

**Aplicação de Ferramentas *Lean* Combinadas  
com a Utilização do *Six Sigma* para Promover  
o Aumento do Volume de Produção numa  
Indústria do Setor Automóvel  
Versão Final Após Discussão**

**Renan Lira Farias**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia e Gestão Industrial**  
(2<sup>o</sup> ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Fernando Manuel Bigares Charrua Santos  
Coorientadora: Prof. Doutora Tânia Daniela Felgueiras de Miranda Lima

**dezembro de 2021**



# **Dedicatória**

Dedico esse trabalho para minha esposa, que foi peça fundamental para que eu pudesse chegar onde estou, não apenas em termos emotivos, mas também por ter trabalhado incansavelmente enquanto eu estudava para os testes ao longo do mestrado que aqui se encerra.



# Agradecimentos

Agradeço aos meus pais que financiaram meus estudos desde criança, que acreditaram no ensino como forma de elevar o meu padrão de vida, mas que nunca negligenciaram a verdadeira educação dada em casa, que formou os meus valores.

Agradeço aos professores que me incentivaram a dar o meu melhor, que sempre me instigaram a ser curioso e destemido.

Agradeço à minha irmã, que agora segue meus passos na engenharia industrial e que, sem dúvidas, possui um futuro promissor.

Agradeço aos meus amigos e demais familiares que apoiaram nosso sonho de me capacitar fora do Brasil.

Agradeço especialmente à minha esposa que compartilhou os bons e os maus momentos ao meu lado, que compreendeu os momentos que abdiquei da sua presença para estudar, na busca de um futuro melhor para nós.



# Resumo

Se por um lado a filosofia japonesa *Lean Manufacturing*, foca a sua atuação na eliminação dos desperdícios, por outro, os americanos desenvolveram o *Six Sigma* que almeja a redução na variabilidade dos processos. Ao observar as vantagens dos dois métodos, alguns estudiosos e profissionais do setor industrial perceberam a oportunidade de combiná-los para obter ganhos competitivos para as empresas, especialmente tendo em vista um mercado cada vez mais disputado. A união destas duas ferramentas é chamada de *Lean Six Sigma*.

O presente trabalho tem como objetivo implementar as ferramentas do *Lean Manufacturing* numa organização do ramo automóvel, que possui um controlo dos defeitos por milhão de oportunidades, ou seja, que tem *no Six Sigma* uma ferramenta de garantia da qualidade dos seus produtos.

Neste sentido, o presente trabalho buscou aumentar o volume produtivo de uma linha específica da empresa sob estudo tendo por base o uso das ferramentas *Lean*.

Para atingir tal objectivo foi feita uma revisão bibliográfica inicial, onde o autor expõe as origens e desenvolvimento tanto do *Lean Manufacturing* quanto do *Six Sigma*, a discussão sobre a abordagem híbrida dos dois, o *Lean Six Sigma*, e após isso apresenta um estudo de caso onde o volume de produção serviu como parâmetro para medir a eficácia das ações de melhoria implementadas.

Após a implementação das ferramentas *Lean*, foi verificou-se um aumento no volume produtivo de 126,47%. Desta forma, este trabalho demonstrou a eficácia da utilização de Ferramentas *Lean* para simplificação de um processo produtivo complexo, aumentando o seu volume de produção. Para estudos futuros recomenda-se a implementação de Ferramentas *Lean* mais complexas e a utilização de outros KPI (*Key Performance Indicators*) para a avaliação dos resultados.

## Palavras-chave

*Lean Manufacturing, Six Sigma, Lean Six Sigma, Ações de Melhoria*



# **Abstract**

If, on the one hand, the Japanese Lean Manufacturing philosophy focuses on eliminating waste, on the other, the Americans developed Six Sigma, which aims to reduce the variability of processes. When observing the advantages of the two methods, some scholars and professionals in the industrial sector noticed the opportunity to combine them to obtain competitive gains for companies, especially in view of an increasingly competitive market. The union of these two tools is called Lean Six Sigma.

This work aims to implement Lean Manufacturing tools in an organization in the automotive industry, which has a control of defects per million opportunities, that is, which has in Six Sigma a quality assurance tool for its products.

In this sense, this work sought to increase the production volume of a specific line of the company under study based on the use of Lean tools.

To achieve this goal, an initial literature review was carried out, where the author exposes the origins and development of both Lean Manufacturing and Six Sigma, the discussion on the hybrid approach of the two, Lean Six Sigma, and after that presents a case study where the production volume served as a parameter to measure the effectiveness of the implemented improvement actions.

After the implementation of Lean tools, there was an increase in the production volume of 126.47%. Thus, this work demonstrated the effectiveness of using Lean Tools to simplify a complex production process, increasing its production volume. For future studies, is recommended the implementation of more complex Lean Tools and the use of other KPI (Key Performance Indicators) to evaluate the results.

## **Keywords**

Lean Manufacturing, Six Sigma, Lean Six Sigma, Improvement Actions



# Índice

Dedicatória.....	iii
Agradecimentos .....	v
Resumo .....	vii
Abstract.....	ix
Índice .....	xi
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas .....	xiv
Lista de Acrónimos .....	xvi
1. Introdução .....	1
1.1. Contextualização do Trabalho Desenvolvido .....	1
1.2 Objetivo .....	2
1.3 Metodologia.....	2
1.4 Estrutura da Dissertação.....	3
2. Enquadramento Teórico .....	5
2.1 Conceito de <i>Lean Manufacturing</i> .....	5
2.1.1 Os Pilares do <i>Lean Manufacturing</i> .....	7
2.1.2 Os 7 Desperdícios do <i>Lean Manufacturing</i> .....	10
2.2 <i>Six Sigma</i> .....	10
2.3 Controlo Estatístico do Processo .....	15
2.4 DMAIC .....	16
2.5 <i>Lean Six Sigma</i> .....	19
2.6 Casos Práticos de Aplicação.....	23
3. Metodologia .....	27
4. Caso de Estudo.....	29
4.1 Identificação do Problema .....	30
4.2 Estratificação das Causas.....	31
4.3 Ações de Melhoria.....	33
4.4 Impacto das Ações de Melhoria no volume de produção.....	38
4.5 Propostas para Ações Futuras .....	39
4.5.1 Pick to Light .....	39
4.5.2 Controlo Estatístico do Processo (CEP).....	39
4.5.3 Cronoanálise .....	39
4.5.4 Alteração no <i>Layout</i> .....	40
5. Conclusões .....	41
Bibliografia .....	43



# Lista de Figuras

Figura 1. Casa do Lean .....	7
Figura 2. Métodos e ferramentas essenciais do Six Sigma .....	12
Figura 3. Ferramentas Lean e Six Sigma .....	20
Figura 4. A redução de tempo e de variabilidade utilizando o LSS .....	21
Figura 5. Desperdícios .....	30
Figura 6. Estratificação - Demora no processo produtivo em si .....	32
Figura 7. Estratificação - Movimentação excessiva para produzir .....	33
Figura 8. Ajuda visual para Método Operatório .....	34
Figura 10. Poka-Yoke: desenganador para inserir abraçadeira .....	35
Figura 9. Ajuda visual: foto colada no posto de trabalho .....	35
Figura 11. Layout antes .....	37
Figura 12. Layout depois .....	37
Figura 13. Aumento no volume produzido .....	38

# Lista de Tabelas

Tabela 1. A Planta da General Motors em Framingham versus a Planta da Toyota em Takaoka, 1986	5
Tabela 2. 5S	9



# Lista de Acrónimos

ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>
BDA	<i>Big Data Analytics</i>
CEP	Controlo Estatístico de Processo
CTQ	<i>Critical-to-Quality</i>
DFSS	<i>Design for Six Sigma</i>
DOE	<i>Design of Experiments</i>
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i>
DPMO	Defeito por Milhão de Oportunidades
DPU	Defeitos por Unidade
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
GR&R	<i>Gage Repeatability and Reproducibility</i>
JIT	<i>Just-In-Time</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
LM	<i>Lean Manufacturing</i>
LSS	<i>Lean Six Sigma</i>
PMEs	Pequenas e Médias Empresas
SIPOC	<i>Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers</i>
SS	<i>Six Sigma</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
TQM	<i>Total Quality Management</i>
WPO	<i>Work Place Organization</i>





# Capítulo 1

## 1. Introdução

No presente capítulo apresenta-se a contextualização do trabalho desenvolvido, os objetivos definidos, a metodologia utilizada e a sua estrutura.

### 1.1. Contextualização do Trabalho Desenvolvido

Mediante um mercado cada vez mais competitivo, com clientes mais exigentes e preocupados em termos de qualidade, custo-benefício e impacto ambiental, um número maior de concorrentes, e especialmente com a presença cada vez mais relevante de empresas situadas em mercados emergentes, cabe às organizações buscar estratégias para poderem garantir que possuem vantagens competitivas.

Especialmente, quando se passa por uma realidade pós-pandémica, a busca contínua por vantagens competitivas deve ser considerada não apenas sob a ótica da capacidade de resposta às encomendas dos clientes, mas principalmente como garantia da sobrevivência da empresa. Uma vez que diversas empresas vivem no limiar da sobrevivência (PORDATA, 2020; Econômico, 2020), com pouco capital circulante, baixo controlo do processo e de custos, a organização interna é um fator determinante para a obtenção de alguma margem para enfrentar as crises vindouras ou as oscilações naturais decorrentes da crise vivida.

Para atingir tal nível de excelência procurado, e necessário, as empresas devem ter uma maior confiabilidade no seu processo produtivo, garantindo que os seus *outputs* estão livres de defeitos e satisfazem os critérios definidos pelos clientes. Isto exige uma gestão das relações desde a matéria-prima recebida do fornecedor, passando por todas as etapas da produção em si, até o produto ser entregue ao consumidor final e, além disso, o descarte do produto após o uso.

Tanto no sentido da qualidade intrínseca do produto (livre de defeitos), quanto em termos da satisfação das necessidades dos clientes e do impacto ambiental, a busca pela redução dos desperdícios e da variabilidade dos processos produtivos mostra-se como uma importante abordagem (Sreedharan & Raju, 2016). Com o foco na redução de desperdícios, o *Lean Manufacturing* (LM) apresenta-se como uma importante e proeminente filosofia (Ohno, 1997). Por outro lado, o *Six Sigma* é uma ferramenta que foca a sua atuação na busca pela redução da variabilidade dos processos (Pyzdek &

Keller, 2003). Portanto, a união destas duas técnicas e filosofias, conhecido como *Lean Six Sigma* (LSS), desponta como uma abordagem estruturada e poderosa no combate aos desperdícios e à variabilidade dos processos.

No presente trabalho serão abordadas diversas obras onde o LSS é apresentado com o uso da metodologia DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) que pode abarcar, por exemplo, a utilização das 7 ferramentas da qualidade (Cartas de Controle, Histogramas, Diagramas de Pareto, Diagramas de Dispersão, Fluxogramas, Diagramas de Ishikawa e Folhas de Verificação), análise estatística e controlo estatístico de processos.

## **1.2 Objetivo**

A presente dissertação tem como objetivo geral a implementação de conceitos e ferramentas do *Lean Manufacturing* numa área produtiva de uma empresa do ramo automóvel, que já possui difundido o *Six Sigma*, com o objetivo de aumentar o volume produtivo.

Para concretizar este objetivo foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Elaboração de uma revisão bibliográfica sobre o *Lean Manufacturing*, *Six Sigma* e o *Lean Six Sigma*;
- Análise de casos práticos de aplicação do *Lean Six Sigma*;
- Caracterização do ambiente industrial em estudo e levantamento dos dados iniciais;
- Definição da metodologia para aplicação das ferramentas Lean;
- Definição das propostas de melhoria;
- Aplicação das ferramentas Lean;
- Análise dos resultados obtidos.

## **1.3 Metodologia**

Em relação à abordagem adotada foi utilizada uma perspectiva mista, aliando elementos quantitativos e qualitativos. Inicialmente, foi escolhido o método qualitativo de estudo de caso, para realizar uma análise documental na recolha de dados, posteriormente foi utilizado o método quantitativo descritivo, para descrever o estado inicial e depois o método de investigação-ação, uma vez que o investigador atua sob o objeto de estudo.

## **1.4 Estrutura da Dissertação**

Essa dissertação está estruturada em 5 capítulos: O capítulo 1 é composto pela introdução, que apresenta a contextualização do trabalho, o objectivo, a metodologia utilizada e a estrutura da dissertação. No capítulo 2 é apresentado o enquadramento teórico, mostrando a origem, o significado e as aplicações do *Lean Manufacturing*, *Six Sigma*, Controlo Estatístico do Processo, DMAIC e *Lean Six Sigma*. No capítulo 3 é apresentada a metodologia utilizada para realização do presente trabalho. No capítulo 4 apresenta-se o desenvolvimento do presente trabalho, ou seja, são apresentados todos os dados levantados para identificar as maiores fontes de desperdício e suas estratificações, buscando focar nos problemas mais impactantes para o volume de produção. Ainda nesse capítulo são apresentadas as ações de melhoria adotadas, os resultados dessas ações e são apresentadas sugestões de ações no futuro. Por fim, são apresentadas as conclusões da dissertação que avaliam o cumprimento dos objetivos estabelecidos inicialmente, também são apresentadas as limitações do trabalho e as propostas para trabalhos futuros.



# Capítulo 2

## 2. Enquadramento Teórico

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica das temáticas em estudo, de forma a enquadrar teoricamente os seus principais conceitos e princípios, assim como as metodologias e ferramentas utilizadas. Por fim, serão apresentados os casos práticos da aplicação do *Lean Six Sigma*.

### 2.1 Conceito de *Lean Manufacturing*

O *Lean Manufacturing* (LM) é a filosofia adotada pelo Sistema Toyota de Produção (TPS), que assenta na eliminação de toda as formas de desperdício como o seu foco principal (Ohno, 1997; Womack, Jones & Roos, 2004; Pepper & Spedding, 2010). Esta filosofia surgiu no Japão, após uma visita de Eiji Toyoda à fábrica da Ford, em Detroit. Eiji Toyoda verificou a existência de diversas oportunidades de melhoria para a fábrica japonesa e, junto do engenheiro de produção da Toyota, Taiichi Ohno, chegou à conclusão que a produção em massa jamais funcionaria no Japão, uma vez que o mercado doméstico japonês era limitado e ainda sofria com as consequências da Segunda Guerra Mundial (Womack, Jones & Roos, 2004). Na Tabela 1 apresenta-se como a Toyota, ao comparar-se com montadoras americanas da época, conseguiu flexibilizar a sua operação, eliminando o que era tido como desperdício por Ohno.

