Desenho e Implementação de um método de controlo estatístico de processo

João Tiago da Silva Moreira Monteiro

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Maria Henriqueta Sampaio da Nóvoa

Orientador na Empresa: Eng.º Daniel Machado

U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão

2016-07-04

"O que é defeito hoje pode ser qualidade amanhã"

Henry Fielding

Resumo

A Continental Mabor - Indústria de Pneus, S.A, com sede em Lousado, Vila Nova de Famalicão pertence ao grupo Continental, sendo considerada a fábrica mais eficiente do grupo. Para assegurar este patamar de excelência, a empresa procura continuamente melhorar os seus processos internos de produção, tendo em permanência diversos projetos de melhoria de qualidade de produto e eliminação de desperdícios a decorrer.

A presente dissertação surge no seguimento de um desses projetos de melhoria. A Continental Mabor pretendia recolher a informação necessária para avaliar e medir a capacidade do processo de fabrico de cunhas, um dos componentes cruciais para assegurar a boa adesão do pneu à jante do veículo. Resolver um dos problemas detetados no produto final (i.e., os pneus) era o objectivo último, bem como o de identificar e implementar um conjunto de melhorias que possibilitassem a redução de custos e o *scrap* gerado por este processo, melhorando o processo de produção de forma global.

Previamente a delinear uma metodologia para a resolução do problema, foi necessário estudar detalhadamente as metolodogias de melhoria mais utilizadas na atualidade, tais como a metodologia Lean e Six Sigma, avaliando as ferramentas e conceitos a utilizar em cada etapa.

Para o estudo do processo foi necessário selecionar os códigos reduzidos alvo de análise. Dentro da enorme diversidade de códigos reduzidos foram escolhidos o 125 e o 059, visto que eram dos códigos com maior produção e daqueles que se concluiu que geravam maior volume de *scrap*.

A metodologia utilizada para a análise inicial do processo baseou-se em três etapas principais: (1) a análise das cartas de controlo, para avaliar se o processo se encontrava em controlo estatístico, (2) a análise da capacidade do processo, através da avaliação dos diversos índices de capacidade de processo real e potencial, (3) a análise dos fatores de variação, através de análises ANOVA e dos gráficos de efeitos principais e de interação entre os fatores.

Os resultados obtidos nesta fase indicaram que o processo não se encontrava em controlo estatístico, impedindo conclusões válidas sobre a capacidade do processo efetiva. As análises ANOVA revelaram ser uma ferramenta estatística muito importante para avaliar da importância relativa dos vários fatores de variação presentes no processo, identificando potenciais áreas de melhoria.

Após a seleção das variáveis controláveis críticas do processo - a temperatura e as RPM -, a utilização de planeamento de experiências numa segunda fase possibilitou a obtenção dos parâmetros de máquina ótimos para a diminuição das variabilidade das características de qualidade em análise, i.e a largura e espessura da cunha. Implementou-se igualmente um novo método de autocontrolo das variáveis, que permite um trabalho contínuo da máquina e a diminuição do tempo do autocontrolo.

Os resultados obtidos após implementação de solução foram muito positivos e comprovaram a eficácia da metodologia empregue no desenvolvimento do projeto. De facto, conseguiu-se (1) reduzir efetivamente a variabilidade do processo, (2) criar um controlo mais rigoroso do processo, (3) criar um método de controlo mais confortável para os operadores e eficaz, e, finalmente, (4) reduzir os gastos associados à área de produção em estudo.

A implementação da solução e os bons resultados conseguidos no decorrer do projeto desencadearam um processo de melhoria global baseada na metodologia proposta, que se espera ser extensível a todas as máquinas do processo de fabrico de cunhas.

Design and Implementation of a statistical process control method

Abstract

Continental Mabor - Indústria de Pneus, S.A., based in Lousado, Vila Nova de Famalicão belongs to the Continental group and is considered the most efficient factory in the group. To ensure this level of excellence, the company continuously seeks to improve its internal production processes, and has many product quality improvement projects and waste disposal in progress.

This master thesis arises from one of those improvement projects. Continental Mabor intended to collect the information necessary for assessing and measuring the ability of the manufacturing process of APEX, one of the crucial components to ensure good adhesion of the tire to the vehicle wheel rim. To solve one of the problems detected in the final product (ie, the tires) was the ultimate goal, and to identify and implement a set of improvements that would enable the reduction of costs and the scrap generated by this process by improving the global production process.

Prior to outline a methodology for solving the problem, it was necessary to study in detail the improvement methodologies used nowadays, such as Lean and Six Sigma methodology, evaluating the tools and concepts to be used in each step.

To study the process, it was necessary to select the target codes for the analysis. Among the big diversity of the target codes the 125 target code and 059 target code were chosen, as they were the codes with higher production and concluded to take a huge part in the volume of scrap.

The methodology used for the initial analysis of the process was based on three main steps: (1) the analysis of control charts to assess whether the process was in statistical control, (2) the analysis of process capability by evaluating the various real and potential process capability indexes, (3) the analysis of the variation factors, through the ANOVA analysis and the main effects graphics and the graphics of the interaction between the factors.

The results of this phase indicated that the process was not in statistical control, preventing reliable conclusions about the effectiveness of the process. The ANOVA analysis showed to be a very important statistical tool for assessing the relative importance of the various factors of variation present in the process, identifying potential areas of improvement.

After the selection of the controllable critical process variables - temperature and RPM - the use of design of experiments was the second phase and made it possible to obtain the optimal machine parameters to reduce the variability of quality characteristics in the analysis, i.e. the width and thickness of the APEX. It also implemented a new method for the worker to control the variables, which allows the continuous working of the machine and decrease in the time spent to do the control.

The results obtained after the implementation of the solution were very positive and proved the effectiveness of the methodology used while working on the project. In fact, it was managed to (1) effectively reduce process variability, (2) create a more rigorous process control, (3) create a more comfortable and effective control method for operators, and finally (4) reduce the costs associated with the production of the studied area.

The implementation of the solution and the good results achieved during the project triggered a global improvement process based on the proposed methodology. It is expected to extend it to all machines in the manufacturing process of APEX.

Agradecimentos

À professora Henriqueta Nóvoa pela paciência, apoio e disponibilidade prestada no projeto, um sincero obrigado.

À Continental, em particular, ao meu orientador Daniel Machado e a todos os membros do Departamento de Qualidade pelo apoio prestado e conhecimento transmitido que me permitiu realizar o projeto nas melhores condições possíveis, um sincero obrigado.

A todos os meus amigos que comigo realizaram trabalhos, partilharam momentos e que fizeram da faculdade um percurso inesquecível, um enorme e profundo obrigado.

À minha família, à minha irmã e aos meus pais pela dedicação e apoio prestados e por tornarem este momento possível, um humilde obrigado.

Índice de Conteúdos

1 Introdução 1
1.1 Enquadramento do projeto e motivação 1
1.2 O Projeto na Continental Mabor 1
1.3 Objetivos do projeto 2
1.4 Metodologia 3
1.5 Estrutura da dissertação 3

2 Enquadramento Teórico 4
2.1 Evolução do conceito de Qualidade 4
2.2 Qualidade na indústria automóvel 5
2.3 Projetos de melhoria de Qualidade 5
2.3.1 Six Sigma 6
2.3.2 Metodologia DMAIC 8
2.3.3 Lean Six Sigma 10

3 Caraterização da situação atual 14
3.1 Composição de um pneu 14
3.2 Processo produtivo 16
3.2.1 Fabrico de cunhas 18
3.3 Descrição do problema 18
3.4 Análise do estado atual do processo nas APEX's 21
3.5 Síntese 37

4 Proposta de Solução 39
4.1 Planeamento de Experiências 39
4.2 Implementação de solução 44
4.3 Principais Resultados 46
4.4 Síntese 50

5 Conclusões e trabalhos futuros 51

Referências 55

ANEXO A: Diagrama de Pareto de causas de *scrap* código 030 56

ANEXO B: Teste de igualdade de variâncias 57

ANEXO C: Análise de pressupostos de DOE para largura 59

ANEXO D: Modelo inicial do DOE para a largura 60

ANEXO E: Análise de pressupostos de DOE para espessura 61

ANEXO F: Modelo inicial do DOE para a espessura 62

ANEXO G: Análise de pressupostos de DOE para peso 63

ANEXO H: Modelo inicial do DOE para o peso 64

ANEXO I: Diagrama de *spaghetti* 65

Siglas

DoE – *Design of experiments*(Desenho de experiências)
RPM – Rotações por minuto
DMAIC – *Define, Analyse, Measure, Improve and Control*
SIPOC – *Supplier, Input, Process, Output and Customer*
ANOVA – Analysis of variance
APEX – máquinas de construção de talões

Conceitos

Central – Sede da Continental em Hannover

Índice de Figuras

Figura 1- Metodologia DMAIC (fonte: adaptado (Pyzdek and Keller 2014)) 9

Figura 2- Gráfico de comparação das três filosofias (fonte: adaptado (Arnheiter and Maleyeff 2005)) 12

Figura 3- Modelo conceptual para Lean Six Sigma (fonte: adaptado (Clegg, Pepper, and Spedding 2010)) 13

Figura 4- Representação do *camada interna* no pneu e vista de secção 14

Figura 5- Representação da tela têxtil no pneu e a sua vista de secção 14

Figura 6- Representação do núcleo de talão no pneu e a sua vista de secção 15

Figura 7- Representação da cunha no pneu e a sua vista de secção 15

Figura 8- Representação do reforço de talão no pneu e a sua vista de secção 15

Figura 9- Representação da parede lateral no pneu e a sua vista de secção 15

Figura 10- Representação do breaker no pneu e a sua vista de secção 16

Figura 11- Representação do cap ply no pneu e a sua vista de secção 16

Figura 12- Representação do piso no pneu e a sua vista de secção 16

Figura 13- Vista macro das fases de construção do pneu 17

Figura 14- Representação de uma máquina APEX 18

Figura 15- Exemplo de uma bolha entre camadas no pneu 19

Figura 16- Pareto de percentagem de scrap gerado por perfil com o composto A205 20

Figura 17- Pareto de percentagem de scrap gerado por perfil com o composto A268 20

Figura 18- SIPOC do processo de fabrico de talão 21

Figura 19- Representação das variáveis largura e espessura numa cunha 22

Figura 20- Carta de controlo x-R e análise de capacidade para a largura do código reduzido 125 24

Figura 21- Tabela ANOVA para análise de variância da largura do código reduzido 125 25

Figura 22- Gráficos de efeitos principais e de interação para a largura do código reduzido 125 25

Figura 23- Carta de controlo x-R para subgrupo de N=6 para a largura do código reduzido 125 26

Figura 24- Comparação de diferentes tipos de agrupamento 27

Figura 25-Carta de controlo x-R e análise de capacidade para a espessura do código reduzido 125 27

Figura 26-Tabela ANOVA para análise de variância da espessura do código reduzido 125 .. 28

Figura 27-Gráficos de efeitos principais e de interação para a espessura do código reduzido 125 29

Figura 28- Carta de controlo I-AM e análise de capacidade para o peso do código reduzido 125 29

Figura 29- Tabela ANOVA para análise de variância do peso do código reduzido 125 30

Figura 30- Gráficos de efeitos principais e de interação para o peso do código reduzido 125 31

Figura 31- Carta de controlo x-R e análise de capacidade para a largura do código reduzido 059 31
Figura 32- Tabela ANOVA para análise de variância da largura do código reduzido 059 32
Figura 33- Gráficos de efeitos principais e de interação para a largura do código reduzido 059 33
Figura 34- Carta de controlo x-R para subgrupo de N=6 para a largura do código reduzido 059 33
Figura 35- Carta de controlo x-R e análise de capacidade para a espessura do código reduzido 059 34
Figura 36- Tabela ANOVA para análise de variância da espessura do código reduzido 059 . 35
Figura 37- Gráficos de efeitos principais e de interação para a espessura do código reduzido 059 35
Figura 38- Carta de controlo I-AM e análise de capacidade para o peso do código reduzido 059 36
Figura 39- Tabela ANOVA para análise de variância do peso do código reduzido 059 37
Figura 40- Gráficos de efeitos principais e de interação para o peso do código reduzido 059 37
Figura 41- Modelo de fabrico de cunhas 39
Figura 42- Análise modelo fatorial para a largura com RPM e temperatura como fatores 41
Figura 43- Análise modelo fatorial para a espessura com RPM e blocos como fatores 42
Figura 44- Análise modelo fatorial para o peso com RPM como fator 43
Figura 45- Gráfico obtido através do *response optimizer* 44
Figura 46- Folha do *Job Breakdown* do método autocontrolo atual 45
Figura 47- Novo método de autocontrolo proposto 46
Figura 48- Carta de controlo para a largura após implementação da solução 47
Figura 49- Carta de controlo para a espessura após implementação da solução 48
Figura 50- Carta de controlo para o peso após implementação da solução 49

Índice de Tabelas

Tabela 1- Resumo da filosofia Six Sigma (fonte: adaptado (Pacheco et al. 2015)) 8

Tabela 2- Sinergias da combinação de Six Sigma com Lean (fonte: adaptado (Pacheco et al. 2015)) 11

Tabela 3- Tabela de especificação das características de cunha para os códigos reduzidos 125 e 059 23

Tabela 4- Tabela de recolha de dados para DOE 40

Tabela 5- Variação no desvio padrão do processo após implementação de melhoria 50

Tabela 6- Resultados obtidos para cada uma das variáveis de análise para o código reduzido 125 52

Tabela 7- Resultados obtidos para cada uma das variáveis de análise para o código reduzido 059 52

Tabela 8- Fatores de variação estatisticamente significativos 52

Tabela 9- Comparação da situação inicial com a o estado do processo após implementação . 53

1 Introdução

No âmbito da dissertação realizada no 2º semestre do 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão, o presente projeto foi desenvolvido na Continental Mabor – Indústria de Pneus, S.A.. De forma breve, o objetivo essencial do trabalho consistiu no controlo estatístico do processo de fabrico de cunhas e na avaliação e melhoria da sua capacidade.

Este capítulo começar-se-á por um breve enquadramento do projeto e a motivação do mesmo. Depois será feita uma apresentação da empresa e do contexto do projeto. Nos subcapítulos seguintes são descritos os objetivos do projeto e a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho na empresa. Finalmente, é descrita a estrutura da presente dissertação.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

A indústria automóvel é um sector muito exigente, procurando continuamente otimizar os seus processos de modo a garantir a qualidade exigida pelo mercado e a melhorar os seus índices de eficiência de processos.

A Continental Mabor prima por uma maior eficiência da sua fábrica dentro do grupo Continental, sendo continuamente reconhecida como a melhor fábrica do grupo. Assim, a empresa recorre continuamente a projetos de análise e otimização dos seus sistemas de produção, visando eliminar as imperfeições nos seus produtos e identificar possíveis áreas de melhoria. Isto é, a Continental Mabor procura diminuir ao máximo o nível de *scrap* gerado no final da cadeia de produção, isto é, o número de pneus vulcanizados que são designados como *scrap* pelos operadores na inspeção final.

Este projeto de dissertação surge neste contexto, sendo o resultado de um problema recorrente de imperfeições encontradas nos pneus, i.e. uma bolha de ar entre elementos do pneu, que se detetou ter como origem um dos componentes do processo de fabrico do pneu. Assim, com o intuito de resolver este problema, o departamento de Qualidade ficou responsável por fazer uma análise detalhada ao processo e definir um método de controlo sobre o mesmo.

1.2 O Projeto na Continental Mabor

A Continental Mabor nasceu em 1989 através de uma *joint venture* entre as empresas mundial Continental AG. e nacional Mabor como uma empresa ligada ao sector de pneumáticos. A sua sede é em Lousado, concelho de Vila Nova de Famalicão. Nesta altura, a sua produção anual rondava o milhão de pneus.

A Continental AG. foi fundada em Hannover em 1871, sendo à época uma organização de construção de produtos de borracha flexível e pneus maciços para carruagens e bicicletas. Poucos anos depois iniciou a produção de pneus lisos para automóveis, sendo atualmente reconhecida em todo o mundo. Com a aquisição da Siemens VDO Automative AG, a

Continental entra para o top 5 das maiores fornecedores mundiais da indústria automóvel e reforça a sua posição nos vários continentes.

A Mabor – Manufatura Nacional de Borracha, S.A., foi a primeira fábrica de pneumáticos de Portugal. Foi fundada em 1946, com assistência técnica prestada pela General Tire, Cº, de Ohio (E.U.A.). Em 1990, o programa de reestruturação implementado transformou as antigas instalações da Mabor na mais moderna entre as 21 unidades do grupo Continental. Em apenas 6 anos, a produção mais que quadruplicou, passando de 5000 pneus diários para 21000 pneus/dia. Atualmente, a fábrica em Lousado, tal como é reconhecida no grupo, tem capacidade para produzir cerca de 56000 pneus diários, continuando com o momento de expansão iniciado na década de 90. Desta forma, apresenta-se como uma das duas fábricas no grupo com os melhores índices de produtividade.

De realçar que a empresa dispõe de cerca de 1800 colaboradores distribuídos pelos 3 turnos que compõem o dia de produção.

A produção está repartida por dois mercados: o mercado O.E. (*Original Equipment*), onde os pneus são transportados para as linhas de montagem das mais reconhecidas fábricas de produção automóvel, e o mercado M.S. (mercado de substituição), em que os principais clientes são as oficinas de automóveis. Cerca de 98% da produção é exportada e mais de metade da produção é absorvida por clientes M.S..

Com uma estrutura organizacional funcional, a Continental Mabor é constituída por 11 departamentos, sendo que este trabalho foi proposto pelo Departamento de Qualidade.

O Departamento de Qualidade divide-se em 4 áreas: Laboratório e Processos; Produto e Processos, onde o presente projeto se enquadra; Uniformidade e, finalmente, Sistemas, Clientes e Melhoria Contínua.

A Direção da Qualidade é responsável pela organização e verificação de que o Sistema de Gestão da Qualidade está implementado e é operacional. Mais especificamente, a área de Produto e Processos tem as seguintes principais funções:

- Monitorizar os processos nas áreas de preparação, construção e vulcanização;
- Participar e dinamizar os diferentes grupos de análise de problemas e melhoria contínua dos produtos e processos de fabrico;
- Realizar o planeamento de Qualidade;
- Desenvolver programas de controlo estatístico do processo;
- Elaborar planos de controlo da empresa e garantir a sua execução.

O projeto insere-se na função de desenvolvimento de programas de controlo estatístico do processo e elaboração de planos de controlo; contudo, nesta última vertente ir-se-á somente reavaliar e ajustar o plano de controlo existente. Na próxima secção serão descritos os principais objetivos deste trabalho e os resultados esperados.

1.3 Objetivos do projeto

Já estando completamente definido o processo de fabrico de cunhas como sendo o foco do projeto, foram definidos os seguintes objetivos principais:

- Medição da capacidade atual do processo;
- Definição dos fatores críticos de variação do processo;
- Redefinição e validação do plano de controlo associado ao processo.

Os objetivos acima referidos representam, de uma forma geral, o objetivo fulcral do projeto. Já numa fase posterior desenvolveram-se metas mais específicas e mensuráveis, que se traduzirem em:

- Medir os índices de capacidade real e potencial atual das variáveis em análise (largura, espessura e peso) após o processo de extrusão;
- Descobrir a contribuição de cada fator (operador, temperatura e velocidade) no processo de fabrico de cunha e definir qual/quais os mais críticos;
- Revisão do método do autocontrolo usado atualmente pelos operadores;
- Testar e validar os fatores definidos como chave;
- Definir e testar o novo método de controlo de processo.

1.4 Metodologia

Os pontos seguintes resumem a metodologia adotada no desenvolvimento do projeto que foi baseada em conceitos e metodologias estudadas previamente à realização do projeto e que serão explicadas no capitulo seguinte:

1. Identificar as causas do problema associado à existência de bolhas no pneu;
2. Identificado as causas da imperfeição, realizou-se um estudo para reconhecer quais os perfis que mais contribuíam para o desperdício;
3. Fazer uma análise global do processo em estudo;
4. Planear o estudo do processo;
   4.1. Identificar os códigos reduzidos a analisar;
   4.2. Documentar as suas especificações;
   4.3. Dimensionar a amostra;
5. Recolher os dados para análise;
6. Analisar os dados através de cartas de controlo e análise de capacidade do processo;
7. Após identificar os fatores de variação, foi realizado um planeamento de experiências para otimizar os parâmetros;
8. Remodelar o processo de controlo das variáveis de modo a diminuir o tempo para realização do autocontrolo e deslocação dos operadores;
9. Implementação dos valores dos parâmetros obtidos através do desenho de experiências;
10. Repetir o processo de análise feito inicialmente para documentar as melhorias;
11. Finalmente, foram registadas as conclusões.

1.5 Estrutura da dissertação

Os próximos capítulos da presente dissertação encontram-se estruturados da seguinte forma.

No Capítulo 2 são introduzidos e explicados os conceitos e metodologias usadas no desenrolar deste projeto.

No Capítulo 3 é feita uma descrição detalhada do problema e da situação inicial do processo em estudo, com uma breve explicação do processo produtivo da empresa, de leitura necessária para um melhor entendimento do processo em questão.

No Capítulo 4 são descritas as soluções propostas para a resolução dos problemas e discutidos os resultados obtidos após implementação da melhoria.

Finalmente, no Capítulo 5 é feita uma reflexão sobre as principais conclusões, bem como sugestão de trabalhos futuros.

2 Enquadramento Teórico

Neste capítulo são revistos os fundamentos teóricos, bem como as metodologias aplicadas durante o desenvolvimento do projeto. Assim, após uma breve introdução à evolução do conceito de qualidade com particular incidência na indústria automóvel, apresentam-se de forma sucinta as metodologias mais recentes utilizadas em projetos de melhoria da qualidade.

2.1 Evolução do conceito de Qualidade

A qualidade sempre foi uma característica inerente a todos os processos e produtos. Contudo, a perceção e compreensão de todas as suas dimensões tem evoluído ao longo do tempo (Montgomery 2009).

As primeiras abordagens para a melhoria da qualidade surgiram com a Revolução Industrial com o intuito de controlar os atributos dos produtos e dos processos. No princípio desta era, as organizações inspecionavam os produtos a 100%, isto é, todos os produtos que saíam da linha de fabrico eram controlados. Consequentemente, as fábricas empregavam muitos inspetores e supervisores para tentar reduzir o tempo de ciclo de produção (Juran 1995). A introdução da produção em massa, alimentada pela implementação de sistemas de promoção à produtividade, obrigou a garantia da qualidade numa fase mais prematura na cadeia de produção. Assim, as organizações desviaram o foco da garantia de qualidade do produto final, para o controlo de qualidade nos processos que constituem a linha de fabrico. Aliado a esta nova abordagem, Walter A. Shewart desenvolveu em 1924 as cartas de controlo, uma nova técnica estatística para análise da variabilidade dos processos, sendo este período sinalizado por muitos autores como o início formal do controlo estatístico do processo. Este período é caracterizado pela utilização de técnicas de amostragem e métodos estatísticos para análise e controlo da variação dos processos (Montgomery 2009) promovendo a melhoria de qualidade, tanto no produto como no processo.

Todavia, muitos inspetores e supervisores preocupavam-se mais com a razão pela qual o operador deixava passar o produto com qualidade insuficiente em vez de se preocuparem com o porquê de ele o fazer assim (Juran 1995). De modo a responder a esta última questão, emergiu na década de 70 uma nova mentalidade no Japão, com gestores e supervisores mais preocupados com o modo de fabrico dos produtos: foram os primeiros passos da filosofia de Gestão da Qualidade Total. Nesta época a formação dos operadores passou a ter enorme relevância como forma de assegurar não só a qualidade nos processos, mas também a qualidade no método de trabalho dos operadores. Esta revolução serviu de base para as metodologias/filosofias de melhoria contínua e da redução significativa de defeitos ainda em utilização na atualidade, tais como a filosofia Kaizen (que significa melhoria contínua) e a metodologia Six Sigma, onde o foco está na diminuição/eliminação de variabilidade no processo produtivo.

A crescente exigência e importância da qualidade na indústria fez com que as organizações a utilizassem como estratégia de negócio para se diferenciar ativamente dos seus competidores, passando de um nível operacional para um nível organizacional.

A contínua evolução dos requisitos, necessidades, mentalidade e perceção sobre o produto não permite que haja uma definição consensual sobre o conceito de qualidade. Assim, a designação do que é qualidade num produto ou serviço adapta-se ao tipo de indústria/sector, aos seus clientes e ao contexto.

2.2 Qualidade na indústria automóvel

A palavra qualidade adquiriu um novo significado no sector automóvel nos últimos anos. Qualidade não é simplesmente um resultado estatístico livre de defeitos ou uma medida de aptidão; o seu significado é mais amplo e envolve os sentimentos pessoais que o consumidor tem sobre o produto e sobre a organização que o oferece (Juran and Godfrey 1999).

A definição de qualidade engloba várias dimensões tais como a performance do produto, conforto, compatibilidade ambiental e acessibilidade, acrescentando outros elementos, tais como a "qualidade de produção", relacionada com a capacidade do construtor de produzir constantemente melhor e a qualidade (*ownership*) aliada à satisfação do cliente. Assim, procurando elevar o nível de qualidade e a percepção da mesma pelos clientes, a indústria automóvel começou a antecipar as necessidades dos clientes e a intensificar as relações com os fornecedores como medida de melhoria de qualidade futura. O nível de relação introduzido por esta nova mentalidade é crucial para o aumento da qualidade, visto que permite formar objetivos comuns, impulsionados por um novo patamar de confiança entre as partes.

De modo a englobar as vantagens desta nova abordagem e relacioná-las com a qualidade no produto e no processo, Juran estabeleceu três dimensões neste conceito de qualidade, específicas para a indústria automóvel (Juran and Godfrey 1999):

"Qualidade no produto": é a capacidade geral do produto de atuar dentro dos requisitos/especificações. Esta dimensão reflete as características associadas ao produto e que o cliente espera obter na utilização do mesmo. Suavidade e ciclo de vida do pneu são exemplos de características de qualidade que estão no domínio desta dimensão.

"Qualidade na produção": é a capacidade de produzir de uma forma consistente ao longo do tempo, para além dos objetivos de volume e custo. Esta dimensão encontra-se dividida em quatro funções que permitem avaliar a qualidade: (1) a qualidade na produção, medida pelo número de peças defeituosas por milhão, (2) a qualidade operacional, isto é, a capacidade da empresa em introduzir novos modelos e o grau de flexibilidade possível mantendo a consistência, (3) a eficiência da produção é a terceira e a mais crítica para manter a qualidade com o aumento de volume de produção, e (4) os custos suportados para a atividade normal da empresa, um aspeto fundamental, já que uma fábrica tem de ser capaz de produzir a um custo acessível que permita ter lucro com a venda do produto.

"Qualidade (*ownership*)": é a capacidade de satisfazer o cliente durante o ciclo de vida do produto. Esta dimensão surge como a menos compreendida e a mais crucial dentro deste grupo. Ela está dividida em três funções: *ownership*, o custo de *ownership* e o valor psicológico do produto. Estas funções refletem o prazer e o orgulho que o consumidor obteve do produto durante o seu ciclo de vida e os custos de qualidade inerentes ao produto, tais como o número de reparações durante o seu uso, preço de revenda, entre outros.

2.3 Projetos de melhoria de Qualidade

A crescente exigência de qualidade nos produtos e processos e a grande competitividade do sector automóvel obriga as empresas a recorrer sucessivamente a projetos de melhoria de qualidade, como forma de assegurar o seu posicionamento estratégico. Estes tipos de projetos requerem normalmente a presença de vários responsáveis e uma distribuição racional de responsabilidades como garante de sucesso. Um incentivo à prática de planeamentos de

melhoria de qualidade é o valor do ROI (*Return on Investement*) que se apresenta atrativo, dado o baixo grau de investimento necessário para a sua implementação.

A sequência adotada é universal qualquer que seja a metodologia escolhida, dividindo-se tipicamente em duas grandes fases: o diagnóstico e a resolução (Juran and Godfrey 1999).

Na fase inicial, é realizada uma análise aos sintomas crónicos do problema de qualidade do produto em análise. O estudo de relatórios de causas de erro é uma das formas mais comuns de análise nesta fase. A precisão e o rigor dos factos e dados recolhidos nesta fase é de extrema importância, visto que o caminho a traçar nas fases seguintes implica uma total compreensão dos sintomas do problema.

O passo seguinte foca-se na formação de teorias sobre as razões das causas de variabilidade entretanto identificadas. Esta fase é caracterizada pela realização intensiva de reuniões de *brainstorming*, uma das formas mais eficazes de identificar rapidamente as causas-raiz dos problemas. Uma outra ferramenta de análise muito usada nesta fase é o diagrama de Ishikawa, diagrama que divide o problema em análise em função das possíveis causas identificadas pela equipa do projeto, classificadas tipicamente em 6 classes (os 6M): Meio ambiente, Medição, Mão-de-obra, Máquina, Material e Método. Naturalmente, após uma definição das prováveis causas do problema e elaboradas propostas para estudo das mesmas, a etapa seguinte será a formulação de testes para comprovar a recorrência das causas. É nesta fase que tipicamente se aplicam ferramentas estatísticas, tais como análises de capacidade de processo, cartas de controlo, entre outras.

Tendo identificado as causas-raiz recorrentes do problema, a etapa de implementação de soluções inicia-se com a remoção das mesmas, primeiro a uma escala diminuta e, no caso de verificação da melhoria, alargando o plano definido à totalidade do processo. Nesta fase é aconselhável efetuar-se uma análise de custo-benefício da solução encontrada, de modo a melhor compreender se os ganhos gerados pela eliminação das prováveis causas superam os eventuais custos suportados para a sua remoção.

