



Avaliação do impacto do *Lean Six Sigma* (LSS) na otimização dos processos: Uma Investigação-Ação sobre a aplicação da abordagem DMAIC numa indústria do setor automóvel

Vanessa Sofia dos Santos Moreira

09/2024

M

MESTRADO
GESTÃO DAS ORGANIZAÇÕES - RAMO GESTÃO DE EMPRESAS

Avaliação do impacto do *Lean Six Sigma* (LSS) na otimização dos processos: Uma Investigação-Ação sobre a aplicação da abordagem DMAIC numa indústria do setor automóvel

Vanessa Sofia dos Santos Moreira

Projeto de Mestrado apresentado ao Instituto Superior de Contabilidade e Administração do Porto para a obtenção do grau de Mestre em Gestão das Organizações, ramo de Gestão de Empresas, sob orientação de Rui Filipe Pereira Bertuzi da Silva.

Agradecimentos

Os meus sinceros agradecimentos a todos os que contribuíram, directa ou indirectamente, para a elaboração e conclusão deste projeto.

Ao meu orientador Professor Rui Bertuzi da Silva, agradeço por ter aceite orientar o meu projeto mesmo sem me conhecer e sem estar directamente relacionado com o tema em estudo. Os contributos em termos da metodologia a aplicar foram fundamentais para conseguir estruturar o meu pensamento.

Agradeço aos meus colegas de trabalho por todas as informações partilhadas ao longo da investigação-ação.

Um especial agradecimento ao “dono” do projeto *Six Sigma* por me ter permitido fazer parte da equipa e recolher informações fundamentais para presente investigação.

Para terminar, um agradecimento à minha família por me ter apoiado e motivado a concluir este passo fundamental e não desistir ao longo de todo o caminho, mesmo com os vários obstáculos que se apresentaram ao longo deste ano.

Resumo:

O presente estudo pretende investigar de que forma a abordagem *Lean Six Sigma* permite a otimização de processos e redução de desperdício, promovendo a sustentabilidade económica das organizações e garantindo a sua competitividade no mercado.

Para atingir os objetivos propostos, realizou-se uma revisão da literatura de forma a compreender os conceitos de *Lean* e *Six Sigma* e identificar as potencialidades da sua convergência numa abordagem denominada por *Lean Six Sigma* (LSS).

Foram estudadas várias ferramentas de LSS e os seus efeitos na performance das organizações, especialmente o impacto, em termos económicos, da redução do desperdício e otimização da eficiência.

Recorrendo ao método de investigação-ação acompanhou-se a implementação integral de um projeto *Six Sigma* numa empresa do setor automóvel dedicada ao fabrico de componentes. O projeto *Six Sigma* foi implementado com o objetivo de reduzir a taxa de rejeição de um componente específico, considerado como crítico por utilizar uma nova tecnologia ainda em desenvolvimento. Durante a investigação foram aprofundadas as metodologias DMAIC, análise SIPOC, diagrama de C&E e D.o.E. Com a realização da investigação-ação, foi possível identificar as limitações e dificuldades sentidas pela equipa nas diferentes fases de implementação da abordagem DMAIC.

Da investigação desenvolvida foram retiradas conclusões relativamente à eficácia e eficiência da implementação de abordagens LSS e o impacto na otimização dos processos e redução do desperdício, visando atingir a sustentabilidade das organizações.

Palavras chave: *Lean Six Sigma*; *SIPOC*; *DMAIC*; Otimização; Redução de desperdício; Sustentabilidade Económica.

Abstract:

The goal of this study is to investigate how Lean Six Sigma approach can improve processes and reduce waste, promoting economical sustainability, ensuring companies market competitiveness.

To achieve targets proposed, a literature review was developed aiming to understand Lean and Six Sigma concepts and identify how the convergence of both approaches can represent positive results.

Several LSS tools were studied focusing on their performance impacts and the meaning in terms of economical results, efficiency, and waste reduction.

Using action research method, a Six Sigma project was monitored throughout the implementation process. This project was implemented in an automotive company dedicated to produce components and accessories. The goal of the Six Sigma project was to reduce scrap rate in a specific component that uses a recent technology still under development. During this investigation, a deep dive analysis was conducted to DMAIC, SIPOC analysis, C&E matrix and D.o.E tools. With the action-research methodology it was possible to identify weaknesses and difficulties felt during different steps of DMAIC implementation process.

From this study several conclusions were collected regarding LSS effectiveness and efficiency and the impact in both optimization and was reduction, aiming to achieve organizational sustainability.

Key words: *Lean Six Sigma; SIPOC; DMAIC; Optimization; Waste reduction; Economical Sustainability.*

Índice Geral

Capítulo I- Introdução	1
1.1 Enquadramento Geral	2
1.2 Estrutura do Projeto	4
1.3 Objetivos e Motivações	5
Capítulo II – Revisão Bibliográfica.....	7
2.1 Impacto da Abordagem <i>Lean</i> e <i>Six Sigma</i> na indústria transformadora.....	8
2.2 <i>Lean</i> vs <i>Six Sigma</i>	9
2.2.1 <i>Six Sigma</i>	9
2.2.2 Metodologia <i>Six Sigma</i>	10
2.2.3 <i>Lean Manufacturing System</i>	11
2.2.4 <i>Lean Six Sigma</i> e a sua aplicação geográfica	13
2.3 LSS aplicado ao setor automóvel	14
2.4 Limitações na aplicação do LSS.....	14
2.5 Fatores de sucesso na aplicação do LSS - A filosofia DMAIC.....	16
Capítulo III – Estudo Empírico.....	18
3.1 Metodologia.....	19
3.1.1 Identificação das hipóteses	20
3.1.2 Aplicação da abordagem <i>Lean Six Sigma</i>	20
3.1.3 Contextualização da investigação-ação	22
3.1.4 Elaboração e apresentação do <i>Project Charter</i>	23
3.1.5 Aplicação da abordagem DMAIC – Fase 0.....	26
3.1.6 Aplicação da abordagem DMAIC – Fase 1.....	31
Capítulo IV – Resultados	40
4.1 Aplicação da abordagem DMAIC – Fase 2.....	41
4.1.1 <i>D.o.E – Design of Experiments</i>	41
4.1.2 Planeamento D.o.E	41

4.1.3	Análise estatística – Software Minitab	46
4.2	Aplicação da abordagem DMAIC – Fase 3.....	53
4.3	Aplicação da abordagem DMAIC – Fase 4.....	54
Capítulo V – Conclusão.....		57
Referências bibliográficas.....		62

Índice de Figuras

Figura 1 - As 31 barreiras ao LSS identificadas por Rathi et al., (2022)	15
Figura 2- Ferramentas de Resolução de problemas - Lean e Six Sigma	21
Figura 3 - Exemplos de Descrição de Problemas	23
Figura 4 - Apresentação do projeto em estudo	25
Figura 5 - Identificação dos ganhos (€) com a implementação do projeto.....	26
Figura 6 - Estrutura do Six Sigma	26
Figura 7 - A estratégia de implementação em 12 passos.....	27
Figura 8 - Taxa de rejeição (%) entre 2022 e 2023	29
Figura 9 – Análise Moon View	29
Figura 10 - Diagrama SIPOC	30
Figura 11 - Etapas do processo.....	30
Figura 12 - Exemplos de COPQ.....	32
Figura 13 - Resultados R&R primeiro turno	37
Figura 14 - R&R critérios de decisão	37
Figura 15 - Resultado R&R segundo turno	39
Figura 16 - Fases do D.o.E	42
Figura 17 - Descrição e objetivos do problema.....	42
Figura 18 - Identificação das variáveis Y	43
Figura 19 - Resultado do diagrama C&E	44
Figura 20 - Método “Tracking the X’s Through the Funnel”	44
Figura 21 - Tolerâncias de cada X.....	45
Figura 22 - Identificação dos fatores "ruído"	45
Figura 23 - Tipos de desenho de experiências.....	46
Figura 24 - Resultados do modelo de regressão linear.....	46
Figura 25 - Resultados ANOVA	47
Figura 26 - Representação gráfica da análise da resposta otimizada	48
Figura 27 - Gráfico de interação relativamente ao grau de conformidade	50
Figura 28 – Resultados do teste-t para 2 amostras	51
Figura 29 - Comparação entre ciclos com diferentes tempos de espera.....	52
Figura 30 - Seguimento da taxa de rejeição % antes e após melhorias	55
Figura 31 - Plano de auditorias ao processo	56

Índice de Tabelas

Tabela 1-SIPOC etapa costura.....	31
Tabela 2-SIPOC etapa injeção.....	31
Tabela 3-Registo R&R operadores 1º turno	36
Tabela 4-Registo R&R operadores 2º turno	38

Lista de abreviaturas

C&E – *Cause and Effect*

CSR – *Customer Specific Requirements*

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

D.o.E – *Design of Experiments*

DPU – *Defects per Unit*

EOL – *End of Line*

FTY – *First Time Yield*

LM – *Lean Management*

LSS – *Lean Six Sigma*

NVA – *Non-value added*

OEM - *Original Equipment Manufacturer*

OICA – *International Organization of Motor Vehicle*

RFT – *Right at the First Time*

VA – *Value added activities*

COPQ – *Costs of Pure Quality*

SIPOC – *Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*

1.1 Enquadramento Geral

Anualmente são produzidos mais de 1,3 mil milhões de veículos, o que leva a uma crescente pressão sobre as indústrias produtoras de componentes auto, que se veem numa luta contra o tempo para conseguir garantir os pedidos e os requisitos das grandes fabricantes de automóveis. Esta crescente necessidade, leva as indústrias a desenvolverem novas ferramentas e tecnologias que lhes permitam produzir mais em menos tempo (Guleria, Pathania, Sharma, & Sá, 2022).

Além de garantirem as entregas no tempo exigido, as empresas têm ainda de salvaguardar a sua sustentabilidade económica, caso contrário, de que vale entregar atempadamente e na quantidade certa, se os esforços e custos despendidos para esse efeito são insustentáveis?

Por esse motivo, o controlo e a melhoria contínua das taxas de rejeição são fundamentais para assegurar a vitalidade de uma organização, especialmente em períodos de recessão, quando devem estar concentradas no lucro e evitar os desperdícios. É aqui que surge a importância da implementação de ferramentas e estratégias de produção *Lean*, que em conjunto com a redução de defeitos evoluem para uma nova metodologia designada por *Lean Six Sigma*.

A implementação combinada da produção *Lean* e modelos de análise *Six Sigma*, visa a melhoria sistemática do desempenho das organizações, permitindo elevar os padrões de qualidade dos processos e produtos (Krishna Priya, Jayakumar, & Suresh Kumar, 2020). Taxas de rejeição elevadas têm impactos negativos significativos na sustentabilidade económica de uma organização, não só pela perda de componentes e matéria-prima, mas também pelo impacto em termos de mão-de-obra para a realização dos retrabalhos e reparações. Indústrias *Lean* conseguem atingir níveis reduzidos de rejeição e retrabalho, através da otimização da cadeia de produção, melhorando a comunicação entre os diferentes processos, design, validação, armazenagem, expedição e outros. Tendo por base as conclusões de alguns investigadores, se atribuirmos à melhoria e à análise dos processos a devida e merecida prioridade, torna-se mais fácil para as organizações a implementação e manutenção de processos mais limpos, com menos sucata, retrabalhos e reparações (Sodhi, 2021).

A metodologia *Lean* é considerada uma abordagem de negócio que permite às empresas “fazer mais, com menos”. O conceito de produção *Lean*, surgiu nas indústrias Japonesas,

mais concretamente nas fábricas da *Toyota Motor Corporation*, com o objetivo de reduzir a produção de sucata (Anvari, Ismail, & Hossein Hojjati, 2011). Em 1990, com a publicação do livro *The Machine that Changed the World*, os autores Womack, Jones and Roos, criaram um movimento em torno do pensamento *Lean*, defendendo que esta estratégia de gestão triunfaria, não apenas na indústria transformadora, mas em todas as atividades com criação de valor, como nos cuidados de saúde, prestação de serviços, distribuição e muitos outros (Bhattacharya, Nand, & Castka, 2019).

Conforme já referido, uma das bases que sustenta o pensamento *Lean* é a eliminação do desperdício, ou em Japonês *MUDA*. Ou seja, visa eliminar a utilização desnecessária de recursos, reduzindo ao mínimo a quantidade de equipamentos, materiais, espaço e tempo necessários, e assim acrescentar valor ao produto. Existem sete tipos de desperdícios mais comuns em ambiente industrial, são eles, a sobreprodução, *stocks* elevados e com baixa rotatividade, transportes, deslocações desnecessárias, tempos de espera e produtos com defeito (Azevedo, *et al.*, 2019).

A aplicação do pensamento *Lean* dentro das organizações pressupõe a adoção de diversas ferramentas que permitam otimizar os processos e produtos. Alguns exemplos mais conhecidos são a metodologia dos 5S's, que tem como principal objetivo atingir um nível de limpeza e organização que mantenha um ambiente de disciplina. É descrito segundo o lema “um lugar para cada coisa e cada coisa no seu lugar”. Com apenas a aplicação desta ferramenta, as empresas atingem reduções significativas nos tempos de ciclo de produção, traduzindo-se em ganhos económicos fundamentais para as organizações. De acordo com Azevedo *et al.*, (2019), um posto de trabalho bem organizado, com um layout corretamente identificado, permite reduzir os tempos de ciclo com o mesmo número de operadores, na medida em que promove um fluxo de produção contínuo, resultando em aumentos na ordem dos 10% de produtividade. É largamente utilizada em contexto industrial também pelos resultados em termos de higiene e segurança. Garantindo um meio de trabalho organizado a ocorrência de acidentes é reduzida, representando uma ferramenta de eleição em ambiente industrial, com impactos muitos positivos na imagem que as organizações refletem para o mercado e, fundamentalmente, para os seus próprios colaboradores.

Contudo, existem problemas mais complexos que não são resolvidos apenas através de ferramentas *Lean*, sendo necessária a aplicação de outras metodologias mais específicas. Assim, surge o conceito de *Lean Six Sigma*, que consiste na combinação das duas metodologias, visando eliminar ou reduzir o problema quando o mesmo não foi possível

através de uma metodologia *Lean*. O método *Six Sigma* inclui técnicas e ferramentas que têm por base uma análise estatística, com foco na melhoria dos processos. Por outro lado, a metodologia *Lean*, elimina o desperdício, visando melhorar a produtividade.

O método *Six Sigma* foi pela primeira vez implementado com sucesso na *Motorola* em 1986, por Bill Smith (1920-1993) considerado o “*Father of Six Sigma*”, e desde essa altura tem sido largamente aplicado e transversalizado aos vários setores (Tanveer Ahmed, 2022). Este método segue uma abordagem estatística do problema, usando factos e dados para a tomada de decisão, com o objetivo de minimizar as variações dos processos, serviços e produtos (Nair, Malhotra, & Ahire, 2011). Ao reduzir os desvios durante o processo de produção, reduz consequentemente as perdas de materiais, rentabilizando a utilização das matérias-primas e outros recursos (Ikumapayi, Akinlabi, Mwema, & Ogbonna, 2020).

O nome *Six Sigma*, representa a ambição deste tipo de metodologia, significa que se pretende atingir um nível de estabilidade tão elevado, em que o desvio padrão se encontre na ordem dos seis sigma.

No final, ambas as metodologias pretendem entregar ao cliente produtos que satisfaçam as suas necessidades, nomeadamente em termos de qualidade. O método *Lean* permite à organização reduzir os tempos de ciclo e aumentar a produtividade, na medida em que, através da criação de disciplina, organização, *layouts* bem definidos, procedimentos *standard*, faz com que a repetição reduza a ocorrência de erros. Por outro lado, o *Six Sigma* através de análises estatísticas permite determinar a estabilidade de um determinado processo ou produto, identificando as variáveis que podem estar na origem do problema.

No contexto em que vivemos, de constante evolução, as organizações têm de ser cada vez mais competitivas, não se sigindo apenas ao “confortável”, mas investindo recursos no desenvolvimento e aplicação deste tipo de metodologias, que se traduzem em estratégias fundamentais para atingirem a sustentabilidade.

1.2 Estrutura do Projeto

O presente projeto de Mestrado é constituído por quatro capítulos, iniciando na introdução, com uma descrição sumária do que será abordado em todo o seu decorrer.

O segundo capítulo contempla a revisão bibliográfica, com o enquadramento e explicação do conceito *Lean* e *Six Sigma*, as principais diferenças entre as metodologias, ferramentas e estratégias mais utilizadas e as respetivas vantagens e desvantagens.

No terceiro capítulo, é apresentado o estudo empírico, a descrição da metodologia utilizada LSS e a apresentação do estudo *Six Sigma* que serviu de base ao desenvolvimento da investigação-ação.

No quarto capítulo são apresentados os resultados, através dos dados obtidos com a aplicação de um D.o.E, ou desenho de experiências.

Finalmente, no quinto capítulo, são apresentadas as conclusões finais, limitações do estudo e sugestões para futuras investigações.

1.3 Objetivos e Motivações

A crescente exigência das grandes fabricantes de automóveis para com os seus fornecedores de componentes faz com que a incorporação de ferramentas e técnicas de produção *Lean* seja fundamental, representando uma estratégia para obter vantagem competitiva num mercado cada vez mais exigente.

Existem poucas evidências empíricas sobre a relação entre a implementação efetiva das técnicas *Lean* e o seu efeito na performance da cadeia de produção. (Vasconcellos, Sampaio, & Fonseca, 2021)

Neste sentido, pretende-se com este projeto contribuir para o preenchimento deste *gap*, demonstrando de que forma se podem desenvolver processos mais sustentáveis, reduzindo os custos de produção, recorrendo a técnicas LSS como a abordagem DMAIC.