Tabela 1. A Planta da General Motors em Framingham versus a Planta da Toyota em Takaoka, 1986

	GM Framingham	Toyota Takaoka
Horas Brutas de Montagem por Carro	40,7	18
Horas Ajustadas de Montagem por Carro	31	16
Defeitos de Montagem por 100 Carros	130	45
Espaço de Montagem por Carro (m <sup>2</sup> )	0,75	0,45
<i>Stock</i> de Peças (média)	2 semanas	2 horas

(Fonte: Adaptado de Womack, Jones & Roos, 2004, p.69)

Womack & Jones (2003), introduziram o conceito de “*Lean Thinking*”, em livre tradução, o “Pensamento *Lean*”. Esta forma de pensar e encarar as atividades desempenhadas num ambiente produtivo preza sempre pela redução de esforços humanos, de equipamentos, de tempo, de espaço, enquanto busca fornecer aos consumidores exatamente o que eles querem.

Para estes autores, um ponto de partida crítico para o *Lean Thinking* é a definição de valor em termos de produtos específicos, com capacidades específicas, a preços específicos, através do diálogo com consumidores específicos. Tudo aquilo que existe no processo produtivo e que não atenda a esses requisitos é considerado “*Muda*”, que significa desperdício em japonês. Para Morgan & Brenig-Jones (2013), o *Lean Thinking* foca-se em aprimorar o valor para o consumidor ao melhorar e suavizar o fluxo produtivo, além da eliminação de desperdícios. Neste processo são identificados três tipos de ações:

- Aquelas que criam valor;
- Aquelas que não criam valor, mas são inevitáveis;
- Aquelas que não criam valor e podem ser evitadas.

As ações do primeiro tipo devem ser otimizadas, as do segundo tipo minimizadas e as do terceiro tipo eliminadas.

Neste sentido, Salah, Rahim & Carretero (2010), referem que o LM é comprovadamente uma metodologia que ajuda as organizações a produzirem os seus produtos com a qualidade correta e na quantidade pedida para agradar os consumidores. Afirma também, que esse foco do LM nos clientes o torna único, uma vez que permite que as pessoas vejam os produtos sempre na perspectiva da cadeia de valor, que, por sua vez é tudo aquilo que é importante para o consumidor.

Para Morgan & Brenig-Jones (2013), o TPS é sobre entender como o trabalho é feito, procurando formas de aprimorá-lo e acelerá-lo, reduzindo o *lead time*, que segundo CFI (2015) é o tempo entre o início e o fim de uma operação. Este conceito básico, segundo os autores, pode ser aplicado em qualquer processo, público ou privado, industrial ou de serviços.

Apesar dos incontáveis casos de melhorias em processos produtivos, há algumas questões no LM que foram criticadas por Pepper & Spedding (2010). Em oficinas de trabalho (*job-shops*) foi suscitada a questão, que o foco do *Lean* nas atividades que adicionavam valor não tinha em consideração o tamanho, a complexidade e a viabilidade da produção de um produto. Além disso, nesse tipo de trabalho, como havia uma gama enorme de produtos, que possivelmente seriam diferentes uns dos outros, tornar-se-ia difícil padronizar. Os mesmos autores também analisaram a dificuldade e complexidade da aplicação do LM em Pequenas e Médias Empresas (PMEs).

Para um melhor entendimento do LM é preciso compreendê-lo à luz dos modelos produtivos existentes desde o seu surgimento em 1950.

### 2.1.1 Os Pilares do *Lean Manufacturing*

Durante a 1ª Revolução Industrial, o sistema artesanal de produção estava em voga. Neste sistema o produtor fazia um item de cada vez, de modo altamente personalizado para atender as necessidades individuais de cada consumidor. Esta forma de produção exigia uma altíssima especialização do artesão e era inacessível à grande parte da população, à medida que a complexidade para produzir o item aumentava (Womack, Jones & Roos, 2004). Este problema de acessibilidade foi superado pelo sistema de produção em massa, pois ao produzir-se em larga escala permitiu que, ao aumentar a oferta de produtos, pela lei da oferta e procura, os preços caíssem, massificando assim o acesso a determinados bens.

O LM combina as vantagens do sistema artesanal e de produção em massa, uma vez que ao mesmo tempo que busca a redução de desperdícios, também faz uso de máquinas altamente flexíveis para produzir em grandes volumes de produtos com uma ampla variedade (Womack, Jones & Roos, 2004).

Segundo Ohno (1997), guiado pela busca da eliminação total de desperdícios, os pilares do LM são o *Just-in-Time* (JIT) e o *Jidoka* (Autonomação). Também foi introduzido o conceito da Casa do *Lean*, ilustrada na Figura 1.

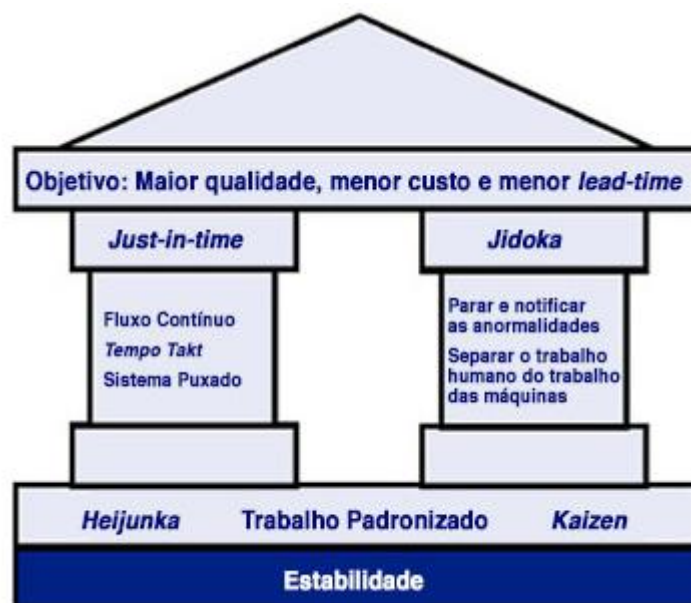


Figura 1. Casa do Lean (Valoreacademy, 2021)

Segundo Ohno (1997), o *Just-In-Time* (JIT), é o sistema onde os componentes necessários para realizar uma determinada operação apenas chegam ao ambiente produtivo no momento em que são necessários e na quantidade adequada, eliminando assim a necessidade de existências intermédias. A aplicação deste método na sua plenitude é extremamente complexa, pois depende de uma previsão extremamente precisa da procura, a qual deve contemplar a probabilidade do aparecimento de problemas nos equipamentos, absentismo e demais fatores que são difíceis de se prever com elevada precisão.

Dentro deste pilar há o “Fluxo Contínuo”, onde todos os trabalhos estão diretamente ligados, sem *stocks* intermédios; o *takt time* que é dado pela divisão entre a oferta e o tempo disponível e o Sistema *Pull* que preconiza a ideia que os produtos só devem ser produzidos mediante a procura do cliente (Womack & Jones, 2003).

O *Jidoka* é a “automação com um toque humano” (Ohno, 1997), ou seja, neste sistema as máquinas estão equipadas com dispositivos que alertam quando condições anormais estão presentes e geram produtos defeituosos. Este sistema automático pode ser de deteção de falhas, segurança e à prova de erro humano. Uma vez implementada a automação, não é necessário que um operador esteja exclusivamente alocado a uma máquina enquanto esta estiver a funcionar normalmente, mas apenas quando ocorrer algum problema. Isto muda radicalmente a perspetiva de especialização do trabalho da produção em massa, fazendo com que os operadores tenham habilidades para operar diferentes máquinas em simultâneo, aumentando a eficiência e reduzindo os custos operacionais com mão de obra.

Nos alicerces da Casa do *Lean* há o *Heijunka* que é o nivelamento dos processos pelo sequenciamento dos pedidos num padrão e pela suavização das variações diárias no total de pedidos para corresponder à procura no longo prazo (Womack & Jones, 2003). Também fazem parte dos alicerces, o Trabalho Padronizado e o *Kaizen*, que são respetivamente a elaboração de métodos e procedimentos para padronizar o método operatório e a filosofia de melhoria contínua.

O LM baseia-se na aplicação de diversas ferramentas (Womack & Jones, 2003). Uma dessas ferramentas é a Matriz GUT (Gravidade, Urgência, Tendência), que auxilia a priorizar as variáveis e com isso determinar quais as ações prioritárias que devem ser adotadas (Evangelista et al., 2019) e o 5w1h (*What? Where? When? Who? Why? How?*) que permite fazer a gestão dos recursos, determina a responsabilidade e os meios para

realizar uma determinada atividade. Alguns estudos utilizam a nomenclatura 5w2h, adicionando o “*How much?*” (Chiminelli, 2018). Também se pode destacar o uso do FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), que é uma ferramenta usada para identificar as causas e os efeitos de uma série de defeitos (Sachin & Dileepal, 2017).

Outra ferramenta em destaque é o 5S. Womack & Jones (2003), afirmaram que o 5S era uma ferramenta que gerava áreas de trabalho limpas e gerenciáveis. É uma ferramenta poderosa, que pode ser utilizada nos diversos níveis de qualquer organização para facilitar o trabalho de rotina.

Tabela 2. 5S

<b>Senso</b>	<b>Significado</b>	<b>Objetivo</b>
Seiri	Utilização	Eliminar o que não é útil
Seiton	Organização	Organizar o ambiente de trabalho
Seiso	Limpeza	Limpar e higienizar o ambiente de trabalho
Seiketsu	Padronização	Padronizar as ações para que sejam mantidas após a implementação da ferramenta
Shitsuke	Disciplina	Alterar a cultura vigente para verdadeiramente incorporar as mudanças

(Fonte: Adaptado de (Napoleão, 2018))

Por outro lado, o *Spaghetti Chart* é um mapa do caminho utilizado por um produto, máquinas ou operadores (DeHart, 2015). Esta ferramenta é muito utilizada para medir as movimentações, ou seja, o desperdício com as movimentações num ambiente produtivo. Com a utilização deste mapa é possível avaliar com clareza o impacto das ações tomadas para reduzir os desperdícios, uma vez que todo o caminho utilizado pelo operador é traçado.

Os *Poka-Yokes*, por sua vez, são sistemas à prova de erros (Womack & Jones, 2003), muito úteis para evitar o erro ou pelo menos identificá-los com mais facilidade, o quanto antes possível, preferencialmente eliminando a sua causa raiz. Estes sistemas podem ser caros e complexos, com a aquisição de materiais que reduzam a

possibilidade de erros, mas também podem ser simples e baratos, com a implementação de ações rápidas para tornar o trabalho dos operadores o mais intuitivo possível, sem dar margem para interpretações dúbias que levem ao erro.

Para avaliar se as ações do LM são eficazes são utilizados *Key Performance Indicators* (KPIs), que são métricas definidas como essenciais para avaliar um processo ou um produto (Endeavor Brasil, 2021).

### **2.1.2 Os 7 Desperdícios do *Lean Manufacturing***

Ohno (1997), demonstrou que o foco do LM era a redução de custos, que era alcançada através da identificação e posterior eliminação, ou pelo menos mitigação, dos desperdícios, que são tudo aquilo que não agrega valor ao produto sob a ótica do consumidor.

O mesmo autor, pai do TPS, definiu os 7 desperdícios que podem ser identificados nas organizações:

- Superprodução: produzir um volume acima da procura;
- Espera: tempo ocioso do operador aguardando a finalização de outro processo;
- Transporte: movimentação de produtos ou componentes entre áreas produtivas ou até o cliente;
- Processamento em si: são os desperdícios inerentes ao processo produtivo;
- *Stocks*: armazenamento de componentes ou produtos acabados;
- Movimento: ações físicas dos operadores que acabam por não agregar valor ao produto;
- Defeitos: falhas na produção.

Recentemente alguns autores, tais como Brito et al. (2019) e Nunes (2015), adicionaram um oitavo desperdício, a subutilização do potencial humano. Entretanto, apesar de se reconhecer a importância para a organização de ter funcionários alcançando os seus níveis potenciais, outras fontes como LCS (2016), contestam este oitavo desperdício, uma vez que este não pode ser identificado ou mensurado quando se observa a cadeia de valor do sistema produtivo.

## **2.2 *Six Sigma***

Pande, Neuman & Cavanagh (2000), Linderman et al. (2003), Pyzdek & Keller (2003), Salah et al. (2010) e Hamali et al. (2018), indicaram que o *Six Sigma* surgiu a partir da

aplicação na Motorola nos anos 1980, onde reduziram para 1/20 o número de defeitos nas televisões produzidas, utilizando a mesma mão-de-obra, tecnologia e design. Usando o *Six Sigma*, a Motorola tornou-se conhecida como líder em qualidade e em lucros, uma vez que os projetos dessa natureza trouxeram ganhos enormes em termos de redução de produtos defeituosos e redução de custos.

Para Pande, Neuman & Cavanagh (2000), o *Six Sigma* (SS) é um sistema flexível que visa atingir, manter e maximizar o sucesso de um negócio. Este sistema é conduzido pelo entendimento minucioso das necessidades dos clientes, uso disciplinado de factos, dados e análise estatística. De modo semelhante, Salah, Rahim & Carretero (2010), referiram que o SS era uma metodologia disciplinada e estruturada, usada para melhorar o desempenho dos processos e atingir elevados níveis de qualidade e baixos de variabilidade. Há um foco considerável na busca pela melhoria dos processos que permeia o negócio. Nesse sentido, os autores apresentaram as ferramentas e métodos tidos como essenciais para o SS, apresentados na Figura 2. Ainda sobre a importância do uso que o SS faz de ferramentas estatísticas, para Sanny, Novita & Novela (2016), este conjunto de ferramentas ajuda a entender a flutuação do processo de tal modo que a gestão possa prever os *outputs* do processo, que não atendam as especificações e os critérios de qualidade. Estes problemas podem ser causados por fatores humanos, de matéria prima, de métodos de produção, máquinas e equipamentos.