Finalmente, visando assegurar o futuro da implementação do plano de melhoria, é crucial elaborar novos planos de controlo para garantir o sucesso do projeto e identificar novas janelas de oportunidade para melhorar ainda mais o processo. Esta etapa final promove a filosofia de melhoria contínua do processo, para além de verificar que os ganhos do novo método para o processo se perpetuam.

Atualmente existem várias metodologias de melhoria contínua que são utilizadas recorrentemente pelas organizações para elevarem o seu patamar de qualidade: a metodologia Six Sigma e Lean Six Sigma destacam-se como as mais utilizadas, sendo objeto de uma análise mais cuidada nos pontos seguintes.

2.3.1 Six Sigma

Uma das abordagens mais reconhecidas e frequentemente utilizadas para projetos de melhoria de qualidade é a filosofia Six Sigma. O Six Sigma é uma implementação altamente eficaz, focada e rigorosa de princípios e técnicas de qualidade (Juran and Godfrey 1999). O Six Sigma foi desenvolvido por Bill Smith na Motorola, tendo atingido grande popularidade após a implementação em larga escala na General Electrics (Clegg, Pepper, and Spedding 2010). O principal objetivo desta metodologia é reduzir drasticamente a variabilidade do processo. A palavra sigma refere-se à letra grega σ, que, em Estatística, é a sigla usada para o desvio padrão de uma população. Assim, o termo Six Sigma refere-se a uma medida estatística de taxa de defeitos num sistema (Clegg, Pepper, and Spedding 2010). A metodologia Six Sigma pode ser definida como uma abordagem baseada em dados para resolver problemas complexos através da identificação das causas-raiz, da solução e do controlo estatístico da

solução (Pacheco et al. 2015). É essencial que o Six Sigma não seja visto como apenas uma abordagem científica, mas também como uma cultura a implementar nas organizações.

Atualmente, esta abordagem é também vista como uma iniciativa estratégica que visa aumentar a rentabilidade e melhorar a satisfação dos clientes, através de uma produção mais eficiente e com menos custos de qualidade. Para além disso, também ambiciona eliminar os desperdícios e aumentar a eficiência/eficácia dos trabalhos operacionais (Desai and Shrivastava 2008).

Reconhecendo todas as vantagens da sua implementação, as organizações tentam explorar todas as suas capacidades para beneficiar o máximo da aplicação da metodologia Six Sigma. Com a crescente prática desta metodologia a uma escala global, as empresas são cada vez mais competitivas e exigentes, diminuindo a margem para o erro e tornando-se mais eficientes, repensando estratégias e culturas.

A filosofia de Six Sigma tem por base a aplicação de um método científico para a resolução de problemas, composto pelas seguintes fases (Pyzdek and Keller 2014):

1. Observar e identificar as causas possíveis do problema;
2. Desenvolver uma hipótese consistente com as observações;
3. Fazer previsões baseadas na hipótese formulada;
4. Testar as previsões através de experiências. Guardar as observações e analisá-las recorrendo a ferramentas de análise estatística. Modificar a hipótese com base em novos factos descobertos;
5. Repetir os passos 3 e 4 até não existirem discrepâncias entre a hipótese e os resultados obtidos nas experiências.

Este método requer a atenção de todos os interessados na organização, dado que a implementação do Six Sigma é transversal a toda a empresa. O Six Sigma utiliza duas metodologias para melhoria do processo: a metodologia DMAIC, aplicada em processos existentes, e a metodologia DMADV para processos não existentes. Estas metodologias seguem o método científico descrito previamente.

Todavia, só a aplicação do método não é suficiente. A colaboração de todas as hierarquias é fundamental para garantir a eficácia do plano de implementação, apesar de nem todos terem o conhecimento e certificação necessários para poder implementar os conceitos inerentes à metodologia.

Consequentemente, as organizações têm despendido cada vez mais tempo na implementação desta filosofia, dado o grau de dificuldade em garantir que todos os intervenientes concordem com os passos a tomar e que se responsabilizem pela sua função.

Visando estabelecer um programa Six Sigma com sucesso, vários estudos foram analisados para descobrir quais os requisitos essenciais para a sua eficaz introdução. Assim, identificaram-se os seguintes requisitos para uma implementação com sucesso (Pyzdek and Keller 2014):

1. Liderança de topo - os líderes devem cultivar um ambiente onde a inovação e a criatividade possa florescer. Para tal, é necessário reduzir o nível de hierarquias, remover barreiras à experiência e mudança, bem como a revisão de outras medidas que permitam tentar novas ideias sem medo ou represálias;
2. Desenvolvimento de métodos rigorosos para obtenção e avaliação de informação proveniente de clientes, operadores e fornecedores. Identificação de obstáculos culturais, políticos ou procedimentos que impeçam o sucesso;
3. Avaliar a necessidade de treino. Todos os funcionários devem possuir a educação mínima ao nível da literacia e numeracia;

4. Desenvolvimento de uma estrutura que promova a melhoria contínua juntamente com um sistema de indicadores para monitorizar o progresso e sucesso do programa;
5. Os processos para desenvolvimento devem ser escolhidos pela direção e por pessoas que tenham o conhecimento profundo do processo a todos os níveis da organização.

Apesar de a abordagem parecer simples, não é de todo fácil. Contudo, os resultados obtidos por inúmeras aplicações no passado justificam o esforço necessário. A implementação do programa Six Sigma tem apresentado melhoria de performance muito significativas ao nível financeiro, operacional e satisfação dos clientes.

A Tabela 1 resume a filosofia Six Sigma em vários parâmetros, desde a origem até aos efeitos da sua implementação.

Tabela 1- Resumo da filosofia Six Sigma (fonte: adaptado (Pacheco et al. 2015))

Parâmetros	**Six Sigma**
Origem	A evolução da qualidade no Japão e na Motorola
Teoria	Zero defeitos
Visão do processo	Reduzir variabilidade e melhorar processo
Abordagem	Gestão de projeto
Metodologia	DMAIC / DMADV
Ferramentas	Ferramentas analíticas e estatísticas avançadas
Efeito(s) primário(s)	Reduzir custos
Efeito(s) secundário(s)	Alcançar objetivos de negócio e melhorar performance financeira

2.3.2 Metodologia DMAIC

A metodologia DMAIC faz parte integral da filosofia Six Sigma, sendo uma metodologia muito utilizada para conduzir projetos de melhoria de qualidade, servindo de base para desenvolver o projeto nas suas várias fases e medindo o progresso em cada etapa do processo, face aos objetivos previamente definidos. Para além disso, o processo DMAIC é um circuito fechado que tenta eliminar etapas não produtivas, focando-se em novas medições e aplicando técnicas de melhoria contínua (Kwak and Anbari 2006). A sigla DMAIC refere-se às cinco fases que constituem a metodologia: *Define*, *Measure*, *Analyse*, *Improve* e *Control*. Na Figura 1 é esquematizado o raciocínio do método e seguidamente descrever-se-á com maior detalhe as tarefas incluídas em cada etapa.

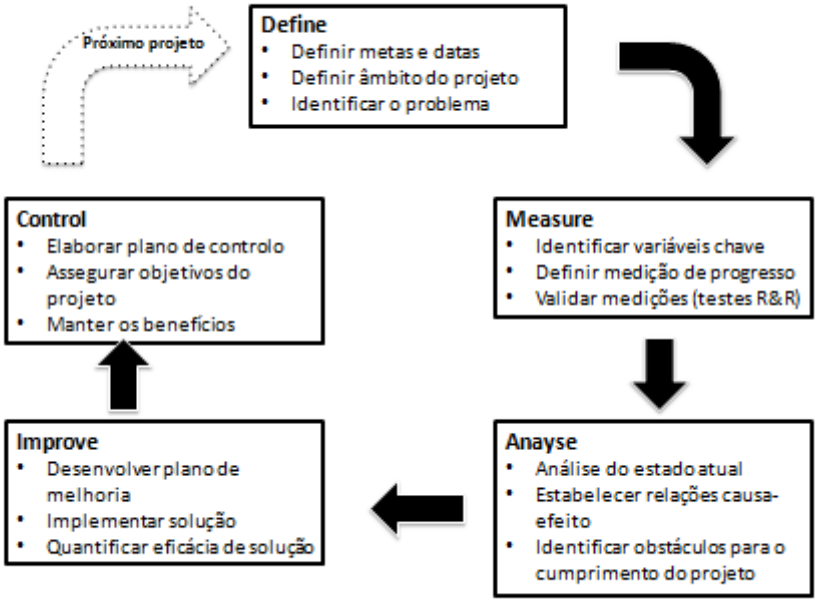

Figura 1- Metodologia DMAIC (fonte: adaptado (Pyzdek and Keller 2014))

***Define*:**

Nesta etapa são definidos mais detalhadamente os objetivos pretendidos com o projeto de melhoria e os benefícios que se pensa conseguir com a realização do projeto, tanto para o cliente como para a organização. É também nesta fase que é efetuada a atribuição de responsabilidades na equipa do projeto, especificando metas e datas para o programa e se identificam os indicadores CTQ (*Critical To Quality*), isto é, os indicadores críticos para a qualidade, alvo de estudo e análise nas fases subsequentes.

***Measure*:**

A fase de medição tem como propósito a obtenção dos dados necessários para se proceder à análise das observações. Consequentemente, é nesta etapa que se identificam as variáveis cruciais para o processo em estudo através de ferramentas como o diagrama de Pareto ou histogramas, ferramentas que permitem uma avaliação imediata do estado recente do processo e a identificação de problemas recorrentes. Adicionalmente, desenvolvem-se sistemas de medição apropriados para uma recolha eficiente de informação.

Nesta etapa é também importante garantir que o sistema de medição adotado é eficaz e reflete de forma precisa o estado atual do processo. Nesse sentido, são realizados teste de R&R, isto é, testes de reprodutibilidade e repetibilidade, testes que têm o objetivo de analisar a variabilidade induzida na medição pelo próprio sistema, comparando-a com a variação total da amostra. A repetibilidade reflete a variação nas medições de um operador/instrumento num produto, com as mesmas condições. Por outro lado, a reprodutibilidade mede a variação induzida pelos vários operadores/instrumentos nas medições de um produto. De facto, e como diz Montgomery, "Um sistema de medição ineficiente tem um impacto gigante na performance, porque conduz a uma tomada de decisão com informação errada" (Montgomery 2009).

***Analyse*:**

O objetivo desta fase é estudar a informação obtida na etapa anterior, tentando identificar relações causa-efeito no processo e entender as diferentes causas de variação. Nesta etapa,

recorre-se a várias técnicas estatísticas para análise dos dados, tais como cartas de controlo e/ou análise de variância, entre outras. As cartas de controlo são uma ferramenta muito útil na análise dos dados, permitindo separar causas comuns de variação de causas assinaláveis de variação, avaliando a contribuição de cada uma delas para a variabilidade total (Montgomery 2009). Adicionalmente, e para processos em controlo, é possível estimar a capacidade real e potencial do processo e, com base nos resultados obtidos na análise, proceder-se à formulação de possíveis melhorias a implementar no processo.

***Improve*:**

O objetivo nesta fase é o de desenvolver e implementar uma solução para o problema, fazendo experiências para comprovar as ideias geradas na fase anterior. Nesta etapa, e particularmente em empresas de manufatura, é muito usual realizar um desenho/planeamento de experiências (*Design of Experiences* – DOE), para determinar a influência de cada fator de variação na característica de qualidade do produto em análise, identificando a combinação ótima de fatores e a que níveis é mais aconselhável operarem. A grande vantagem do DOE é a sua aplicação em processos reais, mas que pode ser modelada e realizada numa simulação computacional (Montgomery 2009). É de referir que o processo de melhoria é um processo iterativo, gradualmente refinado à medida que se realizam mais testes.

***Control*:**

Implementada a solução para o problema definido na fase inicial, a última etapa da metodologia DMAIC é a fase de controlo. O principal objetivo nesta fase é o de criar um plano de controlo do processo e procedimentos que garantam que os ganhos provenientes da implementação da solução se mantenham no futuro, e que sejam executados os mesmos planos em processos e problemas semelhantes. As cartas de controlo são uma ferramenta importante nesta fase, tal como na fase de análise, visto que asseguram o controlo contínuo do processo e permitem identificar novas causas de variação, caso elas surjam.

Um procedimento crucial nesta etapa consiste na transição do plano de controlo para o "dono" do processo. As pessoas que irão lidar com o processo no dia-a-dia, mas que não foram incluídas no projeto de melhoria têm um papel decisivo no ganho sustentado da solução implementada. Assim, a total compreensão e aplicação do plano de controlo é vital para o sucesso do projeto.

A metodologia DMAIC tem tido grande impacto na melhoria de performance de organizações na indústria pneumática a vários níveis. Desai e Shrivastava aplicaram a metodologia DMAIC numa empresa de manufatura, obtendo uma melhoria de resultados de 61,8% para 93% no rendimento dos processos e uma evidente satisfação de clientes tanto internos como externos (Desai and Shrivastava 2008). Maciej Wojtaszak (Wojtaszak and Biały 2015), a partir de um modelo baseado na metodologia DMAIC, obteve reduções no desperdício em valores a rondar os 10%. Também Josef Biernát (Biernát 2013), na Continental Barum, conseguiu otimizar o número de operadores necessários nas prensas de vulcanização e aumentar o nível de eficiência e produtividade desta área através do DMAIC.

2.3.3 Lean Six Sigma

As organizações estão sempre à procura de oportunidades para melhorarem os seus processos e aumentarem os seus lucros financeiros e económicos decorrentes da atividade. Assim, as empresas tentam encontrar formas de englobar várias metodologias, aproveitando as sinergias de uma implementação conjunta.

Uma das combinações mais recentes e que tem dado mais resultados é a combinação da filosofia Lean com a metodologia Six Sigma. Por um lado, a filosofia Lean apresenta uma abordagem mais qualitativa, envolvendo toda a organização nas técnicas a adotar, sempre

com o foco no cliente. O principal objetivo da filosofia Lean é oferecer o maior valor para o cliente ao menor custo e com o menor *lead time*. Por outro lado, a filosofia Six Sigma tem uma abordagem mais quantitativa, envolvendo um número mais reduzido de pessoas, dado o elevado conhecimento estatístico necessário para poder implementar a metodologia. As filosofias complementam-se, visto que a metodologia Six Sigma se foca mais na redução de variabilidade dos processos, sendo a filosofia Lean mais centrada na visão da cadeia de valor (Pacheco et al. 2015).

A Tabela 2 resume as possíveis sinergias a ser obtidas pela combinação de ambas as filosofias:

Tabela 2- Sinergias da combinação de Six Sigma com Lean (fonte: adaptado (Pacheco et al. 2015))

Critério	**Sinergias**
Estrutura	Estrutura robusta focada na eliminação de desperdício e na resolução de problemas
Foco	Eliminar problemas e melhorar fluxo de produção
Pressupostos	Foco simultâneo na redução de desperdícios e na solução de um problema gerador de perdas
Efeitos primários	Fiabilidade e rápido tempo de entrega de produtos no mercado
Efeitos secundários	Aumento de competitividade da organização, custo reduzido de produção, desenvolvimento de uma cultura de melhoria contínua
Aplicabilidade ao nível de gestão	Tomada de decisão mais rápida, redução de hierarquias
Principais contribuições	Desenvolvimento de uma abordagem para melhorar cadeia de valor em face de projetos de redução de custos e melhoria de satisfação de cliente
Controlo de Qualidade	O âmbito do Six Sigma vai para além da eliminação do desperdício na cadeia de produção

Assim, a metodologia Lean Six Sigma é definida como uma metodologia e estratégia de negócio que aumenta a performance dos processos resultando na melhoria da satisfação do consumidor e na melhoria do *bottom line (Snee 2010)*. Para além disso, o Lean Six Sigma integra o aspeto humano e o aspeto do processo na melhoria do sistema, aproveitando o foco que cada filosofia oferece.

As vantagens da combinação das duas filosofias não se remetem apenas aos benefícios que poderão surgir da sua combinação, mas também à resolução das limitações que cada uma tem. Enquanto a filosofia Lean, por si só, peca por não ter ferramentas suficientes para capitalizar o seu potencial (Pacheco et al. 2015) e por se tornar muito rígida a variações do mercado causando, consequentemente, impactos negativos na criação de valor (Clegg, Pepper, and Spedding 2010), a metodologia Six Sigma, por si só, pode perder o foco na imagem global da produção (Pacheco et al. 2015), visto concentrar-se demasiado na redução de variação, gastando recursos desnecessários para obter uma variação nula (Clegg, Pepper, and Spedding 2010). Adicionalmente, se os dois forem usados separadamente na mesma organização, o

resultado é nenhum deles ser implementado eficazmente, criando-se duas subculturas a competir pelos mesmos recursos (Clegg, Pepper, and Spedding 2010).

Na Figura 2 são comparadas as filosofias, Lean e Six Sigma, com a sua combinação, Lean Six Sigma, tendo em conta o ponto de vista do consumidor e do produtor.

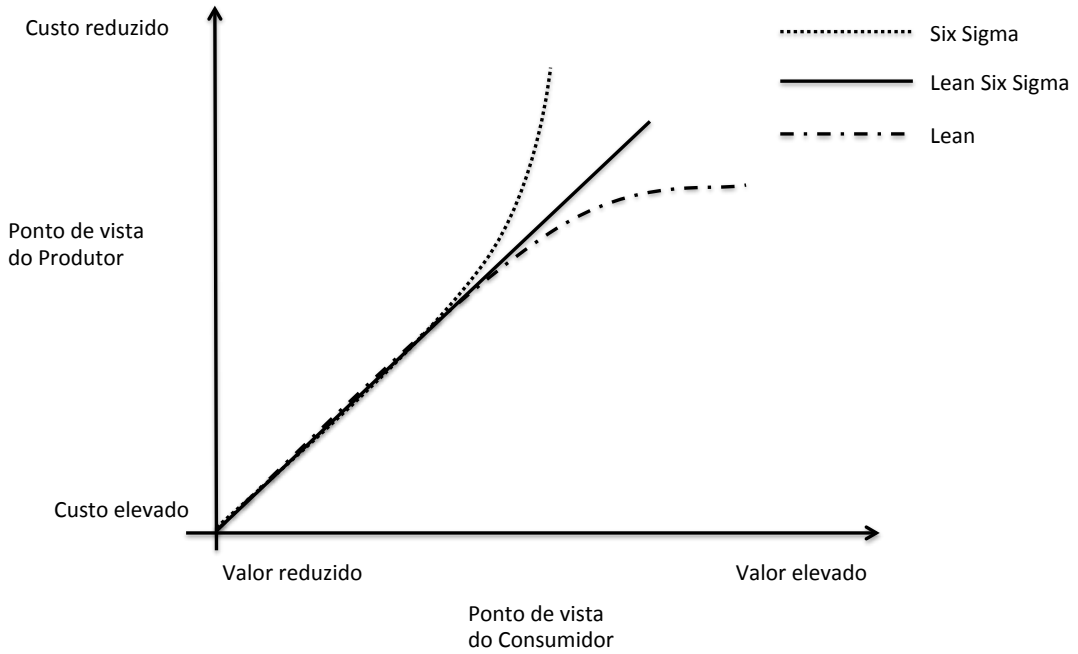

Figura 2- Gráfico de comparação das três filosofias (fonte: adaptado (Arnheiter and Maleyeff 2005))

O gráfico representa a vantagem competitiva que as organizações podem ganhar com a implementação do Lean Six Sigma. Em vez de se especializarem numa das áreas, a complementaridade das filosofias permite à organização desenvolver-se em ambos os sentidos, de modo a oferecer o maior valor para o cliente ao menor custo para o produtor.

De modo a concretizar esta ideologia, o modelo conceptual do projeto deve seguir uma estrutura bem definida e utilizar as melhores ferramentas para solucionar o problema. Assim, a seleção do projeto torna-se vital para uma implementação de sucesso. É extremamente importante identificar a melhor abordagem de melhoria a utilizar, juntamente com as melhores ferramentas e pessoas a cargo do projeto (Snee 2010).

A metodologia DMAIC é vista como o elo de ligação entre o Six Sigma e a filosofia Lean. A sua estrutura disciplinada permite uma definição criteriosa dos objetivos para cada uma das fases e quais as ferramentas a utilizar em cada uma delas. A versatilidade do processo DMAIC concede a possibilidade do projeto se focar mais numa das etapas, de acordo com o âmbito do projeto (Salah, Rahim, and Carretero 2010).

A Figura 3 ilustra como as filosofias Lean e Six Sigma podem ser integradas para formar uma ferramenta de gestão para melhoria de processos. O pensamento Lean desenvolve a estrutura e identifica as áreas chave para melhoria (*hotspot*), enquanto que o Six Sigma oferece a metodologia necessária para resolver essas áreas e transportar o sistema em direção ao estado futuro desejado (Clegg, Pepper, and Spedding 2010).

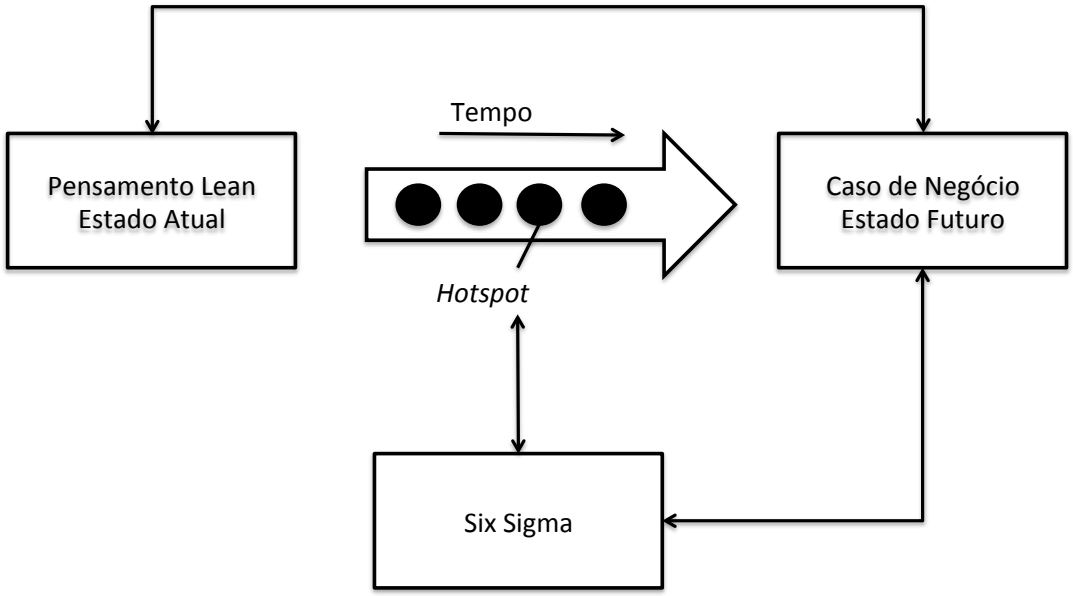

Figura 3- Modelo conceptual para Lean Six Sigma (fonte: adaptado (Clegg, Pepper, and Spedding 2010))

Em (Coronado and Antony 2002), Jiju e Alessandro realizaram um questionário para identificar os fatores críticos de sucesso para a implementação do Lean Six Sigma, sendo o compromisso dos líderes, a cultura e a forma de como ligar a filosofia à estratégia de negócio, os fatores mais importantes para garantir o sucesso da implementação. Adicionalmente, os resultados do questionário também indicaram que, em 66% das empresas que responderam ao inquérito, a introdução do Lean Six Sigma foi muito bem-sucedida e que obtiveram muitos benefícios com a sua prática.

A revisão da literatura fundamental da gestão da qualidade, com particular incidência nas metodologias mais recentes de melhoria da qualidade, revelou ser fundamental para a prossecução do projeto. Assim, com esta visão alargada dos conceitos e abordagens necessárias, foi possível criar um método para a resolução do problema através da adoção das várias metodologias estudadas. O sucesso do projeto dependeu em grande parte do conhecimento adquirido neste processo.

3 Caraterização da situação atual

Neste capítulo começar-se-á por descrever a composição de um pneu, seguido da exposição dos processos que o constituem, detalhando o processo de fabrico de cunhas para uma melhor compreensão do problema. Após a apresentação do processo principal, seguir-se-á a descrição do problema juntamente com a análise do estado atual do processo em análise.

3.1 Composição de um pneu

O pneu é um dos componentes mais importantes de um carro. O pneu é o elemento que adere o carro ao pavimento e o seu estado influencia em grande escala a performance do veículo. Assim, é necessário que este elemento ofereça a qualidade exigida para que o cliente tenha a experiência que procura. A ordem de construção de um pneu é descrita de seguida:

- **Camada interna:** este elemento, composto por borracha, é a primeira camada do pneu e a sua funções principal é a de reter o ar dentro do pneu. Para além disso, tem influência sobre a durabilidade do pneu e sobre o barulho/vibração.

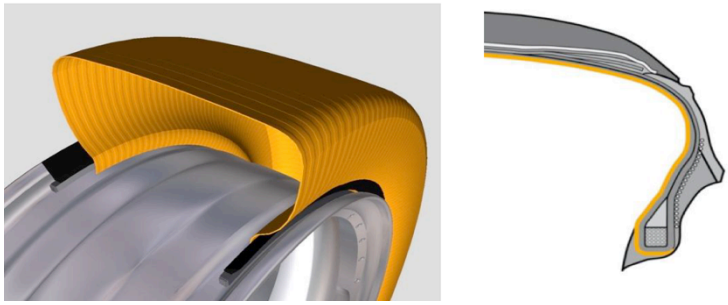

Figura 4- Representação do camada interna no pneu e vista de secção

- **Tela têxtil:** a sua função principal é a de fornecer consistência ao pneu para suportar a elevada pressão interna.

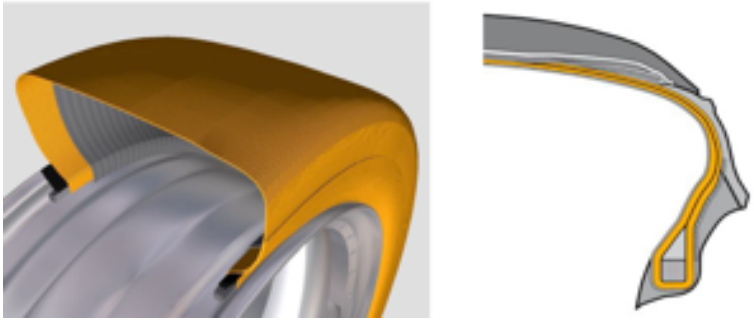

Figura 5- Representação da tela têxtil no pneu e a sua vista de secção

- **Talão:** o talão tem como função assegurar o ajuste perfeito do pneu na jante e influencia a estabilidade direcional, precisão e conforto na condução. O talão é composto por dois ou três elementos: o núcleo, composto por arames impregnados em

borracha, a cunha, composta por borracha sintética, e, em alguns casos, reforço de talão, que são cordas têxteis impregnadas em borracha.

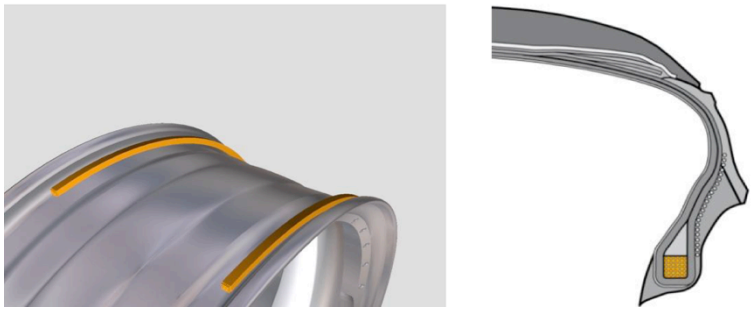

Figura 6- Representação do núcleo de talão no pneu e a sua vista de secção

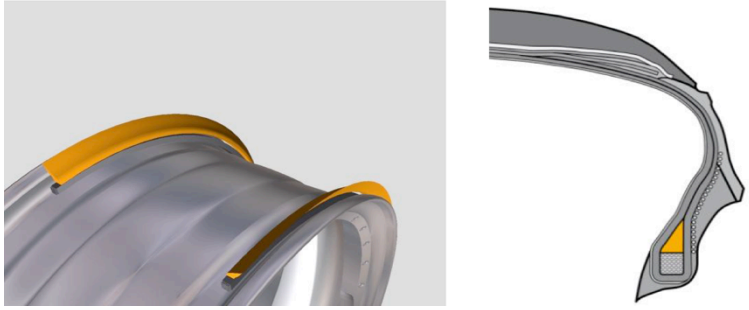

Figura 7- Representação da cunha no pneu e a sua vista de secção

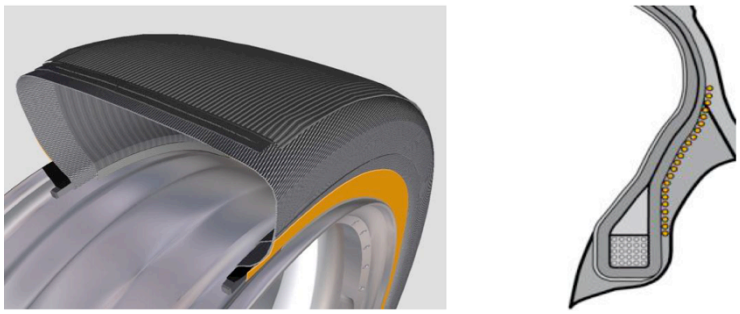

Figura 8- Representação do reforço de talão no pneu e a sua vista de secção

- **Parede lateral:** tem como função proteger a zona lateral da carcaça contra agressões externas e a sua flexibilidade ajuda a amortecer os impactos. Neste componente são gravadas as informações referentes ao pneu.