Através de uma revisão da literatura, pretendeu-se analisar de que forma a implementação de metodologias de produção *Lean*, combinadas com modelos *Six Sigma* promovem a sustentabilidade das organizações.

Foi também estudada a relação destas ferramentas com a otimização da performance das numa indústria transformadora, com foco na perspetiva económica de redução de desperdício e otimização da eficiência.

Como objetivos específicos, recorrendo a uma análise isolada das duas metodologias, pretendeu-se destacar as principais forças e fraquezas de cada uma e também a integração de ambos os conceitos, demonstrando as vantagens da sua convergência, nomeadamente

no que concerne à redução de custos de produção, providenciando um ponto de referência para futuras investigações em práticas *Lean Six Sigma*.

Visando uma compreensão mais profunda e detalhada do tema, foi desenvolvida uma investigação-ação numa indústria de produção de componentes para automóveis, pretendendo explorar os seguintes itens: a) a aplicação de ferramentas *Lean Six Sigma*; b) as diferentes fases de implementação; c) a medição dos resultados; d) o impacto da sua aplicação na redução de desperdício e otimização do processo de produção; e por último e) o impacto na sustentabilidade da organização.

CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Impacto da Abordagem *Lean* e *Six Sigma* na indústria transformadora

Nos últimos anos, as indústrias transformadoras têm sido alvo de mudanças significativas, em termos de estratégias de gestão, como inovação dos processos e equipamentos, expectativas dos clientes e fornecedores, entre outras. Com as condições de mercado em constante alteração, as equipas de gestão veem-se “obrigadas” a garantir uma resposta rápida para assegurar a sustentabilidade das organizações.

Na indústria transformadora, um dos temas com maior destaque é a redução de desperdício nas suas diferentes formas, quer em termos de tempos de ciclo, produtividade, recursos, espaço, e o mais comum e, na maioria das vezes mais crítico, peças com defeito. Assim, torna-se imprescindível o desenvolvimento e implementação de técnicas de controlo e redução desse desperdício (Bikram, Harsimran, & Doordashi, 2024).

A metodologia *Lean* e a abordagem *Six Sigma*, constituem algumas dessas estratégias, largamente aplicadas nas indústrias transformadoras. Uma das grandes vantagens, reside no facto de constituírem ferramentas flexíveis, que se adaptam à incerteza e volatilidade do ambiente envolvente, permitindo a utilização de abordagens diferentes com base no contexto e problema.

A implementação de uma abordagem combinada das duas metodologias, surgiu da crescente necessidade das indústrias se tornarem cada vez mais competitivas no mercado. Estas ferramentas deixaram de ser interpretadas como uma estratégia para impressionar os clientes e passaram a ser encaradas como estratégias de gestão com valor acrescentado (Bikram, Harsimran, & Doordashi, 2024).

A aplicação de uma abordagem LSS integrando as diferentes ferramentas e técnicas promove um ambiente “waste-free”. Existem vários casos de sucesso relatados por diversos investigadores, em diferentes áreas de produção e setores. No entanto, segundo Swarnakar *et al.*, (2021), o impacto destas ferramentas em indústrias de produção de componentes auto na Índia registou valores de desempenho mais baixos, quando comparados com outros setores. Os mesmos autores desenvolveram um questionário que lhes permitiu concluir que nas indústrias em estudo, a metodologia LSS teve melhorias significativas em termos financeiros, no entanto, não teve impacto na melhoria dos processos e satisfação do cliente.

Outros investigadores foram mais a fundo na análise, visando compreender a razão das diferenças. Bikram *et al.*, (2024), comparou os resultados obtidos em empresas de componentes auto na América com empresas Indianas, tendo identificado como possíveis fatores, operadores pouco qualificados, pouco conhecimento e desenvolvimento de ferramentas LSS, problemas nas cadeias de abastecimento e outros problemas técnicos. Referem ainda que apenas 30% das pequenas e médias empresas na Índia implementam metodologias de gestão *Lean*. É por isso importante salientar que, para que a implementação destes modelos tenha sucesso no interior das organizações, é necessária uma análise prévia do *statu quo* das empresas e determinar se estão reunidas as condições para a implementação efetiva. A implementação por si só, sem a sensibilização e formação das equipas não é suficiente para atingir o sucesso nos resultados.

No presente estudo, pretende-se avaliar o impacto da combinação *Lean* e *Six Sigma*, numa empresa de produção de componentes auto localizada na Europa, mais especificamente em Portugal, de forma a compreender as principais dificuldades e impactos decorrentes da sua aplicação.

2.2 *Lean* vs *Six Sigma*

Conforme já referido, dois métodos que podem tornar uma empresa mais produtiva são o *Six Sigma* e a gestão *Lean*. Ambas as abordagens promovem a simplificação dos processos e o foco na produtividade, eliminando as fontes de desperdício. A combinação das duas técnicas produz resultados mais eficientes, na medida em promovem a redução da variabilidade dos processos e procedimentos, mantendo um ambiente controlado (Ikumapayi, Akinlabi, Mwema, & Ogbonna, 2020).

2.2.1 *Six Sigma*

O *Six Sigma* é uma técnica aplicada com o principal objetivo de maximizar o lucro através da satisfação do cliente. Segue uma abordagem estatística, para a redução da variabilidade, permitindo o fornecimento de altos padrões de qualidade, através da promoção de uma cultura de redução de desperdício. Desta forma, permite às organizações satisfazer as necessidades e exigências dos consumidores, utilizando os dados para, através de uma linguagem estatística, atingir o sexto sigma, isto é, um nível de variação tão reduzido que praticamente não apresenta desvios ou defeitos (Bikram, Harsimran, & Doordashi, 2024).

2.2.2 Metodologia Six Sigma

Existem várias metodologias que podem ser aplicadas durante a execução de um projeto e que têm na sua base a recolha de dados e a utilização de ferramentas estatísticas, mas que não requerem necessariamente um conhecimento profundo de estatística.

A letra grega *Sigma*, representa o desvio padrão, que indica a variação dos valores medidos relativamente a uma média. Quando o desvio padrão é reduzido, significa que os valores estão mais próximos da média, ou seja, o processo é estável. Pode ainda ser explicado relativamente à ocorrência de desperdícios ou falhas, significa que para se atingir sucesso num projeto *Six Sigma* o risco de falha deve ser reduzido a 3,4 erros num milhão de possibilidades, representando 99,99966% de sucesso. Outro critério fundamental na análise estatística *Six Sigma* é a distribuição normal dos dados, este tipo de curva na representação dos resultados, indica que os valores medidos estão centrados em torno da média (Cherrafi, Elfezazi, Chiarini, Mokhlis, & Benhida, 2016).

Bikram *et al.* (2024) apresentou um exemplo prático que facilita a interpretação desta metodologia, demonstrando o seguinte: assumindo que o nível de qualidade pretendido é a entrega de pizzas acabadas de preparar antes da hora de almoço dos clientes, entre as 11h45min e as 12h15min. E que, se as pizzas forem entregues antes das 11h45min ou depois das 12h15min o cliente recebe 30% de desconto, pressupondo que a qualidade não está no nível máximo de satisfação. Ou seja, um cliente receber a pizza entre as 11h45min e as 12h15min é o “requisito”, tudo o que seja antes ou depois desse horário é considerado “defeito” com uma penalização de 30% sobre o lucro. O método *Six Sigma* aplica-se da seguinte forma, se apenas 68,2% das pizzas forem entregues dentro do período de tempo definido, o processo encontra-se no intervalo de variação dois sigma. Se 95,4% das pizzas forem entregues a tempo, atinge um nível três sigma. Se 99,7% das pizzas são entregues no horário definido, o processo ou negócio está a operar num nível seis sigma. Ao extrapolar para uma produção a larga escala, num milhão de pizzas se apenas três a quatro pizzas forem entregues fora do horário será um cenário quase perfeito.

No entanto, é importante salientar que para o *Six Sigma* não existe a cultura dos “zero-defeitos”. Esta abordagem considera que em qualquer processo vai sempre existir a possibilidade de gerar defeitos, sendo o objetivo principal a redução a um nível tão baixo que cause o mínimo impacto.

2.2.3 *Lean Manufacturing System*

Um sistema *Lean*, pode ser descrito como um sistema de produção “limpo”, onde os desperdícios são eliminados ou reduzidos ao mínimo aceitável (Caldera, Desha, & Dawes, 2017). O LM promove a produção de um produto que atinja as expectativas do cliente, mas reduzindo os recursos necessários à produção, minimizando todas as operações sem valor acrescentado, sendo o valor interpretado como aquilo que o cliente está disposto a pagar (Bikram, Harsimran, & Doordashi, 2024). Com a implementação de um modelo de gestão *Lean*, as indústrias desenvolvem a capacidade de continuamente reduzir as atividades sem valor acrescentado (NVA) e fazer uma distinção clara das atividades com valor acrescentado (VA).

Comparando com os métodos tradicionais de produção em massa, a metodologia *Lean* permite produzir uma grande variedade de produtos a um preço mais baixo e com maior qualidade. Adquire um papel importante na sustentabilidade das empresas e a sua presença no mercado, permitindo preços mais competitivos, reduzido os desperdícios, e por fim, aumentando a margem de lucro das empresas (Deshmukh, Gangele, Gope, & Dewangan, 2022).

Segundo um artigo publicado por Cortes *et al.* (2016), mais de 60% das empresas que implementam abordagens *Lean* nos processos produtivos, registam reduções significativas nos tempos de entrega e custos de produção, aumentando a quota de mercado.

São vários os estudos disponíveis sobre a importância da implementação de um sistema de produção *Lean*, as respetivas vantagens e limitações. Mohaghegh *et al.* (2021), salienta que o conceito de *Lean Management* não deve ser apenas orientado para a maximização do lucro, referindo que o desempenho económico das empresas depende, cada vez mais, de uma combinação de iniciativas de carácter ambiental, social e desenvolvimento das condições de trabalho.

São várias as ferramentas *Lean* adotadas pelas empresas, sendo as seguintes as mais aplicadas em contexto industrial:

- *Total Productive Maintenance* ou TPM, consiste num método que permite maximizar a disponibilidade dos equipamentos e máquinas, evitando erros inesperados e a criação de defeitos;

- Método de controlo de qualidade zero-defeitos, promove a implementação de sistemas de inspeção automática, também designados por *Automated Optical Inspection* ou AOI;
- SMED (*Single Minute Exchange of Die*) em português é definido como “troca rápida de ferramenta”. Permite a redução dos tempos de mudança de ferramentas ou configuração de máquinas. Em ambiente industrial, especialmente em determinados setores, estes processos podem representar paragens de várias horas. Estas ferramentas são cruciais para a manutenção dos volumes de produção e garantia das entregas.

Outras ferramentas de implementação menos complexa e largamente utilizadas nos diversos setores, quer industriais como serviços, são:

- Sistema 5S, consiste na aplicação dos cinco S's, “*sort*”, “*set*”, “*shine*”, “*standardize*” and “*sustain*”, visando uniformizar os locais de trabalho de forma a manter a limpeza e organização. Compreende um método de gestão visual com foco na eliminação de todos os passos e tarefas sem valor acrescentado. Alguns exemplos de tarefas NVA são, o tempo perdido à procura de ferramentas, de locais de armazenamento, deslocações desnecessárias para a realização de determinadas tarefas, erros como trocas de referências por ausência de uma ajuda visual com a identificação clara das peças ou documentos necessários. É por isso uma estratégia que permite aumentar a eficiência operacional ao reduzir o desperdício (Lakshmanan, Nyamekye, Virolainen, & Piili, 2023);
- *Kanban* visa interligar a produção aos pedidos de cliente em tempo real, reduzindo os tempos de entrega e necessidades de stock. Para a implementação desta ferramenta é necessário o conhecimento detalhado dos fluxos de produção, desde a entrada dos componentes, à saída do produto final. Esta informação pode ser obtida através de um *Value Stream Mapping* (VSM), um instrumento largamente aplicado em contexto de negócios. O VSM consiste numa estratégia visual de apresentação dos fluxos de material, dividindo cada etapa do processo em grupos de atividades com VA e NVA. Desta forma, as empresas conseguem prever com precisão potenciais falhas de componentes, atrasos nos tempos de produção e entrega, focando-se na prevenção do problema, ao invés de despender recursos na resolução (Ikumapayi, Akinlabi, Mwema, & Ogbonna, 2020).

O sucesso na implementação de qualquer ferramenta de LM depende do seu alinhamento com os objetivos da organização, caso este pressuposto não se verifique os resultados não serão atingidos na sua plenitude. Estas situações podem ainda ser agravadas por outros fatores como (1) a recolha de dados insuficiente, que leva a que se retirem conclusões precipitadas na escolha das melhores ferramentas a implementar, (2) dados que não são confiáveis, retirados manualmente e que não são representativos da realidade, gerando fontes de variação, (3) falta de continuidade na recolha de dados em tempo real, são retirados pontualmente, sem análise e planeamento, (4) indicadores de performance mal definidos (Cortes, Daaboul, Le Duigou, & Eynard, 2016).

2.2.4 *Lean Six Sigma* e a sua aplicação geográfica

O termo *Lean Six Sigma* ou LSS, surgiu no final dos anos 90, para descrever a combinação de ambas as filosofias. Esta integração do *Lean* com o *Six Sigma*, pretendeu superar as limitações de cada um dos métodos permitindo às organizações aumentar o potencial de melhoria. O LSS é definido por diversos autores como uma estratégia de negócio que visa promover o desempenho das empresas nos vários níveis, económico, técnico e operacional. Segundo Cherrafi *et al.*, (2016) o LSS é uma das melhores e mais conhecidas metodologias híbridas de melhoria continua.

Bikram *et al.*, (2024) recolheram informações de vários estudos na área do LSS, verificando que existem oportunidades de melhoria na implementação combinada de ambas as estratégias, especialmente nos setores de produção, cuidados de saúde, automóvel e eletrónico.

Os mesmos autores, estudaram a aplicação geográfica desta metodologia, verificando que os países mais desenvolvidos como os Estados Unidos da América aplicam largamente estas técnicas nas indústrias e serviços, aproximadamente 37% das organizações nos EUA recorrem a estratégias de gestão *Lean* com resultados satisfatórios. Em paralelo, também o Brasil e os países escandinavos utilizam estas ferramentas com resultados positivos demonstrados em aproximadamente 12% das empresas. Por outro lado, as nações em desenvolvimento ainda têm um longo caminho a percorrer. Observaram que em países como a Índia, apenas 2% das empresas têm conhecimento e aplicam efetivamente metodologias LSS.

2.3 LSS aplicado ao setor automóvel

A Organização Internacional de Fabricantes de Veículos a Motor (OICA) em 2017 registou mais de 60 milhões de veículos produzidos, empregando cerca de nove milhões de trabalhadores diretos, representando a nível global um peso de aproximadamente 5% da empregabilidade no setor das indústrias transformadoras.

Conforme já referido, o LSS é largamente aplicado em ambiente industrial, com destaque nas empresas do sector automóvel, nomeadamente de produção de componentes auto. Estes setores estão sujeitos a requisitos específicos de cliente (CSR) definidos pelos fabricantes de automóveis (OEM). Cada OEM identifica as suas exigências, podendo variar consoante se trate de fornecer a Volkswagen, Renault, Stellantis, entre outras. Na maior parte dos casos, as indústrias de produção de componentes auto fornecem mais do que uma OEM em simultâneo, o que significa que devem ser capazes de garantir todos os requisitos identificados pelos diferentes fabricantes.

Para corresponder às expectativas dos clientes e melhorar o desempenho do negócio, mais de um milhão de organizações em todo o mundo recorrem à implementação de referenciais de sistemas de gestão de qualidade, entre os quais se destaca a ISO 9001. No caso da indústria automóvel, tendo em conta as suas características específicas e desafios, aplica-se não só a ISO, mas também na IATF 16949, que serve de complemento, direcionada especificamente para a indústria automóvel. Importante salientar que ambos os referenciais não são opcionais quando se fala do setor automóvel, constituindo requisitos das OEM para que as indústrias de componentes auto possam pertencer ao painel de fornecedores. Os sistemas de gestão de qualidade (QMS) são encarados como requisitos-chave para garantir uma rede de fornecimento robusta, como fornecedores propriamente selecionados e qualificados, no sentido de garantir o fornecimento de produtos livres de defeitos, segurança, confiança, inovação e performance ao longo de toda a cadeia de produção de um veículo (Foseca & Domingues, 2017).

2.4 Limitações na aplicação do LSS

A a implementação do LSS nem sempre é um caminho simples. Vários estudos apontam como principal obstáculo ao sucesso da implementação do LSS, a dificuldade em obter uma relação entre os objetivos da organização e as necessidades do cliente (Ali, et al., 2020). A literatura refere ainda que o erro mais comum durante o desenvolvimento do

LSS é a gestão ineficiente do projeto e recursos. Na grande maioria dos casos, as equipas têm de manter as suas funções e tarefas diárias em paralelo com o desenvolvimento e implementação destes projetos, resultando numa sobrecarga e descontentamento dos participantes. Sem a participação ativa e compromisso da gestão de topo, as atividades vão sendo adiadas e o objetivo do projeto perde-se ao longo do tempo, sem nunca alcançarem os objetivos inicialmente definidos. O envolvimento dos elementos com poder de decisão dentro das empresas é fundamental, na medida em que acelera o processo e cria uma atmosfera positiva, motivando os colaboradores a prosseguir com o trabalho em busca de melhores resultados. Alguns investigadores, mencionam a necessidade de investimento em formação como uma barreira à implementação do LSS. Ferramentas como VSM, DOE, DMAIC, SMED, requerem formação específica para a correta implementação, o que gera a necessidade de investimento na formação dos colaboradores, que quando inexistente leva ao fracasso do projeto (Bikram, Harsimran, & Doordashi, 2024).