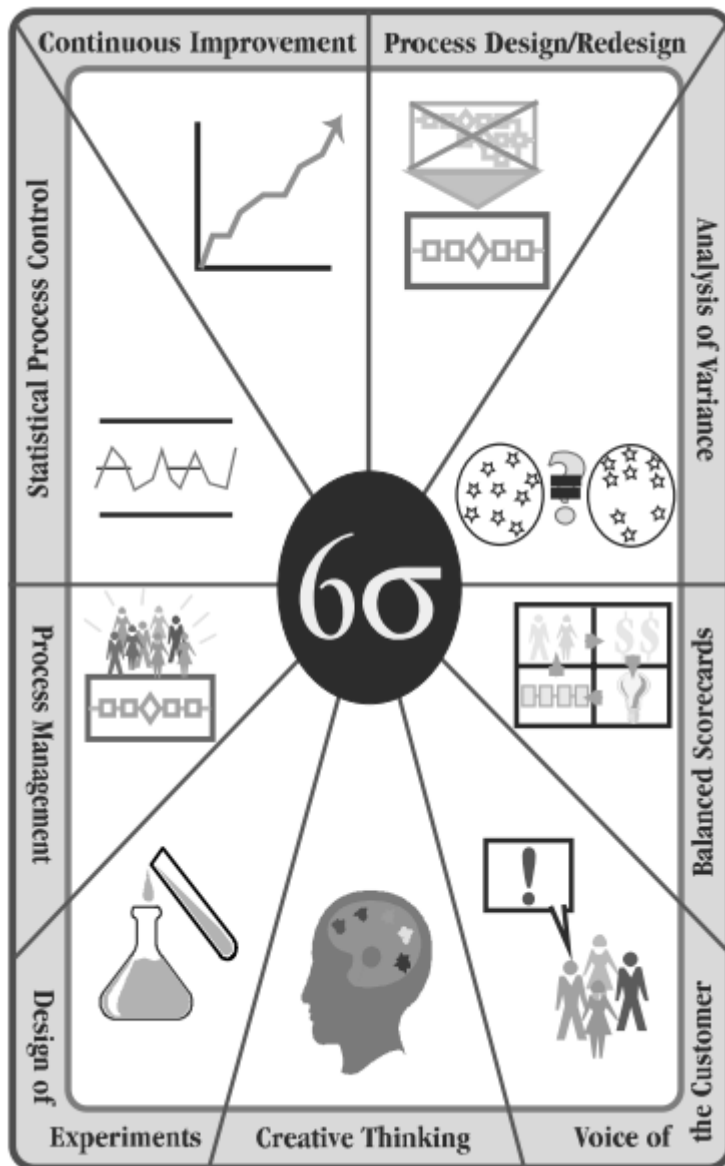


Figura 2. Métodos e ferramentas essenciais do Six Sigma (Pande, Neuman & Cavanagh, 2000)

Na Figura 2 são apresentadas as características e ferramentas fundamentais do Six Sigma:

- Design de processos: no *Six Sigma* os projetos seguem de forma linear, sem fluxos reversos ou paralelos;
- Análise de variância: com o foco na variabilidade, o SS atua na análise da variância do processo sob estudo;
- *Balanced Scorecards*: é um método de gestão que alia elementos do passado, do presente e do futuro da organização;

- Voz do cliente: o cliente é ouvido em todo o processo, desde a definição dos parâmetros de aceitabilidade, que ditarão os limites de especificação, até ao *feedback* dos produtos entregues;
- Pensamento criativo: muitas das soluções desenvolvidas com o apoio da ferramenta SS passam pela criatividade dos agentes, que estão a lidar com as situações problemáticas;
- Design de experimentos: as ideias para resolução dos problemas são testadas de forma experimental num momento inicial;
- Gestão de processos: uma base do SS é a garantia que no projeto cada recurso será alocado conforme a necessidade, de modo pensado e organizado, com atribuições e responsabilidades claras;
- Controlo estatístico do processo (CEP): este é um pilar fundamental do SS para uma análise do estado atual e da evolução do processo;
- Melhoria contínua: como os processos não são estáticos, mas dinâmicos, e muitas das soluções encontradas necessitam do rigor da sua aplicação para que o resultado prático seja condizente com o esperado.

Na visão de Pyzdek & Keller (2003), o SS é um conjunto de técnicas e princípios que são muito efetivas, quando implementadas com o rigor e o foco necessários. Segundo o mesmo autor, o SS tem como objetivo um negócio à prova de erros.

Pyzdek & Keller (2003), refere que o Sigma,  $\sigma$ , é uma letra grega utilizada na estatística para medir a variabilidade de qualquer processo. Os 6 sigmas representam estatisticamente 6 desvios padrão de onde os dados, normalmente distribuídos, devem estar. Portanto, o nível Sigma mede o desempenho de um processo. Quando um determinado processo atinge o nível de Seis Sigma significa que há a ocorrência de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO). De um modo geral, as empresas aceitam uma performance entre três e quatro sigma, o que representa entre 6200 e 67000 problemas por milhão de oportunidades. No entanto, conforme o setor de atividade da organização o nível sigma pode ser mais exigente, especialmente quando se trata de defeitos que podem por em risco a segurança dos clientes. Neste sentido Linderman et al. (2003), entenderam que nem todos os processos deveriam operar no nível de Seis Sigma, mas operar de acordo com as características particulares do processo e as especificações dos clientes. Isto ocorre tendo em consideração, que alcançar os Seis Sigma vai requerer um esforço enorme e o uso de ferramentas muito sofisticadas, uma vez que o esforço e dificuldade aumentam exponencialmente conforme o desvio padrão do processo aumenta.

Ainda segundo Pyzdek & Keller (2003), o SS foca-se em ajudar a organização a ganhar mais dinheiro ao melhorar a eficiência e reduzindo os custos embutidos no sistema produtivo, que não fornecem valor ao cliente. O SS possui, portanto, uma abordagem que busca satisfazer os requisitos dos clientes, prevenir defeitos, reduzir tempos de ciclo e obter ganhos financeiros. O objetivo final é produzir produtos e serviços melhores, mais rápidos e mais baratos.

Para Schroeder et al. (2008) e Linderman et al. (2003), o SS é uma estrutura organizada para reduzir a variação dos processos. Para isso, tem o apoio dos especialistas (*belts*), que se apoiam num método estruturado (DMAIC) e métricas de performance com o objetivo de atingir os objetivos estratégicos. Ainda segundo os mesmos autores, o SS possui outras características relevantes como a procura por mais envolvimento dos líderes nos projetos de melhoria; as equipas dos projetos são designadas num nível estratégico; os dados do SS no tocante à qualidade focam-se no consumidor e em métricas de performance financeira para cada projeto específico; o SS apenas procura o envolvimento de fornecedores caso estes sejam uma parte crítica do processo estudado; ao tratar dos consumidores o SS possui dois níveis de *inputs* importantes: a organização e o projeto. Ao nível da organização, os *inputs* dos consumidores são críticos quando se trata de estabelecer quais processos e produtos precisam de melhorias. Já ao nível do projeto, os *inputs* dos consumidores são críticos em definir quais atributos da qualidade são *Critical-to-Quality* (CTQ) e, portanto, constituem defeitos.

Assim como Schroeder et al. (2008) e Siqueira & Lizarelli (2019), também apontam a procura do SS por líderes que acompanhem os projetos de melhoria. Acrescentam a necessidade, nos projetos SS, de equipas multifuncionais. Entretanto, na visão destes autores, ao contrário de Schroeder et al. (2008), os fornecedores devem ser envolvidos desde as etapas iniciais do processo.

Schroeder et al. (2008), afirmaram que o SS é mais uma implementação organizacional do que uma filosofia ou apenas as ferramentas e técnicas da qualidade utilizadas. Nesse mesmo sentido Pande et al. (2000), referiram que é possível “fazer” SS sem uma mudança frontal e radical na cultura da empresa.

Segundo Pande, Neuman & Cavanagh (2000), os benefícios do SS são vários, podendo-se destacar:

- A redução de custos;

- A melhoria na produtividade;
- O crescimento do *market-share*;
- A retenção de consumidores;
- A redução do tempo de ciclo;
- A redução dos defeitos;
- A mudança na cultura da empresa;
- O desenvolvimento de produtos e serviços.

A utilização do SS tem vindo a evoluir de uma forma significativa conforme referem Sunder, Ganesh & Marathe (2018), baseando-se no número de estudos publicados ao longo dos anos. Especialmente, desde o início dos anos 2000 que novas técnicas para melhoria da qualidade dos processos foram adotadas. A partir de 2008, o SS começou a ser implementado também no setor dos serviços. A partir dos anos 2010, o foco saiu do *Total Quality Management* (TQM), que era reconhecido como a abordagem da gestão da qualidade mais difundida desde o início dos anos 1990, passando para ferramentas e técnicas e posteriormente para valores centrais necessários para construir uma cultura de excelência em termos de negócios e de qualidade.

Um conceito do SS é o *Design for Six Sigma* (DFSS), que é uma metodologia de prevenção de problemas, que utiliza ferramentas estatísticas, sendo este uma parte importante de uma estratégia de melhoria contínua (Francisco, Junior & Sant'Anna, 2020).

Uma crítica feita ao SS por Smith (2003), é que geralmente os projetos desta natureza levavam meses para finalizar e a elite especialista que criam projetos de alta complexidade, os *Black Belts*, muitas vezes estão desfasados da realidade do chão de fábrica. Isto é preocupante, uma vez que a manutenção das ações propostas apenas se confirma quando as pessoas que desempenham as funções diariamente entendem e absorvem a mudança.

### **2.3 Controlo Estatístico do Processo**

O Controlo Estatístico do Processo (CEP) é um dos pilares fundamentais do SS que permite que seja efetuada uma análise da evolução dos processos Pande, Neuman & Cavanagh (2000). Montgomery (2009) apresentaram dois tipos de dados para medir as características da qualidade:

- Variáveis: dados medidos numa escala numérica;

- Atributo: dados que não possuem escala numérica, mas que são rotulados tendo em base determinados critérios (por exemplo: conforme e não conforme).

Dependendo do tipo de dado e do tamanho da amostra existem gráficos que auxiliam a gestão e permitem uma tomada de decisão mais assertiva:

- Variáveis:
  - *X-bar-R*: para amostras entre 2 e 8; é representado por dois gráficos, um que representa a média dos resultados e outro a amplitude das amostras;
  - *X-bar-S*: para amostras maiores do que 5; é representado por dois gráficos um com a média e outro com o desvio padrão das amostras;
- Atributos:
  - *P-chart*: é utilizado para um tamanho de amostra não constante; possui o percentual de defeituosos, proporções e proporção média de defeituosos;
  - *U-chart*: o foco é na quantidade de defeito por unidade (DPU); tamanho da amostra não constante;
  - *NP-chart*: apresenta a proporção de defeitos e o total de inspeções; para casos onde o tamanho da amostra é constante;
  - *C-chart*: assim como o *U-chart* o foco é no DPU, mas nesse gráfico para casos onde o tamanho da amostra é constante.

Ainda no âmbito do CEP, segundo Montgomery (2009) há dois tipos de fontes de variabilidades:

- Causas comuns: inerentes ao processo;
- Causas especiais: não fazem parte da natureza do processo. Um processo que opera na presença de causas especiais é chamado como processo fora de controle.

A utilização do CEP permite detetar rapidamente a ocorrência de causas especiais para que as ações corretivas possam ser aplicadas antes de itens não-conformes serem produzidos.

## 2.4 DMAIC

Conforme apresentado anteriormente, o SS surgiu a partir de uma aplicação na Motorola. Segundo Salah & Rahim (2019), essa abordagem foi substituída pela General Electric por quatro fases (*measure, analyse, improve e control*). Após isso, foi adicionado o primeiro passo: “*define*”.

Segundo Schroeder et al. (2008), o LSS usa um método estruturado para a melhoria dos processos, o DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*). Este método enfatiza a busca pela causa raiz de um problema, através do uso sistemático do método. O DMAIC segue os passos do PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), mas emprega mais ênfase na integração de ferramentas específicas em cada passo do método. Com o DMAIC, os diferentes membros da organização são envolvidos ao longo do processo, dependendo da sua função, posição hierárquica e da tarefa a desempenhar.

Para Salah & Rahim (2019), a estrutura do DMAIC é robusta e flexível com o objetivo de aplicar as ferramentas do LM de uma forma adequada, uma vez que elas devem ser escolhidas numa certa fase, baseando-se na individualidade do problema a ser solucionado. Para estes autores, o ponto principal do DMAIC é a alocação dessas diferentes ferramentas de maneira adequada no decorrer do projeto, visando o sucesso do projeto LSS. A recomendação é que esses projetos utilizem os passos descritos no DMAIC e usem as ferramentas LSS apropriadas ao problema e às circunstâncias particulares que envolvem os projetos. Esta integração, segundo os autores, leva à melhoria nos resultados da qualidade.

De modo semelhante, para Hamali et al. (2018), o DMAIC ajuda sistematicamente as organizações a resolverem problemas e a melhorar produtos, processos e serviços. Para estes autores o modelo DMAIC é usado tanto em produtos, processos e serviços já existentes, como na fase de desenvolvimento destes. O DMAIC é uma ferramenta poderosa para melhorar a qualidade através do auxílio das etapas estruturadas, utilizando ferramentas específicas, dando a identificação das causas de produtos defeituosos e a posterior correção desses erros de produção.

Por outro lado, de acordo com Araújo et al. (2018), o DMAIC é, na verdade, uma evolução do SS e isso dá-se por causa da sua abordagem focada na melhoria de processos. O DMAIC permite o alcance dos objetivos organizacionais de uma forma estruturada, uma vez que segue passos bem definidos, e economicamente viáveis para a empresa, já que a escolha das ferramentas deve ser adequada à realidade particular, tanto da empresa quanto do problema a ser resolvido.

Para Pyzdek & Keller (2003), a metodologia DMAIC fornece uma estrutura útil para se poder controlar um projeto. São definidos critérios para complementar uma fase

particular e os projetos são revistos para determinar se todos os critérios foram atendidos, só assim a próxima fase se inicia.

A estratégia DMAIC segue os passos descritos abaixo:

1. *Define*: definir os objetivos da atividade de melhoria.
  - a) Definir o âmbito do projeto, objetivo e calendarização;
  - b) Definir o processo e os *stakeholders*;
  - c) Selecionar os membros da equipa;
  - d) Obter autorização dos *sponsors* (gestão de topo);
  - e) Montar e treinar a equipa.

Nesta etapa é concebido inicialmente o SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*), que segundo DeHart (2015) é uma técnica que consiste na criação de um fluxograma que auxilia na identificação de quais processos possuem maior impacto nos clientes.