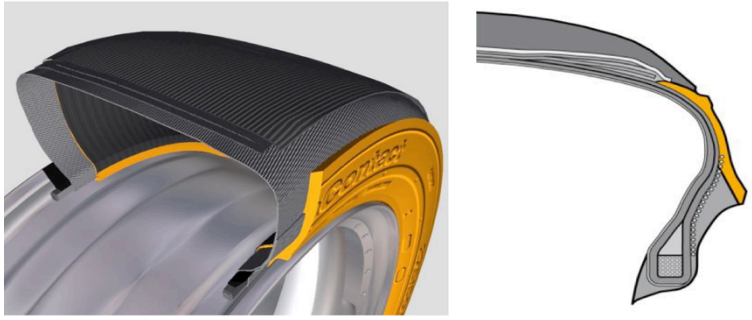

Figura 9- Representação da parede lateral no pneu e a sua vista de secção

- ***Breaker*:** é uma cinta metálica composta por cordas de aço de elevada resistência que tem como função garantir a forma e a estabilidade direcional, reduzir a resistência ao rolamento e aumentar a durabilidade do pneu.

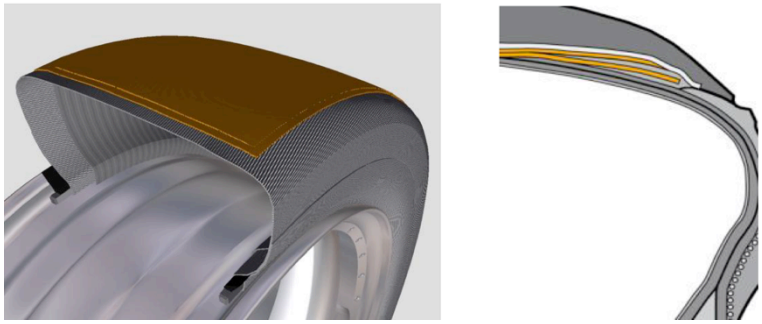

Figura 10- Representação do breaker no pneu e a sua vista de secção

- ***Cap ply*:** é uma cinta têxtil formada por cordas de nylon ou poliéster embutidas na borracha, sendo a sua função a de diminuir a flexão das cintas metálicas. Para além disso, reduz a resistência ao rolamento, evitando, assim, o desgaste prematuro.

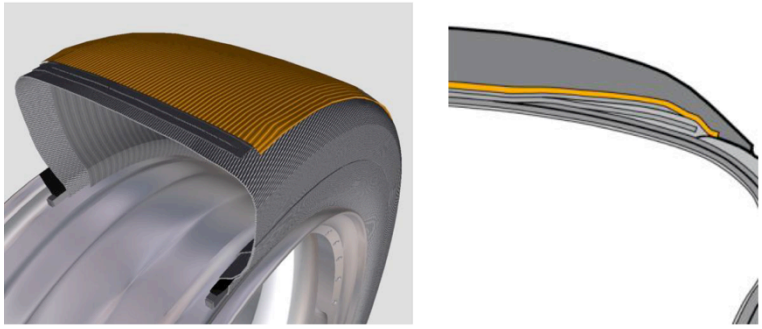

Figura 11- Representação do cap ply no pneu e a sua vista de secção

- **Piso:** sendo esta a última camada do pneu, a sua principal função é garantir a aderência do pneu às diversas condições de estrada. O piso é composto por uma mistura de borracha sintética com natural. O padrão do piso reduz o perigo da aquaplanagem e influencia as propriedades de condução.

Figura 12- Representação do piso no pneu e a sua vista de secção

3.2 Processo produtivo

O processo produtivo da Continental Mabor está dividido em cinco fases: a **Misturação**, a **Preparação**, a **Construção**, a **Vulcanização** e, finalmente, a **Inspeção Final**. Cada uma destas fases está a cargo de um departamento específico que assegura o seu bom funcionamento e controlo. A Figura 13 apresenta uma vista macro das fases do processo de construção de um pneu e a sequência da mesma.

Figura 13- Vista macro das fases de construção do pneu

Na fase inicial, denominada de **Misturação**, as matérias-primas (borracha natural, pigmentos, óleo mineral, entre outros) são misturados para produzir os compostos necessários para a fase seguinte. As misturadoras envolvem os vários componentes de forma a obter um produto semelhante a um "lençol" de borracha. Esse produto é designado por "Composto Final".

O "Composto Final" vai sendo dobrado à medida que a misturadora extrai o composto, sendo depois paletizado e transportado para alimentar os diversos equipamentos que constituem a próxima etapa.

Na segunda fase, denominada de **Preparação**, produzem-se todos os componentes necessários à construção do pneu. Esta fase divide-se em duas áreas: a **Preparação a Quente** e a **Preparação a Frio**. Na primeira, são produzidos os pisos, as paredes e todos os elementos constituintes do talão, sendo as extrusoras as máquinas utilizadas para a produção dos vários elementos. Na segunda fase produzem-se, nas máquinas denominadas de calandras e máquinas de corte, os componentes camada internas, *breakers*, os *cap ply* e as telas têxteis.

A fase de **Construção** divide-se em dois processos, (1) a construção da carcaça, que é realizada nas máquinas denominadas de KM, e (2) a construção do "pneu em verde", que é realizado nas máquinas designadas por PU. Cada módulo de construção é constituído por uma KM e uma PU. A primeira etapa, a construção da carcaça, consiste na montagem do camada interna com a tela têxtil, seguido do talão e, finalmente, as paredes laterais. A carcaça é depois transportada através de um transportador de rolos por gravidade para a PU, agregando-se à carcaça, respetivamente, os *breakers*, o *cap ply* e o piso, sendo o produto final, o "pneu em verde".

Para facilitar a extração do pneu após o processo de **Vulcanização**, é necessário lubrificar previamente a zona interior do pneu em máquinas de pintura.

Na **Vulcanização**, o "pneu em verde" é sujeito a uma temperatura de, aproximadamente, 170ºC em moldes que darão o perfil final do pneu. Cada prensa de vulcanização é capaz de vulcanizar dois pneus em simultâneo.

A cadeia de produção termina com a **Inspeção Final** do produto. Nesta fase do processo, o pneu é verificado visualmente e submetido a testes de qualidade, de forma a garantir os requisitos do cliente e da Continental. Preenchendo todos os requisitos exigidos, o pneu é encaminhado através de tapetes transportadores para paletes e, finalmente, transportado para o Armazém de Produto Acabado (APA).

Ao longo da cadeia de produção, os vários elementos podem não passar nos testes de controlo realizados por incumprimento das especificações. Assim, classificam-se as não-conformidades detetadas ao longo do processo a três níveis, de acordo com o seu nível de gravidade: *rework*, *workoff* e *scrap*. Classifica-se como *rework*, qualquer produto intermédio que não cumpra com as especificações, mas que possa ser retrabalhado. A classificação de *workoff* é atribuída a qualquer material que não se encontre dentro dos requisitos, mas que possa ser reaproveitado e ser novamente utilizado nas misturadoras. Todo o produto intermédio ou final que não respeite as especificações e que não tenha possibilidade de ser retrabalhado ou reaproveitado é considerado como *scrap*, isto é, desperdício.

3.2.1 Fabrico de cunhas

Após uma breve descrição do processo produtivo do pneu, é importante descrever com maior detalhe o processo em estudo neste projeto, a produção de cunhas. O controlo da variabilidade do processo é o foco principal do projeto. O fabrico das cunhas é efetuado nas máquinas que produzem os talões, as APEX's. A Figura 14 demonstra a ordem de produção do talão, desde a extrusão da cunha até ao processo de montagem da cunha no núcleo.

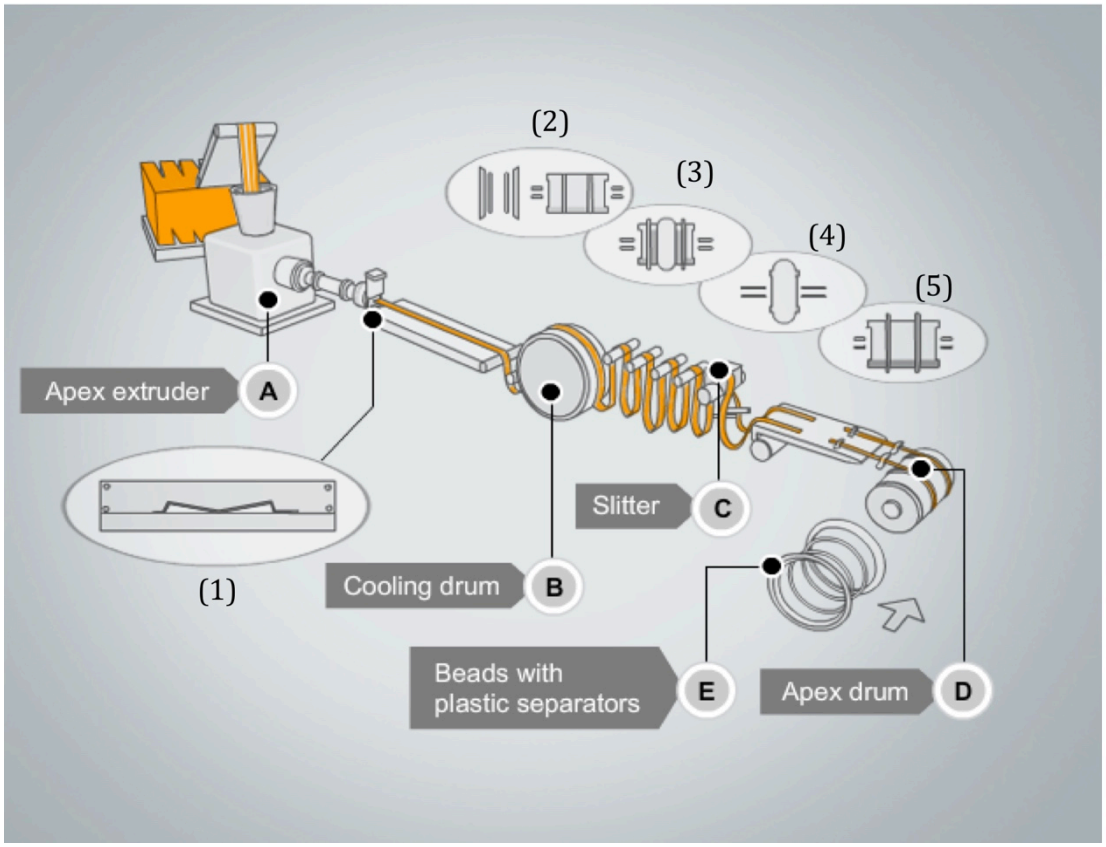

Figura 14- Representação de uma máquina APEX

O processo de fabrico de talão divide-se em duas fases: a extrusão da cunha e o batimento de cunha no núcleo, tal como é possível observar na Figura 14. Na primeira fase, o "composto final" é introduzido na extrusora (A) que depois extrai a borracha quente através da fieira (1), que define o perfil da cunha. Depois a borracha é guiada por uma passadeira até ao tambor de arrefecimento (B), que reduz a temperatura da borracha para que esta não se deforme tão facilmente. O sistema de *loop* que se segue serve como um *buffer* de borracha. A sua utilização deve-se ao facto do operador não ter o mesmo nível de cadência que a extrusora, isto é, o operador não consegue acompanhar a velocidade com que a extrusora fornece borracha. A *slitter* (C) divide a borracha em duas cunhas. As cunhas separadas são puxadas pelas garras do transportador para aplicação no tambor de expansão (D). Depois de aplicadas é introduzido no tambor os núcleos de talão com o respetivo separador (E). A fase do batimento das cunhas nos núcleos é exemplificada na sequência representada na Figura 14, começando pela introdução dos núcleos com o separador (2), depois a expansão do diafragma até unir ambos os componentes (3) e (4) e, finalmente, o produto final, o talão (5).

3.3 Descrição do problema

Na busca pela excelência, a Continental Mabor visa reduzir ao máximo o nível de *scrap* gerado no final da cadeia de produção, isto é, o número de pneus vulcanizados que são designados como *scrap* pelos operadores na inspeção final. Tal como referido previamente, a

organização cataloga cada um desses pneus de acordo com o problema encontrado. Assim, a Continental desenvolveu várias designações para as não-conformidades, cada uma delas referente a uma única imperfeição.

Nos últimos anos, uma das imperfeições encontradas recorrentemente na área de inspeção final é o código 30, referente à existência de bolhas na região do ombro do pneu. Esta imperfeição consiste em ar retido entre componentes durante a montagem, provocando dessa forma uma espécie de bolha, que é ilustrada na Figura 15. A estrutura do pneu fica assim comprometida, provocando complicações na longevidade do produto.

Figura 15- Exemplo de uma bolha entre camadas no pneu

Com o intuito de resolver o problema, foi criada uma equipa de trabalho com pessoas pertencentes aos departamentos de Qualidade, Produção, DIP, Engenharia e DATP. Na fase inicial de análise de problema, verificou-se que na zona do *bleeder* existia demasiado ar retido. O *bleeder* é um elemento que que se encontra na tela têxtil e é aplicado aquando da calandragem. A sua principal função é redistribuir o ar, ao mesmo tempo que funciona como ponto de fuga de ar durante a montagem. De forma a identificar a fonte do problema, a equipa decidiu retirar o *bleeder* para perceber onde é que o ar ficava retido. Os resultados da experiência concluíram que o problema estava na montagem do talão, mais especificamente, no espaçamento que existia entre a cunha e o núcleo.

A fase seguinte foi, então, entender quais eram os problemas nessa fase do processo que originavam o defeito. Assim, foi realizada uma sessão de *brainstorming* da qual resultou um diagrama de Ishikawa para identificar todas as causas possíveis do problema. Posteriormente, foi feito um diagrama de Pareto, onde as causas de defeitos estavam ordenadas com base nas votações das pessoas presentes na reunião (ANEXO A). Adicionalmente, foi feita uma análise para perceber qual era o perfil de cunha que gerava maior percentagem de *scrap*, de forma a atuar, numa fase inicial, no maior causador deste tipo de desperdício. Sendo que a cunha pode ser produzida com dois tipos de compostos distintos, elaborou-se um diagrama de Pareto para cada um dos compostos. Os dados do ano de 2015 serviram de base para a identificação do perfil, ou dos perfis, com maior contribuição para o *scrap* código 30. A Figura 16 e a Figura 17 demonstram quais foram os perfis que mais contribuíram para o valor de *scrap* do código 30, para cada tipo de composto.

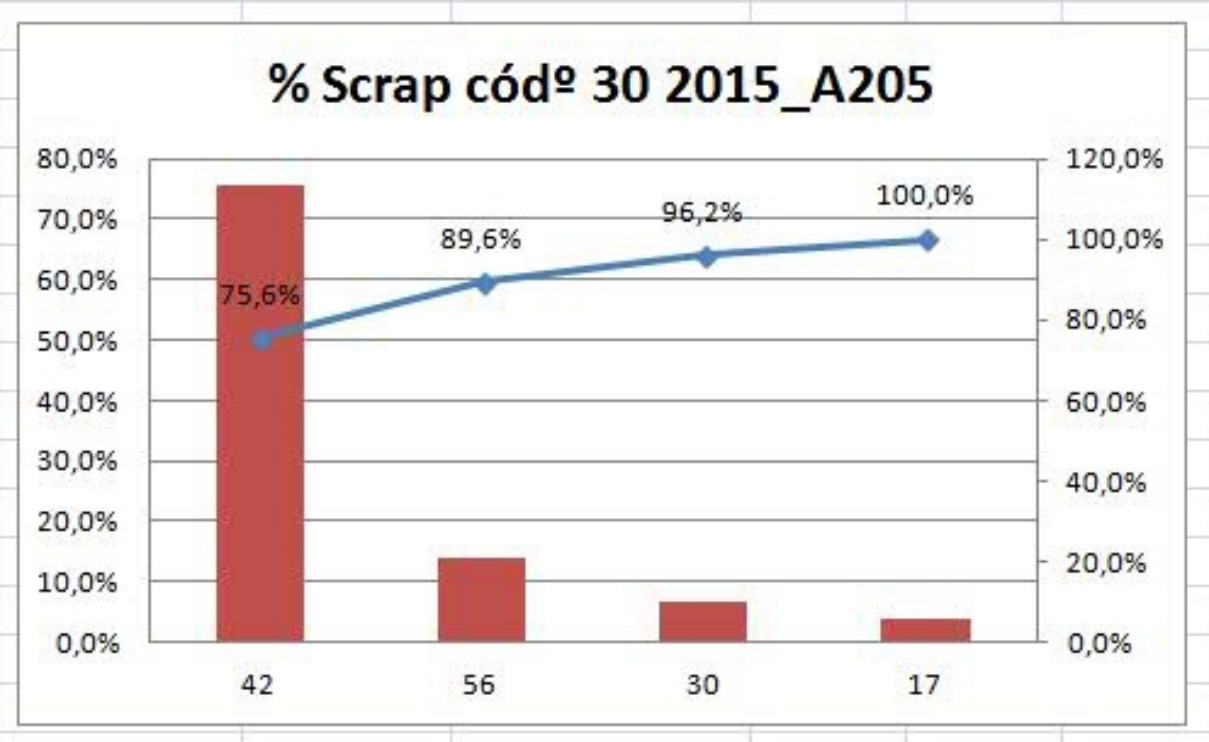

Figura 16- Pareto de percentagem de scrap gerado por perfil com o composto A205

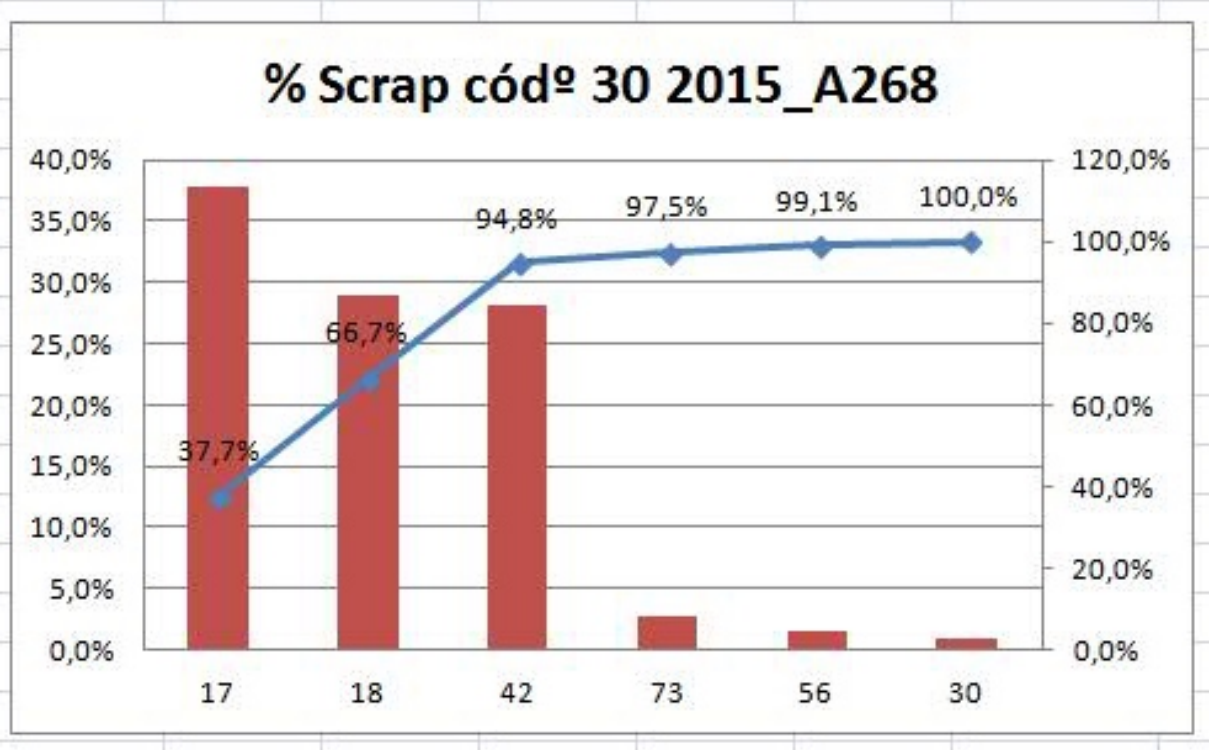

Figura 17- Pareto de percentagem de scrap gerado por perfil com o composto A268

Na Figura 16 e Figura 17 verifica-se que os perfis que mais contribuíram para o volume de *scrap* foram o perfil de 42 para o composto A205 e os perfis 17 e 18 para o composto A268, com uma contribuição de, aproximadamente, 76% e 67%, respetivamente. No eixo das abcissas são representados os vários perfis utilizados na produção. O valor que está associado a cada um é referente à largura total da cunha. Neste projeto, os perfis de 17 e 18 foram agrupados, já que a diferença entre eles é de apenas 1mm.

Antes de iniciar a análise do estado atual do processo, o primeiro passo foi escolher uma máquina APEX para realizar o estudo, onde houvesse uma produção relativamente regular de

cunhas com os perfis desejados. A máquina selecionada para o efeito foi a APEX 10. O passo seguinte foi encontrar códigos reduzidos de talões que respeitassem esses perfis, assegurando igualmente que fosse possível recolher dados regularmente para agilizar a primeira fase do estudo. O código reduzido é a designação dada a cada talão que identifica o tipo de núcleo, o perfil de cunha e o composto utilizado. Adicionalmente, a escolha dos códigos reduzidos também teve em conta o volume de produção para que a implementação de melhorias no processo causasse maior impacto. Após uma reunião com os supervisores do departamento de Produção a Quente, os dados de produção demonstraram que o código 125, com o perfil de 17/18 e composto A268, e o código 059, com o perfil de 42 e composto A205, apresentavam o maior volume de produção para cada uma das combinações indicadas, sendo estes os códigos selecionados.

3.4 Análise do estado atual do processo nas APEX's

Para obter uma visão geral do processo e entender quais são as suas necessidades e exigências, utilizou-se a ferramenta SIPOC para sumariar os *inputs* e *outputs* do fabrico de talões. Esta ferramenta serve para descrever o fluxo de um processo, desde o fornecedor até ao cliente. A Figura 18 ilustra o fluxo associado a uma APEX, incluindo os dois processos presentes na construção do talão, a extrusão e a montagem dos dois componentes, cunha e núcleo de talão.

Supplier	Input	Process	Output	Customer
• Misturação • Construção de núcleos	• "Composto Final" • Núcleos • Separadores	• Extrusão • Montagem	• Cunha • Talão	• Construção

Figura 18- SIPOC do processo de fabrico de talão

Neste caso, os fornecedores do processo de construção de talões são a misturação, que abastece a extrusora com a borracha, "Composto Final", necessária para a extrusão da cunha e as máquinas de construção de núcleo de talões. Os *outputs* cunha e talão são fruto dos processos de extrusão e montagem, respetivamente. O cliente final deste sistema são os módulos de construção, onde é feita a montagem de todos os componentes do pneu.

Cada APEX conta com um único operador por turno de produção, sendo substituído por um ajudante nos seus períodos de pausa. Cada operador é responsável pelo cumprimento da produção diária que lhe é atribuída e pela comunicação de problemas que surjam durante o turno de produção. Para além disso, no início de cada turno e a cada mudança de código reduzido, o operador tem de fazer o autocontrolo do processo, isto é, preencher uma *checklist*, com os dados referentes à mesa de "Composto Final", aos núcleos e à fieira utilizada para a extrusão. Cada ajudante está alocado a três APEX e é responsável por ajudar o operador durante o turno. Uma das suas funções é realizar o autocontrolo do processo de extrusão, isto é, no início de cada turno e a cada mudança de código reduzido o ajudante tem de garantir que as características de cunha cumprem com as respetivas especificações. Para tal, cada APEX tem um documento com os valores de especificação para cada código reduzido de cunha.

O controlo das cunhas é feito através da medição de duas variáveis: a largura e o peso. Para realizar o controlo, o ajudante pede ao operador para retirar duas cunhas da máquina e transporta-as para a banca de verificação, onde se encontram as ferramentas de medição. A Figura 19 exemplifica como deve ser medida as variáveis de controlo de uma cunha. A largura é medida da ponta de corte até ao início da pestana da cunha. A medição dever ser

feita usando o paquímetro perpendicular à face da cunha para garantir uma medição o mais precisa possível. O peso é medido numa balança e o ajudante, antes de pesar, tem de garantir que a mesma se encontra a zero. Após medição, o ajudante reporta os resultados ao operador para que o mesmo preencha a *checklist* e ajuste a máquina, caso seja necessário. A medição destas variáveis deve ser feita até que as mesmas estejam de acordo com as especificações.

Para o estudo realizado foi também considerada a variável espessura da cunha, medida com um paquímetro. Nestas medições foi necessário ter muito cuidado com a força exercida sobre a borracha para que a mesma não deformasse, indicando dessa forma valores errados.

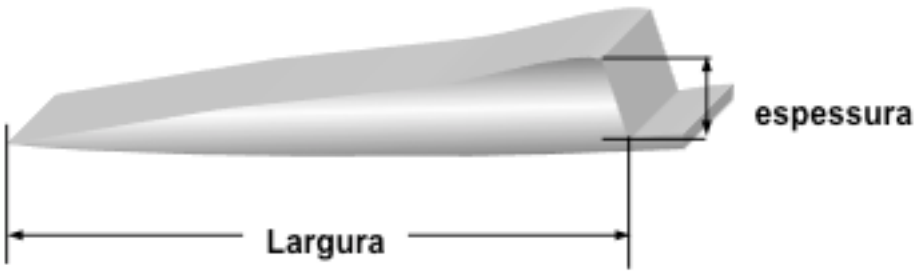

Figura 19- Representação das variáveis largura e espessura numa cunha

Contudo, muitas das vezes, os tempos para realização do autocontrolo não são cumpridos. Os operadores raramente realizam o autocontrolo das cunhas, visto que é uma tarefa que está atribuída ao ajudante e, se este não estiver presente aquando da mudança de código reduzido, o operador terá de esperar pelos resultados do autocontrolo.

O foco deste projeto foi assim o de reverter esta situação, analisando detalhadamente a variabilidade do processo. A primeira fase da análise foi compreender quais os fatores principais de variação do processo. Assim, com o auxílio dos operadores e supervisores, registou-se os fatores que influenciam diretamente a extrusão das cunhas. A temperatura, a velocidade de extrusão (denominada de RPM) foram, numa primeira análise, considerados os fatores preponderantes para explicar a variação no processo de extrusão.

O período de recolha de amostras decorreu ao longo de um mês para que fosse possível coletar dados das três diferentes equipas de produção. A Continental opera segundo um sistema de turnos rotativos, isto é, de semana a semana as equipas de produção rodam. Por exemplo, se a equipa B está a produzir no turno da noite numa semana, na semana seguinte o seu turno de produção será o turno da manhã. Assim sendo, será necessário no mínimo três semanas para recolher as amostras em todos os turnos para incluir o fator operador na variabilidade do processo. Para além disso, as variáveis RPM e temperatura, que são parâmetros de máquina, são controladas pelos operadores.

Amostragem

Tal como foi referido anteriormente, os códigos reduzidos escolhidos para análise foram o 125 para perfil 17/18 e 059 para perfil de 42. As variáveis de análise do processo de fabrico de cunhas foram a largura, espessura e peso. A largura e o peso já constam na folha de registo do autocontrolo, contudo a espessura não é contabilizada.

Em cada máquina existe uma área onde se encontram impressas as instruções de trabalho, o plano de controlo e as tabelas de especificação para cada código reduzido. Essas tabelas apresentam para cada código reduzido, os valores especificados para cada uma das variáveis associadas ao processo de extrusão e montagem da cunha no núcleo, bem como os valores de referência para os fatores máquina, como por exemplo, a temperatura de extrusão, o RPM, entre outros. A Tabela 3 especifica os valores pretendidos pela Central em cada uma das características da cunha.

Tabela 3- Tabela de especificação das características de cunha para os códigos reduzidos 125 e 059

Tabela de especificação		
Características	125	059
Largura	14 ± 2mm	39 ± 2mm
Espessura	6,4 ± 0,3mm	7,7 ± 0,3mm
Peso	91 ± 7g	229 ± 18g

De modo a avaliar a variação do perfil ao longo da cunha, tanto a medição da largura como a da espessura foram feitas em três pontos. Para além disso, a medição a um ponto não daria informação suficiente sobre o estado do produto, visto que a borracha passa por vários elementos da máquina até ser aplicada no tambor, sendo possível que o perfil de cunha não seja o mesmo ao longo de todo o seu comprimento dada a facilidade de deformação da borracha, as variações de temperatura que existem nos componentes da máquina e o tempo de repouso da borracha nos *loops*.

Para cada um dos códigos reduzidos foram recolhidas 60 amostras, 20 por cada equipa de produção, o que para as variáveis largura e espessura perfaz um total de 180 observações, visto que cada amostra é constituída por 3 observações (o subgrupo tem uma dimensão $N = 3$). No caso do peso, dado que cada amostra é uma cunha, o total de observações é de 60.

Para avaliar se o processo se encontra em controlo estatístico e como passo preliminar na determinação da capacidade do processo, analisaram-se os dados recolhidos utilizando cartas de controlo.

As cartas de controlo de variáveis servem para controlar a média e a variabilidade da variável de qualidade em estudo. As cartas de controlo são muito importantes e úteis para monitorização estatística do processo e como técnicas de controlo de processo (Montgomery 2009).

