

**THIAGO FERNANDES FACHIN**

**A metodologia *Lean Seis Sigma* na indústria automotiva**

**Thiago Fernandes Fachin**

**A metodologia *Lean Seis Sigma* na indústria automotiva**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica,

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marcela Aparecida Guerreiro Machado de Freitas  
Coorientador: Prof. Me. Túlio Sérgio de Almeida

Guaratinguetá/SP  
2022

F139m Fachin, Thiago Fernandes  
A Metodologia *Lean* Seis Sigma na indústria automotiva / Thiago Fernandes Fachin – Guaratinguetá, 2022.  
44 f. : il.  
Bibliografia: f. 43-44

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2022.  
Orientadora: Profª. Drª. Marcela A. Guerreiro Machado de Freitas  
Coorientador: Prof. Me. Túlio Sérgio de Almeida

1. Gestão da qualidade total. 2. Controle de qualidade. 3. Produção enxuta. I. Título.

CDU 658.56

**THIAGO FERNANDES FACHIN**

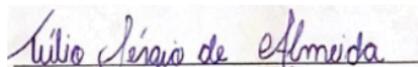
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
“GRADUADO(A) EM ENGENHARIA MECÂNICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

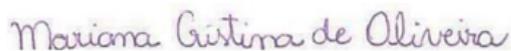


Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**



Prof. Me. Túlio Sérgio de Almeida  
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Me. Mariana Cristina de Oliveira  
UNESP-FEG



Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro  
UNESP-FEG

## **DADOS CURRICULARES**

### **THIAGO FERNANDES FACHIN**

<b>NASCIMENTO</b>	25/02/1997 – Ribeirão Preto / SP
<b>FILIAÇÃO</b>	Roberto Fachin Glaucia Cristina Fernandes Barioni
<b>2016/2022</b>	Engenharia Mecânica Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Dedico este trabalho a minha família, principalmente minha mãe e meu pai, na qual me deram todo o apoio para concluir o curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Glaucia e Roberto, por todo o apoio e incentivo desde a minha entrada na faculdade até o término, mostrando a importância de uma formação acadêmica.

Agradeço ao Prof. Túlio Sérgio de Almeida por toda a ajuda e paciência mostrada no desenvolvimento deste trabalho, auxiliando-me nas dificuldades encontradas.

Agradeço a todos os professores da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá pelo esforço e dedicação em nos tornar um profissional evoluído e qualificado.

Agradeço a minha namorada Carolina, na qual vivemos juntos todos os anos de curso, onde tivemos momentos bons e ruins, mas sempre com alegria e companheirismo.

Agradeço aos meus companheiros de estágio por toda experiência e ajuda que me passaram, na qual pude ter uma visão mais detalhada e crítica na abordagem do trabalho.

Por fim, fica um forte agradecimento aos meus companheiros da República Wc Kzona, que foi a minha casa durante todo o curso. Com certeza considero minha segunda família, vou levar para minha vida toda, as experiências vividas, as amizades e as responsabilidades.

## RESUMO

A competitividade no mercado atualmente faz com que corporações busquem métodos e soluções que entreguem com mais qualidade e excelência seus produtos para os clientes. Este trabalho trata-se de uma aplicação prática da metodologia *Lean Seis Sigma* em uma indústria do ramo automotivo, identificando problemas e oportunidades de melhorias. O projeto é desenvolvido por meio das fases do DMAIC, em conjunto com ferramentas *Lean Manufacturing*, como Diagrama de Pareto, Ishikawa, SMED entre outras. Foi identificada elevada perda de produtividade por setup na linha produtiva estudada e definidas algumas causas raízes para o problema: falta de treinamento e padronização das atividades, equipamentos e instrumentos de medições deteriorados e, a partir disso, ocorreu implementação de melhorias. Os resultados mostraram um impacto positivo na produtividade, comprovando a eficácia da filosofia *Lean Seis Sigma* no setor automotivo. Por fim, foram listadas algumas dificuldades e sugestões encontradas nas etapas do DMAIC para trabalhos futuros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Seis Sigma. DMAIC. Melhorias. Ferramentas *Lean Manufacturing*. Setup.

## **ABSTRACT**

Nowadays, the competition on the market makes products to be offered with methods and solutions that seek more quality and excellence for customers. This work is a practical application of the Lean Six Sigma methodology in an automotive industry, identifying problems and opportunities for improvement. The project is developed through the DMAIC phases in conjunction with Lean Manufacturing tools, such as Pareto Diagram, Ishikawa, SMED and others. A huge loss of productivity was identified in the setup line studied and root causes were defined for the problem: lack of training and activities standardization, deteriorated equipment and measuring instruments and from that implementation of improvements. Results show positive impacts on productivity and proving the efficiency of Six Sigma in the automotive sector. Finally, difficulties and opportunities found on DMAIC phases were listed as suggestions for future projects.

**KEYWORDS:** Six Sigma. DMAIC. Improvement. Lean Manufacturing tools. Setup.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo PDCA .....	17
Figura 2 - Gráfico de Pareto .....	18
Figura 3 - Diagrama de Ishikawa .....	19
Figura 4 - Componentes de uma roda.....	22
Figura 5 - Etapas de laminação de aros agrícolas.....	24
Figura 6 - Ciclo DMAIC .....	27
Figura 7 - Gráfico de Pareto das parada de produção na LA (Jan – Set) .....	29
Figura 8 - Pareto Tempo de setup por operação.....	31
Figura 9 - Pareto do tempo médio das tarefas da OP Laminar.....	33
Figura 10 - Diagrama de Ishikawa desenvolvido .....	34
Figura 11 – Matriz de Impacto x Esforço.....	37
Figura 12 - Tempo de Setup semanal (2022) .....	39

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição do 5S.....	15
Quadro 2 - Atividades Setup Externo.....	30
Quadro 3 - Análise dos 5 Porquês desenvolvido.....	35
Quadro 4 - Ações para as causa raízes desdobradas.....	36

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Tempo de setup em minutos por operação .....	31
Tabela 2 - Tempo das atividades em segundos no Setup da OP Laminar .....	32
Tabela 3 - Tempo das tarefas em segundos do setup da OP laminar após melhorias .....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
DMAIC	Definir – Medir – Analisar – Implementar - Controlar
LA	Laminação de Aros Agrícolas
LM	<i>Lean Manufacturing</i>
LSS	<i>Lean Six Sigma</i>
OP	Operação
PDCA	<i>Plan - Do - Check - Act</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
SS	Six Sigma
SW	Software de dados da companhia

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	15
2.1	<i>LEAN MANUFACTURING</i> .....	15
2.2	SEIS SIGMA.....	21
2.3	<i>LEAN SEIS SIGMA</i> .....	21
2.4	PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE RODAS .....	22
<b>2.4.1</b>	<b>Fabricação de aros agrícolas</b> .....	23
<b>2.4.2</b>	<b>Fabricação de discos agrícolas</b> .....	23
<b>2.4.3</b>	<b>Montagem de rodas agrícolas</b> .....	23
2.5	LAMINAÇÃO DE AROS AGRÍCOLAS .....	24
<b>3</b>	<b>MÉTODO</b> .....	27
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	29
4.1	FASE 1: DEFINIR.....	29
4.2	FASE 2: MEDIR.....	30
4.3	FASE 3: ANALISAR.....	33
4.4	FASE 4: IMPLEMENTAR.....	36
4.5	FASE 5: CONTROLAR.....	39
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	41
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	43

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria automotiva é fundamental para a economia de uma sociedade, sendo responsável pela movimentação de altos valores de capitais entre grandes e pequenas corporações, bem como, proporcionam oportunidades de empregos e novos investimentos tecnológicos e de sustentabilidade. Nos anos recentes o setor representou cerca de 5% do produto interno bruto (PIB) brasileiro e respondeu por pouco mais de 20% do PIB da indústria de transformação. De acordo com Anfavea (2018), existem no país 27 empresas fabricantes de veículos e 446 empresas de autopeças. Ademais, o setor emprega aproximadamente quinhentas mil pessoas – direta e indiretamente, são cerca de 1,3 milhão de pessoas – e tem uma capacidade instalada de cinco milhões de veículos. Diante disso, esse mercado é conhecido pela grande competitividade existente entre as empresas, seja de âmbito nacional ou mundial, e para obterem um ganho de vantagem uma das outras, obrigam as indústrias a procurar constantemente soluções e técnicas que entreguem com mais qualidade e excelência os seus produtos para o cliente, sempre visando lucros.

É nesse cenário que surge a metodologia *Lean Seis Sigma* (LSS), uma junção de duas grandes técnicas: o *Lean Manufacturing* e o Seis Sigma. O primeiro está mais focado para a redução de desperdícios e diminuição do tempo de trabalho em processo. Já o segundo, é caracterizado por levantar dados quantitativos que dão escopo para entender como o processo caminha: estável ou instável. Em tese, tal metodologia pode oferecer melhores resultados que a condução de dois programas independentes por meio de organizações separadas (ARNHEITER; MALEYEFF, 2005; MIYAKE; RAMOS, 2007).

Dentro do Seis Sigma, é comumente utilizado o método DMAIC para desenvolver os projetos de melhorias e análises de problemas. Este é um ciclo composto por 5 fases sequenciais, cuja quais tem o intuito de realizar atividades específicas. Segundo Silvio Aguiar, escritor do livro “Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao programa Seis Sigma”, um aumento de eficiência na solução de problemas é alcançado com a integração das ferramentas da qualidade e do conhecimento técnico.

Contudo, no ambiente das empresas, pode haver obstáculos de natureza política, organizacional e até pessoal para a consolidação da abordagem LSS. E, mesmo que esta seja bem recebida, ainda faltam padrões claros que sirvam de referência para o modo de organizar, conduzir e sustentar os projetos de melhoria de seu desempenho (JING, 2009; PEPPER; SPEDDING, 2010; SNEE, 2010).

