limite central:

$$LC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \quad (32)$$

- Limite superior de controlo:

$$\begin{aligned} LSC_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} + 3 * \hat{\sigma}_{\bar{X}} \\ &= \bar{\bar{X}} + \frac{3 * \bar{s}}{\sqrt{n} * c_4} \\ &= \bar{\bar{X}} + A_3 * \bar{s} \end{aligned} \quad (33)$$

- Limite inferior de controlo:

$$\begin{aligned} LIC_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} - 3 * \hat{\sigma}_{\bar{X}} \\ &= \bar{\bar{X}} - \frac{3 * \bar{s}}{\sqrt{n} * c_4} \\ &= \bar{\bar{X}} - A_3 * \bar{s} \end{aligned} \quad (34)$$

Dado que,

$$A_3 = \frac{3}{\sqrt{n} * C_4}$$

- Para o gráfico dos desvios-padrão ( $s$ ):

- Limite central:

$$LC_s = \bar{s} \quad (35)$$

- Limite superior de controlo:

$$\begin{aligned}
 LSC_s &= \bar{s} + 3 * \hat{\sigma}_s \\
 &\asymp \bar{s} + 3 * \bar{s} * \frac{c_5}{c_4} \\
 &\asymp \bar{s} * \left(1 + 3 * \frac{c_5}{c_4}\right) \\
 &\asymp B_4 * \bar{s}
 \end{aligned}
 \tag{36}$$

- Limite inferior de controlo:

$$\begin{aligned}
 LIC_s &= \bar{s} - 3 * \hat{\sigma}_s \\
 &\asymp \bar{s} - 3 * \bar{s} * \frac{c_5}{c_4} \\
 &\asymp \bar{s} * \left(1 - 3 * \frac{c_5}{c_4}\right) \\
 &\asymp B_3 * \bar{s}
 \end{aligned}
 \tag{37}$$

De salientar que,

$$\begin{aligned}
 B_3 &= 1 - 3 * \frac{c_5}{c_4} \\
 B_4 &= 1 + 3 * \frac{c_5}{c_4}
 \end{aligned}$$

[Os coeficientes necessários para cálculo dos parâmetros acima apresentados, encontram-se expressos no Anexo A.]

#### 2.4.1.2 Cartas de Controlo para Atributos

Por sua vez, as cartas de controlo para atributos são utilizadas quando não é possível exprimir as características de uma forma quantitativa e numa escala contínua. Nesses casos, é comum inspecionar as unidades de acordo com determinados critérios e classificá-las como *conforme* ou *não-conforme*, ou então proceder-se à contagem do número de defeitos. Geralmente consideram-se como unidades *não-conformes* aquelas que têm a sua funcionalidade afetada, enquanto que os defeitos detetados numa ou mais unidades do produto podem não afetar as características funcionais.

É evidente que devem ser definidas, caso a caso, as características que permitem classificar uma unidade como *não-conforme*, bem como especificar o que se considera um defeito. Dessa forma, cada organização deve definir o que entende por unidade *conforme* ou *não-conforme*, bem como proceder a uma caracterização e listagem de defeitos. [20]

Dentro das cartas de controlo para atributos podemos considerar:

- Cartas para número de itens não-conformes:
  - Carta  $p$  – controlar a proporção de unidades não-conformes;
  - Carta  $np$  – controlar o número de unidades não-conformes;
- Cartas para número de não-conformidades (defeitos):
  - Carta  $c$  – controlar número de não-conformidades;
  - Carta  $u$  – controlar número de não-conformidades por unidade. [15]

As cartas de controlo para atributos, de modo geral, não fornecem tantas informações como as cartas de controlo para variáveis, uma vez que o conjunto de informações que podem ser obtidas na análise de variáveis é maior do que a simples classificação de *conforme* ou *não-conforme* [19].

## 2.4.2 Condições Necessárias para a Aplicação das Cartas de Controlo

Para uma correta análise das cartas de controlo é necessário a verificação de vários pressupostos relativamente aos dados. As conclusões provenientes do estudo das cartas de controlo são fiáveis se os dados da característica a ser analisada forem aleatórios, independentes e seguirem uma distribuição normal de média  $\mu$  e variância  $\sigma^2$  [14]. A não verificação destas condições poderá resultar numa má análise e consequentemente numa má utilização desta ferramenta [3].

### 2.4.2.1 Aleatoriedade

A aleatoriedade dos dados presume que estes não seguem um determinado padrão, apresentando por isso, um comportamento não sistemático (aleatório). Podem existir diversas origens para que os dados não verifiquem aleatoriedade, tais como, a mistura de populações diferentes e a correlação entre observações consecutivas ou desfasadas no tempo. [14]

### 2.4.2.2 Independência

Os dados são independentes quando não existe autocorrelação significativa entre os mesmos, ou seja, o valor que a variável toma em determinado instante  $t$  não depende nem do seu valor no instante anterior ( $t - 1$ ) nem do seu valor em qualquer instante desfasado de  $n$  instantes ( $t - n$ ). [13] [3] [14]

### 2.4.2.3 Normalidade

As cartas de Shewhart apoiam-se na premissa de que a característica em estudo segue uma distribuição normal. Não é recomendável assumir esta característica sem a sua verificação, uma vez que esta pode colocar em causa todas as posteriores conclusões. Se os dados que se pretendem colocar sob controlo não seguirem uma distribuição normal, com a aplicação das cartas, podem surgir falsos alarmes ou por outro lado, não serem detetadas causas especiais de variação, podendo este problema estender-se ao estudo da capacidade do processo, resultando assim em conclusões erradas. [3]

A normalidade dos dados pode ser analisada tanto graficamente como analiticamente.

A construção de um histograma pode-se revelar adequada para verificar graficamente se a distribuição dos dados amostrais se assemelha a uma distribuição normal. Neste gráfico, os dados são agrupados em classes que contêm um determinado intervalo de valores, sendo cada barra representativa de uma classe. No final da sua elaboração, é possível verificar a forma de tal distribuição e as potenciais semelhanças a uma distribuição normal.

Analiticamente poderá recorrer-se, por exemplo, ao Teste de Kolmogorov-Smirnov ou ao Teste do Qui-Quadrado. Dado um certo nível de significância  $\alpha$ , é inferido estatisticamente se os dados recolhidos podem ser descritos através de uma distribuição normal. Em caso afirmativo, conclui-se que não existe evidência estatística que permita rejeitar a hipótese de a distribuição da população, de onde provêm tais dados, se assemelhar a uma distribuição normal de média  $\mu$  e variância  $\sigma^2$  [13]. Em caso negativo, existem alguns procedimentos passíveis de ser abordados, tais como:

- Caracterizar, através dos dados disponíveis, a distribuição da característica da qualidade em estudo, determinando os limites de controlo com base nos percentis de 0,135% e de 99,865%;
- Transformar os dados disponíveis, de modo a obter-se uma variável normalmente distribuída;
- Utilizar o método da variância ponderada para distribuições assimétricas. [13] [14]

### 2.4.3 Sinais de Alarme (Deteção de Padrões Não-Aleatórios no Processo)

Nas cartas de controlo é possível observar causas comuns e causas especiais de variação. Um processo encontra-se sob controlo estatístico se nele só residirem causas comuns de variação, ou seja, colocar um processo sob controlo implica que as causas especiais sejam eliminadas.

Uma causa especial de variação é representada por qualquer ponto acima ou abaixo dos limites de controlo [3]. A identificação de um ponto fora dos limites de controlo evidencia a ocorrência de uma causa especial de variação, pois tal reflete um comportamento não-aleatório do processo [13]. Para além deste, existem outros padrões não-aleatórios que merecem atenção e sempre que estes se evidenciem nas cartas de controlo, estaremos na presença de causas especiais de variação [3]. O fato de, nestes padrões, nenhum ponto se localizar fora dos limites de controlo, isto não significa que o processo se encontre estável.

Algumas potenciais razões para que um ponto não se enquadre dentro dos limites de controlo num determinado momento são:

- Os limites de controlo não foram calculados corretamente;
- A variabilidade entre/dentro de cada subgrupo aumentou, de forma significativa;
- O sistema ou instrumento de medição foi alterado;
- A discriminação do sistema ou instrumento de medição não é adequada. [13]

Com o passar dos anos, foram desenvolvidas algumas regras que permitem reconhecer padrões sistemáticos, sendo, atualmente, a norma ISO 7870-2:2013 responsável por tais regras de deteção de causas especiais. Para a aplicação das 8 regras apresentadas por esta norma, é necessário recorrer-se aos limites superiores e

inferiores de controlo, assumindo-se que o intervalo entre estes se encontra dividido em 6 zonas (A, B e C e respetivas simetrias em relação à linha central). Cada “zona” equivale a um valor unitário de  $\sigma$ . [13] [3]

As oito regras encontram-se descritas de seguida e são ilustradas na Figura 22:

- Regra 1: um ponto além da zona A (fora dos limites de controlo);
- Regra 2: nove pontos consecutivos na zona C ou além da zona C, do mesmo lado da linha central;
- Regra 3: seis pontos consecutivos no sentido ascendente ou descendente;
- Regra 4: catorze pontos consecutivos, para cima e para baixo da linha central alternadamente;
- Regra 5: dois de três pontos consecutivos na zona A ou além da zona A, do mesmo lado da linha central;
- Regra 6: quatro de cinco pontos consecutivos na zona B ou além da zona B, do mesmo lado da linha central;
- Regra 7: quinze pontos consecutivos na zona C, acima e abaixo da linha central;
- Regra 8: oito pontos consecutivos em ambos os lados da linha central, sem nenhum na zona C. [25]  
[15] [13] [3] [11]

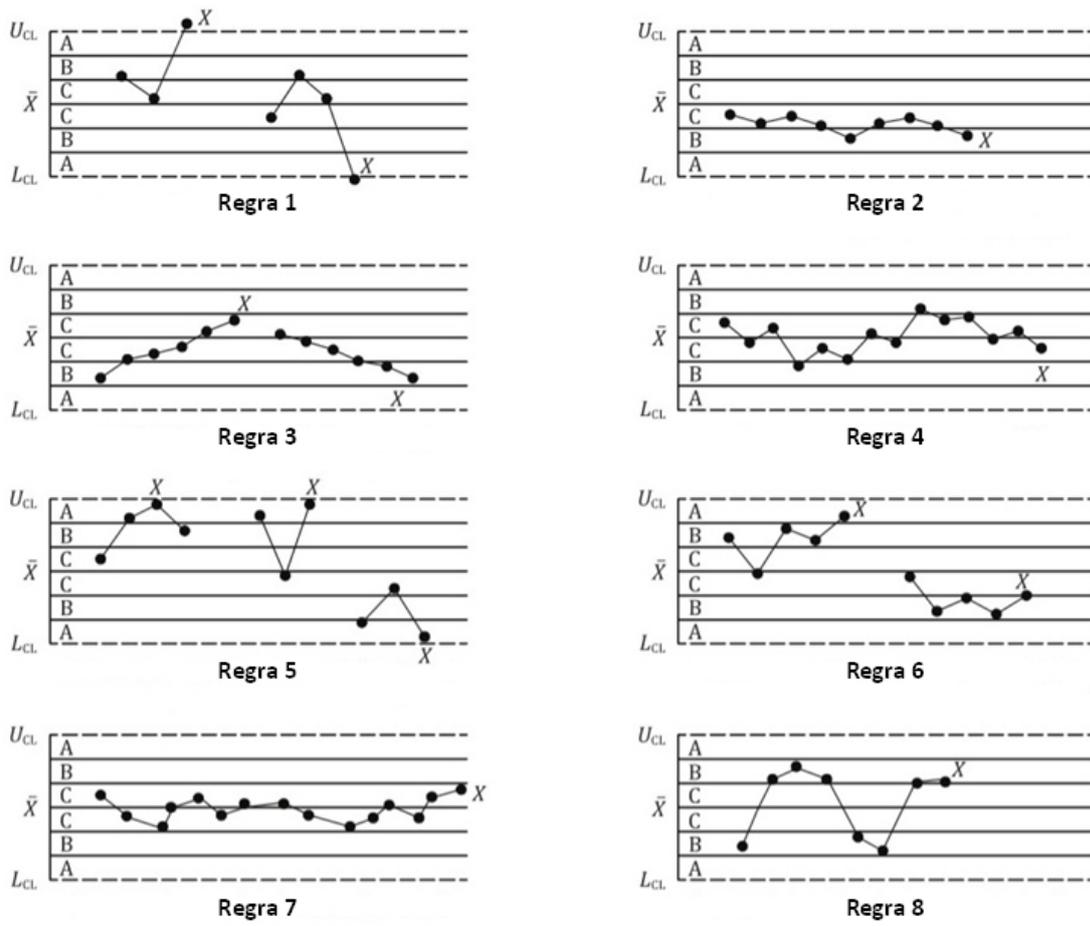


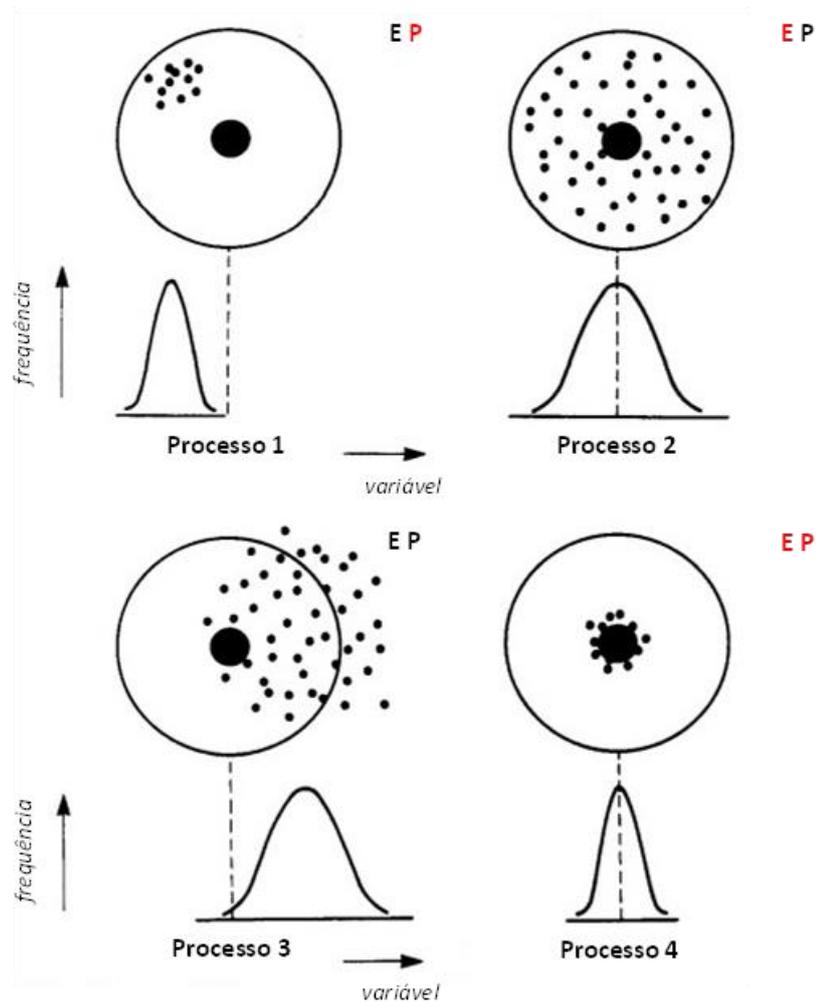
Figura 22: Padrões não-aleatórios do processo  
Fonte: [25]

#### 2.4.4 Exatidão vs. Precisão

Durante a análise aos dados recolhidos de um determinado processo, podem surgir incertezas quanto à exatidão e precisão dos mesmos. Para verificar estes fatores é necessário analisar um conjunto de dados e não um só resultado individual.

A figura que se segue pretende clarificar, de forma simples e prática, a distinção entre precisão e exatidão. Através da Figura 23, também é possível aferir qual o formato ideal de um processo tendo em conta estes dois requisitos.

Processo centrado no alvo – Exatidão: **E**  
 Processo apresenta uma baixa dispersão – Precisão: **P**



**Figura 23:** Exatidão e Precisão  
 Fonte: [10]

Posto isto, tendo por base a Figura 23 é possível aferir que o *Processo 4* é o mais exato e preciso, uma vez que a média dos valores se encontra dentro dos limites do intervalo do valor nominal e a dispersão dos dados ocorre em torno desse valor.