Todas as análises efetuadas utilizaram o programa de análise estatístico Minitab. As cartas de controlo usadas para o estudo da largura e da espessura foram as cartas $\bar{x}$ para as médias dos subgrupos e as cartas R para as amplitudes dos subgrupos. A escolha destas cartas deve-se ao facto do objetivo da análise ser o de avaliar a estabilidade do valor esperado do processo e a sua variabilidade ao longo do período de análise. Sendo a dimensão de cada subgrupo menor que 8, a carta para avaliar a variabilidade R (de Range, em inglês) é considerada a mais apropriada para o estudo da variabilidade do processo (Montgomery 2009). No caso do peso, dado tratar-se de observações individuais, as cartas utilizadas foram a carta I e a carta AM, amplitudes médias, visto que os subgrupos são constituídos por uma única observação. Assim, a amplitude móvel é o melhor estimador da variação do processo.

A análise do processo de extrusão de cunhas iniciar-se-á pela análise da carta $\bar{x}$-R para a variável largura, seguindo-se a análise do mesmo tipo de carta para a espessura. Finalmente, será estudado o peso através da carta I-AM. Este estudo é feito para cada um dos códigos reduzidos.

Código reduzido 125

Largura:

A Figura 20 ilustra a carta de controlo $\bar{x}$-R e a análise de capacidade que o *software* Minitab gerou a partir das observações que foram recolhidas para análise do processo, no que diz respeito à variável largura.

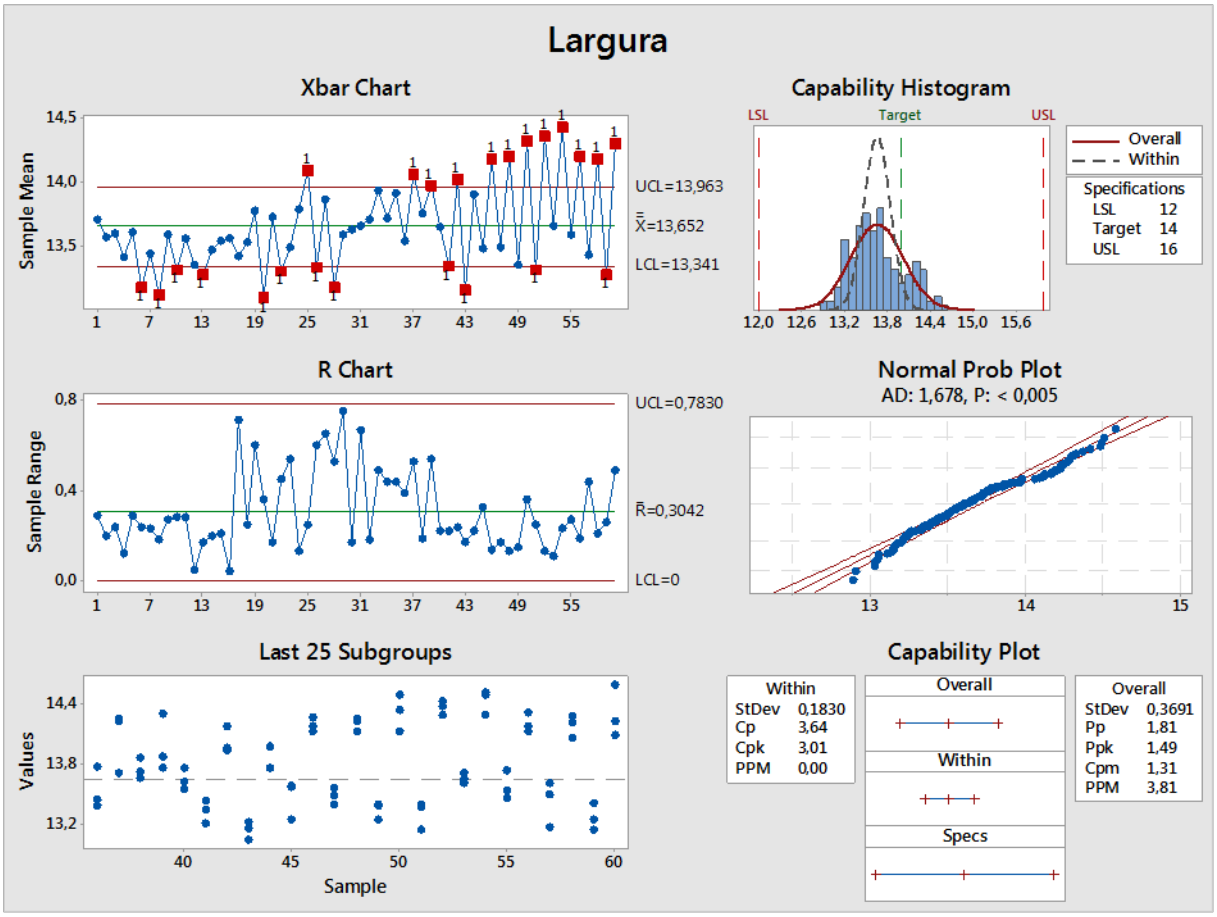

Figura 20- Carta de controlo $\bar{x}$-R e análise de capacidade para a largura do código reduzido 125

Iniciando pela análise à carta de controlo $\bar{x}$-R, verifica-se que o processo se encontra estável, do ponto de vista da variabilidade, já que nenhum ponto da carta R se encontra fora dos limites de controlo. Para além disso, nenhuma tendência ou padrão parece estar presente no gráfico das amplitudes. Verificado que o processo é estável em relação à variabilidade, será agora possível analisar a carta $\bar{x}$ para avaliar a estabilidade do valor esperado. A partir da carta $\bar{x}$ é possível concluir que o processo não se encontra em controlo estatístico. Os vários pontos fora dos limites de controlo permitem essa conclusão.

Assim sendo, como o processo não está em controlo estatístico, a análise de capacidade pouco significado tem, visto que o processo não se encontra estabilizado. Contudo, é possível ter uma perspectiva da capacidade do processo. Neste caso, o processo aparenta ser capaz dado o valor de P_p ser acima de 1,33 e, caso se resolva as causas assinaláveis, é possível atingir o valor de C_p de 3,64.

O histograma ilustra a dispersão dos dados na amostra em relação aos limites de especificação. Os valores medidos encontram-se dentro dos limites de especificação. Contudo, em relação ao valor *target*, 14mm, existe um ligeiro desvio para a esquerda, com média das observações de 13,65mm, o que também é traduzido pela diferença entre os índices de capacidade do processo (P_p e P_{pk}).

Durante a recolha dos dados, os fatores previamente mencionados como preponderantes para a variação dos parâmetros de cunha foram também registados. De modo a fazer uma análise sobre a influência de cada fator foi também efetuado um teste ANOVA, avaliando os gráficos de efeitos principais de cada fator e a interação entre fatores. Na Figura 21 é representada a tabela ANOVA com a análise de variância da largura segundo os fatores selecionados. Tanto a temperatura como o RPM estão sob a forma de intervalo, dado não existirem dados

suficientes para cada valor lido. Assim, decidiu-se agrupar os valores em forma de intervalo para entender como cada um afeta a variável em estudo.

ANOVA: Largura versus RPM; Temperatura

Factor	Type	Levels	Values
RPM	fixed	2	5,0-5,5; 5,5-6,0
Temperatura	fixed	2	75-80; 80-85

Analysis of Variance for Largura

Source	DF	SS	MS	F	P
RPM	1	1,77033	1,77033	53,59	0,000
Temperatura	1	0,36694	0,36694	11,11	0,002
RPM*Temperatura	1	0,22001	0,22001	6,66	0,015
Error	28	0,92504	0,03304		
Total	31	3,28232			

S = 0,181761 R-Sq = 71,82% R-Sq(adj) = 68,80%

Figura 21- Tabela ANOVA para análise de variância da largura do código reduzido 125

A partir da tabela ANOVA é possível verificar que tanto o RPM como a temperatura e a interação entre ambos são fatores de variação de largura. Tal é possível concluir dado que os valores de prova de cada um são menores que o nível de significância de 5% especificado .

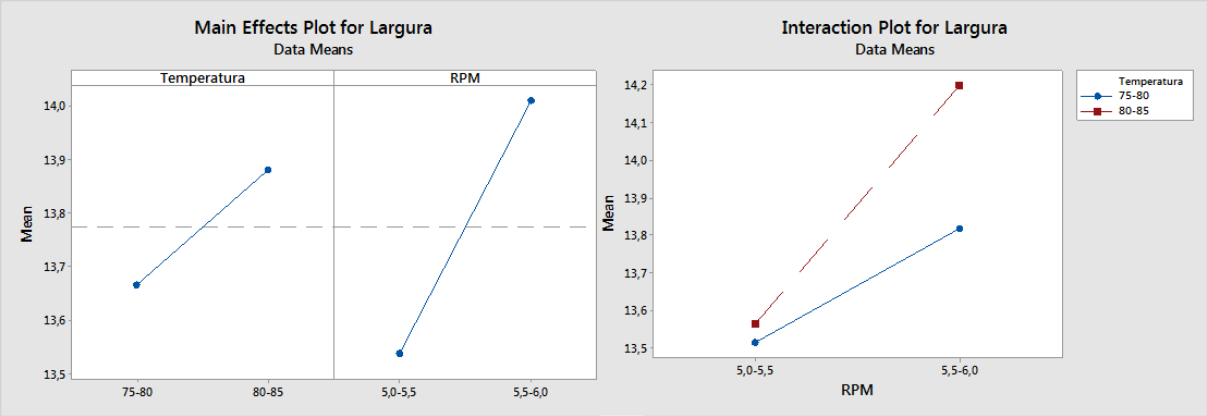

Figura 22- Gráficos de efeitos principais e de interação para a largura do código reduzido 125

Constatada a influência dos fatores no processo de extrusão, falta saber qual a sua contribuição para a variável largura. Analisando a Figura 22, o gráfico de efeitos principais, assinala que uma variação de RPM aparenta ter um efeito muito maior que uma variação de temperatura, visto que a diferença entre as médias no RPM é maior que a diferença entre médias na temperatura. Através do gráfico de interação é possível concluir que para valores baixos de RPM, a temperatura não altera muito os valores de largura, mas com valores mais altos de RPM, a diferença de temperaturas tem um maior impacto sobre a largura.

Adicionalmente, dado que as cunhas são aplicadas aos pares no tambor, decidiu-se agrupar as cunhas aos pares. Assim sendo, a dimensão de cada subgrupo aumentou para $N = 6$. Ao passo que na primeira análise, uma cunha significava um subgrupo, agora cada subgrupo é composto por duas cunhas com medição a três pontos em cada uma delas. O único fator que diferencia um agrupamento do outro é a forma como a borracha é cortada no *slitter*. Isto é, o fator posição antes do corte passou a ser um fator de variação entre grupo para um fator de variação dentro de grupos. Com este novo tipo de agrupamento é possível quantificar a contribuição de cada uma das componentes de variação no processo de fabrico de cunhas.

Este ajuste realizado na *slitter* é feito pelo operador. A Figura 23 apresenta a carta de controlo $\bar{x}$-R e análise de capacidade com o agrupamento referido.

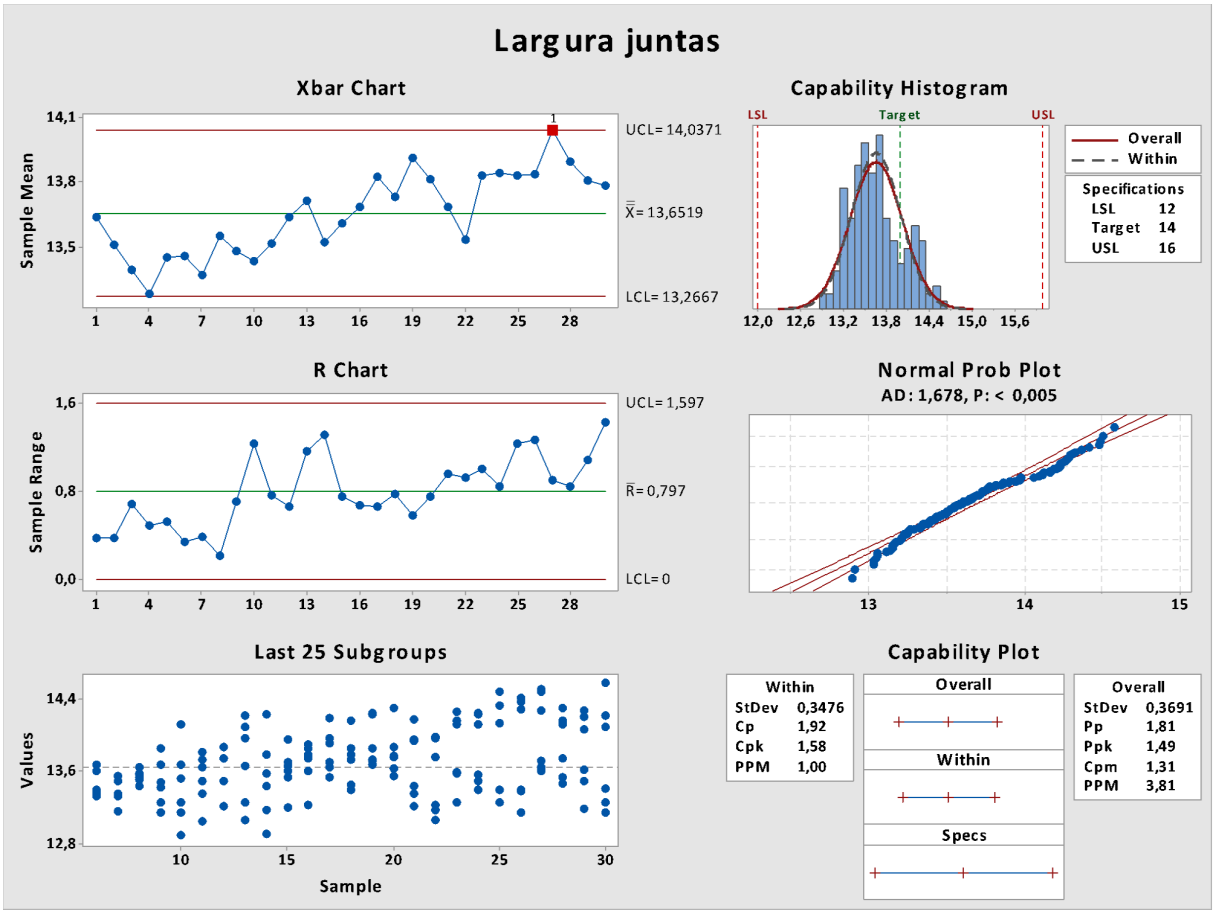

Figura 23- Carta de controlo $\bar{x}$-R para subgrupo de N=6 para a largura do código reduzido 125

Analisando a carta R, o processo encontra-se estável no que diz respeito à variabilidade, visto que não existem evidências de tendência ou padrão no gráfico e não existe qualquer ponto que ultrapasse os limites de controlo. Por outro lado, na carta $\bar{x}$ ocorre um ponto que ultrapassa, ainda que seja por pouco, o limite superior de controlo, logo o processo não se encontra, por muito pouco, em controlo estatístico.

Para quantificar a contribuição do posicionamento da borracha antes o *slitter*, é necessário analisar o desvio padrão da amostra e os desvios padrão dentro de grupo de dimensão $N = 6$ e dimensão $N = 3$. A equação (3.1) para o seu cálculo é apresentada de seguida:

$$\%contribuição = \frac{\sigma^2_{N=6}}{\sigma^2_{amostra}} - \frac{\sigma^2_{N=3}}{\sigma^2_{amostra}} \tag{3.1}$$

Onde:

$\sigma^2_{N=6}$: variância dentro de grupo para subgrupo de dimensão $N = 6$

$\sigma^2_{N=3}$: variância dentro de grupo para subgrupo de dimensão $N = 3$

$\sigma^2_{amostra}$: variância global da amostra

Considerando a equação (3.1), o fator posição explica 64% da variação da largura. Este valor representa uma grande parte da variação e deve ser um fator a tratar na fase de melhoria de processo. A Figura 24 ilustra a diferença dos agrupamentos explicados previamente.

Componentes de variação dentro e entre subgrupos:

	Agrupamento por temperatura, RPM e posição, N=3	Agrupamento por temperatura, RPM N=6
Causas de variação dentro de subgrupos	Erro de medição	Erro de medição Fator posição
Causas de variação entre subgrupos	Fator temperatura Fator posição Fator RPM	Fator temperatura Fator RPM

Figura 24- Comparação de diferentes tipos de agrupamento

Espessura:

A Figura 25 representa a carta de controlo $\bar{x}$-R e a análise de capacidade que o *software* Minitab gerou a partir das observações que foram recolhidas para análise do processo, no que diz respeito à variável espessura. Tal como a largura, a dimensão de cada subgrupo é de 3 medições.

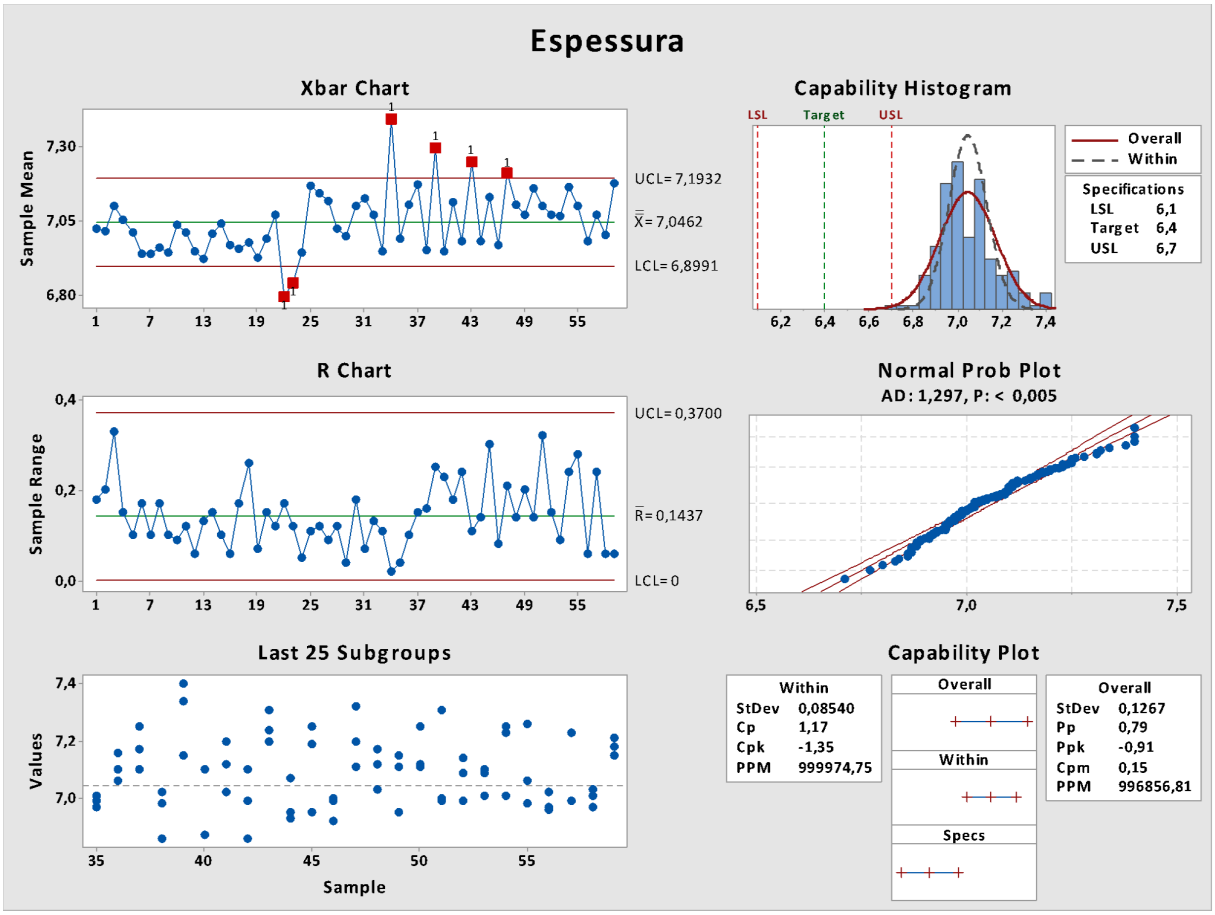

Figura 25-Carta de controlo $\bar{x}$-R e análise de capacidade para a espessura do código reduzido 125

Começando pela análise à carta de controlo $\bar{x}$-R, verifica-se que o processo se encontra estável do ponto de vista da variabilidade, visto que nenhum ponto da carta R se encontra fora dos limites de controlo, não se identificando também nenhum padrão ou tendência. Garantido

que o processo é estável pode-se, então, proceder à análise da carta $\bar{x}$, de maneira a verificar se o processo está em controlo estatístico. A partir da carta $\bar{x}$ é possível concluir que o processo não se encontra em controlo estatístico, já que há um número significativo de pontos fora dos limites de controlo.

A análise de capacidade não poderá ser feita, já que o processo não se encontra estabilizado. No entanto, é possível ter uma perspectiva da capacidade do processo. Neste caso, o processo não aparenta ser capaz dado o valor de P_p esta abaixo de 1,33 e, para além disso, está longe da meta especificada, visto que o P_{pk} é negativo. Caso se resolvam as causas assinaláveis, é possível atingir o valor de C_p de 1,17. O valor de C_p não é apelativo e, por isso, deve-se procurar implementar melhorias de processo de modo a aumentar o valor do índice de capacidade potencial do processo.

O histograma representa a dispersão dos dados na amostra em relação aos limites de especificação. Os valores medidos encontram-se completamente fora dos limites de controlo especificados, estando concentrados para além do limite superior de especificação. Em consequência, a média observada é maior que o valor especificado (7,05mm>6,4mm).

O método de análise de fatores descrito anteriormente, também foi realizado para a espessura. Na Figura 26 é representada a tabela ANOVA com a análise de variância da espessura segundo os fatores selecionados. Tal como no caso da largura, também se agruparam os valores por intervalos para que cada nível de cada fator tivesse o mesmo número de observações.

ANOVA: Espessura versus RPM; Temperatura

Factor	Type	Levels	Values
RPM	fixed	2	5,0-5,5; 5,5-6,0
Temperatura	fixed	2	75-80; 80-85

Analysis of Variance for Espessura

Source	DF	SS	MS	F	P
RPM	1	0,11202	0,11202	8,52	0,007
Temperatura	1	0,02067	0,02067	1,57	0,220
RPM*Temperatura	1	0,00211	0,00211	0,16	0,692
Error	28	0,36797	0,01314		
Total	31	0,50278			

S = 0,114638 R-Sq = 26,81% R-Sq(adj) = 18,97%

Figura 26-Tabela ANOVA para análise de variância da espessura do código reduzido 125

A partir da tabela ANOVA é possível verificar que apenas o RPM é um fator significativo de variação de espessura. Dado que o valor de prova associado à temperatura e à interação são maiores que o nível de significância do teste de 5%, então não existem evidências estatisticamente significativas que indiquem que a temperatura e a interação entre estes dois fatores expliquem a variação da espessura. Assim, só o RPM mostra ser um fator significativo de variação de espessura, com um valor de prova de 0.007.

Neste caso, foi somente realizado um gráfico de efeitos principais, visto que o teste ANOVA indicou que apenas um dos fatores tinha influência sobre a variação da característica. Assim sendo, a Figura 27 apresenta a diferença entre a média dos valores observados para cada intervalo de RPM. O gráfico indica que para valores mais altos de RPM, a espessura aumenta. O gráfico de interação indica que para o mesmo intervalo de RPM, a espessura aparenta ser mais alta para valores mais altos de temperatura.

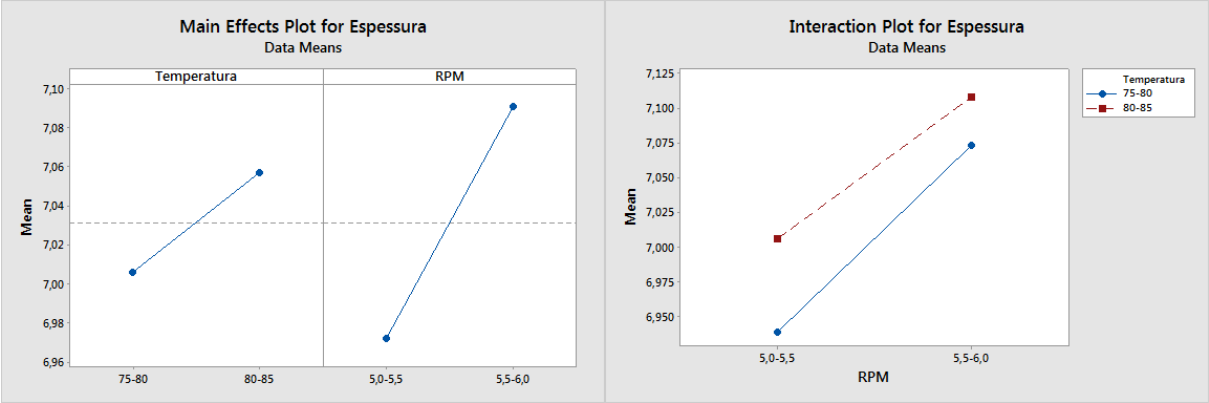

Figura 27-Gráficos de efeitos principais e de interação para a espessura do código reduzido 125

Peso:

A Figura 28 ilustra a carta de controlo I-AM e a análise de capacidade que o *software* Minitab gerou a partir das observações que foram recolhidas para análise do processo, no que diz respeito à variável espessura.

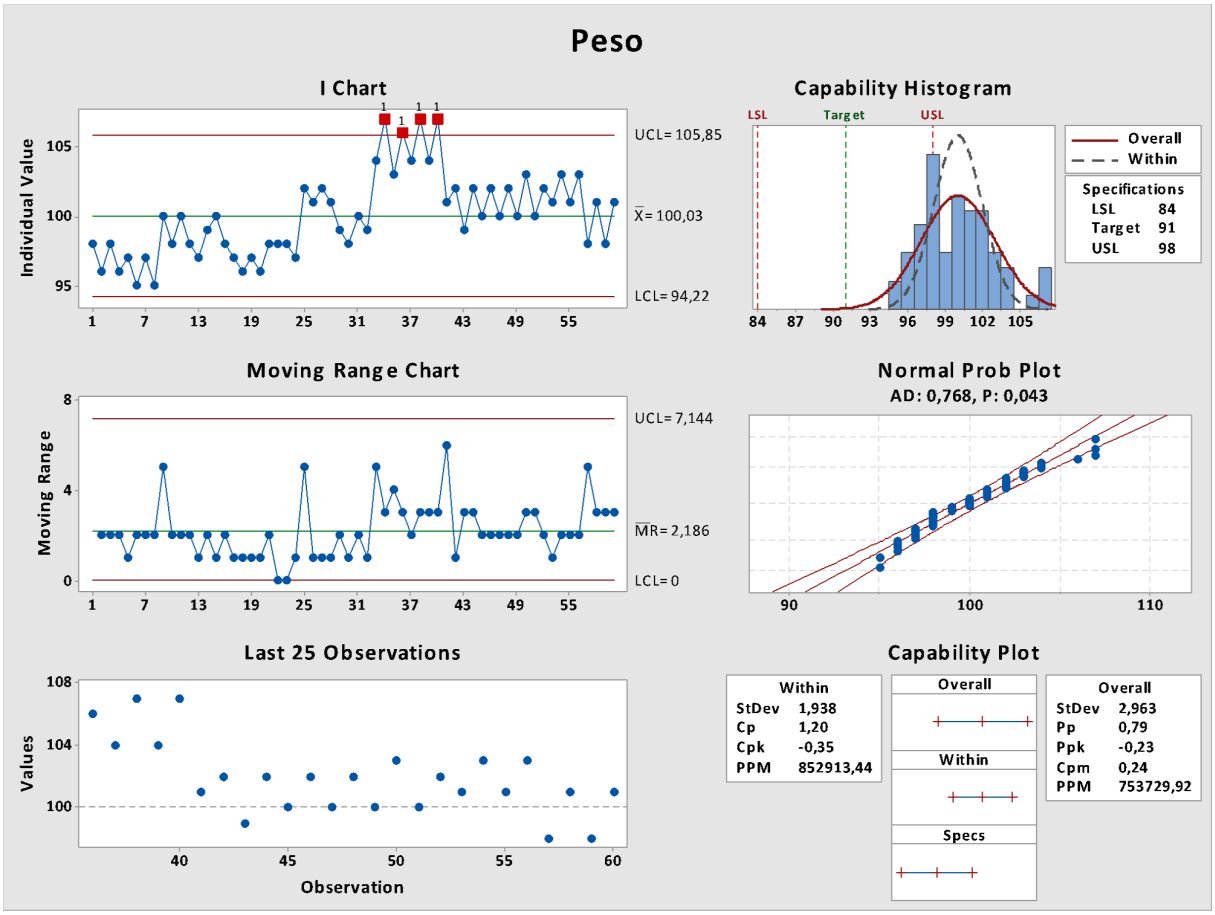

Figura 28- Carta de controlo I-AM e análise de capacidade para o peso do código reduzido 125

Iniciando pela análise à carta de controlo I-MR, verifica-se que o processo se encontra estável, visto que nenhum ponto da carta AM se encontra fora dos limites de controlo. Sendo que o processo aparenta ser estável em relação à variabilidade, o passo seguinte é analisar a carta I, de maneira a verificar se o processo está estável no que diz respeito ao valor esperado do processo. A partir da mesma conclui-se que o processo não se encontra centrado, visto que alguns pontos encontram-se fora dos limites de controlo, e em consequência, o processo não se encontra em controlo estatístico.

Estando o processo fora de controlo estatístico, a análise de capacidade pouco acrescenta para análise do fabrico de cunhas, visto que o processo não se encontra estabilizado. No entanto, é possível ter uma visão da capacidade do processo. Neste caso, o processo não aparenta ser capaz dado o valor de P_p esta abaixo de 1,33 e, para além disso, está longe da meta especificada, visto que o P_{pk} é negativo. Caso se resolvam as causas assinaláveis, é possível atingir o valor de C_p de 1,20. O valor de C_p não é atrativo e, por isso, deve-se procurar implementar melhorias de processo de modo a aumentar o valor do índice de capacidade potencial do processo.

