



## **APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTA EM FACEADEIRA NA PRODUÇÃO SERIADA DE EIXOS DE TRANSMISSÃO**

**Milton Fernandes da Silva Neto**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientador: José Antônio da Silva Souza

Belém

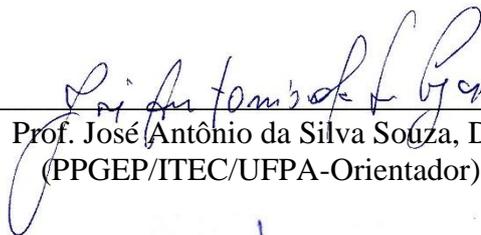
Setembro de 2020

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTA  
EM FACEADEIRA NA PRODUÇÃO SERIADA DE EIXOS DE TRANSMISSÃO**

Milton Fernandes da Silva Neto

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

Examinada por:



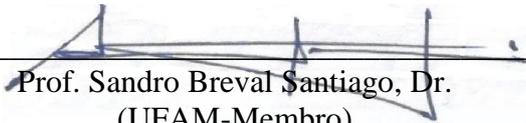
---

Prof. José Antônio da Silva Souza, Dr.  
(PPGEP/ITEC/UFPA-Orientador)



---

Prof. Edinaldo José de Sousa Cunha, Dr.  
(PPGEP/ITEC/UFPA-Membro)



---

Prof. Sandro Breval Santiago, Dr.  
(UFAM-Membro)

BELÉM, PA - BRASIL  
SETEMBRO DE 2020

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFPA**

---

Silva Neto, Milton Fernandes da, 1983-  
Aplicação da metodologia de troca rápida de ferramenta  
em faceadeira na produção seriada de eixos de transmissão /  
Milton Fernandes da Silva Neto - 2020.

Orientador: José Antônio da Silva Souza

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal  
do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Processos, 2020.

1. Troca Rápida 2. Ferramenta em faceadeira 3. Produção  
seriada 4. Eixos de transmissão I. Título

CDD 620

---

*Dedico este trabalho aos meus pais, em memória a Janiobaldo Rosa (pai), à minha amada esposa e aos meus filhos, à todos aqueles que me apoiaram para que não desistisse dessa árdua batalha.*

## **AGRADECIMENTOS**

Em especial ao meu orientador, pela oportunidade de aprendizado e troca de saberes necessárias para formação profissional.

Ao ITEGAM e a Universidade Federal do Pará – UFPA, pelos seus ensinamentos e pelos seus professores por ter proporcionado todas as condições materiais e humanas.

Aos colegas de mestrado pelo convívio e incentivo, e também aos colegas de trabalho que me ajudaram na coleta dos dados.

A toda minha família e a Deus por tudo.

*“Tente uma, duas, três vezes e se possível tente a quarta, a quinta e quantas vezes for necessário. Só não desista nas primeiras tentativas, a persistência é amiga da conquista. Se você quer chegar aonde a maioria não chega, faça o que a maioria não faz...”*

(Bill Gates)

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

## **APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTA EM FACEADEIRA NA PRODUÇÃO SERIADA DE EIXOS DE TRANSMISSÃO**

**Milton Fernandes da Silva Neto**

Setembro/2020

Orientador: José Antônio da Silva Souza

Área de Concentração: Engenharia de Processos

A globalização do mercado causa impactos em todos os segmentos do mundo moderno, sendo a competitividade entre os fornecedores de produtos e serviços o impacto mais relevante. Importa sinalizar que o que permeia este processo globalizado são: os avanços exponenciais nas áreas de tecnologia e comunicação, os quais ocorrem sem o devido acompanhamento na mão de obra. Portanto, este estudo tem como premissa compreender de que forma a melhoria de processos em processo de usinagem, através da modificação em otimização de dispositivo de máquina e automatização de processos industriais, impacta na indústria e no comportamento dos custos no resultado, vislumbrando investimentos em equipamentos mais modernos e na gestão estratégica da manutenção.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

**STRATEGIC MANAGEMENT IN RETAIL INDUSTRY FACILITY  
MAINTENANCE**

**Milton Fernandes da Silva Neto**

September/2019

Advisor: José Antônio da Silva Souza

Research Area: Process Engineering

Overall, market globalization impacts all segments of the modern world, with competitiveness among product and service providers being the most relevant impact. It is important to point out that what permeates this globalized process are: the exponential advances in the areas of technology and communication, which occur without proper monitoring in the workforce. Therefore, this study's premise is to understand how the improvement of processes in the machining process, through the modification of machine device optimization and industrial process automation, impacts the industry and the cost behavior in the result, envisaging investments in equipment. the most modern and strategic maintenance management.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 - MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 - OBJETIVO.....	2
<b>1.2.1 - Objetivo geral.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.2 - Objetivos específicos.....</b>	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 - PANORAMA ATUAL DO PÓLO INDUSTRIAL EM MANAUS NA PRODUÇÃO DE COMPONENTES PARA MOTOCICLETAS.....	3
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>5</b>
3.1 - SEQUÊNCIA DO PROCESSO.....	5
3.2 - EIXOS.....	6
3.3 - USINAGEM DOS EIXOS.....	7
3.4 - TOLERÂNCIAS GEOMÉTRICAS.....	8
<b>3.4.1 - Batimento circular.....</b>	<b>9</b>
<b>3.4.2 - Batimento total.....</b>	<b>11</b>
3.5 - FERRAMENTA SMED PARA REDUÇÃO DE TEMPO DE SETUP.....	12
<b>3.5.1 - Modelo TPS (Toyota Production System).....</b>	<b>12</b>
<b>3.5.2 - Lean manufacturing.....</b>	<b>13</b>
3.5.2.1 - Princípios do lean manufacturing.....	14
3.5.2.2 - Os tipos de desperdício.....	14
<b>3.5.3 - Ferramentas do lean manufacturing.....</b>	<b>15</b>
3.6 - METODOLOGIA SMED.....	17
<b>3.6.1 - Contexto histórico.....</b>	<b>17</b>
<b>3.6.2 - Organização conceitual do SMED.....</b>	<b>17</b>
<b>3.6.3 - Estágios do SMED.....</b>	<b>19</b>
<b>3.6.4 - Aspectos e considerações ao aplicar o SMED.....</b>	<b>23</b>
3.7 - DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS.....	24
3.8 - METODOLOGIA.....	24
<b>CAPÍTULO 4 - DISCUSSÃO E RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
4.1 - DISCUSSÃO.....	27
4.2 - RESULTADOS.....	29

