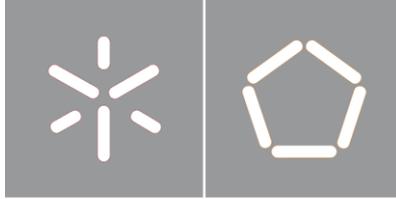




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Sandra Marlene Ribeiro da Silva

**Projeto Seis Sigma para a melhoria do consumo de
desmoldante numa indústria automóvel**



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Sandra Marlene Ribeiro da Silva

Projeto Seis Sigma para a melhoria do consumo de desmoldante numa indústria automóvel

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia e Gestão da Qualidade

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Paulo Alexandre da Costa Araújo Sampaio

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações

CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Começo por agradecer à empresa onde foi realizado a presente dissertação e a toda sua equipa, por me integrarem tão bem e me ensinarem bastante sobre o seu trabalho.

A realização desta dissertação deve-se muito ao meu orientador Professor Doutor Paulo Sampaio, pela sua disponibilidade, orientações e recomendações ao longo da dissertação. E por toda a sua força motivadora que foi essencial para realização deste projeto.

Agradeço ainda, a todos os meus amigos pela compreensão, conselhos e entre ajuda, que foram fundamentais para o fecho de mais um ciclo.

Por fim, agradeço aos mais importantes, à minha Família! Agradeço às minhas sobrinhas: Vânia, Mariana e Samanta por todos os momentos de carinho partilhados. Agradeço às minhas irmãs: Flora, Catarina e Cidália pela cumplicidade, confiança e paciência que tiveram e têm comigo. E, primordialmente, aos meus pais por todo o suporte, mimos e paciência que me vão dando, de forma incansável. Grata por acreditarem, mais uma vez, que era possível eu fazer isto!

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Projeto Seis Sigma para a melhoria do consumo de desmoldante numa indústria automóvel

RESUMO

A presente dissertação resulta de um projeto individual desenvolvido em contexto de indústria, no âmbito do 2.º ano do Mestrado em Engenharia e Gestão da Qualidade. O projeto foi realizado numa empresa, pertencente a uma unidade industrial do setor automóvel, cujo objetivo foi encontrar um intervalo real que otimizasse o consumo de desmoldante por produto. Para efeitos de confidencialidade, a denominação e todos os aspetos que possam caracterizar a empresa não são referidos nesta dissertação.

Numa primeira fase, realizou-se um estudo da arte com o propósito de compreender o funcionamento da metodologia Seis Sigma e o modo como esta é implementada atualmente, em particular na indústria automóvel em estudo.

No estudo de caso, foi aplicada a metodologia Seis Sigma com a implementação da metodologia Definir-Medir-Analisar-Implementar melhorias-Controlar (DMAIC), acompanhada com ferramentas da qualidade, como meio orientador para solucionar o problema do consumo dos bidões de desmoldante em armazém. No final do ano 2019 registou-se um desvio positivo em armazém de 97 bidões, quando existe apenas espaço para 4 bidões em armazém. Para a resolução deste problema foi necessário chegar-se ao consumo deste químico nos moldes de injeção, pelos modelos do produto produzido, do processo de Injeção, exclusivo desta etapa. Segundo dados recolhidos no mês de julho 2019 a incorreta aplicação de desmoldante representava 23,56% de defeitos e 3,93% de sucata dos produtos injetados.

Deste modo procedeu-se a um estudo de caso de forma a encontrar a quantidade adequada de desmoldante, por modelos do produto fabricado na indústria, através de testes aos vários parâmetros que envolvem a aplicação deste químico procurando assim otimização de recursos, bem como a redução de sucata dos produtos injetados para 1,5%. Nesta análise foram encontradas as principais variáveis que podem ser manipuladas, obtendo-se assim a quantidade do químico no momento real com vista estabilização deste produto no processo de Injeção.

PALAVRAS-CHAVE

Desmoldante, DMAIC, Indústria automóvel, Processo de melhoria, Seis Sigma

Six Sigma project to improve the release agent consumption in an automotive industry

ABSTRACT

This dissertation results from an individual project developed in a manufacturing context, within the 2nd year of the Master in Quality Engineering and Management. The project was carried out at the company belonging to the automotive industry, whose focus was on improving the consumption of release agent in the production process. For the purpose of confidentiality, the name and all aspects that may characterize the company are not mentioned in this dissertation.

Initially, it was made a literature review, in order to understand the functioning of the Six Sigma methodology and the way it is currently implemented. Particularly, in the automotive industry. In spite of the methodology is present in this company, there is record at all of its application in this kind of process.

In this work project, the Six Sigma methodology was applied with the implementation of DMAIC, accompanied by quality tools, as a guiding means to solve the problem of mold release agent jerry cans in the warehouse. At the end of the year 2019 there was a positive deviation in the warehouse of 97 jerry cans, when there is only space for 4 jerry cans in the warehouse. To solve this problem, it was necessary to get at the consumption of this chemical in the injection molds, by products models, of the Foaming process, exclusive to this stage. According to data collected in the month of July 2019, the incorrect application of release agent represented 23,56% of defects and 3,93% of scrap of injected product.

This way, a case study was carried out in order to find the appropriate amount of release agent, by products models, through tests on the various parameters that involve the application of this chemical, thus seeking optimization of resources, as well as the scrap reduction of injected products from 1,5%. In this analysis, the main variables that can be manipulated were found, thus obtaining the amount of the chemical in the real moment with a view to stabilizing this product in the Foaming process.

KEYWORDS

Automotive industry, DMAIC, Improve process, Release agent, Six Sigma

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas	xii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xiii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodologia	4
1.4 Estrutura.....	4
2. Estudo da Arte.....	6
2.1 Seis Sigma.....	6
2.1.1 Seis Sigma – Perspetiva estatística	8
2.2 Capacidade do Processo	11
2.3 Fatores críticos para o sucesso da implementação Seis Sigma.....	13
2.4 Equipa	14
2.5 Ciclo da metodologia DMAIC	15
3. Apresentação da empresa.....	22
3.1 A empresa	22
3.2 O Produto	23
4. Projeto de Melhoria.....	25
4.1 Definir.....	25
4.1.1 Descrição do problema	25
4.1.2 Composição desmoldante.....	26
4.1.3 O uso de desmoldante.....	27
4.1.4 Processo do desmoldante	27
4.1.5 Aplicação do desmoldante	28
4.1.6 <i>Project Charter</i>	29

4.1.7	Diagrama SIPOC.....	31
4.2	Medir.....	34
4.2.1	Troca do Bidão de desmoldante.....	34
4.2.2	Produtos injetados não conformes.....	34
4.3	Analisar.....	38
4.3.1	Troca de bidão de desmoldante.....	38
4.3.2	Aplicação de desmoldante.....	38
4.4	Implementar melhorias.....	64
4.4.1	Plano de Ações.....	65
4.5	Controlar.....	72
5.	Conclusão.....	74
5.1	Conclusões.....	74
5.2	Limitações do projeto.....	75
5.3	Trabalhos futuros.....	76
	Referências Bibliográficas.....	78
	Apêndice I – Seleção do desenho de experiências.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Comparação de um processo de 3 σ e 6 σ (Kumar et al., 2006).....	8
Figura 2: Nível sigma como percentagem de variação e defeitos por milhão (Koch et al., 2004).	9
Figura 3: Shift factor do Processo em 1.5 σ (Kumar et al., 2006).....	10
Figura 4: Histograma com Cp (Staudter et al., 2013).	11
Figura 5: Ciclo do DMAIC, (Pepper & Spedding, 2010)	16
Figura 6: Fluxograma dos processos de produção do produto na fábrica do estudo de caso. Adaptação própria.	24
Figura 7: Project Charter do projeto de melhoria do consumo de desmoldante. Adaptação própria. ...	30
Figura 8: Diagrama SIPOC do consumo de desmoldante na fábrica. Adaptação própria.	32
Figura 9: Exemplos tipos de produtos injetados com defeito de pegado e mancha de desmoldante. Adaptação própria.	33
Figura 10: Gráfico de Pareto da sucata com os defeitos por causas, no mês de julho de 2019. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	35
Figura 11: Gráfico de Pareto do restauro com defeitos por causas, no mês de julho de 2019. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	36
Figura 12: Troca do bidon de reposição.	38
Figura 13: Diagrama de causa e efeito para produtos injetados com pegados de desmoldante. Obtido em Visio 2013.....	40
Figura 14: Diagrama de causa e efeito para produtos injetados com manchas de desmoldante. Obtido em Visio 2013.....	41
Figura 15: Número de observações do teste. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	43
Figura 16: Nível de defeitos por Nível de formação – Crosstabulation. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	43
Figura 17: Gráfico circular dos níveis de defeitos pelos níveis de formação do operador. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	44
Figura 18: Zonas mais frequentes a defeitos de pegados e manchas de desmoldante, nos modelos Complexo. Adaptação própria.	45
Figura 19: Zonas mais frequentes a defeitos de pegados e manchas de desmoldante, nos modelos Base. Adaptação própria.	45

Figura 20: Zonas mais frequentes a defeitos de pegados e manchas de desmoldante, nos modelos Moderado. Adaptação própria.	46
Figura 21: Molde de injeção antes e após a limpeza. Adaptação própria.	47
Figura 22: Zona do molde com restos de espuma de Complexo. Adaptação própria.	48
Figura 23: Barómetro da pressão da pistola.	49
Figura 24: Etapas do processo de medição do caudal da pistola. Adaptação própria.	49
Figura 25: Tempo de aplicação de desmoldante pelos modelos de produtos. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	50
Figura 26: Divisão dos pesos de desmoldante em quatis. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	51
Figura 27: Grupo de modelos de produtos pelos quartis – Crosstabulation. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	51
Figura 28: Gráfico circular da proporção do peso de desmoldante, em quartis, pelos grupos de modelos. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	52
Figura 29: Teste da normalidade aos modelos de produto: Complexo.1 e Complexo.2. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	53
Figura 30: Teste da normalidade aos modelos de produto: Complexo.3, Complexo.4 e Complexo.5. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	54
Figura 31: Teste t independente para comparar a média do peso de desmoldante com uma pressão de pistola 5 e 4,5 kg/cm ² , em modelos Complexo. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	55
Figura 32: Resultados ao teste t independente na comparação a média do peso de desmoldante com uma pressão de pistola 5 e 4,5 kg/cm ² , em modelos Complexo. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	55
Figura 33: Teste da normalidade aos modelos de produto: Base.1 e Base.3. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	56
Figura 34: Teste da normalidade aos modelos de produto: Base.4, Base.5 e Base.2. Obtido do software IBM SPSS.	57
Figura 35: Teste t independente para comparar a média do peso de desmoldante com uma pressão de pistola 5; 4,5; 4 e 3,1 kg/cm ² , nos modelos Base. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	59
Figura 36: Resultados ao Teste t independente na comparação a média do peso de desmoldante com uma pressão de pistola 5; 4,5; 4 e 3,1 kg/cm ² , em modelos Base. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	61

Figura 37: Teste da normalidade aos modelos de produto: Moderado.1 e Moderado.2. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	62
Figura 38: Teste t independente para comparar a média do peso de desmoldante com uma pressão de pistola 4,5 e 3,1kg/cm ² , nos modelos Moderado. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	63
Figura 39: Resultados ao Teste t independente na comparação a média do peso de desmoldante com uma pressão de pistola 4,5 e 3,1kg/cm ² , em modelos Moderado. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.	63
Figura 40: Desenho de experiências para modelos Complexo. Adaptação própria.	82
Figura 41: Desenho de experiências para modelos Base. Adaptação própria.	83
Figura 42: Desenho de experiências para modelos Moderado. Adaptação própria.	83

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Cálculo do nível sigma. Adaptação própria.	37
Tabela 2: Plano de Ações. Adaptação própria.....	66
Tabela 3: Apresentação dos fatores- ruído para a DOE. Adaptação própria	69
Tabela 4: Níveis para cada fator-ruído, nos modelos Complexo para DOE. Adaptação própria.	70
Tabela 5: Níveis para cada fator-ruído, nos modelos Base para DOE. Adaptação própria.	71
Tabela 6: Níveis para cada fator-ruído, nos modelos Moderado para DOE. Adaptação própria.	72

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

ANOVA – Análise da variância bidirecional

C – Celsius

C_p – Índice de Capacidade do processo

C_{pk} – Índice de Capacidade

CSF – Fatores Críticos de Sucesso

EPI – Equipamento de Proteção Individual

DFSS – *Design For Six Sigma*

DMAIC – Definir -Medir-Analisar-Implementar melhorias-Controlar

DOE – Desenho de Experiências

DPMO – Defeitos Por Milhão de Oportunidades

FMEA – Análise de modo e efeito de falha

KPI – Indicador de desempenho

KPI's – Indicadores de desempenho

LCL – Limite inferior de controlo

LSL – Limite inferior de especificação

PPM – Partes Por Milhão

PU – Poliuretano

SIPOC – *Supplier-Input-Process-Output-Customer*

UCL – Limite superior de controlo

USL – Limite superior de especificação

1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação enquadra-se no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão da Qualidade da Universidade do Minho e foi desenvolvida na empresa do setor automóvel.

De modo a orientar o leitor, neste capítulo é apresentado o enquadramento geral, seguido dos objetivos a serem alcançados neste projeto. Posteriormente, segue-se a metodologia de investigação e a estrutura do documento.

1.1 Enquadramento

A indústria automóvel é um setor de atividade que enfrenta mudanças constantes vindas do ambiente externo, impulsionadas pela concorrência cada vez mais intensa, consumidores mais exigentes e um clima económico instável nos diferentes países. Executar operações com menor custo, maior fiabilidade e velocidade, e uma capacidade superior de mudar e melhorar continuamente são alguns dos pilares no desenvolvimento da estratégia de operações neste setor que busca sobreviver neste ambiente competitivo (Badri *et al.*, 2000).

Perante esta situação, a indústria automóvel tem adotado estratégias para melhorar a organização e para o fornecimento de produtos de boa qualidade dentro de um intervalo de tempo específico, de modo a satisfazer a procura do cliente. Sendo assim, a última evolução na indústria passa pela implementação das metodologias *Lean* e Seis Sigma de forma a alcançar a melhor qualidade e reduzir as variabilidades (Swarnakar & Vinodh, 2016).

A metodologia Seis Sigma foi originalmente desenvolvida pela Motorola na década de 80 no século XX e visava uma meta agressiva de 3,4 partes por milhão de defeitos (Barney, 2002). Posteriormente, em 1995 a General Electric introduziu o Seis Sigma com os objetivos de produzir resultados de elevado nível, melhorar os seus processos de trabalho, expandir as capacidades de todos os seus funcionários e mudar a sua cultura de trabalho (Pepper & Spedding, 2010).

O sucesso da implementação desta metodologia impulsionou a que muitas empresas dos diversos ramos de atuação a adotassem nos seus processos de fabricação e a usassem nos sistemas de qualidade das suas empresas (Kumar *et al.*, 2007).

O Seis Sigma define-se como uma metodologia que se concentra na redução da variabilidade dos processos, produtos e serviços e, conseqüentemente, menor número de defeitos produzidos, sendo que por defeito entende-se a não correspondência com as especificações. Por sua vez, num ponto de vista da gestão, Seis Sigma é um processo de negócio que permite às empresas melhorar drasticamente os seus resultados financeiros, projetando e monitorizando as atividades comerciais diárias de maneira a minimizar os desperdícios e aumentar a satisfação do cliente (Alexander, 2001).

Uma das abordagens distintas e essenciais do Seis Sigma para a melhoria dos processos de qualidade é o uso da metodologia: Definir – Medir – Analisar – Implementar melhorias – Controla (DMAIC). Ao definir, medir, analisar, implementar melhorias e controlar cada processo as organizações poderão avaliar a causa raiz do problema, ou seja, definir e medir o problema e com isso encontrar uma oportunidade de melhoria do negócio através da análise do problema. Isto permitirá que a organização mapeie o processo e especifique os requisitos do cliente. Esta abordagem requer uma sistematização e disciplina de algumas ferramentas específicas bem como de técnicas estatísticas de apoio ao longo dos diferentes passos, como é o caso do diagrama de *Supplier-Input-Process-Output-Customer* (SIPOC), do diagrama de causa e efeito, diagrama de Pareto e análise de variância bidirecional (ANOVA) (Jirasukprasert *et al.*, 2015).

A indústria onde se realizará a presente dissertação já implementa conceitos e ferramentas desta metodologia *Seis Sigma*. Sendo esta uma indústria que está continuamente exposta a mudanças, a melhoria contínua torna-se essencial enquanto cultura da empresa. “Pois só avançam aqueles que melhor entendem e se adaptam às condições novas com o objetivo de continuar a crescer e gerar benefícios” (Merchán, 2019, p.12). Neste contexto foi proposto à autora da dissertação colaborar nos esforços de melhoria contínua vindo a ser feitos pela indústria.

O projeto será desenvolvido no âmbito do consumo de desmoldante aplicado nos moldes de injeção. Apesar de existir informação um *standard* na quantidade de desmoldante para cada produto esta não está de acordo com o consumo real do mesmo, como prova disso é o elevado *stock* de bidões em armazém por consumir. Por outro lado, a sucata de produtos injetados é na sua maioria o reflexo da incorreta aplicação da quantidade deste químico, reforçando assim a necessidade de revisão de uma informação *standard* atualizada.

1.2 Objetivos

A não atualização de uma informação real sobre o consumo de desmoldante na produção do produto em questão provoca um elevado *stock* de desmoldante em armazém. Sendo assim, neste projeto torna-se essencial:

- Definir as etapas com vista à definição do problema, em colaboração com uma equipa multidisciplinar;
- Medir com exatidão a quantidade de químico usada na produção atual;
- Analisar os valores obtidos em testes e os parâmetros que influenciam essas quantidades medidas, por forma a identificar as causas do problema;
- Implementar melhorias para melhorar a eficiência do consumo do químico em análise, através do desenvolvimento de possíveis ideias e soluções factíveis, que serão debatidas em equipa e posteriormente implementadas;
- Controlar a eficiência e os efeitos da melhoria, a longo prazo.

Posto isto, o principal objetivo deste projeto é encontrar um intervalo real que optimize o consumo de desmoldante por produto, através do método DMAIC.

Para este projeto existem ainda outros objetivos, classificados como secundários, sendo eles:

- Reduzir o nível de *stock* de bidões de desmoldante em armazém;
- Reduzir o valor financeiro de *stock* do produto em estudo;
- Aumentar o nível de qualidade sigma no processo de Injeção.

A implementação da metodologia DMAIC neste projeto não ajudará apenas na melhoria do consumo de desmoldante, mas também na conformidade de produtos, na consciencialização para o consumo de químicos, na redução do desperdício e na satisfação do cliente interno.

1.3 Metodologia

Para a realização do projeto e a concretização dos objetivos acima enunciados será feita uma investigação ativa de natureza exploratória e descritiva, onde será contemplado no *design* de investigação uma estratégia de investigação-ação.

Numa primeira fase será efetuada uma pesquisa literária, com recurso a diferentes bases de dados, e consequentemente revisão teórica da mesma, em fontes secundárias, como artigos de revistas científicas ou livros, contemplada por pesquisas em fontes primárias, essencialmente dados retirados na empresa. Em paralelo, será necessário realizar uma formação detalhada sobre os módulos e funcionalidades do sistema em estudo, para melhor compreensão do processo de planeamento e controlo da produção e do impacto da referenciação genérica neste.

Numa segunda instância serão recolhidos os dados e analisados de acordo com os conhecimentos adquiridos na fase anterior, com o intuito implementar ações que vão de encontro aos objetivos definidos.

À medida que as fases anteriores sejam concluídas, serão documentados os passos seguidos em jeito de dissertação, de acordo com a pesquisa literária e a metodologia e ferramentas utilizadas.

1.4 Estrutura

A presente dissertação encontrar-se-á dividida em cinco capítulos:

O presente capítulo refere-se à introdução, onde está descrito de forma resumida o enquadramento da dissertação, os objetivos a serem cumpridos ao longo do projeto, a metodologia de investigação a seguir e, por fim, a estrutura do projeto.

No capítulo 2 realizar-se-á uma revisão crítica da literatura, onde serão abordados a metodologia Seis Sigma e as principais fontes de suporte ao método DMAIC, posteriormente desenvolvidas de forma prática no capítulo 4.

De forma a conhecer o âmbito do projeto, o capítulo 3 caracterizar-se-á pela apresentação da empresa onde ocorrerá a dissertação. Começando por uma breve apresentação da indústria em estudo enquanto grupo e enquanto setor de atividade. Posteriormente será abordada a unidade industrial no estudo de caso com o intuito de apresentar ao leitor o produto e o processo de concretização do mesmo.

O capítulo 4 será dedicado ao desenvolvimento do estudo de caso, implementando a abordagem Seis Sigma através da metodologia DMAIC. O capítulo estará dividido pelas cinco fases que compõem a metodologia e serão apoiadas em cada fase, por ferramentas de qualidade de forma a encontrar-se possíveis soluções para os problemas identificados ao longo do projeto. Por razões descritas na secção 5.2 “Limitações do projeto”, o estudo de caso ficará interrompido na fase Implementar melhorias.

Por fim, no capítulo 5 apresentar-se-ão as conclusões obtidas pela autora no desenvolvimento deste projeto. Neste tópico poder-se-á ainda encontrar sugestões para futuros projetos baseados nesta dissertação, consideradas relevantes para a autora.

2. ESTUDO DA ARTE

O presente capítulo tem o propósito de apresentar um estudo da arte sobre a filosofia Seis Sigma como base de apoio no âmbito do projeto de dissertação.

O capítulo começa por uma descrição da definição e enquadramento histórico da filosofia Seis Sigma e, posteriormente, ao seu processo de evolução nos vários ramos de atividade. Seguidamente é feita uma análise do Seis Sigma enquanto suporte estatístico e qual a sua utilidade na capacidade do processo, passando ainda por definir os fatores e o suporte para a implementação da filosofia em estudo. O capítulo termina com a apresentação do conceito da metodologia DMAIC nas suas cinco fases, acompanhada de exemplos de ferramentas de qualidade de apoio em cada fase da metodologia.