2. *Measure*: medir o sistema existente.
  - a) Definir o processo;
  - b) Definir métricas;
  - c) Estabelecer linhas guias do processo;
  - d) Avaliar o sistema de medição.
3. *Analyse*: analisar o sistema para identificar formas de eliminar lacunas entre o desempenho atual do sistema/processo e o objetivo desejado.
  - a) Analisar a cadeia de valor;
  - b) Analisar as fontes de variabilidade;
  - c) Determinar os processos dirigentes;
  - d) Fazer *benchmarking* para obter parâmetros.
4. *Improve*: melhorar o sistema.
  - a) Priorizar as oportunidades de melhoria;
  - b) Definir os novos processos ou design de produtos;
  - c) Otimizar os processos ou configurações de produtos;
  - d) Avaliar os riscos e modos de falha.
5. *Control*: controlar o novo sistema
  - a) Validar o novo processo/produto;
  - b) Desenvolver e implementar planos de controlo;

- c) Documentar as lições aprendidas;
- d) Aprovar a entrega do projeto para o gestor que dará continuidade.

## **2.5 Lean Six Sigma**

Segundo George (2002), o *Lean Six Sigma* é uma metodologia que maximiza os valores das ações ao atingir de modo acelerado a melhoria na satisfação do cliente, dos custos, da qualidade e da velocidade do processo. Este autor explica a necessidade da fusão entre o *Lean Manufacturing* e o *Six Sigma*, uma vez que o LM carece de controle estatístico do processo e o SS não consegue melhorar sozinho a velocidade do processo ou reduzir o capital investido. Para ele, a combinação entre estes dois elementos pode produzir resultados excepcionais e, quando se trata da criação de valor, era a ferramenta mais poderosa disponível à época. Este autor exemplifica isto com uma situação real descrita na Figura 3, que apresenta a redução no tempo de *delay* que resulta da aplicação de ferramentas do LSS. Fica evidenciado que a união de ferramentas do *Lean Manufacturing* (*Setup Reduction at Flare*, é uma ferramenta que foca na redução dos tempos de *setup*) e do *Six Sigma* (*Mistake Proof Tester*, que desenvolve testes à prova de erros e *Design of Experiments (DOE)* que é a aplicação de estatísticas que lidam com o planejamento, a condução, análise e interpretação de testes para avaliar fatores que controlam o valor de um parâmetro) é fundamental na implementação de um projeto que vise a melhoria de um processo produtivo. Ainda segundo George (2002), o LSS funciona reduzindo os desperdícios, tempos de espera desnecessários entre etapas que agregam valor, não passa por acelerar os trabalhadores ou as máquinas. Para Salah, Rahim & Carretero (2010), o *George Group* foi o primeiro a integrar e a popularizar o LM com o SS.

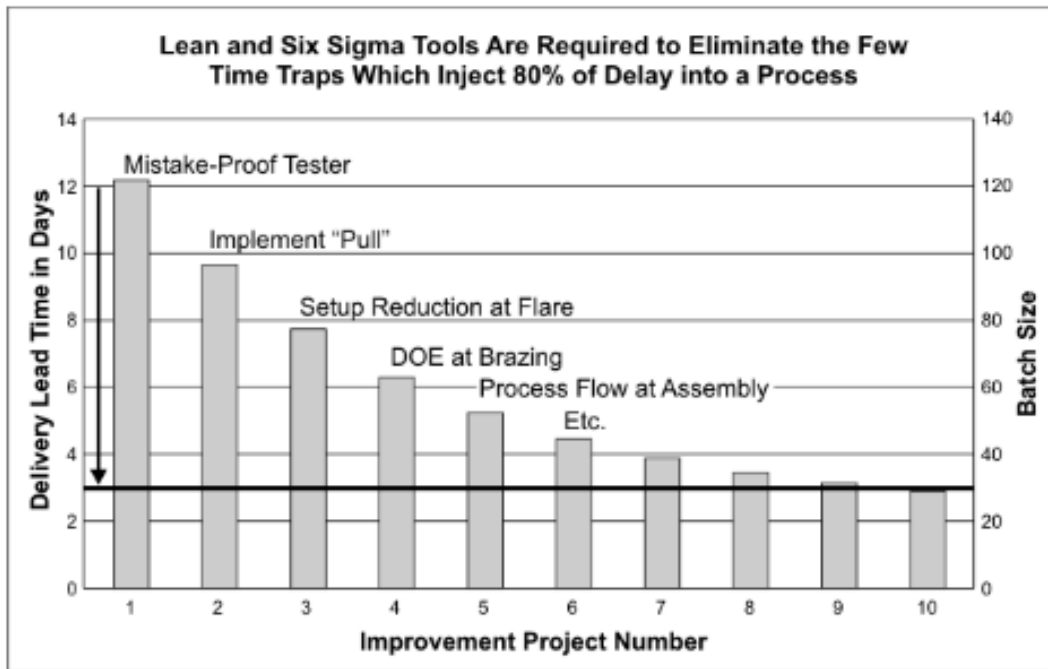


Figura 3. Ferramentas Lean e Six Sigma (George, 2002)

Para Sunder, Ganesh & Marathe (2018), o LSS é uma abordagem híbrida e sinérgica para modificar efetivamente as organizações e não apenas a combinação entre o LM e o SS. Para estes autores, o LSS possui várias características: esforça-se para reduzir os custos e gerir riscos, ajuda a gestão de topo na tomada de decisão, promove a inovação permitindo alcançar as capacidades organizacionais. De modo semelhante Salah, Rahim & Carretero (2010), apresentaram o LSS como uma metodologia que se foca na eliminação de desperdícios e variabilidade, seguindo a estrutura DMAIC para atingir elevados níveis de satisfação dos clientes, no que diz respeito à qualidade, entrega e custos.

Seguindo a linha de pensamento que o LSS não é a mera combinação entre o LM e o SS, George (2002), expôs alguns problemas que sozinhos nem o LM, nem o SS conseguem responder: Para alcançar rapidamente as melhorias em termos de custo, qualidade e *lead time*, em quais etapas do processo se deve aplicar inicialmente as ferramentas do LSS, em qual sequência e em que nível?

Para Pepper & Spedding (2010), a integração entre o LM e o SS tem como objetivo aproveitar cada oportunidade de melhoria numa organização. Se o LM é implementado sem o SS há uma lacuna de ferramentas, e isso impede que se atinja o potencial total da filosofia. De modo semelhante, utilizar o SS sem o *Lean Thinking*, apesar das

ferramentas de melhoria disponíveis, elas seriam implementadas sem uma estratégia ou estrutura para poder contemplá-las dentro de um sistema.

Salah & Rahim (2019), afirmaram que o LM e o SS se complementam um ao outro e o resultado desta integração é uma metodologia superior, o LSS, que supera as deficiências individuais das metodologias. Com esta integração, é possível a utilização das ferramentas adequadas de acordo com o problema identificado. Concordando com outros autores, este estudo descreveu o LSS como uma metodologia que se foca na eliminação do desperdício (herança do LM) e da variabilidade (herança do SS), esta sinergia pode ser observada na Figura 4, que demonstra duas distribuições de dados de tempo de manufactura. Antes da aplicação do LSS a variabilidade é maior, os dados portanto estão mais espalhados, após a aplicação da ferramenta não só os dados variam menos quanto o tempo de entrega também é reduzido em simultâneo. O LSS foca-se na melhoria dos processos, satisfazendo os clientes em termos da qualidade, entrega e custos, focando sempre na melhoria dos resultados financeiros da empresa.

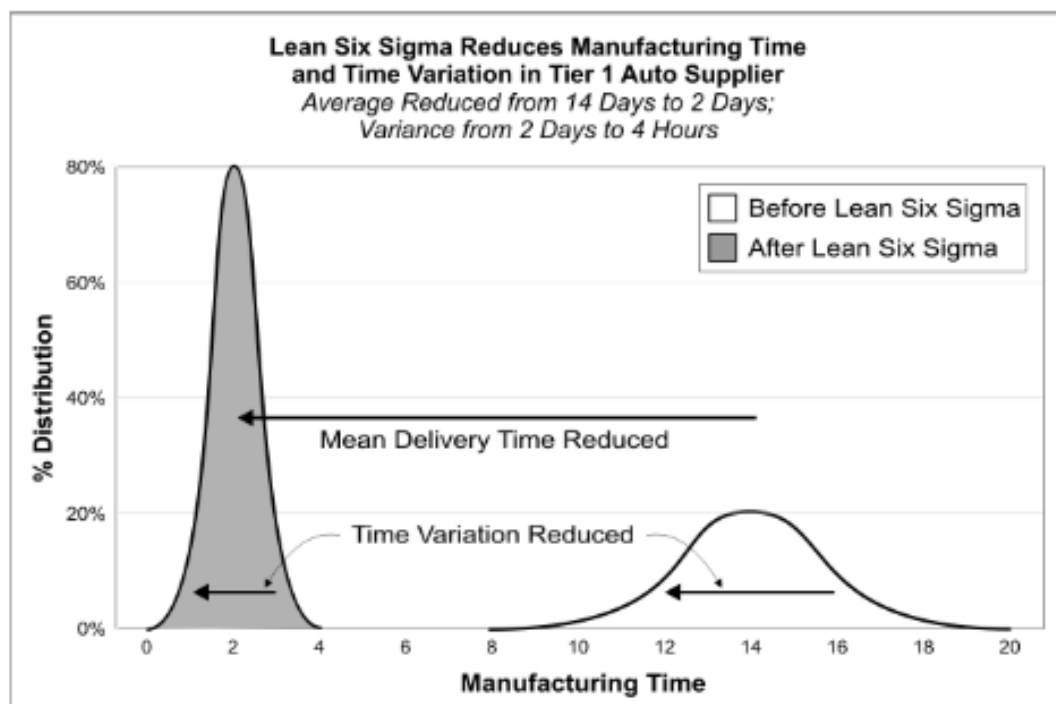


Figura 4. A redução de tempo e de variabilidade utilizando o LSS (George, 2002)

O estudo de Sreedharan & Raju (2016), apresentou uma revisão bibliográfica sobre o LSS e identificou que este era classificado por diversos autores de diferentes maneiras como “abordagem”, “metodologia”, “modelo”, “filosofia”, “programa”, “estratégia” e “sistema”. Neste estudo, tal como no estudo de Sunder, Ganesh & Marathe (2018), foi identificado um crescimento nos estudos com o tema SS, o número de publicações

sobre a temática do LSS em jornais acadêmicos tem vindo a crescer desde 2005. Foi identificado que o LSS era utilizado não apenas no setor produtivo, mas também era aplicado em diversas áreas de atividades dos serviços como *call centers*, cuidados de saúde, tecnologias de informação e comunicação, serviços bancários, entre outros. Entretanto, seguindo a complexidade e muitas vezes o elevado custo de implementação, tanto do LM quanto do SS, a adoção do LSS em PMEs não é amplamente difundida.

Martin (2014), apresentou uma sequência de 10 passos para implementação do LSS:

1. Alinhar os objetivos do projeto com os da organização;
2. Garantir a adesão do proprietário do processo, das finanças e outras partes;
3. Comunicar os resultados do projeto;
4. Provar o efeito causal  $Y = f(x)$ , ou seja, que uma variável é resultante da alteração de outra;
5. Melhorar os sistemas de medição;
6. Desenvolver um plano de melhoria detalhado;
7. Integrar contramedidas para a análise da causa raiz dos problemas;
8. Padronizar procedimentos;
9. Implementar um plano de formação e auditorias;
10. Aplicar estratégias de controlo.

Um conceito importante, introduzido por Salah & Rahim (2019), é que o LSS ajuda a transformar as organizações no que seria um conjunto de operações separadas para organizações interligadas e multifuncionais focadas em processos, uma vez que o LSS encoraja o uso de uma visão e linguagem únicas, ou seja, ao invés de uma divisão departamental com objetivos específicos e muitas vezes em conflito, o LSS auxilia na formatação da organização na busca por um objetivo único para todos

Em relação aos *gaps* enfrentados pelo LSS e encontrados na literatura, Sreedharan & Raju (2016), mostraram que ao utilização do LSS como uma ferramenta ao invés de uma técnica não é uma abordagem holística, além disso não há instruções claras e precisas para as organizações adotarem o LSS nas mais diferentes situações, ou seja, não há um modelo geral de implementação, mesmo mediante os 10 passos de Martin (2014), apresentados anteriormente. Outra lacuna encontrada foi a falta de consciência dos trabalhadores e gestores sobre a importância do LSS. Apesar de possuir uma abordagem *top-down*, para se ter uma implementação eficaz, o LSS necessita obrigatoriamente da compreensão dos trabalhadores e gestores para que as

## 2.6 Casos Práticos de Aplicação

Como apresentado anteriormente, o LM foi criado no seio da japonesa Toyota e o SS melhorou os indicadores da qualidade e os lucros da americana Motorola. Desde então, diversas foram as empresas que em determinado momento utilizaram projetos LSS para melhorar os seus produtos e processos/serviços.

De modo a reduzir as paragens não planeadas, Araújo et al. (2018), utilizaram o DMAIC. De acordo com o seu estudo, as paragens tinham impacto tanto nos indicadores de controlo, como na produção, não se conseguindo atingir os níveis de produção necessários, causando assim a falta de produtos disponíveis para entrega aos consumidores. Ao longo do projeto foram criadas e atualizadas instruções operacionais, instalados sistemas à prova de erros, chamados de *Poka-Yokes*, eliminados ajustes desnecessários e realizando o controlo de variáveis do processo. Os autores concluíram, por fim, que o DMAIC se apresentou como um método muito útil para a resolução do problema que tinham identificado. O facto de ser um método estruturado auxiliou positivamente na implementação de ações mediante prioridades estabelecidas e consideradas mediante o contexto da organização.

No trabalho conduzido por Evangelista et al. (2019), o método DMAIC foi utilizado numa empresa de produção de rodas, com o objetivo de reduzir a ocorrência de oxidação em discos e aros. Na etapa do *define* foi desenvolvido um SIPOC, que possibilitou a definição das etapas do processo e da cadeia de abastecimento além de um fluxograma que evidenciava o fluxo de informações do processo. Elaboraram ainda, nessa etapa inicial, um cronograma das atividades, o contrato da equipa referente ao projeto e os pontos de recolha de dados. Na etapa *Measure* foi realizada uma estratificação do problema. Esta ação é importante para se poder visualizar os problemas ao nível mais específico possível. Posteriormente, na etapa *Analyse*, identificaram as possíveis causas do problema, utilizaram a Matriz GUT (Gravidade, Urgência, Tendência) para proceder à análise das causas, mediante os problemas identificados na estratificação anterior, de modo a priorizar o problema sobre o qual deveriam atuar. Na fase *Improve*, utilizaram outras ferramentas da qualidade como o 5W1H e atuaram ao nível do processo, implementando as melhorias adequadas. Por último, no *Control*, foram elaboradas cartas de controlo individuais, procurando manter os novos níveis e padrões, por exemplo o retrabalho por oxidação na linha escolhida foi reduzido em 81%, 1% a mais do que foi estabelecido como meta na fase inicial do *Define*.