<b>4.2.1 - Dados anteriores às modificações do dispositivo de ajuste.....</b>	<b>29</b>
<b>4.2.2 - Dados alcançados após a modificação do dispositivo de ajuste.....</b>	<b>35</b>
4.2.2.1 - Confeção do dispositivo.....	35
4.2.2.2 - Dados pós implementação.....	37
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....</b>	<b>39</b>
5.1 - OBSERVAÇÕES AOS RESULTADOS.....	39
5.2 - PROPOSTAS DE MELHORIAS.....	40
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>41</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Participação dos subsetores de atividades no faturamento do polo industrial de Manaus.....	3
Figura 2.2	Gráfico estudo de vendas internas das duas maiores empresas montadoras do polo 2 rodas.....	4
Figura 2.3	Decrescimento de vendas de modelos.....	4
Figura 3.1	Processo de faceamento dos eixos de transmissão.....	5
Figura 3.2	Processo de desempenho de eixos de transmissão.....	6
Figura 3.3	Modelagem do conjunto de transmissão da Honda CL 360.....	7
Figura 3.4	Processo de faceamento.....	8
Figura 3.5	Representação do batimento radial.....	9
Figura 3.6	Representação do batimento axial.....	10
Figura 3.7	Representação do batimento em qualquer direção.....	10
Figura 3.8	Representação do batimento em uma direção específica.....	10
Figura 3.9	Representação do batimento total.....	11
Figura 3.10	Representação do batimento total axial.....	11
Figura 3.11	Comparativo da evolução entre as principais organizações do setor automobilístico.....	13
Figura 3.12	Estágios do SMED.....	20
Figura 3.13	Projeto de setup de uma prensa.....	22
Figura 3.14	Cronograma de atividades do projeto.....	26
Figura 4.1	Redução no tempo de processos da faceadora por implementação de novo dispositivo de ajuste.....	27
Figura 4.2	Dispositivos de ajuste dos eixos de transmissão vista frontal.....	30
Figura 4.3	Sistema de ajustes do dispositivo de ajustes antigo, necessidade de calços para ajuste.....	31
Figura 4.4	Fixação do eixo na garra do dispositivo.....	31
Figura 4.5	Defeitos encontrados nos estriados.....	32
Figura 4.6	Diferencia dimensional agravante no processo de faceamento....	32
Figura 4.7	Máquina faceadora e conjunto de dispositivos de ajuste.....	33
Figura 4.8	Média dos tempos operacionais e não operacionais da faceadeira.....	34

Figura 4.9	Média dos tempos operacionais e não operacionais da desempenadeira.....	35
Figura 4.10	Modelamento do dispositivo de ajuste.....	36
Figura 4.11	Vista detalhada do dispositivo de ajuste, apresentando o mecanismo interno de funcionamento.....	36
Figura 4.12	Dispositivo de ajuste final manufaturado.....	37
Figura 4.13	Implementação dos novos dispositivos de ajuste na máquina faceadora.....	38
Figura 4.14	Média dos tempos operacionais e não operacionais da faceadora	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Distribuição das ferramentas/metodologias Lean por categorias de aplicação.....	16
Tabela 3.2	Impacto dos tempos de setup elevados no tempo de produção por peça.....	18
Tabela 3.3	Impacto dos tempos de setup reduzidos no tempo de produção por peça.....	19
Tabela 4.1	Quadro organizacional de problemática e ação reparatória.....	29

## NOMENCLATURA

ABRACICLO	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE MOTOCICLETAS, CICLOMOTORES, MOTONETAS, BICICLETAS E SIMILARES
SMED	SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE
PIM	POLO INDUSTRIAL DE MANAUS
GD&T	GEOMETRIC DIMENSIONING AND TOLERANCING
TPS	TOYOTA PRODUCTION SYSTEM
TI	TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO
5S	SEIRI, SEITON, SEISO, SEIKETSU, SHITSUKE
TPM	TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE
VSM	VALUE STREAM MAPPING
CNC	COMPUTER NUMERICAL CONTROL

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 - MOTIVAÇÃO

O Polo Duas Rodas em Manaus encontra-se em um cenário de recuperação da produção, segundo dados da Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e similares (ABRACICLO, 2019).

As indústrias de motocicletas voltaram em 2018 a ocupar o posto de segundo lugar no ranking dos principais produtos produzidos no Polo industrial de Manaus, (Suframa 2018), apesar da grande crise que se estabeleceu desde 2014, que diminuiu drasticamente a produção de motocicletas das grandes empresas, fabricantes e montadoras instaladas na Zona Franca de Manaus, como a Moto Honda da Amazônia e a Yamaha Motor da Amazônia LTDA, além de afetar em maior ou menor grau, as várias empresas do seguimento de componentes para motocicletas que trabalham em parceria, produzindo peças, e fornecendo produtos acabados e de qualidade para a montagem final das motos.

Em meio a uma redução nos gastos, busca-se alternativas que otimizem a produtividade dos processos ao mesmo tempo que se adequem a redução dos custos com mão de obra. Para isso adaptações em vários processos de fabricação, como nos processos de usinagem são requeridos, de maneira que haja redução no tempo de processo, redução nos custos e garantia de qualidade.

Uma forma de alcançar esses objetivos é a aplicação de métodos de controle de qualidade e processos. As ferramentas integradas do modelo Lean Manufacturing, quando aplicadas de forma correta, tornam-se eficientes, por exemplo, na diminuição de tempos de Setup. A ferramenta SMED (Single Minute Exchange of Die) tem como principal foco a diminuição dos tempos de Setup (SHINGO, 1985). Setup pode ser definido como a troca de referência em produção, em uma ou mais máquinas, interligadas pela troca de peças e/ou ferramentas, e equipamentos necessários para que seja possível a retomada da produção (SCHOROEDER, 2008).

Frente ao referencial teórico construído anteriormente, identificou-se durante o processo produtivo de uma fábrica, que produz insumos para o polo de duas rodas, uma elevada taxa de peças não-conforme no decorrer do processo de desempenho dos eixos,

constatou-se a necessidade de desenvolvimento de um dispositivo que garantisse a precisão dimensional da usinagem durante o processo de faceamento, de forma a reduzir as perdas.

O trabalho em questão busca então apresentar a metodologia aplicada de forma sistemática afim de contextualizar o processo, englobando a análise do processo, desenvolvimento do dispositivo e sua instalação, além do controle necessário para manter a redução alcançada no tempo de Setup e o padrão de qualidade com que confere a redução na quantidade de refugo.

## 1.2 - OBJETIVOS

### 1.2.1 - Objetivo geral

Desenvolvimento de dispositivo mecânico para a diminuição de refugo, advindo da faceadora dos eixos primário e secundário.

### 1.2.2 - Objetivos específicos

- Avaliar as condições do processo antes da implementação do dispositivo;
- Identificar principais pontos que colaborem para tempos elevados de Setup;
- Verificar o nível de variabilidade dimensional das peças fabricadas antes do dispositivo;
- Desenvolver de acordo com os dados coletados o conceito do dispositivo adequado para reduzir o tempo de Setup e diminuição na quantidade de refugo;
- Modelar o dispositivo para que testes preliminares sejam feitos em ambiente virtual, mitigando possíveis falhas na fabricação;
- Manufaturar o dispositivo;
- Implementar o dispositivo no processo;
- Avaliar os resultados obtidos com a implementação do dispositivo;
- Comparar resultados entre o antes e depois da implementação do dispositivo.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO DA LITERATURA

#### 2.1 - PANORAMA ATUAL DO PÓLO INDUSTRIAL EM MANAUS NA PRODUÇÃO DE COMPONENTES PARA MOTOCICLETAS

O projeto de dispositivos para adequação de máquinas aos processos de fabricação, visando aumento de produtividade e diminuição de gastos, é uma saída aplicada em vários setores industriais, e com o advento da indústria 4.0 tais modificações estão se tornando cada vez mais necessárias.

No polo Industrial de Manaus é possível verificar a divisão quanto aos seguimentos, na Figura 2.1 o polo industrial de duas rodas apresenta atualmente uma fatia de 14,12% de participação no faturamento do PIM. O subsetor é formado por empresas que apresentam grandes investimentos em tecnologia e em melhoria nos processos produtivos.