Com base nestes pontos, o desenvolvimento do presente trabalho tem como objetivo geral apresentar os métodos e caminhos da aplicação da metodologia DMAIC e ferramentas da qualidade por meio de uma pesquisa-ação na indústria automotiva a fim de ilustrar as melhorias em seus processos. Como objetivos específicos: identificar problemas na linha produtiva, verificar oportunidades e implementar melhorias, relatando as dificuldades encontradas no desenvolvimento do ciclo DMAIC.

Segundo o site Terzoni, o LSS já proporcionou grandes resultados para empresas renomadas e consolidadas no mercado, como a redução de defeitos e falhas para 0,1%, diminuição de 15% de práticas de trabalhos ruins nas fábricas da empresa, valorizando mais o esforço das equipes de trabalho, e assim melhorando a performance da empresa como um todo, e por fim, os controles de qualidades foram 100% automatizados, o que resultou em mais peças verificadas quanto a defeitos em período mais curto.

Este trabalho foi desenvolvido numa multinacional situada no interior do estado de São Paulo, que tem como principais produtos acabados rodas automotivas e componentes estruturais, logo é caracterizada, no setor, por fornecer essas peças para grandes montadoras do país. A área de aplicação foi na laminação de aros (componente da roda) agrícolas, onde o autor atua profissionalmente e possui mais embasamento teórico. Essa etapa do processo produtivo é responsável efetivamente por formar o perfil do aro, modificando a geometria e dimensão do material.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 LEAN MANUFACTURING (LM)

O LM está associado ao Sistema Toyota de Produção, e pelo fato de produzir cada vez mais com cada vez menos ficou conhecido como produção enxuta. (WOMACK; JONES; 2004). A ideia central dessa metodologia é buscar mecanismos que encurtem o tempo de processo do produto, desde a matéria-prima até o produto final pedido do cliente, por meio da eliminação de desperdícios. Para isso, o LM define o que agrega valor (e o que não agrega) na perspectiva do cliente, ou seja, aquilo que o mesmo valoriza e está disposto a pagar.

Os princípios de LM surgiram com notoriedade na década de 1980 com a divulgação dos resultados de um projeto de pesquisa conduzido pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology) que estudou as práticas gerenciais e os programas de melhorias adotados por empresas líderes de mercado na cadeia de produção automotiva e constatou que a adoção destes princípios em muito contribuiu para reforçar lhes a competitividade (WOMACK; JONES; ROOS, 2001).

Algumas das ferramentas mais comumente aplicadas do *Lean Manufacturing* são apresentadas a seguir:

- 5S: prática importantíssima para estabelecer a ordem e disciplina do ambiente de trabalho, tanto administrativas quanto de manufatura. A sigla 5S tem origem de cinco palavras japonesas que começam com a letra S apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - descrição do 5S

<b>Palavra Japonesa</b>	<b>Tradução</b>	<b>Significado</b>
<i>Seiri</i>	Senso de Utilização	Separar o necessário do desnecessário.
<i>Seiton</i>	Senso de Organização	Organizar o ambiente
<i>Seiso</i>	Senso de Limpeza	Limpar e separar cada item
<i>Seiketsu</i>	Senso de Padronização	Criar e obedecer um padrão estabelecido nos outros 3S.
<i>Shitsuke</i>	Senso de Autodisciplina	Disciplina para manter os 4S.

Fonte: Adaptado de Werkema (2012)

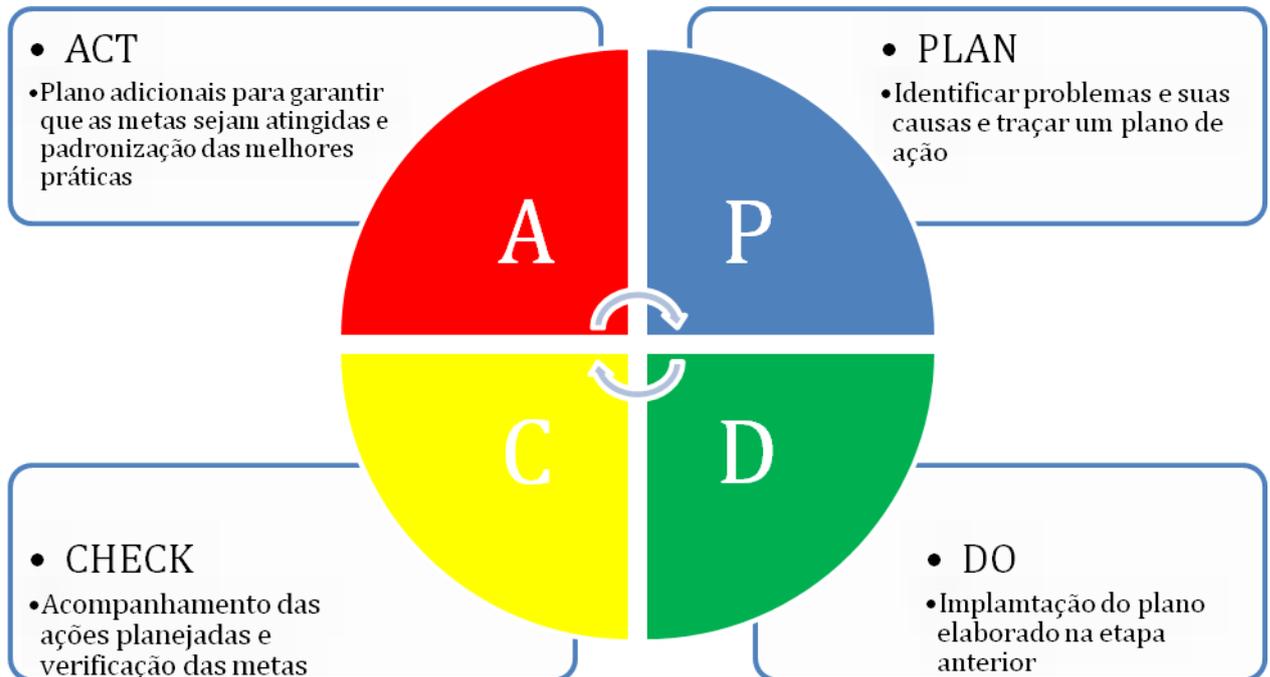
- *Poka-Yoke*: dispositivos simples, em geral formados por componentes mecânicos, que interrompem a operação em processos de manufatura sempre que surgir um defeito, ou mesmo para evitar que isto ocorra, e assim contribuem para a automação tornando o controle de processos mais autônomo (SHINGO, 1986);

Segundo Thiago Coutinho, especialista em *Lean Seis Sgima*, existem 4 tipos de *poka-yoke* empregados na metodologia. São eles: o de detecção, focado em alertar o erro após seu acontecimento, o de prevenção, visando eliminar a causa geradora do erro, o de valor fixo, que assegura que um valor fixo de movimentos serão realizados num determinado processo e caso falte, um alarme é acionado, e por fim, o das etapas, que detecta qualquer tipo de falha criando uma ordem para execução e analisa se todos os passos seguiram de forma correta.

- *Kaizen*: termo de origem japonesa que significa melhoria contínua. Esta metodologia é aplicada para buscar melhorias rápidas que não envolvem o aprofundamento de estudos específicos para resolver tal problema. A equipe é formada por pessoas que possuem diferentes funções e cargos hierárquicos na empresa. Para George et al. (2005), esse método deve ser utilizado quando os desperdícios forem explícitos, o escopo de um problema está claramente definido e compreendido, e, por fim, os resultados necessitam ser imediatos. O idealizador desta metodologia no ocidente é Masaaki Imai que fundou, em 1985, o Kaizen Institute, com o intuito de ajudar as empresas na implementação das ferramentas da metodologia *Kaizen*. O sentido de melhoria contínua deve estar presente em todos segmentos da vida e a melhoria só “começa quando se admite que todas as organizações têm problemas, o que proporciona oportunidades de mudança” (IMAI, 1985).

Uma ferramenta muito utilizada no *Kaizen* é o ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), criado por Shewhart, disseminado por Deming. Este tem por objetivo fazer com que os processos envolvidos na gestão da qualidade se tornem mais claros, ágeis e eficazes, seguindo uma sequência lógica como mostrado na Figura 1:

Figura 1 – Ciclo PDCA

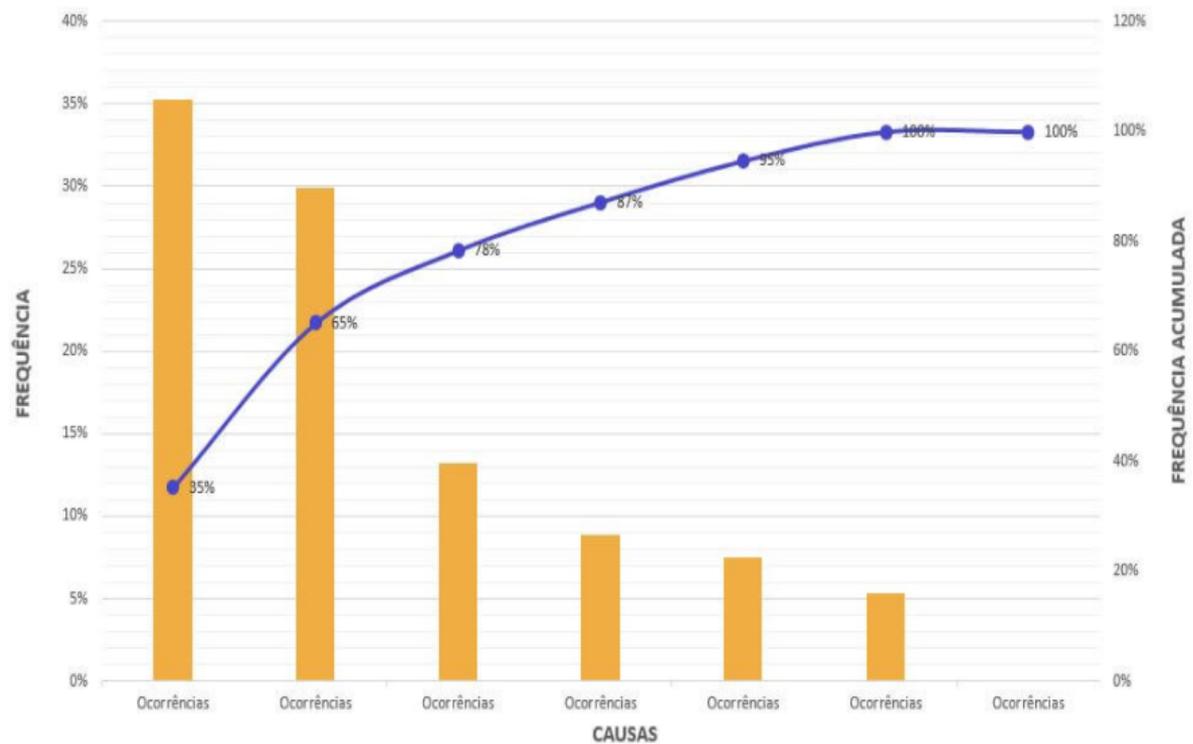


Fonte: Adaptado de Falconi (2017)