Rathi *et al.*, (2022), estudou os diferentes tipos de barreiras à implementação do LSS numa indústria de produção de componentes auto, tendo identificado trinta e uma causas potenciais, apresentadas na figura 1.

N.º	Barreiras do LSS	Autores
1	Ruptura na coordenação entre a gestão e os funcionários.	Jadhav et al. (2014) [425746]
2	Resistência à mudança por parte dos trabalhadores.	Abolhassani et al. (2016) [8166]
3	Menos autoridade para os funcionários.	Jeyaraman e Kee Teo (2012) [4856]
4	Falta de determinação.	V. Raja Sreedharan e R. Raju (2015) [4981]
5	Supervisão insuficiente dos responsáveis de linha.	Moya, Muller, & Camargo, (2019) [2539]
6	Falta de confiança na equipa.	Jeyaraman e Kee Teo (2012) [4873]
7	Satisfação com o nível qualidade.	Dora et al. (2016) [777456]
8	Escassez de formadores e consultores no setor.	Brian & Smithwick, Jake. (2017) [1252]
9	Necessidade de fundos para formação.	Arumugam et al. (2012) [7241]
10	Estimativa inadequada do custo de implementação.	Ambekar and Hudnurkar (2017) [38]
11	Satisfação do cliente e desperdício.	Thais Alves (2016) [65]
12	Escassez de recursos.	Albliwi et al. (2014) [5672]
13	Ausência de suporte logístico.	De Leeuw, S. e Dubbers, R. (2016) [53]
14	Percepção incorreta do LSS em termos de ferramentas e técnicas.	Rathi, R., Khanduja, D e Sharma, S. (2017) [6]
15	Complexidade na análise de dados.	Shivam gupta , Sachin Modgil (2019) [80]
16	Conhecimento insuficiente sobre o LSS.	Hilton e Sohal (2012) [7036]
17	Ausência de conhecimento sobre os benefícios e necessidades do LSS.	Bhasin (2012) [5781]
18	Experiência limitada na implementação do LSS em projetos da empresa.	Hilton e Sohal (2012) [7048]
19	Dificuldades na recolha de dados para implementação do LSS.	Netasha e Cullen, Donna & Kumar (2012) [58]
20	Falta de interação entre fornecedor e clientes.	Upadhye et al. (2010) [7842]
21	Recolha e sistema de recuperação de dados inadequados.	Shreeranga Bhat ,N.A. Jhanesh (2014) [62]
22	Alinhamento entre o propósito do projeto e a visão estratégica da empresa.	Joanna & Le Duigou, Julien & Eynard, Benoit. (2016).
23	Dificuldades a trabalhar com ferramentas estatísticas.	Chakravorty and Shah (2012) [3670]
24	Manipulação e transporte de materiais ineficaz.	Kumar et al. (2015) [84]
25	Problemas no uso de técnicas e ferramentas para implementações do LSS.	Jiju Antony , Donna Cullen ,Maneesh Kumar (2012) [58]
26	Incompatibilidade do LSS compensações ou incentivos da empresa.	Shiau wei chan ,Fadillah Ismail, M.F. Ahmad (2019) [60]
27	Problemas de qualidade com material fornecido.	Souarj Salah, Abdur Rahim (2011) [69]
28	Desproporção entre os pedidos dos clientes e as prioridades da empresa.	Raval and Kant (2017) [6789 29],Mandahawietal.,2011 [6789 29]
29	Gestão ineficaz de projetos.	Franchetti and Yanik (2011) [79], Ambekar and Hudnurkar, 2017 [38]
30	Problemas com máquinas e configuração da fábrica.	Uzorh, Augustine & Olanrewaju (2018) [63]
31	Resposta lenta no mercado / Consumo de tempo.	Shreeranga Bhat, N.A. Jhanesh (2014) [62]

Figura 1 - As 31 barreiras ao LSS identificadas por Rathi *et al.*, (2022)

Outros investigadores referem ainda existir uma lacuna de informação no que concerne às limitações do LSS, defendendo que existem muitas pesquisas sobre as diferentes

ferramentas disponíveis, mas poucas analisam a sua adaptação aos diferentes cenários existentes nas organizações (Singh Sodhi, Singh, & Jit Singh, 2022).

Ali *et al.*, (2020) desenvolveram um modelo estrutural que lhes permitiu analisar as barreiras-chave na implementação do LSS, com o objetivo que guiar a gestão de topo no momento da decisão. Saliendam a dificuldade na obtenção de recursos para o desenvolvimento de projetos LSS no interior das organizações. Com este modelo pretendem reduzir o número de barreiras e dessa forma, permitir o foco nas questões essenciais, garantido o uso eficiente dos recursos financeiros e humanos.

2.5 Fatores de sucesso na aplicação do LSS - A filosofia DMAIC

Ferramentas *Lean* como o PDCA, os 5s, o Kanban e as auditorias permitem a resolução de problemas simples, relacionados sobretudo com falhas no cumprimento dos procedimentos já implementados. Por outro lado, o LSS analisa o sistema como um todo, desde a receção de matérias-primas até à expedição do produto final, aplicando-se a problemas de resolução mais complexa e que não foram solucionados após a implementação de ferramentas *Lean*.

O LSS avalia todas as características críticas de qualidade ou CTQ (Critical to Quality), qualquer divergência que ocorra numa destas características vai gerar um defeito, resultando em prejuízo para as organizações. Ao avaliar as CTQ ao longo de todo o fluxo, leva à redução da variabilidade dos processos e produtos, permitindo atingir uma taxa de defeitos na ordem dos seis sigma (Kulkarni, Toksha, Shirsath, Pankade, & Autee, 2023).

É neste contexto que surge a abordagem DMAIC, largamente aplicada em projetos *Six Sigma* por promover a capacidade dos processos, ou seja, a capacidade de um determinado processo produzir peças conforme. Esta técnica era inicialmente conhecida por MAIC, a fase de “*design*” não estava contemplada,. Mais tarde a General Electric (GE) considerou a fase de definição como crítica, ao identificar como causa de fracasso de alguns projetos a ausência ou má definição do planeamento. Por este motivo, incluíram a fase de “*design*” como a primeira fase da abordagem DMAIC (Kumar, *et al.*, 2022).

Ao identificar os parâmetros do processo que causam o desvio nas CTQ, o DMAIC permite a determinação das causas do problema, reduzindo os custos de análise e a

resolução rápida da situação, normalmente entre quatro a seis meses (Guleria, Pathania, Sharma, & Sá, 2022).

Para a aplicação da metodologia DMAIC são consideradas cinco fases:

- Fase 0: Definição / Define: Nesta fase será descrito o âmbito do estudo, através da explicação do problema e o objetivo. Serão detalhados os dados sobre o processo e/ou produto em análise, qual a situação atual e a pretendida. Inclui também a seleção dos membros da equipa, identificação das atividades sem valor acrescentado e a recolha dos dados atuais de performance e standards do processo;
- Fase 1: Medição / Measure: Nesta fase é realizada a validação dos métodos de medição e desenvolvida a matriz, onde serão distribuídos os diferentes indicadores e acompanhado o impacto nas métricas selecionadas. Pressupõe um planeamento detalhado das diferentes iniciativas e ações a implementar e um sistema de medição robusto e contínuo;
- Fase 2: Análise / Analyze: Inclui a identificação das causas de variabilidade através da aplicação de diagramas de causa-efeito ou Ishikawa e a construção da análise estatística e gráfica.
- Fase 3: Melhorar / Improve: Nesta etapa, são identificadas as causas potenciais e analisadas as relações entre as diferentes variáveis em análise (causas de variabilidade);
- Fase 4: Controlar / Control: No final, são implementadas ações para a eliminação ou redução da variabilidade e planeada a monitorização da performance durante três meses consecutivos (Krishna Priya, Jayakumar, & Suresh Kumar, 2020).

A pesquisa apresentada nos próximos capítulos, analisa a implementação de um modelo de LSS que integra uma abordagem *Six Sigma* DMAIC.

CAPÍTULO III – ESTUDO EMPÍRICO

3.1 Metodologia

O método de pesquisa utilizado na elaboração deste projeto, tem por base uma estratégia de investigação-ação, por via de uma investigação exploratória. Trata-se de uma metodologia de carácter qualitativo, que visa a resolução de um problema coletivo, em estreita associação com uma ação, onde os participantes são parte ativa no processo, encontrando-se envolvidos de um modo cooperativo na compreensão e resolução do problema (Ronen, 2020). Esta colaboração entre os diferentes elementos, designada por “*learn by doing*”, permite a reflexão e partilha das diversas práticas e experiências, deixando de existir uma realidade objetiva e passando a existir múltiplas realidades com base na experiência subjetiva de cada elemento do grupo.

Uma das frases que melhor descreve esta metodologia é *You cannot understand a system until you try to change it* (Lewin, 1946, citado por MacDonald, 2012). Esta metodologia integra diferentes métodos e técnicas, tais como, observação, documentação, análise, interpretação de padrões e atributos, priorizando a compreensão e interpretação do problema em análise.

A metodologia investigação-ação, teve origem no campo da psicologia, sendo inicialmente encarada como um “estudo de caso alargado”. Em 1992, Robert Kaplan ao desenvolver duas novas abordagens de gestão, uma delas o *Balanced Scorecard* (Kaplan & Norton, 1992), aplicou esta metodologia aliada à inovação, integrando o trabalho de académicos dentro das organizações. Este novo método de pesquisa passou a ser designado por “*Innovation Action Research*” (Craig & Moores, 2010).

A sua aplicação em contexto de gestão e em ambientes corporativos está em constante crescimento, começando a ser vista pelos investigadores como uma meta-metodologia, isto é, que engloba diferentes formas de desenvolver um estudo empírico, podendo ser implementada em conjunto com outras metodologias, não só qualitativas, mas também quantitativas, dando resposta às mais variadas necessidades. Erro-Garcés *et al.* (2020), analisaram diversos estudos onde se aplicou esta metodologia como base para as suas pesquisas, destacando alguns exemplos onde a combinação de diferentes métodos originou resultados positivos para a conclusão dos estudos e para as próprias organizações. Um dos exemplos apresentados, tem por base uma análise de custo-benefício e quantitativa *cost-to-serve method* para identificação dos custos associados à cadeia logística, enquanto a investigação-ação foi utilizada para realizar um levantamento

das diferentes atividades e demonstrar como poderiam impactar o aumento desses custos. Com a combinação de ambos os métodos, desenvolveram um modelo matemático para o cálculo do impacto de cada atividade nos custos logísticos.

Devido à facilidade de implementação de diferentes ferramentas, muitos investigadores defendem que a investigação-ação deve ser uma metodologia a valorizar em contexto empresarial como forma de potenciar os estudos e servir de referência em projetos de investigação, promovendo a colaboração ativa entre investigadores e profissionais das diferentes áreas (Erro-Garcés & Alfaro-Tanco, 2020).

No presente projeto, a investigação-ação terá uma abordagem multidisciplinar, recorrendo a métodos e instrumentos de pesquisa qualitativos, tais como a abordagem DMAIC, mas também quantitativos, como o D.o.E. Complementarmente, foram também utilizados instrumentos de pesquisa empírica como, sessões de *brainstorming*, *workshops* e discussões *roundtable*.

3.1.1 Identificação das hipóteses

Visando atingir os objetivos propostos foram identificados o problema e as respetivas hipóteses, da seguinte forma:

Problema: *A implementação integrada de ferramentas de Lean Six Sigma teve efeito positivo na performance da organização?*

H1: A aplicação da ferramenta DMAIC permitiu identificar os fatores com impacto na produção do componente em estudo;

H2: A identificação dos fatores com impacto na produção do componente em estudo permitiu reduzir o desperdício durante o processo de produção;

H3: A redução do desperdício durante o processo de produção representou um *ganho* para a organização, promovendo a sustentabilidade económica.

3.1.2 Aplicação da abordagem *Lean Six Sigma*

A abordagem *Six Sigma* é uma metodologia estruturada e rigorosa que tem por base o trabalho em equipa, aplicada em sistemas complexos visando a sua melhoria, ajudando a atingir os objetivos estratégicos de uma organização ou serviço (Guleria, Pathania, Sharma, & Sá, 2022). O *Six Sigma* está orientado para a redução da variabilidade de um produto, processo ou serviço, enquanto a gestão *Lean* tem como principal objetivo a

utilização desta ferramenta para a análise de processos químicos, sendo largamente utilizada em indústrias de injeção (Birangal & Mahesha, 2020). O desenvolvimento de um D.o.E pode parecer complexo pois, ao contrário da abordagem tradicional, implica a definição do número de experiências a desenvolver logo numa fase inicial. No entanto, como defendido por alguns autores, apesar de ser necessário mais tempo na fase de análise, a qualidade dos resultados obtidos compensa o esforço inicial (Weissman & Anderson, 2015).

Em resumo, com a aplicação da metodologia DMAIC, combinada com outras ferramentas *Lean*, como o diagrama *Ishikawa* e o DOE, pretendeu-se estruturar e aplicar o pensamento *Lean* com o objetivo de eliminar ou reduzir o desperdício, visando a melhoria contínua de um ou vários processos, tendo em vista a otimização da performance da organização. Com a análise do caso prático, será possível verificar a complexidade da implementação destas ferramentas, vantagens e desvantagens, e na prática qual o impacto positivo nos resultados da organização.

3.1.3 Contextualização da investigação-ação

O presente projeto de Mestrado, terá por base uma investigação-ação desenvolvida durante a aplicação de uma abordagem *Six Sigma* para resolução de um problema identificado numa indústria do setor automóvel, dedicada ao fabrico de componentes.

A organização onde foi implementado o projeto Six Sigma, trata-se da sétima maior produtora de componentes para automóveis a nível mundial. Foi fundada em 1914 em França, dedicando-se inicialmente apenas ao fabrico de assentos para comboios. Atualmente são várias as áreas de negócio que desenvolve, desde soluções para sistemas de interiores completos, como assentos e acessórios para automóveis e ainda novas soluções tecnológicas de mobilidade com zero emissões. Conta com 257 unidades de produção, 39 centros de investigação e desenvolvimento e aproximadamente 150,000 colaboradores, operando em 33 países em todo o mundo.

Uma nota importante para a compreensão e interpretação das informações que se seguem, o investigador integrou a equipa do projeto, não se tratando do “dono” do projeto. O investigador acompanhou todas as fases de implementação, recolhendo informações através da observação direta e contato com todos os participantes. O problema foi identificado numa fase inicial pela gestão de topo, tendo em conta o impacto negativo nos

resultados económicos da empresa e apresentando à equipa pela organização de desenvolvimento de projetos *Six Sigma*.

São duas as categorias existentes para a seleção de projetos *Six Sigma*, classificadas da seguinte forma:

1. Problemas que ocorrem repetitivamente e que representam impactos diários na entrega de um produto ou serviço e para os quais já foi identificada a causa-raiz;
2. Problemas que impactam indiretamente a entrega de um produto ou serviço, dos quais ainda não conhece com precisão a origem.

No presente estudo, o problema em questão pertence à categoria 2, traduzindo-se em impactos indiretos para a organização, com custos elevados de desperdício, colocando em risco as entregas do produto e sem uma causa-raiz identificada.

3.1.4 Elaboração e apresentação do *Project Charter*

Numa primeira fase, para a apresentação e defesa do projeto perante a comissão de desenvolvimento, foi necessário elaborar um *project charter*. Este documento consiste na apresentação do *Business Case* e constitui um contrato entre o “dono” do projeto, a gestão de topo da organização e a comissão responsável pela gestão dos projetos, este documento acompanha a implementação desde o início até ao final. Abaixo será feita a descrição resumida de cada elemento e as principais dificuldades sentidas durante a recolha da informação:

- 1) O estado da arte do problema em análise – *problem description*. Requer uma identificação clara e concisa do problema;

Um Caso de Negócio FRACO:

Há reclamações demais de clientes. A taxa de reclamações da Divisão A é de 35%, a mais alta na empresa, 5% acima da média.

Um Caso de Negócio FORTE:

Durante o Ano Fiscal de 2005, a eficiência na resolução de problemas de configuração de hardware de novos clientes, na primeira chamada, foi de 89%.

Isto representa uma diferença de 8% em relação ao padrão da indústria de 93%, o que resulta num impacto anualizado de custo de 2.000.000€

Figura 3 - Exemplos de Descrição de Problemas

Fonte: Elaboração própria

- 2) O objetivo do projeto, devendo seguir as regras dos objetivos SMART, isto é, deve ser específico, mensurável, atingível, realista e deve ter um tempo-limite. Do inglês, *Specific, Measurable, Achievable, Realistic e Time-bound*.

- 3) A área de intervenção, é inicialmente identificada pelo *Champion* do projecto, ou seja, a gestão de topo em estreita colaboração com o “dono” do projeto, devendo sempre ter por base factos e dados;
- 4) As métricas ou indicadores para a avaliação e identificação dos resultados. Existem dois tipos de métricas, as primárias e secundárias. As primárias têm relação direta com o problema e devem ser de fácil interpretação. As secundárias, podem ou não ser consideradas, derivam do impacto que as métricas primárias podem ter noutros indicadores do processo. Por exemplo, reduzindo a taxa de rejeição de um determinado produto, podem ser eliminados pontos de controlo, reduzindo o tempo de ciclo na sua produção. Assim temos como métrica primária a redução da rejeição e como métrica secundária a redução do tempo de ciclo, ambas com impactos positivos para a organização;
- 5) Os ganhos previstos com a implementação, nesta fase o departamento financeiro é de extrema relevância, sendo necessária a sua validação e o acompanhamento em toda a fase do projeto, realizando auditorias para validação dos resultados em termos económicos;
- 6) Os recursos necessários devem ser claramente identificados. Todos os elementos da equipa devem ser notificados e devem estar presentes na reunião de abertura do projeto, sendo imprescindível a presença de um elemento especializado no produto ou tecnologia em análise. A equipa não deve ser demasiado extensa, entre quatro a cinco elementos é o número ideal para o desenvolvimento de um projeto *Six Sigma*, devendo conter a seguinte estrutura:
 - a. “Dono” do projeto;
 - b. Especialista no produto ou processo;
 - c. Um elemento do departamento financeiro;
 - d. Um elemento do departamento de engenharia.