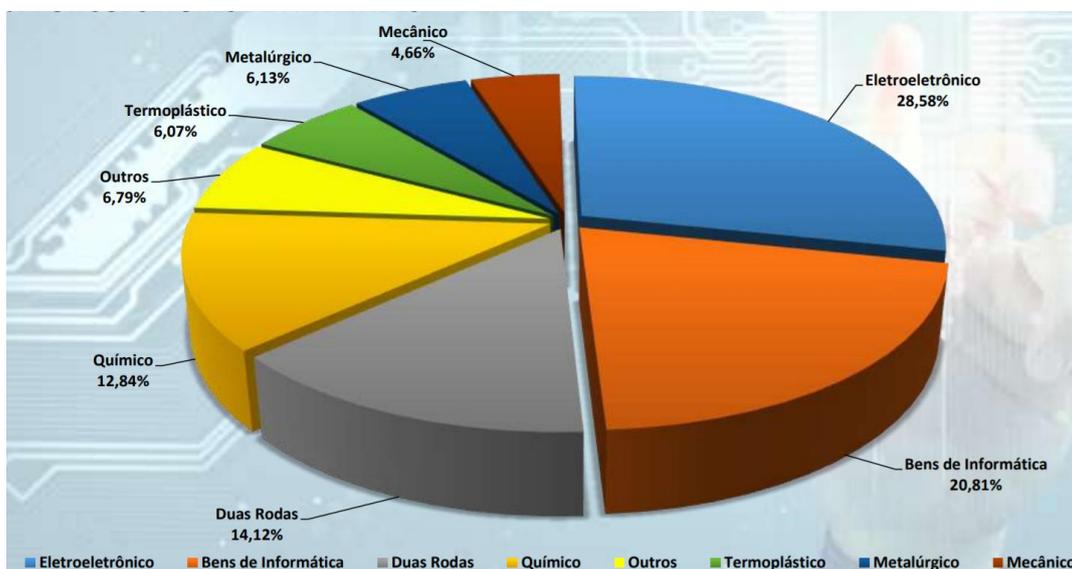


Figura 2.1 - Participação dos subsetores de atividades no faturamento do polo industrial de Manaus.

Fonte: COISE/CGPRO/SAP – SUFRAMA 2018

O panorama atual mostra que as principais montadoras do polo industrial estão iniciando um processo de recuperação, depois de uma baixa de quase 6 anos na produção de motocicletas e similares, o que pode abrir espaço para reconfigurações de

processos produtivos, tanto nas montadoras como nas empresas fornecedoras de componentes. A Figura 2.2 demonstra esses dados de 2018 com um pequeno aumento nas vendas internas no atacado das principais montadoras presentes no polo industrial.

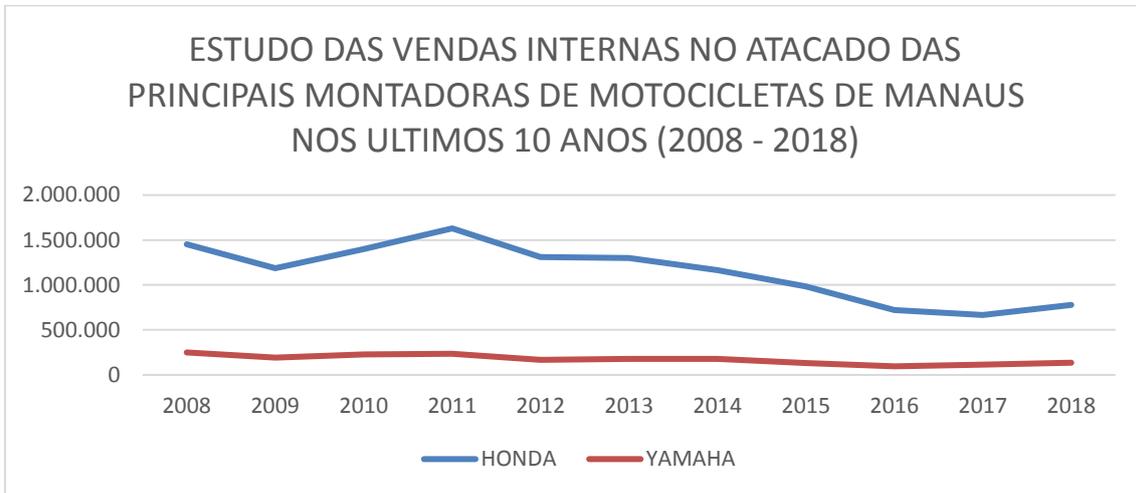


Figura 2.2 - Gráfico estudo de vendas internas das duas maiores empresas montadoras do polo 2 rodas.

Quanto a produção dos modelos de motos fabricadas, a Figura 2.3 possibilita verificar que em 2008 o carro chefe eram as motos de 150 cilindradas com uma queda de mais de 400.000 motos para a extinção do modelo de 150 cilindradas, houveram modificações no modelo e atualmente existem motos de 160 cilindradas que substituíram as de 150. Motos mais econômicas como a de 125 cilindradas apresentaram, maior estabilidade no seu decréscimo conseguindo sobreviver bem a crise, atualmente estão sendo substituídas por novos modelos.

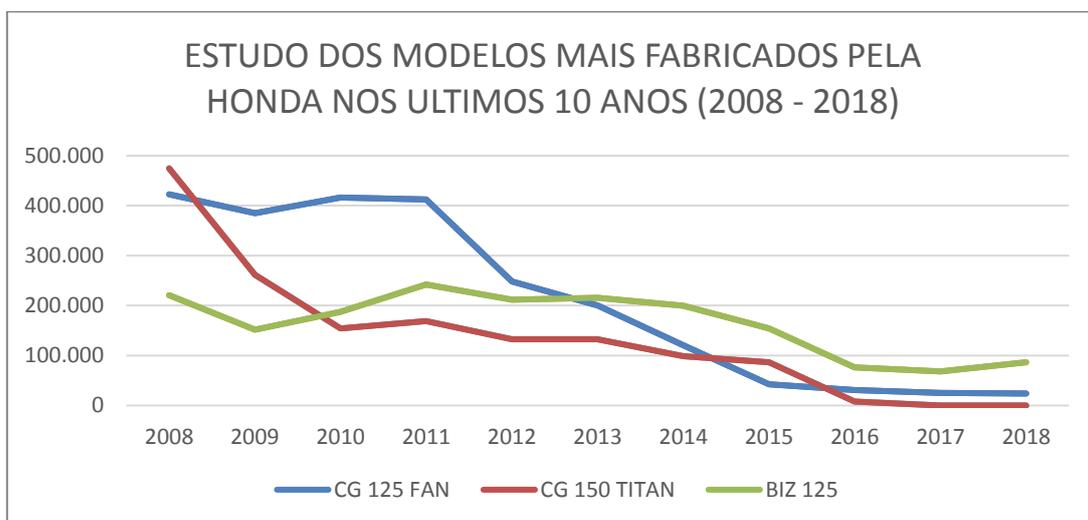


Figura 2.3 - Decréscimo de vendas de modelos.

## CAPÍTULO 3

### FABRICAÇÃO DO EIXO PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO

#### 3.1 - SEQUÊNCIA DO PROCESSO

Segue uma breve descrição do processo completo de fabricação dos eixos primário e secundário da transmissão das motocicletas para que os processos de faceamento e a análise de batimento, que serão abordados com maior cuidado. O processo inicia-se a partir da alimentação da máquina de forja a frio por bobinas na máquina Sakamura, onde o eixo é conformado e fabricado, nesta etapa são formadas as estrias e a engrenagem do eixo principal, por exemplo. O processo seguinte é o faceamento representado pela Figura 3.1, onde é alcançado a dimensão final no comprimento do eixo.