De salientar que, antes de analisar um conjunto de dados vale a pena ressaltar os seguintes pontos:

- A exatidão de um processo é a capacidade de este atingir o valor-alvo ou valor nominal;
- A precisão de um processo está relacionada ao grau de dispersão dos dados recolhidos;
- A tomada de decisões sobre os ajustes a serem feitos num processo, com base no resultado de uma medição, pode originar um resultado indesejável devido à falta de informação sobre a precisão e a exatidão do processo;

- O ajuste necessário para a correção da falta de exatidão do processo é suscetível de ser "mais simples" do que a extensa investigação, geralmente necessária, para compreender ou corrigir problemas de uma ampla dispersão ou variação. [10] [7]

## Capítulo 3

### Catraport Lda.

#### 3.1 Descrição da Empresa

A Catraport Lda., é uma empresa fundada em Bragança, Portugal (Zona Industrial de Mós, Lote n.º 1, 5300-692 Mós, Bragança), a 21 de julho 2015, com o intuito de iniciar a atividade de produção de componentes e acessórios para o sector automóvel, através de processos de estampagem industrial.

Um dos principais acionistas, a Catra S.p.A. foi fundada em 1979 e está localizada no norte de Itália, tendo como principal atividade a estampagem em chapa de metal, a estampagem plástica, produção de ferramentas e moldes, soldadura, montagem e pintura de componentes, 70% para o sector automóvel e 30% para os restantes sectores que utilizam este tipo de *inputs*, operando sob a filosofia de gestão “*Just in Time*”, com uma política de qualidade estrita e com certificações de qualidade, de gestão e ambientais. Possui clientes provenientes de quatro continentes do globo, na China, na África do Sul, no Brasil e no México, além de vários países da União Europeia.

Durante o ano de 2016 foi estabelecida formalmente a P&C Automotive com o objetivo de agregar todas as empresas do grupo que se dedicam à estampagem metálica a frio (*cold forming*). A criação da P&C veio colmatar a necessidade de levar a estrutura negocial do grupo para o espectro internacional, principalmente nas áreas de desenvolvimento do produto, implementação de técnicas de melhoria contínua ao nível do processo industrial e ao nível do contacto com clientes.

A Catraport Lda. nasceu da necessidade de dar resposta às crescentes exigências de dois dos maiores clientes do grupo P&C Automotive presentes na Península Ibérica, a Faurecia e a Purem by Eberspächer. Além disso, a Catraport é a unidade de produção mais próxima do emergente mercado marroquino e das indústrias de clientes não europeus.

A empresa iniciou a sua atividade no ano de 2017 sendo a sua gama limitada de maquinaria equilibrada por modernos sistemas de produção automática que permitem e garantem a produção de volumes significativos de peças. A partilha da sua filosofia e do seu *know-how*, permite que o grupo tenha um crescimento sustentável e seja um fornecedor líder credenciado pelos principais clientes do mercado.

A Catraport ambiciona ser uma empresa de referência de um grupo que atua a nível mundial – utilizando os mais modernos equipamentos, tecnologias e procedimentos que, aliados a uma excelente localização, lhe permitem produzir componentes *state-of-the-art* (protótipos), capazes de satisfazer as necessidades do grupo, mas, acima de tudo, dar a autonomia que a empresa necessita para crescer (com lucros) e se diferenciar da concorrência.

A Catraport dedica-se à produção de componentes metálicos através de moldagem a frio. Atualmente a sua produção encontra-se centrada na estampagem de peças metálicas para sistemas de exaustão na indústria automóvel, da qual provém a maior parte das encomendas, no entanto, a empresa encontra-se preparada

para produzir todo o tipo de peças metálicas para os mais diversos tipos de indústrias, sendo apenas necessário realizar alguns ajustes. [26] [27]

### 3.1.1 Sistema de Gestão da Qualidade Implementado

Nos últimos anos, o ambiente de negócios em que o grupo P&C Automotive está inserido tem demonstrado a necessidade das empresas em renovarem os seus processos produtivos, onde a qualidade não pode ser dissociada do apreço ao meio ambiente e à segurança dos seus colaboradores. A P&C Automotive decidiu então desenvolver e implementar uma política corporativa, identificando assim todos os processos e as respetivas interações entre os diferentes organismos pertencentes ao grupo.

Através de uma definição clara de tarefas, conhecimentos e responsabilidades, e atendendo às expectativas de todos os *stakeholders*, a P&C Automotive visa assegurar:

- a satisfação dos clientes;
- o cumprimento de todas as leis e regulamentos;
- o envolvimento e crescimento do pessoal a todos os níveis, de forma a permitir que os colaboradores demonstrem todo o seu potencial;
- a obtenção de um sistema de gestão de processos em conformidade com as normas ISO 9001, ISO 14001 e IATF 16949, alinhado com a ISO 45001;
- a medição do desempenho e melhoria contínua da eficácia e eficiência dos seus processos produtivos, prestando especial atenção à otimização de custos;
- a redução de qualquer impacto ambiental negativo, com destaque para o consumo de energia, sucatas e resíduos;
- um ambiente de trabalho seguro.

A otimização sistemática dos processos com recurso ao planeamento e à plena utilização dos recursos técnicos e humanos é o que define a política de qualidade de uma empresa. Na Catraport, a implementação desta política é garantida pela:

- revisão e avaliação do seu próprio ambiente de negócios e das expectativas das partes interessadas (clientes);
- definição de metas de desempenho para cada processo da empresa;
- avaliação do risco e ações resultantes;
- partilha das metas da empresa em todos os níveis da organização;
- monitorização contínua da qualidade dos produtos e serviços por meio de um sistema estruturado de indicadores de desempenho;

- envolvimento de todos os colaboradores na gestão e melhoria dos processos da empresa.

Atendendo as necessidades do grupo e de forma a garantir a conformidade dos processos produtivos com o estabelecido para empresas do setor automóvel, a Catraport rege-se pelas seguintes normas, das quais atesta certificação [Anexo B]:

- IATF 16949:2016 – 1ª e 2ª edição;
- ISO 9001 / UNI EN ISO 9001:2015;
- NP EN ISO 14001:2015;
- Política de ambiente. [28]

### 3.2 Etapas do Processo Produtivo

O processo produtivo da Catraport está, de forma sucinta, desde o planeamento de todo o processo produtivo até ao embalamento do produto final para expedição, dividido em seis etapas.

A primeira etapa do processo consiste no planeamento da produção por parte do Departamento de Logística, tendo em consideração a ordem de receção dos pedidos dos clientes, a disponibilidade dos turnos e o *stock* existente de matéria-prima.

Na segunda etapa, o plano de trabalho é recebido e analisado no Departamento de Produção, no qual poderão ocorrer alterações consideradas necessárias face ao planeamento inicialmente apresentado.

Numa terceira etapa, são preparados todos os recursos necessários e realizam-se as respetivas configurações e alterações das ferramentas produtivas. Esta etapa é concluída com a elaboração de um relatório de manutenção, no qual é descrito todo o processo, incluído um pequeno descritivo das intervenções realizadas.

Depois da configuração e montagem de todo o “*setup*” produtivo, é necessário que haja a aprovação do mesmo. A quarta etapa consiste então em aprovar o sistema produtivo sendo para tal necessário que este produza, ao fim de 10 sucatas, uma peça em conformidade com as necessidades do cliente. A produção em si só inicia a partir do momento em que ocorra tal aprovação.

Caso não se verifique a ocorrência de problemas que necessitem da intervenção da equipa de manutenção, e se as peças produzidas estiverem em conformidade com as especificações impostas, o processo produtivo avança para a etapa seguinte, etapa essa relativa ao processo de lavagem. Nesta etapa (quinta etapa), a peça é submetida a lavagem através de uma mistura de água com uma solução de limpeza, de forma a remover os resíduos e gorduras (óleo lubrificante) acumulados ao longo de todo o processo produtivo.

O ciclo produtivo termina com o embalamento e expedição dos produtos acabados para os respetivos clientes (sexta etapa).

### 3.2.1 Processo de Estampagem a Frio

A estampagem a frio é um processo de conformação que ocorre a uma temperatura inferior à temperatura de recristalização do material. A conformação é realizada graças à ação de um conjunto de matrizes e punções, que moldam progressivamente a peça até à geometria pretendida, sendo a matéria-prima excedentária cortada por cisalhamento. A carga aplicada pelo punção na matriz, não excede a resistência à tração do material, caso contrário ocorreria a fissuração do mesmo. Assim sendo, o metal é levado além do seu limite elástico, mantendo a forma da matriz após esta ser retirada.

Este é um processo muito utilizado na produção de grandes volumes de peças devido à sua capacidade de gerar formas complexas e de tolerâncias reduzidas, a um baixo custo e num curto período.

A Catraport tem ao seu dispor um conjunto de quatro prensas mecânicas; duas com capacidade de 400 toneladas, uma com capacidade de 600 toneladas e uma outra com capacidade de 1000 toneladas. Para além destas, possui ainda uma prensa manual mais pequena (com capacidade de 100 toneladas), de auxílio à produção, utilizada nos casos em que é necessária a ampliação/dilatação do diâmetro dos furos, realizados pelas prensas principais.

A ZANI (prensa de 600 ton) é responsável pelo corte da matéria-prima em formato circular, que posteriormente será utilizada para alimentar todas as prensas. A CATTANEA (1000 ton) pode ser utilizada tanto com matéria-prima proveniente da ZANI, como ela própria desenrola e corta as bobines de aço no formato pretendido. Esta é uma vantagem face à utilização das restantes prensas, dado que não é necessária a constante verificação da existência de insumos (discos de aço) no alimentador do processo de estampagem. Os colaboradores apenas devem garantir que, e.g. no início do turno, as bobines de aço são colocadas nos suportes apropriados para a “matéria-prima em bruto”. Outra vantagem da utilização da CATTANEA, é a redução dos tempos de produção. Como não é essencial recorrer a outras prensas mecânicas, a obtenção do produto final será mais rápida com este tipo de mecanismo.

Em todas as prensas mecânicas, as várias etapas de conformação são sustentadas de forma automática. O transporte do elemento metálico entre matrizes, é realizado através do movimento cíclico e sincronizado de pinças; este movimento, aliado ao trabalho constante de matrizes e punções permite uma rápida e eficaz produção de lotes de peças metálicas.

### 3.2.2 O CEP da Empresa

A Catraport Lda. apresenta um vasto leque de referências, cerca de 60, que resultam num total de 50 peças comercializadas para os diversos clientes. Referências distintas podem ser agregadas numa peça só, daí a diferença entre o número de referências e o número de peças finais.

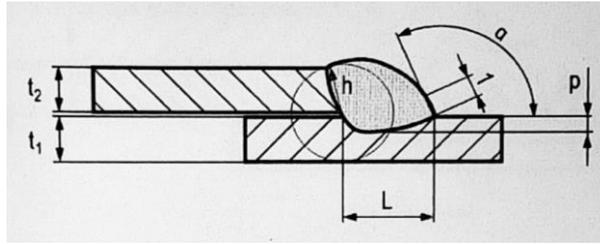
A maioria dos processos produtivos centram-se na estampagem a frio, sendo, unicamente, o processo de montagem realizado através de um outro sistema (soldadura automática). Perante estes processos e para ter um melhor controlo da qualidade nas várias etapas dos mesmos, surge a necessidade de aplicar o controlo estatístico do processo (CEP). Esse controlo é requerido pelas especificações do cliente, também

denominadas características significativas ou características chave, uma vez que os atributos fundamentais das peças não podem estar fora dos limites especificados.

As características das peças produzidas devem então ser controladas, sendo que, em função da sua complexidade, estas irão possuir mais ou menos características significativas, daí a necessidade de se aplicarem as cartas de controlo. Desta forma, com recurso às cartas de controlo, é possível analisar todo um conjunto de dados referentes a uma determinada peça e assim aferir se o processo produtivo da mesma se encontra em conformidade com o especificado.

Na Catraport, todas as peças produzidas por estampagem metálica são sujeitas ao controlo estatístico do processo através das cartas de Shewhart. As cartas de controlo são elaboradas com recurso a *software* dedicado, o *Minitab*, no qual apenas é necessário introduzir os valores unitários das características a serem controladas, definir o valor nominal (valor médio) e os limites de especificação (superior e inferior) dentro dos quais o produto é aceite (está em conformidade com o pretendido pelo cliente) e, por último, seleccionar o tipo de ferramenta da qualidade que se pretende utilizar para a verificação da estabilidade do processo produtivo. Efetuadas todas etapas acima descritas, o *software* fornece informações relativamente à média e à variabilidade do processo, assim como os valores dos índices de capacidade. Em função dos dados apresentados, cabe à empresa decidir se é necessário ou não tomar medidas, de forma a ajustar o processo produtivo para que este produza de acordo com o pretendido.

Quanto ao processo de montagem, este é controlado através de uma análise macrográfica, nas instalações da empresa (no Departamento de Engenharia e Qualidade) ou recorrendo a um organismo externo certificado pela SGS Portugal. Quando realizada internamente, os colaboradores regem-se por documentação própria para o efeito ("*Requirements for ARC Welding Joints\_Ref. FSE-S-PSE\_G057/EN*"), neste caso, documentação fornecida pela Faurecia, um dos principais clientes desta organização. Relativamente à junta formada entre peças e ao tipo de solda aplicada pela empresa, a documentação define, entre outros aspetos, a penetração mínima, o comprimento, a espessura e o ângulo formado entre a solda e a peça [Figura 24]. Dependendo da forma como os materiais são unidos, e.g. topo a topo, em esquadria, sobreposição de peças; as características a controlar serão distintas.



Símbolo	Designação	Valor mínimo exigido
$\alpha$	Ângulo mínimo formado entre solda e peça	90°
h	Espessura mínima de solda	$0,8 \times t_{\text{mín.}} = 0,96$
L	Comprimento mínimo de solda	$t_{\text{mín.}} = 1,2$
p	Profundidade mínima de penetração	0,1 mm

**Figura 24:** Esquema da junta e requisitos mínimos associados  
**Fonte:** Requirements for ARC Welding Joints\_Ref. FSE-S-PSE\_G057/EN

O *template* utilizado pela Catraport para a apresentação dos resultados do ensaio macrográfico encontra-se em anexo, assim como algumas das mediações realizados [Anexo C].

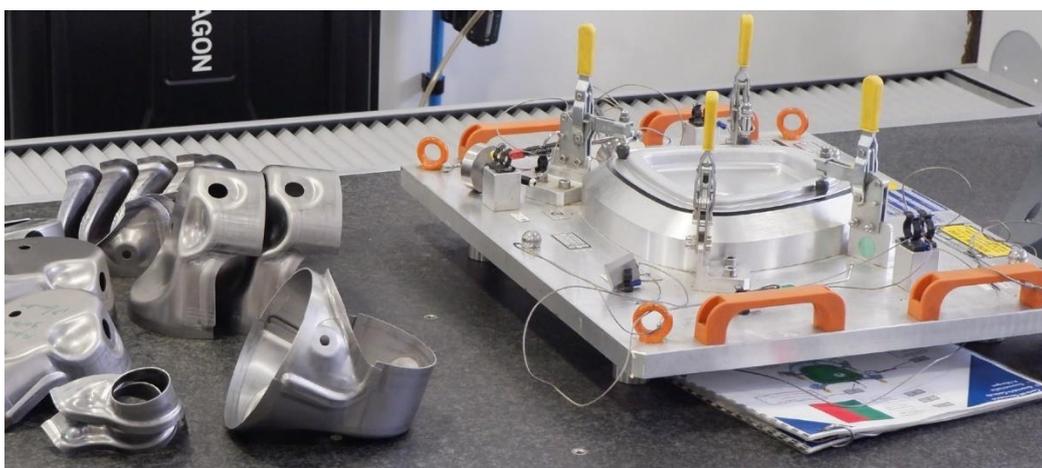
## Capítulo 4

### Análise e Aplicação do Controlo Estatístico do Processo

#### 4.1 Medição e Recolha de Dados

A recolha de peças para a análise qualitativa e para a medição das características significativas, ocorre em momentos específicos de uma etapa produtiva e com as ferramentas de medição/verificação adequadas para o efeito.

Para a análise qualitativa do produto, é recolhida uma peça no início de cada turno (o que contabiliza um total de 3 peças por dia), sendo a análise feita através de inspeção visual e com recurso a galgas/*gabarits* de controlo de geometria [Figura 25], próprias para a peça em questão. Este controlo em galga consiste basicamente na metodologia do “PASSA/NÃO PASSA”, “OK/NOK”, sendo as informações registadas numa folha de controlo de dimensões e atributos, afixada na própria estação de produção. Ferramentas de medição como o micrómetro e o medidor de altura são utilizadas nesta fase de inspeção, de modo a fazer uma primeira triagem e a garantir que o produto tem a espessura e altura mínimas desejadas.



*Figura 25: Gabarits de controlo*

*Fonte: Catraport*

A medição das características significativas é realizada através de uma máquina de medição por coordenadas [CMM<sup>5</sup> - Hexagon Global Classic S (Figura 26)], sendo para cada ordem de produção recolhida uma peça no início e no fim do ciclo produtivo. As características dimensionais a serem controladas são representadas nos desenhos técnicos das peças que acompanham o pedido do cliente. As restantes cotas não são significativas e não requerem controlo constante, no entanto devem ser respeitadas.