2.1 Seis Sigma

Na década de 80, a Motorola Inc. deparava-se com um elevado número de produtos defeituosos e à medida que tornava os seus produtos mais complexos, maior era a escala de defeito. Em contrapartida os clientes exigiam maior qualidade nos artigos (Arnheiter & Maleyeff, 2005) e ainda a empresa enfrentava uma forte concorrência das empresas japonesas (Antony, 2004).

Para combater as elevadas taxas de defeito dos sistemas desenvolvidos pela empresa era necessário introduzir uma metodologia com grande poder estratégico para melhorar a qualidade dos produtos (Antony *et al.*, 2012), foi então que Bill Smith criou o conceito Seis Sigma, que mais tarde foi cunhado pelo William Smtih dentro da Motorola Inc. (Kumar *et al.*, 2006). Deu-se então assim início ao primeiro método de padronização de como os defeitos eram contados (Barney, 2002).

Para Kwak e Anbari (2006) a metodologia de Six Sigma conjuga duas perspetivas essenciais, são elas a de negócio e a de estatística.

Do ponto de vista de negócio, Linderman *et al.* (2003) definem o Seis Sigma como uma metodologia de melhoria de processo altamente estruturada que utiliza ferramentas e técnicas estatísticas e científicas para eliminar a variação do processo, bem ou serviço, de melhor resposta para os requisitos do cliente.

Na perspetiva estatística, Wiklund e Wiklund (2002) descrevem como objetivo do Seis Sigma a redução da variabilidade dos processos, bens ou serviços a fim de evitar os defeitos. O sigma é representado por uma letra grega “ σ ”, usada na estatística para descrever a variabilidade (McAdam & Lafferty, 2004).

Como o nome indica, o propósito da metodologia é manter a distância entre a média do processo sobre a tolerância limitada de pelo menos seis desvios padrões. Assim, o nível de qualidade Seis Sigma que

visa atingir 3.4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) já pressupõe que o processo oscile 1.5 desvio padrão do objetivo (Kuei, 2004).

O impacto positivo da implementação do Seis Sigma levou a que outras empresas o tomassem como referência. Mas, foi na General Electric, sob a liderança de Jack Welch, que a metodologia estudada ganhou popularidade ao defini-la como um sistema geral de alto desempenho que executa estratégias de negócios (Pepper & Spedding, 2010), que rapidamente esta metodologia ganhou espaço e difundiu-se por outros setores de atividade, como a banca, a saúde e o marketing (Kumar *et al.*, 2007).

Em termos práticos, para os autores Abdolshah e Yusuff (2008) a implementação de um projeto Seis Sigma implica um conjunto de pequenos projetos consecutivos e bem-sucedidos, sendo que variantes com a dimensão e a duração diferem entres os mesmos. Nos projetos Seis Sigma pode-se encontrar três tipologias, sendo elas:

- **Projetos de processo de negócio transacional:** melhoria do processo de transação de determinado negócio (por exemplo: processamento de pedidos, controlo do *stock* e serviço ao cliente);
- **Projetos tradicionais de melhoria da qualidade:** melhoria de problemas de diversas áreas de uma organização;
- **Projetos de desenvolvimento de produto:** projetos que têm como base a voz do cliente (VOC) (necessidades e exigências do cliente), integrando os objetivos do Seis Sigma, permitindo desenvolver e conceber novos produtos e serviços. Para esta tipologia é usado a metodologia *Design for Six Sigma* (DFSS).

Os projetos de processo de negócio transacional e projetos tradicionais de melhoria da qualidade são constituídos por uma abordagem de estratégia de melhoria, ou seja, aperfeiçoamento dos processos já existentes onde frequentemente é utilizado o método DMAIC para o seu desenvolvimento. Por outro lado, os (DFSS), onde a metodologia é sistemática, permite à organização a capacidade de desenvolver um produto ou processo correspondendo às necessidades e expectativas do cliente (Kwak & Anbari, 2006).

Conforme os autores Alsmadi *et al.* (2012) e Aboelmaged (2011), a evolução do Seis Sigma trouxe uma melhoria sustentável para as estratégias de negócio, oferecendo benefícios através da redução de custos operacionais, da variabilidade de processos, do tempo de ciclo e do número de reclamações de clientes, proporcionando uma vantagem competitiva e lucros para as empresas.

2.1.1 Seis Sigma – Perspetiva estatística

O sigma (σ) representa o desvio padrão nas estatísticas e mede a propagação dos dados a partir do seu valor médio (μ). Koch *et al.* (2004) resumem como uma propriedade que pode ser usada para quantificar a variabilidade dos fatores que influenciam um sistema (bem, serviço ou processo) e como uma medida de avaliação do desempenho proporcional à qualidade. Quanto menor o desvio padrão, menor será a variabilidade, traduzindo-se assim numa menor quantidade de defeitos produzidos.

Conforme os autores Zheng *et al.* (2012), a partir da tradução dos requisitos do cliente é possível saber quais as especificações do processo, definidas como um valor nominal ou valor alvo, e respetivos limites: limite inferior de controlo (LCL) e limite superior de controlo (UCL).

Antes da existência da metodologia Seis Sigma, a Motorola Inc., fixava os seus limites de controlo inferiores e superiores em 3σ , para processos fixos. Com a criação da metodologia, Bill Smith atualizou esses limites (LCL e UCL) foram empurrados para o nível 6σ da média (Kumar *et al.*, 2006). A Figura 1 mostra a comparação de um processo de 3σ e 6σ .

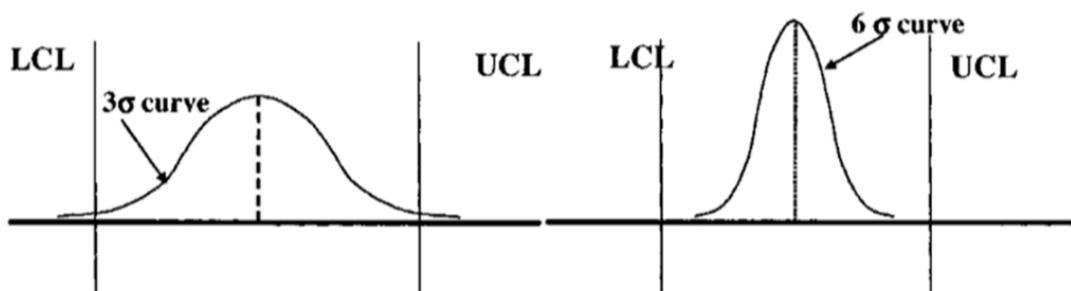


Figura 1: Comparação de um processo de 3σ e 6σ (Kumar *et al.*, 2006).

A Figura 1 acima mostra a variação de desempenho por 3σ (gráfico do lado esquerdo) e 6σ (gráfico lado direito) a partir da média. Em cada área de distribuição normal estão estabelecidos os mesmos limites, mas com diferentes valores de sigma. O seu desempenho corresponde a este intervalo.

Conforme os gráficos da figura, quanto mais estreita for a curva da distribuição normal menor é a variação do processo, já uma curva mais larga representa uma maior variação dos dados (Besunder & Super, 2012).

Em termos matemáticos e de acordo com os autores Koch *et al.* (2004), uma variação de desempenho $\pm 3 \sigma$, a probabilidade de desempenho estará entre os limites de especificação $[\mu - 3 \sigma; \mu + 3 \sigma]$ que corresponderá a 0.9973 (=99.73%), enquanto que uma variação de desempenho $\pm 6 \sigma$, a probabilidade de desempenho estará entre os limites de especificação $[\mu - 6 \sigma; \mu + 6 \sigma]$ correspondente a 0.999999998 (=99.9999998%). Estas probabilidades são exibidas na Figura 2 como variação percentual e o número de partes por milhão (PPM).

Sigma level	Percent variation	Defects per million (short term)	Defects per million (long term – 1.5 sigma shift)
$\pm 1\sigma$	68.26	317 400	697 700
$\pm 2\sigma$	95.46	45 400	308 733
$\pm 3\sigma$	99.73	2700	66 803
$\pm 4\sigma$	99.9937	63	6200
$\pm 5\sigma$	99.999943	0.57	233
$\pm 6\sigma$	99.9999998	0.002	3.4

Figura 2: Nível sigma como percentagem de variação e defeitos por milhão (Koch *et al.*, 2004).

Contudo, é difícil obter os dados completos dos PPM para a maioria dos processos, bens ou serviços (Kumar *et al.*, 2006). Sendo assim, utiliza-se a fórmula de DPMO a partir da estimativa de defeitos por unidades (DPU), recorrendo às seguintes equações – equação 1 e equação 2:

$$DPMO = DPU * 10^6 \quad \text{(Equação 1)}$$

$$DPMO = \frac{\text{Número de defeitos}}{\text{Número de oportunidades}} * 10^6 \quad \text{(Equação 2)}$$

Ao alterar um processo de três sigma (3σ) para seis sigma (6σ) há um impacto significativo no número de peças defeituosas por milhão (PPM) (Koch *et al.*, 2004).

A tabela da Figura 2 apresenta o número de DPMO para os níveis de sigma. Num processo de 3σ saem 2700 peças defeituosas por milhão de oportunidades, enquanto que num processo de 6σ saem 0.002 peças defeituosas por milhão de oportunidades.

Como referido anteriormente, a metodologia Seis Sigma direciona os processos de negócio para atingir uma taxa de defeitos em 3.4 DPMO (Kumar *et al.*, 2006). Contudo, numa distribuição normal e com limites de especificação de seis desvios padrão da média não se observa este valor. A metodologia assume que este processo pode variar a longo prazo em 1.5 desvios padrão em cada direção, designada por *shift factor* do processo (Montgomery & Woodall, 2008), ilustrado na Figura 3.

Segundo os autores Koch *et al.* (2004) a diferença entre “qualidade sigma de longo prazo” e “qualidade sigma de curto prazo” define-se no *shift factor* do processo. Ou seja, a longo prazo, o valor de 6σ é igual a 4.5σ ($= 6\sigma - 1.5\sigma$) do valor de curto prazo, o que corresponde a aproximadamente 3.4 DPMO.

Para determinar o nível sigma a longo prazo é necessário subtrair ao nível sigma de curto prazo o desvio máximo de 1.5σ (Gardner & III, 2000) como apresenta a equação 3:

$$\text{Nível } \sigma \text{ de longo prazo} = \text{Nível } \sigma \text{ de curto prazo} - 1.5\sigma \quad (\text{Equação 3})$$

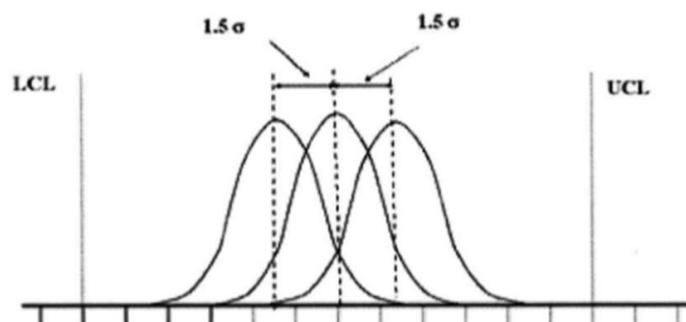


Figura 3: *Shift factor* do Processo em 1.5σ (Kumar *et al.*, 2006).

2.2 Capacidade do Processo

Vijaya Sunder e Kunnath (2020) referem que a metodologia Seis Sigma é um indicador de desempenho (KPI) para avaliar o nível de qualidade. Este indicador determina o número de vezes possíveis que os defeitos possam ocorrer num dado processo, onde os níveis sigma correspondem aos níveis de defeito que são derivados da curva de probabilidade-padrão para um processo organizacional.

De acordo com Kiran (2016) o bom desempenho do processo é proporcional ao nível de sigma, ou seja, quando existe uma boa capacidade do processo, bem ou serviço mais se aproxima dos requisitos do cliente. Com a capacidade do processo consegue-se medir a variabilidade do *output* do bem ou serviço e compará-la com a especificação proposta pelo cliente ou a tolerância do bem.

O *output* dessa medida é representado por um histograma - Figura 4 – onde se encontra a quantidade de peças que serão produzidas dentro e fora da especificação. Ou seja, os *outputs* que estão fora da curva de distribuição normal estão também fora da especificação e os que se encontram dentro da mesma curva estão dentro dos requisitos. Tudo isto é expresso por um índice de capacidade do processo (C_p).

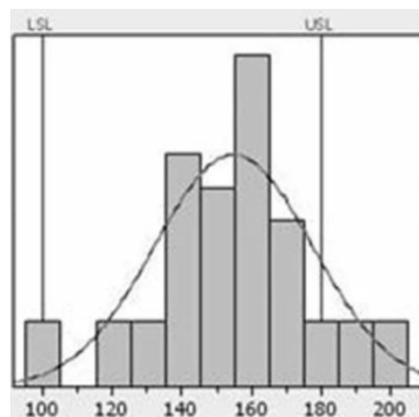


Figura 4: Histograma com C_p (Staudter *et al.*, 2013).

Assumindo que o processo segue uma distribuição normal, o C_p demonstra a dispersão real do processo e expressa de uma maneira simples e quantitativa se este é capaz de produzir dentro dos limites das especificações (McAdam & Lafferty, 2004).

Segundo os autores Staudter *et al.*(2013) para o cálculo de Cp é necessário determinar o limite de especificação superior (USL) e o limite de especificação inferior (LSL) e dividir a distância entre os limites de especificação superior e inferior (tolerância) pelo desvio padrão de 6. Este índice é dado pela equação 4:

$$C_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma} \quad \text{(Equação 4)}$$

De acordo com a visão tradicional, um processo será potencialmente capaz sempre que o $C_p \geq 1.33$, contudo este pode estar a produzir peças defeituosas se a média não estiver centrada com o valor nominal.

Para avaliar mais eficientemente a capacidade do processo foi introduzido o índice de capacidade (Cpk), que para além de contabilizar a variabilidade do processo, também determina a sua centralização (McAdam & Lafferty, 2004).

Staudter *et al.*, (2013) definem o cálculo do valor do Cpk como uma divisão da distância entre o limite de especificação mais próximo e a média pelo desvio padrão de 3. Tradicionalmente, um processo é considerado capaz quando $C_{pk} \geq 1.33$. Este índice é dado pela equação 5:

$$C_{pk} = \text{Min} \left[\left(\frac{USL-\mu}{3\sigma} \right), \left(\frac{\mu-LSL}{3\sigma} \right) \right] \quad \text{(Equação 5)}$$

Se os índices Cpk e Cp forem iguais significa que o processo está centrado com a especificação. Um alto valor de sigma do processo só pode ser alcançado primeiro quando a centralização do processo é levada em consideração, ou seja, um bom valor Cpk.

Na metodologia Seis Sigma, para atingir um valor de 6σ , Cp e Cpk devem assumir um valor de 2, tal facto deve-se à possibilidade da média do processo se deslocar até 1.5σ . As empresas que

implementam Seis Sigma estabelecem valores de Cp de 2 e valores de Cpk de 1,5 por forma a atingir os seus objetivos.

2.3 Fatores críticos para o sucesso da implementação Seis Sigma

Os Fatores Críticos de Sucesso (CSF) representam ações ou processos que devem ser realizados na organização ou por uma área específica, de forma a alcançar o sucesso da implementação dos projetos e conseqüentemente, os objetivos definidos (Fryer *et al.*, 2007). Desta forma e tendo em conta a complexidade na implementação de projetos Seis Sigma diversos autores, entre os quais, Laureani e Antony (2012); Tjahjono *et al.* (2010); Goh (2002); Hensley e Dobie (2005); Kwak e Anbari (2006); Johnson e Swisher (2003) e Coronado e Antony (2002) identificaram os CSF mais frequentes:

Foco no cliente: Um dos principais requisitos da metodologia é a satisfação do cliente. Deste modo, o início do projeto começa por dar a VOC como forma de interpretar o problema e encontrar a causa raiz do mesmo.

Comprometimento com a gestão de topo: O envolvimento da gestão é necessário para aprovar os projetos, motivar a equipa, promover a mudança cultural e disponibilizar os recursos necessários para a concretização dos mesmos. A implementação do projeto é feita “de cima para baixo”.

Formação e aprendizagem: Os trabalhos Seis Sigma reúnem um conjunto de fundamentos, ferramentas e técnicas ao longo da sua implementação. Deste modo, torna-se importante a formação e certificação da equipa, contribuindo para uma boa implementação e uma comunicação mais eficaz no seio desta.

Objetivos: Os objetivos do projeto devem ser claros, sucintos, específicos, realizáveis, realistas e mensuráveis. Devem estar alinhados com os requisitos do cliente e com resultados financeiros.

Indicadores de desempenho (KPI's) claros: Os projetos devem ser selecionados com base em indicadores realistas e específicos, de forma a facilitar a medição do seu desempenho. Por exemplo: DPMO, nível de qualidade sigma e cp.

Métodos estatísticos e não estatísticos: A utilização de métodos testados e comprovados, afastando-se das “decisões baseadas na intuição” e nas “decisões baseadas em factos”.

Mudança cultural na empresa: O Seis Sigma é considerado uma estratégia de gestão inovadora e envolve o ajuste dos valores e da cultura da empresa. É fundamental que toda a organização esteja preparada para se adaptar a estas mudanças.

Benefícios financeiros: O resultado financeiro é um outro foco do projeto Seis Sigma, visando a sua conquista por parte de todos os funcionários que rapidamente se sentirão envolvidos e motivados para a realização do projeto.

Compreensão organizacional do processo: A compreensão do processo é vital para a equipa envolvida no projeto. Algumas organizações desperdiçam variados recursos, desde humanos a materiais, revelando-se desnecessários para o processo, causado assim uma deficiência na organização do projeto. A informação deve ser clara no ambiente da equipa de modo a ser compreendida por todos os intervenientes.

2.4 Equipa

Segundo os autores Kumar *et al.* (2006), a implementação do Seis Sigma requer uma força de trabalho dedicada e qualificada. Sem o conhecimento necessário sobre as várias ferramentas e técnicas a utilizar, surgem incertezas por parte da equipa envolvida. Neste âmbito Linderman *et al.*, 2003 apelam à formação das pessoas, como fator fundamental.

Em 1990 a Motorola, em conjunto com as empresas IBM, Texas Instruments e Xerox, criaram o conceito de *Black Belts*, que seriam os especialistas na aplicação de métodos estatísticos (Barney, 2002). Devido à necessidade de aplicações estatísticas e ao gasto de tempo e formações necessárias para preparação de indivíduos capacitados destas ferramentas, a General Electric estabeleceu uma estrutura organizacional única que se caracterizava por diferentes estatutos no suporte à implementação do Seis Sigma (Voehl *et al.*, 2013).

Conforme os autores Gutiérrez *et al.* (2012), Zu *et al.* (2008) e Arumugam *et al.* (2013) o Seis Sigma criou uma hierarquia de especialistas em melhoria de processo, conhecida como os "*Belt Hierarchy*". Esta hierarquia consiste em cinco níveis principais: *Yellow Belt*, *Green Belt*, *Black Belt*, *Master Black Belt* e *Six Sigma Champions*. Os profissionais são alocados a cada nível de acordo com a sua experiência e formação. Voehl *et al.* (2013) definem os papéis dos principais membros de um projeto Seis Sigma:

Yellow Belt: Indivíduos que são formados para atuar como membros das equipas Seis Sigma. A sua participação passa pela recolha de dados, solucionar problemas e auxiliar na implementação das atividades individuais de melhoria.

Green Belt: Indivíduos com formação em Seis Sigma. Apesar de não se envolverem a tempo inteiro no projeto. São capazes de gerir trabalhos simples.

Black Belt: Indivíduos que recebem uma formação avançada, especificamente em aplicações estatísticas e abordagens de solução de problemas. Este nível de hierarquia dá-lhes a responsabilidade de liderar qualquer projeto Seis Sigma, ocupando-se a tempo inteiro no projeto e são altamente entendidos para atuar como consultores e formadores no local, aplicando as metodologias Seis Sigma. São também os *Black Belts* que desempenham o papel de comunicação entre os *Green Belt* e o *Master Black Belt*.

Master Black Belt: Indivíduos com vasta experiência na aplicação do Seis Sigma e que dominam a metodologia. Além disso, esses indivíduos devem ser capazes de ensinar a metodologia Seis Sigma a todos os níveis da hierarquia. Compete-lhes ainda o dever de informar e atualizar a alta gestão sobre os projetos a decorrer e consciencializar toda a organização sobre a mudança de cultura dentro da mesma.

Six Sigma Champion: Membros da direção que desempenham o papel de fornecer uma visão holística da organização. Ajudam a estabelecer a adesão ao projeto, garantem que as equipas estão a fazer um bom progresso e asseguram a disponibilidade dos recursos necessários para a conclusão do mesmo.

2.5 Ciclo da metodologia DMAIC

Por DMAIC entende-se como um conjunto de cinco elementos que o compõe: Definir, Medir, Analisar, Implementar melhorias, Controlar, elementos esses que correspondem às etapas para a execução de um trabalho Seis Sigma (Kumar *et al.*, 2006).

Barbosa *et al.* (2014) definem o DMAIC como um processo de orientação para encontrar a causa raiz de um problema específico, através do uso de uma série de ferramentas matemáticas, estatísticas, de engenharia e de gestão, como forma de melhorar os processos de maneira sequencial.

Pyzdek (2003) adiciona que para concluir uma fase específica são definidos critérios e os projetos são revistos de forma a garantir que todos esses foram atendidos, antes de passar à da etapa seguinte,

Figura 5, quando isto acontece, fecha-se uma fase. Se os cinco elementos que compõem o DMAIC são implementados corretamente no projeto, ele garante o sucesso na empresa (Palkhe, 2020).