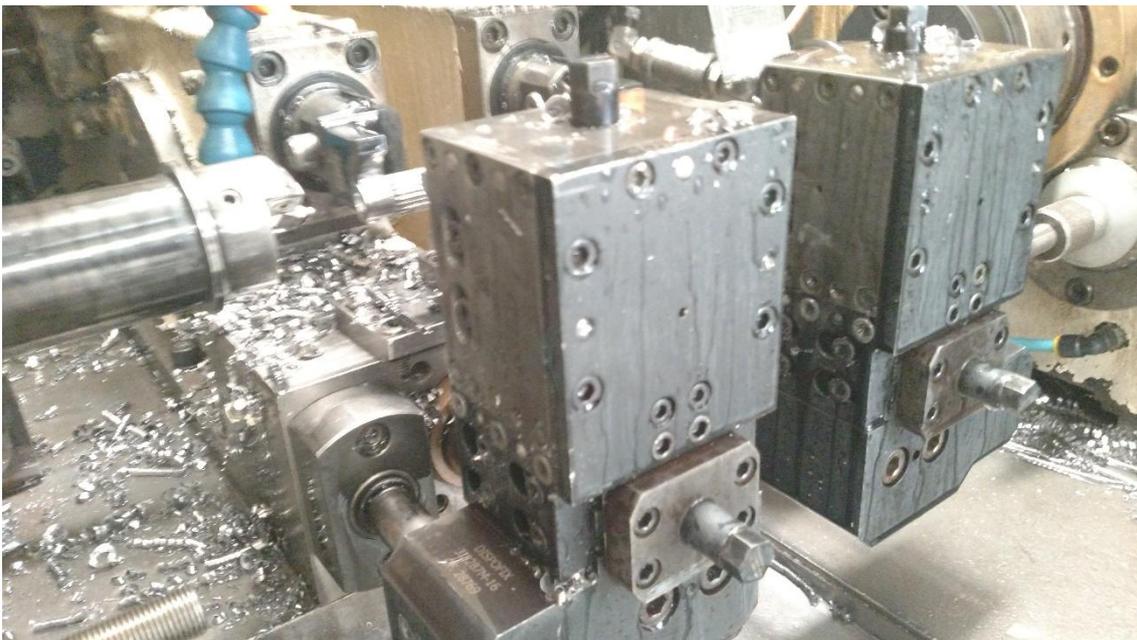


Figura 3.1 - Processo de faceamento dos eixos de transmissão.

Após o processo de faceamento, o eixo segue para a desempenadeira onde é verificado o batimento do eixo a fim de definir se o mesmo está dentro das tolerâncias geométricas especificadas, os processos de usinagem seguintes são o torneamento do eixo, a furação e a fresagem, Figura 3.2.



Figura 3.2 - Processo de desempenho de eixos de transmissão.

Terminado os processos de usinagem o eixo é levado para o tratamento térmico de tempera e revestimento, onde após a dureza padrão ser alcançada, logo em seguida vai para o processo de retífica, e após o eixo segue para a etapa de montagem, aprovado nesta etapa os eixos primário e secundário podem seguir para o cliente.

### 3.2 - EIXOS

Um eixo ou árvore, segundo BUDYNAS (2011), é um membro rotativo geralmente de seção transversal circular que possui como o objetivo a transmissão de potência ou movimento. SARKIS (2018) define eixo-árvore como aqueles que trabalham em movimento, e compõem as caixas de câmbio de um veículo, por exemplo.

As caixas de câmbio ou transmissão, são conjuntos mecânicos de extrema precisão, que necessitam de grande concentricidade em seus elementos, ela é composta por um conjunto de engrenagens que se acoplam e transmitem torque e potência como velocidade.

As engrenagens por sua vez encontram-se acopladas em árvores e podem ser selecionadas para que trabalhem em conjunto. Portanto, a caixa de transmissão de um veículo tem como finalidade, a adequação do movimento do veículo às condições de carga ao tipo de ambiente em que esse está transitando, cada marcha possibilita o torque-motriz, para que o veículo vença a resistência ao seu movimento e alcance uma

determinada velocidade, portanto a primeira marcha, permite o veículo obter o máximo de torque com o mínimo de velocidade. E a última marcha fornece o menor torque com a velocidade máxima apresentada pelo veículo (CALABREZ, 2015).

Quanto aos eixos CALABREZ (2015) salienta que, a árvore primária recebe o movimento do motor através da embreagem e transmite a árvore secundária, portanto a engrenagem presente na árvore primária é a motora e a engrenagem presente na árvore secundária é a movida, a Figura 3.3 apresenta de forma a ilustra o sistema de transmissão da motocicleta Honda CL360, onde estão presentes o eixo primário e secundário, e as engrenagens de transmissão.

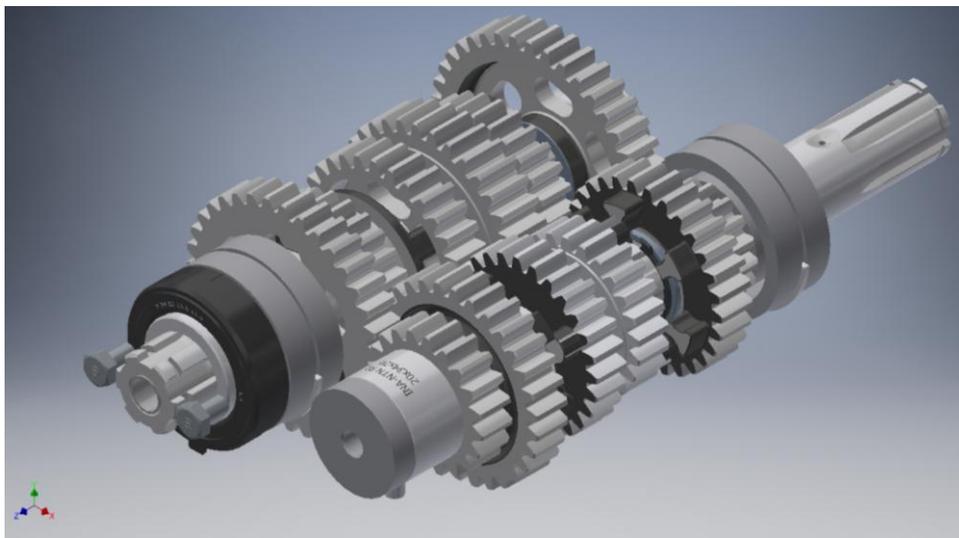


Figura 3.3 - Modelagem do conjunto de transmissão da Honda CL 360.

### 3.3 - USINAGEM DOS EIXOS

Os eixos primário e secundário do sistema de transmissão das motocicletas, são confeccionados a partir processo sequenciais de usinagem, o termo usinagem corresponde a uma gama de processos que visam dar formas finais aos produtos acabados, tais processos classificam-se como processo de corte (Faceamento, torneamento, fresamento) e processos abrasivos, como é o caso da retifica, há ainda os processos não convencionais, os quais não serão abordados neste trabalho (KALPAKJIAN, 2000), o processo de faceamento, Figura 3.4, é uma vertente do processo de torneamento que pode ser analisado como, a retirada de material com o uso de uma ferramenta de corte, enquanto a peça rotacional em torno do seu próprio eixo.