---

<sup>5</sup> **CMM** – *Coordinate Measuring Machine*, dispositivo utilizado para medir características físicas e geométricas de um determinado objeto. Versátil instrumento usado na indústria para medições com elevada precisão.

Esta medição é feita através de um “programa” (um conjunto de linhas de código), implementado no próprio *software* da CMM, específico para a referência de cada peça. O operador apenas tem de posicionar o produto final na área útil de medição e inserir manualmente os pontos indicados pelo *software* (de forma a posicionar a máquina/fixar virtualmente os eixos de rotação da peça), a partir daí, toda a medição é feita automaticamente.



*Figura 26: Hexagon Global Classic S*  
*Fonte: Hexagon*

Os dados referentes a esta medição são apresentados em tabelas que acompanham o modelo 3D da peça, com a respetiva sinalização da cota para os valores tabelados. Juntamente com esses dados seguem os valores de referência do intervalo de tolerância, uma forma rápida de analisar a conformidade da peça.

### 4.1.1 Cartas de Controle

Como referido anteriormente, as cartas de controle são representadas no *Minitab*, e como tal, os dados obtidos da mediação por coordenadas têm de ser introduzidos no *software*.

Na Figura 27 está representada toda a *interface* do *Minitab*, assim como um exemplo de *input* necessário para se obterem os gráficos de controle também aqui ilustrados.

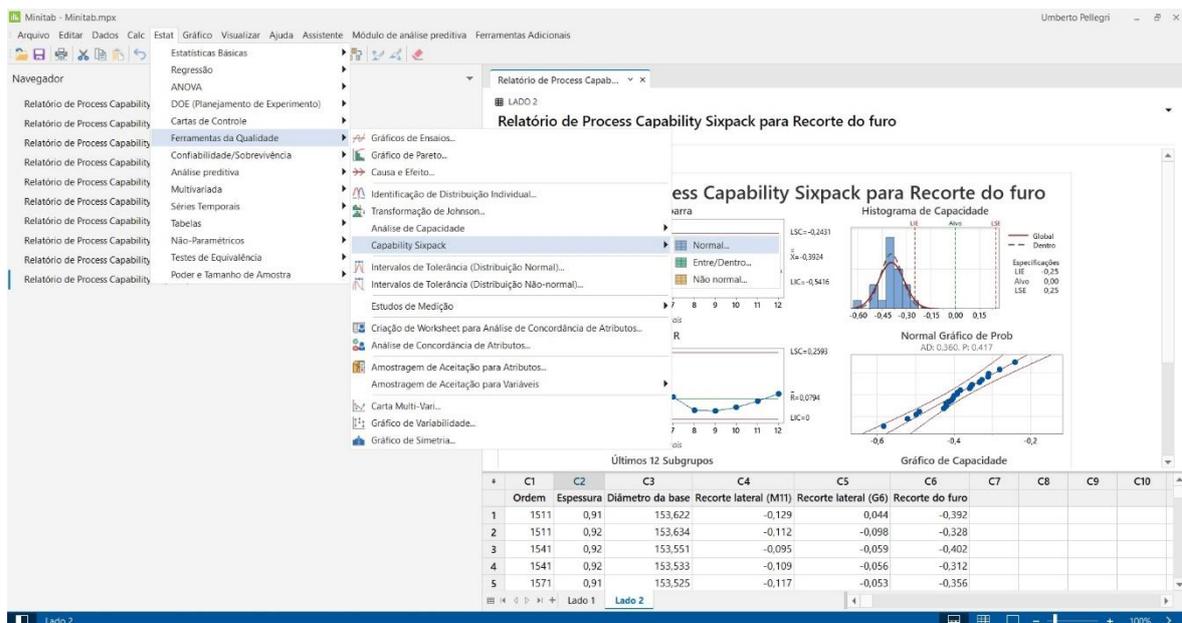


Figura 27: Interface do Minitab

Sendo a frequência de amostragem de duas peças por cada ordem de produção, a Catraport opta por utilizar a carta média-amplitude ( $\bar{X}-R$ ) para controlar as características chave da peça em análise e atestar a capacidade do processo.

Note-se que os dados são organizados em função da ordem de produção, sendo posteriormente agrupados dois a dois de modo que a média entre a primeira e a última peça produzida seja utilizada como valor de entrada para o desenvolvimento dos gráficos de controle, ou seja, a cada nova ordem de produção é marcado um ponto na carta de controle.

Além de traçar os gráficos das médias e das amplitudes, o *Minitab* fornece ainda:

- o histograma da capacidade do processo;
- o gráfico de probabilidade normal (permite verificar se o conjunto de dados recolhidos provém de uma distribuição normal, qualquer não-linearidade encontrada proporcionará evidência de que tal não se verifica);
- os dados referentes à capacidade ( $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $PPM$ );

E, no caso do processo produtivo apresentar um valor fora dos limites de controle:

- uma nota para essa ocorrência, indicando qual o ponto para lá dos limites.

Para uma melhor compreensão, os subcapítulos que se seguem [subcapítulo 4.1.1.1 e 4.1.1.2] terão por base de discussão a peça com a referência 1779061X, denominada “inlet cone” [Figura 28]. Ao longo da dissertação esta mesma peça será designada por “peça T”.



**Figura 28:** Inlet cone  
Fonte: Catraport

#### 4.1.1.1 Resultados Obtidos

Como exemplo de aplicação, serão analisados os resultados obtidos para duas das quatro características significativas da peça T [assinaladas no Anexo D], o “Diâmetro da base” e a “Espessura”.

Os dados referentes a estas características, recolhidos através da medição das amostras, encontram-se assinalados no Anexo E (para o diâmetro da base) - os valores alusivos à espessura da peça são obtidos através da medição com recurso ao micrómetro –, sendo a Figura 29 ilustrativa da transcrição desses mesmos dados para o *Minitab*.

↓	C1	C2	C3	C4	C5
	Ordem	Plano do colar	Diâmetro do colar	Diâmetro da base	Espessura
1	1498	0,387	70,943	154,742	1,48
2	1498	0,404	70,948	154,726	1,48
3	1582	0,368	70,960	154,757	1,48
4	1582	0,564	70,921	154,753	1,51
5	1705	0,670	70,946	154,728	1,54
6	1705	0,687	70,955	154,746	1,52
7	1831	1,033	70,960	154,773	1,50
8	1831	0,910	70,969	154,676	1,54
9	1984	0,650	70,937	154,710	1,49
10	1984	0,769	70,936	154,777	1,49
11	2023	0,755	70,965	154,793	1,50
12	2023	0,762	70,953	154,742	1,50

**Figura 29:** Conjunto de dados inseridos no Minitab

Como já referido, as medições são organizadas em subgrupos de duas amostras ( $n = 2$ ). O controle estatístico do processo para a peça T foi realizado com base na recolha de 12 provas, o que perfaz um total de 6 subgrupos organizados em função da sua ordem de produção.

Para o estudo do comportamento do processo produtivo da peça T, em função do “Diâmetro da base”, foi definido um valor nominal de 154,5 mm, com uma tolerância de  $\pm 0,3$  mm ( $LIE = 154,2$ ;  $LSE = 154,8$ ). Estes valores encontram-se definidos nos desenhos técnicos da peça, no qual também constam as características significativas que devem ser sujeitas a análise [Anexo D].

Após todos o valores acima mencionados serem inseridos, os gráficos traçados pelo *Minitab* são os seguintes:

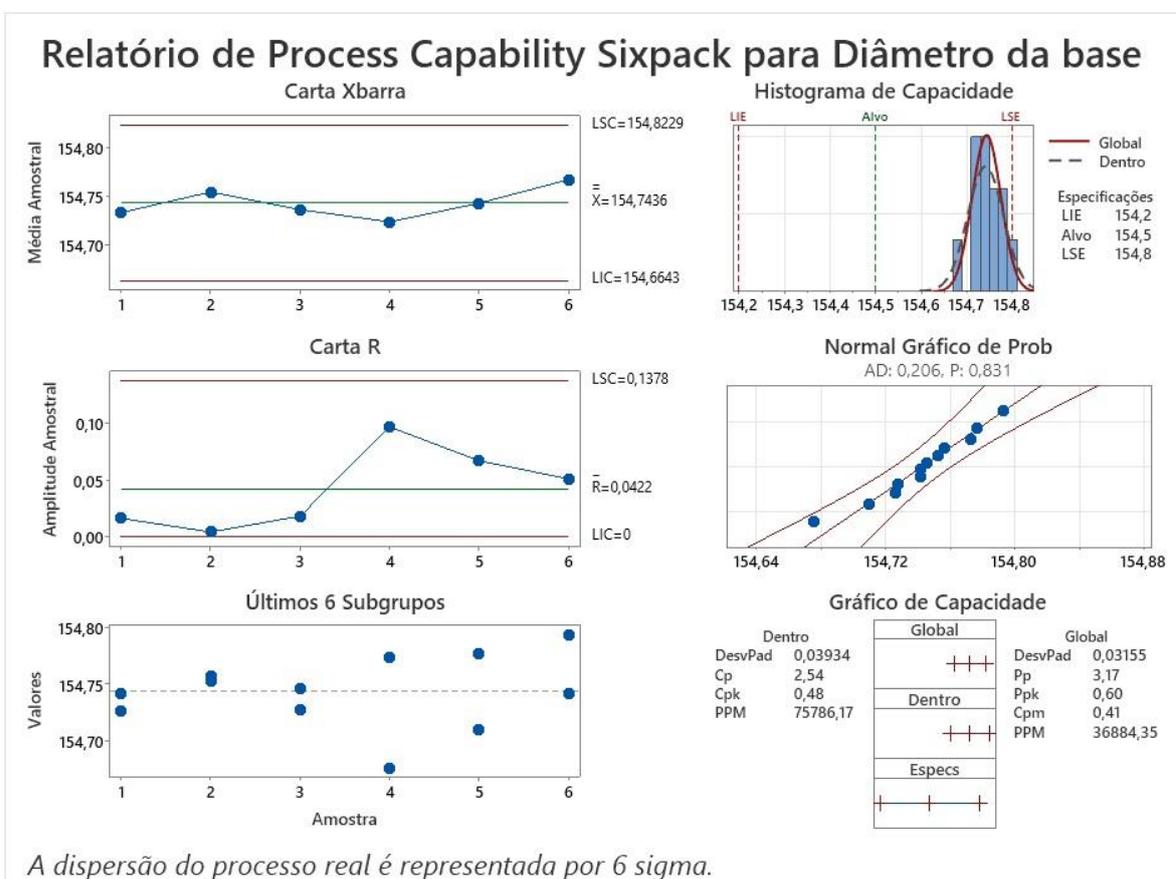


Figura 30: Resultados obtidos pelo Minitab na análise ao diâmetro da base da peça T

Por sua vez, para o controlo da “Espessura”, o dado nominal assume um valor de 2,0 mm, com apenas o limite de tolerância inferior especificado de 1,4 mm. Para este caso, o valor do limite de especificação superior será igual ao valor nominal, dado que, segundo os requisitos do cliente, a espessura do produto final apenas pode sofrer uma redução de 30% em relação ao valor alvo (ou seja, no mínimo, a peça pode ter 1,4 mm de espessura), não sendo especificado qualquer outro tipo de valor para a tolerância superior.

Na Figura 31 encontram-se representados os gráficos para o estudo em questão.

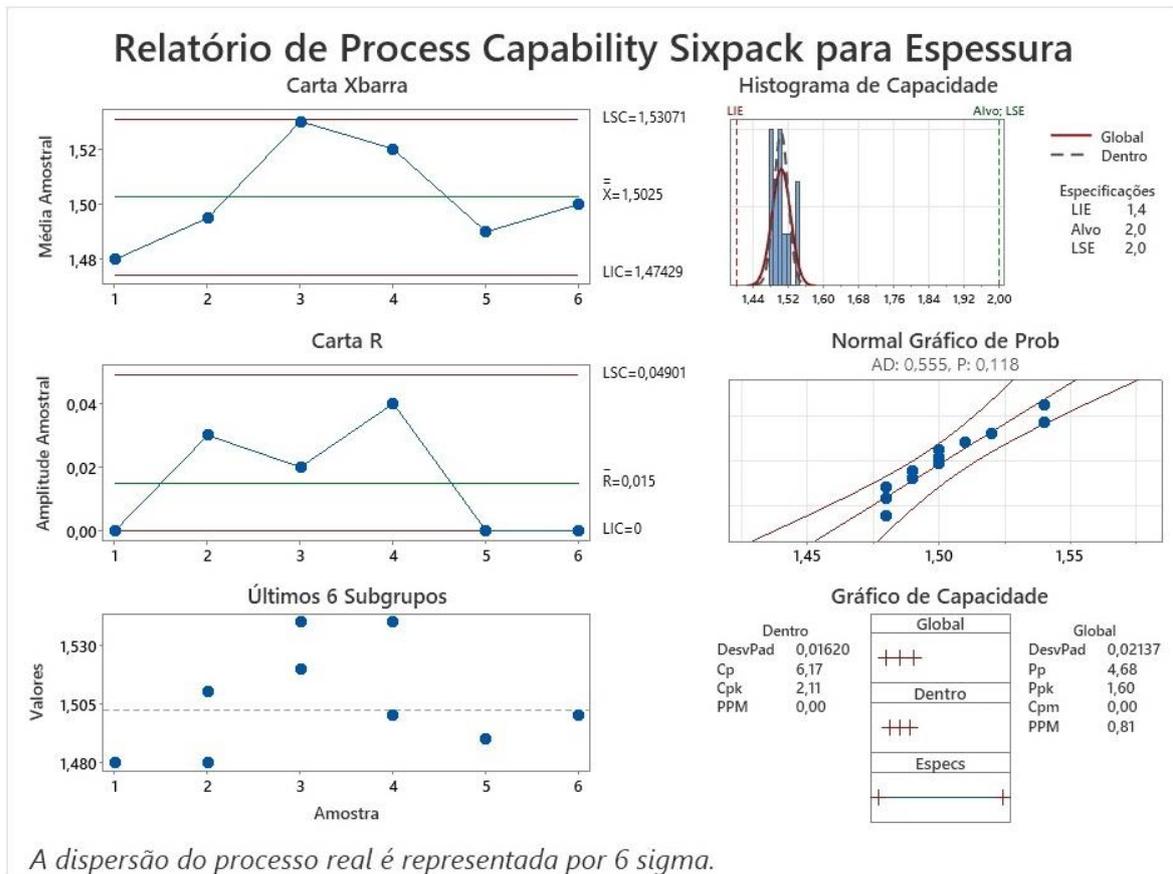


Figura 31: Resultados obtidos pelo Minitab na análise à espessura da peça T

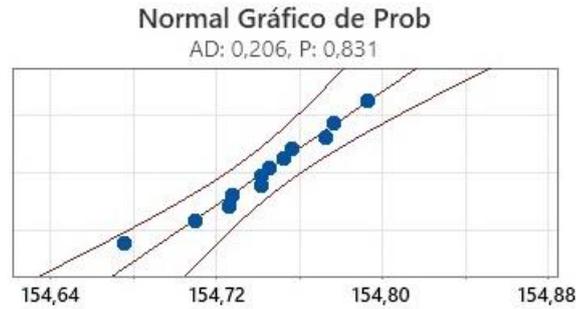
Para as duas características em análise, o estudo foi elaborado com recurso ao *Capability Sixpack*, uma ferramenta estatística que avalia a normalidade, a estabilidade e a capacidade do processo.

Os resultados obtidos serão analisados e discutidos no subcapítulo seguinte [4.1.1.2].

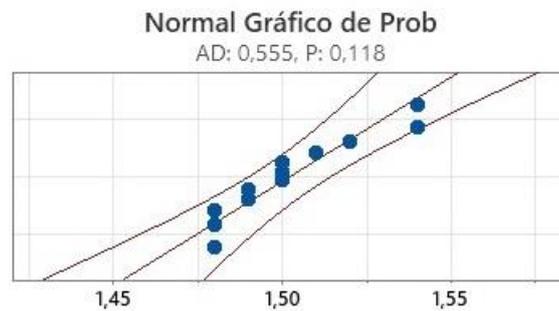
#### 4.1.1.2 Análise dos Resultados

Antes de qualquer análise às cartas de controlo  $\bar{X}$ -R é necessário verificar se os dados recolhidos são viáveis, isto é, se seguem uma distribuição aproximadamente normal e se são distribuídos aleatoriamente em torno da média do processo, não existindo uma qualquer autocorrelação entre eles.

Os gráficos de probabilidade proporcionam as evidências necessárias para que um conjunto dados seja considerado, ou não, proveniente de uma população normal.