Pontualmente, pode ser necessária a presença de outros elementos, designados por “Ad hoc”, que participam apenas quando são solicitados, em situações em que os elementos que integram a equipa não têm conhecimento que permita desbloquear um problema que não foi inicialmente identificado.

Durante esta fase, as principais dificuldades sentidas centraram-se nos itens 1), 2) e 4), pelas seguintes razões:

- 1) Descrição do problema, deve ser resumida e de fácil interpretação, demasiados detalhes podem levar à compreensão errada do problema. No entanto, deve conter toda a informação sobre o estado atual e onde se pretende chegar;
- 2) A identificação do objetivo requereu uma análise e recolha prévia de dados, não podendo ser identificado ao acaso. Ao mesmo tempo, deve ser um objetivo ambicioso, tendo em conta que se trata de um projeto *Six Sigma*;
- 4) A seleção das métricas foi também uma das fases mais complexas, tendo sido necessária a identificação dos indicadores a controlar ao longo do todo o projeto para medir os resultados. Caso as métricas sejam incorretamente estabelecidas podem levar à obtenção de conclusões erradas, que não representam a realidade dos factos.

Após ultrapassar todas as dificuldades acima identificadas, foi criado o *project charter*, uma versão adaptada da versão original pode ser observada na figura que se segue:

Descrição do Problema	
<p>O componente <i>L9 DPE Armrest (D41 + P5)</i> é injetado com uma nova tecnologia designada por <i>Hico2fip</i>. Os dados evidenciam 6% de rejeição, o que representa um total de 24K€ em sucata durante 3 meses rolantes. Os principais defeitos associados são deformações, faltas de enchimento e cellulite. Não se verifica estabilidade no processo, com variações constantes nos parâmetros de processo. O estudo visa compreender os fatores relacionados com a elevada taxa de rejeição.</p>	
Objetivo do Projeto	
<p>Reduzir a taxa de rejeição de 6% para 0,5%.</p>	
Âmbito do Projeto	
<p>Apoio de Braço da L9 DPE</p>	
Descrição das métricas	
Indicador	% rejeição
Descrição	% de rejeição calculada
Valor base	5,9%
Objetivo	0,5%

Figura 4 - Apresentação do projeto em estudo
Fonte: Elaboração própria

O projeto *Six Sigma* em análise, tem como principal objetivo a redução da taxa de rejeição de um produto identificado como *L9 DPE Armrest* de 6% para 0,5%. Este produto foi caracterizado como crítico pela equipa, devido à utilização de uma nova tecnologia *Hico2fip*, responsável por uma elevada instabilidade durante o processo de injeção *in situ*. Esta instabilidade traduz-se em impactos negativos em termos de

eficiência de máquina, provocando várias paragens durante o processo produtivo e requerendo constantes ajustes de processo.

Durante a elaboração do item 5) os ganhos previstos pela equipa foram analisados e estimou-se uma poupança anual de 152.000€, abaixo a figura apresenta em detalhe a análise efetuada:

Objetivo do Projeto	Total	91 333	177 250	76 457,57 €	Saving 6MR
				x2	
Reduzir a taxa de rejeição de 6% para 0,5%.				152 915,15 €	Saving 12MR

Figura 5 - Identificação dos ganhos (€) com a implementação do projeto
Fonte: Elaboração própria

Reduzindo a taxa de rejeição do L9 DPE Armrest para 0,5% e com base nos volumes anuais de produção “anual volume estimation”, a empresa terá uma redução da rejeição de 76.000€ a seis meses e de 152.000€ a doze meses, representando um impacto significativo em termos económicos.

3.1.5 Aplicação da abordagem DMAIC – Fase 0

Neste subcapítulo será demonstrada a estrutura do projeto *Six Sigma*, caracterizada pela aplicação da ferramenta DMAIC, dividida nas fases: *Define, Measure, Analyze, Improve* e *Control*, anteriormente explicadas. A figura abaixo apresenta as diferentes etapas que constituíram o projeto em análise:

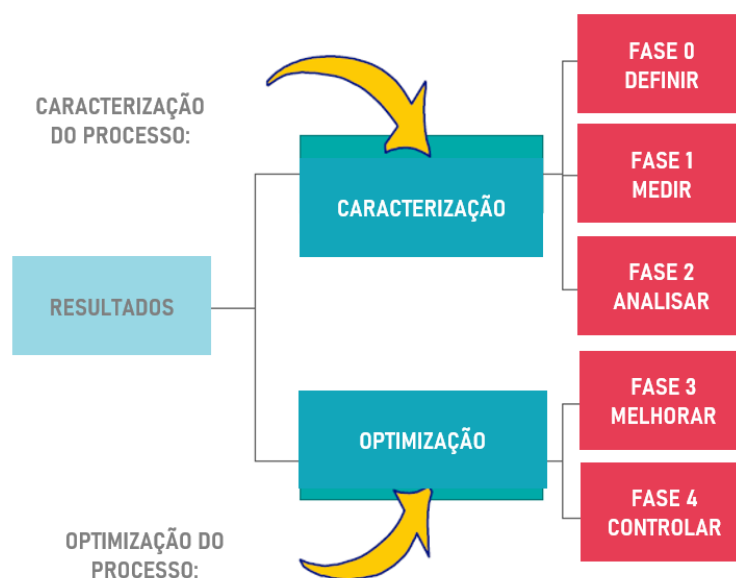


Figura 6 - Estrutura do Six Sigma
Fonte: Elaboração própria

Veremos de seguida como foram descritas e analisadas as duas grandes categorias que sustentam a implementação do *Six Sigma*:

1. Descrição do processo;
2. Otimização do processo.

A primeira é constituída pelas fases 0, 1 e 2 (Definir, Medir e Analisar), sendo a segunda categoria composta pelas fases 3 e 4 (Melhorar e Controlar). Para facilitar a implementação, recorreu-se a um segundo modelo “12 Step Breakthrough Strategy”, que permite a divisão de cada fase em 12 passos, conforme exemplifica a figura seguinte:



Figura 7 - A estratégia de implementação em 12 passos
Fonte: Adaptado de um documento da organização

Deste modo, e para a correta implementação do projeto, veremos de que forma foram preenchidos os doze passos do modelo.

Passo 0: A **definição do problema**, foi apresentada no capítulo 2.2.3 *Elaboração e apresentação do project charter*. O *output* é a definição e compreensão clara do problema, da equipa, das métricas e a validação, através da assinatura do documento, de todos os elementos com envolvimento direto no desenvolvimento do projeto.

Passo 1: **Definição do processo e performance**, nesta fase é fundamental a correta definição do âmbito do projeto, para tal é necessário proceder à descrição e mapeamento detalhado do processo, visando a identificação de todas as entradas e saídas, permitindo avaliar e selecionar os elementos com maior potencial para afetar o processo em estudo (e.g. estrangulamentos na linha de produção, elevados tempos de ciclo, perturbações no fluxo, entre outros).

Para a descrição detalhada do processo foram utilizadas duas ferramentas designadas por *Moon View* e SIPOC.

Através do *Moon View* foi construída uma descrição generalizada, ou seja, uma visão macro do processo em análise, retirando-se as seguintes informações:

- a) **Identificação da tecnologia em estudo.** O HICo2 consiste numa variante do processo de injeção *in situ* ou *foam in place* (FIP), onde a capa é revestida com poliuretano e a injeção da espuma vai ocorrer no filme plástico. Esta tecnologia permite a obtenção de padrões de conforto mais elevados, tendo em conta que a sensação quando se comparam dois acessórios com e sem HICo2FIP, é significativamente diferente em termos de dureza. Permite também reduzir a quantidade de espuma necessária para produzir um acessório, representando uma tecnologia atrativa para as organizações, na medida em que permite uma poupança de matéria-prima.
- b) **Principais defeitos registados** com a aplicação desta nova definição. Para a identificação dos principais defeitos, foram recolhidos dados sobre as rejeições registadas entre janeiro de 2022 e agosto de 2023 e organizados por mês, conforme apresentado na figura abaixo. Como resultado identificaram-se como principais categorias de defeito, a falta de enchimento e os colapsos no apoio de braço, com elevado índice de rejeição, tendo em conta que são defeitos que não podem ser retrabalhados ou recuperados. Uma falta de enchimento ou colapso, consiste numa zona do acessório que não está preenchida por espuma, a sensação ao toque é de peça vazia no interior. Sendo que, uma falta de enchimento corresponde a uma área significativa da peça sem preenchimento de espuma, enquanto um colapso corresponde a uma pequena área sem espuma. O segundo defeito identificado pela equipa foi casca de laranja, consiste na presença de pequenos pontos duros no interior do acessório. Estes pequenos pontos são

visíveis à superfície e devido ao seu aspeto são descritos como efeito casca de laranja ou celulite.

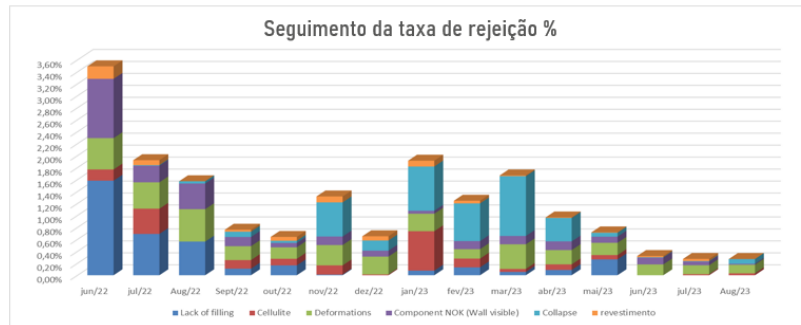


Figura 8 - Taxa de rejeição (%) entre 2022 e 2023
Fonte: Elaboração própria


c) **Principais projetos impactados pelo problema.** Foram identificados dois projetos onde, através dos dados acima apresentados, o impacto foi comprovado, projeto D41 e P5.

Todas estas informações foram reunidas numa apresentação que foi partilhada com todos os elementos da equipa durante a reunião de abertura do projeto.


Principais Defeitos

FIP Film Foaming Management (HiCo[®]FIP)


1 What is FIP HiCo[®] process?
It is a variant of FIP process where the cover to FIP expanded Polyurethan foam bonding is achieved by adhesion of FIP Foam to a film laminated on back foam. (Compare to standard FIP where adhesion is achieved by back foam with controlled permeability, creating a penetration layer during FIP foam expansion, mechanically bonding back foam to FIP foam). See ACC-DR-0018 for more details about both processes.




Standard FIP




HiCo-FIP

Materials	Polyurethan (expansion FIP formula, Polyether/TDI back-foam)
Classification	Comfort value  Scrap rate: Hard points & collapse & Leakage




Falta de enchimento




Celulite (conjunto de pequenos pontos duros)

Outros defeitos:



Deformações



Paredes Visíveis

Figura 9 – Análise Moon View
Fonte: Elaboração própria

Para a compreensão detalhada do processo, foi ainda desenvolvido um diagrama SIPOC, que permite a seleção e descrição detalhada dos elementos envolvidos no processo de produção, incluindo os fornecedores, *inputs*, processos produtivos, *outputs* e clientes

(Utama & Abirfatin, 2023). Através desta ferramenta a equipa conseguiu compreender e definir os elementos-chave do processo, isto é, com maior impacto na resolução do problema em análise. Na imagem abaixo é apresentado um esquema que demonstra os elementos que devem fazer parte do digrama SIPOC:

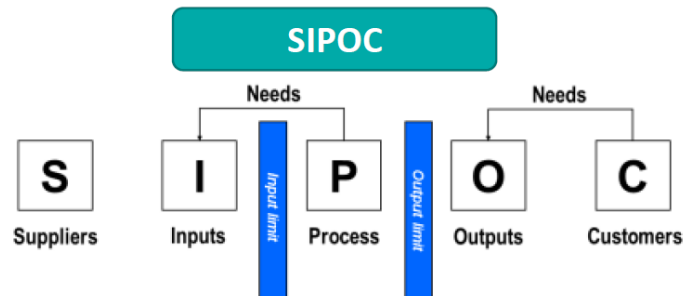


Figura 10 - Diagrama SIPOC
 Fonte: Adaptado de um documento da organização

Para a construção do SIPOC foram tidos em conta os seguintes fundamentos:

1. Identificação do início e fim do processo, da seguinte forma, o processo começa quando se recebe um pedido e o processo termina quando o produto é expedido;
2. Mapeamento de todas as atividades desde o início até ao fim do processo, no caso em análise foram identificadas as seguintes etapas:

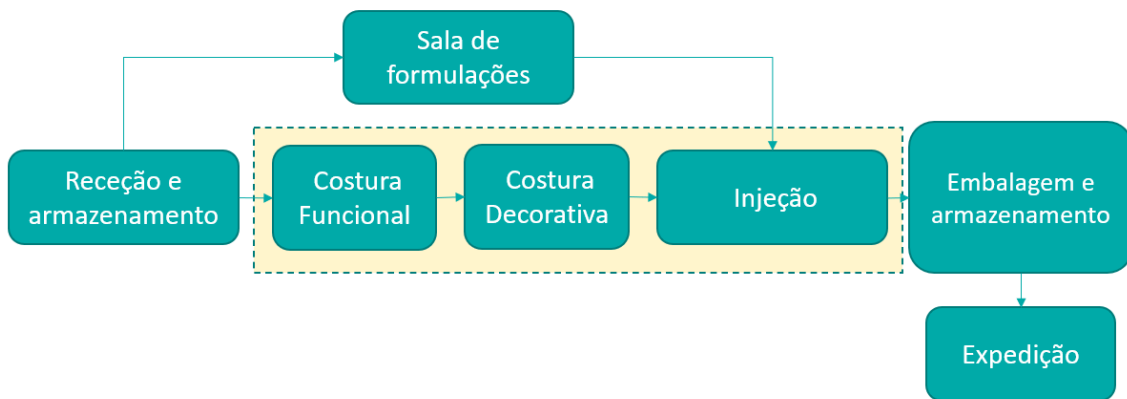


Figura 11 - Etapas do processo
 Fonte: Elaboração própria

Assim sendo, o processo inicia com a receção dos componentes e armazenagem e termina com o envio do produto ao cliente final. A amarelo foram identificadas as etapas críticas

para o projeto, sendo elas a costura funcional¹, costura decorativa² e processo de injeção da espuma no apoio de braço.

- Listagem das entradas e saídas de cada etapa identificadas na fase anterior. Nas tabelas abaixo são apresentados dois exemplos, adaptados do projeto original, relativos aos processos identificados como críticos, a costura e injeção da espuma.

*Tabela 1-SIPOC etapa costura
Fonte: Elaboração própria*

Suppliers	Inputs	Process	Outputs	Customers	
Produção	Guia e calcador	Talão com tolerância ± 1mm	Básicos de costura	Cademo de encargos	Injeção
Produção	Tensão da linha de costura	Sem tensão	Básicos de costura	Cademo de encargos	Injeção
Produção	Cadência do ponto de costura	1,75 pontos/cm	Básicos de costura	Cademo de encargos	Injeção
Produção	Tipo de agulha	110R	Básicos de costura	Cademo de encargos	Injeção
Produção	Aspeto da agulha	Sem fissuras e deformações	Básicos de costura	Cademo de encargos	Injeção
Produção	Tipo de tige	Cônica com ponta	Procedimento de viragem da capa	Peça virada e vincada	Injeção
Engenharia	Gama de embalagem	6 capas por caixa azul	Embalagem	Peça sem dano	Injeção

*Tabela 2-SIPOC etapa injeção
Fonte: Elaboração própria*

Suppliers	Inputs	Process	Outputs	Customers	
Engenharia	Tempo de espera	1000"	Colapsos	0	Desmoldagem
Engenharia	PLI	255-260	Falta de enchimento	0	Desmoldagem
Engenharia	Index	110	Casca de laranja	0	Desmoldagem
Engenharia	Tempo de injeção (150 pol)	Cademo de encargos	Parede visível	≤ 3mm	Desmoldagem
Engenharia	Temperatura do tanque	Cademo de encargos	Fuga de espuma	0	Desmoldagem
Engenharia	Pressão de injeção da cabeça (150 pol)	Cademo de encargos	HSP (dureza)	8 ± 3mm	Desmoldagem
Engenharia	Temperatura da cabeça de injeção	Cademo de encargos	Densidade	CDC	Desmoldagem
Engenharia	Temperatura ambiente	Cademo de encargos	Trilhados	0	Desmoldagem
Engenharia	Ar de nucleação	Cademo de encargos	Falta de enchimento	0	Desmoldagem
Engenharia	Teor em água	Cademo de encargos	Falta de enchimento	0	Desmoldagem
Engenharia	Tempo de expansão	Cademo de encargos	Falta de enchimento	0	Desmoldagem
Engenharia	Peso do bolo químico	Cademo de encargos	Falta de enchimento	0	Desmoldagem
Engenharia	Pressão do tanque (150 pol)	Cademo de encargos	Falta de enchimento	0	Desmoldagem
Engenharia	Diâmetro do microperfurado	Cademo de encargos	Falta de enchimento	0	Desmoldagem
Engenharia	Tempo de inclinação do molde	Cademo de encargos	Falta de enchimento	0	Desmoldagem
Engenharia	Tipo de funil	Azul	Falta de enchimento	0	Desmoldagem
Engenharia	Orientação do funil	Para cima	Falta de enchimento	0	Desmoldagem
Engenharia	Aspeto do microperfurado	0,01 a 0,8	Casca de laranja	0	Desmoldagem
Manutenção	Tempo de estabilização da pressão	Cademo de encargos	Falta de enchimento	0	Desmoldagem

3.1.6 Aplicação da abordagem DMAIC – Fase 1

A seguinte fase de implementação da abordagem DMAIC é a fase 1 onde serão descritos os procedimentos que levaram à definição das métricas e validação dos sistemas de medição do projeto *Six Sigma* em análise.