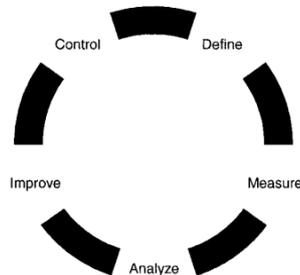


Figura 5: Ciclo do DMAIC, (Pepper & Spedding, 2010)

Segue-se a descrição do ciclo DMAIC, composto pelas suas etapas e tarefas, juntamente com exemplos de ferramentas de qualidade a serem aplicadas em cada uma destas etapas:

D – Definir: Nesta fase Chen e Lyu (2009) descrevem que é essencial a definição do âmbito, da equipa, dos objetivos e das metas financeiras e KPI's que se pretendem alcançar com o projeto.

Os objetivos e metas do projeto são delineadas para atingir um nível sigma e deverão ser acordados com base no seu conhecimento das metas estratégicas da empresa, conforme os requisitos dos clientes, e no processo que precisa de ser cumprido.

Esta fase é formada por uma equipa multidisciplinar onde se inclui o *Champion*, o *Black Belt*, o *Green Belt* e o responsável do processo. Na discussão do projeto os intervenientes definem o problema e delegam responsabilidades entre si, tendo por base os recursos necessários para o sucesso do projeto (Smith & Phadke, 2005).

Os autores Kumar *et al.* (2006) e Chen e Lyu (2009) enumeram como principais atividades nesta fase:

- Identificar o que é importante para o cliente;
- Identificar os parâmetros críticos para cada atividade e converter as necessidades do cliente em requisitos internos;
- Descrever o problema;

- Identificar oportunidades de melhoria;
- Definir metas para o projeto, objetivos a estabelecer, desenvolver e interpretar o âmbito;
- Avaliar os benefícios e impactos financeiros do projeto.

Em baixo seguem-se dois exemplos de ferramentas de qualidade, para a concretização desta etapa:

Project charter

O *Project charter* é uma ferramenta usada na nesta fase do DMAIC. Esta ferramenta sumariza todas as informações importantes para o lançamento do projeto (Voehl *et al.*, 2013). É um documento que responde às perguntas “*porquê?*”, “*como?*”, “*o quê?*” e “*quando?*” do projeto. Inclui neste, os seguintes elementos: definição do problema, os objetivos do projeto, a necessidade do trabalho, âmbito, patrocinador, equipa, calendarização e outros recursos requeridos (Pyzdek, 2003).

Diagrama SIPOC

Para os autores Voehl *et al.* (2013), o diagrama SIPOC é uma ferramenta de identificação de todos os elementos relevantes para um projeto de melhoria de processos, e também deve ser usada antes do início do trabalho. Ou seja, é uma ferramenta de mapeamento de processo simples usada para mapear toda a cadeia de eventos desde o início até a entrega do processo de destino.

Basicamente, o diagrama SIPOC é uma matriz de combinação, é um fluxograma e é um resumo, que inclui:

- *Supplier*: Fornecedores internos / externos significativos ao processo.
- Input: entradas significativas para o processo, como material, formulários e informações.
- *Process*: Um bloco representando todo o processo.
- *Output*: saídas significativas para clientes internos / externos.
- *Customer*: Clientes internos / externos significativos ao processo.

Staudter *et al.* (2013) acrescentam, aos objetivos do SIPOC: garantir uma visão geral do processo a ser desenvolvido, determinar as principais entradas e seus fornecedores e determinar as principais saídas e os seus clientes (internos e externos) correspondentes.

M – Medir: Nesta fase são estabelecidas técnicas de recolha de dados válidos sobre a situação atual do problema identificado na fase anterior. Os dados recolhidos são usados para determinar fontes de variação e servir como referência para validar as melhorias (Smith & Phadke, 2005).

Os dados recolhidos e os indicadores devem estar alinhados com a meta e objetivos do projeto, por forma a focar apenas nas possíveis causas necessárias para investigar oportunidades para a próxima etapa (Pereira *et al.*, 2019).

Os autores Kumar *et al.* (2006) e Chen e Lyu (2009) selecionam como atividades principais nesta fase:

- Mapear os processos críticos que definem o problema;
- Analisar os dados e avaliar o desempenho dos processos e outros parâmetros críticos de qualidade de forma a reduzir as variáveis;
- Recolher os dados relevantes e necessários para quantificar as medidas do processo;
- Calcular a capacidade do processo;
- Obter a exatidão dos dados para medir os indicadores dos processos atuais.

Segue-se em baixo, um exemplo de uma ferramenta a ser utilizada nesta etapa, para a sua concretização:

Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto é um gráfico de barras ordenadas por ordem decrescente de frequência, com principal importância as barras que se encontram à esquerda. Os dados são apresentados de maneira a permitir-se a comparação entre vários problemas ou várias causas. O princípio de Pareto (regra 80/20) afirma-se como “universal”, significando que são os problemas com maior frequência, os possuidores de um maior impacto na questão (Voehl *et al.*, 2013).

A – Analisar: Pereira *et al.* (2019) caracterizam a fase atual pela fragmentação de cada nível de informação recolhida na fase anterior, com o objetivo de entender as possíveis causas que afetam variáveis de entrada e saída. As seguintes informações permitem à equipa detetar oportunidades de melhoria. Assim, os dados recolhidos anteriormente são usados para identificar os pontos fracos do processo levando a um estudo mais detalhado dos mesmos (Kumar *et al.*, 2006). Este resulta do desenvolvimento de hipóteses e da formulação de experimentos, visando à eficácia dos processos.

A fase de Analisar encerra quando a equipa do projeto consegue obter um conjunto de possíveis melhorias para passar à etapa seguinte (Smith & Phadke, 2005).

Para Kumar *et al.* (2006) e Chen e Lyu (2009) resumem as principais atividades em:

- Identificar os problemas à entrada do processo;
- Avaliar o impacto destes mesmos problemas e nos parâmetros críticos da qualidade;
- Hierarquizar os problemas;
- Identificar as causas principais dos problemas;
- Gerir soluções para as causas dos problemas relacionados à entrada do processo.

A exemplo de ferramentas de qualidade a serem usadas nesta etapa:

Brainstorming

Para os autores Staudter *et al.*, (2013) o *brainstorming* é uma técnica criativa para estruturar e avaliar um conjunto de ideias, em grupo. A coleção de ideias deve ser diversa e extensa o quanto possível. Neste processo, não existem ideias erradas e todos os participantes deverão estar envolvidos e informados sobre o tema ou objetivo da reunião. Posteriormente, à sua realização deve-se selecionar as “boas” ideias e prosseguir com elas.

O *Brainstorming* pode ser estruturado com a ajuda de um Diagrama de causa e efeito.

Diagrama de causa e efeito

O Diagrama de causa e efeito organiza as ideias retiradas das sessões de *brainstorming*, consideradas como causas para o resultado (efeito). As causas são enquadradas em sete categorias, designadas 6M's:

Método, Material, Máquina, Medição, Meio ambiente e Mão-de-obra. Esta organização permite identificar de forma mais rápida o foco onde se encontram as causas a serem estudadas (Pyzdek, 2003).

I – Implementar melhorias: Nesta fase a equipa do projeto desenvolve, implementa e valida alternativas de melhoria de forma a atingir os níveis de desempenho desejados (Smith & Phadke, 2005).

A fase Implementar melhorias desenvolve ações para remoção das causas-raiz que estavam a produzir defeitos no processo (Kumar *et al.*, 2006). A implementação destas ações começa com um plano de experiências e por conseguinte o estudo do risco envolvido, bem como na observação dos resultados (Gijo *et al.*, 2011). Quando estas experiências se revelam válidas passa-se à implementação em larga escala no processo (Barbosa *et al.*, 2014).

Novamente para os autores Kumar *et al.* (2006) e Chen e Lyu (2009) as principais atividades são:

- Gerir ideias para resolver o problema;
- Selecionar as ideias e o melhor plano de ação;
- Testar as soluções encontradas usando protótipo ou em um estudo piloto;
- Validar a solução e implementá-la.

A exemplo de ferramenta de qualidade a ser usada nesta etapa:

Método de Taguchi

Conforme os autores Yang e El-haik, (2003), o Método Taguchi é usado para projetos estatísticos, chamado desenho de experiências (DOE).

O objetivo do DOE é analisar os dados e encontrar uma relação de causa-efeito entre a entrada (x) e a saída (y) e os fatores ruídos (z) experimentais no processo. Neste processo DOE alteram-se deliberadamente os fatores-ruído e observa-se o seu efeito no produto.

Os dados obtidos nas experiências serão usados para ajustar os modelos empíricos relacionados à produção – y.

C - Controlar: Esta fase serve para validar as ações de melhoria implementadas anteriormente, dependendo do resultado poderá ser necessário revisar um ou mais critérios das fases anteriores (Dahlgaard & Dahlgaard-Park, 2006).

Para os autores Gijo *et al.* (2011), o verdadeiro desafio da implementação do Seis Sigma é a sustentabilidade dos resultados alcançados, de maneira a que o problema não volte a surgir. Por forma a manter os resultados é necessário padronizar os métodos aprimorados e a introdução de mecanismos de sinalização para o erro. Requer ainda a consciencialização de todos os intervenientes envolvidos nesta atividade de modo a que os ganhos sejam contínuos.

Tendo por base os autores Kumar *et al.* (2006) e Chen e Lyu (2009) as principais atividades são:

- Reajustar o modelo implementado;
- Revisar o controlo estatístico do processo;
- Realizar um plano de controlo onde são declarados os limites de controlo;
- Fazer uso da padronização e documentá-la;
- Implementar ações corretivas.

Como exemplo de ferramenta de qualidade nesta etapa:

Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA)

Para os autores Yang e El-haik (2003), o FMEA ajuda os membros do projeto a melhorar o processo ou no desenho de um novo produto, perguntando “*O que pode dar errado?*” e “*De onde pode vir a variação?*”. A implementação de um processo ou desenho de um novo produto deverá ser revisada para evitar a ocorrência de modos de falhas e reduzir a variação.

Caso se encontre alguma falha na melhoria do processo ou produto, a equipa deve modificar esses pontos através de metodologias à prova de erro.

3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Neste capítulo é feita uma apresentação à empresa onde é desenvolvido o estudo de caso. Na primeira parte é descrita a empresa como um todo, desde a sua estrutura organizacional, o seu sector atividade, aos seus produtos. A outra parte deste capítulo é focada no processo produtivo e nos produtos finais da unidade industrial, onde será concretizado o projeto.

Por motivos de manter a confidencialidade, quando existir essa necessidade, os nomes dos processos e os seus *outputs* e ainda, os grupos de modelos do produto estarão assinalados com a seguinte indicação (designação fictícia).

3.1 A empresa

A empresa é uma indústria do setor automóvel e foi fundada em 1915, na Alemanha. Está presente em aproximadamente 260 locais em 41 países do mundo, com 160.000 funcionários espalhados por todo o mundo, conforme os dados internos de 29 maio de 2020.

A organização opera com a visão da “Próxima geração de mobilidade” e a sua missão assenta numa mobilidade limpa e segura, automatizada e confortável, para todos e em todos os lugares, de forma acessível.

O seu segmento passa por carros de passageiros, veículos comerciais/transportes públicos e aplicação industrial. A empresa produz sistemas, unidades e componentes de transmissão e chassis, tecnologia de segurança, eletrônica e sensores. A sua tecnologia opera em quatro áreas: controlo de movimento do veículo, segurança integrada, mobilidade elétrica e direção automatizada. Para cada segmento de produção, a empresa estende-se em divisões de forma a facilitar a toda a sua organização.

A divisão que a unidade industrial do estudo de caso atua é na divisão de sistemas de segurança passiva. É responsável pelo desenvolvimento e produção de sistemas de segurança ocupante para indústria automóvel.

3.2 O Produto

A produção do produto inicia-se com o processo Passo 1 (designação fictícia), onde se produz o esqueleto (designação fictícia) do produto. Neste processo, as barras compostas por magnésio e outros metais fortes são fundidos a alta pressão em moldes de aço, formando o esqueleto.

No seguinte passo, os esqueletos são transportados do posto Passo 1, para darem entrada no processo de Injeção. Este é essencialmente manual, onde o operário é responsável pela colocação dos componentes no molde.

A partir deste processo é necessário definir que os modelos de injeção poderão dividir-se em três grupos:

- Complexo (designação fictícia): são produtos que levam apenas poliuretano (PU), não são forrados por um material específico, nem são lacados traseira do produto.
- Base (designação fictícia): são produtos que levam PU e posteriormente são forrados por um material específico em toda a sua forma. Neste grupo de produtos não levam laca por trás.
- Moderado (designação fictícia): são produtos que levam PU, são forrados por um material específico e lacados na sua traseira.

Ainda no que diz respeito à Injeção, o operário começa por aplicar desmoldante nas zonas do molde onde levará PU. Seguidamente nos modelos Complexo e Moderado é necessário a aplicação de laca na zona do molde que é correspondente à traseira do produto. Após isto o operador encaixa o esqueleto no molde e fechando-o. Com o cabeçal que transporta o PU o operário encaixa o cabeçal ao bebedouro do molde, e injeta o PU. Após alguns segundos (previamente programados para cada modelo de produto) o líquido de PU transforma-se em espuma e o porta molde é desbloqueado. Após o sinal, o operador retira os restos de espuma nas saídas do molde e abre o porta molde para recolher o produto. No final o operador faz uma inspeção visual ao produto:

- Se o produto estiver OK, ou seja, dentro das conformidades, passa à etapa seguinte.
- Se o produto estiver NOK, ou seja, não está dentro das conformidades, o produto pode seguir duas vias dependendo do seu grau de aceitação. Em situações não aceitáveis o produto é enviado diretamente para sucata. Em casos aceitáveis é enviado para restauro onde será retrabalhado e voltará ao processo produtivo.

Estes pontos de inspeção são sempre realizados antes do produto passar à etapa seguinte e a pessoa que inspeciona toma sempre em consideração os princípios enunciados acima, de forma a assegurar a qualidade do produto.

Ainda dentro do processo de Injeção, o produto passa pela zona de rebarbado onde são retirados os excessos de espuma, com o auxílio de uma ferramenta específica (designação fictícia) para o trabalho. Posteriormente é feita uma inspeção final ao produto.

Após este processo os produtos poderão ter dois destinos. Se o modelo de produto for necessário forrar – Base ou Moderado – este deverá passar inicialmente pelo processo Passo 3 (designação fictícia). Caso se trate de um modelo Complexo este deverá passar imediatamente para o processo de Passo 4 (designação fictícia).

No processo de Passo 3 é caracterizado pela colagem de um material específico (designação fictícia) em volta do produto injetado. O processo Passo 4 é composto pela montagem dos componentes elétricas (designação fictícia) no produto.

A unidade industrial possui outro processo, mas não será descrito pela autora da dissertação pela não necessidade para o estudo de caso e, assim contribuindo para a confidencialidade do processo da empresa. Na Figura 6 mostra o fluxograma dos processos da indústria.

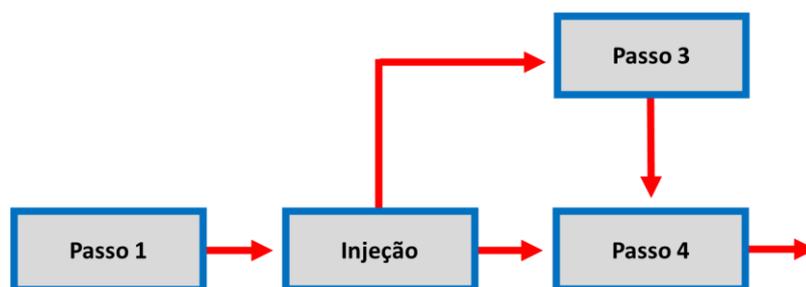


Figura 6: Fluxograma dos processos de produção do produto na fábrica do estudo de caso. Adaptação própria.

4. PROJETO DE MELHORIA

O seguinte capítulo representa a aplicação prática da metodologia Seis Sigma na melhoria do consumo de desmoldante. Na primeira fase é apresentado o desmoldante e a sua utilidade no processo de fabrico. Nas fases seguintes é descrito o desenvolvimento prático do projeto, que tem como base a utilização da metodologia DMAIC com o intuito de alcançar os objetivos definidos desde o início do projeto.

Por motivos de manter a confidencialidade, quando existir essa necessidade, o número de máquinas, cabines, estações de bombeio ou a frequência de manutenção de limpeza dos bidões e a frequência da formação dos operadores serão salvaguardadas, assim como alguns valores numéricos também serão protegidos e convertidos em percentagem. A divulgação dos nomes de alguns defeitos de injeção e todos os modelos de produtos estarão assinalados com a seguinte indicação (designação fictícia).

4.1 Definir

Nesta primeira etapa do DMAIC é definido o problema, o processo de desmoldante desde a entrada em fábrica até à sua saída e a sua utilização na indústria. No seguimento disto é definido o tema do projeto, os objetivos, a equipa e a agenda de trabalho.

4.1.1 Descrição do problema

No inventário realizado no final do ano de 2019 constatou-se que a quantidade de desmoldante em *stock* no armazém, cerca de 15.132 quilogramas (kg), estava acima do esperado.

O desmoldante é apenas usado no processo de Injeção, o envio da encomenda de desmoldante é processado no *software* SAP. Este sistema regista o número de produtos injetados, independentemente do modelo, e para cada um adiciona em média cerca de 16 gramas (gr) de acordo com o modelo desmoldante como descrito na ficha de materiais. Através deste cálculo, e sempre que necessário, a encomenda de um novo bidão é enviada ao fornecedor. O pedido de desmoldante é feito uma vez por semana com base no consumo médio.

Um bidão de desmoldante tem cerca de 156kg líquidos, o que significa que a cada 9.750 (156.000gr/16gr) produtos injetados é pedido um novo bidão de desmoldante.

Todavia, consultando a ficha de Controlos de Parâmetros de Processo, na rubrica de desmoldante, pode ler-se que para cada produto injetado é necessário um caudal de 20 ± 7 gramas por minuto (gr/min)

(entre 0,2166 a 0,45 gramas por segundo (gr/s)), independentemente do modelo. A isto adiciona-se ainda uma pressão aplicada na bomba entre $2,5\pm 1$ quilogramas por centímetros quadrado (kg/cm^2).

Em linha, foi estipulado que o operador tem 20 segundos (s) para aplicar o desmoldante no molde, independentemente do modelo de produto. Contudo, o operador – consoante a sua experiência na tarefa – adapta a pressão e o caudal da pistola para aplicar o desmoldante. Caso o operador não consiga aplicar desmoldante em todas as zonas do molde, ele poderá pressionar o botão junto à máquina para adicionar mais 20 s, o número de vezes que achar necessário.

Perante estas três observações tentou-se relacioná-las entre si de modo a encontrar alguma combinação:

- Se o suficiente por produto injetado são 16gr por produto em 20 s, o caudal teria de se fixar em 0,8gr/s, o que não corresponde aos controlos de parâmetros de processo;
- Se o suficiente são 16gr e usando um caudal entre 0,2166 e 0,45gr/s, seria necessário um tempo de 35,5s a 73s de aplicação, o que não corresponde com o tempo programado em linha;
- Se o suficiente são 20 s de aplicação, com um caudal entre 0,2166 e 0,45 gr/s daria um peso de desmoldante entre 4,332 a 9 gr, o que não coincide com a ficha de materiais.

Através desta análise conclui-se que não existe combinações entre as informações acima, e explica a início, o desvio positivo de inventário de desmoldante em armazém.

Teoricamente sabe-se que uma correta aplicação de desmoldante influencia na produção de um produto OK, ou seja, quando se aplica uma quantidade de desmoldante inferior ao necessário o produto sai pegado do molde. Quando se aplica uma quantidade de desmoldante acima do necessário o produto sai com manchas de desmoldante.

Sendo assim, o problema deste projeto é inexistência real de um intervalo que optimize o consumo de desmoldante por produto.

4.1.2 Composição desmoldante

De acordo com a ficha técnica do químico, o seu nome certo é “desmoldante concentrado para espuma de poliuretano flexível de pele integral” e é comprado em bidões de 156kg, com uma validade de 12meses.

Este produto é composto por ceras e resinas dispersas em ISO parafinas, com uma densidade de $0,78 \pm 0,02$ quilogramas por litro (kg/l). O seu ponto de inflamação é aos 42°Celsius (C) e a temperatura de ebulição é a partir de 160°C .

No armazenamento do produto, este deverá ser colocado num espaço fresco e fechado e longe de fontes de calor e chamas. Sendo um produto inflamável, é indicado uma temperatura de armazenamento entre os 5 a 35°C , conforme é definido na ficha técnica.

Ainda na mesma ficha indica que antes da sua utilização, deve-se agitar o bidão e estabilizá-lo a uma temperatura entre 15 a 25°C . O seu uso é por meio de aerossol, a fim de obter uma perfeita atomização e distribuição dos ingredientes ativos e a uma temperatura ideal de trabalho entre os 30 a 65°C .

4.1.3 O uso de desmoldante

O uso de desmoldante é fundamental no processo de injeção facilitando na remoção do produto e impedindo que restos de PU fiquem colados no molde. Isto é possível porque o desmoldante – aplicado em estado líquido – cria uma camada fina e oleosa, que impede o contacto entre matérias. Adicionalmente, melhora o acabamento e diminui a probabilidade de surgirem fissuras na superfície após a injeção, maximizando o reaproveitamento dos moldes.

Este químico, mesmo estando em contacto direto com o PU e/ou laca, ele não se mistura com estes, o que evita as contaminações na estrutura do produto.

4.1.4 Processo do desmoldante

Na fábrica em estudo, o processo de Injeção possui diversas máquinas de injeção e cada uma é composta por cabines. Simultaneamente, em cada duas cabines trabalha um operador.

A forma como o desmoldante chega à produção é pelas estações de bombeio, localizadas nas traseiras das máquinas e que se dividem para um conjunto de máquinas de injeção.

As estações de bombeio são compostas por dois bidões – reposição e trabalho. Começando pelo funcionamento do bidão de trabalho, ele é composto por duas bombas: uma bomba que colhe o produto do bidão de reposição para si e a segunda bomba que é responsável pelo circuito de colher o produto e mandá-lo para as máquinas.

As máquinas têm todas várias conexões que correspondem ao número de pistolas existentes em cada cabine. Quando a bomba envia o desmoldante para essas conexões, o líquido que não foi usado volta para o bidão de trabalho.