Jirasukprasert et al. (2012), realizaram um estudo também utilizando o DMAIC para reduzir a ocorrência de defeitos na produção de luvas de borracha. Após as etapas *Analyse* e *Improve*, utilizando o DOE (técnica estatística para investigar efeitos de múltiplos fatores (Jirasukprasert et al., 2012)) e ANOVA (modelo estatístico para comparar diferenças entre médias de mais de duas populações (Jirasukprasert et al., 2012)), foi identificado que a temperatura do forno e a velocidade do compartimento tinham um impacto estatístico significativo na produção de luvas defeituosas. Utilizando estas ferramentas foi identificada a correlação entre os dois fatores supracitados. Como resultado, obtiveram uma redução de 50% de luvas com um tipo específico de defeitos. Isto ajudou a organização a aumentar o seu nível sigma de 2,4 para 2,9, com uma redução de 195.095 para 83.750 o DPMO.

De modo a reduzir a taxa de rejeição numa linha de moldagem em areia a alta pressão, Sachin & Dileplal (2017), utilizaram o DMAIC. Para isso, na etapa *Define* definiram o objetivo do projeto, mapearam o processo para entender todo o fluxo e assim reduzir a variação na produção. Na etapa *Measure*, recolheram dados relevantes durante seis meses para rastreamento deste problema particular e conseguiram elaborar um Gráfico de Pareto. Já na etapa *Analyse*, os dados recolhidos foram verificados, analisados e ordenados por ordem para poderem identificar as possíveis causas raiz e os seus respectivos impactos. Também foi utilizado um FMEA para identificar a importância de cada um dos defeitos. Para cada modo de falha foram propostas soluções na etapa *Improvement*. Por fim, iniciaram ações para manter e controlar as melhorias. Este projeto proporcionou uma redução da taxa de rejeição de 15,61% para 7,40%.

Nunes (2015), criou um modelo para apoiar o processo de tomada de decisão na implementação integrada e focada na melhoria contínua do LSS e conceitos ergonómicos como o dilema entre o aumento da produtividade sem aumentar o risco de lesões ou erros. Esta implementação do LSS tendo em consideração os aspectos ergonómicos tem o potencial de obter ganhos significativos em produtividade e em simultâneo melhorar as condições de trabalho. O modelo criado é útil, e particularmente relevante, para os gestores de PMEs que muitas vezes até possuem o conhecimento técnico e a consciência da importância destes aspectos, mas geralmente não possuem os meios técnicos e financeiros para desenvolverem os aspectos relevantes para implementar a melhoria contínua.

Quando se trata de projetos LSS, um aspecto muito importante é ter a certeza que a variação identificada é real e efeito do próprio processo, e não resultante de algum

problema como o sistema de medição, porque se está a utilizar métricas inadequadas. Para se poder analisar o sistema de medição, o estudo de repetitividade e reprodutividade (GR&R) é muito utilizado, pois através dele é possível afirmar se uma hipotética variabilidade no sistema de medição possui influência significativa na variabilidade medida no processo. A repetitividade diz respeito à variabilidade das medições de um determinado elemento sob as mesmas condições de medição (variabilidade inerente ao equipamento de medição), já a reprodutividade ocorre tendo em consideração as diferenças entre as médias de leitura realizadas por diferentes operadores. Neste sentido Araújo et al. (2018), analisaram medições num processo de soldadura de revestimentos e identificaram problemas tanto de reprodutividade quanto de repetitividade, que o gráfico de controlo de Amplitude (Carta Xbarra-R) não conseguiu apontar.

De modo semelhante, Silva et al. (2018), avaliaram no setor da qualidade de uma empresa de laminados, a confiabilidade do sistema de medição dos operadores, também utilizando um estudo GR&R. Como conclusão, para esclarecimento dos tipos de defeitos, foi sugerida a realização da atualização da formação e treino dos funcionários. Também foi sugerida a realização periódica de testes para que os funcionários pudessem ter uma noção mais clara acerca dos itens tidos como conformes e não conformes.

Visando dar mais confiança e previsibilidade às decisões tomadas em cada fase do LSS, Gupta, Modgil & Gunasekaran (2020), realizaram uma revisão bibliográfica da aplicação de *Big Data Analytics* (BDA) no LSS. Como conclusão do estudo, os benefícios da recolha e tratamento dos *Big Data* dentro do contexto de um projeto LSS é multifacetado. Inicialmente, há um impacto enorme de melhoria, pois os BDA utilizam análises avançadas, enquanto as técnicas utilizadas normalmente em projetos LSS são ou descritivas ou exploratórias. Depois, enquanto o LSS fornece uma abordagem estruturada, o BDA tem a capacidade de prever e analisar os problemas do negócio mais apropriadamente. Concluindo, a aplicação do BDA no LSS em termos de armazenamento, integração, interpretação e modelagem pode levar a soluções práticas para os problemas enfrentados pelas organizações.

De forma a identificar as práticas da utilização do LSS em etapas de desenvolvimento de produtos, Siqueira & Lizarelli (2019), realizaram um estudo de caso numa empresa de bens de consumo. Para tal identificaram o conceito de *Design for Six Sigma*, cujo foco é diminuir a variação sem afetar, contudo, o desempenho. Tendo concluído, que as

práticas mais citadas envolvem equipas multifuncionais, padronização e envolvimento dos fornecedores nas etapas iniciais do projeto.

Uma ferramenta bastante utilizada em projetos LSS é o controlo estatístico do processo (CEP). Nesse sentido Santana & Prado (2018), conduziram um estudo para analisar as perdas no sobrepeso de uma indústria de produtos alimentares devido à variabilidade. Após analisar os dados das cartas de controlo foi possível identificar o gargalo do processo produtivo e identificar o problema. Posteriormente foi utilizada a ferramenta 5W2H para estruturar o plano de ação.

Também no setor alimentar, Sanny, Novita & Novela (2016), conduziram um estudo numa PME que produz Tofu, a comida mais popular da Indonésia, para resolver os problemas no processo de produção, especialmente relacionados com a qualidade do produto. Neste estudo, utilizaram *checklists* e o Diagrama de Pareto para identificar a sequência do maior para o menor defeito e as suas respectivas ocorrências. Recolheram dados para poderem realizar, posteriormente, uma análise da carta de controlo adequada ao processo sob estudo (Carta p), calcular o nível sigma da empresa e o DPMO. Posteriormente, para identificar a causa raiz do problema, utilizaram um gráfico de causa e efeito. Foi realizado um *brainstorming* para se proporem soluções de melhoria, seguido das ações corretivas estabelecidas. Por fim, o gestor garantiu um novo nível de desempenho com novos padrões, que foram documentados e comunicados aos interessados como medidas corretivas úteis para solucionar os problemas identificados nos processos.

Tendo em consideração os aspectos ambientais, Shokri & Li (2020), utilizaram um modelo para identificar as condições nas quais o LSS poderia ser menos danoso para o meio ambiente, consumindo menos energia, mas tendo em consideração o ponto de equilíbrio entre o volume de produção e o preço final para alavancar os resultados financeiros esperados e o impacte ambiental do projeto LSS. Concluíram que apesar da redução dos desperdícios, o aumento no volume de vendas proporcionado pelo LSS poderia ser danoso para o meio ambiente. Curiosamente, se o número de consumidores preocupados com os aspectos ambientais fosse maior, os projetos “verdes” iriam estimular esse público a comprar os produtos, provocando um aumento no consumo, que, por sua vez, aumentaria o consumo de energia, o que é danoso para o meio ambiente.

## Capítulo 3

Neste capítulo é apresentada a metodologia que embasou o trabalho realizado.

### 3. Metodologia

Para a realização do presente estudo foi utilizada como base o *Lean Manufacturing* e as suas ferramentas que, mediante análise *in loco* do autor, mais se adequaram ao ambiente produtivo em questão. A empresa estudada é uma multinacional do ramo automóvel, localizada em Portugal e possui muito disseminado o Six Sigma, com o objetivo de impedir que os seus produtos finais possuam uma variabilidade que possa pôr em causa a sua aceitação pelos clientes. Entretanto, esta abordagem possui diversas lacunas uma vez que a busca pela não variabilidade de produtos finais não acompanha a busca pela não variabilidade do processo produtivo, que possui diversos fluxos cruzados e não segue uma linha natural de *inputs*, processamento e *output*.

Estes fluxos cruzados são justificados em certa medida pela complexidade e elevado número de variáveis, que envolvem o processo produtivo em si. Inicialmente na validação pela engenharia, passando pela preparação do ambiente de trabalho em níveis de *layout*, disponibilização dos componentes adequados, sendo finalizado pela produção, aprovação pela qualidade, embalamento e expedição.

Entretanto, especialmente perante um ambiente tão complexo, a utilização de algumas ferramentas LM pode trazer um impacto positivo para melhorar o fluxo de informações, materiais e pessoas. Estas melhorias, mesmo exigindo um esforço inicial, principalmente ao nível de tempo para projetar as alternativas, têm potencial para reduzir o *lead time* do processo produtivo, aumentar a eficiência, reduzir o desperdício de mão-de-obra e materiais com retrabalho, multas pelo não envio ou envio equivocado de produtos, perdas de tempo elevadas na procura por informação relevante.

Neste cenário foi estudada a relação entre LM e SS: o LSS. Isso deu-se na tentativa de aliar os aspetos já adotados pela empresa com novos conceitos, de modo que não apenas os produtos finais que chegam aos clientes não possuam defeitos, mas que todo o processo produtivo por trás disso apresente o mínimo de desperdício possível, dando margem para a empresa conseguir obter um volume ainda maior de produção, ter capacidade de resposta a níveis de procura cada vez mais elevados e exigentes, aumentando, portanto, a sua rentabilidade.

Para que as ações fossem efetivas, foi efetuado inicialmente um estudo sobre a área produtiva, utilizando o Gráfico de Pareto para identificar as maiores fontes de desperdício. O Gráfico de Pareto é uma ferramenta poderosa que possui como pressuposto que 80% dos problemas são causados por 20% (Araújo et al., 2018). Uma vez que os recursos para solucionar todos os problemas são limitados, esta ferramenta ajuda a identificar as maiores fontes de problemas e, com isso, se obter melhores resultados mesmo usando um número reduzido de recursos.

Após a identificação das fontes de desperdícios mais impactantes, foi realizada uma estratificação destas para chegar no nível de detalhe operacional. Nesta fase, também foi utilizado o Gráfico de Pareto, de modo a que se pudesse atuar sobre as fontes de desperdícios operacional, ou seja, as ações concretas dos operadores.

Apenas ao identificar as ações operacionais mais relevantes, que causam desperdícios, seria possível propor ações de melhoria baseadas na aplicação das ferramentas *Lean* apropriadas aos problemas identificados, conseguindo-se assim obter melhores resultados.

Importa salientar, que os desperdícios identificados foram classificados de acordo com os 7 desperdícios do *Lean*, referidos anteriormente, de modo a que, após essa classificação, fosse possível traçar as estratégias adequadas que envolvessem diretamente a aplicação de determinadas ferramentas de acordo com os recursos disponíveis e a capacidade de aplicação destas ferramentas pelo autor.

Algumas ações de melhoria foram pautadas pela aplicação direta e tradicional de determinadas ferramentas, outras ações utilizaram os conceitos (as ideias) que baseiam as ferramentas *Lean*. Esta distinção é importante, pois em alguns casos o autor não teve todos os recursos necessários para aplicar uma determinada ferramenta

Algumas ferramentas *Lean* que foram consideradas para este estudo foram o 5S, *Spaghetti Chart*, *Poka-Yoke* e um dos pilares do LM, o JIT.

# Capítulo 4

## 4.Caso de Estudo

A empresa sob estudo utiliza a filosofia SS, de tal modo que a busca incessante é para que nenhuma variabilidade, em termos da qualidade, chegue até os clientes. No seu *site* oficial, é referido que todos os dias a empresa envia 90 milhões de componentes e que possui menos de um item rejeitado por milhão. Entretanto, foi observado pelo autor que esta abordagem é extremamente manual, pouco automatizada, dependente quase exclusivamente da habilidade das pessoas nos departamentos de engenharia e qualidade, além da burocracia identificada em cada etapa de validação dos projetos de concepção do produto mediante o que foi solicitado pelos clientes, bem como na produção, inspeção final, embalagem e expedição.

Este cenário desemboca num círculo vicioso onde a complexidade do processo produtivo gera muita burocracia interdepartamental e essa burocracia é o que acaba, por fim, tornando o processo produtivo complexo. Por outro lado, a falta de automatização dos processos justifica a criação de barreiras burocráticas para tentar impedir que os erros aconteçam na concepção do produto mediante o que foi pedido pelos clientes.

Portanto, o SS utilizado pela empresa sob estudo, ao contrário do que é suposto, pouco utiliza a estatística e o controlo do processo, mas baseia-se apenas na criação de etapas burocráticas para impedir que as diversas ineficiências internas sejam percebidas pelo cliente naquilo que lhe é importante: a entrega do produto pedido, no momento em que foi pedido.

Como é comum em diversas empresas, os funcionários dos diversos departamentos, por possuírem muitas atribuições, que poderiam ser substituídas por mecanismos automáticos, acabam sobrecarregados nas tarefas diárias e dedicam pouco tempo à melhoria dos processos produtivos, o que acaba sempre por adiar tais ações. Uma vez que a preocupação central de todos os departamentos é o próximo envio, que ocorre semanalmente. Isto aliado ao facto de o número de novos funcionários não acompanhar o ritmo dos novos projetos, faz com que não seja realizado um estudo sério e contínuo que envolva a melhoria na eficiência interna dos processos. Em resumo, o volume de trabalho é maior do que o número de pessoas e toda energia é

gasta exclusivamente em não falhar com o cliente, superando todas as ineficiências internas.

#### 4.1 Identificação do Problema

Com base nos dados disponibilizados pela empresa, foi definido que o KPI sob estudo seria o volume de produção da linha, uma vez que este indicador é de fácil acesso. Assim como, todas as mudanças eventualmente implementadas refletem-se decisivamente neste KPI e que é por este indicador que o autor é diretamente responsável no seu trabalho diário. Além disso, este indicador pode ser medido semanalmente, acompanhando o volume enviado com essa regularidade, uma vez que como foi referido anteriormente os envios são semanais.