**Figura 32:** Gráfico de probabilidade normal para o diâmetro da base



**Figura 33:** Gráfico de probabilidade normal para a espessura

Em ambas as situações, os gráficos apresentam uma probabilidade  $p$  superior a 0,05, o que indica que o conjunto de dados é distribuído normalmente, ou seja, a capacidade do processo pode ser avaliada através de uma distribuição normal. Além do mais, na Figura 32, os pontos demarcados a azul formam uma linha aproximadamente reta e são representados ao longo da linha ajustada [localizada entre os limites de confiança (intervalo de confiança de 95%)], um outro indicador da normalidade dos dados.

Quanto maior for o valor de  $p$  maior será a aproximação dos pontos à linha central, logo, maior será a normalidade destes. O reduzido valor da probabilidade do gráfico da Figura 33, é reflexo da elevada dispersão sofrida pelos dados em torno da linha central, o que indica uma baixa normalidade para os valores aqui representados. Contudo, uma vez que o gráfico apresenta uma probabilidade superior a 0,05 estes podem então ser considerados provenientes de uma população normal e seguirem a sua respetiva distribuição.

Outra ferramenta gráfica que, para além de verificar a distribuição dos dados recolhidos, atesta a normalidade dos mesmos, através da sua representação, é o histograma da capacidade. Nele é possível confirmar se as dimensões das peças se encontram centradas com o valor alvo e se estão dentro dos limites de especificação, sendo a sua representação gráfica ilustrativa do tipo de distribuição presente nos dados.

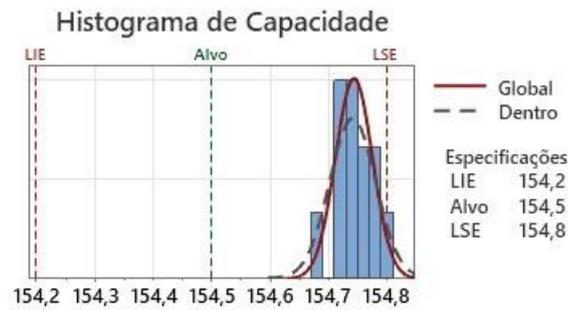


Figura 34: Histograma da capacidade para o diâmetro da base



Figura 35: Histograma da capacidade para a espessura

Para ambos os histogramas [Figura 34 e Figura 35], é possível aferir que as medições se encontram desfasadas do valor alvo, situação que se reflete no valor do índice  $C_{pk}$  [ver gráficos de capacidade Figura 38 e Figura 39]. É possível também observar que o traçado dos gráfico tem tendência a formar uma curva, em formato de sino, característica de uma distribuição normal.

Quanto à sua disposição entre os limites de tolerância, o gráfico da Figura 34 apresenta valores acima do limite superior de especificação, o que indica que o processo responsável pelo fabrico da peça T está a produzir peças cujos parâmetros do diâmetro da base estão para além das tolerâncias impostas. Valores fora dos limites de tolerância, significam um aumento da quantidade de defeitos/peças não-conformes encontrados ao longo de um processo produtivo e que são expressos em parte por milhão (PPM) [ver gráfico de capacidade Figura 38]. Relativamente à espessura, o processo produtivo encontra-se estável face aos limites de especificação definidos.

Visto que os resultados obtidos anteriormente garantem a viabilidade dos dados recolhidos, passa-se agora então a analisar o comportamento dos gráficos traçados a partir destes.

A interpretação dos gráficos de controlo é efetuada por meio do estudo da ocorrência (ou não) de padrões não-aleatórios e da estabilidade do processo conferida pela análise dos dados em relação aos limites de

controle. De relembrar que a presença de tendências ou padrões não-aleatórios nas cartas de controle é um indício da existência de causas especiais de variação ao longo do processo produtivo.

As cartas de Shewhart, obtidas através do *Minitab* [Figura 36 e Figura 37], apresentam-se estáveis, sem qualquer sinal de uma tendência ou padrão não-aleatório na representação dos dados, tanto para o gráfico das médias ( $\bar{X}$ ) como para o gráfico das amplitudes ( $R$ ).

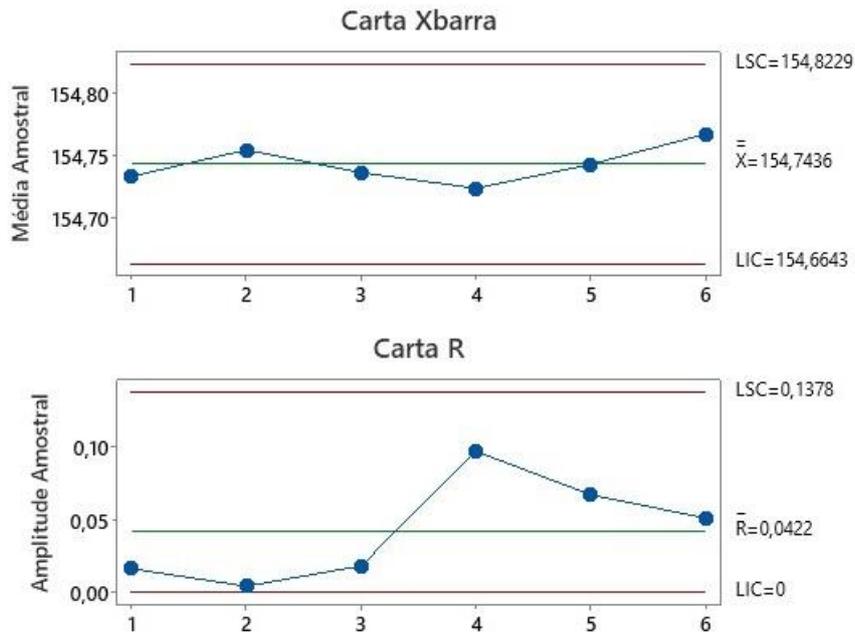


Figura 36: Cartas de controle  $\bar{X}$ -R para o diâmetro da base

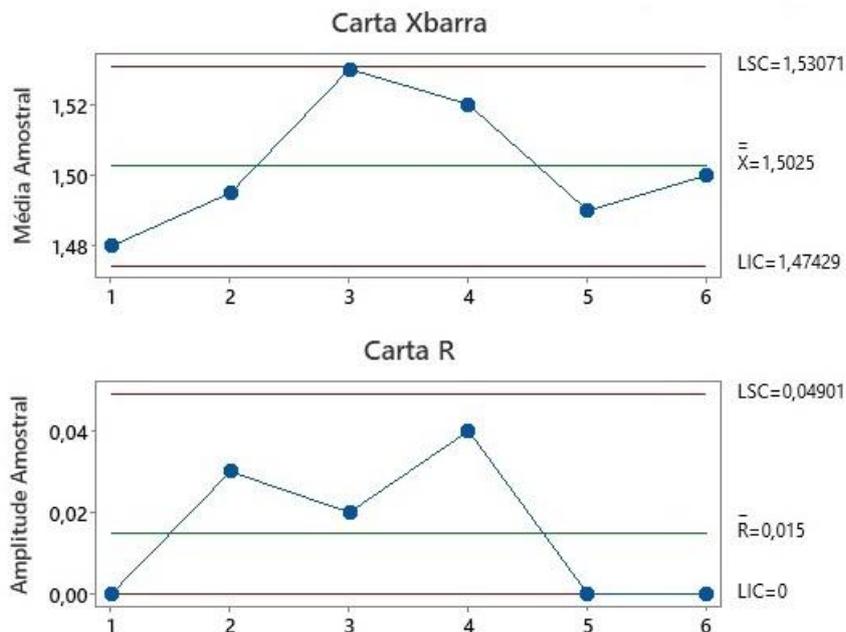


Figura 37: Cartas de controle  $\bar{X}$ -R para a espessura



espessura da peça T. Sendo o valor nominal coincidente com o valor do limite superior de tolerância, estamos perante uma especificação unilateral, o que comparativamente com a Tabela 2, comprova ainda uma maior capacidade.

Como todos os dados se inserem dentro das especificações, o processo não apresenta peças defeituosas no que à espessura diz respeito ( $PPM = 0$ ). Apesar disso, o processo pode ainda ser melhorado face à descentralização dos dados, não com o valor alvo, mas sim entre especificações.



**Figura 39:** Gráfico de capacidade para a espessura

Em suma, ambas as distribuições dos valores dos mecanismos produtivos devem ser centralizadas, com especial atenção para a etapa responsável pelo diâmetro da base da peça T. Depois de se realizar este ajuste, a quantidade de peças consideradas sucatas ou sujeitas a retrabalho baixa significativamente.

## 4.2 Conclusões

Depois de realizar uma série de análises sob orientação do Eng. Ricardo Oliveira – cerca de dezanove relatórios *Capability Sixpack* criados no *Minitab* –, é possível retirar algumas conclusões à cerca do modo como o controlo estatístico do processo está em uso nesta organização.

Em primeiro lugar, sendo a medição e o controlo do processo realizados em *softwares* de entidades diferentes, a transcrição dos valores medidos para o *Minitab* tem de ser feita manualmente, o que torna suscetível a manipulação dos dados por parte do colaborador afeto a esta tarefa. Já para não falar do tempo que é necessário despendido no tratamento e análise do relatório proveniente da medição, de forma a inserir no *Minitab* apenas os dados relativos às características significativas da peça que se pretende colocar sob observação.

A Catraport é uma empresa do setor automóvel, com uma larga escala de produção diária, o que torna as quantidades de amostras recolhidas irrisórias (duas amostras por cada ordem de produção) face ao que era expectável. Dada a dimensão de produção e o ramo em que se insere, é esperado, no mínimo, quatro a cinco amostras por cada subgrupo (num total de 20-25 subgrupos). Atualmente, os subgrupos estão organizados por ordem de produção, pelo que seria mais indicado organiza-los em função da recolha de amostras a cada X minutos, percebendo assim, de que forma o tempo de funcionamento da prensa interfere na qualidade de

conformação da peça, e.g. a matriz e o punção, devido à pouca lubrificação existente, causam algumas deformações e/ou imperfeições no material –, com a recolha de peças em intervalos de tempo constantes, é possível perceber em que momento do processo produtivo é necessário ocorrer a lubrificação dos mecanismos e das peças sujeitas ao processo de estampagem. Assim como a frequência de lubrificação, outros procedimentos podem-se revelar úteis graças a esta metodologia de recolha de amostras.

Dado o método de recolha de dados implementado, só é possível aferir se o processo produtivo está sob controlo estatístico ao fim de este realizar, no mínimo, 20 ordens de produção. Para todos os relatórios de controlo avaliados, em nenhum deles este valor foi alcançado. A quantidade de subgrupos não perfaz um total de 20-25 conjuntos de amostras, o que coloca em causa todo o rigor das conclusões retiradas das cartas de controlo.

### 4.3 Sugestões de Melhoria/Implementação de Novos Métodos de Controlo

Tendo desenvolvido um certo espírito crítico em relação ao tema, graças ao trabalho elaborado ao longo dos últimos tempos, surgem agora algumas sugestões para a melhoria/implementação de novos métodos de controlo do processo.

Antes de realizar qualquer tipo de análise ao processo produtivo, é necessário garantir que os equipamentos responsáveis pelas medições se encontram corretamente calibrados, dando especial atenção à máquina de medição por coordenadas (CMM). Para o controlo em si, é importante recolher entre 4 a 5 amostras do processo a cada 40 minutos, por exemplo, e organizar esses dados em subgrupos de intervalos de tempo com espaçamento igual, conforme ilustrado no esquema da Figura 40:

Intervalo de Medição		Espessura
40 min.	10	
	20	
	30	
	40	
80 min.	50	
	60	
	70	
	80	

(...)

(...)

**Figura 40:** Esquema exemplificativo para a organização da recolha de dados

Isto irá dar origem não só a uma análise muito mais precisa, como também possibilita ter, ao fim de pouco mais de um dia de trabalho (≈13.5 horas em produção contínua), um relatório completo sobre a análise feita ao processo.

Seria também interessante, se os dados provenientes da medição pela CMM, fossem automaticamente importados para o *Minitab*, por forma a evitar a deturpação dos valores.

Outro aspeto que poderia ser melhorado, é a forma como a medição da espessura é realizada. Recorde-se que, para esta característica significativa, a medição é realizada com recurso ao micrómetro e que este deve ser usado com a maior perícia possível, a fim de verificar se a espessura da peça nos pontos mais sensíveis – isto é, sujeitos a maior deformação e, portanto, maior estiramento do material – se encontra dentro dos parâmetros especificados pelos clientes. Inserir linhas de código de programação, que permitam esta medição no *software* utilizando para as restantes características, seria uma forma de colmatar a probabilidade de ocorrência de erros durante a medição manual.

Por último, e numa tentativa de complementar a análise feita através das cartas de controlo, sugere-se a utilização do *scanner* 3D com o objetivo de comparar a geometria do produto final com a geometria esperada. A Catraport adquiriu, recentemente, um braço de medição portátil (*Absolute Arm 7-Axis*<sup>6</sup>) e, sendo uma ferramenta versátil e de fácil locomoção, recomenda-se a sua utilização quer na verificação do desgaste sofrido pelas matrizes e punções, quer no complemento das cartas de controlo para peças de geometria mais complexa. Com recurso a esta ferramenta, é também possível verificar se a geometria dos *gabarits* permanece inalterada e de acordo com a atualidade dos pedidos dos clientes.

---

<sup>6</sup> *Absolute Arm 7-Axis* – braço de medição articulado de fácil movimentação. Ferramenta de medição multifuncional que oferece evidentes melhorias de produtividade graças à maior usabilidade e versatilidade.



## Capítulo 5

### Conclusões Gerais e Trabalhos Futuros

O objetivo geral desta dissertação, passa pelo estudo do modo como o controlo estatístico do processo está implementado na Catraport, a fim de se obterem respostas para a não-conformidade de algumas peças produzidas com aquilo que era o pretendido. Nesse sentido, e de forma a reduzir o número de sucatas, foi realizada uma revisão de todo o procedimento de controlo, desde a recolha de dados até aos resultados obtidos através das cartas de controlo. Este estudo incidiu então, na forma como foram realizados os preparativos para a elaboração dos relatórios de controlo (dezanove, no total).

A qualidade apresentada pelos produtos provenientes das indústrias do ramo do setor automóvel, é um dos fatores chave para o domínio do mercado afeto a esse setor. O controlo estatístico do processo, tem vindo a revelar um impacto significativo no que a esse domínio diz respeito. Atualmente, toda e qualquer empresa que se preze, tem a possibilidade de ter à sua disposição, um leque de ferramentas estatísticas que permitem colocar qualquer processo produtivo sob controlo. A Catraport, um empresa do conceituado grupo P&C Automotive, conta com o auxílio do *Minitab* para a elaboração de relatórios de controlo estatístico, de forma a avaliar a necessidade de intervenção nos seus processos produtivos. O uso de *softwares* dedicados a este controlo, permite que as empresas detetem, antecipadamente, tendências ou padrões significativos de que o processo sairá fora de controlo, possibilitando assim, a aplicação de medidas preventivas para que tal não aconteça.

A elaboração e respetiva interpretação (básica) dos relatórios de controlo, é simples e não requer qualquer tipo de conhecimento prévio em relação a esta temática. Com base em valores tabelados, o colaborador encarregue dessa tarefa, consegue facilmente retirar conclusões acertadas em relação ao estado do processo produtivo, contudo, para uma análise mais detalhada, é recomendável algum tipo de formação. Saber interpretar os desenhos técnicos das peças e suas características significativas, é sim fundamental para o desenvolvimento dos gráficos de controlo, uma má interpretação coloca em causa todo o diagnóstico feito.

Dado os resultados obtidos da análise feita à peça T [Resultados Obtidos], e tendo em consideração as conclusões retiradas desse mesmo estudo [Análise dos Resultados], como trabalho futuro sugere-se:

- testar vários intervalos de tempo para a recolha de amostras, verificar qual se adequa melhor à Catraport;
- ajustar os processos produtivos e realizar novos relatórios de controlo até que o processo esteja alinhado com o valor alvo ou centrado entre especificações;
- adicionar linhas de código ao programa utilizado para a medição, por forma a que a espessura das peças seja controlada automaticamente (CMM).