O desmoldante circula continuamente pelos tubos, devido ao facto de na sua composição existirem partículas sólidas (as ceras). A inexistência deste movimento contínuo provoca a fixação das mesmas nas paredes dos tubos e, por consequência, entupindo-os. Com determinada frequência é feita uma manutenção aos bidões de trabalho, para despiste das partículas sólidas nas paredes dos mesmos.

O bidão de reposição serve de abastecedor ao bidão de trabalho. Quando este último não consegue sugar mais desmoldante, o bidão de reposição é substituído por um novo.

Na troca do bidão de reposição novo, é delegado ao operador de movimento que transporta o novo bidão do armazém de entrada de químicos para o processo e recolhe o antigo para o armazém de saída de químicos. A colocação do novo bidão é feita pelo operador de manutenção que é responsável por fazer o registo e transferir as sobras de desmoldante do bidão de reposição antigo para o bidão de trabalho, de forma a combater o desperdício do produto.

4.1.5 Aplicação do desmoldante

Quando um operador entra para o processo de Injeção é-lhe dada formação sobre o processo de trabalho e, consoante a avaliação do mesmo, é-lhe concedido um nível de formação para cada tipo de modelo.

Nesta formação é ensinado a forma como aplicar os vários componentes no processo, manipulação de máquinas e conhecer os diferentes métodos de trabalho a utilizar nos vários modelos de produtos produzidos.

A aplicação de desmoldante é ensinada no momento que o operador tem a formação. Contudo, existem em todas as máquinas uma gama onde se explica detalhadamente a colocação do produto no molde e o operador poderá consultá-la a qualquer momento.

De acordo com a consulta de várias gamas de fabricação, a forma de aplicação de desmoldante segue as seguintes etapas:

- 1.^a Etapa: Passagem uniforme, na zona superior do molde.
- 2.^a Etapa: Volta-se a repetir o processo anterior, na zona interior do molde.

3.^a Etapa: Em toda a área central do molde.

4.^a Etapa: De forma uniforme, na zona inferior.

5.^a Etapa: Volta-se a repetir o processo acima, mas na parte exterior.

Nas zonas de difícil acesso, o operado com a ajuda de um pincel pulverizado de desmoldante percorre essas áreas, por forma a garantir que o químico foi colocado uniformemente no molde.

4.1.6 *Project Charter*

A concretização do *Project Charter* em baixo na Figura 7, sumariza o projeto em análise de forma detalhada. Começando pela descrição do problema, os objetivos a atingir e as medidas para a concretização desses objetivos – KPI's, bem como os possíveis riscos e barreiras para a realização do estudo. Ainda é feita uma relação do projeto com outros a decorrer na empresa e a ligação deste trabalho com a estratégia da empresa. Por fim, é apresentada a equipa de trabalho e a agenda do projeto.

Project Charter Seis Sigma - DMAIC			Número do projeto: P5457 Versão: 2019-10-16		
Descrição do Projeto					
Título do projeto					
Melhoria no consumo de desmoldante					
Tópicos do projeto					
<p>Área: Unidade industrial do setor automóvel, no processo de Injeção e na secção de injeção; Produto: Desmoldante concentrado para espuma de poliuretano flexível de pele integral; Processo: O operador aplica diretamente no molde com o auxílio de uma pistola Cliente: Todos os produtos injetados Fornecedor: Um fornecedor de desmoldante.</p>					
Descrição do problema					
<p>No final do ano 2019, a empresa tinha em armazém um desvio positivo de 15.132kg de desmoldante, a informação sobre o consumo real de desmoldante por volante não está atualizada. A incorreta aplicação de desmoldante no molde implica que o produto saia com defeito na injeção - pegados e manchas de desmoldante. De acordo com os dados do mês julho de 2019 a percentagem de defeitos provocada pela incorreta aplicação de desmoldante, rondou os 3,9% face a produção total do mês e cerca de 23,56% face ao total de defeitos por produtos injetados do período em análise.</p>					
Alvo do projeto					
<p>Rever o circuito de desmoldante; Identificar quantidade necessária de desmoldante por produto; Atualizar a documentação com o novo <i>standard</i> de consumo de desmoldante; Entender e atuar sobre as causas que levam a uma incorreta aplicação de desmoldante; Melhorar o processo de utilização de desmoldante no sistema de injeção.</p>					
KPI's		Unidade	Atual	Valor alvo por mês	
Número de bidões de desmoldante em armazém de entrada.		Frequência	97 bidões	4 bidões	
Proporção de produtos pegados sobre os produtos injetados para sucata, por mês.		Percentagem	3,27%	1,5%	
Proporção de produtos com manchas sobre os produtos injetados para sucata, por mês.		Percentagem	0,63%	0,4%	
Não-alvo		Riscos/Dificuldades/Barreiras do projeto			
A redução de compras em desmoldante e a redução de sucata causado pelo incorreto uso de desmoldante contribui para o aumento da consciência ambiental.		A rotatividade de operadores e modelos para fixar um <i>standard</i> .			
Correlação com outros projetos da empresa		Correlação com a estratégia da empresa			
Redução de custos de químicos da produção		A redução do desperdício contribui para uma mobilidade limpa e segura.			
Organização do Projeto					
Funções no projeto		ID		Comprometimento	
<i>Sponsor</i>		100001		Baixo	
<i>Black Belt</i>		200002		Alto	
<i>Green Belt</i>		300003		Alto	
<i>Green Belt</i>		400004		Médio	
<i>Yellow Belt</i>		500005		Médio	
<i>Champion</i>		600006		Baixo	
<i>Team</i>		700007		Baixo	
Etapas do projeto					
Início do projeto	16/10/2019	Conclusão da fase Medir	20/02/2020	Conclusão da fase de Implementar melhorias	03/03/2021
Conclusão da fase Definir	10/01/2020	Conclusão da fase Analisar	27/07/2020	Conclusão da fase Controlar	16/04/2021

Figura 7: *Project Charter* do projeto de melhoria do consumo de desmoldante. Adaptação própria.

O sucesso deste projeto dependerá dos resultados dos KPI's definidos em equipa. A razão para o número de bidões de desmoldante em armazém de entrada ser no máximo 4, deve-se ao facto de este corresponder ao espaço máximo do mesmo em armazém da data em análise. Este número de bidões representa ainda um *stock* de segurança para o caso de acontecer uma falha técnica, interna ou externa, em que sejam capazes de cobrir as três estações de bombeio.

Pretende-se que a proporção de defeitos de pegados seja reduzida para 1,5% por mês sobre o total de produção. Esta redução para mais de metade da atual explica-se pela necessidade de a empresa querer aumentar a qualidade do produto. As manchas de desmoldante comprometem apenas a estética do produto, e uma vez que a sua proporção é mais baixa - comparada com a dos pegados -, estabeleceu-se uma redução para os 0,4% de produtos injetados com manchas de desmoldante sobre a produção total mensal.

O *Project Charter* acima, na Figura 7, levou uma atualização na rúbrica de barreiras ao projeto e na calendarização das etapas, pelas razões a serem explicadas na secção 5.2 "As limitações de trabalho".

4.1.7 Diagrama SIPOC

Como já atrás referido, o desmoldante é apenas usado no processo de Injeção, na aplicação dos moldes de injeção. Deste modo, procedeu-se a formulação de um Diagrama de SIPOC, representado na Figura 8.

Neste diagrama são apresentados os fornecedores (*suppliers*) necessários para a concretização do processo de Injeção do produto. O contributo de matérias-primas e subsidiárias, bem como a mão-de-obra de cada *supplier* que dá entrada (*input*) no processo. O fluxograma do processo (*process*) descreve o percurso do desmoldante desde a receção do bidão em fábrica, o seu consumo no molde, até à reação com outras matérias no processo de Injeção. O efeito do desmoldante com outras matérias dá-nos a saída (*output*), que neste caso é produto injetado. Mediante o *output*, o modelo de produto injetado terá percursos distintos, traduzidos como clientes (*customers*).

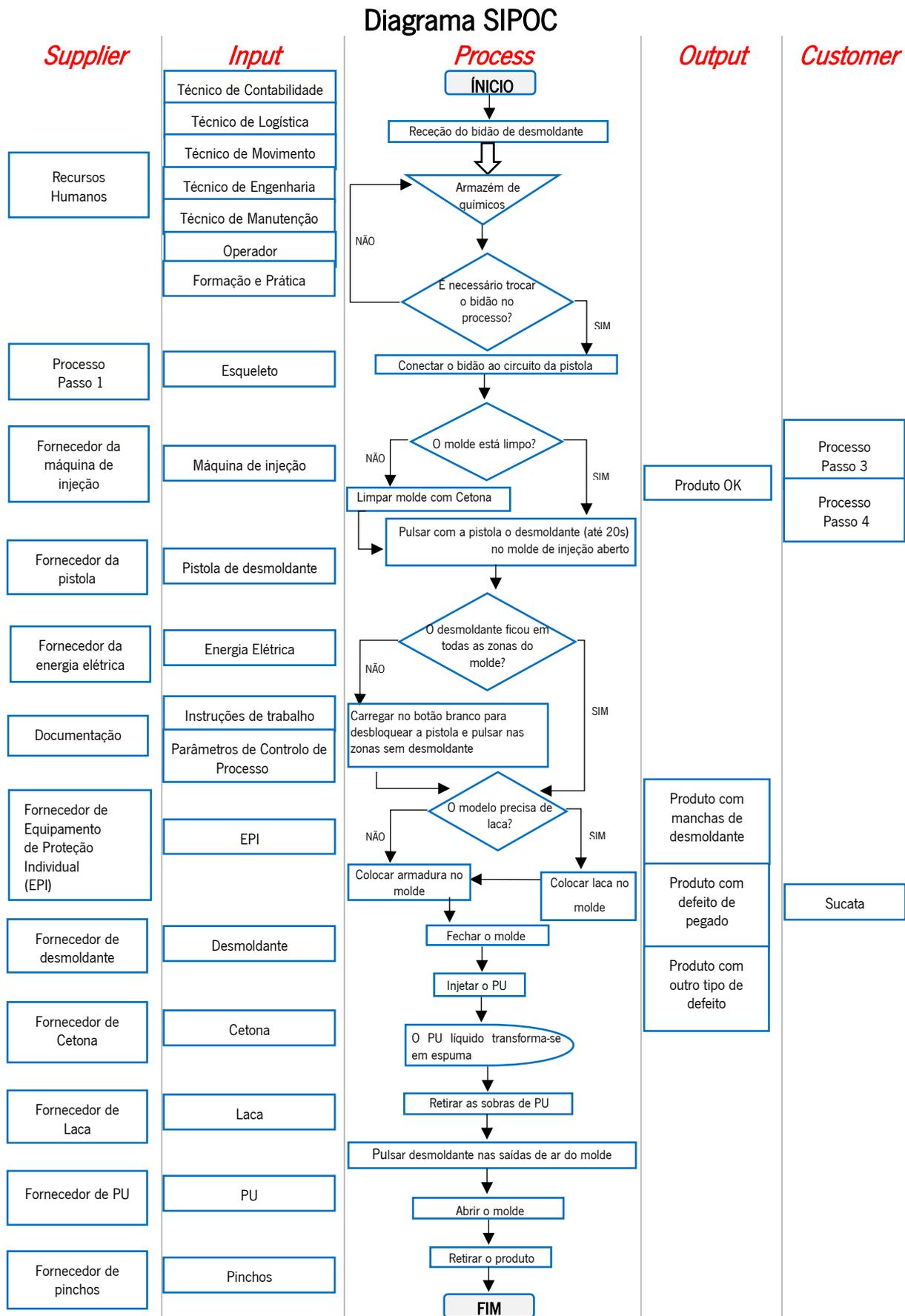


Figura 8: Diagrama SIPOC do consumo de desmoldante na fábrica. Adaptação própria.

A quantidade e capacidade do operador na aplicação de desmoldante resultará de como o produto sairá da injeção. Como se pode analisar no diagrama, o *output* poderá apresentar-se das seguintes formas:

- Produto injetado OK - dentro dos requisitos do cliente, sendo o cliente o processo seguinte.
- Produto injetado com Pegados - provocado pela não aplicação uniforme ou por quantidades reduzidas de desmoldante. Nesta situação, em condições minuciosas este *output* é retrabalhado e segue o percurso destinado. Em condições relacionadas com os critérios estabelecidos pela empresa o *customer* é a sucata. É possível analisar-se um exemplo deste defeito na Figura 9.
- Produto injetado com Manchas de desmoldante – contrariamente aos pegados, este é provocado pela aplicação em demasia em zonas ou por todo o molde. Esta situação é igual aos produtos injetados pegados, em condições minuciosas este *output* é retrabalhado e segue o percurso destinado. Em condições relacionadas com os critérios estabelecidos pela fábrica o *customer* é a sucata. É possível analisar-se um exemplo deste defeito na Figura 9.
- Produto injetado com outro tipo de defeito – é um produto não conforme por causas não ligadas ao desmoldante. Este *output* também tem o mesmo *customer* dos produtos não conformes mencionados anteriormente, tudo dependerá dos critérios definidos pela empresa para o defeito e modelo de produto injetado.



Figura 9: Exemplos tipos de produtos injetados com defeito de pegado e mancha de desmoldante. Adaptação própria.

O incorreto uso de aplicação do desmoldante no molde no processo de Injeção compromete a estética do produto e com isso não cumpre este requisito do cliente.

4.2 Medir

Na segunda etapa do DMAIC é medido a frequência de troca de bidões de desmoldante, a situação atual de defeitos de produtos injetados e, por conseguinte, é calculado o valor de sigma atual.

4.2.1 Troca do Bidão de desmoldante

O envio de um novo bidão de desmoldante é processado no *software* SAP, o *software* segue a informação na ficha de materiais, na qual refere que quando um produto é injetado há um consumo de 16gr de desmoldante gasto. Deste modo, a cada 9.750 produtos injetados, um bidão é gasto e é enviado um novo por SAP.

Através da observação feita em julho de 2019, num mês normal de produção contou-se uma produção de 304.552 produtos injetados. Seguindo a informação na ficha de materiais sobre a quantidade gasta de desmoldante por produto, foi necessário 4.872.832 gr de desmoldante (304.552×16) para o total de produção do mês, o equivalente a (aproximadamente) 32 bidões de desmoldante de 156kg líquidos.

Contudo, na folha de registos de preenchimento obrigatório pelo operador de manutenção aquando da troca do bidão, foram contabilizadas 25 trocas no mesmo período de análise. Mediante isto, nesta foram contabilizados 7 bidões a mais quando

Perante a situação real houve uma diferença de 7 bidões com o estimado na ficha de materiais, significando que nos 32 bidões encomendados para o mês de julho de 2019, 7 destes não foram consumidos e ficaram em armazém.

4.2.2 Produtos injetados não conformes

A incorreta aplicação de desmoldante nos moldes de injeção implica produtos injetados com defeito de pegados e manchas de desmoldante.

No mês julho de 2019 consultou-se o total de 304.552 produtos injetados nesse período e dos dois tipos de defeitos estudados, saíram não conformes cerca de 11.965 produtos injetados. Através do diagrama de Pareto, da Figura 10, ilustra os diversos defeitos (designação fictícia) de produtos de injetados e para cada uma, a sua percentagem sobre o total de sucata. Deste modo, na Figura 10 verifica-se que houve um total de produtos injetados para sucata 19,102% das causas de sucata estavam relacionadas com manchas de desmoldante e 15,649% por produtos pegados. Em soma, os produtos injetados não

conformes que estiveram relacionados pela incorreta aplicação de desmoldante, correspondeu a 34,742% de causas para o problema de sucata.

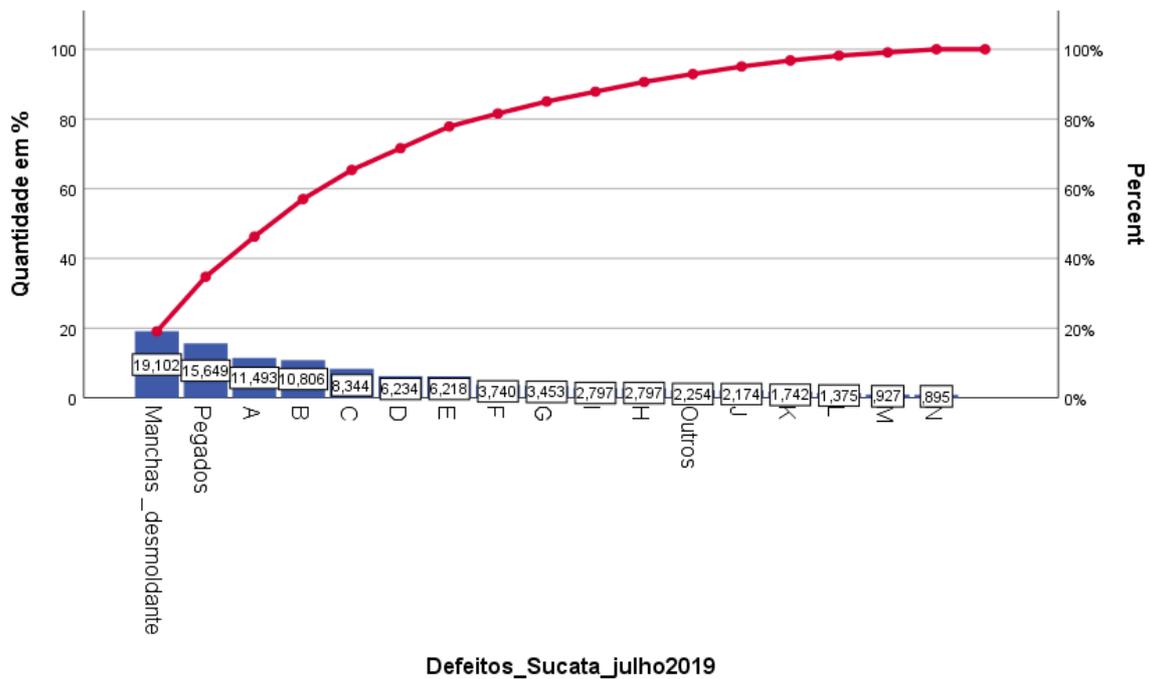


Figura 10: Gráfico de Pareto da sucata com os defeitos por causas, no mês de julho de 2019. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.

O diagrama de Pareto, da Figura 11, ilustra o valor percentual de produtos injetados que foram restaurados no mês de julho de 2019 por diversas causas, verificando-se um total, em percentagem, de produtos injetados não conformes para restauro. Dentro desta percentagem 20,149% foram por causa de pegados e 1,646% por manchas de desmoldante, perfazendo um total de 21,795% de produtos injetados não conformes enviados para restaurados, pela incorreta aplicação de desmoldante.

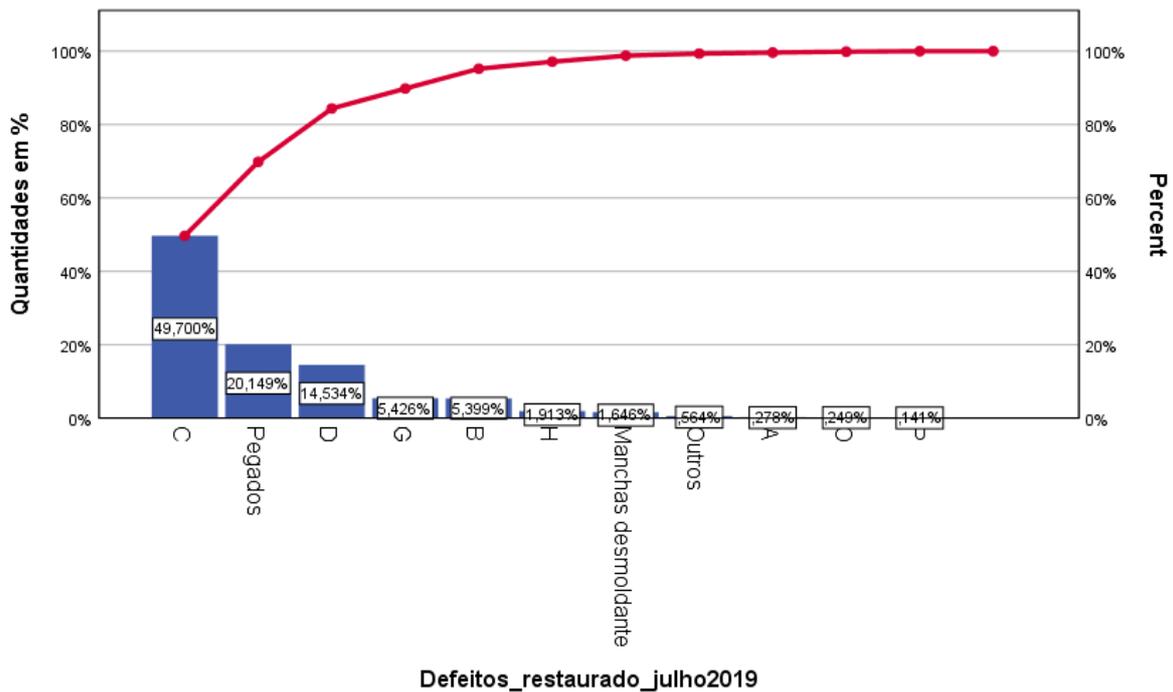


Figura 11: Gráfico de Pareto do restauro com defeitos por causas, no mês de julho de 2019. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.

Através da análise dos dois gráficos de Pareto, verifica-se que a proporção de produtos injetados com manchas de desmoldante é maior nos produtos enviados para a sucata, comparativamente aos enviados para restauro. Ou seja, em percentagem as manchas de desmoldante correspondem a um total de 19,1% (aproximadamente) de sucata e 1,65% (aproximadamente) de restauro. Esta facto explica-se pelo difícil trabalho de restaurar um produto com manchas de desmoldante, onde apenas em situações minimalistas se consegue reparar o defeito.

Contrariamente, a proporção de produtos injetados com pegados é menor em produtos enviados para a sucata, comparativamente aos enviados para restauro. Ou seja, 15,65% (aproximadamente) para a sucata e 20,15% (aproximadamente) para restauro. Isto deve-se à maior facilidade em restaurar um produto pegado.