Neste trabalho foi utilizado outras ferramentas *Lean*, descritas abaixo:

- **Gráfico de Pareto:** Apesar do nome homenagear Vilfredo Pareto, Joseph Juran sugeriu e aplicou o “Princípio de Pareto”. Segundo o professor Rebula de Oliveira, esta ferramenta é um gráfico que facilita a visualização e torna mais clara as principais ocorrências estudadas num certo processo. Estas são distribuídas em forma de barra do maior para menor e a linha do gráfico representa o acumulado das ocorrências. A Figura 2 é um exemplo do Gráfico de Pareto:

Figura 2 - Gráfico de Pareto



Fonte: Grupo Forlogic (2020)

Pode-se notar no diagrama que as ocorrências estão representadas por barras laranjas e a curva em azul representa o acumulado da porcentagem dessas ocorrências. Numa análise de priorização dos problemas, deve-se focar em tratar as causas 1 e 2, uma vez que essas são as maiores ocorrências para tal inconveniente. Se conseguíssemos resolver a ocorrência 1, teríamos 35% de melhora no processo, se eliminássemos 1 e 2, 65% de melhora, e assim por diante.

- Diagrama de Ishikawa foi proposto por Kaoru Ishikawa. Esta ferramenta também é conhecida como diagrama de “espinha de peixe”, devido à forma.

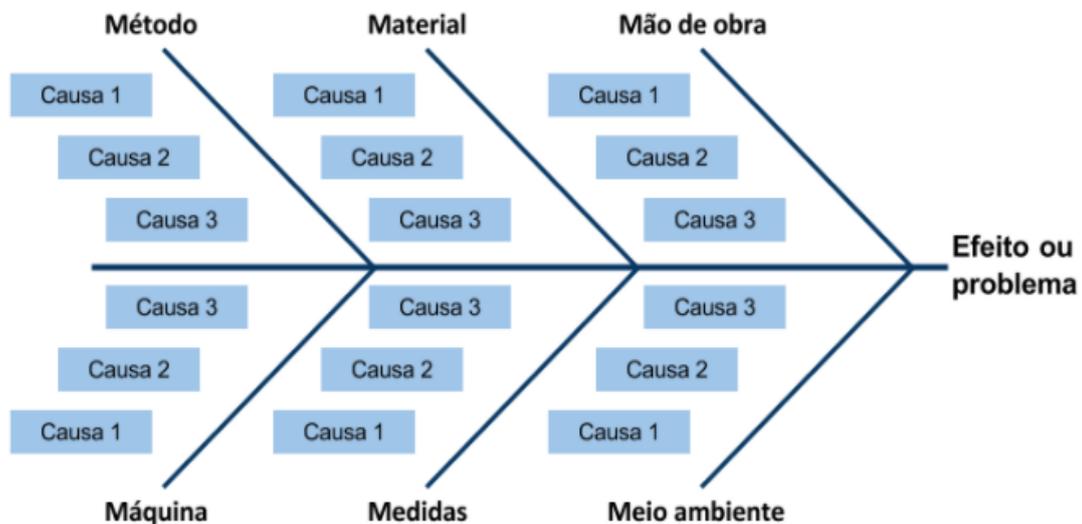
De acordo com Peinado, o diagrama apresenta de forma clara e detalhada as possíveis causas que, no processo, geram o problema em estudo. Geralmente é desenvolvido em *brainstorming(s)*: atividade em grupo para estimular novas ideias e resolver problemas específicos.

O Ishikawa pode ser usado em qualquer problema e é esquematizado no princípio dos 6M's (Figura 3):

- Mão de obra: deve ser relacionadas as habilidades e qualificações do operador requeridas para o posto de trabalho.

- Máquina e Materiais: devem ser relacionadas com a capacidade da máquina em realizar as diversas operações com qualidade.
- Matéria Prima: devem ser relacionadas todas as variações de matéria prima associadas ao fenômeno.
- Método: devem ser relacionadas os métodos para realização das tarefas do processo.
- Medida: devem ser relacionadas as medidas associadas ao processo.
- Meio Ambiente: devem ser relacionadas as variações do meio ambiente de trabalho.

Figura 3 - Diagrama de Ishikawa



Fonte: Roveda (2017)

• **5 Porquês:** é uma técnica desenvolvida pela Toyota, década de 70 no Japão, que auxilia no aprofundamento da análise. Nesta técnica, deve-se perguntar o porquê da ocorrência de uma causa e a cada resposta encontrada o porquê disso, consecutivamente, por 5 vezes no máximo.

A análise dos 5 porquês é utilizado para priorização das causas provenientes do Diagrama de Ishikawa, geralmente consegue-se encontrar a(s) causa(s) raiz(es) após 3 vezes da pergunta porquê.

• **SMED:** Shingo realizou um trabalho de criação do SMED que durou 19 anos, e a evolução do sistema Toyota de produção o impulsionou. Em seu livro ele define o SMED (*Single Minute Exchange of Die*) da seguinte forma: “[...] abordagem científica para

redução do setup, que pode ser aplicada em qualquer fábrica ou equipamento” (SHINGO, 1985).

O termo setup pode ser entendido como as adaptações que são necessárias no processo para produzir um produto novo, ou seja, sair da produção de um produto A até a produção de um produto B com qualidade. Para isso, faz-se necessário a troca e ajuste das ferramentas das máquinas, organizar o local de trabalho, preparar equipamentos e materiais. O grande desafio, nas empresas, é reduzir o tempo de setup das suas linhas produtivas, para que assim, tenham ganho na produtividade. Por isso, o SMED é uma ferramenta de grande importância para as empresas.

Shingo defendia a passagem por 3 estágios para eficiência na redução do tempo de setup. No primeiro, aborda os conceitos de setup interno e externo, no qual o primeiro se refere as atividades realizadas com a máquina parada, e o segundo, como o conjunto de operações com a máquina em funcionamento. Esse estágio, corresponde a separação das atividades em setup interno e externo. O segundo estágio, observa as oportunidades para conversão das tarefas do setup interno em setup externo. Shingo comentava:

“[...] se for feito um esforço científico para realizar o máximo possível da operação de setup como setup externo, então, o tempo necessário para o interno pode ser reduzido de 30 a 50%. Controlar a separação entre setup interno e externo é o passaporte para atingir o SMED.” (SHINGO, 1985)

O terceiro estágio fundamenta-se na busca de melhorias sistemáticas para cada tarefa básica nos setups, interno e externo, como a eliminação de ajustes, instalação de sistemas mecanizados, fixadores mais práticos e melhorar estocagem das ferramentas.

Sabe-se que esses estágios podem variar de uma organização para outra, bem como, a área de aplicação. Assim, este trabalho focou-se apenas em utilizar os recursos que o SMED proporciona na tentativa de buscar melhorias no processo estudado.

## 2.1 SEIS SIGMA ( $6\sigma$ )

O Seis Sigma surgiu com notoriedade no final da década de 1980, pela Motorola, com o intuito de entregar com mais qualidade os produtos e processos existentes na empresa, reduzindo a variabilidade do processo e defeitos, e desta forma, ter maior satisfação dos clientes e consumidores. A redução da variabilidade dos processos envolve a coleta, o processamento e a disposição de dados, para que as causas fundamentais de variação possam ser identificados, analisadas e bloqueadas (WERKEMA, 2014).

Um projeto SS é dirigido de forma estruturada seguindo uma sequência dividida em cinco fases. Quando o projeto visa à melhoria de um processo existente, a sequência adotada é o DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*), cujas fases são descritas a seguir (PEREZ-WILSON, 2000):

i) Definir (D): claro estabelecimento do problema a partir dos dados base procurando-se relacioná-lo ao cliente, especificação da meta de desempenho a ser alcançada, montagem de um time de trabalho;

ii) Medir (M): medição do que está sendo estudado, avaliação da adequação da medida utilizada, estratificação do problema específico abordado, coleta de dados para a avaliação dos pontos-chave direcionada por meio do Diagrama de Pareto;

iii) Analisar (A): avaliação das possíveis causas e identificação das causas raízes e aplicação de ferramentas como: Diagrama de Ishikawa e brainstorming;

iv) Implementar (I): priorização das causas raízes do problema, implantação da solução e confirmação da melhoria do processo;

v) Controlar (C): garantir que o problema não voltará, abrangendo e perpetuando as melhorias, bem como, manutenção dos processos de monitoramento e melhoria contínua.