Qualquer abordagem ou ferramenta que vise a melhoria do sistema, processo ou produto, tem como principal objetivo tornar o processo melhor, mais rápido ou mais barato. Desta

¹ Costura funcional consiste na costura de união, esta costura tem uma função que é a de unir duas peças diferentes, não é visível no produto final.

² Costura decorativa não tem uma função prática, tratando-se apenas de um elemento decorativo.

forma, as métricas dos projetos *Six Sigma* integram-se numa destas três categorias. Abaixo alguns exemplos de indicadores por categoria:

- ➔ Melhoria do processo – Taxa de rejeição ou *scrap*, DPU (defeitos por unidade), FTY (*First Time Yield*) ou RFT (*Right at First Time*), uma outra definição para os dois últimos exemplos é “Fazer bem à primeira”, são indicadores que medem o número de peças conformes à saída da linha de produção ou EOL (*End of Line*), sem necessidade de retrabalho;
- ➔ Rapidez do processo – Tempos de ciclo, tempos de entrega, entre outros;
- ➔ Custo do processo – preços de mercado, COPQ (*Costs Of Pure Quality*). Estes últimos, são muito relevantes no que concerne às métricas financeiras, permitindo compreender o real impacto financeiro dos problemas em análise. O COPQ deve ser encarado como o sintoma e não o defeito ou problema, existe sempre uma causa latente que deve ser identificada para a origem dos COPQ. Este indicador está dividido em quatro categorias: custos de não qualidade internos, externos, de prevenção e deteção. A figura abaixo identifica alguns exemplos dentro de cada categoria.

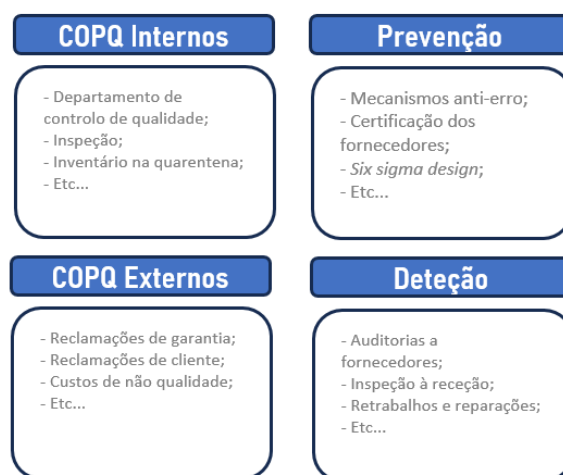


Figura 12 - Exemplos de COPQ
Fonte: Elaboração própria

Face ao exposto, foram identificadas as métricas com base no objetivo inicialmente proposto identificado no subcapítulo 2.2.3. durante a elaboração do *Project Charter*, redução da taxa de rejeição do produto *L9 DPE Armrest* de 6% para 0,5%.

A métrica ou indicador identificado pela equipa para a recolha e análise dos dados, foi a taxa de rejeição diária do produto *L9 DPE Armrest*. Para a recolha dos dados foram consideradas as seguintes condições:

- Apenas serão registadas as peças não conformes do projeto em análise;
- Apenas serão registadas peças em que não é possível a realização de nenhum retrabalho ou recuperação;
- Apenas serão avaliados os defeitos por operadores devidamente qualificados segundo a matriz de polivalência da linha de produção em análise;
- Apenas serão consideradas as peças rejeitadas com os defeitos diretamente relacionados com o problema em análise, sendo eles, falta de enchimento, colapsos, aspeto casca de laranja, deformações e pontos duros.

Após a identificação da métrica, foi necessário proceder à validação do sistema de medição, analisando primeiramente o tipo de dados que se pretendia recolher.

Existem dois tipos de dados, quantitativos e qualitativos. Os dados quantitativos integram a categoria dos dados numéricos, nomeadamente contagens ou medições, que podem ser contínuas ou discretas. Relativamente aos dados qualitativos, são constituídos por categorias, que podem ser classificadas em ordinais (ordenadas) ou nominais (não ordenadas). Em suma, os dados quantitativos são classificados como dados variáveis e os qualitativos como atributos.

Quando se recorre a uma recolha de dados qualitativos, devido à baixa densidade de informação, é importante ter em consideração que a quantidade de dados a recolher deve ser superior, quando em comparação com variáveis quantitativas.

Independentemente de se tratar de uma variável contínua ou por atributos, as ferramentas estatísticas permitem analisar a relação entre os diferentes dados. No entanto, para que os resultados sejam representativos, é imperativo selecionar a ferramenta estatística adequada aos dados que pretendemos analisar. Para tal, é fundamental conhecer a origem dos dados no processo em análise e o tipo de variável que se pretende analisar. No presente projeto, a equipa utilizou uma abordagem designada por Estratégia XY, que permite uma representação das relações entre a variável Y (saída) e X (entrada). O Y é constituído por variáveis dependentes, efeitos ou características do produto. Por outro lado, o X integra as variáveis independentes, fatores ou características de controlo. Durante a elaboração do SIPOC foram identificadas todas as variáveis X e Y em análise, apresentadas no final do subcapítulo 3.1.5 Aplicação da abordagem DMAIC – Fase 0.

Identificadas as variáveis em análise, foi necessário proceder à caracterização dos métodos de amostragem. Existem duas grandes categorias de métodos de amostragem, sendo eles,

não probabilísticos (empíricos) ou probabilísticos (aleatórios). Apesar de mais complexos e dispendiosos, os métodos probabilísticos permitem controlar a precisão dos resultados, visto que existe um conhecimento da população em estudo (Santos C. , 2018). Na categoria dos métodos probabilísticos, encontram-se as seguintes subcategorias de amostragem:

1. Amostragem aleatória simples;
2. Amostragem estratificadas;
3. Amostragem por conglomerados.

No presente cenário, o método de amostragem selecionada foi do tipo estratificada. Isto é, para estimar a taxa de rejeição, os dados foram repartidos em diferentes categorias e recolhidos aleatoriamente dentro dos diferentes grupos. Foram identificados dois grupos de dados:

Grupo 1–Peças rejeitadas por dia e hora e no primeiro turno da L9 do projeto DPE *Armrest*

Grupo 2 – Peças rejeitadas por dia e hora no segundo turno da L9 do projeto DPE *Armrest*

Por fim, para a validação da definição do método de medição, a equipa utilizou uma ferramenta clássica de qualidade, designada por 5W2H que permite dar resposta a sete perguntas-chave:

1. O quê? O que se pretende medir? Defeitos por tipo e localização, dia e hora;
2. Porquê? Porque se pretende medir? Para avaliar a estabilidade e comparar com a taxa de rejeição;
3. Quem? Quem vai medir? Os parâmetros do processo foram medidos pela produção e a qualidade;
4. Quando serão efetuadas as medições? Três vezes por turno, durante os tempos de paragem e arranque de turno;
5. Onde serão efetuadas as medições? Na L9;
6. Como? De acordo com o procedimento definido pela equipa;
7. Quantas vezes? Um registo por cada medição.

Concluída a identificação do sistema de medição, foi necessário proceder à validação do sistema, recorrendo à realização das capacidades do respetivo método. Através do índice de capacidade é possível compreender a capacidade do processo preencher os requisitos

necessários, para que no final os resultados e conclusões retirados da análise estatística sejam fiáveis.

No projeto em análise, e conforme já anteriormente referido, o indicador ou métrica consiste na taxa de rejeição relativa aos defeitos considerados como diretamente relacionados com o problema em análise. Para a recolha de dados, apenas os operadores qualificados analisaram as peças e determinaram a categoria de defeito. Para tal, recorreu-se a um estudo R&R (Repetibilidade & Reprodutibilidade), com o objetivo de identificar a variabilidade do método de medição ou repetibilidade, e a variabilidade do operador ou reprodutibilidade. (Cepova, Kovacikova, Cep, Klaput, & Mizera, 2018).

Num sistema de medição, são três as fontes de variação, o equipamento de medição ou controlo, o operador e a amostra. Um estudo R&R permite quantificar em percentagem a variação relativa das três fontes de variação em relação ao intervalo de tolerâncias.

No caso em análise, tendo em conta que se trata de uma inspeção visual, que vai determinar a presença ou ausência de defeito, estamos perante um estudo R&R por atributos, em que existem duas categorias de resultados “Peça NOK” ou “Peça OK”, conforme o defeito está ou não presente no componente. Para validar um sistema de medição por atributos as condições são ligeiramente diferentes quando comparado com o estudo R&R de variáveis contínuas.

Para a realização do estudo R&R, foram selecionados quatro operadores por turno, com o mesmo nível de formação e experiência no controlo final do componente em estudo (*L9 DPE Armrest*), e foi recolhida uma amostra de trinta peças da mesma referência. Para avaliar a capacidade do processo de inspeção, as peças selecionadas deve abranger todo o intervalo de tolerância, ou seja, todas as diferentes categorias de defeitos em análise. Foram recolhidas peças não conformes, num rácio de 30/70 e 70/30.

A conformidade das peças, foi primeiramente avaliada por um *expert* que na situação em estudo foi o contacto de cliente o responsável pela avaliação inicial das peças, determinando o ponto de referência para comparação com as avaliações dos operadores.

Todas as peças foram identificadas com um número sequencial entre 1 e 30. O estudo R&R consistiu na inspeção das peças pelos oito diferentes operadores, cada um analisou as peças três vezes. Os componentes foram apresentados aos operadores por ordem aleatória em cada uma das inspeções para garantir uma análise independente, mantendo

as condições em termos de procedimento de análise e registo, tempo de inspeção, posto de trabalho e iluminação.

Os resultados foram registados num formato disponibilizado e definido pela empresa, abaixo apresentado:

*Tabela 3-Registo R&R operadores 1º turno
Fonte: Modelo em excel para cálculo do estudo R&R da empresa*

Characteristic:									Type of check:	VISUAL			
Measuring Device Number:	ASPECTO													
Number of repetitions:	3									Number of parts:	30			
SWNº + Ind:										S/R:	No	"2":	No	
	Std Value	Type of defect (NOK)	Patricia			Mariana			Ana			Marcela		
1	NOK	ESPUMA VISIVEL	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok
2	NOK	MANCHAS / AGRESSÕES	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok
3	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
4	NOK	PONTOS DUROS	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok
5	NOK	COLAPSO	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok
6	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
7	NOK	DEFORMAÇÕES CANTO SUPERIOR	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok
8	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
9	NOK	Colapso	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok
10	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
11	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
12	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
13	NOK	FALTA DE ENCHIMENTOS SUPERIORES E INFERIORES	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok
14	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
15	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
16	NOK	DEFORMAÇÕES NA PERIFERIA	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok
17	NOK	PAREDE VISIVEL	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok
18	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
19	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
20	NOK	Celulite	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok
21	NOK	CONTROLAR A SIEMETRIA DA COSTURADO TOPO (ENVIESAMENTO)	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok
22	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	nok	ok	ok	ok	ok	ok
23	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
24	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
25	NOK	COLAPSO	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok
26	NOK	PAREDE VISIVEL	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok
27	NOK	MANCHAS / AGRESSÕES	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok
28	NOK	PONTOS DUROS	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok
29	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
30	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok

No final do estudo foram obtidos os resultados apresentados na figura abaixo:

ATTRIBUTE GAGE R&R RESULTS (%)					
ASSESSMENTS		Patricia	Mariana	Ana	Marcela
Inspector score or Effectiveness (% of not mixed assessment)		100%	93%	97%	97%
Each inspector	Full agreement to Std	100%	93%	97%	97%
Each inspector versus Std (for each assessment)	Miss Rate (# Assessments OK vs Std NOK)	0%	0%	0%	0%
	False Alarm Rate (# Assessments NOK vs Std OK)	0%	2%	2%	0%
Between inspectors or System % Effective Score		90%			
All inspectors versus Std or System % Effective Score vs Reference		90%			

Figura 13 - Resultados R&R primeiro turno
Fonte: Modelo em excel para cálculo do estudo R&R da empresa

Todos os resultados são indicados em percentagem, a primeira linha identificada como *Inspection Score or Effectiveness* mostra a repetibilidade por operador, isto é, qual é a habilidade de cada operador para avaliar a peça sempre com o mesmo critério. A fórmula de cálculo é dada pelo número de peças avaliadas consistentemente sobre o número total de peças avaliadas, dado em percentagem.

Os três índices apresentados na figura abaixo, determinam a decisão final relativamente à R&R do método de inspeção. As três categorias são definidas por comparação com o padrão, isto é, a avaliação feita inicialmente pelo *expert* (contacto de cliente).

Critério de Decisão	Pontuação do Inspetor
Aceitável	≥90%
	≥80%
Aceitável, a melhorar	<90%
Inaceitável	<80%

Figura 14 - R&R critérios de decisão
Fonte: Modelo em excel para cálculo do estudo R&R da empresa

A segunda linha *Full agreement to standard* expressa a habilidade de cada operador em dar sempre a resposta correta. A fórmula de cálculo consiste na divisão do número de peças avaliadas de acordo com o padrão, sobre o número de peça inspecionadas, dado em percentagem. Através dos resultados, é possível verificar que a operadora Patrícia está 100% alinhada com os critérios padrão, por seu lado a operadora Mariana foi a que obteve resultados mais baixos (93%).

A terceira linha *Assessment OK vs Std NOK*, avalia a frequência com que cada operador avaliou uma peça conforme, quando na realidade se tratava de uma peça não conforme. Este resultado é fundamental para avaliar o risco de envio de peças não conformes para o cliente final. A fórmula de cálculo é dada pelo número de peças avaliadas como OK

quando NOK, sobre o número de peças padrão não conformes, dada em percentagem. No caso em análise, a inspeção dos operadores em estudo, não representa risco para o cliente final.

A quarta linha *Assessment OK vs Std NOK*, avalia a frequência com que cada operador avaliou uma peça não conforme, quando na realidade se tratava de uma peça conforme. Neste caso o risco identificado é de sobre qualidade, representando baixo risco para o cliente, mas impacto para a empresa, na medida em que são rejeitadas peças conformes. A fórmula consiste na divisão do número de peças avaliadas como NOK quando OK, sobre o número de peças padrão conformes, dada em percentagem. Verificou-se que as duas operadoras Mariana e Ana classificaram 2% das peças como não conformes, quando em comparação com o padrão se tratavam de peças conformes.

O mesmo procedimento foi aplicado ao segundo turno de produção, com o registo da avaliação dos operadores apresentado na tabela abaixo:

*Tabela 4-Registo R&R operadores 2º turno
Fonte: Modelo em excel para cálculo do estudo R&R da empresa*

Characteristic:	ASPECTO										Type of check:	VISUAL			
Measuring Device Number:											Number of parts:	30			
Number of repetitions:	3										S/R:	No		"2": No	
SWNº + Ind:															
	std Value	Type of defect (NOK)	Barbara			Sara			Madalena			Irene			
1	NOK	ESPUMA VISIVEL	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	
2	NOK	MANCHAS / AGRESSÕES	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	
3	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
4	NOK	PONTOS DUROS	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	
5	NOK	COLAPSO	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	
6	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
7	NOK	DEFORMAÇÕES CANTO SUPERIOR	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	
8	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
9	NOK	Colapso	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	
10	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	OK	OK	
11	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
12	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
13	NOK	FALTA DE ENCHIMENTOS SUPERIORES E INFERIORES	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	
14	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
15	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
16	NOK	DEFORMAÇÕES NA PERIFERIA	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	
17	NOK	PAREDE VISIVEL	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	
18	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
19	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
20	NOK	Celulite	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	
21	NOK	CONTROLAR A SIEMETRIA DA COSTURA DO TOPO (ENVIESAMENTO)	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	
22	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
23	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
24	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
25	NOK	COLAPSO	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	
26	NOK	PAREDE VISIVEL	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	
27	NOK	MANCHAS / AGRESSÕES	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	
28	NOK	PONTOS DUROS	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	
29	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
30	OK		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	

Os resultados foram semelhantes aos obtidos para o primeiro turno, sendo o *score* final ligeiramente mais elevado, 93% em comparação com os 90% obtidos no primeiro turno.

ASSESSMENTS		Barbara	Sara	Madalena	Irene
Inspector score or Effectiveness (% of not mixed assessment)		100%	97%	97%	97%
Each inspector	Full agreement to Std	100%	97%	97%	97%
Each inspector versus Std (for each assessment)	Miss Rate (# Assessments OK vs Std NOK)	0%	0%	0%	0%
	False Alarm Rate (# Assessments NOK vs Std OK)	0%	0%	2%	0%
Between inspectors or System % Effective Score		93%			
All inspectors versus Std or System % Effective Score vs Reference		93%			

Figura 15 - Resultado R&R segundo turno
Fonte: Modelo em excel para cálculo do estudo R&R da empresa

Em suma, o método de inspeção foi validado em ambos os turnos de produção, com um o resultado classificado como “aceitável”. Os dados do estudo R&R permitem aferir que o sistema de medição é capaz e que os resultados e conclusões obtidos são representativos e fiáveis.

CAPÍTULO IV – RESULTADOS

4.1 Aplicação da abordagem DMAIC – Fase 2

4.1.1 D.o.E – Design of Experiments

A metodologia D.o.E tem como objetivos principais a identificação dos fatores com impacto significativo no problema em análise e a criação de uma relação entre as entradas (X) e saídas (Y), visando a otimização dos processos. O D.o.E enquadra-se nas fases 2 (análise) e 3 (melhoria) de um projeto *Six Sigma*.