De acordo com os dados partilhados pelo Departamento Financeiro, a cada produto injetado que vai para a sucata, a empresa perde o custo total de produção deste e ainda são adicionados 49,03% do seu custo produção unitário, para trabalhos de despumado e em material. Ao passo que num produto para restauro, o custo de trabalho já está incluído no custo *standard* de um produto injetado OK.

Concluindo a análise dos dois diagramas de Pareto, o total da produção de produtos injetados foi de 304.552, houve cerca de 16,67% (aproximadamente) produtos injetados não conformes, e dentro desta fatia, 3,9% (aproximadamente) produtos saíram pegados e com manchas de desmoldante.

Com recurso a uma calculadora do nível sigma disponibilizada *online* e com os seguintes dados do mês de julho de 2019 é possível medir o número de produtos injetados não conformes por DPMO e o seu valor de sigma, conforme é ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1: Cálculo do nível sigma. Adaptação própria.

Cálculo do nível sigma			
Total de produtos injetados não conformes por causas de desmoldante			
Unidades	11.965	Defeitos (%)	1,2
Oportunidades	1	Yield (%)	98,8
Total de oportunidades	304.552	DPMO	39.287,215319551346
		Nível Sigma	2,76

Nota: Valores dos níveis sigma obtidos através da calculadora online: <https://www.isixsigma.com/process-sigma-calculator/>

Observando a Tabela 1 é possível aferir, atualmente, que num total de um milhão de produtos injetados, 39.288 (aproximadamente) são por defeitos de pegados e manchas de desmoldante.

Pode ainda ler-se que o valor do nível atual de sigma para a observação do total de produtos injetados não conformes por causas de desmoldante (pegados e manchas) é de $2,76\sigma$, o que resulta num desempenho 98,8% e uma taxa de defeitos 1,2%.

Um produto injetado pode sair com mais do que um defeito e o mesmo ser contabilizado pelo número e tipos de defeitos, contudo são situações pouco prováveis de acontecerem na mesma peça e de difícil identificação nos dados em fábrica. Assim, a autora da dissertação considerou o cálculo DPMO - um defeito para cada peça injetada.

4.3 Analisar

Na presente etapa do DMAIC são analisados os dados recolhidos por base de observações e testes realizados ao desmoldante, com o intuito de obter uma otimização da informação recolhida e possíveis conclusões do estado atual do processo.

4.3.1 Troca de bidão de desmoldante

Na troca do bidão de reposição de desmoldante existe sempre uma quantidade de desmoldante que não foi sugada pelo bidão de trabalho, Figura 12 (a). A empresa responsável pela reciclagem do bidão cobra uma taxa se este não for transportado vazio.

No mês de março de 2020, procedeu-se à observação da troca do bidão de desmoldante. Em todas elas constatou-se que o operador de manutenção adicionava o resto de desmoldante no bidão de trabalho, tal como mostra a imagem da Figura 12 (b). Podendo assim afirmar que não existem desperdícios de desmoldante durante o processo de troca do bidão e o mesmo segue vazio para a empresa de reciclagem.



(a) Restos de desmoldante no bidão de reposição.



(b) Restos de desmoldante é adicionado no bidão de trabalho.

Figura 12: Troca do bidon de reposição.

4.3.2 Aplicação de desmoldante

Para atender ao principal objetivo do projeto na criação de uma quantidade *standard* de desmoldante por produto, é necessário saber a sua quantidade exata de modo a não provocar um produto injetado pegado e/ou com manchas de desmoldante.

Deste modo, com o apoio conjunto de um grupo de operadores de injeção, do *Team Leaders* de injeção, do departamento de Engenharia responsável pela injeção, do departamento de Qualidade e dos operadores de manutenção de Injeção fez-se um exercício de *Brainstorming* de forma a entender as causas que levariam aos defeitos a serem estudados.

Deste *Brainstorming* resultaram dois diagramas de causa e efeito, um para produtos injetados com pegados (Figura 13) e outro para produtos injetados com manchas de desmoldante (Figura 14) e, onde cada causa foi alocada nas seguintes categorias: Máquina, Material, Método, Mão-de-obra, Meio ambiente e Medição.

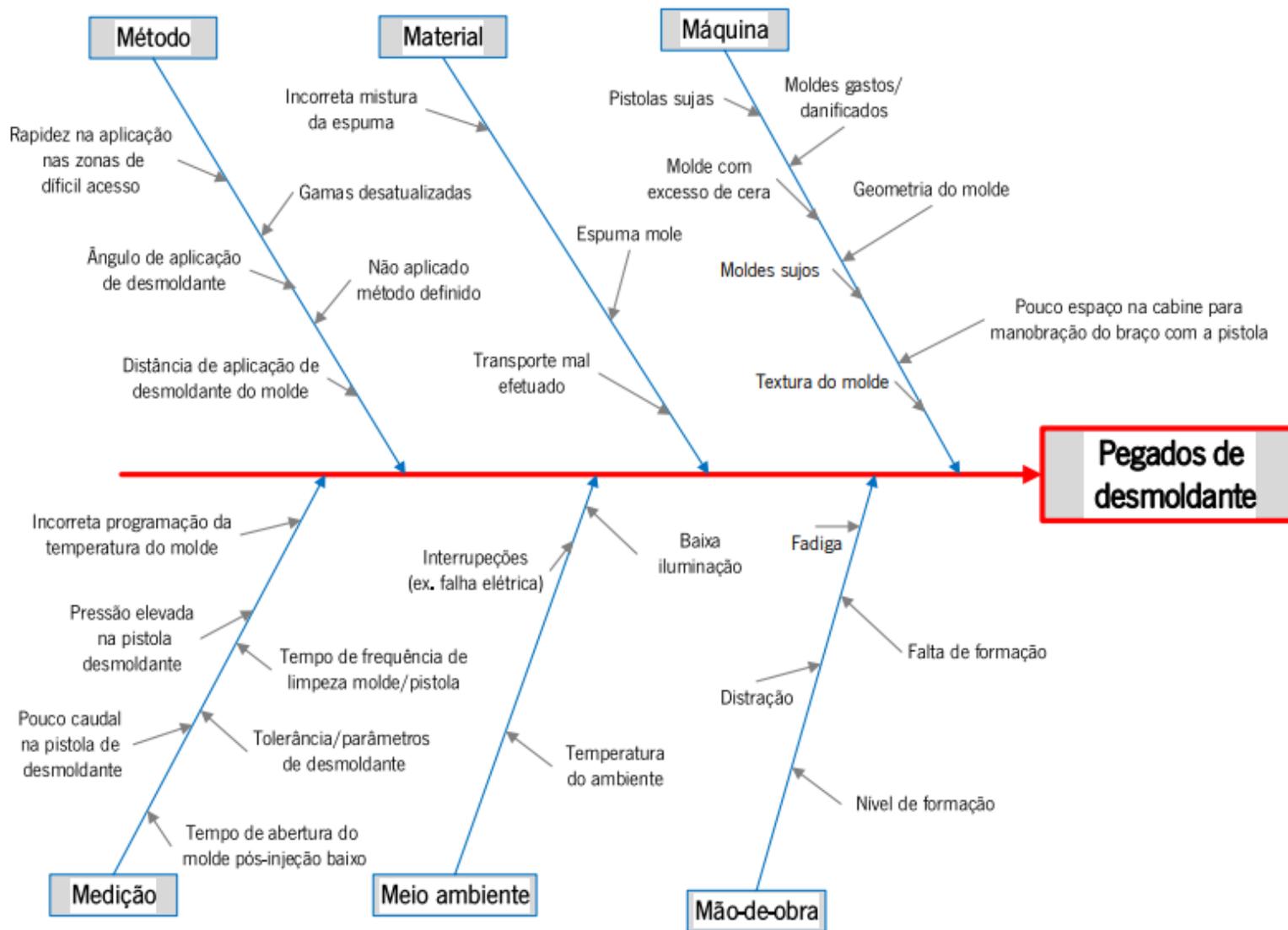


Figura 13: Diagrama de causa e efeito para produtos injetados com pegados de desmoldante. Obtido em Visio 2013.

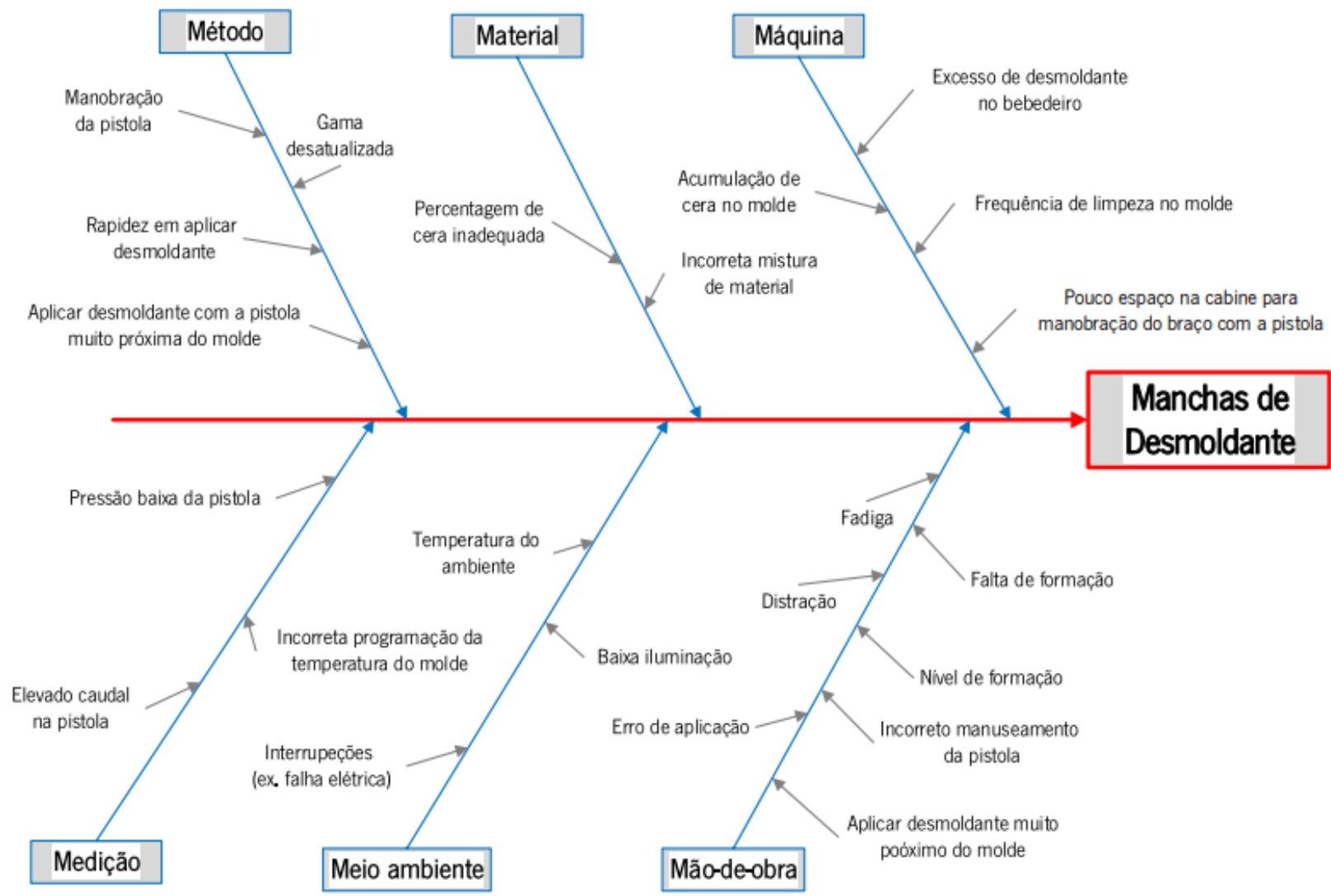


Figura 14: Diagrama de causa e efeito para produtos injetados com manchas de desmoldante. Obtido em Visio 2013.

Analisando os diagramas de causa e efeito apresentados acima e com o apoio da equipa do projeto percebeu-se a existência das seguintes variáveis a serem estudadas: o modelo de produto; o nível de formação do operador; o peso de desmoldante; a pressão da pistola; o caudal da pistola; o tempo de aplicação; as zonas críticas e a frequência da limpeza do molde e da pistola.

Teste por formação dos operadores

Quando um operador entra no processo de Injeção de produtos recebe formação para esse posto, durante um período de tempo. No final desse período é esperado que o operador consiga ter uma produtividade aceitável para os requisitos da empresa.

O nível de formação do operador vai aumentando consoante o seu grau de experiência que e com a sua capacidade para trabalhar com os diferentes modelos de produtos.

De forma a perceber a existência de uma relação entre o nível de formação do operador com o número de defeitos em estudo, consultaram-se os dados do mês de fevereiro de 2020. Para proceder-se a esta relação, atribui-se defeitos superiores a 10 com um nível de “MAU” e para defeitos iguais ou inferiores a 10 com um nível “BOM”.

Os dados referentes a este mês dão conta de um número total de 110 operadores (Figura 15), distribuídos pelos todos os turnos de Injeção, que compreendiam essencialmente níveis de formação situados entre 3 (40 operadores) e 4 (36 operadores). Numa primeira análise, estes correspondem aos grupos de operadores com maior frequência de níveis de defeitos BOM e MAU, conforme demonstra a Figura 16.

Nesta análise, operadores com um nível de formação 2 têm uma maior proporção de nível de defeitos MAU, situado em 85,71%, comparativamente com os restantes níveis de formação: 72,5%; 69,44% e 16,67% para os níveis 3, 4 e 5 respetivamente. Através destes dados pode concluir-se que a frequência de defeitos diminui com o aumento do grau de formação do operador.

Por outro lado, para um nível de defeitos BOM, este verifica-se em maior proporção no grupo de operadores de formação 5, o correspondente a 83,33%, quando comparado com os restantes níveis de formação. Esta proporção de nível BOM de defeitos vai diminuindo consoante o nível de formação for

menor. Ou seja, para um nível de formação 4, 3 e 2 a proporção é de 30,56%; 27,5% e 14,29% respectivamente, conforme é evidenciado no gráfico circular da Figura 17.

Como conclusão a esta análise, o número de defeitos causados pela incorreta aplicação de desmoldante vai diminuindo com o aumento do nível de experiência do operador. Ou seja, à medida que o operador possui maior nível de formação, mais habilidoso ele se torna na aplicação de desmoldante e menor é a sua percentagem de defeitos.

Case Processing Summary

	Valid		Cases Missing		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
Nível de defeitos * Nível de formação	110	100,0%	0	0,0%	110	100,0%

Figura 15: Número de observações do teste. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.

Nível de defeitos * Nível de formação Crosstabulation

Count

		Nível de formação				Total
		2	3	4	5	
Nível de defeitos	BOM	4 _a	11 _a	11 _a	5 _b	31
	MAU	24 _a	29 _a	25 _a	1 _b	79
Total		28	40	36	6	110

Each subscript letter denotes a subset of Nível de formação categories whose column proportions do not differ significantly from each other at the ,05 level.

Figura 16: Nível de defeitos por Nível de formação – *Crosstabulation*. Obtido do software IBM SPSS Statistics 26.

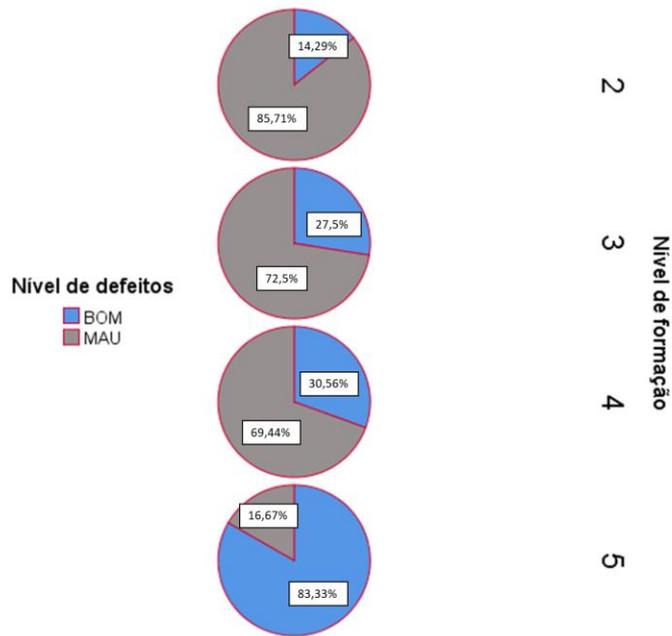


Figura 17: Gráfico circular dos níveis de defeitos pelos níveis de formação do operador. Obtido do *software* IBM SPSS Statistics 26.

Zonas de difícil acesso

Conforme a análise dos diagramas de causa e efeito as zonas de difícil acesso são as mais propensas para os defeitos de produtos injetados de pegados e manchas de desmoldante.

Devido à difícil quantificação destas áreas, procedeu-se à divisão em três grupos: Complexo, Base e Moderado.

Como foi dito na secção 3.2 “O produto”, os produtos do grupo Complexo não passam pelo processo Passo 3 e seguem para o processo Passo 4, para a montagem de componentes. As manchas de desmoldante são muito difíceis de serem restauradas neste modelo de produtos, deste modo, existe um maior cuidado e rigor no processo de Injeção porque o seu desempenho de injeção será o fator de escolha para o cliente. Como se pode perceber na figura abaixo, as zonas de maior tendência a manchas de desmoldante coincidem com a zona de maior declive no molde. Podemos ainda verificar nesta imagem, da Figura 18, que os pegados têm tendência a surgirem em zonas com orifícios.



Figura 18: Zonas mais frequentes a defeitos de pegados e manchas de desmoldante, nos modelos Complexo. Adaptação própria.

Os produtos Base são aqueles que não levam laca no seu processo de Injeção e são forrados a toda a volta. As manchas neste grupo de produtos são mais raras e menos preocupantes. Contudo, quando este defeito surge em maior intensidade torna-se praticamente impossível de colar o material específico no PU, durante o processo de Passo 3. Por outro lado, como estas se trata de zonas minuciosas e que exigem (aparentemente) menor quantidade de desmoldante, existe uma tendência por parte do operador para uma menor atenção na aplicação deste químico e conseqüentemente resultar em produtos injetados pegados. Esta tendência é ilustrada na Figura 19.

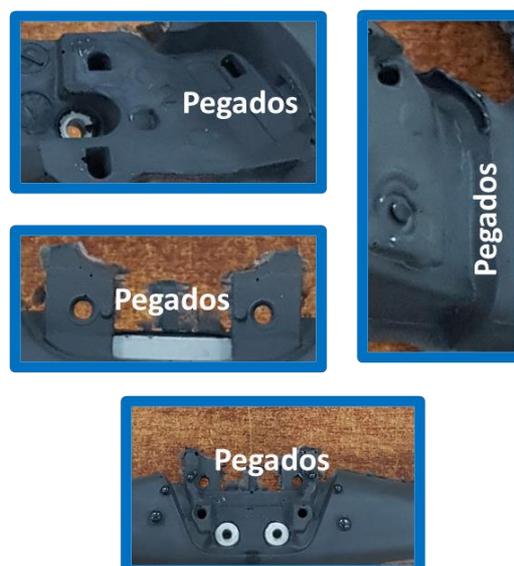


Figura 19: Zonas mais frequentes a defeitos de pegados e manchas de desmoldante, nos modelos Base. Adaptação própria.

O último grupo corresponde aos produtos Moderado, caracterizado pela colagem de um material especial na parte da frente do produto e lacado na parte traseira.

As zonas mais propícias aos defeitos de pegados são, como abaixo mostra a Figura 20, as zonas mais robustas do interior do produto, onde servirão de encaixe para os cabos e componentes. No que concerne às manchas de desmoldante estas têm maior tendência a surgirem na área central dos braços do produto, caracterizada por um maior declive. E tal como acontece nos modelos Base, uma mancha de desmoldante pronunciada nos braços do produto constitui uma enorme dificuldade na colagem de um material especial, no processo de Passo 3.



Figura 20: Zonas mais frequentes a defeitos de pegados e manchas de desmoldante, nos modelos Moderado. Adaptação própria.

Numa análise global aos três grupos de produtos, conclui-se que as zonas críticas dos pegados situam-se nas áreas mais fechadas de canais e com detalhes onde posteriormente serão montadas

componentes elétricas. Quanto às manchas de desmoldante, estas surgem, maioritariamente, no exterior do produto e nas zonas de maior declive no molde de injeção.

No seguimento destes resultados, a inclinação do molde de injeção poderá ser uma variável adicional a ter conta, como causa de defeitos de manchas de desmoldante. Visto não ter sido possível a realização de testes de relação do declive do molde com as manchas de desmoldante, por razões explicadas na secção 5.2, esta variável entra na seguinte etapa do DMAIC. Contudo sabe-se que esta inclinação varia entre os 6° a 15°.

Frequência da limpeza

De acordo com a gama de produção, os moldes de injeção são lavados com gelo seco a cada quatro horas contínuas de produção, ou seja, 2 vezes por turno.

Contudo, no decorrer da produção, a acumulação de cera e outros resíduos, tal como se pode observar abaixo na Figura 21 (a), provocam manchas e/ou sujidades no produto. O operador, após produzir um produto deve atender se o molde se encontra apto para produzir o seguinte produto, caso contrário o operador deve proceder à limpeza do mesmo, Figura 21 (b).



(a) Molde de injeção antes da limpeza.



(b) Molde de injeção após a limpeza.

Figura 21: Molde de injeção antes e após a limpeza. Adaptação própria.

O mesmo acontece quando um produto sai pegado. Neste caso o operador, recorrendo ao uso de um pano seco, limpa a zona do molde onde se encontra esta anomalia no produto. Esta situação está retratada na Figura 22.



Figura 22: Zona do molde com restos de espuma de Complexo. Adaptação própria.

Teste do consumo de desmoldante, com a pressão e caudal

Os testes realizados têm por objetivo medir as quantidades de desmoldante necessárias para os diferentes operadores. Tendo por base que cada operador define a pressão e caudal da pistola a ser utilizado durante o teste.