## Referências Bibliográficas

- [1] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control, Seventh Edition ed.*, Arizona State: John Wiley & Sons, Inc., 2009, p. 774.
- [2] Equipe editorial de Conceito.de., “Conceito de qualidade,” *Conceito.de.*, 4 agosto 2011. [Online]. Available: <https://conceito.de/qualidade>. [Acedido em maio 2022].
- [3] M. B. P. Moutinho, “Controlo Estatístico de Processos de Soldadura e Estampagem: Estudo de Caso na Indústria Automóvel,” Lisboa, 2018.
- [4] E. W. Mainarde, L. Lourenço e G. Tontini, “Percepções dos Conceitos de Qualidade e Gestão pela Qualidade Total: estudo de caso na unversidade,” 23 maio 2010. [Online]. Available: <file:///C:/Users/renat/Desktop/Percep%C3%A7%C3%B5es%20dos%20Conceitos%20de%20Qualidad e%20e%20Gestao%20pela%20Qualidade%20Total.pdf>. [Acedido em maio 2022].
- [5] P. J. P. Gomes, “A evolução do conceito de qualidade: dos bens manufacturados aos serviços de informação,” *Cadernos BAD*, 2004.
- [6] D. S. C. Cardoso, “As Técnicas Estatísticas na Gestão da Qualidade: Análise de Variáveis,” Aveiro, 2011.
- [7] R. Godina, “Controlo Estatístico do Processo: Um estudo de caso numa empresa na área da indústria automóvel,” Covilhã, 2013.
- [8] J. R. A. d. Silva, “Aplicação da Metodologia DMAIC a uma Linha de Produção de Cartão Canelado,” Aveiro, 2015.
- [9] I. d. F. R. Moreira, “Melhoria Contínua de Sistema de Análise de Produto Suspeito,” Bragança, 2019.
- [10] J. S. Oakland, *Statistical Process Control, Fifth Edition ed.*, Oxford, United Kingdom: Butterworth-Heinemann, 2003, p. 460.
- [11] Automotive Industry Action Group (AIAG), *Statistical Process Control, Second Edition ed.*, 2005, p. 236.
- [12] Instituto Português da Qualidade, *Controlo Estatístico do Processo*, Monte de Caparica, Setúbal, p. 51.
- [13] P. d. B. Q. Caramujo, “Controlo Estatístico do Processo de Injeção de um Fabricante de Intercoolers,” Lisboa, 2018.
- [14] V. S. B. Gomes, “Controlo Estatístico do Processo na Empresa das Águas do Vimeiro,” Lisboa, 2020.

- [15] A. Duarte, “PT04 Controlo Estatístico de Processo,” 2020. [Online]. Available: <https://virtual.ipb.pt/access/content/group/84be2f10-5163-11ea-9d6f-fa163ea3786a/Slides%20PT/PT04%20Controlo%20Estat%3%ADstico%20do%20Processo.pdf>. [Acedido em junho 2022].
- [16] A. Duarte, “PT05 Melhoria da Qualidade,” 2020. [Online]. Available: <https://virtual.ipb.pt/access/content/group/84be2f10-5163-11ea-9d6f-fa163ea3786a/Slides%20PT/PT05%20Melhoria%20da%20Qualidade.pdf>. [Acedido em junho 2022].
- [17] P. A. Morettin e W. d. O. Bussab, *Estatística Básica*, 6ª edição ed., São Paulo: Editora Saraiva, 2010, p. 77.
- [18] Accept, “Cartas de Controlo: Quais as Principais Regras?,” 10 setembro 2019. [Online]. Available: <https://www.accept.pt/cartas-de-controlo-principais-regras/>. [Acedido em junho 2022].
- [19] M. A. d. C. Gouveia, *Controle Estatístico da Qualidade*, Londrina: Educacional S.A, 2018, p. 260.
- [20] M. Rodrigues, “Aplicabilidade das Cartas de Controlo ao Processo Produtivo dos Farolins,” Setúbal, 2012.
- [21] Minitab, “Visão geral de Carta Xbarra-R,” 2022. [Online]. Available: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/21/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/control-charts/how-to/variables-charts-for-subgroups/xbar-r-chart/before-you-start/overview/>. [Acedido em junho 2022].
- [22] M. G. Rebelato, G. A. d. Souza, A. M. Rodrigues e I. C. Rodrigues, “Estudo sobre a aplicação de gráficos de controle em processos de saturação de papel,” *XIII SIMPEP*, 6 a 8 novembro 2006.
- [23] W. B. d. M. Garcia, “A Utilização dos Gráficos Shewhart e EWMA no Monitoramento Estatístico de Indicadores de Desempenho Hospitalar em uma Maternidade Pública na Cidade de Manaus,” Manaus, 2016.
- [24] E. M. P. Pozzobon, “Aplicação do Controle Estatístico do Processo,” Santa Maria, Brasil, 2001.
- [25] International Standard, *ISO 7870-2:2013*, First Edition ed., 2013.
- [26] Catraport, “About,” 2022. [Online]. Available: <http://catraport.pt/about/>. [Acedido em agosto 2022].
- [27] P&C Automotive | Stamping Technologies & Assembly, “CATRAPORT, LDA,” [Online]. Available: <https://www.p-cautomotive.com/en/group/catraport>. [Acedido em agosto 2022].
- [28] G. Colombo, “Qualità,” 16 abril 2020. [Online]. Available: <https://www.p-cautomotive.com/it/quality>. [Acedido em agosto 2022].

## Anexos

### Anexo A Tabela de coeficientes para cartas de controlo tipo Shewhart

k	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	c <sub>4</sub>	c <sub>5</sub>	A	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
2	1.128	0.853	0.7979	0.6028	2.121	1.880	2.659	0.000	3.267	0.000	2.606	0.000	3.686	0.000	3.267
3	1.693	0.888	0.8862	0.4633	1.732	1.023	1.954	0.000	2.568	0.000	2.276	0.000	4.358	0.000	2.575
4	2.059	0.880	0.9213	0.3888	1.500	0.729	1.628	0.000	2.266	0.000	2.088	0.000	4.698	0.000	2.282
5	2.326	0.864	0.9400	0.3412	1.342	0.577	1.427	0.000	2.089	0.000	1.964	0.000	4.918	0.000	2.114
6	2.534	0.848	0.9515	0.3075	1.225	0.483	1.287	0.030	1.970	0.029	1.874	0.000	5.079	0.000	2.004
7	2.704	0.833	0.9594	0.2822	1.134	0.419	1.182	0.118	1.882	0.113	1.806	0.205	5.204	0.076	1.924
8	2.847	0.820	0.9650	0.2621	1.061	0.373	1.099	0.185	1.815	0.179	1.751	0.388	5.307	0.136	1.864
9	2.970	0.808	0.9693	0.2458	1.000	0.337	1.032	0.239	1.761	0.232	1.707	0.547	5.394	0.184	1.816
10	3.078	0.797	0.9727	0.2322	0.949	0.308	0.975	0.284	1.716	0.276	1.669	0.686	5.469	0.223	1.777
11	3.173	0.787	0.9754	0.2207	0.905	0.285	0.927	0.321	1.679	0.313	1.637	0.811	5.535	0.256	1.744
12	3.258	0.778	0.9776	0.2107	0.866	0.266	0.886	0.354	1.646	0.346	1.610	0.923	5.594	0.283	1.717
13	3.336	0.770	0.9794	0.2019	0.832	0.249	0.850	0.382	1.618	0.374	1.585	1.025	5.647	0.307	1.693
14	3.407	0.763	0.9810	0.1942	0.802	0.235	0.817	0.406	1.594	0.399	1.563	1.118	5.696	0.328	1.672
15	3.472	0.756	0.9823	0.1872	0.775	0.223	0.789	0.428	1.572	0.421	1.544	1.203	5.740	0.347	1.653
16	3.532	0.750	0.9835	0.1810	0.750	0.212	0.763	0.448	1.552	0.440	1.526	1.282	5.782	0.363	1.637
17	3.588	0.744	0.9845	0.1753	0.728	0.203	0.739	0.466	1.534	0.458	1.511	1.356	5.820	0.378	1.622
18	3.640	0.739	0.9854	0.1702	0.707	0.194	0.718	0.482	1.518	0.475	1.496	1.424	5.856	0.391	1.609
19	3.689	0.733	0.9862	0.1655	0.688	0.187	0.698	0.497	1.503	0.490	1.483	1.489	5.889	0.404	1.596
20	3.735	0.729	0.9869	0.1611	0.671	0.180	0.680	0.510	1.490	0.504	1.470	1.549	5.921	0.415	1.585
21	3.778	0.724	0.9876	0.1571	0.655	0.173	0.663	0.523	1.477	0.516	1.459	1.606	5.951	0.425	1.575
22	3.819	0.720	0.9882	0.1534	0.640	0.167	0.647	0.534	1.466	0.528	1.448	1.660	5.979	0.435	1.565
23	3.858	0.716	0.9887	0.1499	0.626	0.162	0.633	0.545	1.455	0.539	1.438	1.711	6.006	0.443	1.557
24	3.895	0.712	0.9892	0.1466	0.612	0.157	0.619	0.555	1.445	0.549	1.429	1.759	6.032	0.452	1.548
25	3.931	0.708	0.9896	0.1436	0.600	0.153	0.606	0.565	1.435	0.559	1.420	1.805	6.056	0.459	1.541

## Anexo B Certificação Catraport

Certificate IATF 0339233  
Certificate SGS IT07/0716.06

**SGS**

**CATRAPORT LDA.**

**IATF 16949:2016**  
Edition 1

**SYSTEM CERTIFICATION**  
**IATF 16949**  
**SGS**

Additional Facilities

**Support Function**

**P&C Automotive S.r.l**  
c/o CATRA Via I Maggio, 18 a Missaglia (LC), Italia

Summary of activities  
**Contract Review, Engineering, Internal Audit Management, Marketing,  
Process Design, Quality System Management, Sales**

**Support Function**

**P&C Automotive S.r.l**  
c/o PCM Srl Zona Ind.le Villa Zaccheo, Castellalto, (TE), Italia

Summary of activities  
**Logistics, Policy Making, Purchasing, Strategic Planning**

**IATF**

This document is issued by the Company subject to its General Conditions of Certification Services accessible at [www.sgs.com/terms\\_and\\_conditions.htm](http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm). Attention is drawn to the limitations of liability, indemnification and jurisdictional issues established therein. The authenticity of this document may be verified at <http://www.sgs.com/en/certified-clients-and-products/certified-client-directory>. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

Page 2 of 2

Certificate IATF 0424646  
Certificate SGS IT07/0716.06

The management system of

**CATRAPORT LDA.**

Zona Industrial de Mós Lote n°1, Mós, Bragança, 5300-692, Portugal

Has been assessed and certified as meeting the requirements of

**IATF 16949:2016**  
Edition 1

For the following activities

**Manufacturing of metal parts by cold stamping,  
mechanical and welding assembling.  
EXCLUSIONS: 8.3 Product Design**

3 Year certification is valid from 10 September 2021 until 09 September 2024  
and remains valid subject to satisfactory surveillance audits  
Version no. 2 Current version updated 10 September 2021

Authorised by

*Gracilina*

Veto Power Authority

Contracted Office: SGS United Kingdom Ltd, Station Road, Oldbury, West Midlands, B69 4LN, UK.  
Email: neil.hall@sgs.com

SGS IATF 16949 0517 M2 EC  
Page 1 of 2

This document is issued by the Company subject to its General Conditions of Certification Services accessible at [www.sgs.com/terms\\_and\\_conditions.htm](http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm). Attention is drawn to the limitations of liability, indemnification and jurisdictional issues established therein. The authenticity of this document may be verified at <http://www.sgs.com/en/certified-clients-and-products/certified-client-directory>. Any unauthorised alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.






Certificate IATF 0424646  
Certificate SGS IT07/0716.06

**CATRAPORT LDA.**

**IATF 16949:2016**  
Edition 1

Additional facilities  
**Support Function  
P&C AUTOMOTIVE**  
Via 1 Maggio, Missaglia Lecco, 18 - 23873, Italy

Summary of Activities  
**Finance, Policy Making, Contract Review, Marketing, Sales, Internal  
Audit Management, Quality System Management, Customer  
Service, Process Design, R&D, Engineering, Production Equipment  
Development**

Support Function  
**P&C AUTOMOTIVE**  
Via Enzo Ferrari 47-49-51, Castellalto (Teramo), 64020, Italy

Summary of Activities  
**Facilities Management, Management Review, Policy Making, Strategic  
Planning, Logistics, Purchasing**

Page 2 of 2

This document is issued by the Company subject to its General Conditions of Certification Services accessible at [www.sgs.com/terms\\_and\\_conditions.htm](http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm). Attention is drawn to the limitations of liability, indemnification and jurisdictional issues established therein. The authenticity of this document may be verified at <http://www.sgs.com/en/certified-clients-and-products/certified-client-directory>. Any unauthorised alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.





This is a translation of certificate N. IT18/0981



The quality management system of

# CATRAPORT LDA.

Zona Industrial de Mós, Lote nº 1, 5300-692 Mós, Bragança, Portugal

has been assessed and certified as meeting the requirements of

## ISO 9001 / UNI EN ISO 9001:2015



For the following activities

**Manufacturing of metal parts by cold stamping,  
mechanical and welding assembling.**

**EA Sector: 17**

This certificate is valid from 10/09/2021 until 09/09/2024  
and remains valid subject to satisfactory surveillance audits.

Re certification audit due before 17/05/2024.

Issue 2. Certified since 16/10/2018.

The audit leading to this certificate commenced on 17/05/2021  
Previous issue certificate validity date was until 15/10/2021

**ACCREDIA**  
L'ENTE ITALIANO DI ACCREDITAMENTO

SGQ N° 0615 A

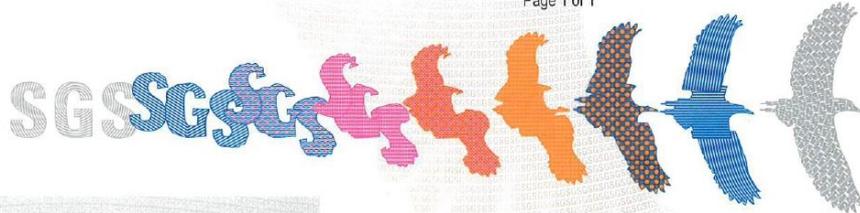
Membro di MLA EA per gli schemi di accreditamento SGO, SGA, PRD, PRS, INSP, GHG, LAB, LAT, PTP e RMI, di MLA IAF per gli schemi di accreditamento SGO, SGA, SSI, FSM, PRD e PRS e di MRA ILAC per gli schemi di accreditamento LAB, MED, LAT, ISR e PTP

Signatory of EA MLA for the accreditation schemes QMS, EMS, PRD, PRS, INSP, GHG, TL, CL, PTP and RMI, of IAF MLA for the accreditation schemes QMS, EMS, ISMS, FSMS, PRD and PRS and of ILAC MRA for the accreditation schemes TL, M, CL, INSP and PTP

Authorized by  
Paola Santarelli

SGS ITALIA S.p.A.  
Via Caldera, 21 - 20153 MILANO - Italy  
t + 39 02 73 93 1 f +39 02 70 10 94 89 www.sgs.com

Page 1 of 1



This document is issued by the Company subject to its General Conditions of Certification Services accessible at [www.sgs.com/terms\\_and\\_conditions.htm](http://www.sgs.com/terms_and_conditions.htm). Attention is drawn to the limitations of liability, indemnification and jurisdictional issues established therein. The authenticity of this document may be verified at <http://www.sgs.com/en/certified-clients-and-products/certified-client-directory>. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

ISO 9001 / UNI EN ISO 9001:2015





## POLÍTICA DE AMBIENTE

A Catraport, Lda opera no setor da estampagem de peças metálicas a frio, montagem mecânica e soldadura de produtos semiacabados e acabados para o setor industrial.

A Catraport Lda durante o decurso das atividades, compromete-se a:

- Dar cumprimento de todas as leis e regulamentos ambientais aplicáveis;
- Buscar uma melhoria contínua visando reduzir o impacto ambiental.

Para este fim, a Catraport, Lda depois de levar a cabo uma análise das atividades de produção realizadas no local de produção em Zona Industrial de Mós, Lote 1, 5300-692 Bragança, identificou diversas áreas prioritárias de intervenção e estabeleceu os seguintes objetivos:

- Manter o sistema de Gestão Ambiental satisfazendo todos os requisitos contidos na ISO 14001 e aplicando modelos de integração com o Sistema de Qualidade e o Sistema de Segurança e Higiene sempre que possível;
- Comunicar ao público as informações necessárias para compreender os efeitos sobre o meio ambiente das atividades da empresa, mantendo um diálogo aberto;
- Promover a responsabilidade dos funcionários a todos os níveis em relação à proteção ambiental implementado para tal sessões de informação e formação;
- Assegurar a cooperação com as autoridades públicas;
- Avaliar a introdução no processo produtivo de matérias-primas e subsidiárias que tenham uma melhor compatibilidade ambiental do que os atualmente em uso;
- Avaliar antecipadamente os impactos ambientais de novos processos e modificações existentes;
- Prevenir e mitigar o impacto das atividades no meio ambiente;
- Verificar a qualidade das emissões atmosféricas;
- Melhorar a gestão dos resíduos produzidos, com especial atenção para aqueles que são perigosos.
- Adotar as medidas necessárias para reduzir os impactos ambientais relacionados com situações de emergência;
- Controlar a quantidade e o tipo de matérias-primas, subsidiárias e produtos semiacabados e acabados;
- Garantir o compromisso da empresa com a prevenção da poluição;
- Assegurar que os operadores externos que realizam atividades dentro da empresa estejam cientes dos procedimentos operacionais aplicáveis.