Figura 3.4 - Processo de faceamento.

### 3.4 - TOLERÂNCIAS GEOMÉTRICAS

Tolerâncias geométricas é uma classe dentro das tolerâncias conhecida como GD&T ou (dimensionamento geométrico e tolerâncias) que tem como principal finalidade definir uma margem de variação de erros geométricos aceitáveis em uma peça usinada.

As tolerâncias geométricas segundo a norma ABNT NBR 6409, dividem-se por sua vez em:

- Tolerância de forma: As tolerâncias de forma são os desvios que um elemento pode apresentar em relação à sua forma geométrica ideal e vem indicados no desenho para elementos isolados, como uma superfície ou uma linha. A tolerância de forma é caracterizada por linearidade, planicidade, circularidade, cilindridade, perfil de uma linha e perfil de uma superfície (MASCARENAS, 2016).
- Tolerância de orientação: Este tipo de desvio é definido para superfícies ou elementos nos quais pontos ou superfícies se comuniquem por meio de interseção de suas linhas. É representado por paralelismo, perpendicularidade e inclinação (MASCARENAS, 2016).
- Tolerância de posição: É a diferença entre uma aresta ou superfície da peça e a posição prescrita pelo projeto da peça. É representado por tolerância de posição, concentricidade, coaxialidade e simetria (MASCARENAS, 2016).
- Tolerância de Batimento: São classificadas em tolerância de batimento circular radial e tolerância de batimento circular axial (MASCARENAS, 2016).

O batimento ou oscilação, controla simultaneamente a forma e posição dos elementos em relação às referenciais. Para que seja verificado o batimento da peça é necessário que essa esteja em movimento rotativo, o que restringe essa tolerância geométrica a apenas peças de revolução.

A tolerância de batimento prever prováveis erros de variação de geometria nos projetos, tais como ovalização, conicidade, retitude, excentricidade entre outros. O batimento é a variação máxima permitida de um elemento em relação a um eixo de referência sem que haja movimentação axial.

A tolerância de batimento divide-se em dois grupos principais: o batimento total e o batimento circular. O batimento circular subdivide-se em radial, axial, em qualquer direção ou em uma direção específica. Já o batimento total subdivide-se em radial e axial.

### 3.4.1 - Batimento circular

Radial: é definido como o campo de tolerância em qualquer plano perpendicular à linha de centro limitado por dois círculos concêntricos afastados por uma distância “ $t$ ” como mostrado na Figura 3.5.

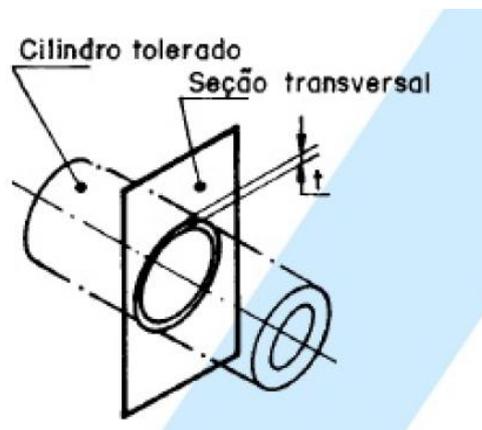


Figura 3.5 - Representação do batimento radial.  
Fonte: Norma ABNT NBR 6409.

- Axial: o campo de tolerância é limitado em qualquer posição radial por duas circunferências idênticas, afastadas axialmente de uma distância “ $t$ ”, definindo uma superfície cilíndrica cuja linha de centro coincide com a linha de referência (ABNT NBR 6409) conforme apresentado na Figura 3.6.



Figura 3.6 - Representação do batimento axial.  
 Fonte: Norma ABNT NBR 6409.

Em qualquer direção: esse tipo e tolerância possui área de tolerância limitada por duas circunferências distanciadas radialmente por “t”, pertencentes a uma superfície cuja linha de centro coincide com a linha de referência. A menos que especificado o contrário, a medição será feita perpendicular mente a superfície, tal como demonstrado na Figura 3.7.

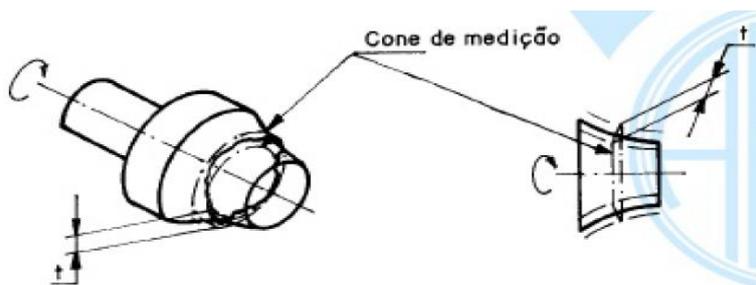


Figura 3.7 - Representação do batimento em qualquer direção.  
 Fonte: Norma ABNT NBR 6409.

Em uma direção específica: A tolerância em direção específica é a área limitada por duas circunferências afastadas radialmente por uma distância “t”, pertencente a qualquer superfície de revolução com ângulo especificado, cuja linha de centro coincide com a linha de revolução, representado na Figura 3.8.

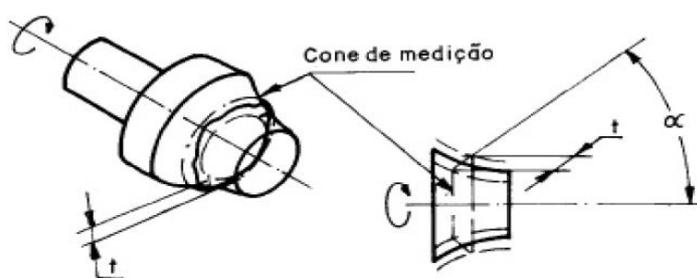


Figura 3.8 - Representação do batimento em uma direção específica.  
 Fonte: Norma ABNT NBR 6409.

### 3.4.2 - Batimento total

- Radial: O campo de tolerância é limitado por duas superfícies cilíndricas coaxiais afastadas por uma distância “ $t$ ”, cujas linhas de centro coincidem com a linha de referência, conforme apresentado na Figura 3.9, no movimento relativo o instrumento de medição, ou a peça deve ser guiado ao longo de uma linha, tendo forma teórica perfeita e posição correta em relação a uma referência.

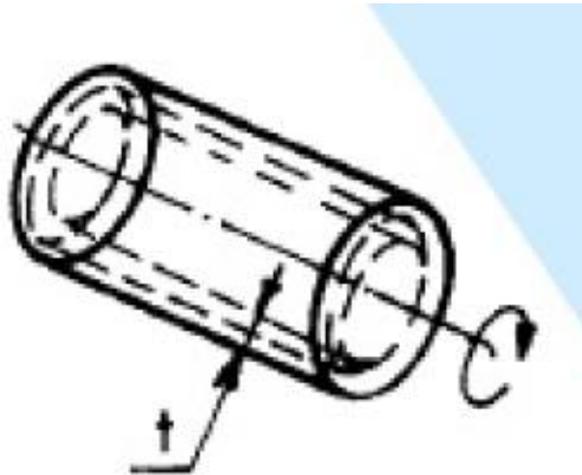


Figura 3.9 - Representação do batimento total.  
Fonte: Norma ABNT NBR 6409.