Neste sentido, foram identificadas diversas fontes de desperdício que acabavam por reduzir o volume produzido e estes dados foram representados num Gráfico de Pareto (Figura 5). A utilização deste gráfico permite ter uma noção clara dos problemas mais impactantes, permitindo assim que as ações tomadas enderecem os pontos de maior relevância, uma vez que recursos como o tempo é escasso e precisa de ser gerido de uma forma consciente.

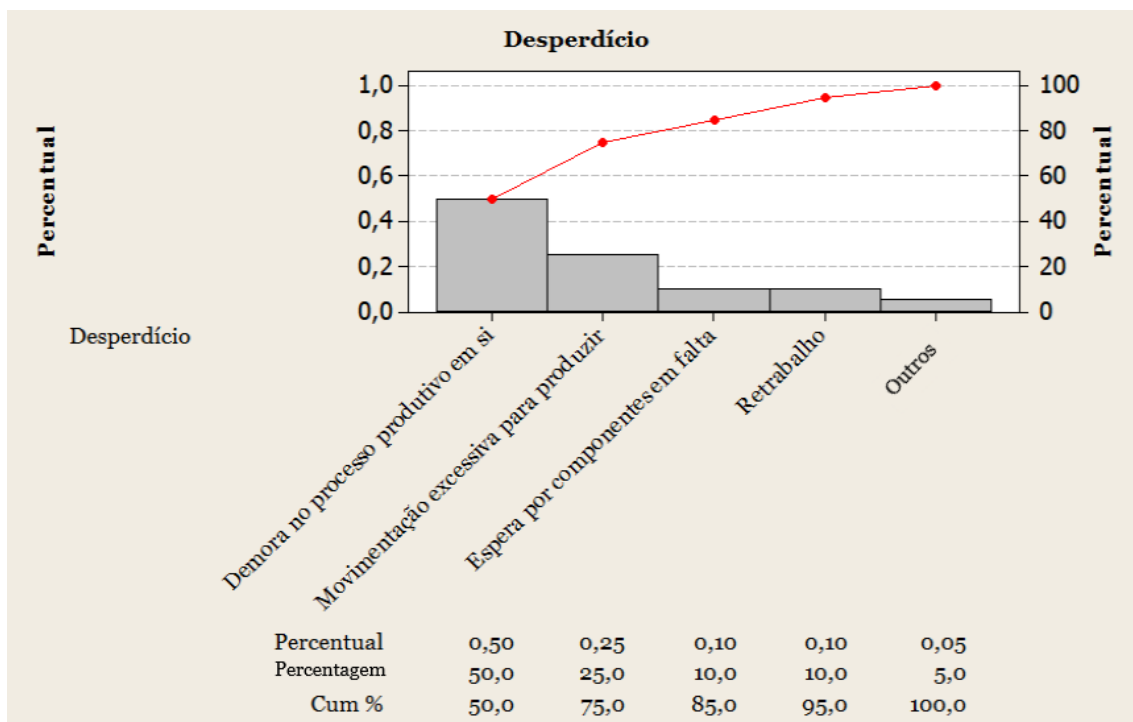


Figura 5. Desperdícios

Adotando como base a filosofia LM, pode-se verificar que os principais desperdícios podem ser enquadrados nas seguintes categorias:

- Demora no processo produtivo em si: Processamento em si;
- Movimentação excessiva para produzir: Movimentação;
- Espera por componentes em falta: Espera;
- Retrabalho: Defeito;
- Conversas paralelas: sem um defeito do LM claro, mas podendo enquadrar-se em “Espera” e “Movimentação”.

Pela regra do 80/20, onde 80% dos problemas são causados por 20% de causas (Araújo et al., 2018), o autor focou os recursos disponíveis na resolução das duas causas mais relevantes a “Demora no processo produtivo em si” e a “Movimentação excessiva para produzir”.

## **4.2 Estratificação das Causas**

Para uma melhor compreensão das causas, e assim se poder abordá-las de modo mais consciente e eficaz, foi elaborada uma estratificação das duas causas mais relevantes que têm impacto direto no volume de produção da linha de produção em estudo. A estratificação do problema denominado “Demora no processo produtivo em si” é apresentada na Figura 6, enquanto a estratificação do problema “Movimentação excessiva para produzir” encontra-se ilustrada na Figura 7. Com as estratificações, é possível evidenciar os pontos que mais afetam as causas mais relevantes para o problema em estudo. Portanto, as ações tomadas visaram exatamente estes pontos, uma vez que a mitigação destes problemas impacta diretamente no KPI sob estudo.

As fontes de desperdício mais impactantes apresentadas na Figura 6 são:

- Dúvidas em como produzir: os operadores tinham muitas dúvidas em como produzir cada produto em termos de métodos operatórios;
- Espera pela orientação da engenharia: orientar os operadores no método operatório, que entra na alçada da primeira fonte de desperdício apresentada acima, quanto à orientação de quais produtos devem ser produzidos e quais os fluxos que devem ser tomados após produzir;
- Controlo elétrico: após a produção é necessário controlar eletricamente o produto, apesar de garantir a qualidade do produto em termos de funcionalidade elétrica, é uma atividade que consome um tempo elevado e que

caso a produção tivesse um controlo mais rígido, automatizado e à prova de erros nas etapas anteriores poderia ser em última instância eliminado;

- Embalamento: após o controlo elétrico é preciso embalar os produtos na caixa adequada, com o saco adequado. Esta atividade manual também consome tempo e é fonte de desperdício;
- Fadiga: a redução no ritmo produtivo dos operadores ao longo do dia.

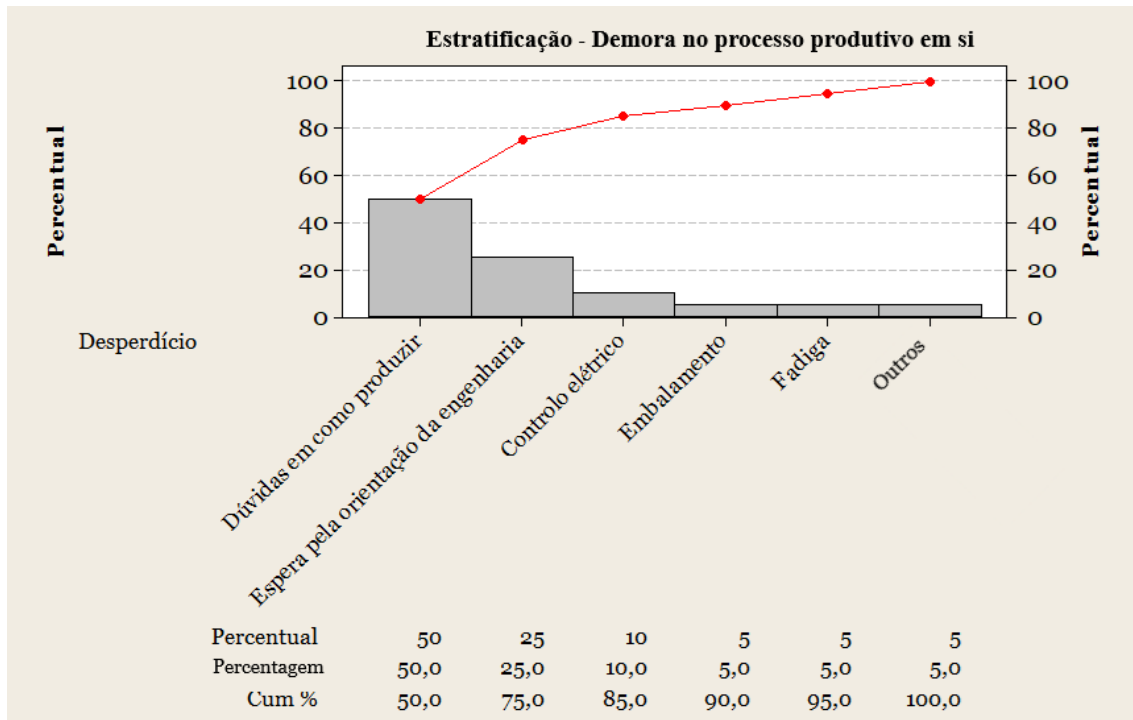


Figura 6. Estratificação - Demora no processo produtivo em si

A Figura 7 ilustra a Estratificação do desperdício “Movimentação excessiva para produzir” tem as seguintes fontes de desperdícios:

- *Layout* produtivo mal concebido: por falta de espaço, tempo para fazer um estudo melhor, dúvidas em como a área produtiva seria dividida e orçamento limitado para estruturas;
- Componentes longe do local onde são utilizados: como a organização dos postos de trabalho foi feita, num momento inicial, tendo em consideração apenas a necessidade de alocar os componentes na área, diversos desses componentes acabaram por ficar longe do local específico onde são utilizados;
- Movimentação até ao líder da produção para tirar dúvidas: na ausência do engenheiro diversas dúvidas são sanadas com o líder da produção, gerando espera e retrabalho;
- Movimentação para levar os produtos para área de controlo elétrico: como não há um método automático para levar os produtos até o controlo elétrico os

operadores devem deixar seu posto de trabalho e dirigirem-se até à área onde o controlo elétrico é realizado.

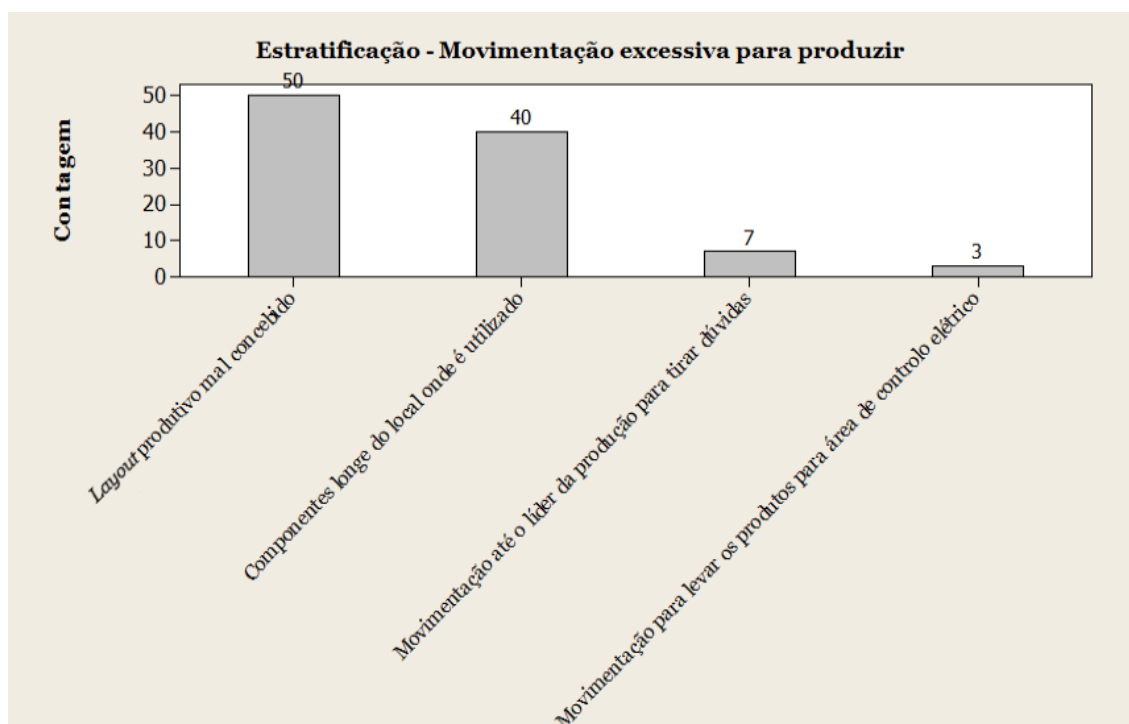


Figura 7. Estratificação - Movimentação excessiva para produzir

### 4.3 Ações de Melhoria

Uma vez clarificados os pontos de maior relevância para o volume de produção da linha, várias ações de melhoria foram adotadas, cada uma com o foco num determinado desperdício. As ações escolhidas utilizaram por base os conceitos do LM, buscando a mitigação dos desperdícios identificados. Importa salientar, que mediante o âmbito do estudo, o poder de ação do autor e a necessidade de aumento no volume de produção no curto prazo foram levadas em consideração, a viabilidade, a rapidez e a aplicabilidade das ações.

Na estratificação do desperdício “Demora no processo produtivo em si” foi identificado que o ponto de maior relevância eram as dúvidas dos operadores em como produzir devidamente. De forma a reduzir este problema várias ações foram realizadas, como por exemplo:

- Desenvolvimento de ajudas visuais com o método operatório correto, introduzindo-se também indicações visuais no posto de trabalho da forma correta que determinados componentes deveriam ser utilizados (Figura 8 e Figura 9);

- Implementação de *Poka-Yokes* para tornar a produção mais intuitiva e menos suscetível a interpretações dúbias: foram introduzidos gabaritos, indicado no posto de trabalho a posição correta que determinados componentes devem ser inseridos em cada produto, através da utilização de um código de cores para diferenciar e contra-peças físicas (Figura 10).