O histograma com os limites de especificação representa a dispersão dos dados na amostra em relação a esses mesmos limites. Grande parte dos valores medidos encontram-se fora dos limites de controlo, mais especificamente na região do limite superior de especificação. Para além disso, dado que a maioria dos valores se encontram nessa região, a média é, portanto, maior que o especificado (100 > 91).

Seguindo o mesmo método apresentado nas variáveis anteriores, foi também feita uma análise sobre a influência de cada fator na variação do peso. A Figura 29 demonstra a tabela ANOVA com a análise de variância do peso segundo os fatores escolhidos. Tal como foi feito no caso da largura e da espessura, também se agrupou os valores por intervalos para que cada nível de cada fator tivesse o mesmo número de observações.

ANOVA: Peso versus RPM; Temperatura

Factor	Type	Levels	Values
RPM	fixed	2	5,0-5,5; 5,5-6,0
Temperatura	fixed	2	75-80; 80-85

Analysis of Variance for Peso

Source	DF	SS	MS	F	P
RPM	1	205,031	205,031	121,18	0,000
Temperatura	1	75,031	75,031	44,35	0,000
RPM*Temperatura	1	16,531	16,531	9,77	0,004
Error	28	47,375	1,692		
Total	31	343,969			

S = 1,30076 R-Sq = 86,23% R-Sq(adj) = 84,75%

Figura 29- Tabela ANOVA para análise de variância do peso do código reduzido 125

A partir da tabela ANOVA é possível verificar que todos os fatores de variação são estatisticamente significativos, dado que os valores de prova de cada um estão abaixo de 5%.

Comprovada a influência dos fatores no processo de extrusão, resta saber qual a sua contribuição para a variável peso. Analisando a Figura 30, o gráfico de efeitos principais indica que uma variação de RPM tem um efeito maior que uma variação de temperatura, visto que a diferença entre as médias no RPM é maior que a diferença entre médias na temperatura. Através do gráfico de interação é possível concluir que com valores maiores RPM, a temperatura tem mais preponderância sobre o peso das cunhas. Para valores baixos de RPM, a temperatura não altera muito o peso, mas com valores mais altos de RPM, a diferença de temperaturas é mais acentuada.

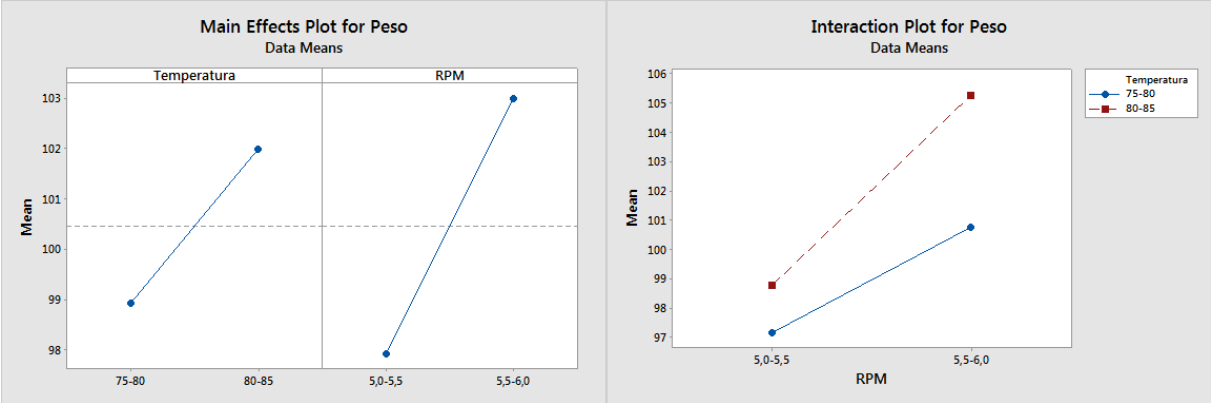

Figura 30- Gráficos de efeitos principais e de interação para o peso do código reduzido 125

Código reduzido 059

Largura:

A Figura 31 ilustra a carta de controlo $\bar{x}$-R e a análise de capacidade que o *software* Minitab gerou a partir das observações que foram recolhidas para análise do processo, no que diz respeito à variável largura.

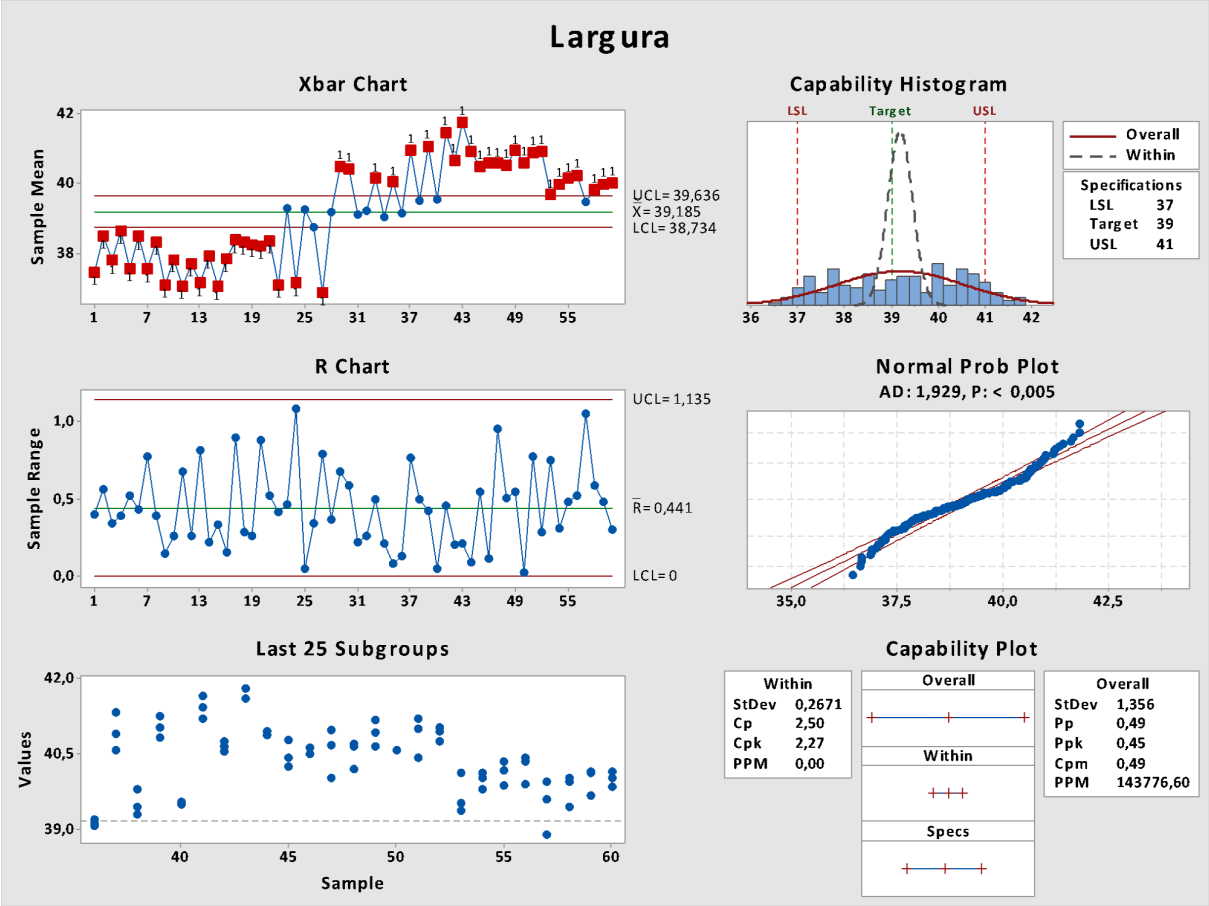

Figura 31- Carta de controlo $\bar{x}$-R e análise de capacidade para a largura do código reduzido 059

Iniciando pela análise à carta de controlo $\bar{x}$-R, verifica-se que o processo encontra-se estável, visto que nenhum ponto da carta R se encontra fora dos limites de controlo. Também, nenhum padrão ou tendência parece estar presente no gráfico das amplitudes. Garantido que o processo é estável em relação à variabilidade, será agora possível analisar a carta $\bar{x}$, de maneira a verificar se o processo está em controlo estatístico. A partir da carta $\bar{x}$ é possível

concluir que o processo não se encontra em controlo estatístico. Raros são os pontos que se encontram dentro dos limites de controlo, em consequência, o processo não se encontra em controlo estatístico. Contudo, a média dos valores medidos encontra-se muito perto do especificado 39mm.

Assim sendo, como o processo está fora de controlo estatístico, a análise de capacidade pouco significado tem, visto que o processo não se encontra estabilizado. Para além disso, é possível verificar que existem duas populações diferentes, o que indica que o método do operador neste caso é um fator de variação crítico.

Na Figura 32 é representada a tabela ANOVA com a análise de variância da largura segundo os fatores selecionados. Tal como no estudo do código reduzido 125, também se agrupou os dados nos vários níveis de cada fator para garantir a mesma dimensão em cada um deles.

ANOVA: Largura versus RPM; Temperatura

Factor	Type	Levels	Values
RPM	fixed	2	10,5-12,0; 9,0-10,5
Temperatura	fixed	2	75-80; 80-85

Analysis of Variance for Largura

Source	DF	SS	MS	F	P
RPM	1	25,543	25,543	29,03	0,000
Temperatura	1	5,235	5,235	5,95	0,021
RPM*Temperatura	1	0,000	0,000	0,00	0,990
Error	28	24,638	0,880		
Total	31	55,417			

S = 0,938047 R-Sq = 55,54% R-Sq(adj) = 50,78%

Figura 32- Tabela ANOVA para análise de variância da largura do código reduzido 059

A partir da tabela ANOVA é possível verificar que tanto o RPM bem como a temperatura são fatores de variação de largura, ao contrário da interação entre os parâmetros. Tal é possível concluir dado os valores de prova de cada fator individual estão abaixo de 5% e o da interação é superior.

Constatada a influência dos fatores no processo de extrusão, falta saber qual a sua contribuição para a variável largura. Analisando a Figura 33, o gráfico de efeitos principais, assinala que uma variação de RPM tem um efeito muito maior que uma variação de temperatura, visto que a diferença entre as médias no RPM é maior que a diferença entre médias na temperatura. Através do gráfico de interação é possível verificar que as linhas são paralelas, o que parece indicar que não existe interação entre os fatores, o que é confirmado pela tabela ANOVA.

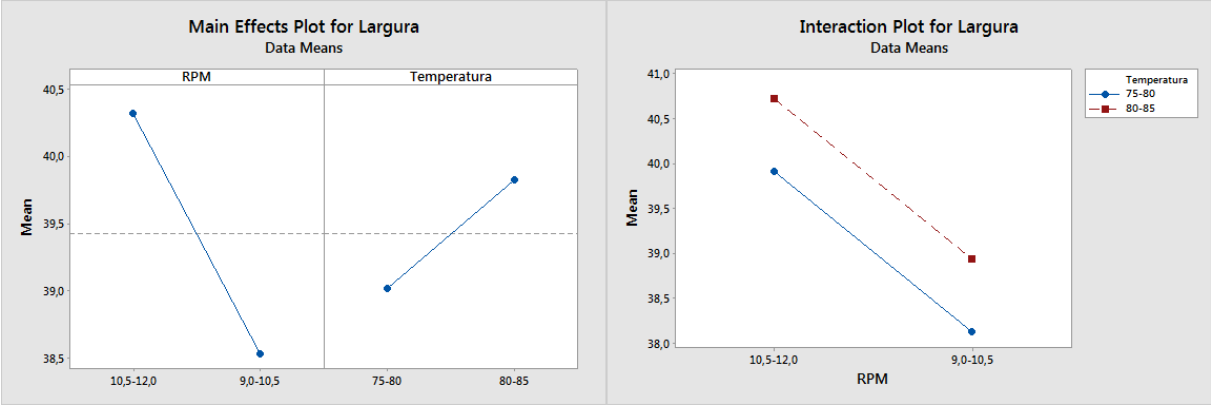

Figura 33- Gráficos de efeitos principais e de interação para a largura do código reduzido 059

De igual modo, também para o caso da largura foi feito um estudo ao fator posição, agrupando os dados de maneira a que esse fator fosse o único que distinguisse os dois agrupamentos. A Figura 34 apresenta a carta de controlo $\bar{x}$-R e análise de capacidade com a dimensão de subgrupo $N = 6$.

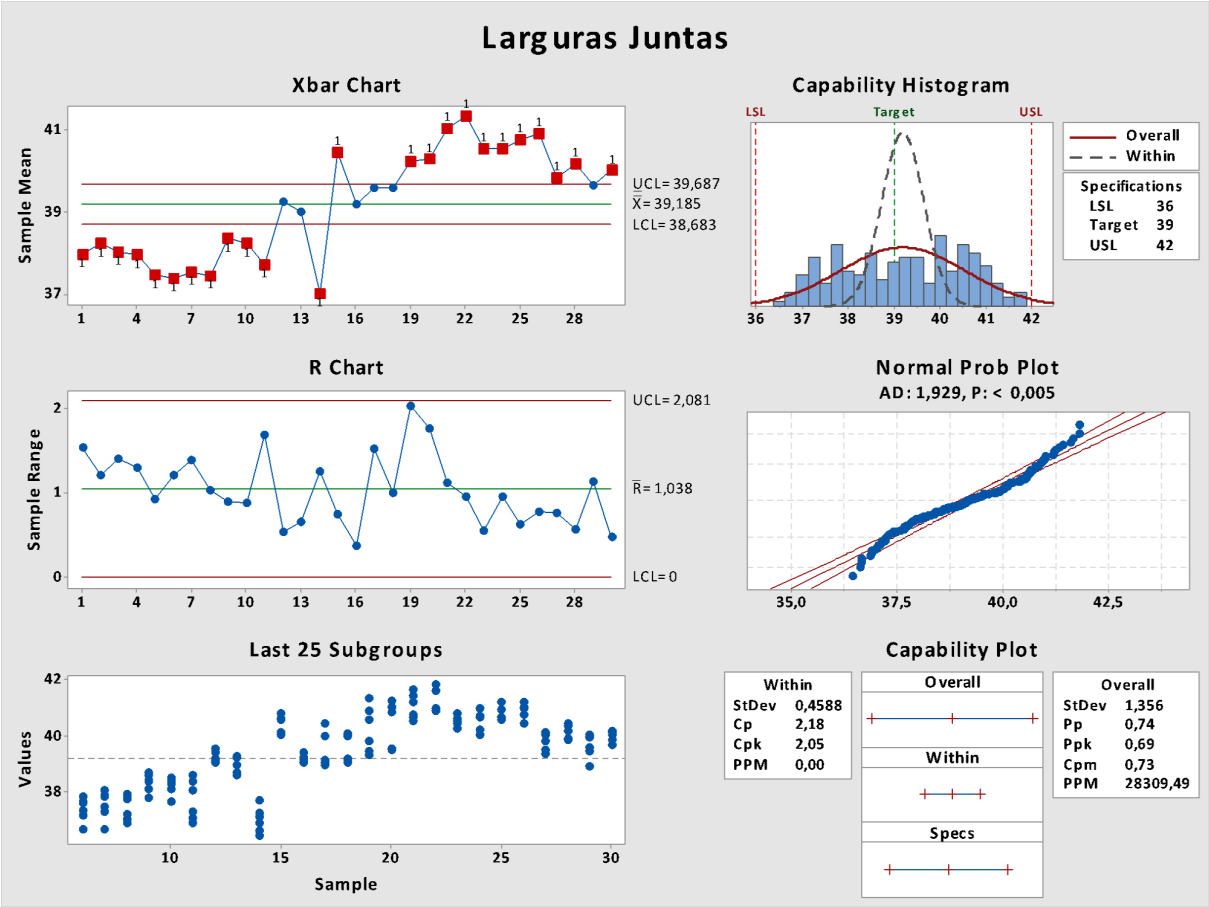

Figura 34- Carta de controlo $\bar{x}$-R para subgrupo de N=6 para a largura do código reduzido 059

Analisando a carta R, o processo encontra-se estável no que diz respeito à variabilidade, visto que não existe evidências de tendência ou padrão no gráfico e não existe qualquer ponto que ultrapasse os limites de controlo. Por outro lado, na carta $\bar{x}$ existem vários pontos que ultrapassam os limites de controlo. Logo, o processo não se encontrada centrado nem estável.

Para quantificar a contribuição do posicionamento da borracha antes do *slitter*, recorreu-se à fórmula introduzida anteriormente no estudo do código reduzido 125. Atendendo a essa equação, o fator posição explica somente 7% da variação da largura.

Espessura:

A Figura 35 representa a carta de controlo $\bar{x}$-R e a análise de capacidade que o *software* Minitab gerou a partir das observações que foram recolhidas para análise do processo, no que diz respeito à variável espessura.

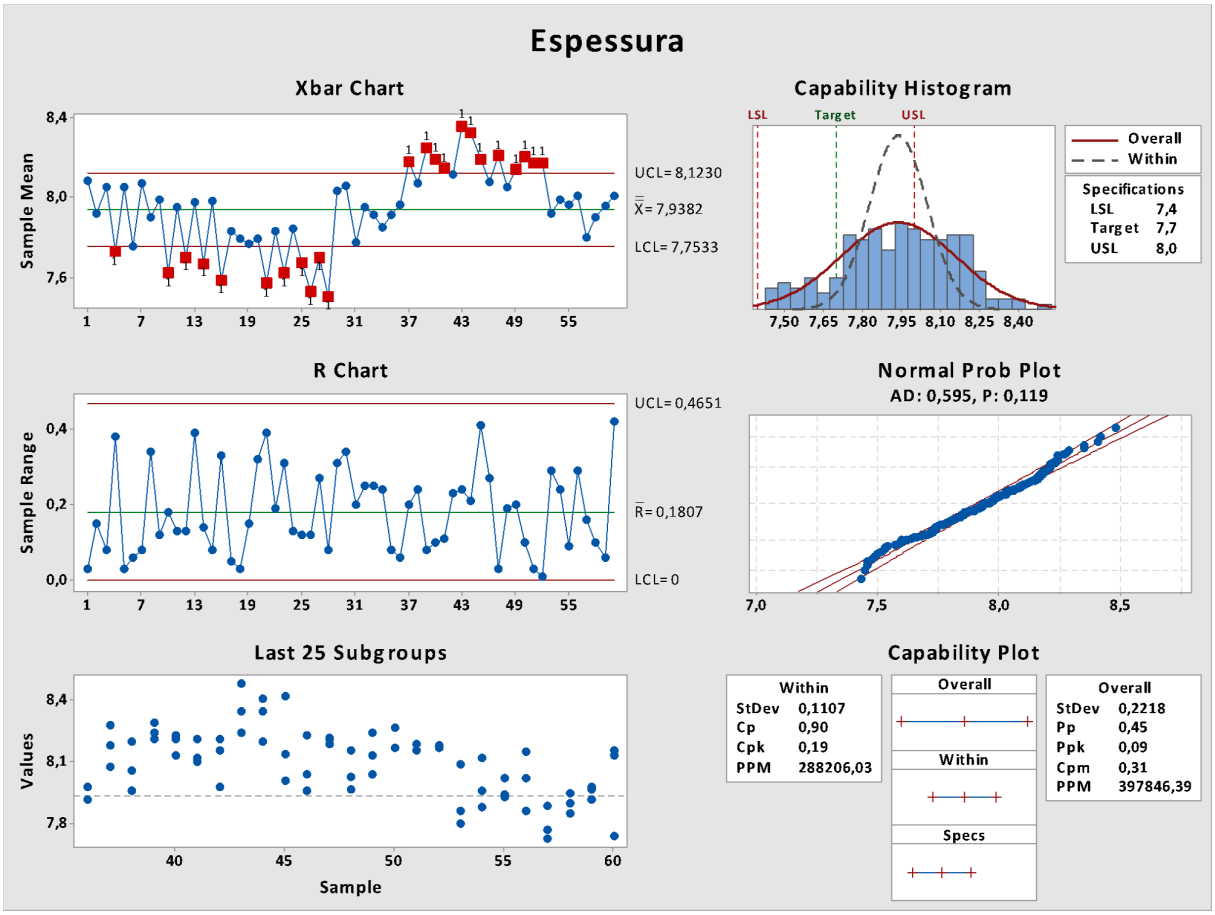

Figura 35- Carta de controlo $\bar{x}$-R e análise de capacidade para a espessura do código reduzido 059

Começando pela análise à carta de controlo $\bar{x}$-R, verifica-se que o processo se encontra estável, visto que nenhum ponto da carta R se encontra fora dos limites de controlo. Também, nenhum padrão ou tendência parece estar presente no gráfico das amplitudes. Certificado que o processo é estável, pode-se, então, proceder à análise da carta $\bar{x}$, de maneira a verificar se o processo está centrado. A partir da carta $\bar{x}$ é possível concluir que o processo não se encontra em controlo estatístico. Vários pontos encontram-se fora dos limites de controlo, tanto abaixo como acima e, consequentemente, o processo não está estabilizado em relação ao valor esperado.

Assim sendo, a análise de capacidade pouco valor tem, já que o processo não se encontra em controlo estatístico. Para além disso, é possível verificar que existem duas populações diferentes, o que indica que o método do operador neste caso é um fator de variação crítico.

O histograma ilustra a dispersão dos dados na amostra em relação aos limites de especificação. Uma grande parte dos valores medidos encontram-se fora dos limites de especificação. A média da amostra é maior à média especificada (7,94> 7,7)mm.

Também foi realizado o estudo complementar de análise sobre a influência de cada fator. A análise ANOVA, juntamente com gráficos de efeitos principais e interação entre fatores serviram para estudar os efeitos de variação. Na Figura 36 é representada a tabela ANOVA com a análise de variância da espessura segundo os fatores selecionados.

ANOVA: Espessura versus RPM; Temperatura

Factor	Type	Levels	Values
RPM	fixed	2	10,5-12,0; 9,0-10,5
Temperatura	fixed	2	75-80; 80-85

Analysis of Variance for Espessura

Source	DF	SS	MS	F	P
RPM	1	0,73508	0,73508	32,70	0,000
Temperatura	1	0,12375	0,12375	5,50	0,026
RPM*Temperatura	1	0,08439	0,08439	3,75	0,063
Error	28	0,62946	0,02248		
Total	31	1,57268			

S = 0,149935 R-Sq = 59,98% R-Sq(adj) = 55,69%

Figura 36- Tabela ANOVA para análise de variância da espessura do código reduzido 059

A partir da tabela ANOVA é possível verificar que o RPM e a temperatura são fatores de variação de espessura, visto que os valores de prova de cada um estão abaixo de 5%, que é o nível de significância do teste. Pelo contrário, a interação entre eles não prova ser estatisticamente significativa, porque o seu valor de prova é maior que o nível de significância do teste.

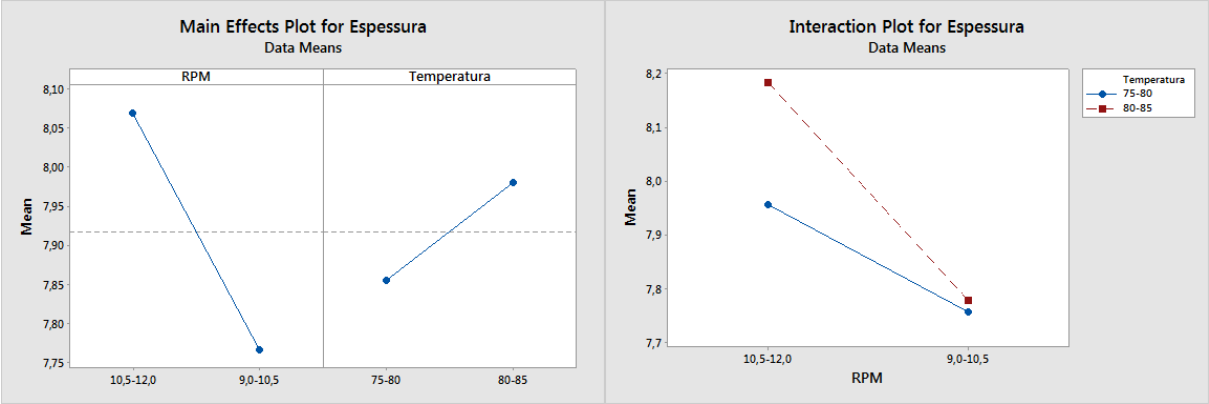

Figura 37- Gráficos de efeitos principais e de interação para a espessura do código reduzido 059

Reconhecida a influência dos fatores no processo de extrusão, resta saber qual a sua contribuição para a espessura. Analisando a Figura 37, o gráfico de efeitos principais, assinala que uma variação de RPM tem um efeito muito maior que uma variação de temperatura, visto que a diferença entre as médias no RPM é muito maior que a diferença entre médias na temperatura. Através do gráfico de interação é possível concluir que com valores maiores RPM, a temperatura tem mais preponderância sobre o valor da espessura.

Peso:

A Figura 38 ilustra a carta de controlo I-AM e a análise de capacidade que o *software* Minitab gerou a partir das observações que foram recolhidas para análise do processo, no que diz respeito à variável peso.

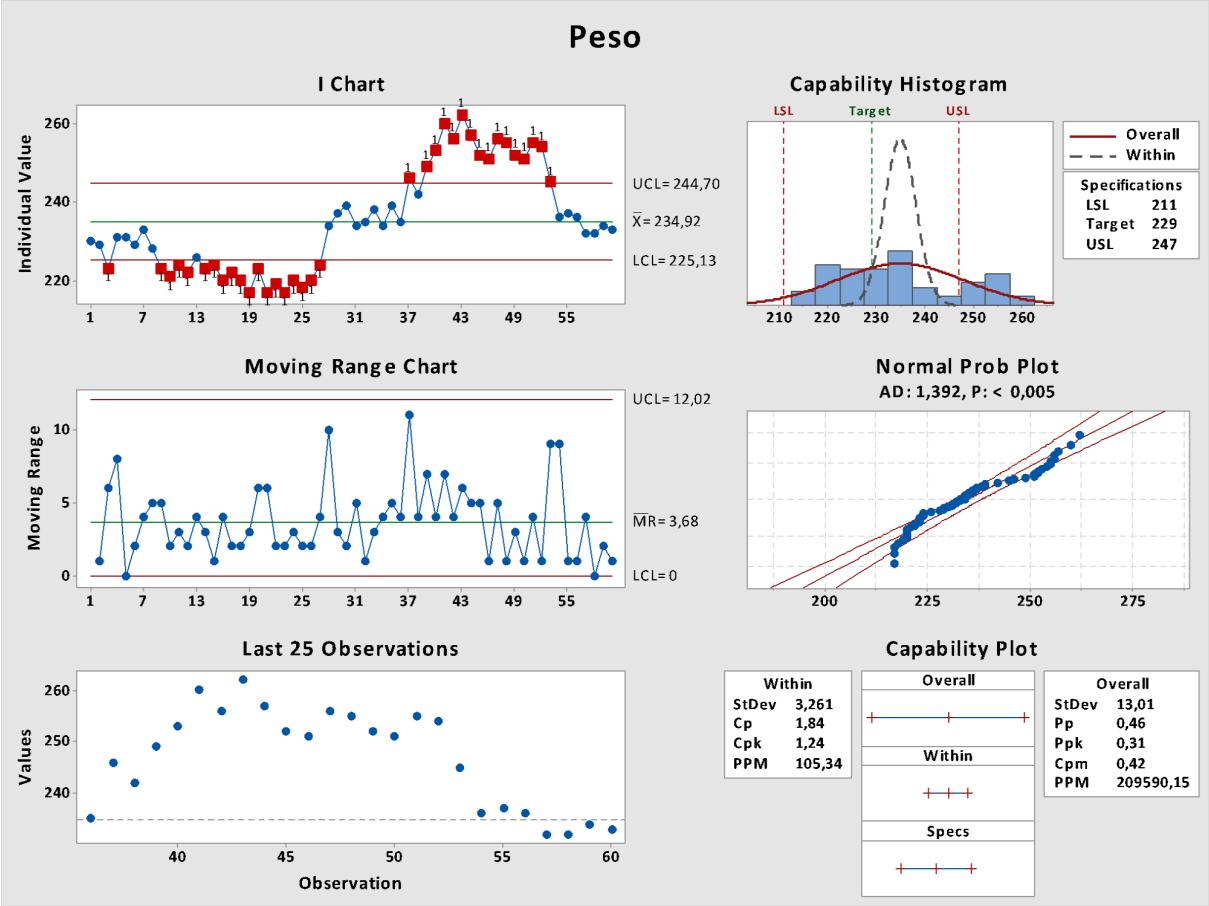

Figura 38- Carta de controlo I-AM e análise de capacidade para o peso do código reduzido 059

Iniciando pela análise à carta de controlo I-AM, verifica-se que o processo se encontra estável, visto que nenhum ponto da carta AM se encontra fora dos limites de controlo. Também, nenhum padrão ou tendência parece estar presente no gráfico das amplitudes médias. Constatado que o processo é estável, o passo seguinte é analisar a carta I, de maneira a verificar se o processo está estabilizado em relação ao valor esperado. A partir da mesma conclui-se que o processo não se encontra em controlo estatístico. Vários pontos encontram-se fora dos limites de controlo, tanto abaixo como acima e, em consequência, o processo não se encontra em controlo estatístico.

Assim sendo, a análise de capacidade em nada acrescenta para análise do fabrico de cunhas, visto que o processo não se encontra estabilizado. Para além disso, é possível verificar que existem duas populações diferentes, o que indica que o método do operador neste caso é um fator de variação crítico.