- Axial: nesta situação o campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, afastados de uma distância “ $t$ ”, perpendicular a referência, Figura 3.10, a forma de medição é similar a utilizada no batimento total radial.

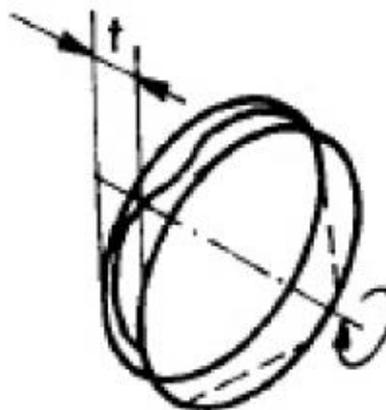


Figura 3.10 - Representação do batimento total axial.  
Fonte: Norma ABNT NBR 6409.

## 3.5 - FERRAMENTA SMED PARA REDUÇÃO DE TEMPO DE SETUP

### 3.5.1 - Modelo TPS (Toyota Production System)

O controle de processos é algo imprescindível para o desenvolvimento industrial, tanto organizacional como no mercado competitivo o qual as indústrias encontram, e para que tal controle seja feito é necessário na maioria das vezes ferramentas que auxiliem nesse controle. O controle de processos em uma indústria pode dividir-se em diferentes seguimentos, e cada um com importância singular para que a empresa em questão funcione de forma produtiva e respeitando da melhor maneira as regras impostas a elas.

As ferramentas organizacionais encontram-se dentro de modelos de organização de produção tais como o modelo Taylorista, Fordista e Toyotista ou TPS (Toyota Production System).

O TPS é um modelo voltado para a demanda do mercado, desde sua implantação na década de 1950 (FRASCARELI, 2013). A modelo surge a partir de observações de incompatibilidades do modelo fordista a realidade nipônica, feitas por Taiichi Ohno e Shigeo Shingo.

O modelo TPS conhecido pela sua alta flexibilidade e agilidade para produção, buscou na falta de recursos, apresentada no cenário pós Segunda Guerra Mundial o seu alicerce, produzindo pouco, porém com qualidade, e conseguindo diversificar uma gama de produtos, o que lhe garantiu emergir diante do mercado mundial, de maneira sustentável e competitiva o que se evidenciou ainda mais a partir da década de 1980, como pode ser observado na Figura 3.11 (BIDARRA, 2011).

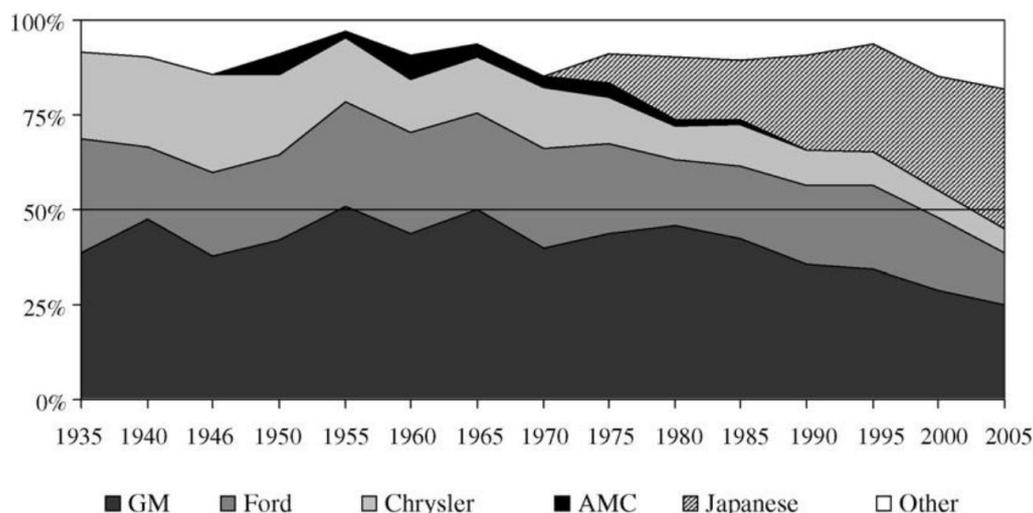


Figura 3.11 - Comparativo da evolução entre as principais organizações do setor automobilístico.  
 Fonte: WOMAK *et al.* (1991).

### 3.5.2 - Lean manufacturing

Baseando-se no TPS, porém aplicado em todos os seguimentos econômicos, tais como, bancos, saúde, TI, instituições governamentais entre outros, e não apenas na indústria surge o Lean Thinking. Este conceito difundiu-se nas industriais como Lean Manufacturing tem o objetivo eliminar os desperdícios e agregar valor. Segundo LIKER (2004) Lean que traduzido para o português significa magro, remete a organização dos recursos, setores maximizando a entrega de valores como produtos e serviços, dispendendo o mínimo de recursos. A minimização de recursos dispendidos é suportada por um conjunto de ferramentas baseada em uma cultura onde o aperfeiçoamento deve ser constante (CABRITA, 2009).

O Método Lean Manufacturing pode definir seus dois principais objetivos, reduzir desperdícios e agregar valor, de acordo com o que diz SASHIN, *et al.* (2010) sobre o desperdício. Segundo o autor, Desperdício é o resultado de toda atividade que não agrega valor, naturalmente este pressuposto liga a questões como o consumo de tempo e recursos.

Valor pode ser definido como a compensação do que é recebido quando se paga por algo, porém valor também é atribuído muitas vezes por algo que não se dispendeu nenhum custo. Desta forma valor pode ser definido como aquilo a que se justifica, atenção, tempo e esforço (PINTO, 2009). Portanto agregar valor a algo corretamente,

visando uma relação confortável entre o valor agregado e o cliente pode gerar vantagem competitiva decisiva mediante ao mercado.

### 3.5.2.1 - Princípios do lean manufacturing

A filosofia Lean thinking possui princípios aos quais regem todo o método, e isso a torna aplicável nas mais diversas áreas que movem direta ou indiretamente a economia. Segundo VAN LANDEGHAN, *et al.* (2007) e BIDARRA (2011) os princípios constituintes do Lean Manufacturing se dividem em cinco categorias sendo elas:

1. Definição de valor: tomando o ponto de vista do cliente, busca-se definir o que é valor para ele;
2. Identificação da cadeia de valor: definido o que é valor para o cliente, busca-se identificar os valores em meio a cadeia de processos, organiza-se os produtos ou uma família de produtos, e então identifica-se atividades que agregam valor e por fim elimina-se todo o desperdício encontrado;
3. Criação e otimização do fluxo: após todo desperdício ser identificado e suprimido, busca-se a otimização de todas as atividades identificadas como agregadoras de valor;
4. Implementação do “pull”: Tal princípio baseia-se em entregar ao cliente o que ele deseja e estritamente quando ele deseja. De forma que fazer com que este puxe para si os valores do processo;
5. Busca da “perfeição”: Após a implementação dos princípios é necessário que um processo cíclico seja realizado, afim de identificar novos focos de desperdício que se camuflam no processo tornando desta forma o processo cada vez mais otimizado.

### 3.5.2.2 - Os tipos de desperdício

A metodologia Lean Manufacturing visa a eliminação total dos desperdícios encontrados em um processo industrial, portanto dividiu-se em sete os tipos de desperdício segundo autores (WOMACK, *et al.* 1996; Hicks, 2007):

1. Excesso de produção: Ocorre quando a produção continua além do necessário, o que aumenta a possibilidade da geração de Stocks mais elevados, o que irá gerar

um maior consumo em recursos, controle e movimentação, tanto de matéria prima quanto produto acabado, além dos gastos com armazenagem.