Versão 1, Bragança, 15 de novembro de 2021

A Direção

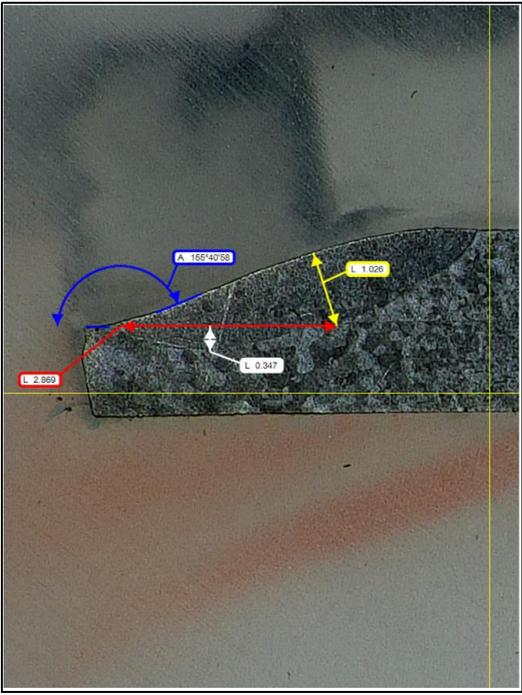
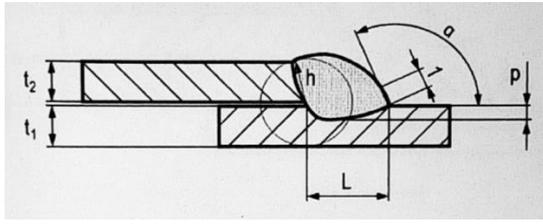
CATRAPORT, Lda.  
NIPC 513619089, Zona Industrial de Mós, Lote n.º 1,  
5300-692 Mós, Bragança, Tel. 273249210, Capital  
Social: 100.000€, email: info@p-cautomotive.pt

Co-financiado por:



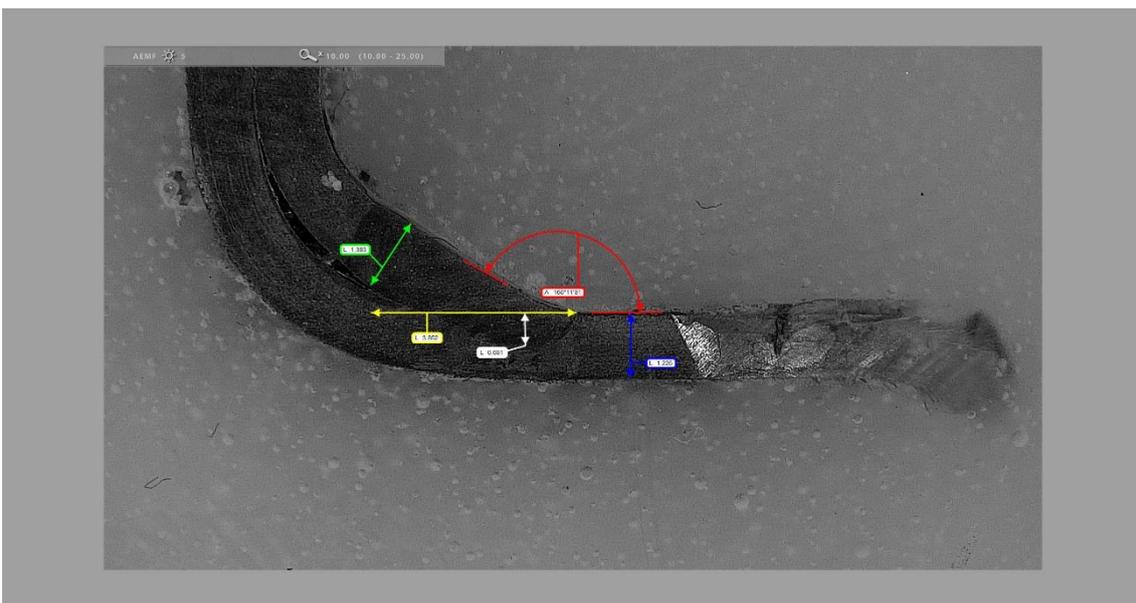
*Política de ambiente*

Anexo C Ensaio Macrográfico

	<b>Relatório de Ensaio_Exame Macrográfico em Juntas</b>																					
<p><b>Norma:</b></p> <input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>																						
<p><b>Referencia da Amostra:</b></p> <input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>																						
<p><b>Processo da Amostra:</b></p> <input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>																						
<p><b>Material de Adição:</b></p> <input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>																						
<p><b>Orientação da Secção:</b></p> <input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>																						
<p><b>Método e Reagente de Contrastação:</b></p> <input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>																						
<p><b>Ampliação:</b></p> <input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>																						
<p><b>Observação:</b></p> <input style="width: 100%; height: 50px;" type="text"/>																						
<b>Anexo:</b>																						
																						
<p><i>Fig. 1: Requirements for ARC Welding Joints_Ref. FSE-S-PSE_G057/EN</i></p>																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Symbol</th> <th style="width: 40%;">Name</th> <th style="width: 30%;">Minimum required values</th> <th style="width: 20%;">Resultados obtidos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\alpha</math></td> <td>Minimum toe angle</td> <td style="text-align: center;"><math>90^\circ</math></td> <td style="text-align: center; background-color: #d9ead3;">90</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">h</td> <td>Minimum throat thickness</td> <td style="text-align: center;"><math>0.8 \times t_{min.} = 0.96</math></td> <td style="text-align: center; background-color: #f4cccc;">0.95</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">L</td> <td>Minimum leg length</td> <td style="text-align: center;"><math>t_{min.} = 1.2</math></td> <td style="text-align: center; background-color: #d9ead3;">1.2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">p</td> <td>Minimum penetration depth</td> <td style="text-align: center;">0.1 mm</td> <td style="text-align: center; background-color: #d9ead3;">0.1</td> </tr> </tbody> </table>	Symbol	Name	Minimum required values	Resultados obtidos	$\alpha$	Minimum toe angle	$90^\circ$	90	h	Minimum throat thickness	$0.8 \times t_{min.} = 0.96$	0.95	L	Minimum leg length	$t_{min.} = 1.2$	1.2	p	Minimum penetration depth	0.1 mm	0.1		
Symbol	Name	Minimum required values	Resultados obtidos																			
$\alpha$	Minimum toe angle	$90^\circ$	90																			
h	Minimum throat thickness	$0.8 \times t_{min.} = 0.96$	0.95																			
L	Minimum leg length	$t_{min.} = 1.2$	1.2																			
p	Minimum penetration depth	0.1 mm	0.1																			

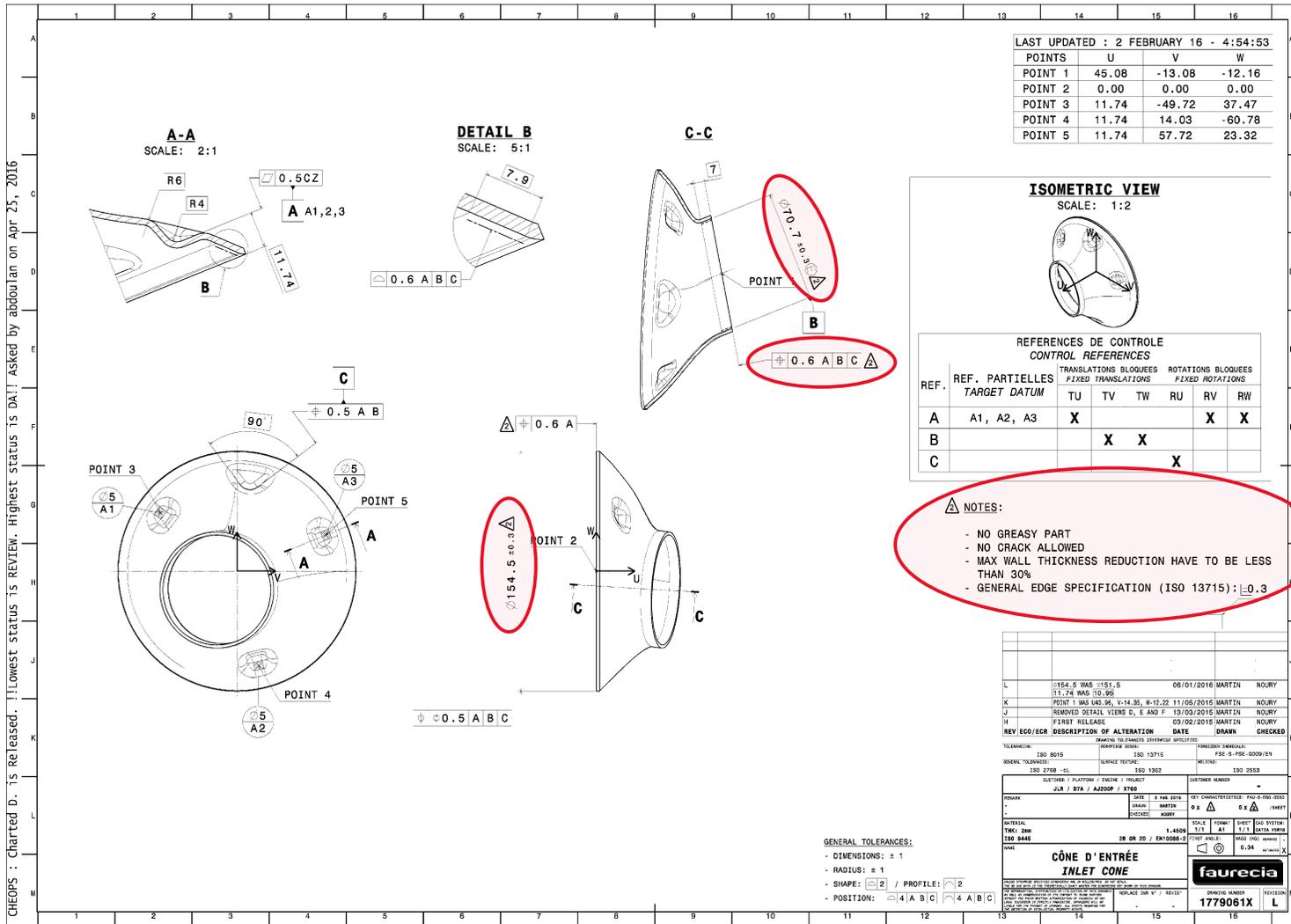


*Ensaio 1 – medições segundo Requirements for ARC Welding Joints\_Ref. FSE-S-PSE\_G057/EN*



*Ensaio 3 – medições segundo Requirements for ARC Welding Joints\_Ref. FSE-S-PSE\_G057/EN*

Anexo D Desenho Técnico "Inlet Cone" \_ref. 1779061X



CHEOPS : Charted D. is released. Lowest status is review. Highest status is DA! Asked by abduolan on Apr 25, 2016

Anexo E Dados recolhidos pela CMM

		1779061X	
		NUM. SERIE	
		REVISÃO	
			5 / 6

Collar measurements (collar plan and collar diameter by two methods) and base trimming position)

#	MM	LOC52 - HALF_CIL_1				
AX NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	-51.806	0.300	-0.300	-51.585	0.221 0.000	
Y	16.121	0.300	-0.300	16.588	0.467 0.167	
Z	-12.976	0.300	-0.300	-12.952	0.024 0.000	
D	70.700	0.300	-0.300	71.173	0.473 0.173	

#	MM	LOC33 - DIAM_COLAR_MAX_INSC				
AX NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	-45.352	0.300	-0.300	-45.468	-0.116 0.000	
Y	12.852	0.300	-0.300	12.594	-0.258 0.000	
Z	-12.887	0.300	-0.300	-12.026	0.861 0.561	
D	70.700	0.300	-0.300	70.943	0.243 0.000	

#	MM	LOC53 - HALF_CIL_2				
AX NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	-51.806	0.300	-0.300	-51.587	0.219 0.000	
Y	16.121	0.300	-0.300	16.491	0.370 0.070	
Z	-12.976	0.300	-0.300	-13.326	-0.350 0.050	
D	70.700	0.300	-0.300	71.237	0.537 0.237	

#	MM	LOC35 - DIAM_BASE				
AX NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
Y	0.000	0.300	-0.300	0.622	0.622 0.322	
Z	0.000	0.300	-0.300	-0.258	-0.358 0.058	
D	154.500	0.300	-0.300	154.742	0.242 0.000	

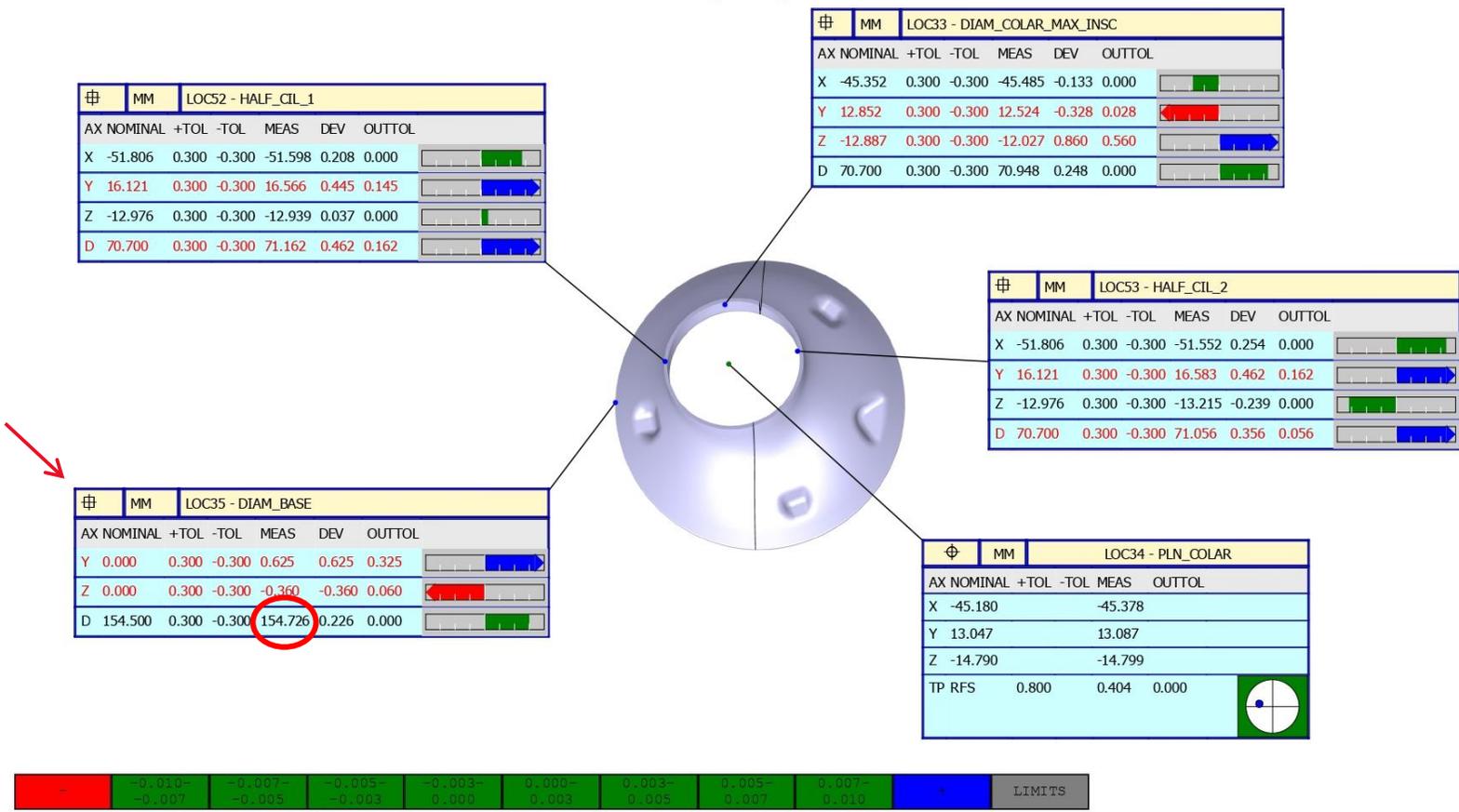
#	MM	LOC34 - PLN_COLAR			
AX NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	OUTTOL	
X	-45.180		-45.369		
Y	13.047		13.085		
Z	-14.790		-14.799		
TP RFS	0.800		0.387 0.000		

	-0.010	-0.005	-0.005	-0.003	0.000	0.003	0.005	0.005	0.010		LIMITS
	-0.010	-0.005	-0.005	-0.003	0.000	0.003	0.005	0.005	0.010		