## 2.2 LEAN SEIS SIGMA (LSS)

O *Lean Seis Sigma* é o método que mescla os dois conceitos citados acima, sendo largamente aplicado em projetos de melhorias no que diz respeito a qualidade e produtividade dos diferentes setores. A ideia é potencializar as melhorias por meio de um planejamento de ações integrado, mais eficiente e inteligente, otimizando os fluxos de trabalho e de controle da produção. É uma combinação de ferramentas poderosas que vão complementando no decorrer de um projeto para chegar nas melhores oportunidades de

implementação de melhorias. Por exemplo, o poka-yoke empregado no LM, pode ser estudado por meio de análises estatísticas, técnica do SS, que verificam a frequência de detecção de defeitos pelo dispositivo, a porcentagem de tipo de produto encontrado, e assim, entender como o processo está variando conforme especificação definida no plano de controle da operação.

Para autores como Sharma, Moody e George, a implementação da LSS envolve uma jornada que se inicia com a criação de uma visão e cultura para promoção desta abordagem, treinamento das pessoas, alinhamento desta iniciativa com objetivos estratégicos do negócio e então avança para a dinâmica de mobilização por projetos/implantação de melhorias, culminando com sua institucionalização.

### 2.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE RODAS

No setor automotivo, cada tipo de roda possui características especiais nos processos de fabricação industrial, desde a chegada da matéria prima até o produto final. Como abordado na introdução, este trabalho focou-se na fabricação de rodas agrícolas, logo será feita uma breve apresentação das principais operações envolvidas para confecção destas rodas.

Para se entender as etapas de fabricação, primeiro é necessário compreender os componentes principais que formam a roda. A Figura 4 abaixo ilustra estes componentes:

Figura 4 - Componentes de uma roda



Fonte: Catálogo da Empresa (2016)

O aro é a região de assentamento do pneu e o disco o local de fixação da roda no veículo. A produção desses componentes são distintas e separadas, portanto é necessário uma linha de montagem no final para unir essas peças uma na outra.

### **2.3.1 Fabricação de Aros Agrícolas**

A matéria prima chega em forma de bobinas de aço com largura e espessura determinadas para cada produto específico. Estas bobinas passam por uma máquina onde são desenroladas e cortadas longitudinalmente em comprimentos menores, e em seguida enroladas novamente, na qual são denominadas de bobinas *slitter*.

Os *slitters* são encaminhados para a blanqueadeira onde é feito corte desse material em chapas retangulares, chamadas de *blanks*. Estas chapas, posteriormente, são decapadas quimicamente para que o material esteja livre de sujeiras provenientes das etapas anteriores.

Os *blanks* são levados para a linha de laminação de aros, na qual é o local de aplicação deste trabalho. Uma abordagem mais aprofundada desta etapa será feita mais adiante.

Terminada a laminação, os aros já estão prontos para receber a montagem do disco.

### **2.3.2 Fabricação de Discos Agrícolas**

O processo inicial da fabricação de discos agrícolas segue a mesma lógica dos aros, a diferença é que as bobinas de aço são desenroladas e cortadas transversalmente em chapas grandes retangulares. Estas chapas, posteriormente, são decapadas mecanicamente por uma máquina de grande porte para eliminar sujeiras existentes na peça.

Após a decapagem, as chapas são cortadas, por um processo a plasma submerso, em várias unidades circulares de mesma tamanho, na qual são chamadas de platinas.

Estas platinas são encaminhadas para linha de estampagem e usinagem de discos. Nesta etapa existe diversas operações específicas para formação do produto final, que é o disco. Este trabalho não aprofundará nessas atividades, pois não é o foco. Apenas para registrar, esta linha é composta pelas operações: estampar, cortar furo de fixação e central, gravação, cortar furos de peso e içamento, escareação, usinagem e lavagem. Concluídas todas estas etapas, o disco está pronto para a montagem.

### 2.3.3 Montagem de Rodas Agrícolas

O procedimento de montagem de rodas agrícolas pode ser realizado de duas maneiras: parafusada ou soldada. A escolha do método mais adequado é específico para cada dimensão e propriedades da roda.

Resumindo, a montagem parafusada é aquela onde o disco é fixado no aro por meio de presilhas e parafusos, e a montagem soldada é aquela na qual o disco é montado no aro por meio de processos de soldagem. Características particulares também compõem esses dois métodos, mas este trabalho não abordará.

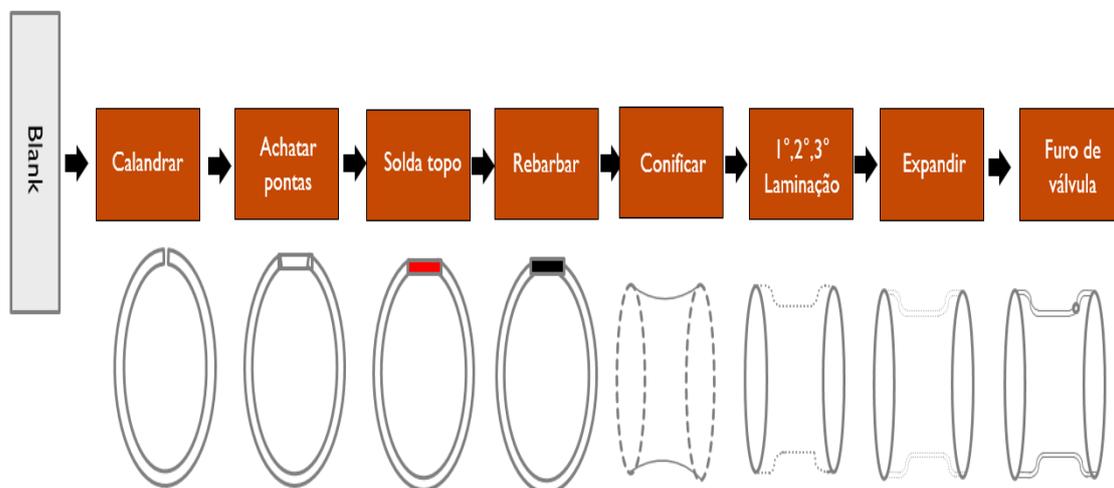
Depois de montadas, as rodas vão para a pintura onde passam por tratamentos térmicos, e em seguida, estágios de pintura até chegar na cor final especificada. Por fim, são embaladas e transportadas para o cliente.

### 2.4 LAMINAÇÃO DE AROS AGRÍCOLAS

A linha de laminação de aros agrícolas será o local de estudo do trabalho e aplicação da metodologia LSS, verificando oportunidades e implementação de melhorias.

Essa cadeia produtiva é responsável efetivamente por formar o perfil do aro, modificando a geometria e dimensão do material. Para isso, segue uma sequência lógica de operações para alcançar o formato final do produto. Em relação ao setor de rodas agrícola, o processo de mecanização e robotização das atividades é delicado e complexo, por isso muitos dos procedimentos são feitos manualmente por, pelo menos, um operador. A figura 5 abaixo representa todas estas operações:

Figura 5 - Etapas de laminação de aros agrícolas



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Observa-se na figura 5, blocos nomeados para cada operação, e abaixo destes, uma ilustração, representando a mudança na estrutura do material que este vai sofrendo ao passar pelas etapas. Segue, resumidamente, essas etapas:

- Calandrar: esta é a etapa inicial da linha, é colocado um amarrado de *blanks* na máquina e, um por vez, é pego por ventosas e transportado por uma esteira até a calandra, na qual este é enrolado. Em seguida, um operador faz o ponteamento das extremidades.
- Achatar Pontas: após a operação de calandragem, as pontas dos blanks ficam desalinhadas, e para que se tenha uma melhor soldagem do material é necessário achatam estas pontas.
- Solda Topo: esta fase do processo é muito importante, pois ocorre a união das duas pontas do *blank*, ou seja, ocorre a soldagem na parte superior dessas pontas.
- Rebarbar: etapa para a retirada das rebarbas provenientes do processo de soldagem.
- Conificar: antes de iniciar o processo de conificação, o material é resfriado por jatos de água. A conificação, ou também chamada de barrilete, é a etapa de dar uma forma de conicidade nas extremidades laterais do aro. Desta forma, facilita a próxima operação, pois dificulta a trinca do material.
- Laminar: Etapa de geração do perfil do aro, por meio da passagem entre cilindros que giram em torno do mesmo eixo deformando a superfície transversal do material. Pode ocorrer até 3 processos de laminação, denominadas de 1º laminação, 2º laminação e 3º laminação. Geralmente, para aros maiores, são necessárias estas 3 laminações.
- Expandir: Após a laminação do aro, o mesmo é submetido ao processo de expansão para que adquira as especificações de projeto. O processo de expansão se resume na utilização de um ferramental específico, o qual possui castanhas que se expandem após a descida do martelo da prensa. Essa expansão das castanhas do equipamento faz com que o aro expanda e tenha a dimensão especificada em projeto.
- Estampar Furo de Válvula: etapa para fazer o rasgo, local onde será posicionada a válvula.
- Acabamento/Inspeção: Após todas as etapas do processo, o aro é inspecionado, verificando e localizando os pontos que necessitam ser retrabalhados (acabamento).

Geralmente, estas marcas são ocasionadas pelo ferramental das máquinas. O acabamento é feito manualmente por operadores utilizando lixadeiras.