2. Esperas: Tal desperdício é gerado quando não há o balanceamento correto das atividades, havendo a falta de sistematização a probabilidade de tempos de espera é muito alta.
3. Transporte e movimentação: A movimentação de um posto a outro durante a atividade, e considerado um desperdício, pois não agrega valor e consome tempo.
4. Sobreprocessamento: pode ser definido como operações resultantes de má gestão do processo ou falta de conhecimento operacional, o que resulta no retrabalho, demandando tempo e gastos
5. Stocks: esse tipo de desperdício é relativo a todo stock estritamente além do pedido do cliente, produto acabado, matéria prima, e o transporte necessário para isso.
6. Trabalho desnecessário: Tudo relativo ao trabalho além do necessário, transporte de cargas não otimizados que demanda tempo desnecessário, movimentação excessiva de operadores e/ou máquinas.
7. Defeitos: todo produto ou serviço que fica abaixo das expectativas almejadas pelo cliente.

Segundo BIDARRA (2011) grande parte do tempo de processo, desde a entrada de matéria prima até a saída do produto acabado é consumida em forma de desperdícios. O modelo Lean vem com proposta de combater esses desperdícios, pois segundo a ótica da metodologia Lean Manufacturing, um processo eficiente é aquele onde não há presença de defeitos, e a sintonia na fabricação gera um fluxo contínuo de produção, sem a geração de estoques, agregando o valor ao produto e satisfazendo o consumidor final.

### **3.5.3 - Ferramentas do lean manufacturing**

A partir da busca constante pela eliminação dos desperdícios durante o processo produtivo, diversas ferramentas que sustentam a metodologia Lean Manufacturing se desenvolveram, conforme apresentado no quadro da Tabela 3.1, cada uma visando a resolução de tipos diferentes de problemas. Não é possível generalizar e definir de maneira clara qual ferramenta pertence a que grupo, pois diversos autores aplicam as

ferramentas de acordo com a necessidade. Portanto é imprescindível definir, quais as ferramentas são adequadas para aplicação na realidade encontrada, levando em consideração os objetivos que desejasse alcançar, de forma que os resultados apresentem efeitos expressivos (PETTERSEN, 2009; ABDULMALEK, 2007).

Tabela 3.1 - Distribuição das ferramentas/metodologias Lean por categorias de aplicação.

Grupo/ Categoria	Ferramenta/Método
Produção Just in Time	Heijunka
	Kaban
	Processos Sincronizados
	Planejamento de Acordo com o Takt Time
Redução de Recursos	Redução do Tempo de Setup (SMED)
Gestão de Recursos Humanos	Trabalho em Equipe
	Formações e Treino Polivalente
	Envolvimento dos colaboradores
Estratégias de Melhoria	Kaizen
	Análise de causas raiz
Controle de Defeitos	Jidoka (automação)
	Poka Yoke (prevenção de falhas)
	Andon (parada de linha)
Gestão da Cadeia de Valor	VSM (Mapeamento do Fluxo de Valor)
	Envolvimento dos Fornecedores
Padronização	5S
	Trabalho Padrão
	Gestão Visual
Gestão Científica	Planejamento Hoshin Kanri
	Estudo de Métodos e Tempo
	Redução de Mão de Obra
	Ajustes de Layout
	Produção em Célula de Trabalho
Técnicas Integradas	SQS - Controle Estático de Processo
	TPM - Total Productive Maintenance

Fonte: PETTERSEN, 2009.

Algumas ferramentas possuem maior destaque dentre as apresentadas na tabela, pois sua difusão dentro da indústria já é conhecida o que dá maior vazão para elas quando há pretensão de implementá-las. São elas: VSM, 5S, Heijunka, Poka Yoke, Kanban, Kaizen, Padronização de Tarefas, TPM, Análise de causa raiz, popularmente conhecida como 5 porquês, Gestão Visual e SMED para diminuição do tempo de setup.

### 3.6 - METODOLOGIA SMED

SMED (Single Minute Exchange of Die) é uma ferramenta do Lean Manufacturing, com objetivo principal da redução de desperdício a partir da diminuição do tempo de setup de uma máquina/ferramenta.

#### 3.6.1 - Contexto histórico

O conceito SMED foi desenvolvido em um período de 19 anos por Shigeo Shingo. Segundo CUSUMANO (1989), o modelo de setup rápido se iniciou nos Estados Unidos, na Danly Machine situada em Chicago, a qual foi visitada por Taiichi Ohno em meados da década de 1950, ao se deparar com as prensas de setup rápido, Ohno viu que a redução do tempo de setup proporcionava a produção de pequenos lotes, o que se traduzia na redução dos estoques, Ohno então contratou Shingo para desenvolver e aplicar a metodologia a Toyota.

Shingo desenvolve a metodologia SMED em três etapas e em três empresas distintas sendo a última a Toyota. A metodologia começou a se desenvolver na Mazda Toyo kogyo em 1950, lá foram definidos conceitos como setup interno e externo. Shingeo observou que era possível organizar os setups relativo ao conjunto de atividades feitas enquanto a máquina estava parada, Setup Interno, e o conjunto de atividades realizadas enquanto a máquina estava em operação, denominou setup externo.

Em 1957 em Hiroshima, Shingeo aplicou os conceitos desenvolvidos do SMED na Mitsubishi Heavy Industries. Nesse caso utilizou-se a duplicação de ferramentas, para que o setup fosse realizado de maneira separada, o que gerou um aumento de 40% na produção.

Porém apenas em 1969, quando realizou os trabalhos juntamente com Ohno foi que Shigeo consolidou seu método na, Toyota Motors Company. A situação era que o tempo utilizado para o setup de uma prensa de 1000 toneladas precisava de cerca de 4 horas, enquanto uma prensa similar utilizada na Volkswagen necessitava de um tempo de apenas 2 horas. Ao aplicar o seu método na primeira fase, Shingeo conseguiu uma redução de Setup para o tempo de 90 minutos, porém insatisfeita, a direção pediu a intensificação dos esforços, foi então que a etapa de transformação de trabalho interno para externo teve seu surgimento. O que resultou em uma redução do tempo de máquina

parada para apenas 3 minutos. O nome SMED tem sua origem neste acontecimento, “Single-Minute Exchange of Die”, aludindo a troca da matriz em menos de 10 minutos (SUGAI, 2007).

### 3.6.2 - Organização conceitual do SMED

O SMED nada mais é que a diminuição dos tempos de mudanças de séries (Setup). Tem metodologia baseada na reflexão progressiva desde a organização do local de trabalho até a automatização do processo (PINTO, 2009). Segundo SCHROEDER (2008) setup pode ser definido como a troca de referências em produção em uma máquina ou série de máquinas interligadas pela troca de peças ou ferramentas, moldes e/ou apertos.

A diminuição do tempo de setup, como foi observado por Ohno, possui ligação direta com a diminuição do estoque. Porém em muitos casos onde o tempo de setup é elevado, é utilizado como justificativa para isso, o aumento do tamanho do lote, o que normalmente gera um aumento de estoque de produtos acabados (SHIGEO, 1985; EROGLU, *et al.* 2007).