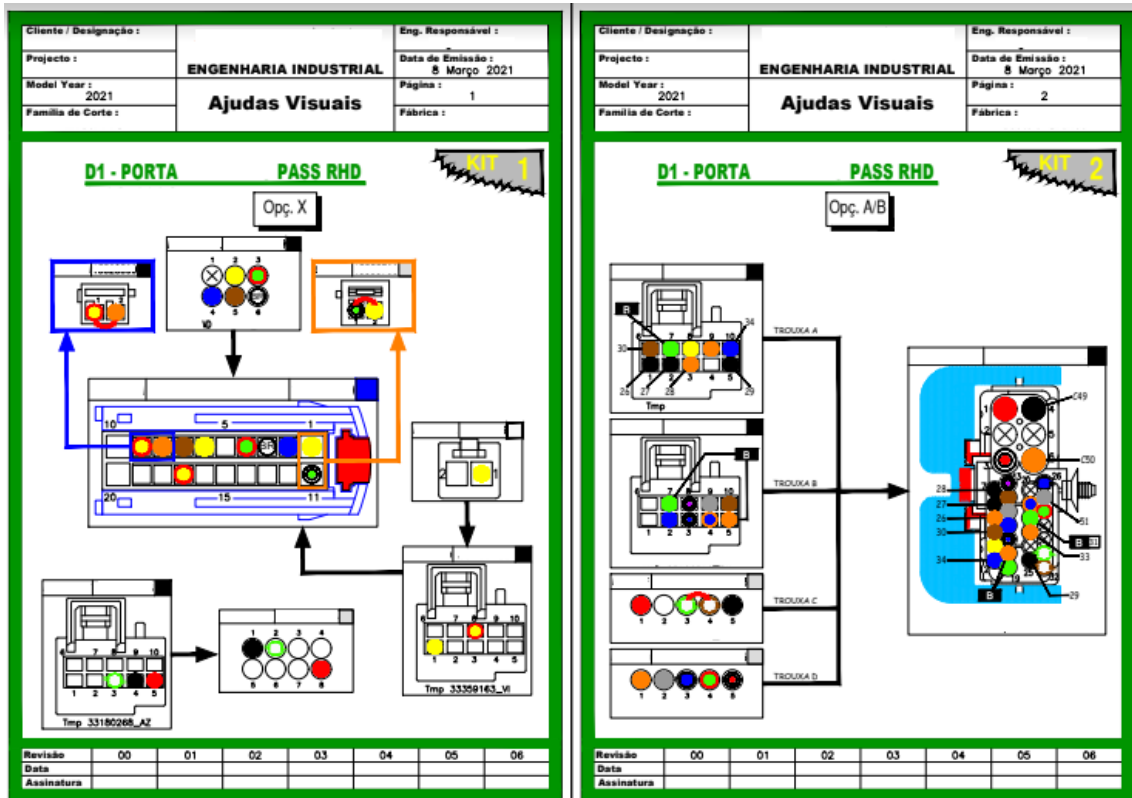


Figura 8. Ajuda visual para Método Operatório

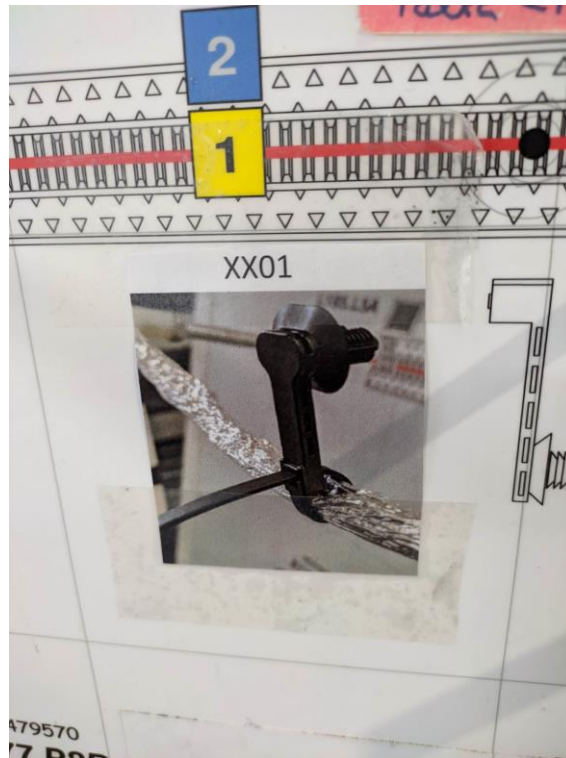


Figura 9. Ajuda visual: foto colada no posto de trabalho



Figura 10. Poka-Yoke: desenganador para inserir abraçadeira

Outro ponto relevante identificado, que acabava por causar demora excessiva na produção, era a espera por orientações da engenharia em como produzir. Para tentar mitigar este problema as ações seguintes foram implementadas:

- Orientação inicial do engenheiro a todos, com o esclarecimento de dúvidas, retificação dos pontos identificados. Quando um produto novo era produzido pela primeira vez, o engenheiro responsável participava ativamente na produção, explicando os pontos críticos aos operadores;
- Disponibilização, em local de fácil acesso a todos, dos desenhos técnicos. Este ponto visava facilitar a elucidação de eventuais dúvidas que surgissem após o início da produção. Evidentemente, a interpretação dos desenhos técnicos só pode ser feita por operadores mais experientes, mas esta ação visou exatamente facilitar o acesso à informação técnica por parte dos líderes e do engenheiro quando este se deslocar à área produtiva;
- Criação de uma *work order* semanal. Foi identificado que os operadores tinham muitas dúvidas sobre quais os produtos que deveriam ser produzidos mediante a procura do cliente. Este documento foi criado e distribuído aos líderes da produção, permitindo assim a disponibilização da informação relevante de quais produtos deveriam ser produzidos e as suas respetivas quantidades. A *work order* também permitiu o acompanhamento da produção ao longo dos dias, facilitando o trabalho dos líderes na gestão da equipa e dos componentes. Este documento permitiu também aos líderes apontarem quaisquer problemas que eventualmente surgissem na produção, facilitando o mapeamento e estabelecimento de medidas para resolver esses problemas.

Através da análise dos pontos levantados ao estratificar o desperdício “Movimentação excessiva para produzir” também foram adotadas ações de melhoria. Como os pontos mais relevantes foram o “Layout produtivo mal concebido” e as “Componentes longe do local onde são utilizados” ficou evidente que as ações deveriam ter como foco o WPO (Work Place Organization). Portanto, um estudo do layout produtivo foi efetuado tendo em consideração a viabilidade de obter melhorias rápidas e com o menor custo possível de implementação. O resultado destas mudanças pode ser visualizado nas Figura 11 e Figura 12.

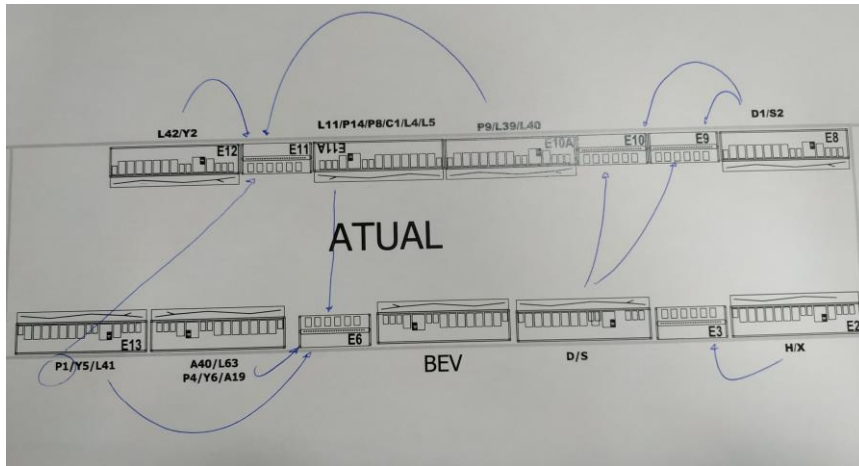


Figura 11. Layout antes

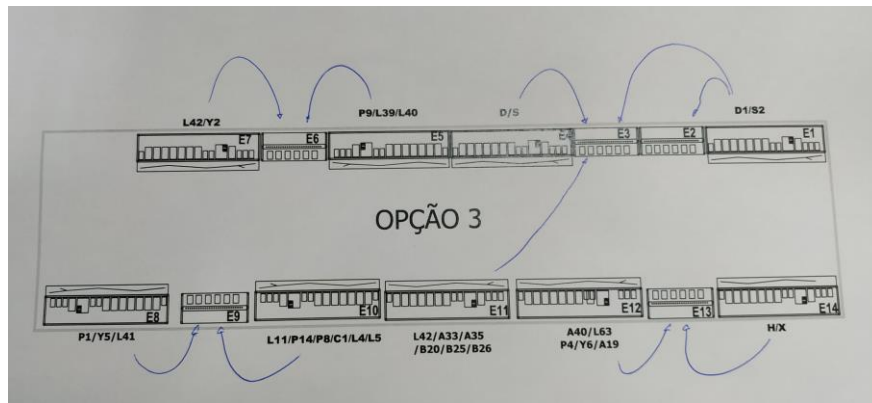


Figura 12. Layout depois

Conforme pode ser analisado através do *Spaghetti Chart*, os fluxos cruzados eram superiores em número antes da mudança no *layout* produtivo. Portanto, a movimentação dos operadores reduziu consideravelmente, aumentando o tempo que eles passam adicionando valor ao produto ao invés de terem de se deslocar até à estante onde estão os componentes.

Também foi realizado um estudo de cada unidade produtiva, fazendo com que os componentes que ficam sobre os painéis estejam localizados, sempre que possível, exatamente acima ou abaixo do local onde ele será inserido no produto. Este estudo permitiu que componentes que estavam até 2 metros de distância ficassem a menos de 50 centímetros de onde são manuseados, fazendo com que os operadores possam alcançá-los apenas esticando os braços, ao invés de terem que se deslocar até aos mesmos.

#### 4.4 Impacto das Ações de Melhoria no volume de produção

Conforme referido na secção 4.1, todas as ações de melhoria implementadas tiveram como foco um aumento do volume de produção, que era o KPI de mais fácil acesso para o autor. Neste sentido, a evolução no volume de produção, atestando portanto a eficácia das ações de melhoria são apresentadas na Figura 13. Foram estabelecidos parâmetros para atestar que o aumento no volume produzido foi decorrente especialmente das ações de melhoria implementadas, mesmo que seja tida em consideração a curva de aprendizagem natural dos operadores: foi mantido o mesmo prazo temporal de uma semana para contabilizar o número de *outputs* enviados para o cliente e o número de operadores manteve-se inalterado.

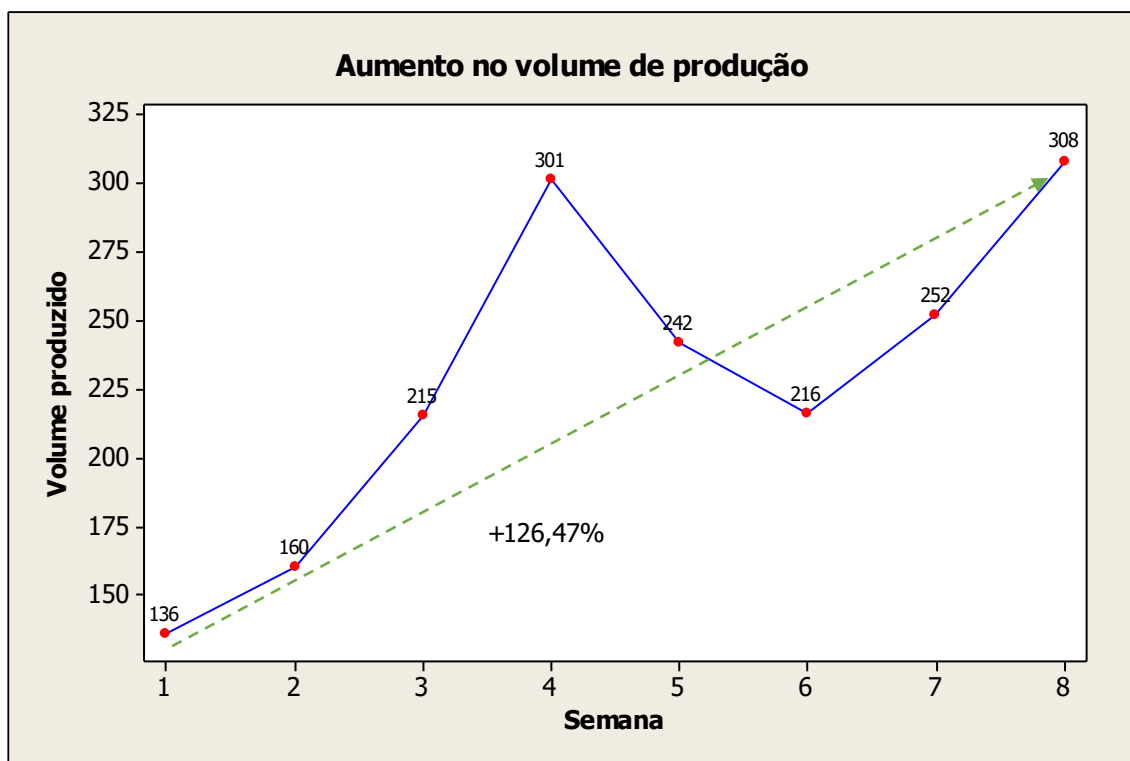


Figura 13. Aumento no volume produzido

Através da análise da Figura 13 é possível verificar que após a implementação das ações de melhoria houve um aumento substancial e contínuo entre a semana 1 e a semana 4, após isso houve uma redução no volume produzido que pode ser explicado por um relaxamento do rigor no controlo das ações, além de uma redução na procura do cliente. Por fim o volume produzido voltou a subir, seguindo a tendência de alta inicial e encerrando o ciclo de estudo em um aumento total de 136 para 308, o que representa 126,47%.

## **4.5 Propostas para Ações Futuras**

O presente estudo teve como base a implementação de melhorias mediante os recursos disponíveis para o autor poder agir. Entretanto as melhorias implementadas podem ser aprimoradas, utilizando o conceito *Lean* chamado *Kaizen* (melhoria contínua), que segundo a Figura 1 é um dos pilares do LM.

### **4.5.1 Pick to Light**

Uma abordagem que poderia ser utilizada no futuro seria a *pick to light*. Esta tecnologia baseia-se na iluminação dos componentes específicos que devem ser utilizados mediante a produção necessária. Isto evitaria o engano na utilização de componentes, reduziria o *lead time*, por consequência aumentaria a produtividade e lucro da empresa. Entretanto, esta tecnologia exige não apenas os dispositivos físicos para a sua utilização, mas também exige que os dados de ordens de produção e árvore de produto estejam disponíveis e que o mecanismo seja dinâmico e flexível mediante mudanças nos pedidos.

### **4.5.2 Controlo Estatístico do Processo (CEP)**

A abordagem SS utilizada pela empresa baseia-se apenas no controlo do DPMO no produto acabado. Todavia, esse KPI apesar de útil, especialmente tendo em consideração que a falha de um desses produtos num veículo pode levar a acidentes graves, pode esconder ineficiências internas. Nesse sentido, a utilização do CEP pode ser de grande valor, uma vez que essa ferramenta evidencia essas ineficiências internas, permitindo aos responsáveis agirem inicialmente de modo corretivo, mas com o objetivo de prevenir que as mesmas ineficiências se repitam no futuro.