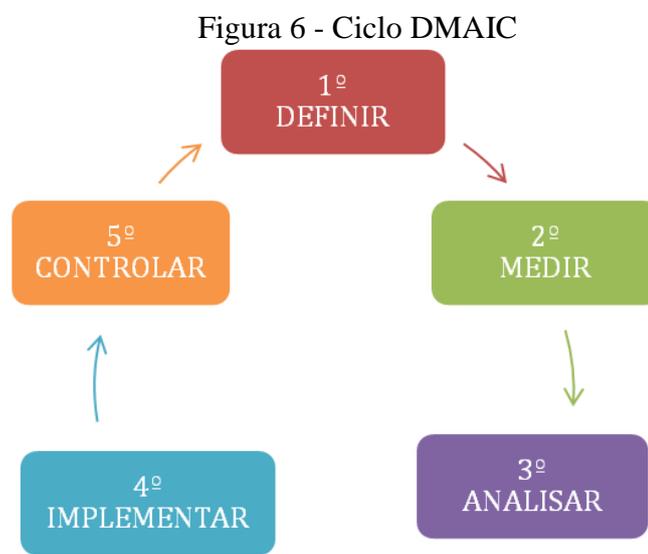
### 3 MÉTODO

A pesquisa de abordagem combinada apresenta um caráter exploratório e bibliográfica, pois buscou evidenciar como aplicar ferramentas *Lean* e as etapas do método DMAIC em um problema real na indústria, acompanhada pelo autor no dia-a-dia, na qual trabalha. O método selecionado para condução do trabalho foi “pesquisa-ação”. Segundo Coughlan, este é um estudo onde o pesquisador é observador e praticante da ação, com o intuito de buscar soluções e contribuições para a literatura, exigindo um conhecimento prévio sobre o assunto.

A empresa parceira é uma das maiores produtoras de rodas automotivas do mundo, tanto para rodas de passeio, que são os automóveis comerciais, tanto as chamadas rodas *off-road*, que se caracterizam no setor agrícola. O trabalho em questão foi direcionado para as rodas do segundo caso. Qualitativamente, foi feita uma análise atual da empresa e diagnosticados os eventuais pontos suscetíveis de melhoria, sendo apresentadas, posteriormente, sugestões que conduzam a um estado mais evoluído e enxuto.

Quantitativamente, os dados foram coletados de duas formas: medições e cronometragens realizadas pelo próprio autor no posto de trabalho das operações e coleta de dados no software (SW) da companhia onde é feito todo o controle e apontamento dos dados.

O trabalho foi desenvolvido com base no ciclo DMAIC (Figura 6) e integração de ferramentas da qualidade, respeitando a sequência abaixo:



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

- Definir: primeiramente foi definido o problema a ser tratado, a meta do projeto e o indicador escolhido para medir o alcance do objetivo.
- Medir: nesta fase, o problema foi estratificado para uma melhor abordagem do processo, utilizando o SMED para verificação de elementos externos e internos na linha. Posteriormente, o autor com o auxílio do seu aparelho eletrônico, realizou-se cronometragens das atividades envolvidas no problema e registou-se esses valores em tabelas. Diagramas de Pareto foram utilizados para melhor visualização.
- Analisar: foi feita uma investigação aprofundada para identificar as causas raízes do problema, utilizando-se de ferramentas como: *brainstorming*, diagrama de Ishikawa e 5 Porquês.
- Implementar: nesta etapa foi estabelecido ações de melhorias para as causas raízes identificadas, priorizando-as por critérios de impacto/esforço. Depois de implementadas as melhorias, foi realizado novamente cronometragens das tarefas, verificando os resultados e os possíveis ganhos.
- Controlar: nesta etapa listou-se uma série de estratégias para o controlar e validar as melhorias.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aplicando o método DMAIC, técnica do SS, para dar início no desenvolvimento do estudo, tem-se a Fase 1: Definir.

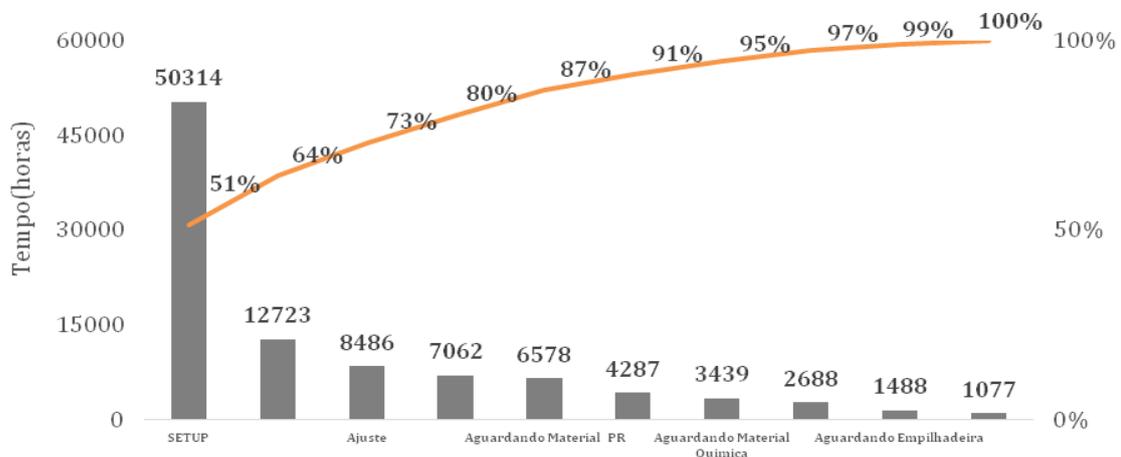
### 4.1 FASE 1: DEFINIR.

Como explicado anteriormente, esta fase tem como intuito direcionar o estudo, e desta forma, conhecer os caminhos onde quer chegar, ou seja, estipular uma meta. Esta meta, muitas vezes, é definida levando em conta problemas recorrentes no processo e vontade dos clientes.

O autor, com o auxílio do seu supervisor de estágio, que é o engenheiro responsável da linha de laminação agrícola (LA), contataram o gerente de produção para levantarem os incômodos e vontades dos clientes. A resposta foi direta: aumentar a capacidade de produção de aros para atender demanda dos clientes, na qual hoje está em crescimento acelerado.

Diante disso, avaliou-se os motivos que fazem a linha perder produtividade. Para isso, foi realizado uma coleta de dados históricos, no período de janeiro a setembro (2021), no sistema digital da empresa, na qual registra o apontamento dessas paradas de produção não previstas. Para uma melhor visualização das ocorrências esses dados foram plotados no Gráfico de Pareto (Figura 7), que assim segue:

Figura 7 - Gráfico de Pareto das paradas de produção na LA (Jan – Set)



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

O eixo das coordenadas representa a quantidade de horas paradas, e o eixo das abscissas o motivo destas paradas. Percebe-se que mais da metade das ocorrências são ocasionados por setup, portanto definiu-se a meta do trabalho em: reduzir tempo médio de setup na LA para ganho de produtividade.

O ganho em produtividade virá da redução do tempo de setup, aumentando a disponibilidade de hora mensal para produção. Atualmente, é realizado, em média, 264 setups por mês, considerando 12 por dia e descontando os dias de final de semana.

Então até o momento, tem-se definido:

**Problema:** Baixa produtividade e elevada demanda.

**Meta:** Reduzir tempo médio de tempo setup na LA para ganho de produtividade.

**Indicador:** Setup. Tempo médio atual: 40 minutos. (Período 2021: Jan – Set).

#### 4.2 FASE 2:MEDIR

Esta etapa tem como foco a coleta de dados para compreender a situação atual do processo.

Para verificação da situação atual do problema no processo, foi necessário uma estratificação das atividades realizadas durante os setups da linha produtiva. Desta forma, foram acompanhados 10 setups para diferentes aros e registrado as observações. Essa análise, foi realizada apenas nas operações gargalos da linha, ou seja, aquelas onde as atividades “travam”, fazendo com quem as tarefas não fluam conforme o esperado.

Iniciando as medições e aplicando o Estágio 1 do SMED, segue abaixo no Quadro 2 as atividades encontradas como Setup Externo:

Quadro 2 - Atividades Setup Externo

<b>Atividades - Setup Externo</b>
Estocar ferramentas a ser utilizada na próxima produção próximo das operações
Montar castanhas da ferramenta
Organização do ambiente de trabalho
Verificar ganchos e equipamentos

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

O Quadro 2 representa atividades observadas pelo autor e classificadas como Setup Externo, porém essas atividades já são feitas no setup externo atualmente, ou seja, com as máquinas em funcionamento. Logo, não tivemos oportunidades de melhoria neste caso.

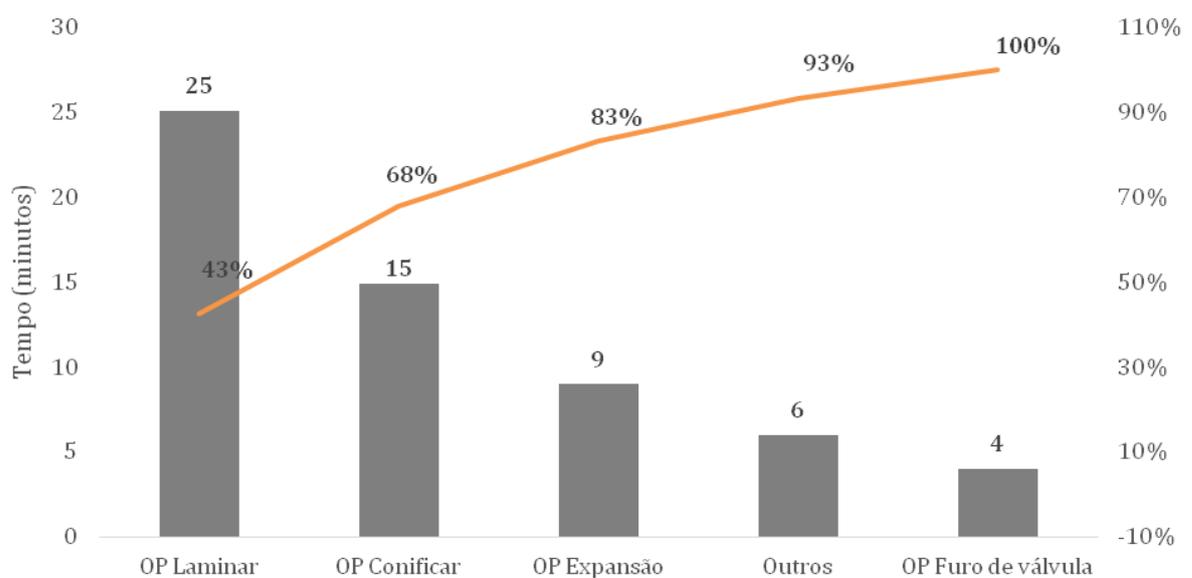
Analisando as atividades de setup interno, registrou-se o tempo de setup em minutos para cada operação (Tabela 1) e, em seguida, plotou os valores médios no Pareto (figura 8).