O histograma com os limites de especificação representa a dispersão dos dados na amostra em relação a esses mesmos limites. Apenas alguns valores medidos encontram-se fora dos limites de controlo, estando concentrados na região do limite superior de especificação. Consequentemente, a média é ligeiramente superior ao valor especificado (234> 229)g.

Seguindo o mesmo método apresentado nas variáveis anteriores, foi também feita uma análise sobre a influência de cada fator na variação do peso. A Figura 39 demonstra a tabela ANOVA com a análise de variância do peso segundo os fatores escolhidos

A partir da tabela ANOVA é possível verificar que tanto o RPM bem como a temperatura são fatores significativos de variação do peso, dado que os valores de prova de cada um estão abaixo de 5%. A interação não se apresenta como um fator de variação estatisticamente significativo, já que o valor de prova é bem superior ao nível de significância do teste.

ANOVA: Peso versus RPM; Temperatura

Factor	Type	Levels	Values
RPM	fixed	2	10,5-12,0; 9,0-10,5
Temperatura	fixed	2	75-80; 80-85

Analysis of Variance for Peso

Source	DF	SS	MS	F	P
RPM	1	4680,3	4680,3	121,21	0,000
Temperatura	1	166,5	166,5	4,31	0,047
RPM*Temperatura	1	9,0	9,0	0,23	0,632
Error	28	1081,1	38,6		
Total	31	5937,0			

S = 6,21382 R-Sq = 81,79% R-Sq(adj) = 79,84%

Figura 39- Tabela ANOVA para análise de variância do peso do código reduzido 059

Comprovada a influência dos fatores no processo de extrusão, resta saber qual a sua contribuição para a variável peso. Analisando a Figura 40, o gráfico de efeitos principais indica que uma variação de RPM tem um efeito muito maior que uma variação de temperatura, visto que a diferença entre as médias no RPM é maior que a diferença entre médias na temperatura. Através do gráfico de interação é possível admitir que o efeito da interação temperatura/RPM não parece existir, visto que as retas de interação são praticamente paralelas, algo que é confirmado pelo tabela ANOVA.

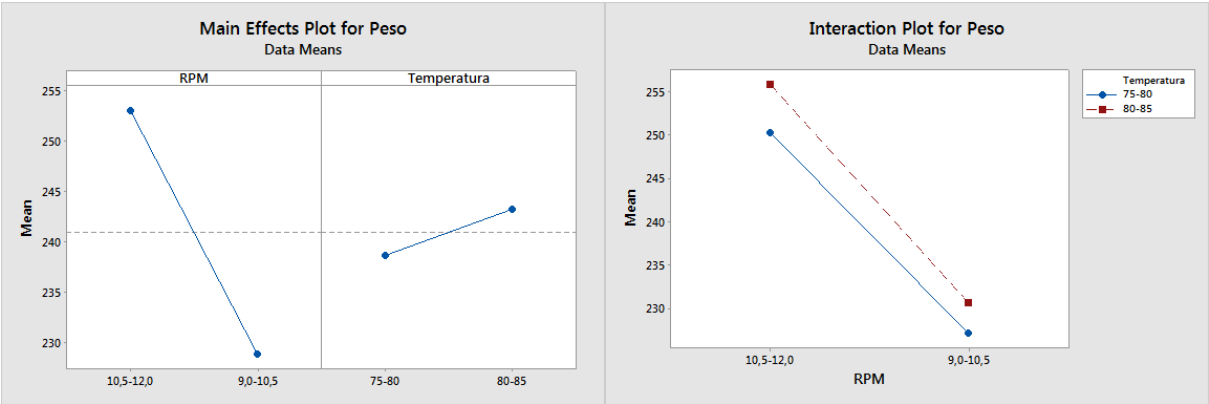

Figura 40- Gráficos de efeitos principais e de interação para o peso do código reduzido 059

3.5 Síntese

Neste capítulo foram descritos, de uma forma breve, os componentes do pneu e os processos utilizados pela Continental para os construir. Mais especificamente, a construção de talões foi descrita com maior detalhe, visto que o foco do trabalho é a análise de variabilidade e capacidade de um dos processos associados a essa etapa, o fabrico de cunhas. Compreendidas todas as etapas do processo de construção de talões, a fase seguinte foi a análise do estado atual do processo. Inicialmente foi feito um levantamento das necessidades e requisitos do processo para entender o fluxo do mesmo, utilizando a ferramenta SIPOC. Depois foi analisado como o processo é controlado, concluindo-se que não existia qualquer preocupação pelo estado do processo, visto que nenhum departamento tinha o cuidado de analisar os valores que os operadores introduziam na *checklist*. No entanto, mesmo que estes dados fossem objeto de análise o estudo ficaria viciado à partida, já que se constatou no *gemba* que os operadores apontam valores falsos para os parâmetros de forma a respeitarem as especificações, não apontando os dados que realmente medem.

Desta fase inicial de análise do fabrico de cunhas, identificou-se que esta área tinha pouca supervisão e que era necessário um estudo profundo e uma caracterização detalhada do estado atual. Para avaliar o processo foram escolhidos dois códigos reduzidos associados aos perfis de cunha que geravam mais *scrap* para cada composto existente. No caso do composto A268 foi escolhido o código reduzido 125, referente ao perfil de 17, e para o composto A205 foi selecionado o código reduzido 059, referente ao perfil de 42. A escolha destes códigos deveu-se ao volume elevado de produção que cada um tinha.

A análise do processo foi um trabalho demorado, pois foi preciso um esforço grande para a recolha dos dados necessários para o estudo do fabrico de cunhas. Sendo que a produção não é linear e estando apenas possibilitado de recolher observações no primeiro turno de produção, a comunicação constante com a produção revelou-se crucial para agilizar o processo de obtenção de amostras. Do estudo, conclui-se que o processo não se encontra em controlo estatístico para nenhuma das variáveis de estudo: largura, espessura e peso. Consequentemente, nesta fase não é possível medir com grande fiabilidade a capacidade do processo, dado que o mesmo não está em controlo. Para entender a importância dos fatores de variação, a temperatura e RPM, foi feita uma análise dos mesmos, recorrendo a tabelas ANOVA e a gráficos de efeitos principais e de interação. Na maioria dos casos, tanto a temperatura como o RPM, são fatores de variação do processo; apenas no caso da espessura para o código reduzido 125 é que se identificou que a temperatura não era estatisticamente significativa.

Identificados estes parâmetros de máquina como fatores de variação do fabrico de cunhas, a fase seguinte será realizar um estudo profundo às variáveis e entender qual a melhor combinação que permite obter o *output* esperado para este processo.

4 Proposta de Solução

Neste capítulo será apresentada a solução proposta para a resolução e melhoria dos problemas identificados. Nesta fase, focou-se na melhoria do código reduzido 125, visto ter sido considerado pela produção como o código que necessitava mais rapidamente de uma intervenção.

Primeiro, será explicado o planeamento de experiências (DoE) desenvolvido para identificar quais os valores ótimos de temperatura e de RPM que devem ser utilizados na máquina para que a cunha tenha as características exigidas. De seguida são descritas as áreas de implementação da solução proposta e em que consiste a solução, juntamente com os benefícios da mesma. Finalmente, são apresentados os resultados decorrentes da implementação dos valores resultantes do desenho de experiências.

4.1 Planeamento de Experiências

Na fase de análise da situação atual do processo conclui-se que o processo se encontrava fora de controlo estatístico na maioria das situações, sendo que a liberdade dada aos operadores para alterar os parâmetros de máquina resultava em imensas discrepâncias entre os turnos de produção. Assim sendo, é crítico definir valores específicos dos parâmetros a utilizar recorrentemente para que sejam garantidas as características do produto ao longo do tempo. Desta forma, limita-se a liberdade dos operadores e otimiza-se o processo ao mesmo tempo.

O método aplicado para a otimização do processo foi o planeamento de experiências (DoE). O desenho de experiências é uma técnica poderosa usada para ganhar mais conhecimento sobre os processos e para otimizar esse mesmos processos para alcançar performances de excelência (Antony 2014). A Figura 41 representa o modelo do fabrico de cunhas para compreender os requisitos e fatores do processo.

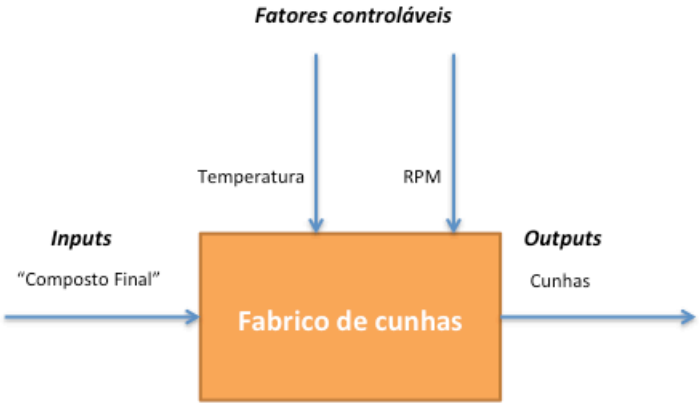

Figura 41- Modelo de fabrico de cunhas

O DOE utilizado neste caso foi um fatorial completo com dois níveis, visto que foi considerado um modelo com dois fatores de variação: a temperatura e o RPM e foram feitas todas as combinações possíveis. No caso da temperatura, o nível mais baixo é 75ºC e o mais

alto 85ºC. Para o RPM os níveis selecionados para o estudo foram 4,5 rotações por minuto e 6,5 rotações por minuto. Os limites especificados foram obtidos através de uma reunião realizada com operadores das máquinas em conjunto com os valores estabelecidos nas tabelas de especificação. Assim sendo, o DOE será um 2 fatorial a dois níveis, havendo consequentemente, quatro combinações possíveis. Para reforçar o DOE foram criados dois blocos. A utilização dos blocos é um método para eliminar os efeitos alheios de variação de fatores de ruído e, dessa forma, melhora a eficiência do desenho de experiencias. O principal objetivo dos blocos é eliminar fontes de variação não desejadas (Antony 2014). A Tabela 4 ilustra as combinações e a ordem de recolha de amostras gerada pelo Minitab.

Tabela 4- Tabela de recolha de dados para DOE

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	WP	Temp.	RPM
2	1	1	1	1	75	6,5
1	2	1	1	1	75	5,0
3	3	1	1	2	85	5,0
4	4	1	1	2	85	6,5
7	5	1	2	4	85	5,0
8	6	1	2	4	85	6,5
6	7	1	2	3	75	6,5
5	8	1	2	3	75	5,0

Recorrendo ao Minitab, fez-se a análise ao modelo fatorial para cada variável de estudo: largura, espessura e peso. Para que a análise seja fiável, é preciso que o modelo respeite alguns pressupostos. Primeiro, as variâncias de cada grupo têm de ser iguais, o que é verificado e está demonstrado no ANEXO B. Depois para cada variável em estudo, os dados devem seguir distribuição normal e os erros residuais devem ser aleatórios e independentes.

Para cada modelo foi, também, considerado inicialmente que todos os fatores considerados influenciavam a variável em estudo. A partir da tabela ANOVA gerada segundo esse modelo verificou-se se realmente tantos os efeitos principais como a interação entre eles eram estatisticamente significativos. Caso não o fossem, então o modelo deveria ser reajustado para integrar apenas os fatores de variação estatisticamente significativos.

Largura:

No ANEXO C verifica-se que os pressupostos para a análise do DOE são verificados, isto é, as observações seguem uma distribuição normal e os erros residuais são aleatórios e independentes. No ANEXO D verificou-se que a presença de blocos e a interação temperatura/RPM não tinham qualquer impacto sobre a largura, sendo retirados do modelo; ajustou-se assim o modelo apenas à temperatura e RPM como efeitos principais. A Figura 42 representa os resultados obtidos da análise do modelo fatorial para a largura com os dois fatores mencionados.

A Figura 42 apresenta a equação de regressão que explica o valor de largura tendo em conta os fatores selecionados. A partir do sumário do modelo verifica-se que a equação obtida explica cerca de 95% da variação da largura. Esta equação é utilizada depois para encontrar quais os valores de temperatura e RPM requeridos para obter o valor pretendido de largura.

Factorial Regression: Largura versus Temperatura; RPM

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	2	1,46252	0,73126	127,21	0,000
Linear	2	1,46252	0,73126	127,21	0,000
Temperatura	1	0,19272	0,19272	33,53	0,002
RPM	1	1,26980	1,26980	220,90	0,000
Error	5	0,02874	0,00575		
Lack-of-Fit	1	0,01375	0,01375	3,67	0,128
Pure Error	4	0,01499	0,00375		
Total	7	1,49126			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0758180	98,07%	97,30%	95,07%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		13,5255	0,0268	504,57	0,000	
Temperatura	0,3104	0,1552	0,0268	5,79	0,002	1,00
RPM	0,7968	0,3984	0,0268	14,86	0,000	1,00

Regression Equation in Uncoded Units

Largura = 7,988 + 0,03104 Temperatura + 0,5312 RPM

Figura 42- Análise modelo fatorial para a largura com RPM e temperatura como fatores

Espessura:

No ANEXO E verifica-se que os pressupostos para a análise do DOE são verificados, ou seja, as observações seguem uma distribuição normal e os erros residuais são aleatórios e independentes. No ANEXO F verificou-se que a temperatura e a interação temperatura/RPM não tinham qualquer impacto sobre a espessura, assim foram retirados do modelo e ajustou-se o mesmo apenas aos blocos e ao RPM como efeitos principais. Contudo, os blocos não são considerados para a equação do modelo, mas têm impacto sobre o valor do coeficiente associado ao RPM. A Figura 43 representa os resultados obtidos da análise do modelo fatorial para a largura com os dois fatores mencionados.

A Figura 43 apresenta a equação de regressão que explica o valor de espessura tendo em conta os fatores selecionados. A partir do sumário do modelo verifica-se que a equação obtida explica cerca de 87% da variação da largura. Esta equação é utilizada depois para encontrar qual o valor de RPM necessário para obter o valor pretendido de espessura.

Factorial Regression: Espessura versus Blocks; RPM

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	2	0,36657	0,183283	24,49	0,003
Blocks	1	0,12293	0,122925	16,42	0,010
Linear	1	0,24364	0,243641	32,55	0,002
RPM	1	0,24364	0,243641	32,55	0,002
Error	5	0,03742	0,007485		
Total	7	0,40399			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0865158	90,74%	87,03%	76,28%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		6,8105	0,0306	222,65	0,000	
Blocks						
1		-0,1240	0,0306	-4,05	0,010	1,00
RPM	0,3490	0,1745	0,0306	5,71	0,002	1,00

Regression Equation in Uncoded Units

Espessura = 5,473 + 0,2327 RPM

Figura 43- Análise modelo fatorial para a espessura com RPM e blocos como fatores

Peso:

No ANEXO G verifica-se que os pressupostos para a análise do DOE são verificados, ou seja, as observações seguem uma distribuição normal e os erros residuais são aleatórios e independentes. No ANEXO H verificou-se que a presença de blocos, a temperatura e a interação temperatura/RPM não tinham qualquer impacto sobre o peso, assim foram retirados do modelo e ajustou-se o mesmo apenas ao RPM como efeito principal. A Figura 44 representa os resultados obtidos da análise do modelo fatorial para o peso com o fator RPM.

A Figura 44 apresenta a equação de regressão que explica o valor do peso tendo em conta o RPM. A partir do sumário do modelo verifica-se que a equação obtida explica cerca de 98% da variação da largura. Esta equação é utilizada depois para encontrar qual o valor de RPM preciso para obter o valor pretendido de peso.

Factorial Regression: Peso versus RPM

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	1	512,000	512,000	274,08	0,000
Linear	1	512,000	512,000	274,08	0,000
RPM	1	512,000	512,000	274,08	0,000
Error	6	11,208	1,868		
Lack-of-Fit	2	6,736	3,368	3,01	0,159
Pure Error	4	4,472	1,118		
Total	7	523,208			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1,36677	97,86%	97,50%	96,19%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		98,208	0,483	203,23	0,000	
RPM	16,000	8,000	0,483	16,56	0,000	1,00

Regression Equation in Uncoded Units

Peso = 36,88 + 10,667 RPM

Figura 44- Análise modelo fatorial para o peso com RPM como fator

Análise aos modelos de regressão

Feita a análise às diversas variáveis e tendo os modelos de regressão para cada uma delas, o passo seguinte é agrupá-las de forma a encontrar os valores dos parâmetros de máquina que otimizam as variáveis em estudo. Recorrendo à função *response optimizer* do Minitab, é possível utilizar todas as equações resultantes dos modelos de regressão de cada variável para descobrir os valores dos parâmetros que otimizam o resultado final. Nesta fase, foi decidido que a largura era a variável que era necessária incluir no valor especificado. Assim, foi introduzido no programa um peso associado à largura. A outra variável a considerar seria a espessura, com um peso inferior ao da largura. Sendo que o peso é uma consequência direta dos valores de largura e de espessura de cunha, esta funcionalidade serviu para dizer qual o valor de peso que deve servir de base de referência para a cunha com as características exigidas, isto é, com a largura e espessura no valor especificado. A Figura 45 ilustra os gráficos obtidos através do *response optimizer* e também quais os valores de temperatura e RPM a ser introduzidos para que o produto final tenha as características no valor desejado. A função *response optimizer* apresenta o valor para cada um dos fatores tendo em conta a *desirability* de cada variável de estudo, ou seja, ele compara o resultado obtido para cada variável com o valor *target*, considerando os valores introduzidos para os fatores. Quanto mais próximo o resultado obtido estiver do *Target*, maior é o valor de *desirability*. Assim sendo, a função tenta otimizar a *desirability* conjunta.

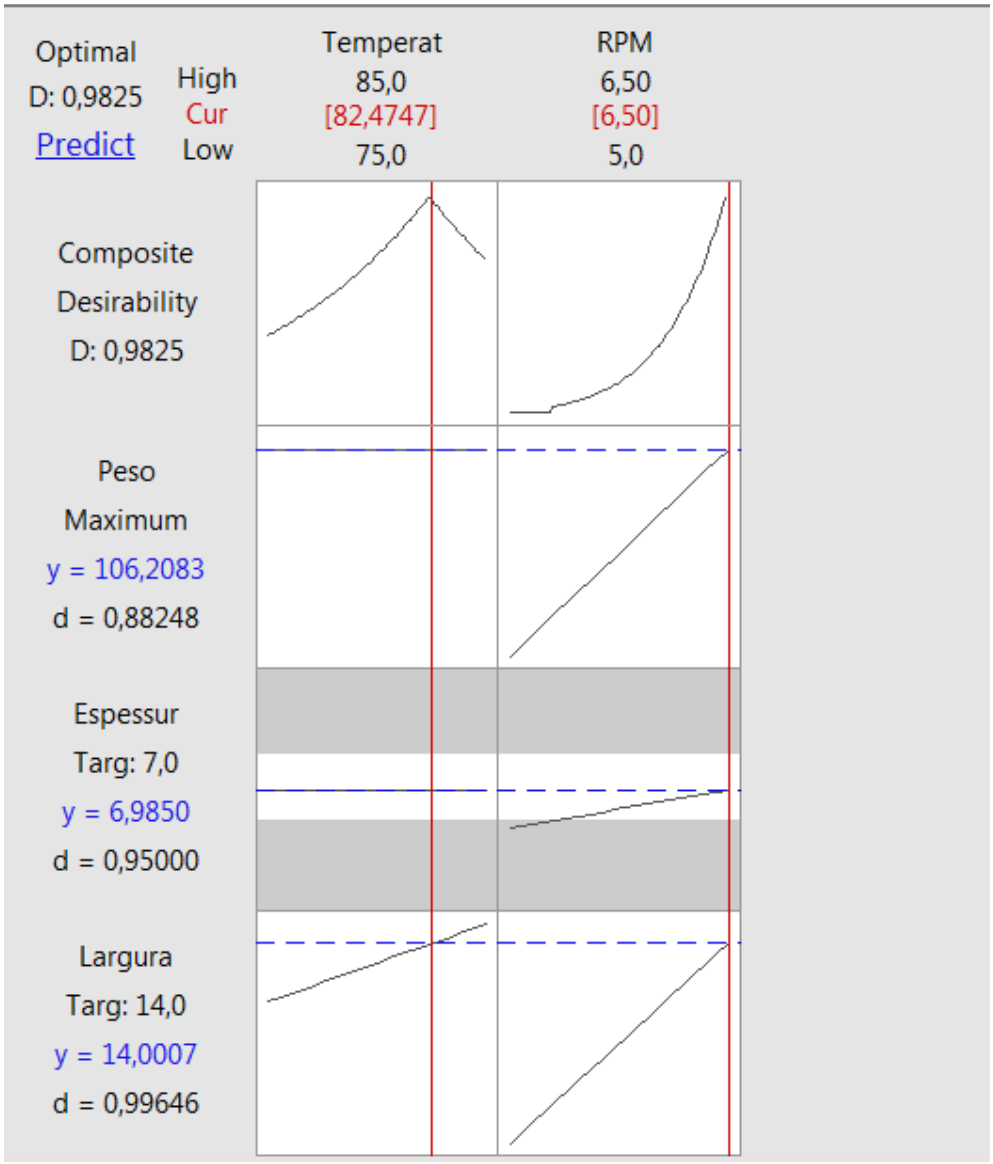

Figura 45- Gráfico obtido através do *response optimizer*

Na Figura 45 são representados os vários gráficos associados a cada uma das variáveis, onde em cada coluna são desenhadas as retas provenientes dos modelos de regressão. A função indica que os valores de temperatura e RPM são 82ºC e 6,5 rotações por minuto, respetivamente. Estes valores são os que se ajustam melhor a todos os modelos de regressão e que cumprem com os valores exigidos das variáveis. Adicionalmente, a *desirability* composta é de 98%, indicando que a solução obtida está muito próxima dos valores exigidos para cada uma das variáveis. A solução obtida prevê que, com os valores de temperatura e RPM alcançados, a largura da cunha para o código reduzido 125 seja de 14mm, a espessura de 6,98mm e o peso de 106g.

4.2 Implementação de solução

A solução proposta para a melhoria do processo está dividida em três áreas de ação: (1) implementação dos valores dos parâmetros de máquina obtidos no DOE para melhoria de características do produto, (2) redefinição do *layout* do posto de trabalho para que os operadores tenham ao seu dispor as ferramentas necessárias para realizar o autocontrolo, (3) implementação do novo método de autocontrolo desenhado para serem os operadores a realizar o autocontrolo em vez dos ajudantes, com o intuito de minimizar o número de talões

que são enviados para a área de construção sem qualquer tipo de controlo prévio da extrusão das cunhas.

Implementação dos valores de Temperatura e RPM

Para a implementação dos valores obtidos no DOE para a temperatura e RPM foi comunicado aos operadores para começar a utilizar aqueles valores como ponto de referência para a extrusão de cunhas. Sendo que o RPM foi o fator presente em todos os modelos de regressão, os operadores foram instruídos a não modificar este parâmetro. No caso de a máquina necessitar de ajustes para obter o produto nas características exigidas, apenas a temperatura poderia ser alterada para acerto do processo. De seguida, comunicou-se esta alteração ao departamento de Engenharia, de forma a que os valores de parâmetros corretos fossem introduzidos no *software* da máquina, deixando de ser necessário que os operadores façam qualquer modificação ao valor associado ao código reduzido no início de produção.

Implementação de novo método de Autocontrolo

Um dos problemas apontados logo no início da análise do processo foi o facto da função de autocontrolo estar atribuída aos ajudantes em vez desta tarefa ser da responsabilidade dos operadores. Este problema é ainda mais crítico, pois os operadores dependem dessa informação para dar seguimento à produção. Assim, é possível produzir talões que não cumprem com as especificações e que depois ficam retidos na área de construção.

O método do *Job Breakdown* foi aplicado para descrever o método de autocontrolo, indicando todos os passos que o constituem. A Figura 46 representa a folha de *Job Breakdown* elaborada para descrever o método de autocontrolo utilizado atualmente, com o operador responsável por esta tarefa, de acordo com as indicações do departamento de Qualidade. Assim, verifica-se que o operador gasta 45 segundos a realizar o autocontrolo. Durante esse tempo a máquina fica parada e a borracha vai-se acumulando nos *loops*, ficando cada vez mais fria, o que depois dificulta o processo de montagem da cunha no núcleo. Adicionalmente, o operador é forçado a retirar uma quantidade de borracha, equivalente a 6/8 cunhas, já que essa borracha se encontra demasiado fria para ser aplicada no núcleo, gerando dessa forma um volume maior de *work off*.

Continental
Continental Mabor

Job Methods
Fraccionamento de operações

Operação: Auto Controlo APEX | Produto: Cunha | Dept. Qualidade
O seu nome: João Tiago Monteiro | Operador: Marco (Turno B) | Data: 12/05/16 | página 1 de 1

	Detalhes do método ☒ actual ☐ proposto **Tudo o que é feito - cada inspecção - cada atraso**	Distancias	**Notas** Lembretes - Tolerâncias - Tempos - SEGURANÇA - etc.	Porquê/ O quê	Onde	Quando	Quem	Como	**Ideias** Escreva-as !! Não confie na sua memória	Eliminar	Combinar	Re-organizar	Simplificar
1	Retirar 2 cunhas da guia	-	cerca de 2 segundos										
2	Dirigir-se ao local de medição	15m	cerca de 10 segundos	x		x			Colocar ferramentas necessárias no			x	
3	efectuar medição de largura de cada cunha	-	cerca de 7 segundos para cada					x	Paquímetro				
4	efectuar medição de peso de cada cunha	-	cerca de 2 segundos					x	Balança Digital				
5	Verificação dos parâmetros com as especifica	-	cerca de 2 segundos	x				x	Lista de tolerância e especificação				
6	Dirigir-se ao local de trabalho	15m	cerca de 10 segundos	x		x				x			
7	Registo das medições	-	cerca de 5 segundos		x				Checklist				
8	Reiniciar máquina/produção	-	Caso os parâmetros estajam fora da tolerância,	x						x			
9	Retirar work-off	-	equivalente a cerca de 6 a 8 cunhas	x						x			
10	Produção normal(retoma ao estado natural)	-											
	Nos passos 2-7 a máquina encontra-se parad		Tempo total = 45 segundos + work off										

Figura 46- Folha do *Job Breakdown* do método autocontrolo atual

Analisado o método de autocontrolo usado, os problemas destacados neste método são a deslocação que o operador é obrigado a fazer, o tempo de paragem da máquina e o *work off*. Para ter uma visão do deslocamento realizado pelo operador foi feito uma diagrama de *spaghetti*, que está ilustrado no ANEXO I. Assim sendo, delineou-se uma nova solução para tratar esta falha, de forma a evitar o tempo de paragem e o *work off* gerado pelo tempo de

realização do autocontrolo: o novo método deve ser compatível com a máquina, isto é, o autocontrolo ser feito à medida que a máquina trabalha. A solução para eliminar a deslocação dos operadores à mesa de medição passa por permitir que eles façam o autocontrolo no seu posto de trabalho. Assim, é necessário reorganizar o posto de trabalho de modo a que o operador disponha das ferramentas necessárias para o autocontrolo.

A solução proposta para a resolução do problema é exposta na Figura 47, utilizando também a folha do *Job Breakdown* para a descrição do novo método. A solução baseia-se em colocar uma mesa ao lado do operador, onde este terá à sua disposição os materiais necessários para o autocontrolo, o paquímetro e a balança, e onde pousará as cunhas para medição. O método do autocontrolo proposto aproveita os intervalos de tempo que o operador tem enquanto o tambor une a cunha ao núcleo para realizar o autocontrolo.

A solução proposta, para além de aproveitar o trabalho contínuo da máquina, também resulta num tempo menor para a realização do autocontrolo. O feedback dos operadores foi muito positivo e a experiência realizada trouxe benefícios na produção dos operadores durante o turno, mais concretamente, os operadores atuaram mais cedo quando as características não estavam dentro do especificado, tendo sido gerada menos borracha para *work off*.

Continental
Continental Mabor

Job Methods
Fraccionamento de operações

Operação: Auto Controlo APEX | Produto: Cunha | Dept. Qualidade
O seu nome: João Tiago Monteiro | Operador: | Data: 13-05-2016 | página 1 de 1

	Detalhes do método ☐ actual ☒ proposto Tudo o que é feito - cada inspecção - cada atraso	Distâncias	Notas Lembretes - Tolerâncias - Tempos - SEGURANÇA - etc.	Porquê/O quê	Onde	Quando	Quem	Como	Ideias Escreva-as !! Não confie na sua memória	Eliminar	Combinar	Reorganizar	Simplificar
1	Retirar 2 cunhas	-	cerca de 2 segundos										
2	Pousá-las na mesa de medição	-											
3	Medir largura de uma cunha enquanto máquina produzum talão	-	cerca de 7 segundos					x	Paquimetro individual				
4	Registo da medição	-	cerca de 2 segundos										
5	Medir largura de uma cunha enquanto máquina produzum talão	-	cerca de 7 segundos					x	Paquimetro individual				
6	Registo da medição	-	cerca de 2 segundos										
7	Pesar uma cunha enquanto máquina produzum talão	-	cerca de 2 segundos					x	Balança				
8	Registo da medição	-	cerca de 2 segundos										
9	Pesar uma cunha enquanto máquina produzum talão	-	cerca de 2 segundos					x	Balança				
10	Registo da medição	-	cerca de 2 segundos										
11	Ajuste de parâmetros caso haja necessidade	-											
			Máquina nunca se encontra parada										
			Tempo total = 28 segundos										

Figura 47- Novo método de autocontrolo proposto

4.3 Principais Resultados

Após implementação dos valores de temperatura e de RPM na APEX 10, foi feita uma nova recolha de dados para verificar se os valores encontrados no DOE resultaram numa melhoria de processo e, se possível, medir a capacidade do processo, já que anteriormente o processo não se encontrava em controlo estatístico. Esta nova amostra é semelhante à amostra realizada na fase de análise inicial ao processo, apenas a dimensão da amostra aumenta de 60 para 64. O tempo de recolha de dados para esta nova etapa durou cerca de um mês. O método de análise de cartas de controlo e capacidade de processo será similar ao que foi realizado na fase de análise da situação inicial.