Ordem 1498 \_ primeira peça recolhida

 	1779061X			
	NUM. SERIE			
	REVISÃO			
				5 / 6

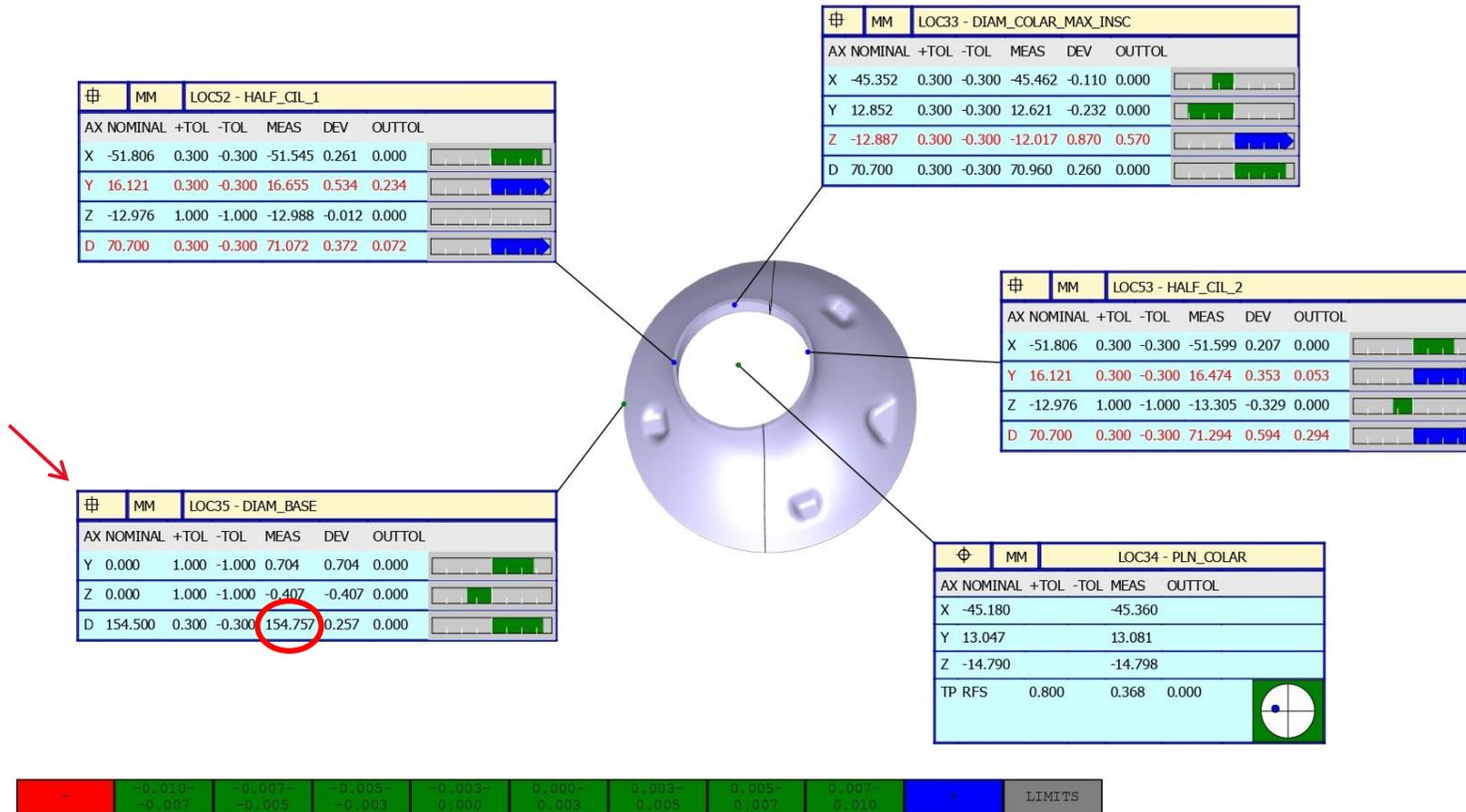
Collar measurements (collar plan and collar diameter by two methods) and base trimming position)



Ordem 1498\_ última peça recolhida

 	1779061X			
	NUM. SERIE			
	REVISÃO			
			5 / 6	

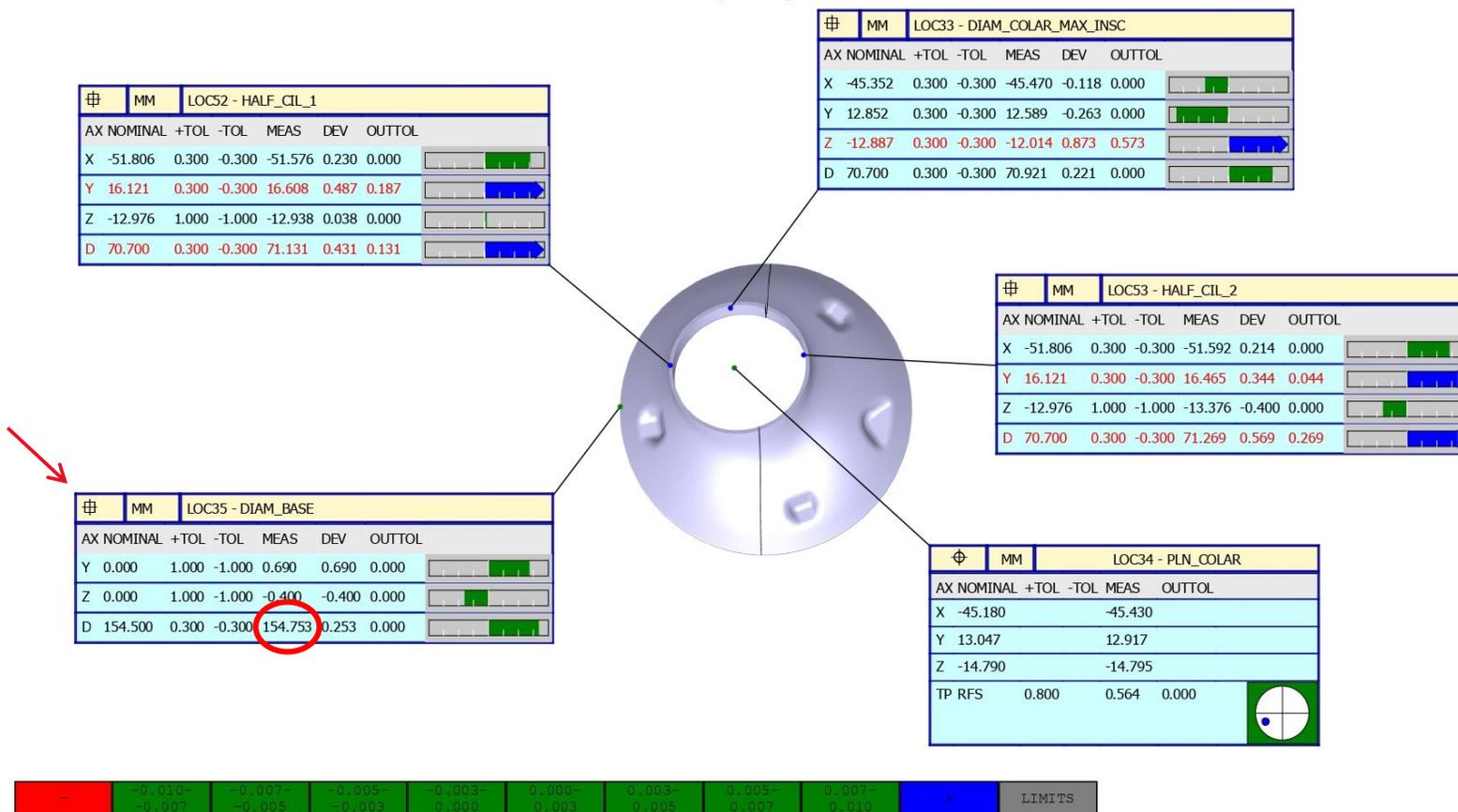
Collar measurements (collar plan and collar diameter by two methods) and base trimming position)



Ordem 1582 \_ primeira peça recolhida

  <small>STAMPING TECHNOLOGIES &amp; ASSEMBLY</small>	1779061X			
	NUM. SERIE			
	REVISÃO			
				5 / 6

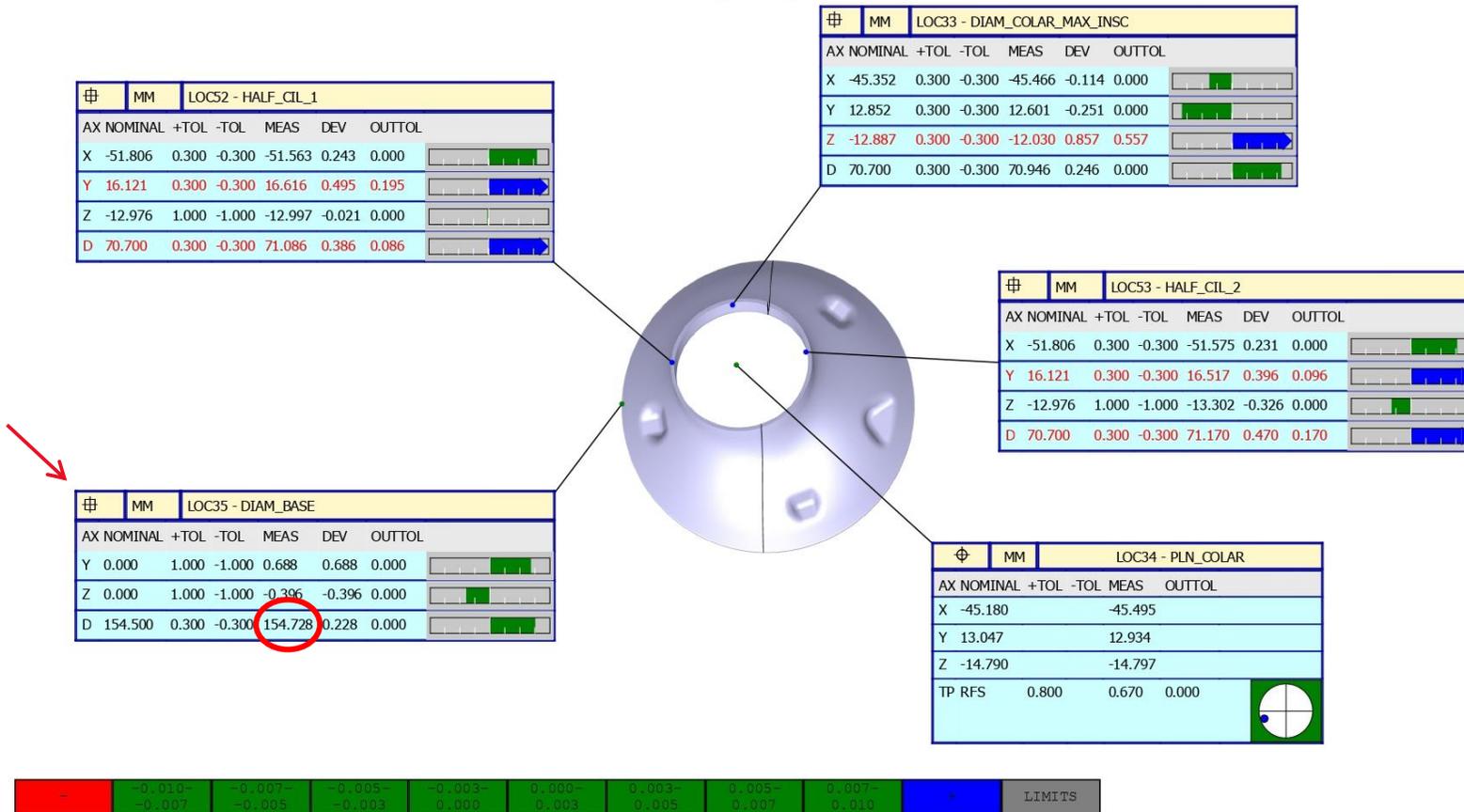
Collar measurements (collar plan and collar diameter by two methods) and base trimming position)



Ordem 1582\_ última peça recolhida

 	1779061X			
	NUM. SERIE			
	REVISÃO			
			5 / 6	

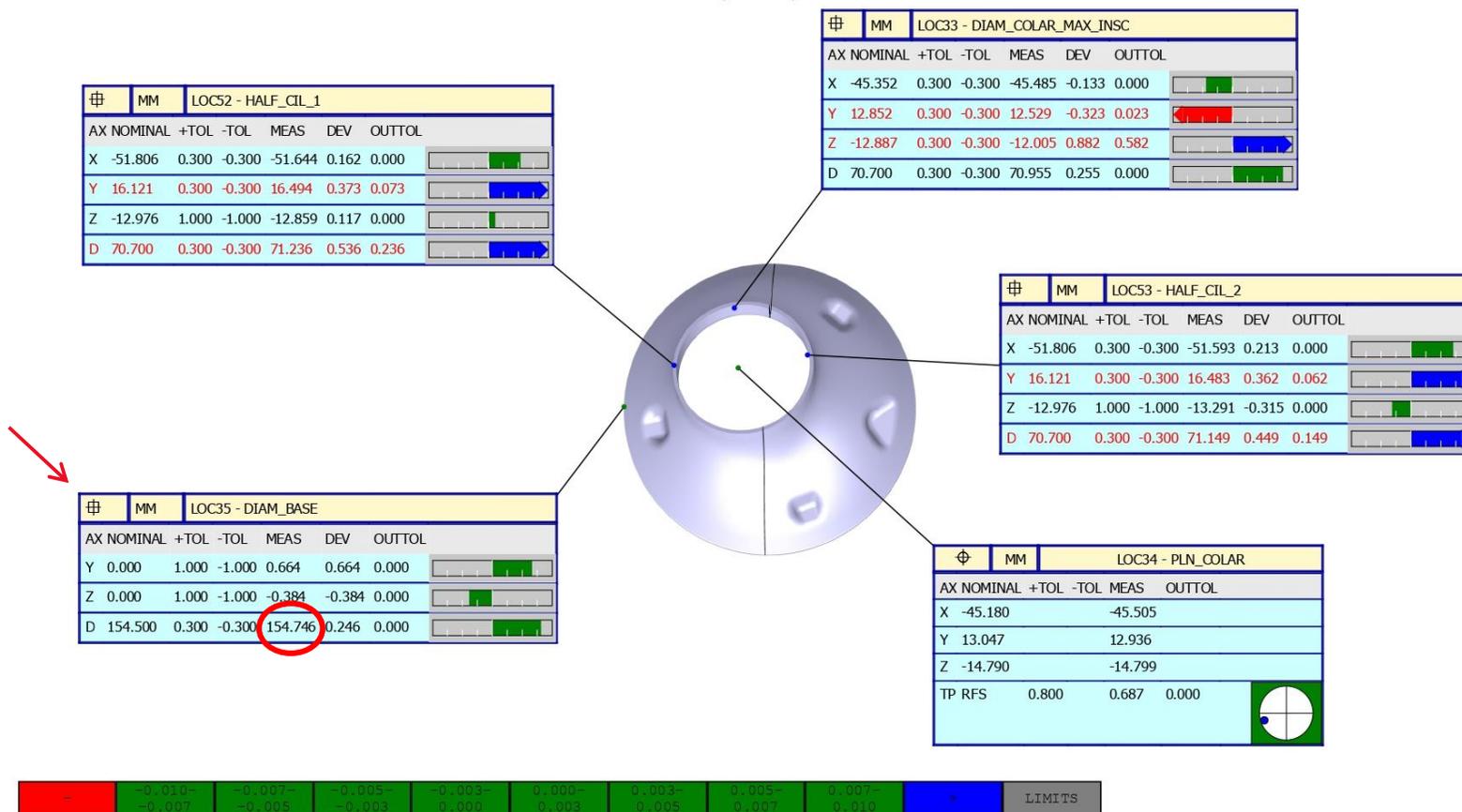
Collar measurements (collar plan and collar diameter by two methods) and base trimming position)