Tabela 1 – Tempo de setup em minutos por operação

<b>Produto/ Operações</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>Média</b>
Laminar	27	24	23	18	22	20	25	28	28	34	25,1
Conificar	12	17	13	17	12	11	15	18	18	18	14,9
Expansão	7	18	8	9	8	7	8	8	9	9	9,0
Furo de Válvula	3	3	4	-	5	5	6	4	3	4	3,9
Outros	-	-	5		4	-	8	-	-	-	5,7
Total	37	45	40	27	39	32	47	40	40	47	39

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 8 - Pareto Tempo de setup por operação



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Observa-se na figura 8 que a operação laminar representa o maior tempo de setup entre as operações. Diante disso, posteriormente, foram acompanhadas as tarefas praticadas nesta operação crítica e enumeradas conforme abaixo:

- Tarefa 1: Retirar cabeçote do laminador;
- Tarefa 2: Desparafusar ferramenta superior;
- Tarefa 3: Retirar ferramenta;
- Tarefa 4: Colocar ferramenta superior;
- Tarefa 5: Retirar ferramenta inferior;
- Tarefa 6: Colocar ferramenta inferior;
- Tarefa 7: Retirar calços da ferramenta;
- Tarefa 8: Colocar calços da ferramenta;
- Tarefa 9: Colocar cabeçote no laminador;
- Tarefa 10: Ajustar rolos guias;
- Tarefa 11: Regular bica dos laminadores;
- Tarefa 12: Testar Aro 1º laminador e Inspeccionar;
- Tarefa 13: Testar Aro 2º laminador e Inspeccionar;
- Tarefa 14: Testar Aro 3º laminador e Inspeccionar;

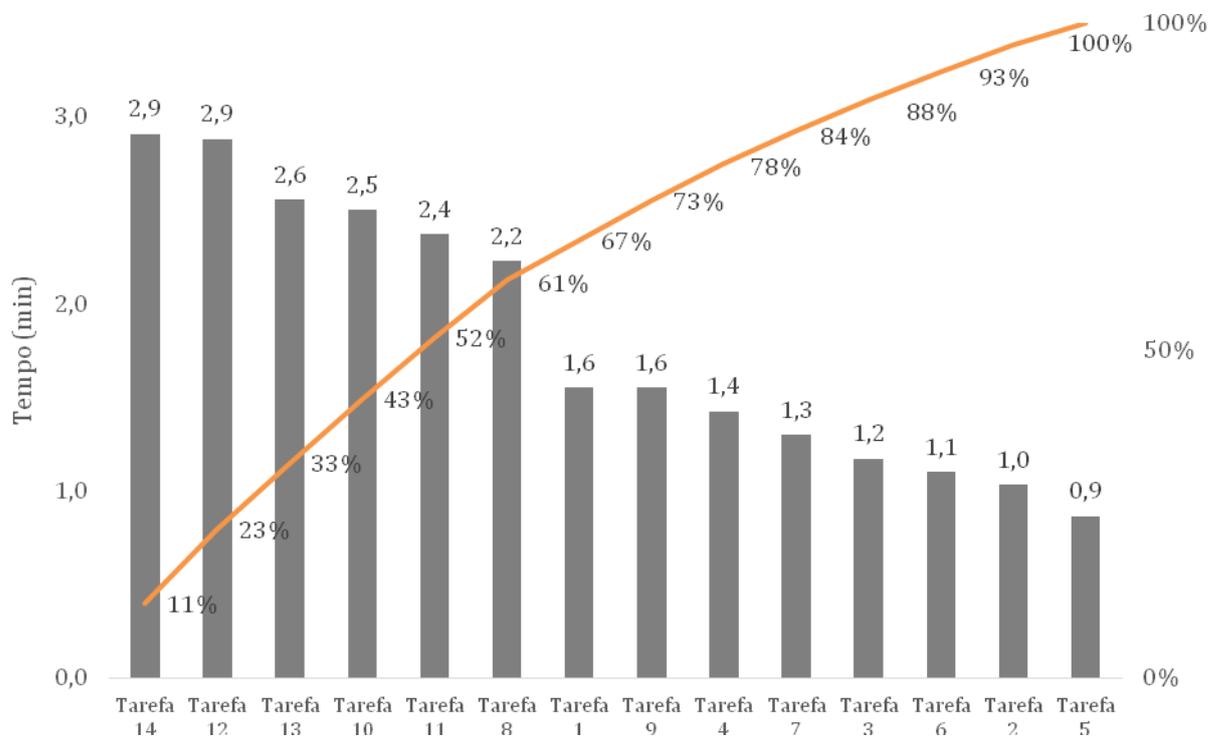
Em seguida, registrou-se o tempo em segundos dessas tarefas para 10 diferentes tipos de aros (produtos) na tabela 2 e plotados os valores médios no Pareto (Figura 9).

Tabela 2 - Tempo das atividades em segundos no Setup da OP Laminar

<b>Produto/ NºTarefa</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>Média</b>
<b>1</b>	90	70	60	120	50	90	120	90	120	120	93
<b>2</b>	60	60	60	80	50	40	60	60	60	90	62
<b>3</b>	90	50	60	70	60	30	90	60	120	74	70
<b>4</b>	60	80	40	120	60	90	80	60	180	86	86
<b>5</b>	30	80	40	80	30	50	30	60	60	60	52
<b>6</b>	60	60	60	90	60	60	70	80	60	60	66
<b>7</b>	60	80	90	60	80	50	90	60	120	90	78
<b>8</b>	90	180	186	120	100	60	110	210	120	160	134
<b>9</b>	120	140	60	110	40	60	40	160	80	120	93
<b>10</b>	30	120	110	-	180	110	180	240	140	240	150
<b>11</b>	180	120	-	180	120	110	120	150	120	180	142
<b>12</b>	280	140	95	70	180	-	150	140	200	300	173
<b>13</b>	240	120	120	-	120	90	180	120	150	240	153
<b>14</b>	240	150	90	-	200	90	180	200	180	240	174

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 9 - Pareto do tempo médio das tarefas da OP Laminar



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A partir de então, tem-se uma grande quantidade de dados que ajudam a entender o processo atual. O estágio 3 será desenvolvido na próxima etapa, investigando e desdobrando essas atividades de maior tempo.

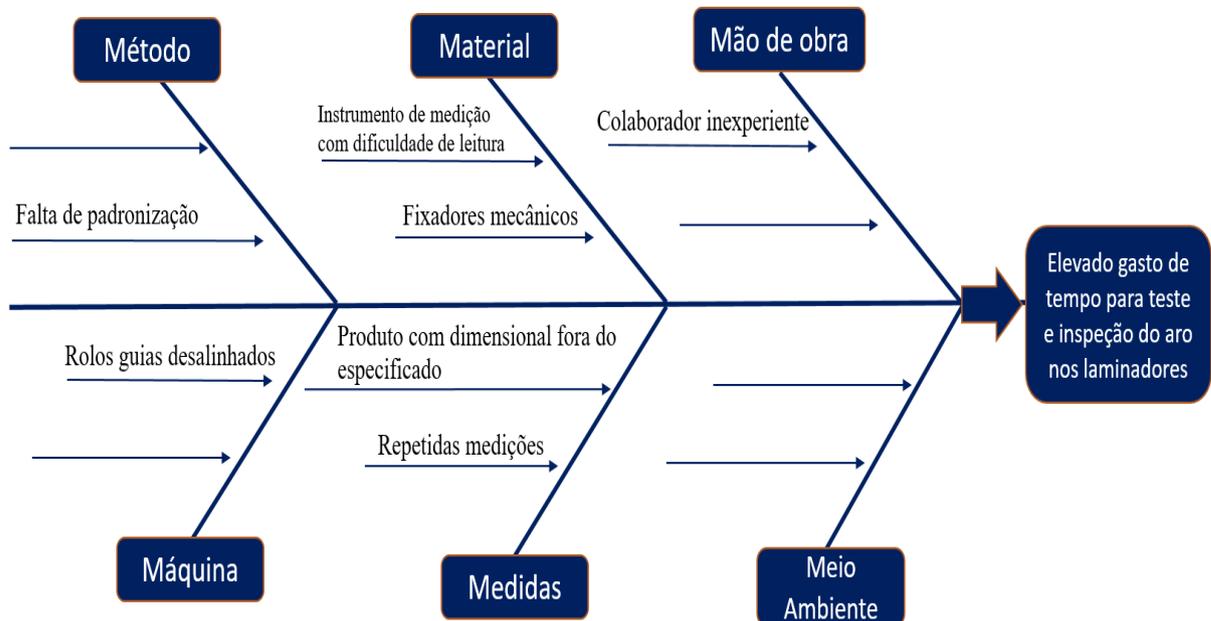
#### 4.3 FASE 3: ANALISAR

Esta etapa tem como intuito buscar as causas raízes para o problema abordado.

A partir dos dados obtidos da fase 2, o autor juntamente com seu supervisor marcaram uma reunião envolvendo diferentes pessoas, como gestor da linha e colaboradores, na qual possuem conhecimentos e experiências do dia a dia no chão de fábrica. A troca de informações foram muitos relevantes e serviram de apoio para tomada de decisões futuras.

Por meio de um *brainstorming* e com o auxílio do Diagrama de Ishikawa (Figura 10) foi levantado e classificado em categorias as possíveis causas para o elevado tempo para teste e inspeção do aro nos laminadores.