Adicionalmente, também foi calculado o benefício financeiro do novo método de autocontrolo.

Largura:

A Figura 48 ilustra a carta de controlo $\bar{x}$-R e a análise de capacidade que o *software* Minitab gerou a partir dos dados que foram recolhidos para análise da melhoria processo no que diz respeito à variável largura.

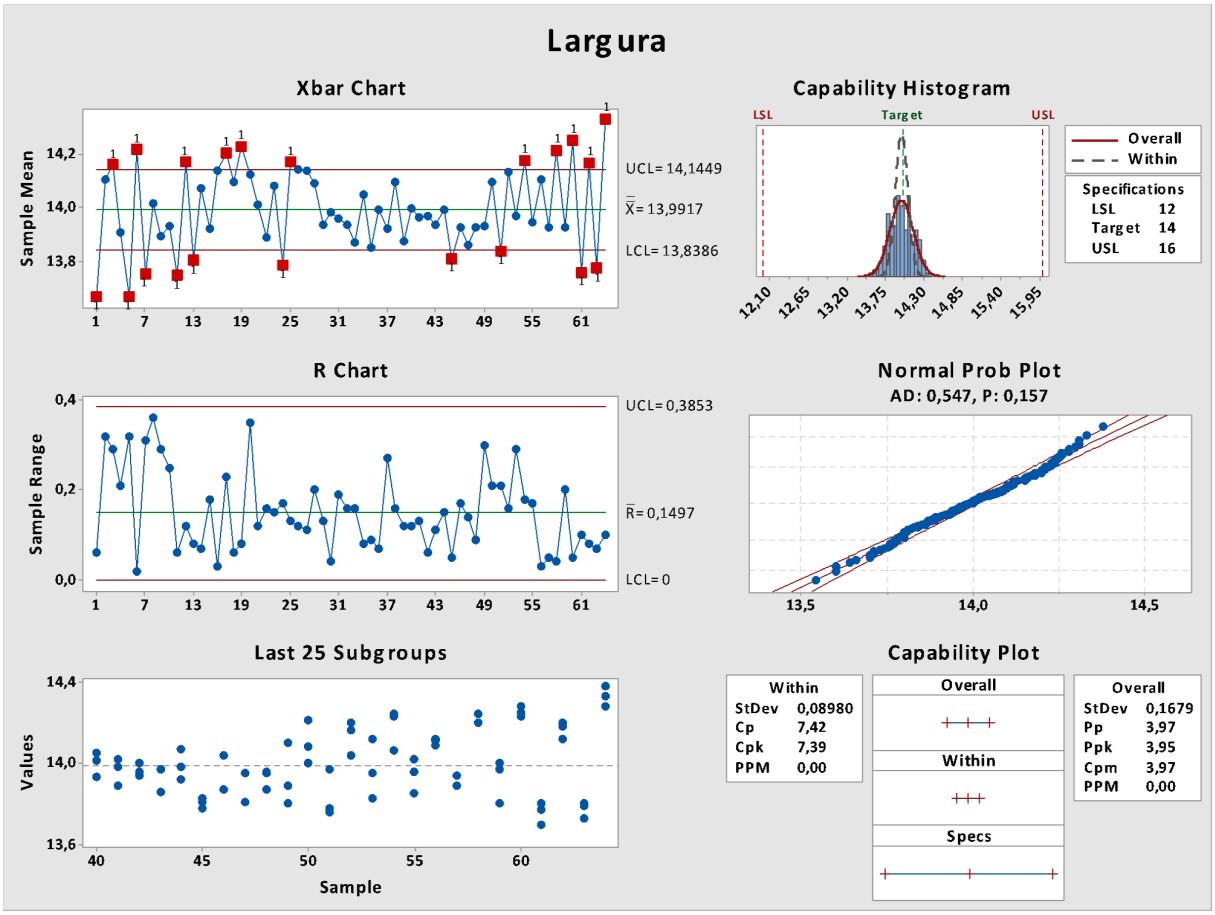

Figura 48- Carta de controlo para a largura após implementação da solução

Através da análise à carta de controlo $\bar{x}$-R, verifica-se que o processo se encontra estável, visto que nenhum ponto da carta R se encontra fora dos limites de controlo e nenhuma tendência ou padrão parece estar presente no gráfico das amplitudes. Garantido que o processo é estável, será agora possível estudar a carta $\bar{x}$ para verificar se o processo está centrado. A partir da carta $\bar{x}$ é possível concluir que o não se encontra em controlo estatístico. Isto deve-se à existência de pontos fora dos limites de controlo.

Assim sendo, como o processo não se encontra centrado, a análise de capacidade fornecida pelo *software* não poderá ser considerada, por não se verificar esse pressuposto. Contudo, nota-se melhorias no processo de fabrico de cunhas. Por um lado, a média observada encontra-se mais próxima do valor de especificação e, dado que a distribuição dos dados aproxima-se a uma distribuição normal, pode-se concluir que o processo de extrusão de cunha irá produzir valores de largura de cunha segundo uma distribuição normal com média de, aproximadamente, 14mm. Por outro lado, a desvio padrão do processo diminuiu em cerca de 55%, e consequentemente, os dados observados estão mais concentrado à volta do valor médio. No que diz respeito aos índices de capacidade, nota-se um aumento quer nos índices de capacidade real do processo como nos índices de capacidade potencial. Os índices P_p e P_{pk} são bem superiores a 1,33, o que demonstra a elevada capacidade do processo de produzir dentro das especificações. Caso se elimine as causas assinaláveis, então os índices de capacidade serão ainda mais atrativos, visto que os valores de C_p e C_{pk} são muito elevados.

Espessura:

A Figura 49 representa a carta de controlo $\bar{x}$-R e a análise de capacidade que o *software* Minitab gerou a partir dos dados que foram recolhidos para análise da melhoria processo, no que diz respeito à variável espessura.

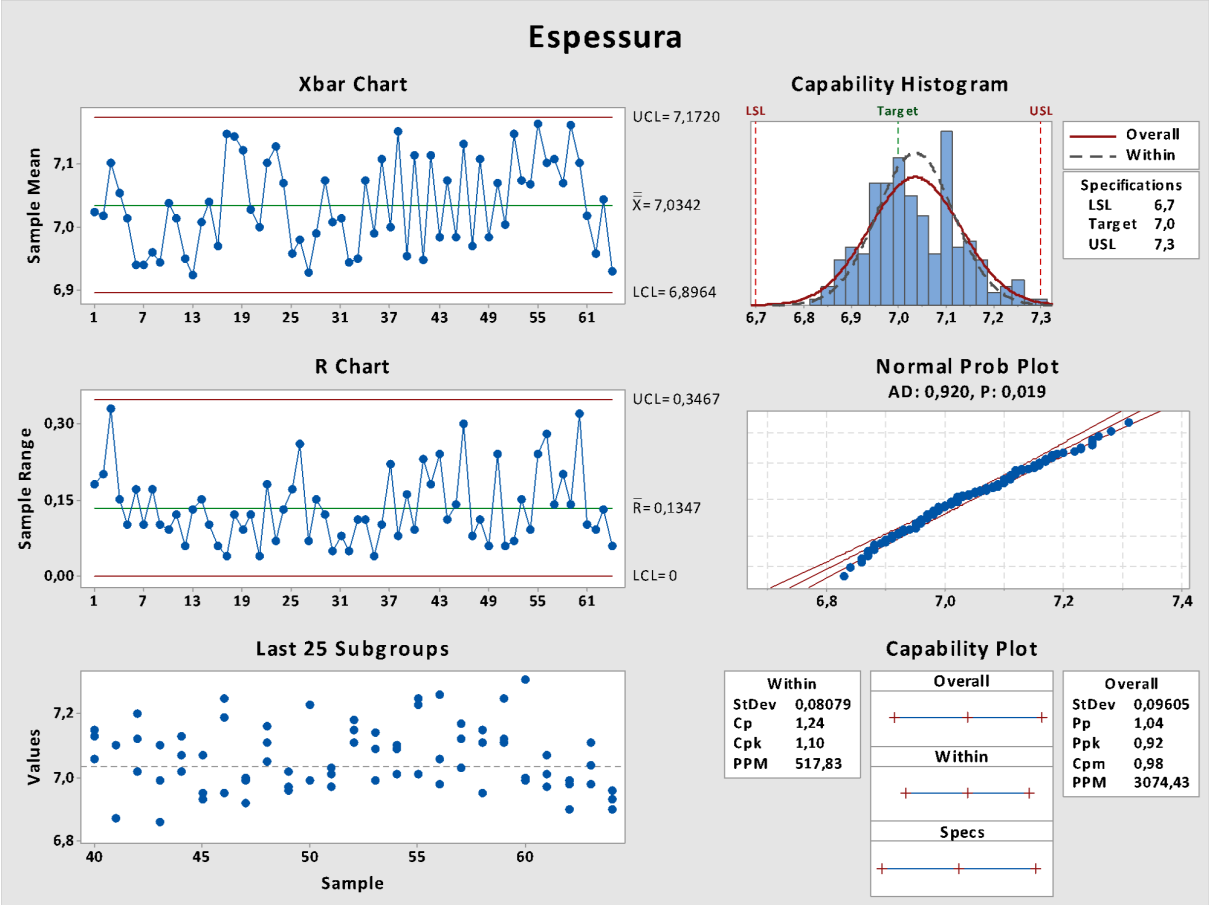

Figura 49- Carta de controlo para a espessura após implementação da solução

Após análise da carta de controlo R, verifica-se que o processo se encontra estável, visto que nenhum ponto se encontra fora dos limites de controlo. Também, nenhum padrão ou tendência parece estar presente no gráfico das amplitudes. Garantido que o processo é estável pode-se, então, proceder à análise da carta $\bar{x}$, de maneira a verificar se o processo está centrado. A partir da carta $\bar{x}$ é possível concluir que o processo se encontra centrado, isto é, se encontra em controlo estatístico. Dado que nenhum ponto está para além dos limites de controlo e não existir nenhuma evidência de tendência ou padrão nas observações, pode-se então concluir que o processo é estável e está centrado.

Assim sendo, a análise de capacidade disponibilizada pelo *software* pode ser alvo de análise. O histograma de capacidade ilustra a dispersão dos dados na amostra em relação aos limites de especificação. Os valores observados encontram-se dentro dos limites, contudo verifica-se que existem dois valores com muitas observações, 7,0mm e 7,1mm. Esta observação pode dar indícios sobre a não normalidade dos dados. Esta inferência é confirmada pelo gráfico do teste à normalidade da distribuição, onde o valor de prova é menor que o nível de significância do teste (1.9% <5%). Apesar da distribuição dos dados não se aproximar a uma

distribuição normal, os índices de capacidade real do processo são robustos à não normalidade dos dados (Chrysler 2005). Por isso, os valores de P_p e P_{pk} são passíveis de ser analisados.

Neste momento, a capacidade real do processo para a variável espessura é de 1,04, o que indica que o processo é marginalmente capaz de produzir o produto com a especificação pretendida. Contudo, deve-se procurar melhorar este índice para o 1,33, que é a referência indicativo de que o processo é capaz de produzir dentro das especificações desejadas. Desta análise resta também afirmar que a variação do processo diminuiu em cerca de 24%. Para além disso, é possível obter-se um índice de capacidade de processo 1,24 se se conseguir eliminar totalmente as causas assinaláveis de variação.

Peso:

A Figura 50 ilustra a carta de controlo I-AM e a análise de capacidade que o *software* Minitab gerou a partir das observações que foram recolhidas para análise do processo, no que diz respeito à variável espessura.

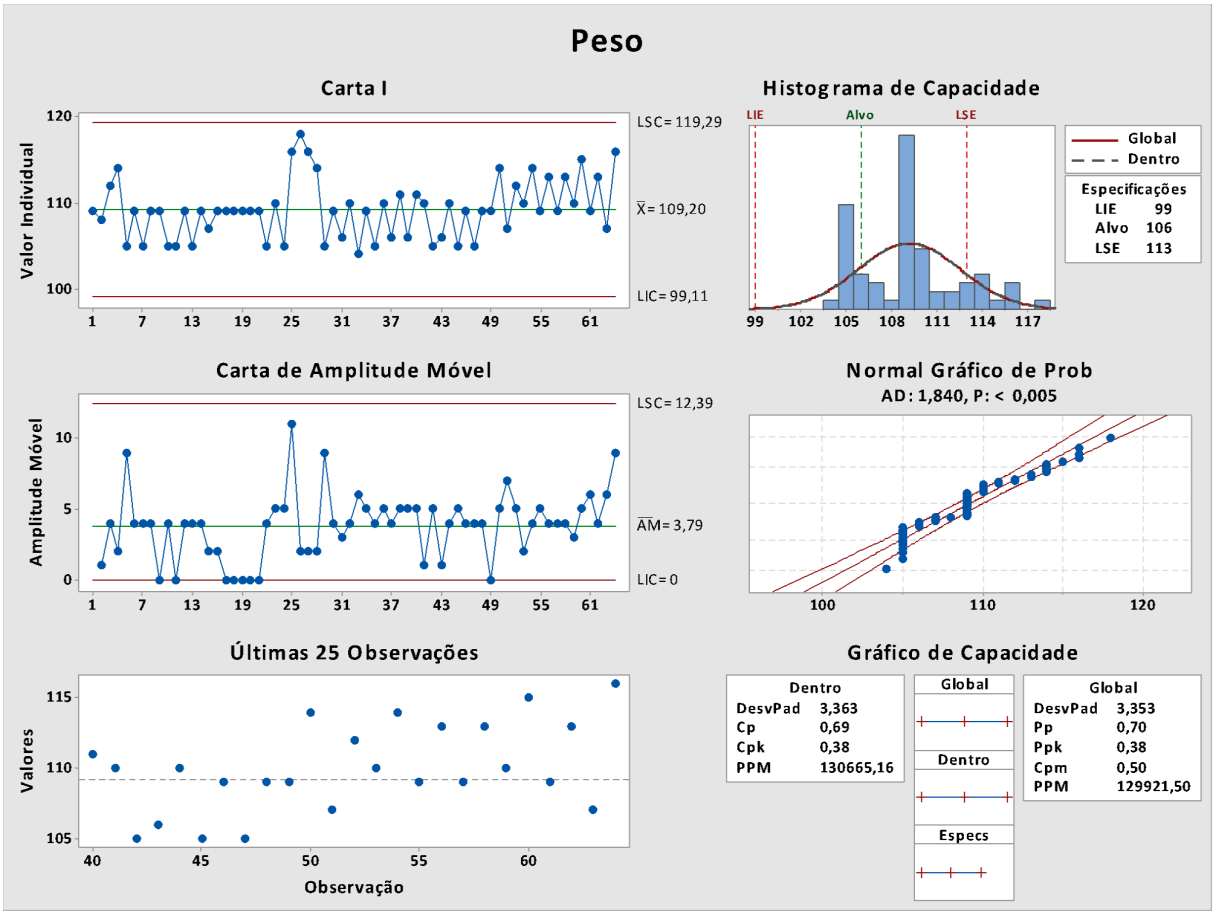

Figura 50- Carta de controlo para o peso após implementação da solução

Pela análise à carta de controlo I-AM, verifica-se que o processo se encontra estável, visto que nenhum ponto da carta AM se encontra fora dos limites de controlo. Também, não existem indícios de padrão ou tendência presentes no gráfico das amplitudes médias. Constatado que o processo é estável em relação à variabilidade, o passo seguinte é analisar a carta I, de maneira a verificar se o processo está centrado. A partir da mesma conclui-se que o processo se encontra centrado, sendo que não se encontra nenhum ponto fora dos limites de controlo e não existem evidências de padrão ou tendência nos dados.

Assim sendo, a análise de capacidade disponibilizada pelo *software* pode ser alvo de análise. O histograma de capacidade representa a dispersão dos dados na amostra em relação aos limites de especificação. A maioria dos valores observados encontram-se dentro dos limites e da análise do histograma é possível extrapolar que a distribuição dos dados não seja normal, visto que existem claramente dois valores com muitas observações,105g e 109g. Esta inferência é confirmada pelo gráfico do teste à normalidade da distribuição, onde o valor de prova é menor que o nível de significância do teste (0,5% <P <5%). No entanto, os índices de capacidade real do processo são robustos à não normalidade dos dados (Chrysler 2005). Por isso, os valores de P_p e P_{pk} são passíveis de ser analisados.

Neste momento, a capacidade real do processo para a variável peso é de 0,70, o que indica que o processo não é capaz de produzir o produto com esta característica com a especificação pretendida. Contudo, deve-se procurar melhorar este índice para o 1,33, que é o valor de referência para a capacidade de processo mais usado. A explicação deste valor baixo de P_p pode dever-se ao facto da variação do processo ter aumentado após a implementação da solução proposta, aumento no valor de 13%.

A implementação do novo método de autocontrolo permitiu obter uma redução de custos nas APEX. A redução de custos diária com a máquina estima-se ser à volta dos 8%, o que ao final do ano se reflete numa redução estimada de cerca de 357.000 euros. Para além disso, o tempo de realização de autocontrolo diminuiu em cerca de 38% relativamente ao método de autocontrolo antigo.

4.4 Síntese

Neste capítulo foram descritas as soluções propostas para melhoria do processo de fabrico de cunhas, bem como as melhorias para a realização do autocontrolo do processo.

Numa primeira fase foi realizado um desenho de experiências com o intuito de descobrir os valores dos parâmetros de máquina que otimizam as variáveis do processo, em particular, a largura, o peso e a espessura da cunha. Desta análise concluiu-se a velocidade de extrusora deveria ser de 6,5 rotações por minuto e que a temperatura da máquina deveria ser de 82ºC. Para além disso, o método de autocontrolo foi revisto e propôs-se um novo método, conseguindo-se uma diminuição do tempo de autocontrolo de 38% e uma redução do custo diário com a máquina de cerca de 8%.

Após implementação dos valores obtidos no DOE e do novo método de autocontrolo do processo, os resultados obtidos foram positivos. A média das observações cumpriu com os valores de especificação e também houve uma redução na variabilidade do processo, tal como pode ser verificado na Tabela 5.

Tabela 5- Variação no desvio padrão do processo após implementação de melhoria

Processo de Fabrico de cunhas

Variáveis de estudo	Situação inicial	Após implementação	Variação (%)
Largura	0.369	0.168	-55%
Espessura	0.127	0.096	-24%
Peso	2.963	3.353	13%

5 Conclusões e trabalhos futuros

Na procura pela excelência, a Continental Mabor visa eliminar tanto quanto o possível o nível de *scrap* gerado no final da cadeia de produção, isto é, o número de pneus vulcanizados que são designados como *scrap* na inspeção final. Nesse sentido, todos os departamentos cooperam em projetos de melhoria dos processos para otimizar a cadeia de produção e aumentar a eficiência da fábrica.

Um dos projetos ativos neste momento tem como objetivo principal diminuir o surgimento de bolhas na região do ombro do pneu entre dois componentes, imperfeição que afeta significativamente a durabilidade do pneu e a sua performance. De forma a descobrir a origem desta imperfeição, a Continental formou uma equipa com elementos dos diversos departamentos para a sua resolução. Após uma fase de análise inicial, concluiu-se que a imperfeição aparecia sobretudo devido a uma má aplicação da cunha no núcleo do talão, sendo estes dois componentes responsáveis pela correta montagem do pneu na jante.

O projeto desenvolvido surge como resposta a este problema, tendo como objetivo principal entender qual o estado atual do processo de construção de talões. Assim, os objetivos parcelares delineados para este projeto foram: medir a capacidade real e potencial do processo de fabrico de cunhas, definição dos fatores críticos de variação do processo e revisão do autocontrolo adotado e do plano de controlo associado.

De modo a construir uma metodologia capaz para o desenvolvimento do projeto, a revisão literária realizada revelou-se crucial para desenvolver uma possível abordagem ao problema em questão. Assim, as metodologias aplicadas em diversos projetos de melhoria de qualidade destacadas no enquadramento teórico foram a base para a elaboração da metodologia utilizada neste projeto.

O fabrico de cunhas é um dos processos constituintes da construção de talões. Assim, numa primeira fase fez-se o levantamento dos *inputs* e *outputs* para compreender o fluxo do processo e as suas necessidades. Em todo o processo houve um comunicação constante com os supervisores da produção e os operadores das máquinas de construção de talões, denominadas de APEX, de forma a perceber quais os fatores de variação do processo e quais os códigos reduzidos de talões a considerar no estudo, tendo em conta as prioridades da empresa. Neste caso, e após análise da informação recolhida previamente, focou-se o estudo nos códigos reduzidos 125 e no 059.

Para realizar o estudo do fabrico de cunhas, foram identificadas numa primeira fase as variáveis de resposta a analisar no processo, a saber: a largura, a espessura e o peso da cunha. Atualmente, o autocontrolo do processo inclui somente a largura e o peso da cunha. No entanto, dada a sua relevância para a qualidade do produto final - o talão, a análise da espessura da cunha também foi considerada para o projeto.

Identificados os fatores de variação, i.e. as variáveis controláveis relevantes para o estudo - a temperatura e a velocidade de extrusão (RPM) - procedeu-se à recolha de amostras. As ferramentas utilizadas para a análise do processo foram as cartas de controlo $\bar{x}$-R para estudo do controlo do processo; os histogramas e índices de capacidade para a análise de capacidade

do processo e, finalmente, a análise de variância (ANOVA) e gráficos de efeitos principais e de interação para o estudo sobre os fatores de variação.

Após uma análise inicial, concluiu-se que o processo não se encontrava em controlo estatístico, o que impediu fazer a análise efetiva da capacidade do processo, visto que os valores dos índices de capacidade só fazem sentido assumindo processos estáveis e centrados. A partir das tabelas ANOVA e dos gráficos de estudo de variação verificou-se que os fatores de variação considerados para o estudo do processo eram estatisticamente significativos nas variáveis em análise, apesar de existirem algumas exceções. Os resultados obtidos para cada variável de estudo, através da análise das várias ferramentas encontram-se sumariados nas Tabela 6 e Tabela 7 para os dois códigos em análise. A Tabela 8 resume os testes realizados pela ANOVA para verificação de quais os fatores de variação que são estatisticamente significativos para o processo de fabrico de cunhas.

Tabela 6- Resultados obtidos para cada uma das variáveis de análise para o código reduzido 125

	Em controlo estatístico?	**Média**	**Target (desvio)**	**Desvio padrão**	**Possível medir capacidade?**
Largura	Não	13,65	14 (-0,35)	0,369	Não
Espessura	Não	7,05	6,4 (+0,65)	0,127	Não
Peso	Não	100,03	91 (+9)	2,963	Não

Tabela 7- Resultados obtidos para cada uma das variáveis de análise para o código reduzido 059

	Em controlo estatístico?	**Média**	**Target (desvio)**	**Desvio padrão**	**Possível medir capacidade?**
Largura	Não	39,19	39 (+0,19)	1,356	Não
Espessura	Não	7,94	7,7 (+0,24)	0,222	Não
Peso	Não	234,92	229 (+5,92)	13,01	Não

Tabela 8- Fatores de variação estatisticamente significativos

	125			**059**		
	Temperatura	**RPM**	**Interação**	**Temperatura**	**RPM**	**Interação**
Largura	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Espessura	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não
Peso	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não

Os resultados permitiram expor os problemas neste processo e perceber quais deverão ser as áreas de atuação para a fase de melhoria. Adicionalmente, após discussão com as várias pessoas envolvidas no projeto, verificou-se que seria necessário uma revisão das tabelas de especificação, visto que os valores de especificação da espessura e do peso não estavam coerentes com os requisitos do processo. Depois da apresentação deste problema, concluiu-se que o valor de especificação de espessura para este processo deveria de 7,0 mm em vez de 6,4

mm, e que o valor de especificação do peso deveria ser recalculado através das ferramentas utilizadas na fase de melhoria.

A fase de melhoria do processo focou-se na redefinição dos parâmetros de máquina necessários para obter os valores pretendidos nas variáveis de resposta e na redefinição do autocontrolo do processo. Neste fase, apenas foram realizadas melhorias ao código reduzido 125.

Para a definição dos valores de parâmetros ideais para obtenção dos valores especificados, recorreu-se a um planeamento de experiências. Neste caso, o DoE utilizado foi um modelo fatorial completo 2^2, sendo que para a temperatura os níveis considerados foram 75ºC e 85ºC e para as RPM foram 5,0 rotações por minuto e 6,5 rotações por minuto. Os resultados do DoE indicaram que para atingir os valores de especificação a melhor combinação de fatores seria 6,5 rotações por minuto a 82ºC. Após implementação desses valores na máquina, recolheu-se novamente amostras para verificar se esta solução se revelava benéfica. Os resultados foram muito positivos e permitiram fazer uma primeira análise à capacidade do processo. Contudo, a análise de capacidade do processo no caso da largura ainda não pode efetuada corretamente, já que o processo ainda não se encontrava em controlo estatístico. A Tabela 9 resume as melhorias obtidas após implementação dos novos valores dos parâmetros .

Tabela 9- Comparação da situação inicial com a o estado do processo após implementação

	Situação Inicial		**Após implementação da solução**				
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	P_p	P_{pk}	**Variação**
Largura	13,65	0,369	13,99	0,168	3,97	3,95	-55%
Espessura	7,05	0,127	7,03	0,096	1,04	0,92	-24%
Peso	100,03	2,963	109	3,353	0,70	0,38	13%

Conclui-se assim que houve melhorias positivas no processo nas variáveis largura e espessura, sendo a variável peso ainda foco de preocupação. Os valores dos índices de capacidade real do processo para a espessura e para o peso, indicam que o processo é marginalmente capaz e pouco capaz, respetivamente, de produzir as cunhas de acordo com as especificações.

No que diz respeito ao autocontrolo do processo, utilizou-se a metodologia do *Job Breakdown* para identificar os passos do autocontrolo que poderiam ser eliminados ou reorganizados de forma a melhorar o processo. A solução proposta elimina o deslocamento do operador até à banca de medição, tendo sido colocada uma mesa no seu posto de trabalho com os materiais necessários para realizar o autocontrolo. Para além disso, o novo método de autocontrolo evita que a máquina pare, o que diminui a geração de *workoff* de borracha e reduz os custos de máquina parada. Esta solução resulta numa diminuição do tempo de autocontrolo de 38% e estima-se que a redução de custo diário das máquinas de APEX seja de 8%, o que, no final do ano, se reflete numa redução de cerca 357.000€.

Assim, é possível dizer de forma global que os objetivos do projeto foram alcançados, sendo aconselhável replicar os valores obtidos neste trabalho em todas as máquinas APEX, fazendo um estudo similar em cada uma delas para validar as melhorias obtidas conseguidas numa única máquina.

De forma a assegurar a continuidade da melhoria da capacidade do processo, propõe-se no futuro a análise a outros fatores de variação de extrusão das cunhas que não foram considerados neste estudo, tais como o desgaste de fieira e o tempo que as cunhas estão nos

loops. É igualmente de considerar um estudo detalhado ao processo de montagem das cunhas no núcleo, a fase final da construção do talão e que garante a boa aplicação entre os componentes.

Espera-se ainda que com o trabalho iniciado se tenha aberto o caminho para a melhoria e controlo contínuo do processo. As ferramentas utilizadas no desenvolvimento deste projeto provaram ser um meio eficaz na identificação de oportunidades de melhoria, reduzindo a variabilidade do processo e melhorando a sua capacidade

Referências

Antony, Jiju. 2014. *Design of experiments for engineers and scientists*: Elsevier.

Arnheiter, Edward D, and John Maleyeff. 2005. "The integration of lean management and Six Sigma." *The TQM magazine* 17 (1):5-18.

Biernát, Josef. 2013. "Optimization of Serviceability of Vulcanizing Presses of Commercial Tires in Continental Barum sro."

Chrysler, Ford. 2005. "General Motors." *Statistical Process Control (SPC) reference manual*.

Clegg, Ben, MPJ Pepper, and TA Spedding. 2010. "The evolution of lean Six Sigma." *International Journal of Quality & Reliability Management* 27 (2):138-155.

Coronado, Ricardo Banuelas, and Jiju Antony. 2002. "Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations." *The TQM magazine* 14 (2):92-99.

Desai, Tushar N, and RL Shrivastava. 2008. "Six Sigma–a new direction to quality and productivity management." Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, San Francisco, CA. Elsevier.

Juran, Joseph M. 1995. *A history of managing for quality: The evolution, trends, and future directions of managing for quality*: Asq Press.

Juran, Joseph M, and A Blanton Godfrey. 1999. "Quality handbook." *Republished McGraw-Hill*.

Kwak, Young Hoon, and Frank T Anbari. 2006. "Benefits, obstacles, and future of six sigma approach." *Technovation* 26 (5):708-715.

Montgomery, Douglas C. 2009. *Statistical quality control*. Vol. 7: Wiley New York.

Pacheco, Diego, Isaac Pergher, Guilherme Luís Roehe Vaccaro, Carlos Fernando Jung, and Carla ten Caten. 2015. "18 comparative aspects between Lean and Six Sigma: Complementarity and implications." *International Journal of Lean Six Sigma* 6 (2):161-175.

Pyzdek, Thomas, and Paul A Keller. 2014. *The six sigma handbook*: McGraw-Hill Education.