Para a correta aplicação do desenho de experiências, os passos mencionados no capítulo anterior foram imprescindíveis, salientando-se a criação do diagrama SIPOC que permitiu o levantamento de todas as entradas (X) e saídas (Y) do processo.

Desta forma, o propósito do D.o.E é determinar se algum fator (X) ou combinação de fatores (X's) afeta a resposta do processo (Y) nas seguintes formas:

- A média de Y;
- A variação de Y;
- Ambos, média e variação de Y;
- Não afeta.

Em primeiro lugar, foram identificadas as razões para a aplicação do método na resolução do problema em estudo, cada elemento colocou as suas questões e partilhou as suas experiências, no final foram salientadas as seguintes vantagens:

1. Trata-se de um método eficiente, que permite a obtenção de resultados com a realização de um menor número de experiências;
2. Todo o processo é considerado;
3. As interações entre as diferentes variáveis são contempladas;
4. O método permite determinar uma função designada por *transfer function*, em que $Y = f(X_1, X_2, X_3...)$ estabelece as relações entre a resposta do sistema à influência dos vários fatores, permitindo a simulação de diferentes cenários.

Com base na análise anterior, a equipa determinou que a aplicação de um desenho de experiências se adequava à resolução do problema em análise.

4.1.2 Planeamento D.o.E

A implementação de uma metodologia D.o.E está dividida em duas fases, planeamento e execução, a figura seguinte demonstra os diferentes passos de cada fase:

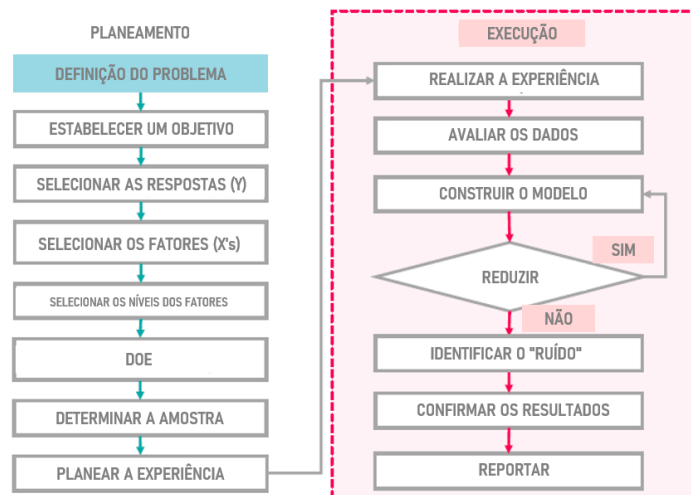


Figura 16 - Fases do D.o.E
 Fonte: Elaboração própria

Utilizando por base a estrutura acima apresenta, a equipa iniciou a planificação do estudo recorrendo a um documento de suporte designado por *D.o.E Planning template*, que permitiu dar resposta a cada um dos passos do planeamento.

De seguida serão explicados os diferentes passos para a realização do desenho de experiências:

Passo 1 e 2 – Numa primeira fase identificou-se o problema e os objetivos do estudo. No caso em análise, a equipa pretende analisar a taxa de rejeição associada aos defeitos “celulite” e “falta de enchimento” nas condições do processo existentes à data de início do projeto, restringindo o estudo aos materiais que utilizam a tecnologia Hico2fip com maior taxa de rejeição registada. O objetivo do D.o.E será identificar os fatores com impacto na conformidade do produto e as respetivas formas de otimização, isto é, de diminuição da taxa de rejeição.

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA A SOLUCIONAR COM O DOE:
Elevada taxa de rejeição decorrente dos defeitos "falta de enchimento" e "celulite" no projeto L9 DPE.
OBJETIVO:
Definir os fatores com impacto na otimização do processo para a redução da variabilidade.

Figura 17 - Descrição e objetivos do problema
 Fonte: Elaboração própria

Passo 3 – Consistiu na identificação das respostas do processo (Y) que permitem analisar o impacto das diferentes variáveis e os respetivos meios de medição. Foram identificadas como variáveis Y as seguintes respostas:

1. Taxa de rejeição (percentagem de peças não conformes), a ser determinado pelo operador do controlo final, validado através do estudo R&R por atributos, apresentado anteriormente no capítulo 3.1.6;
2. Taxa de defeitos por unidade de peça (DPU), seguindo o mesmo meio de medição identificado no item anterior;
3. Peso da peça final, medido através de balança digital, validada através de um estudo R&R quantitativo;
4. Dureza do apoio de braço (HSP), recorrendo a um equipamento de testes designado *Instron*.

RESPOSTAS (Y)	SISTEM DE MEDIÇÃO
% TAXA DE REJEIÇÃO	R&R para validação do operador
% DPU	R&R para validação do operador
PESO	Balança do laboratório
Dureza	Equipamento Instron

Figura 18 - Identificação das variáveis Y
Fonte: Elaboração própria

Passo 4 – Considerado uma das etapas mais importantes de uma análise D.o.E, integra a seleção dos fatores, ou variáveis X, com impacto na resposta do processo em análise. Ou seja, consiste na seleção de todas as entradas do processo que vão influenciar as respostas identificadas no passo anterior.

Para a identificação dos fatores, foi utilizada uma ferramenta de análise designada por Diagrama de Causa e Efeito (C&E). Esta ferramenta permite priorizar os fatores potenciais e avaliar o impacto relativo de cada um deles nos múltiplos Y's identificados. Deve ser construído recorrendo ao conhecimento de todos os elementos da equipa, consistindo numa estratégia de *brainstorming* organizado, podendo no final do projeto ser demonstrado que os fatores identificados inicialmente como os mais relevantes, na realidade não têm o impacto que lhes foi atribuído.

Com o diagrama de C&E, o principal objetivo é isolar os fatores X's vitais e separá-los dos restantes X's sem impacto significativo. Durante a análise podem ser identificados fatores considerados como "ruído" para o problema em estudo, no entanto, podem ser

relevantes para outros problemas, por esse motivo nada deve ser ignorado pela equipa, mas corretamente segregado e tratado em separado para evitar o desvio do objetivo principal do estudo D.o.E.

	Fill the Top of the funnel	Screening			Analysis	
	1	2			3	
	X Description	C&E Score	Retained factor	X Category	Testing Method	Testing Results
1	PLI	405	YES	C	Screening DOE	DOE PLI main factor P=0.094 with 2K factorial between 238 & 258gr
2	Index	360	YES	C	Screening DOE	DOE Index + Holding time 2way interaction main factor P=0.009
3	Isocyanate tank temperature	315	No	C	Regression analysis	Regression analysis Collapses Vs temperature of ISO no statistical relation (P = 0,955)
4	Funel type	270	No	N/A	N/A	no funel alternative (one funel available currently in production)
5	Funel position	270	No	S	no data	Tested Funel rotation between 2 hours production, no impact
6	Injetion Time (s)	270	NO	C	Screening DOE	DOE injection time main factor P=0.201
7	Injection holding time robo respect proگرامing	270	YES	S	trial verification	verified if small tool after DPE (big tool) robo don't keep the holding time defined and stay longer in tool
8	Microperforation density	234	NO	N	N/A	Follow up microperforated holes quantity no issue found, stable component
9	Nucleation air %	225	YES	C	Screening DOE	DOE Nucleation air % main factor or impact as block P=0.001 with 2K factorial between 14% & 20%
10	Water content	225	No	C	Regression analysis	Regression analysis NOK % Vs water content % no statistical relation (P = 0,672)
11	microperforated aspect (tearing / ripping)	198	NO	N	Controlled trial	performed follow full batch from unrolling / cutting / sewing / injection defects seen and followup without impact in finished product
12	Standard Work not accomplished, ironing step before assembly	162	YES	S	Audit	Verification that of non accomplishment of standard work of ironing joints before injection as in SW data a comparison between 1st (no wall visible - SW accomplished and 2nd shift - SW accomplished)
13	Poliol tank Temperature	126	NO	C	Regression analysis	Regression analysis % rejects Vs temperature of Poliol no statistical relation (P = 0,310)
14	Holding time setup	90	YES	C	Screening DOE	DOE Index + Holding time 2way interaction main factor P=0.009

Figura 19 - Resultado do diagrama C&E

Fonte: Modelo em excel disponibilizado pela empresa para elaboração do diagrama C&E

No final da realização do diagrama de C&E, foram identificadas 14 variáveis críticas. Com base na pontuação atribuída pela equipa e recorrendo ao método do “funil”, foram seleccionadas as seguintes variáveis-chave: X1 – PLI; X2 – Index; X3 – Robot holding time; X4 – Percentagem de ar de nucleação; X5 – Robot injection time; X6 – Standard de acabamento antes da montagem.



Figura 20 - Método “Tracking the X’s Through the Funnel”

Fonte: Elaboração própria

No final da fase 4 do planeamento do D.o.E, foram identificados os fatores a serem avaliados, encontrando-se a equipa no passo 7 da metodologia “12 Step Breakthrough Strategy” apresentada inicialmente no capítulo 3.1.5.

Passo 5 – Após a identificação das variáveis-chave, é necessário definir quais as tolerâncias para cada uma delas, tratando-se de variáveis contínuas, foram identificados os valores máximos e mínimos do processo para cada X.

Fatores	Níveis dos Parâmetros	
	Baixo	Elevado
Ar de nucleação	16	20
Index	110	120
Carga	238	258
Tempo de Injeção	2100	2300
Tempo de Espera	500	700

*Figura 21 - Tolerâncias de cada X
Fonte: Elaboração própria*

Passo 6 – Consistiu na identificação do “ruído”, ou seja, fatores adicionais que não estando diretamente relacionados com o problema poderiam interferir com o resultado do D.o.E e respetivos métodos de controlo. Foram determinados os seguintes fatores “ruído”:

- Utilização de moldes diferentes durante o processo de injeção. Método de controlo: Utilização da mesma ferramenta em todos os ensaios;
- Diferentes turnos e conseqüentemente operadores. Método de controlo: Confirmação da diferença na taxa de rejeição entre os diversos turnos;
- Conformidade da mistura química. Método de controlo: Realizar ensaio para verificação da conformidade da mistura antes do início do ensaio.

"Ruído" ou variáveis de fundo	Método de controlo
Utilização de ferramentas diferentes	Usar sempre a mesma ferramenta
Influência do turno	Verificar a taxa de rejeição nos dois turnos
Conformidade da mistura	Confirmar antes da realização do DOE

*Figura 22 - Identificação dos fatores "ruído"
Fonte: Elaboração própria*

O passo 6, contempla ainda a seleção do tipo de desenho D.o.E a aplicar, devendo estar alinhado com o tipo de experiência que se pretende desenvolver. Para a seleção do melhor modelo, a equipa recorreu a uma tabela de suporte identificada na figura abaixo, que evidencia que quanto maior a complexidade do D.o.E, maior o conhecimento obtido, mas conseqüentemente maior o custo de implementação.

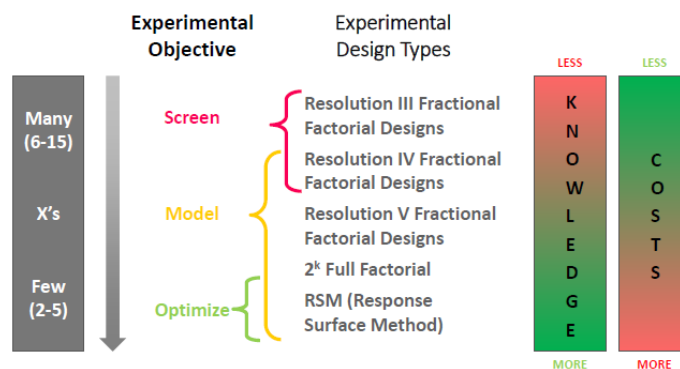


Figura 23 - Tipos de desenho de experiências
 Fonte: Adaptado de um documento da organização

Tendo por base a quantidade de variáveis-chave identificadas (6) foi selecionado o D.o.E fatorial fracionado de resolução III, com um bloco (ar de nucleação %).

Passo 7 – Consistiu na identificação do tamanho da amostra e replicação dos ensaios. Foram definidas três réplicas, com um total de 24 ensaios diferentes e a produção de 5 peças por ensaio, somando um total de 120 peças injetadas.

Passo 8 – Por último, a equipa seguiu a lógica do “go to gemba”, deslocando-se ao “terreno” para aplicação do ensaio planeado e acompanhamento dos resultados. Foram recolhidas as seguintes informações: 1) 240 peças produzidas; 2) a quantidade de elementos envolvidos no processo produtivo; 3) avaliação do risco potencial de sucata, 1800€ estimados.

4.1.3 Análise estatística – Software Minitab

Após recolhidos os dados, procedeu-se à análise através de um software de análise estatística designado por Minitab.

Através de uma regressão linear múltipla, verificou-se a percentagem da variação explicada pelos fatores em estudo. Quanto maior o resultado do R-quadrado, melhor o modelo se ajusta aos dados. Ou seja, no caso em estudo, 67,5% da variação do processo é explicada pelo modelo linear.

Model Summary			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2,75379	67,54%	53,34%	26,97%

Figura 24 - Resultados do modelo de regressão linear
 Fonte: Minitab

De seguida, procedeu-se à análise da variância ou ANOVA factorial, de forma a obter uma comparação entre a distribuição do diferentes fatores. Tendo-se identificado como fatores³ significativos de variação do processo, o X4 (ar de nucleação %) e o X1 (PLI ou carga), ambos com valor p inferior ou muito próximo do nível de significância $p < 0,05$. O fator X4, foi bloqueado para facilitar a análise e interpretação estatística, aparecendo identificado como “Blocks” na figura 27. Os blocos são aplicados quando não é possível recolher os resultados ao mesmo tempo e mantendo as mesmas condições tornando mais difícil avaliar o efeito dos fatores de interesse, com a criação dos blocos é possível reduzir desvios e variabilidade nas medições.

Foi ainda possível verificar as interações entre dois fatores, através de uma análise de variância múltipla. Estudou-se a interação entre o X2 (*Index*) vs X5 (Tempo de Injeção) e X2 vs X3 (holding time). Verificou-se que existe uma forte interação entre X2 e X3, representada por um p -value de 0,009 para um nível de significância $p < 0,05$.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	252,500	36,071	4,76	0,005
Blocks	1	121,500	121,500	16,02	0,001
Linear	4	53,667	13,417	1,77	0,184
Index	1	2,667	2,667	0,35	0,561
Carga	1	24,000	24,000	3,16	0,094
Tempo injeção	1	13,500	13,500	1,78	0,201
holding time	1	13,500	13,500	1,78	0,201
2-Way Interactions	2	77,333	38,667	5,10	0,019
Index*Tempo injeção	1	10,667	10,667	1,41	0,253
Index*holding time	1	66,667	66,667	8,79	0,009
Error	16	121,333	7,583		
Total	23	373,833			

Figura 25 - Resultados ANOVA
Fonte: Minitab

De seguida, pretendeu-se compreender qual a combinação de inputs para cada uma das variáveis de forma a otimizar a resposta do processo. Através do Minitab, foi possível calcular uma solução ótima, permitindo alterar o input de cada variável e analisar ao detalhe as possibilidades de melhoria a implementar no processo. Assim sendo, para um nível de conformidade de 4,25%⁴ e reduzindo a variável X1 ao mínimo permitido pelo

³ Os fatores ou variáveis-chave foram determinados no passo 4, no capítulo 4.1.2 Planeamento do D.o.E

⁴ O nível de conformidade foi determinado através de uma matriz de conformidade do aspeto dos componentes para cada um dos defeitos em análise, tendo-se determinado que o nível de conformidade de aspeto aceitável com base no CSR é de 4,25%.

processo 238g, obteve-se como parâmetros para uma combinação ideal das diferentes variáveis: X2-120; X3-700; X5-2100.

A variável X1 foi escolhida como fator determinante na seleção dos parâmetros, na medida em que, mantendo os valores no mínimo, representa uma poupança direta para a organização em termos de gastos de matéria-prima. Reduzindo a carga, reduz-se diretamente o consumo de químicos utilizados na injeção de uma peça, resultando em vantagem competitiva perante outros concorrentes.

A figura 28, contempla a representação gráfica relativamente à combinação ideal das diferentes variáveis, podendo-se concluir que para um nível de X1 mínimo, é necessário que X2 e X5 se encontrem no máximo e reduzir X3 ao mínimo.

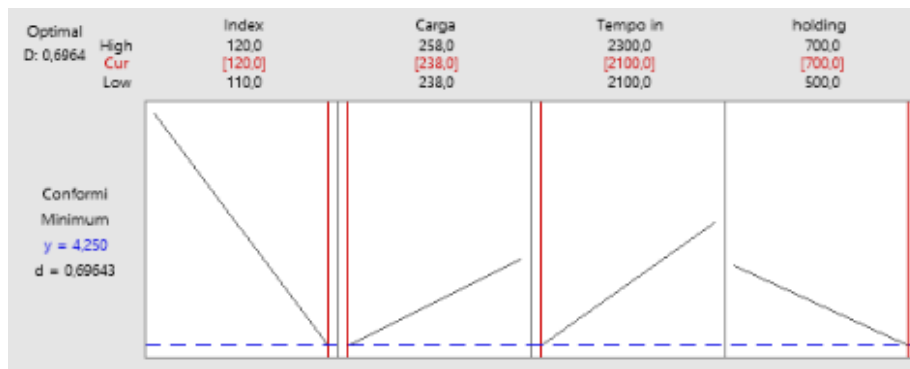


Figura 26 - Representação gráfica da análise da resposta otimizada
Fonte: Minitab

Após a análise da interação global dos diferentes fatores, partiu-se para uma análise detalhada de cada um deles.