Figura 10 - Diagrama de Ishikawa desenvolvido



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A distribuição das causas no Diagrama ficou da seguinte maneira:

- Método: falta de padronização;
- Material: instrumento de medição com dificuldade de leitura e fixadores mecânicos;
- Mão de obra: colaborador inexperiente;
- Máquina: rolos guias desalinhados;
- Medidas: produto com dimensional fora do especificado;
- Meio Ambiente: sem causas;

Essas foram as principais causas que podem estar influenciando no problema estudado. É importante destacar esse ponto, uma vez que não tem-se certeza que estas causas se tratadas o problema estaria resolvido, por isso o DMAIC é um ciclo, que muitas vezes é necessário passar pelas fases mais de uma vez.

Prosseguindo o desenvolvimento desta etapa, aplicou-se a ferramenta dos 5 Porquês, na qual foi possível uma abordagem mais detalhada destas causas.

Quadro 3 - Análise dos 5 Porquês desenvolvido

<b>Causas</b>	<b>Por quê?</b>	<b>Por quê?</b>	<b>Por quê?</b>	<b>Por quê?</b>	<b>Por quê?</b>
Falta de padronização	A inspeção é feita sem modelo	Falta de instrução de trabalho padronizado	Engenharia não elaborou uma instrução	Não foi acionada	
Instrumento de medição com dificuldade de leitura	Alguns valores estão apagados	Instrumento desgastado			
Fixadores mecânicos	Fixadores demorados para ajustar e fixar	Estão gastos e danificados	Falta de reposição de fixadores novos		
Colaborador inexperiente	Não possui experiência e não foi treinado	Gestor da linha não realizou o treinamento	Falta de instrução padronizada para treinamento	Engenharia não elaborou uma instrução	Não foi acionada
Rolos guias	Os rolos estão desalinhados	Não foram regulados anteriormente	A regulagem é feita utilizando uma amostra	Dificuldade para regular sem a amostra	Não existe processo de especificação
Produto com dimensional fora do especificado	Ajustes e regulagem erradas	Falta de padronização/ colaborador inexperiente			

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Observa-se no quadro a passagem por cada porquê da causa do problema até um ponto de parada, no qual não existe necessidade de continuar, uma vez que este ponto é a causa raiz procurada. Vale ressaltar que não foi necessário chegar até o quinto porquê em alguns casos, pois em tal porque já era o motivo principal do problema, e se continuasse, poderia concluir respostas precipitadas. Por isso, é fundamental estar atento no desenvolvimento dos 5 porquês.

Concluindo, obteve-se as seguintes respostas para as causas iniciais:

- Falta de padronização → Engenharia não foi acionada para elaborar instrução de trabalho (1);
- Instrumento de medição com dificuldade de leitura → instrumento desgastado (2);
- Fixadores mecânicos → Falta de reposição de fixadores novos (3);
- Colaborador inexperiente → Engenharia não foi acionada para elaborar instrução de trabalho (1);
- Rolos guias desalinhados → não existe processo de especificação para regulagem sem amostra (4);
- Produto com dimensional fora do especificado → Falta de padronização e colaborador inexperiente (1).

As causas raízes foram enumeradas para facilitar no decorrer do trabalho. Nota-se que algumas causas (1) são equivalentes para diferentes problemas iniciais.

#### 4.4 FASE 4: IMPLEMENTAR

Esta fase irá propor, avaliar e implementar soluções para cada problema prioritário.

Estas soluções foram priorizadas pelos critérios:

- Maior efetividade;
- Menor custo;
- Maior facilidade de execução;
- Maior velocidade de implementação;

Primeiramente, foi proposto ações para serem implementadas, conforme listadas no Quadro 4 abaixo:

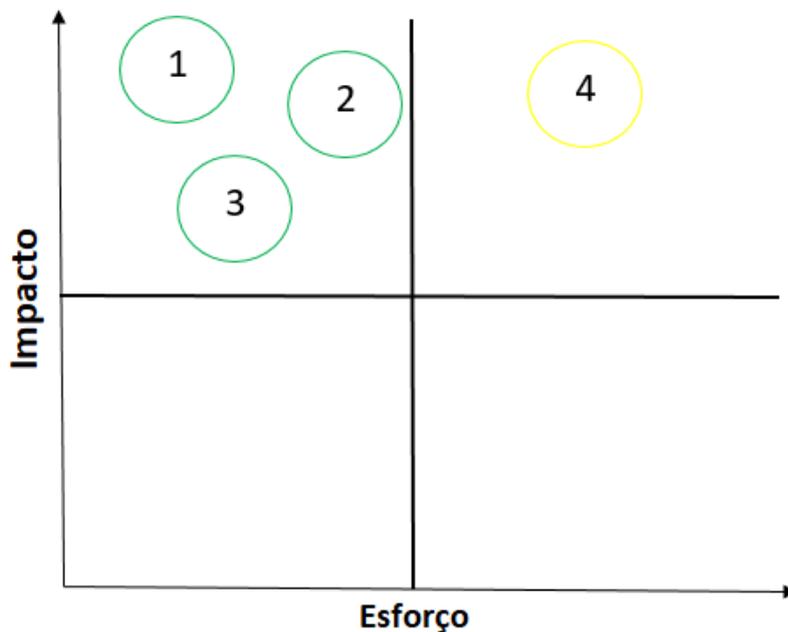
Quadro 4 - Ações para as causas raízes desdobradas

Nº	Causa Raiz	Ação
1	Engenharia não foi acionada para elaborar instrução de trabalho	Acionar Engenharia para elaborar procedimento padronizado de trabalho
2	Instrumento de medição desgastado	Providenciar instrumentos novos
3	Falta de reposição de fixadores novos	Viabilizar fixadores novos e mais modernos
4	Não existe processo de especificação para regulagem sem amostra	Elaborar processo de especificação para regulagem sem amostra

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Posteriormente, analisou-se o esforço para cada ação proposta (Figura 11), ou seja, as soluções de grande impacto no problema com pouco esforço para realizá-las. O impacto refere-se ao quanto esta possível ação pode ser a solução para o problema. Já o esforço, refere-se ao tempo gasto, ao investimento necessário e ao prazo de implementação da solução.

Figura 11 – Matriz de Impacto x Esforço



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Classificou-se as ações 1,2 e 3 com grande impacto e baixo esforço, e a ação 4 com grande impacto porém com alto esforço. Desta forma, estas 3 primeiras serão priorizadas para serem implementadas.

O autor entrou em contato com as pessoas e/ou áreas envolvidas e mostrou as melhorias propostas, pedindo a ajuda e suporte para implementá-las. A resposta foi bem positiva dos mesmos, na qual definiram os prazos, e atividades em paralelo necessárias para execução das melhorias. Para o desenvolvimento dessas ações foi feito um plano de ação para melhor acompanhamento. É importante ser feito desta forma, pois facilita na organização e controle das atividades e cria uma maior disciplina para cumpri-las, e assim nenhuma tarefa é esquecida levando à concretização dos objetivos de forma mais rápida e prática.

Depois de implementadas as melhorias, foi realizado novamente um estudo de tempo das atividades do setup, para 10 itens diferentes, na qual obtive os seguintes resultados na tabela 3:

Tabela 3 - Tempo das tarefas em segundos do setup da OP laminar após melhorias

<i>Produto/ N° Tarefa</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>	<i>P6</i>	<i>P7</i>	<i>P8</i>	<i>P9</i>	<i>P10</i>	<i>Média</i>
1	60	90	60	84	72	78	120	60	60	120	80
2	90	72	60	50	60	60	120	60	60	50	68
3	90	60	60	60	60	50	60	60	60	74	63
4	60	72	50	60	90	90	80	60	60	66	69
5	60	60	30	50	30	50	60	60	60	90	55
6	60	90	60	90	60	60	70	80	60	60	69
7	30	50	60	30	50	50	60	72	30	40	47
8	60	90	60	90	100	60	90	120	120	110	90
9	120	120	90	120	60	50	60	120	90	120	95
10	90	100	110	240	120	150	180	180	120	90	138
11	-	110	180	180	150	90	150	180	120	120	142
12	120	150	120	60	120	60	120	120	90	120	108
13	120	90	90	60	120	90	90	120	90	-	97
14	90	120	90	120	-	120	80	120	120	120	109

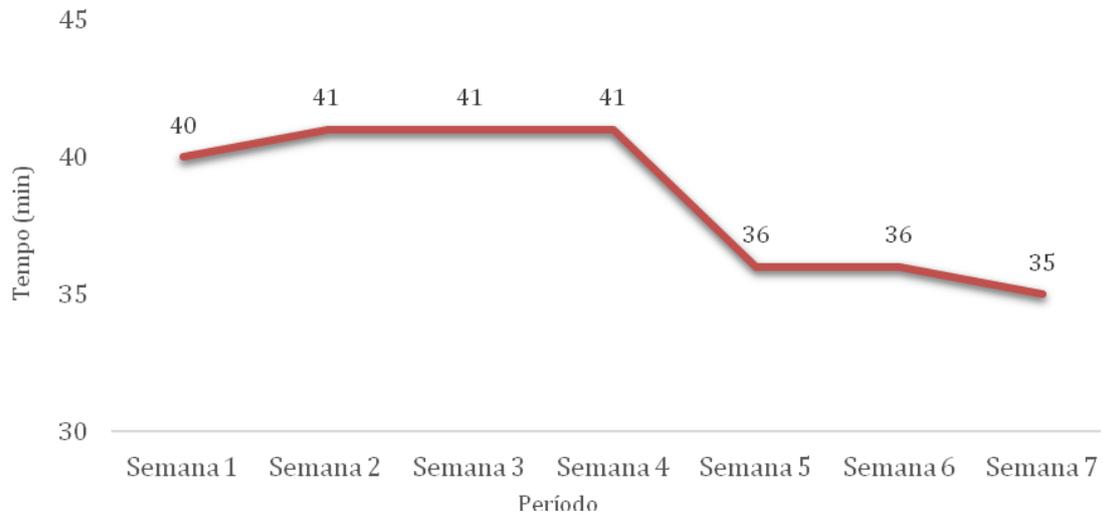
Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2022)

As atividades que estão em verdes são aquelas que foram impactadas pelas ações tomadas. Observa-se uma redução da média de tempos dessas tarefas em relação a Tabela 2:

- Atividade 7: 78 segundos → 47 segundos
- Atividade 8: 134 segundos → 90 segundos
- Atividade 12: 173 segundos → 108 segundos
- Atividade 13 153 segundos → 97 segundos
- Atividade 14: 174 segundos → 109 segundos

Somando essas reduções de cada atividade obtém-se uma diminuição de 259 segundos, o que equivale, aproximadamente, 5 minutos no tempo de setup da LA. Portanto, as melhorias propostas impactaram positivamente. Esse impacto fica melhor visualizado no gráfico a seguir:

Figura 12 - Tempo de Setup semanal (2022)



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Esses dados foram retirados do SW, na qual nota-se no mês de Janeiro um valor constante na faixa de 40-42 minutos para tempo de setup na laminação. Com a aplicação das melhorias no começo de Fevereiro observa-se uma redução nesse tempo para aproximadamente 36 minutos e mantido ao longo das outras semanas, comprovando as melhorias propostas e a eficácia da metodologia aplicada.