Foram realizados 12 testes a diferentes modelos de produtos: 5 delas para modelos diferentes de Complexo (Complexo.1, Complexo.2, Complexo.3, Complexo.4 e Complexo.5) (designação fictícia), outras 5 provas para modelos diferentes de Base (Base.1, Base.2, Base.3, Base.4 e Base.5) (designação fictícia) e por último 2 provas a modelos diferentes de Moderado (Moderado.1 e Moderado.2) (designação fictícia). Em cada teste foram feitas 30 observações contínuas do tempo gasto pelo operador na aplicação de desmoldante.

No começo de cada teste foi registada a pressão (kg/cm^2) e o caudal (gr/s) da pistola que o operador estava a utilizar naquela cabine. Como mostra na Figura 23, o registo da pressão da pistola resulta do valor indicado no barómetro (kg/cm^2), aquando do apertar do gatilho.



Figura 23: Barómetro da pressão da pistola.

Quanto ao registo do caudal procedia-se da seguinte forma:

- 1.ª Etapa: numa balança pesar um copo vazio e anotar este peso em gramas;
- 2.ª Etapa: fechar a pressão da pistola, no interior da cabine onde o teste irá decorrer;
- 3.ª Etapa: apertar a pistola para o copo, durante 20 s, recorrendo à ajuda de um cronómetro;
- 4.ª Etapa: pesar novamente o copo e subtrair ao peso do copo vazio;
- 5.ª Etapa: ao valor resultante da etapa 4, dividir por 20 s, obtendo-se assim o caudal da pistola, em gramas por um segundo.

A representação das etapas é visualizada na Figura 24.

Após registado encontrada a pressão e o caudal é iniciado o teste ao tempo de aplicação de desmoldante.



Figura 24: Etapas do processo de medição do caudal da pistola. Adaptação própria.

Observação do tempo

Com a realização das 12 provas foram anotados os tempos e divididos pelos 3 grupos pertencentes: Complexo, Base e Moderado. Através da análise do tempo obtido para cada modelo registado na Figura 25, os modelos de Complexo têm uma maior média (*Mean*) de 28,4s (aproximadamente), quando comparados com as médias dos restante modelos: Base com 22,1679s e Moderado com 22,0462 s.

Resultados dos tempos das 12 provas por grupos de modelos

		Tempos Complexo	Tempos Base	Tempos Moderado
N	Valid	150	150	60
	Missing	0	0	90
Mean		28,4404	22,1679	22,0462
Minimum		18,65	11,43	16,77
Maximum		39,16	34,50	25,02
Percentiles	25	24,5775	19,4725	20,6800
	50	29,2750	23,0050	22,1300
	75	31,8925	25,7875	23,3475

Figura 25: Tempo de aplicação de desmoldante pelos modelos de produtos. Obtido do *software* IBM SPSS Statistics 26.

Apesar das médias de tempo de aplicação destes dois últimos grupos de modelos serem semelhantes, quando se analisa os quartis (*percentiles*) de ambas, existe uma maior dispersão em produtos Base.

Estes dados da figura por si só não são suficientemente conclusivos devido à existência de diversas variáveis não fixas, tornando impossível a comparação entre modelos e a conclusão da análise.

Observação da pressão com estagnação do caudal da pistola e diferentes operadores e modelos de produtos

Pelo descrito anteriormente fixou-se um caudal de 0,3(3) gr/s. Sobre as observações feitas ao tempo despendido pelo operador ao aplicar o desmoldante, multiplicou-se esse tempo pelo caudal fixado, resultando assim no peso do desmoldante utilizado em cada aplicação. Para estes testes não foi analisado o *output* da injeção.

Começando por uma análise total das 360 observações obtidas nas 12 provas, dividiu-se os pesos em quartis, tal como mostra a Figura 26.

Statistics

Peso

N	Valid	360
	Missing	0
Minimum		3,9467
Maximum		13,0533
Percentiles	25	7,203333
	50	8,053333
	75	9,681667

Figura 26: Divisão dos pesos de desmoldante em quatis. Obtido do *software* IBM SPSS *Statistics* 26.

Com o uso do *Crosstab* consegue-se analisar na Figura 27 abaixo o intervalo de peso de desmoldante que os operadores aplicavam nos diferentes modelos de produto.

Grupo * Peso_Quartis Crosstabulation

Count

		Peso_Quartis				Total
		<7,203333	[7,2033331; 8,053333]	[8,0533331; 9,681667]	>9,6816671	
Grupo	Base	57	37	44	12	150
	Moderado	21	32	7	0	60
	Complexo	10	21	41	78	150
Total		88	90	92	90	360

Figura 27: Grupo de modelos de produtos pelos quartis – Crosstabulation. Obtido do *software* IBM SPSS *Statistics* 26.

Nos modelos Base, o consumo de desmoldante está compreendido entre 3,9467 e 7,203333gr, em 57 observações. Enquanto que o consumo de desmoldante em Moderado fica sobretudo abaixo de 8,053333gr, com 53 observações, o que significa 88.33%, conforme o gráfico circular da Figura 28. Não se verifica nenhum caso registado com o peso acima de 9,6816671gr. Como última análise desta tabela, os modelos de prova Complexo têm um consumo de desmoldante mais elevado, acima de 9,6816671 gr, constatado em 78 observações.

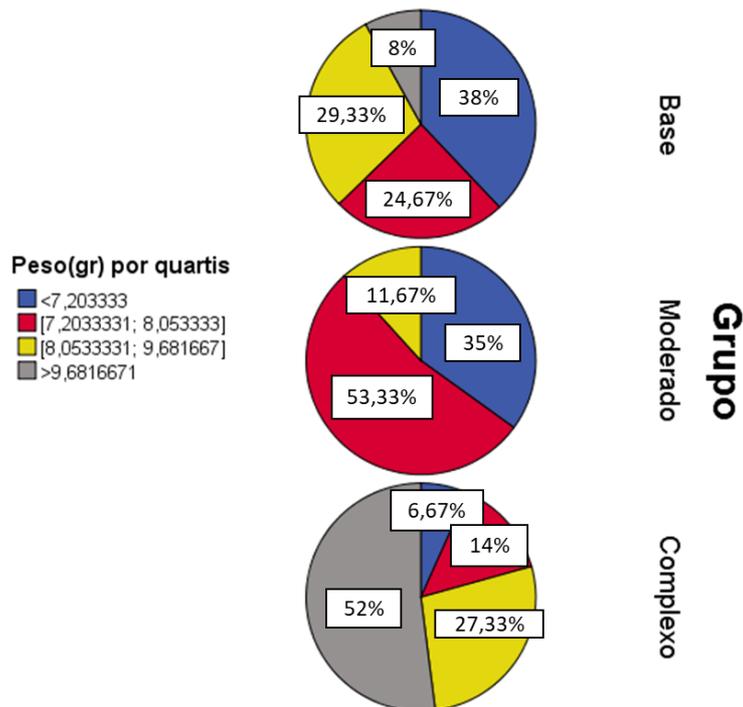


Figura 28: Gráfico circular da proporção do peso de desmoldante, em quartis, pelos grupos de modelos. Obtido do *software IBM SPSS Statistics 26*.

Como forma de entender se o consumo de desmoldante é também influenciado pela pressão da pistola utilizada, a seguinte análise divide novamente os três grupos de modelos (Complexo, Base e Moderado) de maneira a encontrar-se uma relação destas duas variáveis com o consumo de desmoldante. O caudal da pistola permanece fixo em 0,3(3)gr/s.

Observação da pressão com estagnação do caudal da pistola e diferentes operadores. Agrupado por grupos de modelos de produto

Como já referido acima, realizaram-se 5 provas a diferentes modelos de Complexo: Complexo.1, Complexo.2, Complexo.3, Complexo.4 e Complexo.5.

Nos modelos Complexo.1 e Complexo.2 os operadores tinham uma pressão de 5 durante as provas, para além de um caudal fixo para ambos. Neste sentido procedeu-se ao teste para averiguar se consumiriam a mesma quantidade de desmoldante, em gr.

H0: O peso em gr dos produtos de modelo Complexo, com pressão 5, seguem uma distribuição normal.

H1: O peso em gr dos produtos de modelo Complexo, com pressão 5, não seguem uma distribuição normal.

Através da Figura 29, na coluna de *Kolmogorov-Smirnov* (por apresentar 60 observações), mostra um valor de (*sig.*) $p=0,2$, logo $p>0,05$, assim aceita-se a hipótese nula. Provando que, diferentes operadores com a mesma pressão e caudal, o consumo de desmoldante não apresenta diferenças significativas.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Peso	,074	60	,200 [*]	,970	60	,141

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Figura 29: Teste da normalidade aos modelos de produto: Complexo.1 e Complexo.2. Obtido do software IBM SPSS *Statistics 26*.

Os operadores dos modelos Complexo.3, Complexo.4 e Complexo.5 trabalham com uma pressão de 4,5. Iguamente, procedeu-se ao teste da normalidade para entender se nas 90 observações existe um consumo uniforme do químico.

H0: O peso em gr dos produtos de modelo Complexo, com pressão 4,5, seguem uma distribuição normal.

H1: O peso em gr dos produtos de modelo Complexo, com pressão 4,5, não seguem uma distribuição normal.

Novamente incidindo no teste de *Kolmogorov-Smirnov* na Figura 30, o valor de $p=0,2$, o que significa que o valor de $p>0,05$, logo aceita-se a hipótese nula. Ou seja, diferentes operadores com pressões e caudais iguais o consumo de desmoldante não apresenta diferenças significativas.

Tests of Normality_Complexo.3, Complexo.4 e Complexo.5

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Peso	,068	90	,200 [*]	,980	90	,183

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Figura 30: Teste da normalidade aos modelos de produto: Complexo.3, Complexo.4 e Complexo.5. Obtido do *software* IBM SPSS *Statistics* 26.

Com os mesmos dados recolhidos anteriormente, procedeu-se ao estudo da possibilidade de pressões diferentes resultarem em pesos iguais de desmoldante. Para este ensaio procedeu-se ao teste t independente, usando medidas independentes – pressão e peso.

Após ambos os testes anteriores passarem no teste da normalidade, procedeu-se ao teste t independente para comparar se existem diferenças no peso a uma pressão da pistola de 5 kg/cm² e uma pressão 4,5kg/cm².

H0: Não existe diferenças entre as variáveis: pressão 4,5 e pressão 5, no consumo de desmoldante nos modelos de Complexo.

H1: Existe diferenças entre as variáveis: pressão 4,5 e pressão 5, no consumo de desmoldante nos modelos de Complexo.

Numa primeira análise, a Figura 31 refere que para uma pressão de 5 kg/cm² houve 60 observações e para uma pressão de 4,5 kg/cm² uma observação de 90 casos. O consumo de desmoldante com uma pressão 5 kg/cm² resulta numa média de 10,6433gr, sendo superior à média do consumo de desmoldante com uma pressão de 4,5, sendo esta de 8,6687gr.

Group Statistics - Complexo

VAR00002		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pesos	Pressao_4,5	90	8,6687	1,25479	,13227
	Pressao_5	60	10,6433	,70005	,09038

Figura 31: Teste t independente para comparar a média do peso de desmoldante com uma pressão de pistola 5 e 4,5 kg/cm², em modelos Complexo. Obtido do *software* IBM SPSS *Statistics* 26.

Juntando a esta análise, a Figura 32 mostra usando a análise da variância através do teste de Levene, vê-se que $p < 0,05$, logo os dados não são homogêneos, sendo nesse sentido a visualização os dados da linha “*Equal variances not assumed*” na coluna do teste t independente. O resultado do valor de $p = 0$, ou seja $p < 0,05$, rejeitando assim a hipótese nula. Provando que existem diferenças significativas no consumo de desmoldante, quando o operador usa diferentes pressões. Ainda nesta tabela, a média da diferença entre as pressões é de 1,97459 gr (aproximadamente).

Independent Samples Test - Complexo										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Pesos	Equal variances assumed	23,315	,000	-11,086	148	,000	-1,97459	,17812	-2,32658	-1,62260
	Equal variances not assumed			-12,326	144,117	,000	-1,97459	,16019	-2,29123	-1,65796

Figura 32: Resultados ao teste t independente na comparação a média do peso de desmoldante com uma pressão de pistola 5 e 4,5 kg/cm², em modelos Complexo. Obtido do *software* IBM SPSS *Statistics* 26.

Nos produtos de Base realizaram-se 5 provas nos modelos Base.1, Base.2, Base.3, Base.4 e Base.5. Nestas provas os modelos Base.1 e Base.3 trabalharam com uma pressão de 4; o modelo Base.2 com pressão de 3,1; o modelo Base.4 com uma pressão 5 e o modelo Base.5 com uma pressão 4,5. Recordando que o caudal mantém-se fixo em 0,3(3)gr/s.

Tal como foi testado anteriormente para o modelo Complexo, nos modelos Base.1 e Base.3 utilizando iguais pressões e diferentes operadores, realizou-se o teste da normalidade de forma verificar se o consumo de desmoldante é similar em ambos os modelos.

H0: O peso em gr dos produtos de modelo Base, com pressão 4, seguem uma distribuição normal.

H1: O peso em gr dos produtos de modelo Base, com pressão 4, não seguem uma distribuição normal.

Para 60 observações analisadas, o teste *Kolmogorov-Smirnov* é o mais conveniente adequado a este teste. Segundo a Figura 33, o valor de $p=0,2$ e assim $p>0.05$, logo aceita-se a hipótese nula. Por este motivo, não existe diferenças significativas nos diferentes operadores, fixando uma pressão no valor de 4kg/cm².

Tests of Normality_Base.1 e Base.3

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Peso	,080	60	,200*	,973	60	,204

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Figura 33: Teste da normalidade aos modelos de produto: Base.1 e Base.3. Obtido do *software IBM SPSS Statistics 26*.

Os restantes três modelos deste grupo têm diferentes pressões. Novamente se aplicou o teste da normalidade, mas desta vez de forma isolada para estes modelos. O intuito deste teste visa entender se o mesmo operador com a mesma pressão e modelo obtém os mesmos consumos de desmoldante.

H0: O peso em gr dos produtos de modelo Base, com pressão 5 (4,5) (3,1) seguem uma distribuição normal.

H1: O peso em gr dos produtos de modelo Base, com pressão 5 (4,5) (3,1) não seguem uma distribuição normal.

Segundo o teste de *Kolmogorov-Smirnov* da Figura 34, o valor de $p=0,2$ para os três testes, logo $p>0,05$, sendo assim aceita-se a hipótese nula. Não existem diferenças significativas nas várias pressões analisadas, quando o mesmo operador aplica desmoldante.

Tests of Normality_Base.4, Base.5 e Base.2

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Peso_Pressão5	,118	30	,200 [*]	,964	30	,388
Peso_Pressão4,5	,123	30	,200 [*]	,845	30	,000
Peso_Pressão3,1	,110	30	,200 [*]	,970	30	,541

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Figura 34: Teste da normalidade aos modelos de produto: Base.4, Base.5 e Base.2. Obtido do *software* IBM SPSS *Statistics 26*.

Após ambos os testes anteriores passarem no teste da normalidade, com medidas independentes, procedeu-se ao teste t independente para comparar se existem diferenças no peso entre as várias pressões analisadas:

Primeiro par:

H0: Não existe diferenças entres as variáveis: pressão 5 e pressão 4, no consumo de desmoldante nos modelos de Base.

H1: Existe diferenças entres as variáveis: pressão 5 e pressão 4, no consumo de desmoldante nos modelos de Base.

Segundo par:

H0: Não existe diferenças entre as variáveis: pressão 5 e pressão 3,1, no consumo de desmoldante nos modelos de Base.

H1: Existe diferenças entre as variáveis: pressão 5 e pressão 3,1, no consumo de desmoldante nos modelos de Base.

Terceiro par:

H0: Não existe diferenças entre as variáveis: pressão 4 e pressão 3,1, no consumo de desmoldante nos modelos de Base.

H1: Existe diferenças entre as variáveis: pressão 4 e pressão 3,1, no consumo de desmoldante nos modelos de Base.

Quarto par:

H0: Não existe diferenças entre as variáveis: pressão 4 e pressão 4,5, no consumo de desmoldante nos modelos de Base.

H1: Existe diferenças entre as variáveis: pressão 4 e pressão 4,5, no consumo de desmoldante nos modelos de Base.

Quinto par:

H0: Não existe diferenças entre as variáveis: pressão 5 e pressão 4,5, no consumo de desmoldante nos modelos de Base.

H1: Existe diferenças entre as variáveis: pressão 5 e pressão 4,5, no consumo de desmoldante nos modelos de Base.

Sexto par:

H0: Não existe diferenças entre as variáveis: pressão 4,5 e pressão 3,1, no consumo de desmoldante nos modelos de Base.

H1: Existe diferenças entre as variáveis: pressão 4,5 e pressão 3,1, no consumo de desmoldante nos modelos de Base.

Os dados da Figura 35 são resultado da comparação de todas as pressões em pares. Pode-se visualizar que a uma pressão de 5kg/cm² a média do seu peso é a maior, quando comparada com as médias de peso de outras pressões, este valor foi de 7,8396gr. Em contrapartida, a uma pressão de 3,1kg/cm² o seu peso médio é 4,6926 gr. Grosso modo, à medida que a pressão da pistola baixa o seu peso médio também diminui.

Group Statistics - Base (Pressão 4 e 5)					
	Pressao_2	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Pressao_5	30	7,8396	,59799	,10918
	Pressao_4	90	8,8081	1,39213	,14674

Group Statistics - Base (Pressão 3,1 e 5)					
	Pressao_4	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 2	Pressao_3,1	30	4,6926	,68162	,12445
	Pressao_5	30	7,8396	,59799	,10918

Group Statistics - Base (Pressão 3,1 e 4)					
	Pressao_1	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 3	Pressao_3,1	30	4,6926	,68162	,12445
	Pressao_4	90	8,8081	1,39213	,14674

Group Statistics - Base (Pressão 4 e 4,5)					
	Pressao_3	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 4	Pressao_4,5	30	7,5960	,85339	,15581
	Pressao_4	90	8,8081	1,39213	,14674

Group Statistics - Base (Pressão 4,5 e 5)					
	Pressão_6	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 5	Pressao_5	30	7,8396	,59799	,10918
	Pressao_4,5	30	7,5960	,85339	,15581

Group Statistics - Base (Pressão 3,1 e 4,5)					
	Pressao_5	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 6	Pressao_3,1	30	4,6926	,68162	,12445
	Pressao_4,5	30	7,5960	,85339	,15581

Figura 35: Teste t independente para comparar a média do peso de desmoldante com uma pressão de pistola 5; 4,5; 4 e 3,1 kg/cm², nos modelos Base. Obtido do *software IBM SPSS Statistics 26*.

Numa análise mais pormenorizada, a Figura 36 mostra que é feito o teste de Levene para analisar a variância dos dados. Com o valor $p > 0,05$ são os pares: *pair 2*, *pair 4*, *pair 5* e *pair 6* com $p = 0,18$; $p = 0,08$; $p = 0,194$ e $p = 0,267$ respetivamente, sendo assim existe homogeneidade nos dados destes pares. Na análise destes pares na linha “*Equal variances assumed*” e na coluna Teste t independente, o valor de $p = 0$ em todos os pares estudados, exceto o *pair 5*, com um valor de $p = 0,206$. Portanto, apenas no *pair 5* nestes pares aceita-se a hipótese nula, não existindo diferenças significativas no peso de desmoldante para uma pressão 5 e uma pressão 4,5.

Quanto aos restantes pares (*pair 1* e *pair 3*), na coluna do Teste de Levene, ambos têm um $p = 0$, ou seja inferior a 0,05, o que significa que não existe homogeneidade nos dados. Contudo é possível estudar o teste t independente com as variâncias não assumidas como iguais (*Equal variances not assumed*). Mas, também neste teste é o valor de $p = 0$, ou seja $p < 0,05$, então rejeita-se a hipótese nula. O que significa que existem diferenças significativas nas médias dos consumos de desmoldante, entre pressões.

Ainda nesta análise de pares, na coluna das diferenças entre médias (*Mean*), a comparação do quinto par (*pair 5*) apresenta uma diferença menor opondo-se ao terceiro par (*pair 3*) que reflete numa maior diferença de médias, ou seja 0,24356gr e 4,11559gr, respetivamente.

Além destas observações, pode ainda afirmar-se que ao reduzir a pressão o peso de desmoldante também diminui, contudo, esta proporção não é direta. Ou seja, quando se diminui uma unidade de pressão, passando de uma pressão de 5 para 4, o operador coloca, em média, menos 0,96859 gr de desmoldante. Mas quando esta redução é de meia unidade, ou seja, de uma pressão de 5 para 4,5, não implica necessariamente uma redução para metade no peso do desmoldante, como comprovado na Figura 36, resultando num valor de 0,24356gr. De salguardar que estas afirmações não constituem uma verdade absoluta, dado que se está a testar modelos diferentes de Base, com geometrias diferentes, bem como operadores distintos em cada prova.