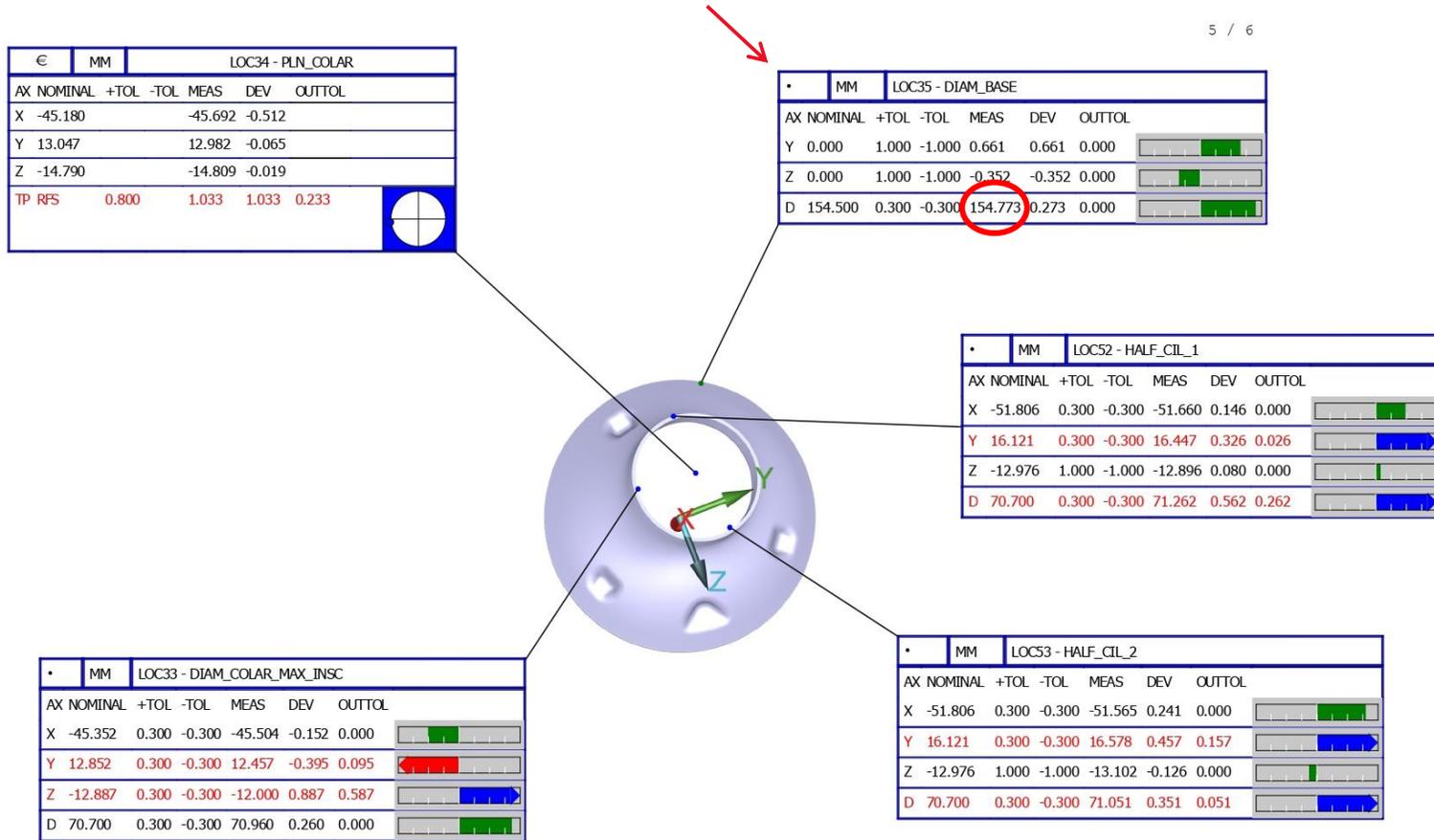
Ordem 1705 \_ primeira peça recolhida

 	1779061X			
	NUM. SERIE			
	REVISÃO			
			5 / 6	

Collar measurements (collar plan and collar diameter by two methods) and base trimming position)



Ordem 1705\_ última peça recolhida



-	0.010	0.007	0.005	0.003	0.000	0.003	0.005	0.007	0.010	+	LIMITS
	-0.007	-0.005	-0.003	0.000	0.003	0.005	0.007	0.010			

Ordem 1831\_ primeira peça  
recolhida

€	MM	LOC34 - PLN_COLAR				
AX NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	-45.180		-45.623	-0.443		
Y	13.047		12.945	-0.102		
Z	-14.790		-14.801	-0.011		
TP RFS	0.800		0.910	0.910	0.110	

•	MM	LOC35 - DIAM_BASE				
AX NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
Y	0.000	1.000	-1.000	0.573	0.000	
Z	0.000	1.000	-1.000	-0.279	-0.279	
D	154.500	0.300	-0.300	154.676	0.176	

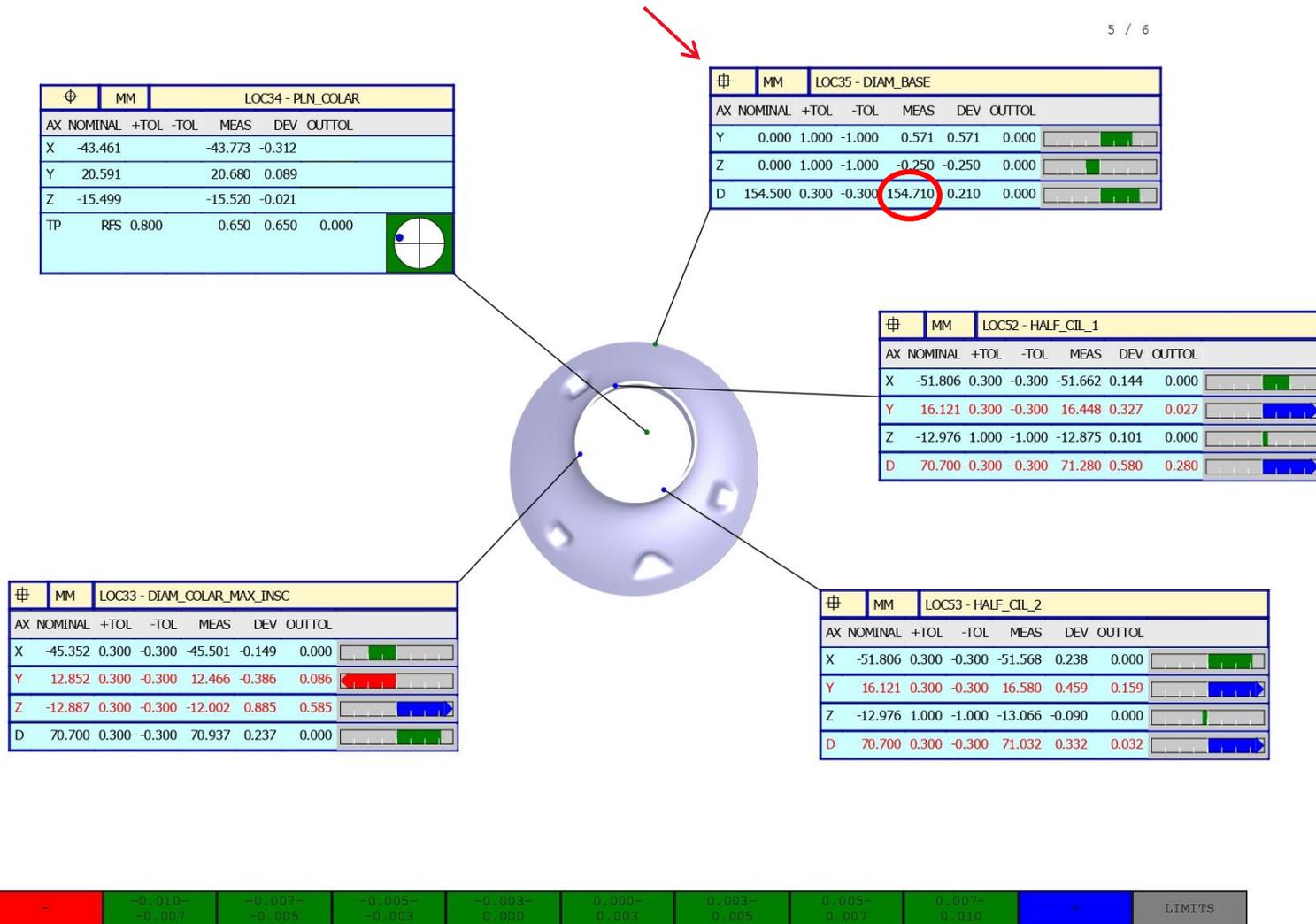
•	MM	LOC52 - HALF_CIL_1				
AX NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	-51.806	0.300	-0.300	-51.622	0.184	
Y	16.121	0.300	-0.300	16.518	0.397	
Z	-12.976	1.000	-1.000	-12.914	0.062	
D	70.700	0.300	-0.300	71.222	0.522	

•	MM	LOC33 - DIAM_COLAR_MAX_INSC				
AX NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	-45.352	0.300	-0.300	-45.497	-0.144	
Y	12.852	0.300	-0.300	12.485	-0.367	
Z	-12.887	0.300	-0.300	-12.006	0.881	
D	70.700	0.300	-0.300	70.969	0.269	

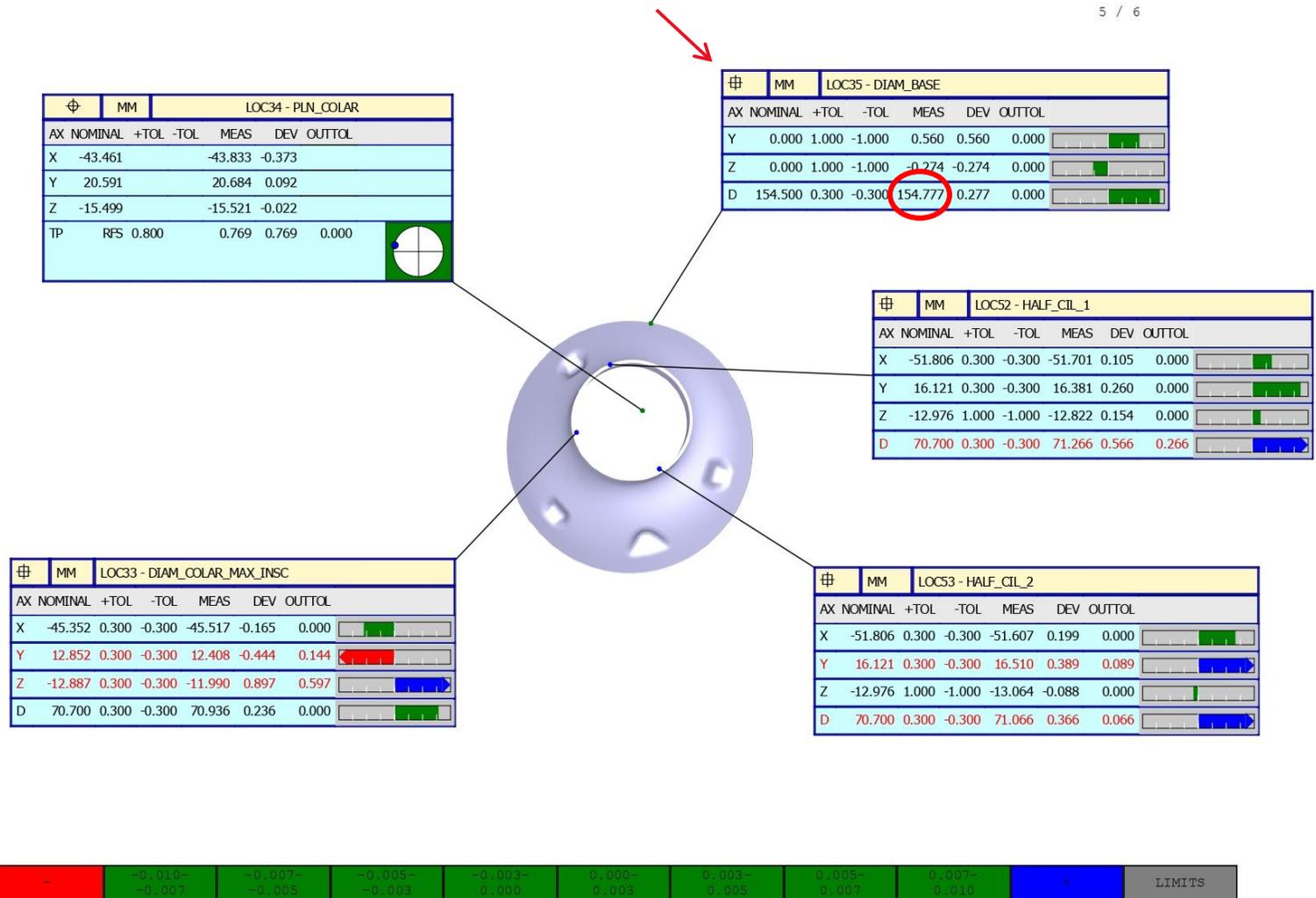
•	MM	LOC53 - HALF_CIL_2				
AX NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	-51.806	0.300	-0.300	-51.516	0.290	
Y	16.121	0.300	-0.300	16.660	0.539	
Z	-12.976	1.000	-1.000	-13.128	-0.152	
D	70.700	0.300	-0.300	70.934	0.234	

-	-0.010	-0.007	-0.005	-0.003	0.000	0.003	0.005	0.007	0.010	+	LIMITS
---	--------	--------	--------	--------	-------	-------	-------	-------	-------	---	--------

Ordem 1831\_ última peça recolhida

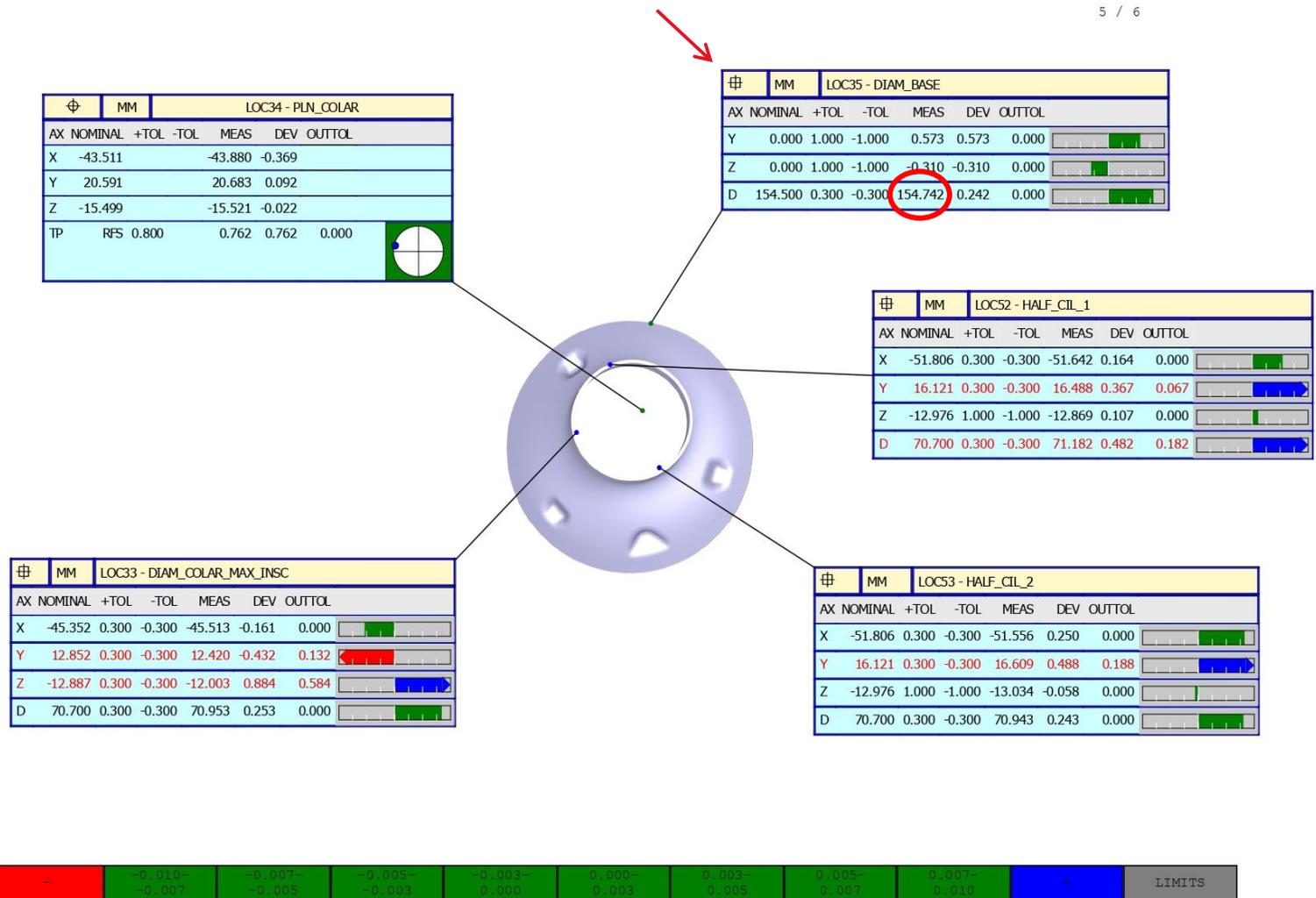


Ordem 1984\_ primeira peça  
recolhida



Ordem 1984\_ última peça recolhida





Ordem 2023\_ última peça  
recolhida