### **4.5.3 Cronoanálise**

A empresa carece da utilização de dados para definir estratégias e entender se é possível satisfazer determinados pedidos, se os funcionários estão a ser eficientes, etc. Neste sentido, a utilização da cronoanálise, ou seja, fazer um acompanhamento dos tempos de produção, seria de grande valia. Apenas com o estabelecimento dos tempos padrão referentes às diversas etapas do processo produtivo, seria possível definir a capacidade produtiva, verificar a evolução da aprendizagem de um operador e conseguir classificá-los mediante as suas habilidades e esforços. Exatamente, por conseguir classificar a eficiência dos operadores esta ferramenta é muito valiosa inclusive para os recursos humanos traçarem as suas estratégias em termos de formação, contratação e despedimentos.

#### **4.5.4 Alteração no *Layout***

Outra melhoria proposta, para intervenções futuras, é a alteração do *layout* produtivo, especialmente dos produtos considerados pequenos. Nesta família de produtos, faz sentido colocar os componentes na “*golden zone*” do operador, ou seja, à distância de uma extensão de cotovelos. Isto permitiria que o operador não precisasse de sair do local onde o produto é produzido, reduzindo drasticamente os desperdícios com as movimentações. Esta mudança no *layout* poderia estender-se além do ambiente produtivo, sendo aplicada também para o local onde os produtos são aprovados pela qualidade e expedidos. Faz sentido que esses locais sejam próximos e que a qualidade, por ser o último departamento antes da logística, que é responsável pela expedição, esteja num local estratégico entre a produção (de quem ela recebe os produtos) e a logística (para quem ela os entrega).

# Capítulo 5

## 5. Conclusões

O *Lean Manufacturing* permite às organizações reduzir os desperdícios, aumentar o volume de produção e obter vantagens competitivas, por sua vez o *Six Sigma* reduz a variabilidade dos processos, aumentando a previsibilidade e a confiabilidade dos produtos, especialmente no setor automóvel onde uma falha pode ser fatal, o controlo dos defeitos por milhão de oportunidades é fundamental. A combinação entre as duas abordagens designado por *Lean Six Sigma* traz a vantagem que utiliza em simultâneo a base estatística do *Six Sigma* e a flexibilidade, e muitas vezes simplicidade, do *Lean*.

Neste contexto, com esta dissertação pretendeu-se aumentar o volume de produção de uma linha produtiva com a implementação de ferramentas *Lean* numa empresa do ramo automóvel que supostamente já possui, mesmo que parcialmente, o *Six Sigma*.

A partir de uma análise inicial constatou-se que o *Six Sigma* utilizado pela empresa para o controlo do DPMO se baseava apenas na inspeção final feita pelo departamento da qualidade, de forma manual, sem um controlo estatístico do processo e um acompanhamento baseado em dados das diversas etapas do processo produtivo. Este método de inspeção final garante que a empresa cumpre os requisitos legais de segurança do produto acabado, mas acaba escondendo diversas ineficiências internas. Estas ineficiências foram mitigadas ao longo deste estudo com a utilização das ferramentas *Lean* tidas como adequadas para os problemas identificados, mediante os recursos à disposição do autor para implementá-las em termos estruturais, financeiros e dada a viabilidade para implementar em tempo hábil.

O indicador referente ao volume de produção da linha sob estudo foi o escolhido, uma vez que esse indicador era o mais acessível e com resultados comparáveis no horizonte temporal da realização do estudo.

Ao longo do estudo, várias ações de melhoria foram efetuadas como o desenvolvimento de ajudas visuais com o método operatório correto; implementação de *Poka-Yokes* para tornar a produção mais intuitiva e menos suscetível a interpretações dúbias; orientação inicial do engenheiro dirigida a todos os intervenientes, com o esclarecimento de dúvidas, retificação dos pontos identificados; disponibilização de todos dos desenhos técnicos em local de fácil acesso; criação de uma *work order* semanal e alterações do *layout* produtivo. Foi também realizado um estudo de cada unidade produtiva, fazendo

com que os componentes que ficassem sobre os painéis localizados, sempre que possível, exatamente acima ou abaixo do local onde eles serão inseridos no produto.

Todas estas ações de melhoria tiveram um impacto direto no volume produtivo da linha sob estudo. Num prazo determinado de 8 semanas o volume de produção teve um acréscimo de 126,47%. Mesmo considerando as oscilações na procura e a curva de aprendizagem dos operadores, é notório o impacto das ações de melhoria. Esta evolução, no volume produtivo da linha, demonstra com clareza que a implementação das ferramentas *Lean* numa indústria que já possui o controlo do DPMO traz benefícios mesmo no curto prazo e sem um grande investimento inicial.

As limitações da presente dissertação resultam da falta de recursos e capacidade de ação do autor, que tinha a sua atuação limitada a mudanças intuitivas e pontuais, que não exigissem grande investimento com estruturas físicas, recursos humanos, tempo, ou mudanças na estrutura hierárquica departamental. Outra limitação encontrada resulta da falta de dados, limitando a atuação do autor à medição do volume produtivo como parâmetro comparativo para avaliar a eficácia das ações de melhoria.

Para intervenções futuras, e ainda mais impactantes, recomenda-se estudar a viabilidade da implementação de tecnologias como a *Pick to light* que é uma abordagem mais complexa e exigiria um volume de recursos elevados ou mesmo a implementação do Controlo Estatístico do Processo, Cronoanálise ou mudanças ainda mais radicais no *layout*. Especialmente o CEP e a cronoanálise, sugeridas anteriormente, são mais viáveis de serem implementadas no curto prazo e possibilitaria à empresa medir com mais precisão os diversos indicadores como a produtividade de cada operador, determinar as causas especiais que levam à ocorrência de defeitos nos produtos, identificação de operações gargalos e assim poder atuar com maior eficácia.

## Bibliografia

- Araújo, F. de, Souza, F.L. de, Caldeira, J., Lima, M.M. (2018) Aplicação da Metodologia DMAIC: Um estudo de caso em linha de produção de embalagens metálicas. *XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 16-19 outubro, Maceió, Alagoas, Brasil, p. 1-19. DOI:10.14488/ENEGEP2018\_TN\_STO\_259\_490\_35062.
- Araújo, L.M.M. Paiva, G.N.R., Evangelista, G.S., Peruchi, R.S. (2018) Aplicação de índices que detectam causas especiais de variação em estudos de repetitividade e reprodutividade. *XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 16-19 outubro, Maceió, Alagoas, Brasil, p. 1-16. DOI: 10.14488/ENEGEP2018\_TN\_STO\_259\_487\_34979.
- Brito, M., Ramos, A.L., Carneiro, P., Gonçalves, M.A. (2019) The eighth waste: non-utilized talent. In: Silva, F.J.G. and Ferreira, L.C.P. (eds) *Lean Manufacturing: Implementation, Opportunities and Challenges*, Nova Science Publishers, Inc.
- CFI. (2015). *Lead Time - Overview, Components, and How to Reduce LT*. [Online] Disponível em: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/other/lead-time/> [Acedido em: 13/07/2021]
- Chiminelli, C. (2018) Utilização da técnica seis sigma para redução de sobrepeso de matéria prima nos produtos em conserva. *Exacta*, vol. 16, núm. 1, pp. 07-19.
- DeHart, S. P. (2015). The Six Sigma Handbook, 4th edition. *Journal of Quality Technology*, Vol. 47, Issue 3, p. 298-300. DOI: 10.1080/00224065.2015.11918135
- Econômico, V. (2020) *Maioria das empresas no país não dura 10 anos, e 1 de 5 fecha após 1 ano*. [Online] Disponível em: <https://valor.globo.com/brasil/noticia/2020/10/22/maioria-das-empresas-no-pais-nao-dura-10-anos-e-1-de-5-fecha-apos-1-ano.ghtml> [Acedido em: 22/11/2020]
- Endeavor Brasil. (2021) *KPI: os indicadores-chave de sucesso*. [Online] Disponível em: <https://endeavor.org.br/estrategia-e-gestao/kpi/> [Acedido em: 20/07/2021]
- Evangelista, B. M. de C., Silva, A. G. F. da, Lescura, M. M., Junior, L. G. V., & Nogueira, M. P. P. (2019) Aplicação da metodologia dmaic em uma empresa de produção de rodas. *XXXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 16-18 Outubro, Santos, São Paulo, Brasil, p. 1-15
- Francisco, M.G., Junior, O.C. & Sant'Anna, Â.M.O. (2020) Design for six sigma integrated product development reference model through systematic review. *International Journal of Lean Six Sigma*, 11(4), 767-795. DOI: 10.1108/IJLSS-05-2019-0052

- George, M.L. (2002) *Lean Six Sigma-Combining Six Sigma Quality with Lean Speed*. McGraw-Hill.
- Gupta, S., Modgil, S. & Gunasekaran, A. (2020) Big data in Lean Six Sigma: a review and further research directions. *International Journal of Production Research*, 58(3), 947–969. DOI: 0.1080/00207543.2019.1598599
- Hamali, S., Kurniawan, S., Hidayat, C., Fitriani, A.N.A., Osmond, G., Evanti, N. (2018) A Six Sigma Application for the Reduction of Floor Covering Defects. *Pertanika J. Soc. Sci. & Hum.* 26 (T): 71 - 88.
- Jirasukprasert, P., Garza-Reyes, J.A., Soriano-Meier, H., Rocha-Lona, L. (2012) A Case Study of Defects Reduction in a Rubber Gloves Manufacturing Process by Applying Six Sigma Principles and DMAIC Problem Solving Methodology. *Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, July 3-6, Istanbul, Turkey, p. 472-481
- LCS (2016) *Let's Ban the Eighth Waste - Lean Competency System - Lean Thinking*. [Online] Disponível em: <https://www.leancompetency.org/lcs-articles/lets-ban-eighth-waste/> [Acedido em: 22/11/2020]
- Linderman, K., Schroeder, R.G., Zaheer, S., Choo, A.S. (2003) Six Sigma: a goal-theoretic perspective. *Journal of Operations Management*, 21(2), 193–203. DOI: 10.1016/S0272-6963(02)00087-6
- Martin, J.W. (2014) *Lean Six Sigma for Supply Chain Management*, 2<sup>nd</sup> Edition. McGraw-Hill
- Montgomery, D.C. (2009) *Introduction to Statistical Quality Control*, 6<sup>th</sup> Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- Morgan, J. & Brenig-Jones, M. (2013) *Lean Six Sigma for dummies*, 2<sup>nd</sup> Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- Napoleão, B.M. (2018) 5S. [Online] Disponível em: <https://ferramentasdaqualidade.org/5s/> [Acedido em: 16/07/2021]
- Nunes, I.L. (2015) Integration of Ergonomics and Lean Six Sigma. A Model Proposal. *Procedia Manufacturing*, 3, 890–897. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.124.
- Ohno, T. (1997) *O Sistema Toyota de Produção-Além da Produção em Larga Escala*. Bookman.
- Pande, P.S., Neuman, R.P. & Cavanagh, R.R. (2000) *The Six Sigma Way - How GE, Motorola, and Other Top Companies Are Honing Their Performance*. McGraw-Hill Education.
- Pepper, M.P.J. & Spedding, T.A. (2010) The evolution of lean Six Sigma. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 27(2), 138–155. DOI:

10.1108/02656711011014276.

- PORDATA. (2020). *Taxa de sobrevivência das empresas a 1 e 2 anos: por forma jurídica*. [Online] Disponível em: <https://www.pordata.pt/Portugal/Taxa+de+sobrevivência+das+empresas+a+1+e+2+anos+por+forma+jurídica-2890-248087> Acedido em: 22/11/2020]
- Pyzdek, T. & Keller, P. (2003) *The Six Sigma Handbook - A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels*. McGraw-Hill.
- Sachin, S. & Dileepal, J. (2017) Six Sigma Methodology for Improving Manufacturing Process in a Foundry Industry. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, 4(5), 2456–1908. DOI: 10.22161/ijaers.4.5.21.
- Salah, S. & Rahim, A. (2019) *An Integrated Company-Wide Management System-Combining Lean Six Sigma with Process Improvement*. Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-99034-7.
- Salah, S., Rahim, A., & Carretero, J.A. (2010) The integration of Six Sigma and lean management. In *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 1, Issue 3, pp. 249–274. DOI: 10.1108/20401461011075035.
- Sanny, L., Novita, S., & Novela, S. (2016) Product Quality Development Analysis with Six Sigma Method: Case of SME Tofu Production in Indonesia. *Pertanika J. Soc. Sci. & Hum*, 24, 155–168.
- Schroeder, R.G., Linderman, K., Liedtke, C., Choo, A.S. (2008) Six Sigma: Definition and underlying theory. *Journal of Operations Management*, 26(4), 536–554. DOI: 10.1016/j.jom.2007.06.007.
- Shokri, A. & Li, G. (2020) Green implementation of Lean Six Sigma projects in the manufacturing sector. *International Journal of Lean Six Sigma*, 11(4), 711–729. DOI: 10.1108/IJLSS-12-2018-0138.
- Silva, A.S., Menezes, C., Cerri, F.C., Delgado, J.M.C. (2018) Análise de repetibilidade e reprodutibilidade para sistemas de medições e atributos em uma empresa que produz embalagens. *XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 16-19 outubro, Maceió, Alagoas, Brasil, p. 1–23, DOI: 10.14488/enegep2018\_tn\_sto\_259\_490\_36031.
- Siqueira, G.A. & Lizarelli, F.L. (2019) Práticas e ferramentas do Lean e do Seis Sigma aplicadas ao Processo de Desenvolvimento de Produtos: revisão da literatura e estudo de caso. *ENESEP 2019, Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. DOI: 10.14488/enegep2019\_tn\_wic\_294\_1661\_38701.
- Smith, B. (2003) Lean and Six Sigma - A One-Two Punch. *Quality Progress*, 4, April, 37–41.

- Sreedharan, V.R. & Raju, R. (2016) A systematic literature review of Lean Six Sigma in different industries. *International Journal of Lean Six Sigma*, 7(4), 430–466. DOI: /10.1108/IJLSS-12-2015-0050.
- Sunder, V. M., Ganesh, L. S., & Marathe, R. R. (2018) A morphological analysis of research literature on Lean Six Sigma for services. *International Journal of Operations and Production Management*, 38(1), 149–182. DOI: 10.1108/IJOPM-05-2016-0273.
- Valoreacademy (2021) *O que é a filosofia Lean?* [Online] Disponível em: <https://valoreacademy.com.br/blog/o-que-e-a-filosofia-lean/> Acedido em: 13/07/2021]
- Womack, J., Jones, D. & Roos, D. (2004) *A Máquina que Mudou o Mundo*. Editora Campus.
- Womack, J.P., & Jones, D.T. (2003) *Lean Thinking*. Simon & Schuster. DOI: 10.1007/BF01807056.