Independent Samples Test - Base (Pressão 4 e 5)										
		Levene's Test for Equality of Variances				t-test for Equality of Means			95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Pair 1	Equal variances assumed	14,471	,000	-3,691	118	,000	-,96859	,26243	-1,48828	-,44890
	Equal variances not assumed			-5,296	110,702	,000	-,96859	,18290	-1,33104	-,60615

Independent Samples Test - Base (Pressão 3,1 e 5)										
		Levene's Test for Equality of Variances				t-test for Equality of Means			95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Pair 2	Equal variances assumed	,011	,918	-19,009	58	,000	-3,14700	,16555	-3,47838	-2,81562
	Equal variances not assumed			-19,009	57,034	,000	-3,14700	,16555	-3,47850	-2,81550

Independent Samples Test - Base (Pressão 3,1 e 4)										
		Levene's Test for Equality of Variances				t-test for Equality of Means			95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Pair 3	Equal variances assumed	13,416	,000	-15,551	118	,000	-4,11559	,26465	-4,63968	-3,59151
	Equal variances not assumed			-21,390	101,667	,000	-4,11559	,19241	-4,49725	-3,73394

Independent Samples Test - Base (Pressão 4 e 4,5)										
		Levene's Test for Equality of Variances				t-test for Equality of Means			95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Pair 4	Equal variances assumed	7,194	,008	-4,489	118	,000	-1,21215	,27004	-1,74690	-,67740
	Equal variances not assumed			-5,663	82,193	,000	-1,21215	,21403	-1,63791	-,78639

Independent Samples Test - Base (Pressão 4,5 e 5)										
		Levene's Test for Equality of Variances				t-test for Equality of Means			95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Pair 5	Equal variances assumed	1,730	,194	1,280	58	,206	,24356	,19025	-,13727	,62438
	Equal variances not assumed			1,280	51,946	,206	,24356	,19025	-,13822	,62533

Independent Samples Test - Base (Pressão 3,1 e 4,5)										
		Levene's Test for Equality of Variances				t-test for Equality of Means			95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Pair 6	Equal variances assumed	1,255	,267	-14,560	58	,000	-2,90344	,19941	-3,30260	-2,50429
	Equal variances not assumed			-14,560	55,298	,000	-2,90344	,19941	-3,30301	-2,50388

Figura 36: Resultados ao Teste t independente na comparação a média do peso de desmoldante com uma pressão de pistola 5; 4,5; 4 e 3,1 kg/cm², em modelos Base. Obtido do *software* IBM SPSS *Statistics* 26.

Por último analisou-se a normalidade nas provas feitas aos dois modelos de Moderado: Moderado1 e Moderado2, ambos com pressões diferentes – um modelo com 4,5kg/cm² e o outro 3,1kg/cm² – e usando o caudal de pistola fixado em 0,3(3)gr/s. Aplicou-se o teste da normalidade para cada um deles, de forma a testar se existia diferenças significativas no consumo de desmoldante com o mesmo operador.

H0: O peso em gr dos produtos de modelo Moderado, com pressão 4,5 (3,1) segue uma distribuição normal.

H1: O peso em gr dos produtos de modelo Moderado, com pressão 4,5 (3,1) não segue uma distribuição normal.

Com os resultados obtidos no teste da normalidade, apresentado na Figura 37, evidencia-se que tanto com uma pressão de 4,5 ou uma pressão de 3,1 o valor de $p > 0,05$, sendo este valor $p = 0,197$ e $p = 0,655$, respetivamente. Deste modo aceita-se a hipótese nula, não existindo diferenças significativas no peso do desmoldante com o mesmo operador.

Tal como nos outros grupos anteriores analisados, cada operador coloca sempre a mesma quantidade de desmoldante ao longo da sua produção.

Tests of Normality_Moderado.1 e Moderado.2

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Peso_Pressão4,5	,144	30	,112	,952	30	,197
Peso_Pressão3,1	,090	30	,200 [*]	,974	30	,655

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Figura 37: Teste da normalidade aos modelos de produto: Moderado.1 e Moderado.2. Obtido do *software* IBM SPSS *Statistics* 26.

Nas duas provas realizadas ao grupo Moderado, prosseguiu-se ao estudo da possibilidade de pressões diferentes corresponderem a pesos semelhantes. Para este ensaio, com medidas independentes, voltou-se a aplicar o teste t independente.

H0: Não existe diferenças entre as variáveis: pressão 4,5 e pressão 3,1, no consumo de desmoldante nos modelos de Moderado.

H1: Existe diferenças entre as variáveis: pressão 4,5 e pressão 3,1, no consumo de desmoldante nos modelos de Moderado.

Através da análise da Figura 38, com observações de 30 casos para as diferentes pressões, a média do peso de desmoldante que o operador coloca em cada produto, para uma pressão de 4,5 este é de 7,5053gr e inferior a 7,1921gr quando sujeito a uma pressão de 3,1.

Group Statistics - Moderado

	Pressão	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Peso	Pressao_3,1	30	7,1921	,61741	,11272
	Pressão 4,5	30	7,5053	,48972	,08941

Figura 38: Teste t independente para comparar a média do peso de desmoldante com uma pressão de pistola 4,5 e 3,1kg/cm², nos modelos Moderado. Obtido do *software IBM SPSS Statistics 26*.

Na Figura 39, na primeira coluna mostra é feito o teste de Levene para avaliar a igualdade dos dados, como $p > 0,05$, os dados são homogêneos. Sendo assim, na segunda coluna, e na primeira linha, avalia é feito o teste t independente e apesar desta ligeira diferença de 0,31322gr, o valor de $p = 0,034$, sendo inferior a 0,05, rejeitando-se a hipótese nula. Ou seja, existem diferenças significativas no consumo de desmoldante com pressões diferentes e entre operadores diferentes.

Independent Samples Test - Moderado										
		Levene's Test for Equality of Variances				t-test for Equality of Means				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Peso	Equal variances assumed	,440	,510	-2,177	58	,034	-,31322	,14388	-,60122	-,02522
	Equal variances not assumed			-2,177	55,142	,034	-,31322	,14388	-,60154	-,02490

Figura 39: Resultados ao Teste t independente na comparação a média do peso de desmoldante com uma pressão de pistola 4,5 e 3,1kg/cm², em modelos Moderado. Obtido do *software IBM SPSS Statistics 26*.

Com a interpretação de todos os testes de hipóteses desenvolvidos ao longo deste capítulo, conclui-se que consoante a pressão aumenta em kg/cm², o consumo de desmoldante também aumenta por produto, apesar desse aumento não ser proporcional mesmo quando comparado nos mesmos modelos.

Percebe-se também que com um caudal, uma pressão e um modelo igual, mas com diferentes operadores, o consumo de desmoldante não apresenta diferenças significativas.

Ainda, os diferentes operadores em prova têm níveis de formação diferentes o que explica que, independentemente da experiência e capacidade do trabalhador, a quantidade do consumo de desmoldante não apresenta diferenças significativas.

Qualidade da espuma, Temperatura do molde e tempo de cura

As variáveis de qualidade de espuma, temperatura do molde e tempo de cura são consideradas como causas de pegados e/ou manchas de desmoldante no produto, anteriormente discutidas nos diagramas de causa e efeito da secção 4.3.2 “Aplicação de desmoldante”. Contudo, de acordo com as informações obtidas pela equipa de Engenharia da fábrica, apesar de existir uma associação com os defeitos enunciados, estas não estão diretamente relacionadas com o desempenho do desmoldante.

A qualidade da espuma é medida no início de cada turno pelo total de máquinas de injeção em fábrica, onde é calculado a densidade da mesma. Segundo a consulta da lista dos parâmetros, a densidade encontra-se predominantemente entre 155-175 gramas por litro (gr/l). Estes parâmetros são considerados adequados e confirmam que a qualidade de espuma não tem influência na aplicação do desmoldante.

O mesmo acontece com a temperatura do molde de injeção no desempenho do desmoldante. De acordo com a ficha técnica do desmoldante, já referenciado na secção 4.1.2 “Aplicação de desmoldante”, a temperatura ideal no molde terá de estar compreendida entre os 35-65°C, de forma a obter um bom desempenho de desmoldante. Mediante as variações de temperatura dos moldes de injeção a aplicação do mesmo não fica comprometida visto se encontrar entre $60\pm 3^{\circ}\text{C}$.

Por fim, o tempo de cura não influencia igualmente a qualidade da aplicação do desmoldante. Embora possam surgir produtos pegados devido a uma precoce abertura do molde, esta não terá implicações maiores no desempenho do desmoldante.

4.4 Implementar melhorias

De acordo com os resultados obtidos na etapa anterior, nesta etapa serão apresentadas e implementadas oportunidades de melhoria, a fim de combater o problema do projeto.

4.4.1 Plano de Ações

A presente autora da dissertação em conjunto com a sua equipa do projeto, analisaram todos os parâmetros e considerações do desmoldante e sua influência, de forma a encontrar focos de melhoria e, posteriormente, otimização do químico no processo em fábrica.

Assim, este grupo de trabalho agendou um plano de ações que é possível visualizar na Tabela 2, onde enumeram os critérios a melhorar com o desmoldante. Para cada um desses critérios são definidos problemas e as suas causas raiz da implicação deste químico na indústria. Seguidamente são apresentadas ações corretivas bem como a sua implementação, com o intuito de responder aos objetivos do projeto.

Tabela 2: Plano de Ações. Adaptação própria.

Plano de Ações						
ID	Data inicial	Descrição do problema	Descrição da causa raiz	Ação corretiva	Implementação da melhoria	Data Final
1	21/12/2020	Na troca de bidão de desmoldante de reposição existe uma parte do produto que não é sugada pelo bidão de trabalho, trazendo um retrabalho para o operador de manutenção.	O bidão de reposição é posto numa base plana.	Medição do ângulo de inclinação necessário para que o bidão de trabalho consiga sugar todo o produto do bidão de reposição.	Aplicação de um socalco no bidão de reposição.	02/02/2021
2	28/09/2020	Parâmetros de processo igual, para a aplicação de desmoldante, em todos os modelos de produtos.	A diferença de modelos de produtos é significativa pela sua composição e geometria, pelo que os parâmetros de processo não poderão ser iguais para todos.	Realização de uma DOE entre os três diferentes grupos de produtos, com diferentes níveis de variáveis.	Atualização dos Parâmetros de processo para cada produto na linha de produção e na documentação.	03/03/2021
3	28/09/2020	Crítérios iguais para os diferentes níveis de formação.	A experiência e desempenho do operador varia consoante o seu nível de formação, pelo que os parâmetros de processo não poderão ser definidos iguais para todos os operadores.	Realização de uma DOE juntamente com outras variáveis de forma a encontrar um <i>standard</i> para cada nível de formação.	Atualização dos Parâmetros de processo para cada nível de formação do operador. Investimento em formação.	03/03/2021
4	28/09/2020	Diferentes pressões da pistola de desmoldante entre os mesmos modelos de produto e operadores.	O operador adapta a pressão consoante o seu método de trabalho e os outros parâmetros.	Realização de uma DOE juntamente com outras variáveis de forma a encontrar um <i>standard real</i>	Modificação do Parâmetro na documentação. A fixação da pressão deverá ser feita pelo operador responsável pela troca do molde.	03/03/2021
5	28/09/2020	Diferente caudal da pistola de desmoldante entre os mesmos modelos de produto e operadores.	O operador adapta o caudal consoante o seu método de trabalho e os outros parâmetros.	Realização de uma DOE juntamente com outras variáveis de forma a encontrar um <i>standard real</i>	Modificação do Parâmetro na documentação. A fixação do caudal deverá ser feita pelo operador responsável pela troca do molde.	03/03/2021
6	28/09/2020	Irregularidades no tempo de aplicação de desmoldante no molde.	Aplicação do desmoldante no molde não é uniforme.	Realização de uma DOE juntamente com outras variáveis de forma a encontrar um <i>standard real</i>	Modificação do Parâmetro na documentação. A fixação do tempo deverá ser feita pelo operador responsável pela troca do molde.	03/03/2021
7	28/10/2020	Ângulo do molde de injeção não está ajustado à aplicação de desmoldante	Na zona de inclinação do molde o desmoldante escorrega nas suas paredes. A inclinação do molde cobre algumas zonas mais robustas do molde.	Realização de uma DOE juntamente com outras variáveis de forma a encontrar um <i>standard real</i>	Modificação do Parâmetro na documentação. A fixação da inclinação do molde deverá ser feita pelo operador responsável pela troca do molde.	03/03/2021
8	28/09/2020	Acumulação de cera e sujidade nos moldes e pistolas.	A frequência de limpeza habitual não é adequada para todos os modelos de produtos.	Realização de uma DOE juntamente com outras variáveis de forma a encontrar um <i>standard real</i> .	Redefinir a regularidade de limpeza dos moldes de injeção e pistolas.	03/03/2021
9	02/02/2021	Falha na aplicação de desmoldante nas zonas críticas do produto.	Robustez da zona crítica, o descuido na manobrarão da pistola e a distração nessas zonas.	Nos moldes de injeção em fábrica devem ser detetados as zonas críticas.	Colocação de tratamento de aço - <i>Balinit</i> de cor dourada nas zonas críticas, de forma a alertar o operador nessas áreas.	02/02/2022
				Nos moldes de lançamento deverão ter em conta as zonas críticas.		n.d.

Para se atualizar toda a informação documentada em fábrica relativa ao consumo de desmoldante por produto injetado, importa conhecer a quantidade real de desmoldante a ser utilizada, de modo a obter um produto OK.

De acordo com o que foi descrito na tabela acima, o ajustamento dos parâmetros: modelo de produto, nível de formação do operador, frequência de limpeza do molde e pistola, caudal da pistola, pressão da pistola, tempo de uso da pistola e inclinação do molde, resultará na otimização do processo. Neste sentido, será feito um plano de experiências utilizando o Método Taguchi.

Aplicação do Método de Taguchi ao processo de consumo de desmoldante

Com o intuito de definir ótimos parâmetros de controlo para o consumo de desmoldante será realizado uma DOE, baseado no Método Taguchi.

Para alcançar os objetivos desta fase, serão realizadas três experiências pelo grupo de modelos.

Segundo Yang e El-haik (2003), para a aplicação do Método de Taguchi devem ser percorridos os seguintes passos:

- Passo 1: Definição do projeto;
- Passo 2: Seleção das variáveis de resposta;
- Passo 3: Escolha de fatores, níveis e variáveis;
- Passo 4: Seleção de um desenho de experiências;
- Passo 5: Desempenho das experiências;
- Passo 6: Análise dos dados do desenho de experiências;
- Passo 7: Conclusões e recomendações.

Seguidamente segue-se a descrição para cada uma das etapas do método.

Passo 1: Definição do projeto

A razão pela qual é realizada a presente DOE deve-se à não existência de uma informação real da aplicação e do consumo de desmoldante nos produtos injetados, refletindo-se assim num elevado *stock* de bidões de desmoldante em armazém de entrada bem como para a sucata da empresa.

Sendo, assim torna-se importante definir uma quantidade precisa de desmoldante por produto ou por grupos de modelos de produto.

Passo 2: Seleção das variáveis de resposta

A variável de resposta – *y* - será um produto injetado sem defeitos de pegados e de manchas de desmoldante. Esta variável quantitativa, de preferência contínua é facilmente medida de forma visual.

Passo 3: Escolha de fatores, níveis e variáveis

Os fatores que influenciam o *output* são as possíveis causas raiz identificadas na etapa Analisar. Constituem parâmetros que podem ser alterados pelo operador e máquina e estão relacionados com o processo e com o método de trabalho.

Na Tabela 3 são apresentados os fatores ruído que contribuem para o problema do projeto.

Tabela 3: Apresentação dos fatores- ruído para a DOE. Adaptação própria

Nome do fator	Código do fator	Descrição	Unidade
Nível de formação do operador	A	Define o grau de experiência e desempenho do operador para a função de injeção.	escala de 2-5
Pressão	B	Define a força do desmoldante saída pela pistola por unidade de área.	kg/cm ²
Caudal	C	Define a quantidade de desmoldante em gramas na saída da pistola por segundo.	gr/s
Tempo	D	Contabiliza os segundos em que o operador coloca desmoldante no molde em cada produto.	s/produto
Ângulo de injeção	E	Define o grau do molde com que o operador aplica desmoldante.	Grau (°)
Frequência de limpeza molde	F	Contabiliza o número de vezes que o molde de injeção é limpo durante um turno.	número de vezes/turno

Neste passo reagruparam-se os fatores ruído pelos diferentes grupos de modelos e, para cada modelo estabeleceu-se dois níveis diferentes. Os valores destes níveis foram criados com intuito de validar conclusões resultantes do processo Analisar.

A Tabela 4 mostra os níveis estabelecidos para os modelos Complexo, nos seus diversos fatores.

Devido a complexidade deste modelo optou-se pela divisão de dois em dois níveis de formação do operador e um tempo de aplicação de desmoldante mais elevado. Comparativamente aos outros modelos, sendo este mais suscetível a manchas de desmoldante, atribuíram-se níveis de pressão mais altos, caudais e ângulos de injeção mais baixos. Ainda por esta razão a frequência de limpeza também é mais frequente para este modelo de produtos.

Tabela 4: Níveis para cada fator-ruído, nos modelos Complexo para DOE. Adaptação própria.

Modelos Complexo					
Nome do fator	Código do fator	Níveis		Código dos níveis	
		1.º	2.º	1.º	2.º
Nível de formação do operador	A	≤3	>3	1	2
Pressão	B	3,5±0,5	4,5±0,5	1	2
Caudal	C	0,26±0,03	0,31±0,03	1	2
Tempo	D	24±3	30±2	1	2
Ângulo de injeção	E	≤8	≥9	1	2
Frequência de limpeza molde	F	2	3	1	2

A Tabela 5 referente ao modelo de produtos Base onde evidencia os dois níveis para cada fator.

Por se tratar do tipo de produto menos complexo no que respeita à sua elaboração, neste sentido distribui-se o nível de formação do operador em dois níveis, sendo que o primeiro nível engloba todos os níveis de formação, excepto o nível 5 que se encontra no segundo nível. Na mesma linha raciocínio, o tempo de aplicação de desmoldante é mais curto, bem como a frequência de limpeza menos regular. Visto se tratar de um modelo de produto mais propício a pegados foram estabelecidos níveis com pressões mais baixas, caudais e ângulo de injeção mais altos.

Tabela 5: Níveis para cada fator-ruído, nos modelos Base para DOE. Adaptação própria.

Modelos Base					
Nome do fator	Código do fator	Níveis		Código dos níveis	
		1.º	2.º	1.º	2.º
Nível de formação do operador	A	≤4	5	3	4
Pressão	B	3±0,5	3,5±0,5	3	4
Caudal	C	0,28±0,02	0,33±0,02	3	4
Tempo	D	15±2	21±2	3	4
Ângulo de injeção	E	≤12	≥13	3	4
Frequência de limpeza molde	F	1	2	3	4

No que concerne ao modelo de produto Moderado, na Tabela 6, pode considerar-se que este comporta níveis de fatores comuns aos dois outros modelos anteriores, afirmando tratar-se assim de um modelo de produto de complexidade intermédia na sua execução. Neste sentido, e tal como acontece no modelo Complexo, o nível de formação do operador divide-se de dois em dois níveis e com uma regularidade na frequência de limpeza. Estabeleceram-se níveis intermédios para os fatores pressão, caudal, tempo e ângulo de injeção visto se tratar de um modelo de produto com tendência a pegados no interior do mesmo e a manchas de desmoldante nas suas inclinações.

Tabela 6: Níveis para cada fator-ruído, nos modelos Moderado para DOE. Adaptação própria.

Modelos Moderado					
Nome do fator	Código do fator	Níveis		Código dos níveis	
		1.º	2.º	1.º	2.º
Nível de formação do operador	A	≤3	>3	5	6
Pressão	B	3,5±0,5	4±0,5	5	6
Caudal	C	0,26±0,02	0,33±0,01	5	6
Tempo	D	19±1	23±2	5	6
Ângulo de injeção	E	≤10	>10	5	6
Frequência de limpeza molde	F	2	3	5	6

Os três grupos de modelos de produto em experiências compõem-se em 6 fatores ($k = 6$), então de acordo com o Método de Taguchi: $N=2^k$, assim o número de experiências a realizar será 64 ($N=2^6$).

Passo 4: Seleção do desenho de experiências

No Apêndice I - Seleção do desenho de experiências, podem ser consultadas as tabelas: Figura 40, Figura 41 e Figura 42, o desenho das 64 experiências, cada uma com três repetições, a serem realizadas de modo a encontrar a conjugação ideal de fatores, para o consumo de desmoldante por cada grupo de modelos de produto.

Por razões descritas mais à frente na secção 5.2 “Limitações do projeto”, o projeto fica interrompido nesta fase.

4.5 Controlar

A eficiência do projeto será medida através dos KPI's estipulados no *Project Charter*, na etapa Definir e de acordo com o alvo que se pretendia atingir:

- Número de bidões de desmoldante no armazém de entrada;

- Proporção de defeitos de pegados nos produtos injetados;
- Proporção de defeitos de manchas de desmoldante nos produtos injetados.

Uma vez que o projeto foi interrompido na fase Implementar melhorias, por motivo descrito pela autora da dissertação na secção 5.2 “Limitações do projeto”. Assim, acordado com a equipa do projeto, posteriormente à implementação dos planos de ação estabelecidos na etapa Implementar melhorias, será importante a realização de um FMEA para identificação de possíveis falhas e/ou na deteção de eventuais consequências em outras variáveis de trabalho, pela alteração dos critérios para a melhoria do consumo de desmoldante.

5. CONCLUSÃO

Neste último capítulo são apresentadas as principais conclusões e limitações do projeto. Por fim, a autora da dissertação irá apresentar sugestões de trabalhos futuros a desenvolver na empresa, após a implementação deste trabalho.

5.1 Conclusões

O propósito inicial desta dissertação era reduzir o inventário de bidões de desmoldante em armazém de entrada bem como os custos envolvidos neste desvio de inventário.

Numa primeira análise de consumo de desmoldante descobriu-se que este produto era apenas usado nos moldes de injeção do processo em análise, e que a sua incorreta aplicação implicava produtos injetados com defeitos: pegados e manchas. Estes defeitos correspondiam a 21,8% de sucata total de injetados em julho de 2019. Para reduzir o inventário de bidões seria primeiro necessário definir o consumo certo deste químico para cada produto, de modo a obter um produto OK.

Tendo por conhecimento os dados acima citados, à autora da dissertação foi confiada a resolução deste problema, em conjunto com uma equipa multidisciplinar. Neste âmbito definiu-se a realização de um projeto Seis Sigma, recorrendo à metodologia DMAIC, de modo a obter uma solução o mais eficiente possível para este problema.

Após uma verificação aprofundada da documentação utilizada pela empresa, dos parâmetros a serem definidos e da realidade constatada na produção referente ao desmoldante, concluiu-se que estes três fatores não eram concordantes entre eles. Como tal tornou-se necessário realizar um estudo ao processo, tanto na troca de bidão de desmoldante como na produção onde este era utilizado, de modo a ir ao encontro daquele que era o principal objetivo deste projeto.