Salah, Souraj, Abdur Rahim, and Juan A Carretero. 2010. "The integration of Six Sigma and lean management." *International Journal of Lean Six Sigma* 1 (3):249-274.

Snee, Ronald D. 2010. "Lean Six Sigma-getting better all the time." *International Journal of Lean Six Sigma* 1 (1):9-29.

Wojtaszak, Maciej, and Witold Biały. 2015. "Problem Solving Techniques as a Part of Implementation of Six Sigma Methodology in Tire Production. Case Study." *Management Systems in Production Engineering* 3:133-137.

ANEXO A: Diagrama de Pareto de causas de *scrap* código 030

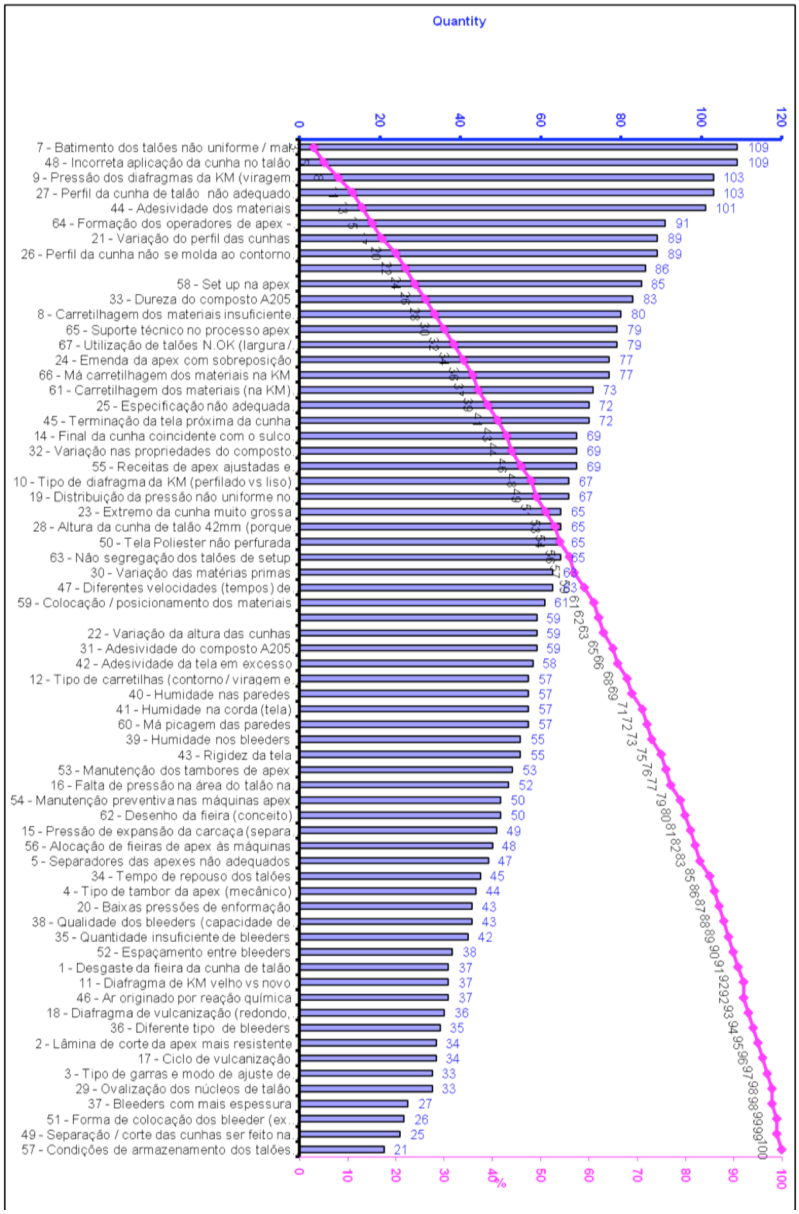

Figura A 1- Gráfico de Paretto com as causas possíveis do código de *scrap* 030

ANEXO B: Teste de igualdade de variâncias

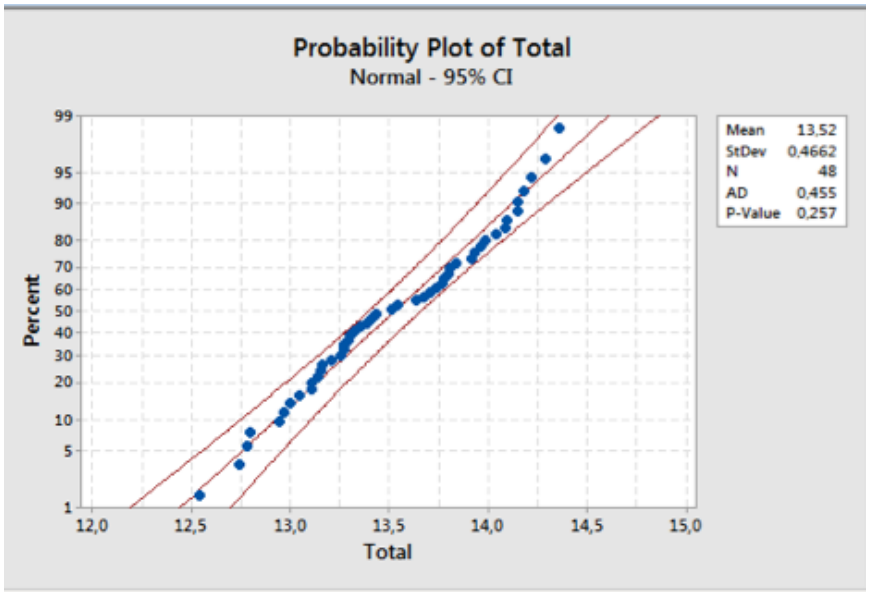

Figura B 1- Gráfico do teste è normalidade dos dados

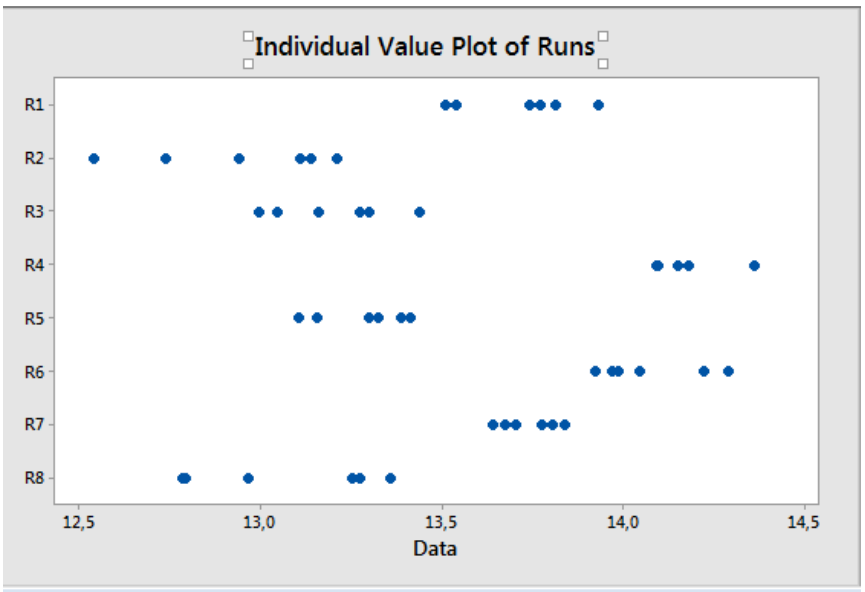

Figura B 2- Gráfico de valores individuais

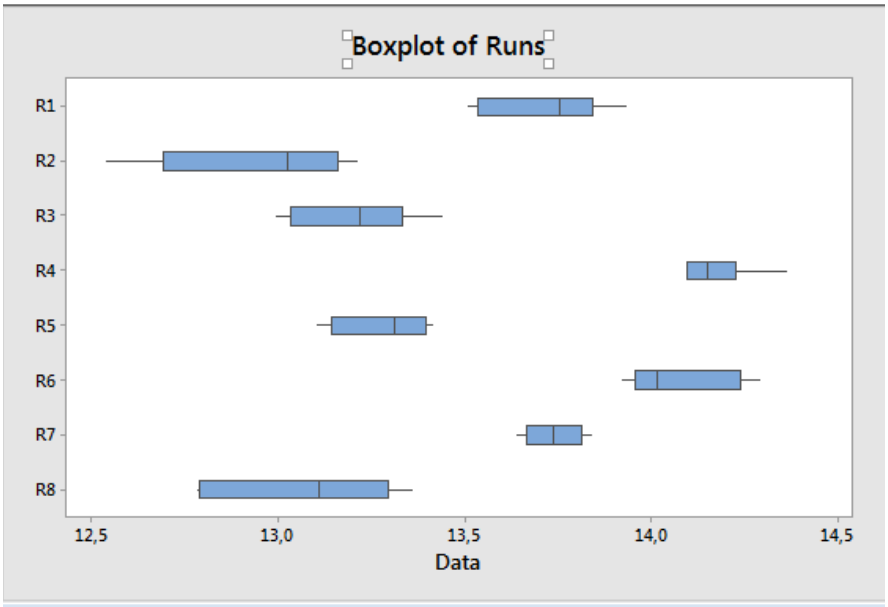

Figura B 3- Gráfico de boxplot dos dados recolhidos

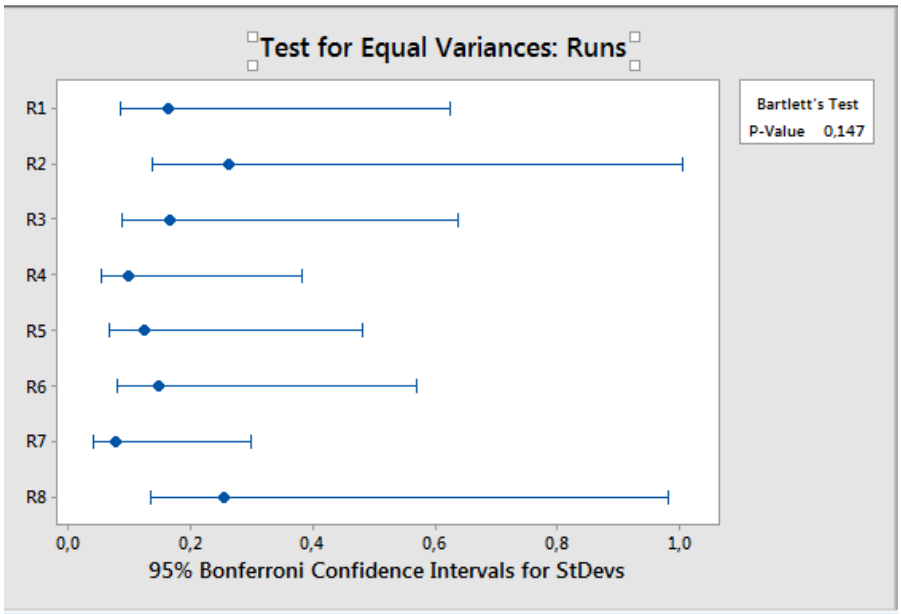

Figura B 4- Gráfico do teste Batlett à igualdade das variâncias dos grupos

ANEXO C: Análise de pressupostos de DOE para largura

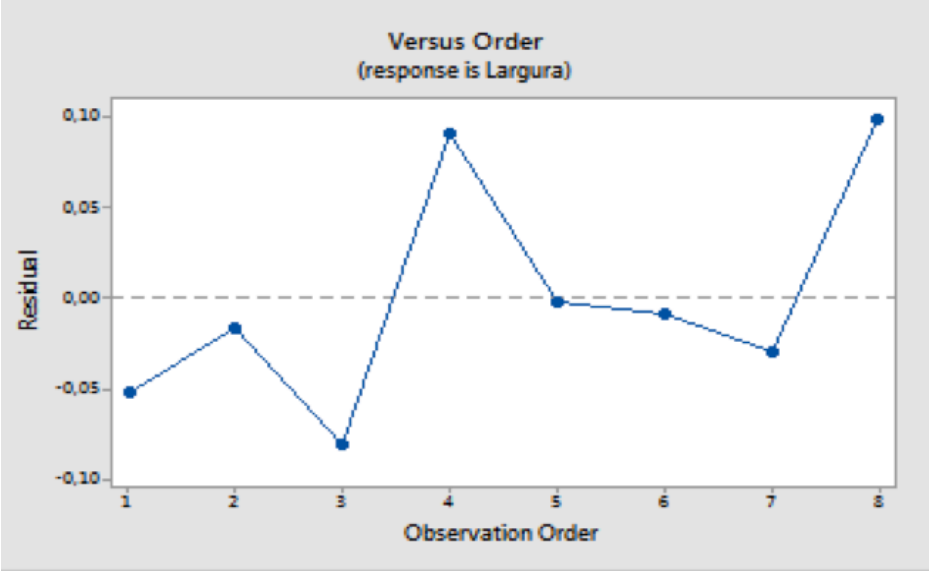

Figura C 1- Gráfico dos valores residuais

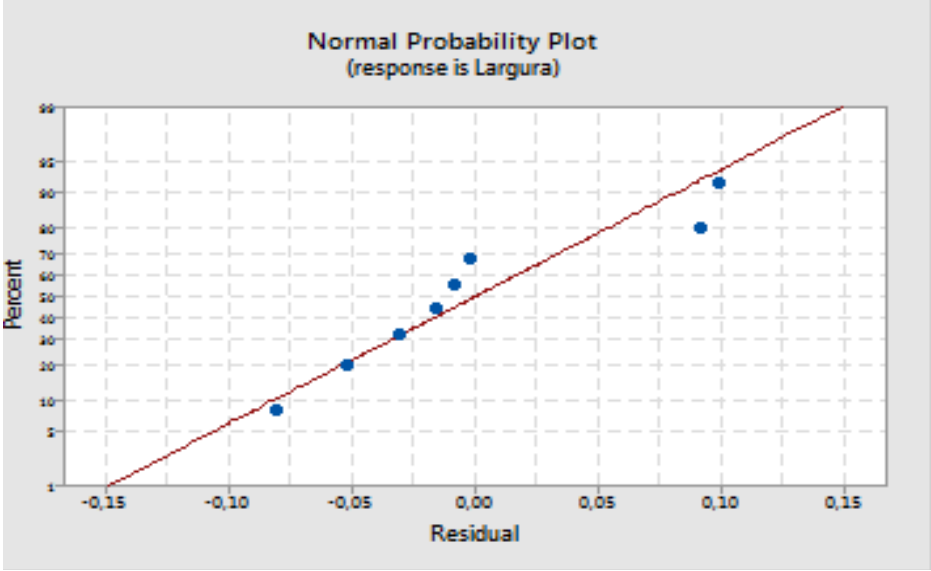

Figura C 2- Gráfico de normalidade dos dados

ANEXO D: Modelo inicial do DOE para a largura

Factorial Regression: Largura versus Blocks; Temperatura; RPM

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	1,47795	0,36949	83,30	0,002
Blocks	1	0,00169	0,00169	0,38	0,581
Linear	2	1,46252	0,73126	164,87	0,001
Temperatura	1	0,19272	0,19272	43,45	0,007
RPM	1	1,26980	1,26980	286,29	0,000
2-Way Interactions	1	0,01375	0,01375	3,10	0,177
Temperatura*RPM	1	0,01375	0,01375	3,10	0,177
Error	3	0,01331	0,00444		
Total	7	1,49126			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0665990	99,11%	97,92%	93,65%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		13,5255	0,0235	574,42	0,000	
Blocks						
1		0,0145	0,0235	0,62	0,581	1,00
Temperatura	0,3104	0,1552	0,0235	6,59	0,007	1,00
RPM	0,7968	0,3984	0,0235	16,92	0,000	1,00
Temperatura*RPM	0,0829	0,0415	0,0235	1,76	0,177	1,00

Regression Equation in Uncoded Units

Largura = 13,07 - 0,0325 Temperatura - 0,353 RPM + 0,01106 Temperatura*RPM

Equation averaged over blocks.

Alias Structure

Factor	Name
A	Temperatura
B	RPM

Aliases

I
Block 1
A
B

Figura D 1- Modelo inicial de regressão para a largura

ANEXO E: Análise de pressupostos de DOE para espessura

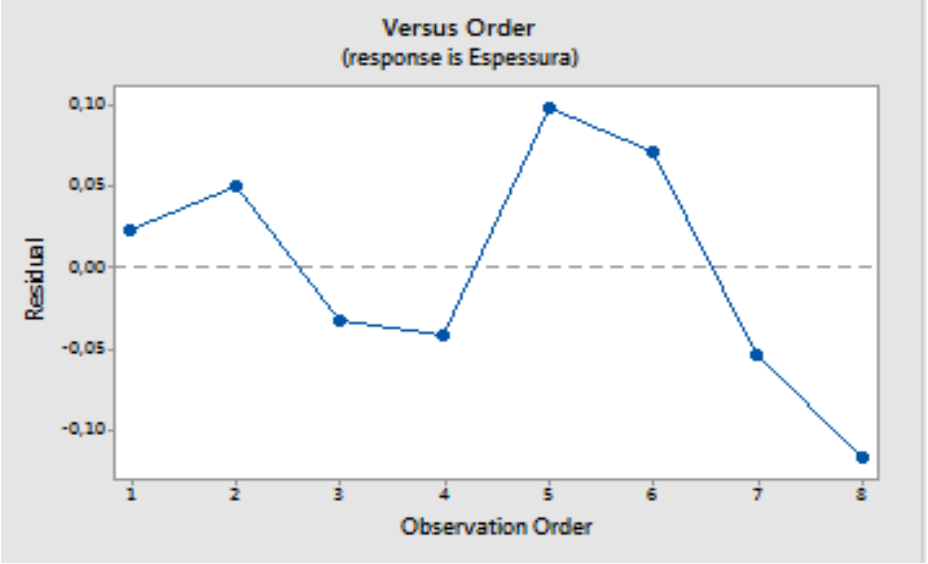

Figura E 1- Gráfico de valores residuais

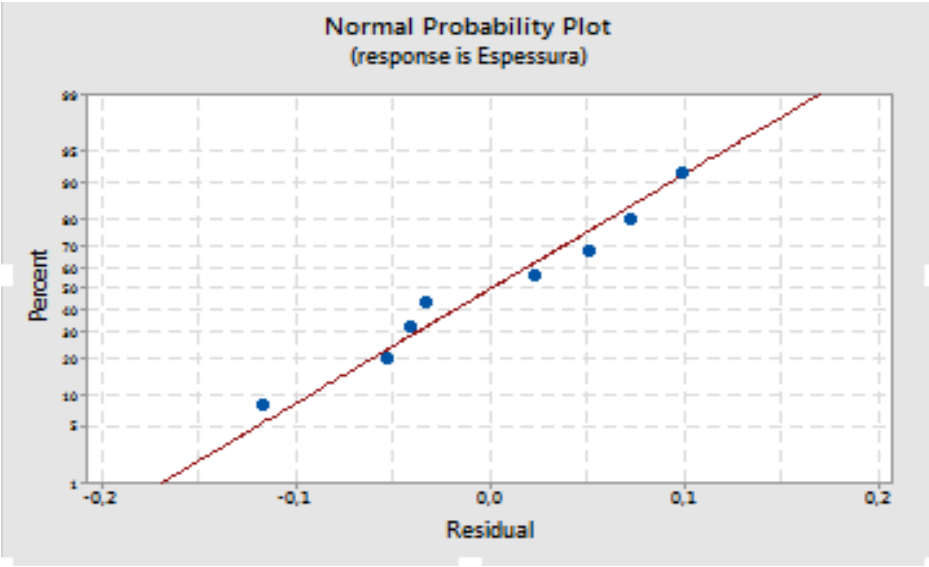

Figura E 2- Gráfico de normalidade dos dados

ANEXO F: Modelo inicial do DOE para a espessura

Factorial Regression: Espessura versus Blocks; Temperatura; RPM

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	0,371907	0,092977	8,69	0,053
Blocks	1	0,122925	0,122925	11,49	0,043
Linear	2	0,248340	0,124170	11,61	0,039
Temperatura	1	0,004699	0,004699	0,44	0,555
RPM	1	0,243641	0,243641	22,78	0,017
2-Way Interactions	1	0,000642	0,000642	0,06	0,822
Temperatura*RPM	1	0,000642	0,000642	0,06	0,822
Error	3	0,032084	0,010695		
Total	7	0,403991			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,103415	92,06%	81,47%	43,53%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		6,8105	0,0366	186,27	0,000	
Blocks						
1		-0,1240	0,0366	-3,39	0,043	1,00
Temperatura	0,0485	0,0242	0,0366	0,66	0,555	1,00
RPM	0,3490	0,1745	0,0366	4,77	0,017	1,00
Temperatura*RPM	-0,0179	-0,0090	0,0366	-0,25	0,822	1,00

Regression Equation in Uncoded Units

Espessura = 3,99 + 0,0186 Temperatura + 0,424 RPM - 0,00239 Temperatura*RPM

Equation averaged over blocks.

Alias Structure

Factor	Name
A	Temperatura
B	RPM

Aliases

I
Block 1
A
B

Figura F 1- Modelo inicial de regressão para a espessura

ANEXO G: Análise de pressupostos de DOE para peso

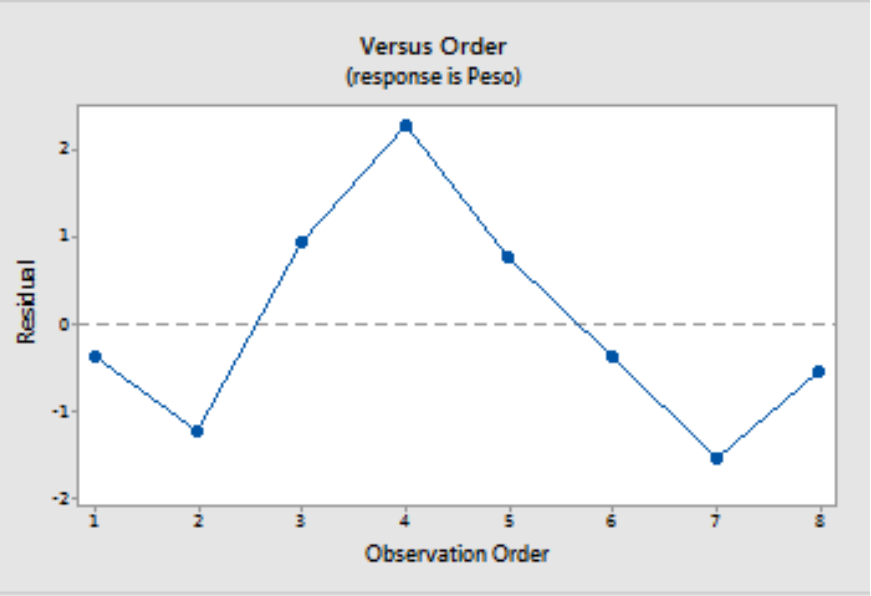

Figura G 1- Gráfico de valores residuais

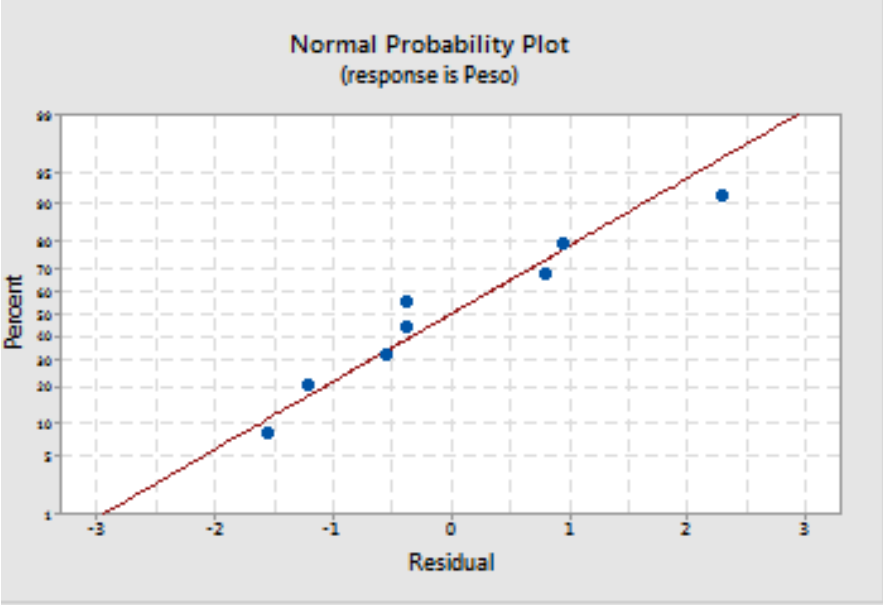

Figura G 2- Gráfico de valores residuais

ANEXO H: Modelo inicial do DOE para o peso

Factorial Regression: Peso versus Blocks; Temperatura; RPM

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	520,125	130,031	126,52	0,001
Blocks	1	1,389	1,389	1,35	0,329
Linear	2	518,722	259,361	252,35	0,000
Temperatura	1	6,722	6,722	6,54	0,083
RPM	1	512,000	512,000	498,16	0,000
2-Way Interactions	1	0,014	0,014	0,01	0,915
Temperatura*RPM	1	0,014	0,014	0,01	0,915
Error	3	3,083	1,028		
Total	7	523,208			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1,01379	99,41%	98,62%	95,81%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		98,208	0,358	274,00	0,000	
Blocks						
1		-0,417	0,358	-1,16	0,329	1,00
Temperatura	1,833	0,917	0,358	2,56	0,083	1,00
RPM	16,000	8,000	0,358	22,32	0,000	1,00
Temperatura*RPM	0,083	0,042	0,358	0,12	0,915	1,00

Regression Equation in Uncoded Units

Peso = 27,3 + 0,119 Temperatura + 9,78 RPM + 0,0111 Temperatura*RPM

Equation averaged over blocks.

Alias Structure

Factor	Name
A	Temperatura
B	RPM

Aliases

I
Block 1
A
B

Figura H 1- Modelo inicial de regressão para o peso

ANEXO I: Diagrama de *spaghetti*

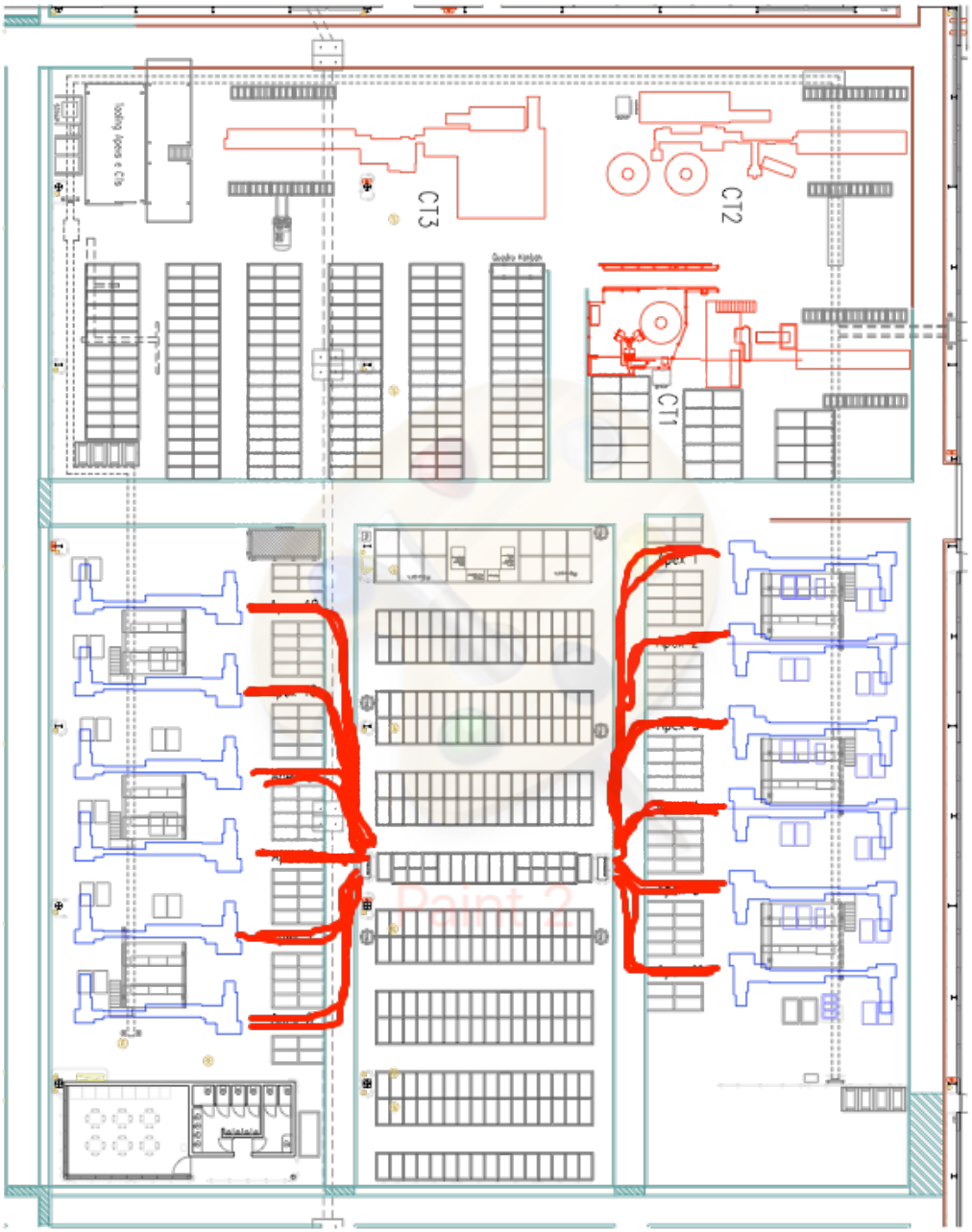

Figura I 1- Diagrama de *spaghetti*