X1 – PLI ou carga de injeção

Conforme referido anteriormente, na análise D.o.E a variável carga foi identificada como fator relevante para a variação do processo com um valor p de 0,094. Através de uma análise de regressão múltipla constatou-se que o aspeto do componente é influenciado pelo valor da carga, da seguinte forma, com a carga no valor mínimo as peças apresentam rejeição elevada para o defeito “colapsos”, ao aumentar a carga para o valor máximo a rejeição mantém-se elevada, mas o defeito registado pelos operadores do controlo final altera para “aspeto casca de laranja”. No modelo obtido, 41% da variação do processo é explicada pela influência do fator X1.

X2 – Index vs X3 – Holding time ou Tempo de espera do robot

Recorrendo a um gráfico de interação, foi possível demonstrar a relação entre o fator X2 e a taxa de rejeição. Esta análise permite compreender a relação entre um fator categórico e uma resposta contínua do processo. O gráfico apresenta as médias dos níveis de um fator no eixo X e uma linha separada para cada nível dos outros fatores.

Comparando os valores registados em diferentes alturas do ano, verificou-se que para um *index* de 100 a taxa de rejeição era de 2,8%, comparativamente aos valores registados em setembro com um *index* de 110 e uma taxa de rejeição de 0,6%. Aumentando o *index* verifica-se a redução da taxa de rejeição.

Conforme já referido, indentificou-se também uma forte interação entre X2 e X3, representada por um *p-value* de 0,009 para um nível de significância $p < 0,05$.

Na figura 29, é possível observar a representação gráfica das interações entre X2 e X3 relativamente ao grau de conformidade, verificando-se as seguintes condições ótimas:

- Interação *Index* vs Tempo de Injeção – para um *index* de 110 o tempo de injeção de 2100 ou 2300s não interfere com o nível de conformidade obtido;
- Interação *Index* vs Tempo de Injeção – para um *index* de 120 o tempo de injeção de 2300s apresenta um nível de conformidade elevado, em comparação com o tempo de injeção de 2100s;
- Interação *Index* vs Holding Time – para um *index* de 110, o tempo de espera deve ser de 700s para a obtenção de um nível de conformidade elevado;
- Interação *Index* vs Holding Time – para um *index* de 120, o tempo de espera deve ser de 500s para a obtenção de um nível de conformidade superior. No entanto, é de salientar o impacto significativo quando aplicado um valor de *index* 110 combinado com um tempo de espera de 700s, obtendo-se um grau de conformidade acima dos 10%.

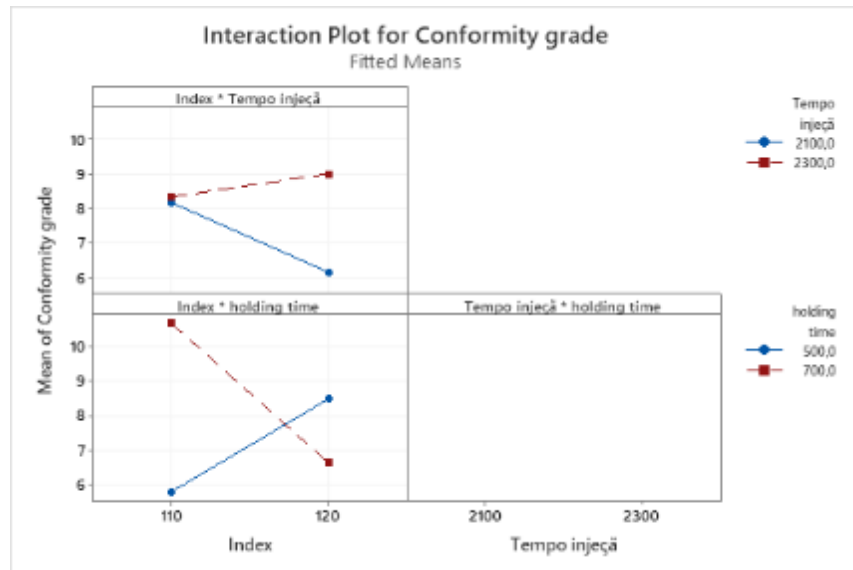


Figura 27 - Gráfico de interação relativamente ao grau de conformidade
Fonte: Minitab

X4 – Ar de Nucleação %

Através da realização de um teste-t para duas amostras pretendeu-se identificar se os dois grupos de amostras diferem. Este teste foi desenvolvido segundo o pressuposto de que ambas as populações seguem uma distribuição normal dos dados e com variâncias iguais.

Conforme já explicado, o fator ar de nucleação foi bloqueado, considerando-se apenas dois grupos de amostras, consoante o valor esteja no máximo permitido pelo processo (20%) ou no valor mínimo (14%). Esta decisão teve por base o facto de não ser possível a recolha de dados contínuos englobando todas as possíveis percentagens de ar de nucleação e também por não ser viável recolher estes dados garantindo exatamente as mesmas condições.

Verificou-se através do teste-t uma diferença significativa nas médias dos diferentes grupos de amostras em estudo, com um valor p de 0,004, para um nível de significância de 0,05. Os resultados demonstram que o fator X4 tem impacto no grau de conformidade, isto é, variando a percentagem de ar de nucleação é possível observar variação na taxa de rejeição do componente.

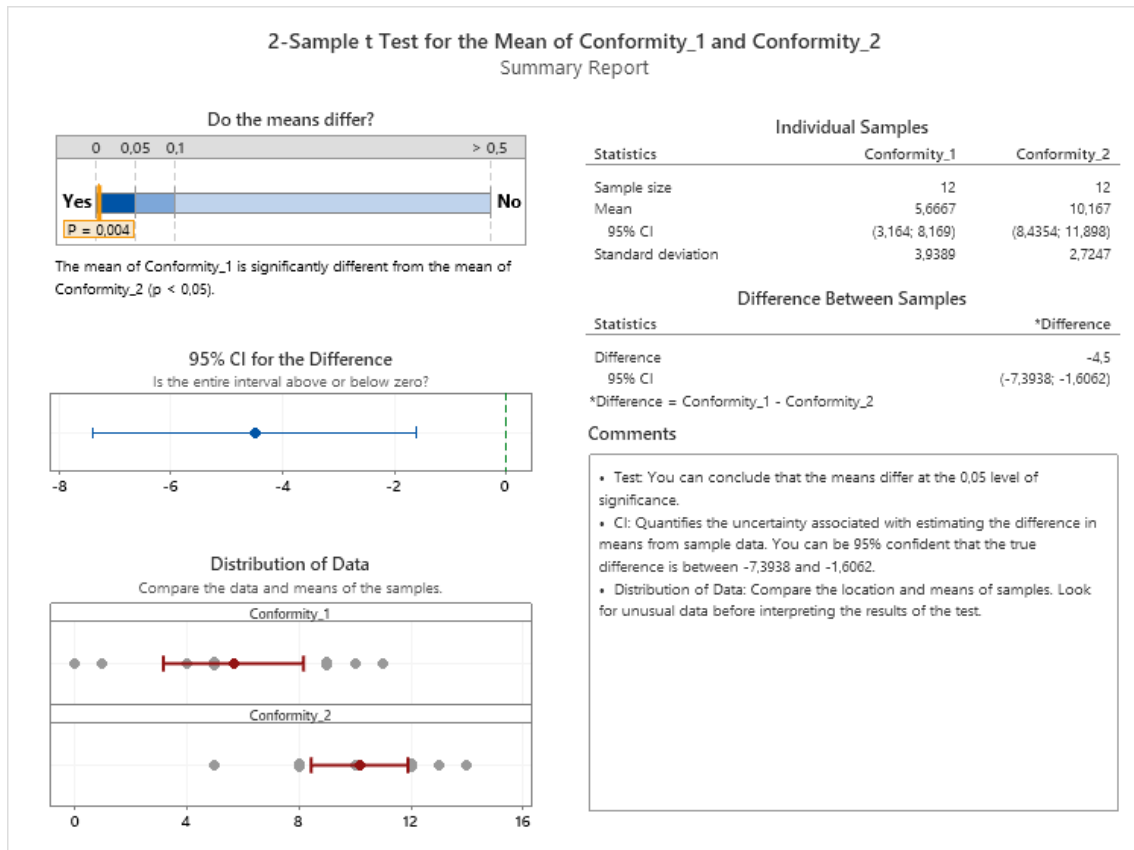


Figura 28 – Resultados do teste-t para 2 amostras
Fonte: Minitab

X5 – Robot injection time ou tempo de injeção

Foram analisadas diferentes trajetórias de forma a verificar o impacto do tempo de injeção do robot no nível de conformidade da peça. Para verificar a influência deste fator, foram comparados os resultados com diferentes planeamentos do carrossel de moldes. Avaliaram-se as seguintes condições:

- 1 Peça pequena seguida de uma peça maior – reduz a ocorrência do defeito, o robot tem mais tempo disponível para a injeção após injetar a peça pequena, permanecendo mais tempo a injetar a peça de maior dimensão. Assim, permite a saída de ar gradual durante a injeção melhorando a estabilidade da mistura química;
- 2 Peça grande seguida de uma peça pequena – o robot leva mais tempo a injetar a peça de maiores dimensões, sobrando menos tempo para a injeção da peça seguinte. O robot não regressa à posição inicial, passando diretamente para a posição seguinte. O tempo de injeção reduz e a saída de ar não ocorre de forma

gradual, levando ao aparecimento de defeitos, nomeadamente, colapsos e aspeto casca de laranja.

Os resultados demonstraram diferenças no grau de conformidade de um componente de pequenas dimensões (apoio de cabeça), com tempo de ciclo curto, e um componente com geometria de maior dimensão (apoio de braço). No caso do componente de maiores dimensões, verificou-se que o robot não tem tempo suficiente para retornar à posição de origem e desloca-se diretamente para o molde seguinte, registando uma taxa de rejeição superior.

A figura 31 representa as diferenças entre um ciclo de longa duração e de curta duração. Com um ciclo longo todos os passos são respeitados. Em contrapartida, no ciclo de curta duração: 1) a limpeza não é realizado, por falta de tempo disponível; 2) o bico de injeção não retorna à posição de origem, fica a aguardar na ferramenta e passa diretamente à seguinte após concluir a injeção; 3) o processo de desgaseificação não é garantido de forma gradual.

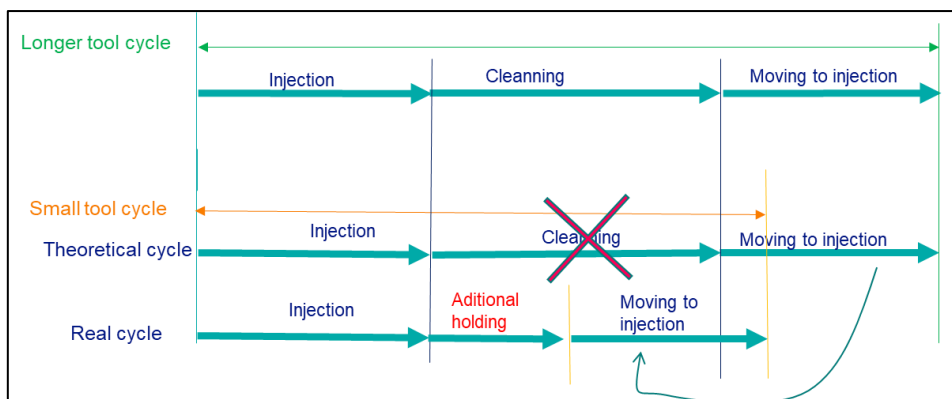


Figura 29 - Comparação entre ciclos com diferentes tempos de espera
Fonte: Elaboração própria

X6 - Standard de acabamento antes da montagem

A análise dos dados de rejeição a cada hora, permitiu identificar diferenças entre os diferentes turnos de produção. O segundo turno registou taxas de rejeição mais elevadas quando comparado com o primeiro turno. De forma a compreender a razão das diferenças, foi realizada pelos elementos da equipa uma auditoria ao standard de processo a ambos os turnos, tendo-se concluído que no segundo turno os procedimentos para o correto acabamento dos componentes não estavam a ser aplicados.

4.2 Aplicação da abordagem DMAIC – Fase 3

Após a análise dos dados recolhidos e dos respetivos resultados, chegou-se à penúltima fase da implementação da metodologia DMAIC, que conforme já explicado, consiste na implementação de um plano de melhorias para atingir os parâmetros ótimos para cada fator relevante identificado.

A realização do D.o.E, permitiu à equipa identificar ações de implementação a curto e médio prazo com obtenção de resultados positivos.

Um das ações de aplicação imediata, teve implicação no fator X3 (holding time) e fator X5 (tempo de injeção). Através dos resultados obtidos, compreendeu-se a necessidade de alterar o planeamento e organização dos moldes em linha. Esta ação não implicou investimento, tendo sido realizada com elementos internos à organização e permitiu a obtenção de mais tempo útil durante o processo de injeção, garantindo que o robot regressa sempre à posição de origem, independentemente da dimensão da peça a injetar. Desta forma, foi possível assegurar maior estabilidade durante o processo de injeção, com tempos de espera constantes, permitindo a obtenção de maior tempo durante a injeção e garantindo a correta desgaseificação durante a injeção dos componentes.

Outra das melhorias identificadas pela equipa com base nos resultados obtidos no D.o.E foi a otimização dos parâmetros de injeção, com impacto em todos os fatores identificados. Foram efetuados ensaios ajustando as especificações do processo de acordo com os valores obtidos no Minitab para um nível de conformidade de 4,25%. A equipa aplicou a combinação ótima dos fatores determinada através da análise estatística X1-238; X2-120; X3-700; X5-2100. Os resultados obtidos confirmaram a robustez da análise, não foram registadas peças com defeito durante dois dias completos de seguimento do processo.

O fator X6 (*standard* de acabamento) também foi alvo de melhorias, conforme foi salientado anteriormente, foram verificadas diferenças significativas na taxa de rejeição entre os diferentes turnos. De forma, a reduzir a variabilidade foram definidas ações de melhoria relacionadas com a formação e desenvolvimento dos colaboradores, relativamente à importância no cumprimento dos procedimentos de produção e acabamento dos componentes. Os procedimentos documentais foram revistos e atualizados, para evitar erros de interpretação pelos operadores dos diferentes turnos. Foi também agendada uma sessão de formação, antes do fecho das férias de verão, com todos os elementos pertencentes à linha de injeção em estudo, para que a informação fosse partilhada uniformemente e possíveis questões fossem colocadas e esclarecidas para todos os colaboradores em simultâneo.

4.3 Aplicação da abordagem DMAIC – Fase 4

A última fase da abordagem DMAIC consiste na validação das melhorias implementadas e na garantia de que os resultados obtidos são sustentáveis, permitindo a manutenção dos ganhos a longo prazo.

Com a aplicação das ações mencionadas no subcapítulo 4.2 foi possível verificar a redução da taxa de rejeição do processo em estudo. Na figura 32, é possível observar a percentagem de peças rejeitadas desde a semana 22 até à semana 30. A partir da semana 27, verificou-se uma redução significativa na taxa de rejeição, que coincide com a data de implementação da melhoria com impacto no fator X6. De seguida, é possível constatar que nas semanas 28 e 29, volta a ocorrer um aumento na taxa de rejeição, explicado pela realização dos ensaios relacionados com o ajuste de parâmetros para a implementação da combinação ótima identificada através da análise estatística. Este aumento da taxa de rejeição estava previsto, tendo em conta que sempre que ocorre um ajuste de parametrização do processo de injeção, é necessária a realização de ensaios, com rejeição de peças inerente ao processo de ajuste. Após a semana 29, com a estabilização do processo, verificou-se novamente um decréscimo para uma taxa de rejeição de 0,10%. Em suma, foi possível atingir uma redução de 5,9% em comparação com o valor registado no início do projeto.

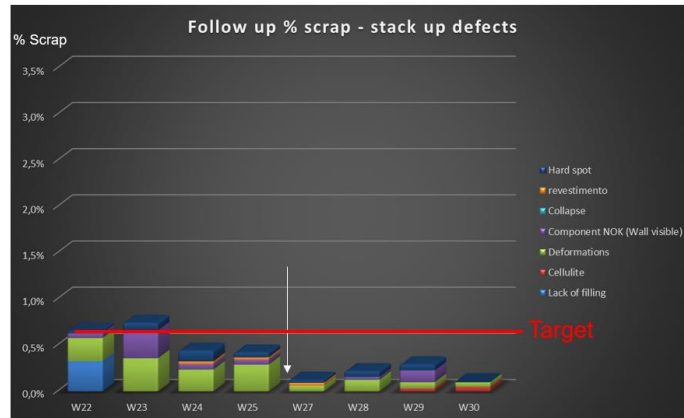


Figura 30 - Seguimento da taxa de rejeição % antes e após melhorias
Fonte: Elaboração própria

Esta fase contempla também o planeamento e a monitorização da performance das ações implementadas durante, pelo menos, três meses consecutivos.

Em primeiro lugar a equipa definiu as tarefas e especificações a auditar e os respetivos métodos de controlo. Cada tarefa está relacionada com um dos seis fatores identificados anteriormente:

- Fator X1 – Tarefa: Verificação do valor de PLI registado no equipamento; Método de controlo: Especificação 238g com tolerância de $\pm 5g$, se o valor registado estiver fora da especificação é necessário o ajuste imediato;
- Fator X2 – Tarefa: Verificação do *index* registado no equipamento; Método de controlo: Especificação 120 com tolerância de -5, se o valor registado estiver fora da especificação é necessário o ajuste imediato;
- Fator X3 – Tarefa: Verificação do programa selecionado no equipamento; Método de controlo: Programa identificado como “Single program”, se o programa não for o correto deve ser alterado de imediato;
- Fator X4 – Tarefa: Verificação da percentagem de ar de nucleação; Método de controlo: Especificação 16% com tolerância de $\pm 2\%$, se o valor registado estiver fora da especificação é necessário o ajuste imediato;
- Fator X5 – Tarefa: Verificação do tempo de injeção; Método de controlo: Especificação 700ms com tolerância de ± 50 , se o valor registado estiver fora da especificação é necessário o ajuste imediato;
- Fator X6 – Tarefa: Realização de auditoria ao *standard* de acabamento; Método de controlo: Verificação do cumprimento do método de controlo, se o

procedimento não estiver a ser cumprido é necessária a realização de nova ação de formação.