De forma a desvendar a quantidade certa de desmoldante, procedeu-se a um *brainstorming* com a equipa de trabalho e retiraram-se diversas variáveis envolvidas no consumo do químico. Com estas variáveis realizou-se uma série de experiências agrupando os modelos de produtos, o nível de formação do operador, a pressão, o caudal, o tempo e o ângulo de injeção adequado a cada produto e operador. A frequência de limpeza seria outra variável a ter em conta nos modelos de produtos.

Outro fator em estudo foram as zonas críticas do produto, presentes em cada modelo e caracterizadas por inúmeros detalhes aos quais se devem ter especial atenção. Nesta linha de raciocínio este parâmetro revela-se fulcral para evitar pegados. Ainda que, as variáveis anteriores estejam controladas, a incorreta colocação deste químico nestas zonas pode resultar numa não conformidade.

No que concerne à resposta para o problema definido no início deste projeto, relativamente à inexistência real de um intervalo que optimize o consumo de desmoldante por produto ficou suspensa, como será relatado na secção seguinte.

Embora encontradas as principais variáveis para a redução de sucata por causas de desmoldante, bem como a redução do inventário de bidões em armazém de entrada, não foram definidos parâmetros que otimizem estas variáveis, por interrupção ao projeto. Contudo, aquando da aplicação destes mesmos parâmetros ajustados, consegue-se apontar para o alcance de uma melhoria do processo, respondendo assim aos objetivos inicialmente propostos neste trabalho.

Conclui-se ainda que ao encontrar o consumo real de desmoldante no momento permitirá efetuar um pedido de bidão junto do fornecedor somente quando este é necessário, evitando o excesso de bidões em armazém de entrada e, por consequência, a redução do valor financeiro dos custos de posse e o aprovisionamento deste em armazém. Por outro lado, a otimização da quantidade e aplicação deste químico traduz-se numa redução da variabilidade do processo de Injeção, aumentando assim o nível de qualidade sigma.

A importância da obtenção de um processo constante de desmoldante promove uma condução mais limpa – uma racionalização máxima dos recursos – e, segura – aproximando-se o máximo possível das especificações do cliente na definição de produto.

5.2 Limitações do projeto

Contextualizando o desenrolar do projeto em termos temporais, este coincidiu com o surgimento de uma pandemia, com um importante impacto em vários setores a nível mundial. Por esta razão, o trabalho em curso foi interrompido.

Por questões de segurança e saúde pública, a empresa onde a autora fez a dissertação contribuiu, dentro dos possíveis da situação vivida na época, para o necessário em termos de produção, sendo o seu objetivo assegurar a saúde dos seus Recursos Humanos.

O projeto teve uma primeira interrupção na etapa Analisar, uma vez que esta coincidiu com o início da pandemia e do confinamento obrigatório imposto no país. O projeto retomou no mês de julho até ao período de estágio previsto na empresa para a autora. Atualmente, este encontra-se em espera devido à falta de recursos humanos na empresa consequência da pandemia, ao abrandamento da produção e essencialmente às medidas de saúde pública ainda em vigor na sociedade.

Não existe uma data prevista para a finalização deste trabalho já iniciado, todavia, é esperado que quando as condições mundiais permitirem o levantar de determinadas medidas, a restante equipa possa dar conclusão a este projeto. Tudo isto levou a uma reestruturação do *Project Charter*.

De salientar ainda dois outros fatores limitadores neste processo. Um deles prende-se com o facto da aplicação do desmoldante ser feita de forma manual. Apesar de se categorizar a experiência do operador e de se determinarem parâmetros para a sua capacidade, será (para já) impossível afirmar com exatidão um número *standard*. O segundo diz respeito à existência de diversos modelos de produtos e com geometrias diferentes. Ainda que divididos em grupos de modelos, bem como o estabelecimento de parâmetros para os mesmos, existirá sempre uma margem de erro na quantidade certa de desmoldante a aplicar.

5.3 Trabalhos futuros

Os elevados gastos em químicos por parte da empresa despoletaram interesse no tema em estudo para este trabalho. Ao longo do projeto verificou-se que não existia concordância entre aquilo que estava colocado nos parâmetros de controlo e aquilo que realmente acontecia em linha, levantando como hipótese possível o desvio de inventário.

Para a autora da dissertação, padronizar os parâmetros de consumo dos componentes aquando do lançamento de um novo modelo bem como, a não pormenorizada informação relativa à quantidade de desmoldante a utilizar no fabrico de produtos, não contribui para os benefícios financeiros da empresa.

Sendo o processo de Injeção o mais manual de todos os processos da fábrica, esta variável torna-se praticamente impossível de se medir. Neste sentido será necessário criar intervalos de trabalho entre operador e os modelos de produtos.

Nesta perspectiva de melhoria, a autora de dissertação propõe que se façam esforços para projetos futuros relacionados com a aplicação de outros químicos na injeção do produto, acompanhados de uma pesquisa e análise deste problema, visando o alcance de oportunidades de melhoria.

Projetos desta natureza, não contribuem apenas para a melhoria dos processos de produção, logística e contabilidade, como também para a melhoria do produto final, mas sobretudo para a otimização das aptidões dos trabalhadores nos seus postos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdolshah, M., & Yusuff. (2008). Fundamental elements for the successful performance of Six Sigma projects in service industries. *11th International Conference. Quality Management and Organizational Development Attainig Sustainability from Organizational Excellence to Sustainable Excellence*.
- Aboelmaged, M. G. (2011). Reconstructing Six Sigma barriers in manufacturing and service organizations: The effects of organizational parameters. *International Journal of Quality and Reliability Management*. <https://doi.org/10.1108/02656711111132562>
- Alexander, M. (2001). Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations. *Technometrics*. <https://doi.org/10.1198/tech.2001.s622>
- Alsmadi, M., Lehaney, B., & Khan, Z. (2012). Implementing six sigma in Saudi Arabia: An empirical study on the fortune 100 firms. *Total Quality Management and Business Excellence*. <https://doi.org/10.1080/14783363.2011.637814>
- Antony, J. (2004). Some pros and cons of six sigma: An academic perspective. In *TQM Magazine*. <https://doi.org/10.1108/09544780410541945>
- Antony, J., Gijo, E. V., & Childe, S. J. (2012). Case study in Six Sigma methodology: Manufacturing quality improvement and guidance for managers. *Production Planning and Control*. <https://doi.org/10.1080/09537287.2011.576404>
- Arnheiter, E. D., & Maleyeff, J. (2005). The integration of lean management and Six Sigma. *The TQM Magazine*. <https://doi.org/10.1108/09544780510573020>
- Arumugam, V., Antony, J., & Kumar, M. (2013). Linking learning and knowledge creation to project success in Six Sigma projects: An empirical investigation. *International Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.09.003>
- Badri, M. A., Davis, D., & Davis, D. (2000). Operations strategy, environmental uncertainty and performance: A path analytic model of industries in developing countries. *Omega*. [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(99\)00041-9](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(99)00041-9)
- Barbosa, G. F., de Carvalho, J., & Pereira de Souza, C. H. (2014). Deployment of a laser projection solution for stripes plotting based on Six Sigma DMAIC methodology applied to aircraft painting shop. *Production and Manufacturing Research*. <https://doi.org/10.1080/21693277.2014.943432>
- Barney, M. (2002). Motorola ' s Second Generation. *Six Sigma Forum Magazine*.
- Besunder, J. B., & Super, D. M. (2012). Lean six sigma: Trimming the fat! Effectively managing precious resources. In *Critical Care Medicine*. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3182372bd4>
- Chen, M., & Lyu, J. (2009). A Lean Six-Sigma approach to touch panel quality improvement. *Production Planning and Control*. <https://doi.org/10.1080/09537280902946343>
- Coronado, R. B., & Antony, F. (2002). Critical success factors for the successful implementation of six

- sigma projects in organisations. *TQM Magazine*. <https://doi.org/10.1108/09544780210416702>
- Dahlgaard, J. J., & Dahlgaard-Park, S. M. (2006). Lean production, six sigma quality, TQM and company culture. *TQM Magazine*. <https://doi.org/10.1108/09544780610659998>
- Fryer, K. J., Antony, J., & Douglas, A. (2007). Critical success factors of continuous improvement in the public sector. *The TQM Magazine*. <https://doi.org/10.1108/09544780710817900>
- Gardner, M. M., (2000). Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods. *Technometrics*. <https://doi.org/10.2307/1271088>
- Gijo, E. V., Scaria, J., & Antony, J. (2011). Application of six sigma methodology to reduce defects of a grinding process. *Quality and Reliability Engineering International*. <https://doi.org/10.1002/qre.1212>
- Goh, T. N. (2002). A strategic assessment of Six Sigma. In *Quality and Reliability Engineering International*. <https://doi.org/10.1002/qre.491>
- Gutiérrez, L. J. G., Bustinza, O. F., & Molina, V. B. (2012). Six sigma, absorptive capacity and organisational learning orientation. *International Journal of Production Research*. <https://doi.org/10.1080/00207543.2010.543175>
- Hensley, R. L., & Dobie, K. (2005). Assessing readiness for six sigma in a service setting. In *Managing Service Quality*. <https://doi.org/10.1108/09604520510575281>
- Jirasukprasert, P., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., & Lim, M. K. (2015). A six sigma and dmaic application for the reduction of defects in a rubber gloves manufacturing process. *International Journal of Lean Six Sigma*. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2013-0020>
- Johnson, A., & Swisher, B. (2003). How six sigma improves R&D. *Research Technology Management*. <https://doi.org/10.1080/08956308.2003.11671549>
- Kiran, D. R. (2016). Total Quality Management: Key Concepts and Case Studies. In *Total Quality Management: Key Concepts and Case Studies*.
- Koch, P. N., Yang, R. J., & Gu, L. (2004). Design for six sigma through robust optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. <https://doi.org/10.1007/s00158-003-0337-0>
- Kuei, C. (2004). Leading Six Sigma – A Step-by-Step Guide Based on Experience with GE and Other Six Sigma Companies. Ronald D. Snee and Roger W. Hoerl. Leading Six Sigma – A Step-by-Step Guide Based on Experience with GE and Other Six Sigma Companies . Prentice-Hall, . *International Journal of Quality & Reliability Management*. <https://doi.org/10.1108/02656710410530136>
- Kumar, M., Antony, J., Antony, F. J., & Madu, C. N. (2007). Winning customer loyalty in an automotive company through Six Sigma: A case study. *Quality and Reliability Engineering International*. <https://doi.org/10.1002/qre.840>
- Kumar, U. D., Crocker, J., Chitra, T., & Saranga, H. (2006). Reliability and six sigma. In *Reliability and Six Sigma*. <https://doi.org/10.1007/0-387-30256-5>

- Kwak, Y. H., & Anbari, F. T. (2006). Benefits, obstacles, and future of six sigma approach. *Technovation*. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2004.10.003>
- Laureani, A., & Antony, J. (2012). Critical success factors for the effective implementation of Lean Sigma. *International Journal of Lean Six Sigma*. <https://doi.org/10.1108/20401461211284743>
- Linderman, K., Schroeder, R. G., Zaheer, S., & Choo, A. S. (2003). Six Sigma: A goal-theoretic perspective. *Journal of Operations Management*. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00087-6](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00087-6)
- McAdam, R., & Lafferty, B. (2004). A multilevel case study critique of six sigma: Statistical control or strategic change? *International Journal of Operations and Production Management*. <https://doi.org/10.1108/01443570410532579>
- Montgomery, D. C., & Woodall, W. H. (2008). An overview of six sigma. In *International Statistical Review*. <https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2008.00061.x>
- Palkhe, S. V. (2020). Six Sigma DMAIC Methodology. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2020.31081>
- Pepper, M. P. J., & Spedding, T. A. (2010). The evolution of lean Six Sigma. In *International Journal of Quality and Reliability Management*. <https://doi.org/10.1108/02656711011014276>
- Pereira, J., Silva, F. J. G., Bastos, J. A., Ferreira, L. P., & Matias, J. C. O. (2019). Application of the A3 methodology for the improvement of an assembly line. *Procedia Manufacturing*. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.101>
- Pyzdek, T. (2003). The Six Sigma Handbook - A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels. *Search*. <https://doi.org/10.1036/0071415963>
- Smith, L. R., & Phadke, M. S. (2005). Some thoughts about problem solving in a DMAIC framework. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*. <https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2005.006428>
- Staudter, C., von Hugo, C., Bosselmann, P., Mollenhauer, J.-P., Meran, R., & Roenpage, O. (2013). Design for Six Sigma+Lean Toolset. In *Design for Six Sigma+Lean Toolset*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-00828-4>
- Swarnakar, V., & Vinodh, S. (2016). Deploying Lean Six Sigma framework in an automotive component manufacturing organization. *International Journal of Lean Six Sigma*. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2015-0023>
- Tjahjono, B., Ball, P., Vitanov, V. I., Scorzafave, C., Nogueira, J., Calleja, J., Minguet, M., Narasimha, L., Rivas, A., Srivastava, A., Srivastava, S., & Yadav, A. (2010). Six sigma: A literature review. *International Journal of Lean Six Sigma*. <https://doi.org/10.1108/20401461011075017>
- Vijaya Sunder, M., & Kunnath, N. R. (2020). Six Sigma to reduce claims processing errors in a healthcare payer firm. *Production Planning and Control*. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1652857>
- Voehl, F., Harrington, H. J., Mignosa, C., & Charron, R. (2013). The lean six sigma black belt handbook: Tools and methods for process acceleration. In *The Lean Six Sigma Black Belt Handbook: Tools*

and Methods for Process Acceleration. <https://doi.org/10.1201/b15163>

Wiklund, H., & Wiklund, P. S. (2002). Widening the Six Sigma concept: An approach to improve organizational learning. *Total Quality Management.* <https://doi.org/10.1080/09544120120102469>

Yang, K., & El-haik, B. (2003). Design for Six Sigma A Roadmap for Product Development. In *McGraw Hill Professional.*

Zheng, J., Liu, X., Xu, P., Liu, P., Zhao, Y., & Yang, J. (2012). Development of high pressure gaseous hydrogen storage technologies. *International Journal of Hydrogen Energy.* <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.02.125>

Zu, X., Fredendall, L. D., & Douglas, T. J. (2008). The evolving theory of quality management: The role of Six Sigma. *Journal of Operations Management.* <https://doi.org/10.1016/j.jom.2008.02.001>

APÊNDICE I – SELEÇÃO DO DESENHO DE EXPERIÊNCIAS

Modelos Complexo									
Teste	Fatores (Z)						Resposta (Y)		
	A	B	C	D	E	F	1	2	3
1	1	1	1	1	1	1			
2	1	1	1	1	1	2			
3	1	1	1	1	2	1			
4	1	1	1	1	2	2			
5	1	1	1	2	1	1			
6	1	1	1	2	1	2			
7	1	1	1	2	2	1			
8	1	1	1	2	2	2			
9	1	1	2	1	1	1			
10	1	1	2	1	1	2			
11	1	1	2	1	2	1			
12	1	1	2	1	2	2			
13	1	1	2	2	1	1			
14	1	1	2	2	1	2			
15	1	1	2	2	2	1			
16	1	1	2	2	2	2			
17	1	2	1	1	1	1			
18	1	2	1	1	1	2			
19	1	2	1	1	2	1			
20	1	2	1	1	2	2			
21	1	2	1	2	1	1			
22	1	2	1	2	1	2			
23	1	2	1	2	2	1			
24	1	2	1	2	2	2			
25	1	2	2	1	1	1			
26	1	2	2	1	1	2			
27	1	2	2	1	2	1			
28	1	2	2	1	2	2			
29	1	2	2	2	1	1			
30	1	2	2	2	1	2			
31	1	2	2	2	2	1			
32	1	2	2	2	2	2			
33	2	1	1	1	1	1			
34	2	1	1	1	1	2			
35	2	1	1	1	2	1			
36	2	1	1	1	2	2			
37	2	1	1	2	1	1			
38	2	1	1	2	1	2			
39	2	1	1	2	2	1			
40	2	1	1	2	2	2			
41	2	1	2	1	1	1			
42	2	1	2	1	1	2			
43	2	1	2	1	2	1			
44	2	1	2	1	2	2			
45	2	1	2	2	1	1			
46	2	1	2	2	1	2			
47	2	1	2	2	2	1			
48	2	1	2	2	2	2			
49	2	2	1	1	1	1			
50	2	2	1	1	1	2			
51	2	2	1	1	2	1			
52	2	2	1	1	2	2			
53	2	2	1	2	1	1			
54	2	2	1	2	1	2			
55	2	2	1	2	2	1			
56	2	2	1	2	2	2			
57	2	2	2	1	1	1			
58	2	2	2	1	1	2			
59	2	2	2	1	2	1			
60	2	2	2	1	2	2			
61	2	2	2	2	1	1			
62	2	2	2	2	1	2			
63	2	2	2	2	2	1			
64	2	2	2	2	2	2			

Figura 40: Desenho de experiências para modelos Complexo. Adaptação própria.

Modelos Base									
Teste	Fatores (Z)						Resposta (Y)		
	A	B	C	D	E	F	1	2	3
1	3	3	3	3	3	3			
2	3	3	3	3	3	4			
3	3	3	3	3	4	3			
4	3	3	3	3	4	4			
5	3	3	3	4	3	3			
6	3	3	3	4	3	4			
7	3	3	3	4	4	3			
8	3	3	3	4	4	4			
9	3	3	4	3	3	3			
10	3	3	4	3	3	4			
11	3	3	4	3	4	3			
12	3	3	4	3	4	4			
13	3	3	4	4	3	3			
14	3	3	4	4	3	4			
15	3	3	4	4	4	3			
16	3	3	4	4	4	4			
17	3	4	3	3	3	3			
18	3	4	3	3	3	4			
19	3	4	3	3	4	3			
20	3	4	3	3	4	4			
21	3	4	3	4	3	3			
22	3	4	3	4	3	4			
23	3	4	3	4	4	3			
24	3	4	3	4	4	4			
25	3	4	4	3	3	3			
26	3	4	4	3	3	4			
27	3	4	4	3	4	3			
28	3	4	4	3	4	4			
29	3	4	4	4	3	3			
30	3	4	4	4	3	4			
31	3	4	4	4	4	3			
32	3	4	4	4	4	4			
33	4	3	3	3	3	3			
34	4	3	3	3	3	4			
35	4	3	3	3	4	3			
36	4	3	3	3	4	4			
37	4	3	3	4	3	3			
38	4	3	3	4	3	4			
39	4	3	3	4	4	3			
40	4	3	3	4	4	4			
41	4	3	4	3	3	3			
42	4	3	4	3	3	4			
43	4	3	4	3	4	3			
44	4	3	4	3	4	4			
45	4	3	4	4	3	3			
46	4	3	4	4	3	4			
47	4	3	4	4	4	3			
48	4	3	4	4	4	4			
49	4	4	3	3	3	3			
50	4	4	3	3	3	4			
51	4	4	3	3	4	3			
52	4	4	3	3	4	4			
53	4	4	3	4	3	3			
54	4	4	3	4	3	4			
55	4	4	3	4	4	3			
56	4	4	3	4	4	4			
57	4	4	4	3	3	3			
58	4	4	4	3	3	4			
59	4	4	4	3	4	3			
60	4	4	4	3	4	4			
61	4	4	4	4	3	3			
62	4	4	4	4	3	4			
63	4	4	4	4	4	3			
64	4	4	4	4	4	4			

Figura 41: Desenho de experiências para modelos Base. Adaptação própria.

Modelos Moderado									
Teste	Fatores (Z)						Resposta (Y)		
	A	B	C	D	E	F	1	2	3
1	5	5	5	5	5	5			
2	5	5	5	5	5	6			
3	5	5	5	5	6	5			
4	5	5	5	5	6	6			
5	5	5	5	6	5	5			
6	5	5	5	6	5	6			
7	5	5	5	6	6	5			
8	5	5	5	6	6	6			
9	5	5	6	5	5	5			
10	5	5	6	5	5	6			
11	5	5	6	5	6	5			
12	5	5	6	5	6	6			
13	5	5	6	6	5	5			
14	5	5	6	6	5	6			
15	5	5	6	6	6	5			
16	5	5	6	6	6	6			
17	5	6	5	5	5	5			
18	5	6	5	5	5	6			
19	5	6	5	5	6	5			
20	5	6	5	5	6	6			
21	5	6	5	6	5	5			
22	5	6	5	6	5	6			
23	5	6	5	6	6	5			
24	5	6	5	6	6	6			
25	5	6	6	5	5	5			
26	5	6	6	5	5	6			
27	5	6	6	5	6	5			
28	5	6	6	5	6	6			
29	5	6	6	6	5	5			
30	5	6	6	6	5	6			
31	5	6	6	6	6	5			
32	5	6	6	6	6	6			
33	6	5	5	5	5	5			
34	6	5	5	5	5	6			
35	6	5	5	5	6	5			
36	6	5	5	5	6	6			
37	6	5	5	6	5	5			
38	6	5	5	6	5	6			
39	6	5	5	6	6	5			
40	6	5	5	6	6	6			
41	6	5	6	5	5	5			
42	6	5	6	5	5	6			
43	6	5	6	5	6	5			
44	6	5	6	5	6	6			
45	6	5	6	6	5	5			
46	6	5	6	6	5	6			
47	6	5	6	6	6	5			
48	6	5	6	6	6	6			
49	6	6	5	5	5	5			
50	6	6	5	5	5	6			
51	6	6	5	5	6	5			
52	6	6	5	5	6	6			
53	6	6	5	6	5	5			
54	6	6	5	6	5	6			
55	6	6	5	6	6	5			
56	6	6	5	6	6	6			
57	6	6	6	5	5	5			
58	6	6	6	5	5	6			
59	6	6	6	5	6	5			
60	6	6	6	5	6	6			
61	6	6	6	6	5	5			
62	6	6	6	6	5	6			
63	6	6	6	6	6	5			
64	6	6	6	6	6	6			

Figura 42: Desenho de experiências para modelos Moderado. Adaptação própria.