Os ganhos estimados foram calculados:

- **12 setups por dia X 22 dias de produção ( 264 setups**
- **264 setups x 5 minutos ( 1320 minutos ( 22 horas mensais.**

Portanto, obteve-se uma adição de 22 horas mensais no cronograma de produção, o que representa cerca de uma hora a mais por dia de produtividade para o setor.

#### 4.5 FASE 5:CONTROLAR

O controle das ações e melhorias aplicadas foram desenvolvidas as seguintes estratégias:

- Elaborado planejamento de inspeção mensal dos instrumentos de medição utilizados na linha, verificando as condições de uso do mesmo, e caso necessário realizar a troca desse item;

- Criado procedimento de reposição de estoque dos instrumentos de medição, para garantir que tenha pelo menos 1 conjunto do mesmo no estoque, para caso seja necessário realizar a troca desse equipamento;
- Realizado o treinamento dos colaboradores após atualização do procedimento padronizado de trabalho;
- *Upload* do procedimento padronizado de trabalho no sistema digital da companhia, garantindo a perpetuação da melhoria;
- Instalado um cronômetro digital na linha produtiva para medir a normalidade do tempo de setup dos produtos, e caso os colaboradores observarem alguma irregularidade constante nesse tempo devem comunicar o gestor, para que o mesmo tome medidas corretivas.

## 5 CONCLUSÃO

O projeto deste trabalho focou no aumento da produtividade, diminuindo o tempo de parada de produção numa linha de fabricação em uma empresa do ramo automotivo, utilizando-se da filosofia *Lean Seis Sigma* para solução de problemas.

Empregou-se ferramentas do *Lean Manufacturing* e a metodologia do DMAIC, *Six Sigma*, de uma forma mais simplificada e estruturada para o desenvolvimento do trabalho. No começo, identificou-se perda de produtividade devido a paradas imprevistas de produção, na qual o maior problema estava na troca de ferramentas na mudança de produção de um produto para outro (setup). A partir disso, foi feito estudos de tempo e cronometragens do processo atual, e verificou-se oportunidades de melhorias.

As alternativas propostas para solução do problema foram selecionadas conforme o critério: alto impacto e baixo esforço.

Os resultados mostraram uma melhora efetiva no processo, diminuindo o tempo médio de setup da LA em aproximadamente 5 minutos, o que resultou para a linha um ganho mensal de 22 horas de produtividade. Por fim, foi definido uma série de estratégias para validar e controlar o processo melhorado.

A integração DMAIC e ferramentas *Lean*, sem dúvidas, é uma metodologia robusta na otimização e melhoria de processos quando aplicada de maneira correta, a aplicação neste trabalho numa ótica mais simplificada comprovou sua eficácia, evidenciando os ganhos.

Como sugestão para trabalhos futuros, foram listadas algumas das principais dificuldades encontradas em cada etapa do desenvolvimento do DMAIC:

Inicialmente, na fase definir, a dificuldade encontrada foi a definição de uma meta que seja ao mesmo tempo desafiadora e alcançável, atendendo as “dores” da companhia ou vontade dos clientes. Na etapa de medição, a coleta de dados foi a parte mais trabalhosa do projeto, em relação a análise visual e cronometragens, devido algumas atividades acontecerem em paralelo, bem como, as variações e eventos inesperados que surgem nas linhas de produção, como por exemplo, equipe desfalcada, troca de turno durante o setup, quebra de equipamentos. Deve-se atentar a todos esses detalhes, para que não se contabilize o tempo das atividades que não estão no seu estado normal de processo. Na fase analisar, encontrou-se uma dificuldade no desenvolvimento dos 5 porquês na escolha da pergunta adequada para o próximo porquê. Sequências erradas podem levar a concluir respostas

precipitadas, e conseqüentemente definir causas raízes que não estão ligadas com o problema. O ideal é a cada porque revisar e analisar a veracidade da ocorrência. Na etapa Implementar, a maior dificuldade foi conseguir cumprir no prazo correto as ações necessárias para implementação das melhorias, e também, a parte burocrática que existe, muitas vezes, dentro das companhias e empresas para mudança de uma prática que já é feita a muito tempo. Por fim, na fase controlar o impasse foi em relação ao próprio controle e gerenciamento do impacto das melhorias implementadas, garantindo que as ações tomadas geraram resultados positivos no processo.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, S. **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2002.

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da indústria automobilística brasileira 2018**. Disponível em: [https://anfavea.com.br/anuario2018/Anfavea\\_18.pdf](https://anfavea.com.br/anuario2018/Anfavea_18.pdf). Acesso em: 11 ago. 2021.

CABRAL, C.J.A.; DUARTE, N.C.; ADRIANO, F.J.; ADRIANO, F. J.; SILVA, M.T. **Proposta de aplicação da metodologia DMAIC e pensamentos sistêmicos para melhoria contínua em uma empresa de envase de água mineral do interior de Goiás: um estudo de caso**. Goiás: Instituto Luterano de Ensino Superior-ULBRA, 2018. Disponível em: <https://www.fucamp.edu.br/editora/index.php/getec/article/view/1857/1200>. Acesso em: 6 fev. 2022.

CAMPBELL, B.B. **Aplicação de Lean Manufacturing em uma linha de produção de uma empresa do setor automotivo**. 2012. Dissertação (Mestrado em engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2012. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos12/42916442.pdf> . Acesso em: 11 ago.2021.

COUGHLAN, P.; COUGHLAN, D. Action research for operation management. **International Journal of Operations and Production Management**, Bradford, v. 22, n. 2, p. 220- 240, 2002.

FERNANDES, S. T.; MARINS, F. A. S. Aplicação do lean six sigma na logística de transporte. **Revista Produção Online**, v. 12, n. 2, p. 297–327, 2012. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/763>. Acesso em: 14 ago. 2021.

LUIZ, L.C.; DONIN, M.; TYBUSZEUSSKY, J.M.L.; CHIROL, D.M.G. Proposta de melhoria baseada na metodologia DMAIC em uma unidade de pronto atendimento de saúde. **The Journal of Engineering and Exact Sciences: JCEC**, v.6, n.1, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec>. Acesso em: 10 jan. 2022.

MARCONDES, S.J. Diagrama ou gráfico de pareto: ferramenta da gestão da qualidade. **Blog de gestão e segurança**. 2020. Disponível em: <https://gestaodesegurancaprivada.com.br/diagrama-ou-grafico-de-pareto-conceito/>. Acesso em: 15 dez. 2021.

NOGUEIRA, M.S.M. **Aplicação do método Six Sigma para redução de desperdícios em uma empresa do setor varejista**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018.

OLIVEIRA, R.U. **Estatística 1: (para leigos) aprenda fácil e rápido**. São Paulo: Saraiva, 2017.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção**: operações industriais e de serviços. Curitiba: Unicenp, 2007.

ROVEDA, V. Como o Diagrama de Ishikawa contribui com a gestão da empresa. **Blog conta azul**. 11 set. 2017. Disponível em: <https://blog.contaazul.com/diagrama-de-ishikawa>. Acesso em: 15 dez. 2021.

SILVA, C. L.; SILVA, A. F.; OLIVEIRA, C.M. Implementação da metodologia Seis Sigma para melhoria de processos utilizando o ciclo DMAIC: um estudo de caso em uma indústria automotiva. **Exacta** – EP, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 223-232, 2017. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/>. Acesso em: 14 dez.2021.

SILVA, I.B.; IKUO M. D.; BATOCCHIO, A.; LUIZ, A.O. Integrando a promoção das metodologias: *Lean Manufacturing* e *Six Sigma* na busca de produtividade e qualidade numa empresa fabricante de autopeças. **Gest. Prod.**, São Carlos, v.18, n.4, p.687-704, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/N4T3Tj95M4ZJgcrF3B5nmCw/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 13 set. 2021.

SUGAI, M.; MCINTOSH, I. R.; NOVASKI, O. Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 14, n. 2, p. 323-335, maio-ago. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/8zqzvd8p5HgGgbszxtSqzYs/?lang=pt&format=pdf> . Acesso em: 14 dez. 2021.

TERZONI. O que é fluxo de valor e como aplicá-lo em sua empresa. **Lean Blog**. 4 set. 2018. Disponível em: <https://terzoni.com.br/leanblog/fluxo-de-valor/>. Acesso em: 27 out.2021.

WERKEMA, C. **Lean Seis Sigma**: introdução as ferramentas do Lean Manufacturing. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

WERKEMA, C. **Ferramentas estatísticas básicas do Lean Seis Sigma integrado ao PDCA e DMAIC**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.