Após a identificação das tarefas e métodos de controlo, foi elaborado o plano de auditorias para os seis meses seguintes ao fecho do projeto. O plano contemplou as tarefas a auditar, a respetiva especificação associada à tarefa, a periodicidade, semanal ou mensal, e o responsável. Um dos cuidados durante a elaboração do plano, foi selecionar responsáveis com conhecimento específico das tarefas a auditar, de forma a obter dados fidedignos. Na figura 36 encontra-se o plano com os resultados registados relativos ao mês de agosto.


 Audit planning 6Sigma DPE Scrap				Agosto		Setembro			
				S34	S35	S36	S37	S38	S39
Tarefa	Especificação	Periodicidade	Responsável	S34	S35	S36	S37	S38	S39
Verificar estado dos parameters de injeção no DPE									
PLI	243+/-5	Semanal	Rita Dionísio	OK	OK				
Index	120 +0/-5	Semanal	Rita Dionísio	OK	OK				
Tempo injeção	2100 +/-100	Semanal	Rita Dionísio	OK	OK				
Holding time	700 +/-100	Semanal	Rita Dionísio	OK	OK				
Verificar o cumprimento do SW passagem ferro e vincagem no HHN antes da injeção									
Turno A	OK / NOK	Semanal	Vanessa Ferreira	OK	OK				
Turno B	OK / NOK	Semanal	Vanessa Ferreira	OK	OK				
Verificar o delta de pressão entre tanque e circuito de injeção									
Poliol	P2-P1 < 15 Bar	Semanal	José Moreira	OK	OK				
Isocianato	P4 - P3 < 10 Bar	Semanal	José Moreira	OK	OK				
Registo no OK arranque TA	OK / NOK	Semanal	José Moreira	OK	OK				
Registo no OK arranque TB	OK / NOK	Semanal	José Moreira	OK	OK				
Verificar o registo de defeitos para os defeitos de seguimento do DOE									
Turno A	OK / NOK	Semanal	Vanessa Ferreira	OK	OK				
Turno B	OK / NOK	Semanal	Vanessa Ferreira	OK	OK				
Verificar status % scrap/savings e eficácia das ações									
& Scrap	<0,5%	Mensal	Daniel Campos	OK	OK				
Savings	budget	Mensal	Daniel Campos	OK	OK				
Ações TA		Mensal	Daniel Campos	OK	OK				
Ações TB		Mensal	Daniel Campos	OK	OK				
				Agosto		Setembro			
				S34	S35	S36	S37	S38	S39
Overall Result				OK					

Figura 31 - Plano de auditorias ao processo
Fonte: Elaboração própria

CAPÍTULO V – CONCLUSÃO

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de compreender em que medida a aplicação de um modelo LSS, através da implementação de ferramentas como a abordagem DMAIC e um estudo D.o.E, pode contribuir para a sustentabilidade económica das organizações.

Seguindo uma metodologia de investigação-ação, foi acompanhada passo-a-passo a implementação de um projeto *Six Sigma* numa indústria de componentes auto, tendo sido descritos todos os passos, desde a identificação dos vários fatores e causas responsáveis pelo aumento da taxa de rejeição, até à análise detalhada de todas as etapas do processo, identificando as dificuldades sentidas e os resultados obtidos em cada fase.

Ao longo de todo o estudo, foram mencionadas as várias ferramentas e técnicas associadas à produção *Lean* e *Six Sigma*, tendo algumas delas sido estudadas com maior detalhe, nomeadamente a abordagem DMAIC, com a identificação de todos os pressupostos para a sua implementação em ambiente industrial.

De seguida, pretende-se resumir de que forma os resultados obtidos na presente investigação conseguem dar resposta ao problema identificado inicialmente “A implementação integrada de ferramentas de *Lean Six Sigma* teve efeito positivo na performance da organização?” e às respetivas hipóteses:

H1: A aplicação da ferramenta DMAIC permitiu identificar os fatores com impacto na produção do componente em estudo;

Sim, com a aplicação desta metodologia a equipa foi capaz de identificar os fatores com possível impacto na taxa de rejeição do componente auto em estudo. A abordagem DMAIC foi acompanhada durante as quatro fases de implementação. A análise SIPOC, que integra a fase zero da abordagem DMAIC, constituiu uma das ferramentas fundamentais permitindo à equipa identificar todas as entradas e saídas do processo. Outro dos passos essenciais para a correta identificação dos fatores, foi a realização do diagrama de causa e efeito, na fase dois da abordagem DMAIC. Este dois elementos, relacionam-se entre si e contribuíram para a determinação dos seis fatores-chave, identificados como X1,X2,X3,X4,X5 e X6.

H2: A identificação dos fatores com impacto na produção do componente em estudo permitiu reduzir o desperdício durante o processo de produção;

Sim, os fatores identificados durante a fase dois da abordagem DMAIC, permitiram reduzir o desperdício ou taxa de rejeição de 6% no início do projeto para 0,10% na fase final. Os resultados alcançados foram além do inicialmente estimado, a redução da taxa de rejeição ultrapassou o nível de redução previsto de 0,5% atingindo os 0,10%.

H3: A redução do desperdício durante o processo de produção representou um ganho para a organização, promovendo a sustentabilidade económica.

Sim, com a redução da taxa de rejeição verificou-se um impacto direto nos resultados da organização, na medida em foi possível reduzir em 6500€ o impacto mensal dos custos de rejeição na linha em estudo. A rejeição mensal do componente em análise registou uma diminuição de 6600€ para os 110€, representando um impacto significativo em termos de indicadores financeiros da organização. Os ganhos 12 meses estimados inicialmente, passaram de 152.915€ para 183.499€ com o desenvolvimento do projeto *Six Sigma*.

Em suma, a implementação integrada de ferramentas LSS, teve efeito positivo na performance da organização em estudo, com a redução significativa do desperdício durante o processo de injeção do componente em análise.

Os resultados obtidos na presente investigação vão ao encontro dos registados por outros autores.

Em 2022, um estudo desenvolvido numa indústria de produção de eixos para automóveis, acompanhou a implementação combinada de ferramentas semelhantes às utilizadas na presente investigação, nomeadamente análise SIPOC, *Project Charter*, Gráficos Pareto, Capabilidades, e verificou uma redução da taxa de rejeição de 10,4% para 3,20% após a implementação das estratégias LSS. Melhorando o valor six sigma de 3,34 para 3,94 (Guleria, Pathania, Sharma, & Sá, 2022).

Outro estudo conduzido por Krishna Priya, *et al.* (2020), demonstrou que a aplicação de técnicas LSS, permitiram eliminar com sucesso doze atividades sem valor acrescentado para a organização. Desta forma, reduziram o tempo de ciclo das atividades em 19 minutos e a taxa de rejeição em 37,2%. Salientando a importância da implementação deste tipo de ferramentas para o aumento da qualidade dos produtos e processos e prevenção da recorrência de defeitos nas linhas de produção.

Passando para o setor da pintura, uma outra pesquisa, desenvolveu um D.o.E que lhes permitiu identificar a combinação ótima de parâmetros para a redução de defeitos durante os procedimentos de pintura. Através do mesmo software de análise estatística, realizaram uma análise ANOVA e obtiveram um digrama com um nível ótimo de parâmetros para cada fator identificado inicialmente, nomeadamente a temperatura de limpeza, pH e temperatura de fosfatização. Após a realização do ensaio com os novos parâmetros, verificaram um aumento do nível de *six sigma* de 3,31 para 4,5. O que permitiu a obtenção de melhores resultados no processo de pintura, com níveis de variabilidade mais reduzidos, e conseqüentemente, impacto positivo na redução de defeitos na pintura como bolhas e descolamentos de tinta (Srinivasana, Muthu, Prasad, & Satheesh, 2014).

Outra investigação, novamente no setor automóvel, demonstrou que apenas com a implementação de uma filosofia *Lean*, foi possível melhorar a produtividade da organização. Reduzindo os tempos de transporte e sobre-processamento, conseguiram maximizar a disponibilidade das linhas e equipamentos, resultando numa utilização mais eficiente da área de produção. Com estas ferramentas obtiveram uma redução de 2.159.000€ do investimento inicialmente previsto (Azevedo, *et al.*, 2019).

No entanto, é também importante salientar algumas das limitações referidas ao longo da presente investigação e destacadas pelos elementos da equipa durante a implementação do projeto *Six Sigma*.

A aplicação de ferramentas combinadas *Lean* e *Six Sigma*, apesar de não exigir uma formação específica, pressupõe que os elementos que constituem a equipa tenham conhecimento das diferentes ferramentas e saibam em que contexto devem ser aplicadas.

Os resultados obtidos na presente investigação foram recolhidos numa organização com estabilidade e dimensão significativa no setor automóvel, com equipas treinadas e responsáveis por acompanhar a implementação dos projetos no interior da organização. Quando aplicadas em empresas de menor dimensão em que os elementos desconhecem a base das ferramentas, o sucesso destes projetos é limitado. É importante que antes da sua aplicação, sejam reunidas as condições mínimas de conhecimento e formação, sendo por isso necessária capacidade financeira das empresas para garantir a formação de elementos específicos que façam o acompanhamento da implementação durante as diversas fases,

garantindo que a equipa está a percorrer o caminho na direção correta e servindo também como elementos desbloqueadores nas fases de decisão.

A presença da gestão de topo é também fundamental para o sucesso dos projetos, sem o envolvimento dos responsáveis com poder de decisão, os projetos ficam, na grande maioria das vezes, parados e acabam por ser abandonados representando prejuízo para as organizações.

As limitações identificadas constituem sugestões para investigações futuras, uma proposta relaciona-se com a criação de um modelo de implementação de projetos LSS, que possa apoiar pequenas e médias organizações no momento de decisão sobre qual ferramenta implementar e quais os requisitos mínimos e investimentos necessários, quer em termos de recursos humanos, económicos, infra-estruturas, entre outros. Desta forma, empresas com menos recursos, poderiam ter um modelo base para facilitar no momento de escolha e decisão sobre que ferramenta adotar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, S., Hossen, M., Mahtab, Z., Kabir, G., Paul, S., & Adnan, Z. (2020). Barriers to lean six sigma implementation in the supply chain: An ISM model. *Computers & Industrial Engineering* 149, 106843.
- Anvari, A., Ismail, Y., & Hossein Hojjati, S. (2011). A Study on Total Quality Management and Lean Manufacturing: Through Lean Thinking Approach. *World Applied Sciences Journal* 12, 1585-1596.
- Azevedo, J., Sá, J., Ferreira, L., Santos, G., Cruz, F., Jimenez, G., & Silva, F. (2019). Improvement of Production Line in the Automotive Industry Through Lean Philosophy. *Procedia Manufacturing* 41, 1023-1030.
- Bhattacharya, A., Nand, A., & Castka, P. (2019). Lean-green integration and its impact on sustainability performance: A critical review. *Journal of Cleaner Production* 236, 117-697.
- Bikram, J., Harsimran, S., & Doordashi, S. (2024). *Lean and Six Sigma Strategies*. India : Scholars' Press.
- Birangal, T., & Mahesha, G. T. (2020). Reduction of ppm level by using design of experiment (DOE) method. *Materials Today: Proceedings* 24, 442-452.
- Caldera, H., Desha, C., & Dawes, L. (2017). Exploring the role of lean thinking in sustainable business practice: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production* 167, 1546 - 1565.
- Cepova, L., Kovacikova, A., Cep, R., Klaput, P., & Mizera, O. (2018). Measurement System Analyses – Gauge Repeatability and Reproducibility Methods. *MEASUREMENT SCIENCE REVIEW*, 20-27.
- Cherrafi, A., Elfezazi, S., Chiarini, A., Mokhlis, A., & Benhida, K. (2016). The integration of lean manufacturing, Six Sigma and sustainability: A literature review and future research directions for developing a specific model. *Journal of Cleaner Production*, 828-846.
- Cortes, H., Daaboul, J., Le Duigou, J., & Eynard, B. (2016). Strategic Lean Management: Integration of operational performance indicators for strategic Lean Management . *IFAC (International Federation of Automatic Control)*, 065-070.

- Craig, J., & Moores, K. (9 de April de 2010). Strategically aligning family and business systems using the Balanced Scorecard. *Journal of Family Business Strategy*, pp. 78-87.
- Deshmukh, M., Gangele, A., Gope, K. D., & Dewangan, S. (2022). Study and implementation of lean manufacturing strategies: A literature review. *Materials Today: Proceedings* 62, 1489-1495.
- Erro-Garcés, A., & Alfaro-Tanco, J. (2020). Action Research as a Meta-Methodology in the Management Field. *International Journal of Qualitative Methods, Volume 19*.
- Foseca, L., & Domingues, J. (2017). Reliable and flexible Quality Management Systems in the automotive industry: monitor the context and change effectively. *Procedia Manufacturing* 11, 1200-1206.
- Guleria, P., Pathania, A., Sharma, S., & Sá, J. (2022). Lean six-sigma implementation in an automobile axle manufacturing industry: A case study. *Materials Today: Proceedings* 50, 1739-1746.
- Ikumapayi, O., Akinlabi, E., Mwema, F., & Ogbonna, O. (2020). Six sigma versus lean manufacturing – An overview. *Materials Today: Proceedings*, 3275-3281.
- Kaplan, R., & Norton, D. (January-February de 1992). The Balanced Scorecard - Measures that drive performance. pp. 71-79.
- Krishna Priya, S., Jayakumar, V., & Suresh Kumar, S. (2020). Defect analysis and lean six sigma implementation experience in an automotive assembly line. *Materials Today: Proceedings* 22, 948-58.
- Kulkarni, T., Toksha, B., Shirsath, S., Pankade, S., & Autee, A. (2023). Construction and Praxis of Six Sigma DMAIC for Bearing Manufacturing Process. *Materials Today: Proceedings* 72, 1426-1433.
- Kumar, A., Singh, K., Singh, K., Thakur, K., Singh, H., & Singh, J. (2022). Product performance optimization in an automotive manufacturing plant using shainin DOE tools: A case study. *Materials Today: Proceedings* 50, 1679-1682.
- Lakshmanan, R., Nyamekye, P., Virolainen, V.-M., & Piili, H. (2023). The convergence of lean management and additive manufacturing: Case of manufacturing industries. *Cleaner Engineering and Technology* 13, 100-620.

- MacDonald, C. (2012). Understanding participatory action research: A qualitative research methodology option. *Canadian Journal of Action Research*, 34-50.
- Mohaghegh, M., Blasi, S., & Größler, A. (2021). Dynamic capabilities linking lean practices and sustainable business performance. *Journal of Cleaner Production* 322, 16.
- Nair, A., Malhotra, M., & Ahire, S. (2011). Toward a Theory of Managing Context in Six Sigma Process-Improvement Projects: An Action Research Investigation. *Journal of Operations Management*, 529-548.
- Rathi, R., Singh, M., Verma, A., Singh Gurjar, R., Singh, A., & Samantha, B. (2022). Identification of Lean Six Sigma barriers in automobile part manufacturing industry. *Materials Today: Proceedings* 50, 728-735.
- Ronen, I. K. (2020). Action research as a methodology for professional development in leading an educational process. *Studies in Educational Evaluation* 64, 100826.
- Santos, C. (2018). *Manual de Auto-Aprendizagem Estatística Descritiva*. Lisboa: Edições Sílabo.
- Santos, J., Deon, M., Silveira da Silva, G., & Ruver Beck, R. C. (2021). Multiple variable effects in the customisation of fused deposition modelling 3D-printed medicines: A design of experiments (DoE) approach. *International Journal of Pharmaceutics*, 120-331.
- Sharma, A., Chouhan, A., Pavithran, L., Chadha, U., & Selvaraj, S. (2021). Implementation of LSS framework in automotive component manufacturing: A review, current scenario and future directions. *Materials Today: Proceedings* 46, 7815-7824.
- Singh Sodhi, H., Singh, D., & Jit Singh, B. (2022). Implementation of Lean Six Sigma model for scrap reduction in machining sector. *Int. J. Business Excellence Vol.27, No. 1*, 110–124.
- Sodhi, H. (2021). A review of scrap reduction techniques used in manufacturing organizations. *Materials Today: Proceedings* 37 , 3581-3584.

- Srinivasana, K., Muthu, S., Prasad, N., & Satheesh, G. (2014). Reduction of paint line defects in shock absorber through Six Sigma DMAIC phases. *Procedia Engineering* 97, 1755-1764.
- Swarnakar, V., Singh, A., & Tiwari, A. (2021). Effect of lean six sigma on firm performance: A case of Indian automotive component manufacturing organization. *Materials Today: Proceedings* 46, 9617-9622.
- Tanveer Ahmed, M. (2022). *Six Sigma & Lean Six Sigma - Handbook*. Leipzig: Faculty of Economics and Management Science.
- Utama, D., & Abirfatin, M. (2023). Sustainable Lean Six-sigma: A new framework for improve sustainable manufacturing performance. *Cleaner Engineering and Technology*, 100700.
- Vasconcellos, L., Sampaio, M., & Fonseca, H. (2021). Implementando a Lógica de Produção Puxada: Uma Pesquisa-Ação. *Revista de Administração Contemporânea*, 1982-7849.
- Weissman, S., & Anderson, N. (20 de Novembro de 2015). Design of Experiments (DoE) and Process Optimization. A Review of Recent Publications. *Organical Process Research & Development* , pp. 1435-1798.