A Tabela 3.2 representa a influência do tamanho do lote na redução do tempo de produção unitário, é possível notar que para longos tempos de setup, o aumento do lote pode ser uma resolução até certas quantidades, mas a redução do tempo começa a ser ineficiente quando há o aumento drástico do lote. BIDARRA (2011) salienta que na Tabela 3.2 entre os lotes de 100 e 1000 peças há uma redução no tempo de produção unitário de 64%, porém entre os tempos de 100 e 1000 peças há uma redução no tempo de produção de 17%.

Tabela 3.2 - Impacto dos tempos de setup elevados no tempo de produção por peça.

Tempo de setup	Tamanho do lote	Tempo de produção unitário	Output unitário	Razão	Razão
4h	100	3.4 min	1 min	100	-
4h	1000	1.24 min.	1 min	36	100
4h	10000	1.024 min	1 min	30	83

Fonte: BIDARRA, 2011 *apud* SHINGO, 1985.

É possível verificar o efeito do tamanho do lote em relação ao tempo de produção unitária, para tempo de setup reduzidos. Neste caso a redução de tempo é praticamente insignificante, como pode ser identificado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Impacto dos tempos de setup reduzidos no tempo de produção por peça.

Tempo de setup	Tamanho do lote	Tempo de produção unitário	Output unitário	Razão
3 min.	100	1.03 min.	1 min	100
3 min.	1000	1.003 min	1 min	97

Fonte: BIDARRA, 2011 *apud* SHINGO, 1985.

Segundo SHIGEO (1985) a diluição do tempo a partir do aumento de lotes não é a forma mais eficiente para se reduzir o impacto da inatividade das máquinas. A diminuição efetiva do tempo independentemente do tamanho do lote é uma forma de agregar valor ao produto, sem que seja necessário criar um estoque de produtos acabados.

A forma organizacional proposta pelo SMED é o que garante a sua eficiência, sem que custos com máquinas novas sejam inicialmente despendidos, pois a partir de padrões operatórios bem definidos, a formação de pessoal qualificado, mudanças no layout, fluxos bem otimizados, é possível obter resultados sólidos e significativos, de tal forma que a divisão de tarefas internas em externas pode garantir ganho de produção em torno de 30% a 50% (PINTO, 2009, SHINGO, 1985).

As vantagens da aplicação de tal método podem ser vistas diminuição de mão de obra, despendida na troca de referências, no aumento de tempo útil na produção, diminuição dos custos com gestão dos lotes, além da melhoria da qualidade e flexibilidade.

### 3.6.3 - Estágios do SMED

Segundo SUGAI (2007) o SMED pode dividir-se em estágios conceituais e as técnicas relacionadas a esses estágios conceituais, como apresentado na Figura 3.12.

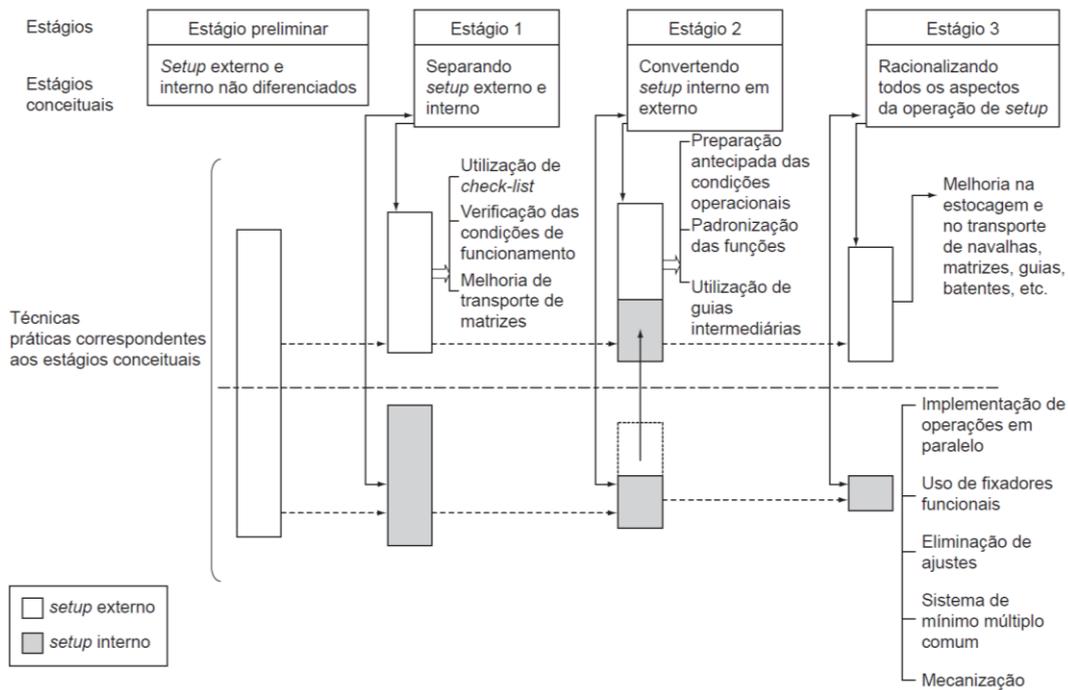


Figura 3.12 - Estágios do SMED.  
Fonte: SHINGO (2000).

Cada estágio dentro da abordagem SMED possui sua relevância, apresenta-se então os conceitos que regem os 4 estágios elaborados de forma didática por SHINGO durante a elaboração da metodologia:

#### **Estágio preliminar: Setup interno e externo não se distinguem.**

- O estágio preliminar oferece apenas os parâmetros iniciais de setup dos processos;
- Tem como característica o uso de cronometro na contagem do tempo de setup;
- A realização de entrevista com os operadores;
- Realização e análise de filmagem com os operadores durante o processo.

SHINGO (1985) explica que muitas vezes neste estágio discussões informais com os trabalhadores são suficientes.

#### **Estágio 1: Separação de setup interno de externo.**

- Tal estágio tem como característica a identificação dos setups internos, aqueles que são realizados com a máquina parada, e os setups externos, os que são realizados com a máquina em funcionamento;
- Separação dos setups internos dos externos durante o processo;

- Utilização de checklists permitem o planejamento e garantem que os trabalhos externos são realizados fora do tempo de parada da máquina, como trabalho preparatório ou após setup (BIDARRA, 2011);

- Melhoria do transporte.

SHINGO (1985) comenta que uma abordagem onde o máximo das operações são realizadas como setup externo podem reduzir em até 50% o tempo utilizado em setups internos.

### **Estágio 2: Conversão de setup interno em externo.**

- Características deste estágio são o reexame das operações para verificar se alguma operação foi alocada de forma equivocada;
- Conversão do máximo de atividades internas em externas;
- Preparação antecipada de condições operacionais;
- Padronização e utilização de guias, jigs, fixadores de moldes e ferramentas (BIDARRA, 2011).

### **Estágio 3: Melhoria sistemática de cada operação básica do setup interno e externo.**

- A busca ao single-minute pode requerer a melhoria continua dos setups internos e externos;
- Melhoria no transporte e na forma de estocagem;
- Uso de fixadores funcionais;
- Eliminação de ajustes;
- Sistema de mínimo múltiplo comum: e Mecanização (SHINGO, 1985);
- Gestão de corres para identificação de ferramentas;
- Operação em paralelo com dois operadores com tarefas distribuídas de maneira sinérgica (BIDARRA, 2011);
- Redução do número de utensílios necessários para a troca.

Segundo BIDARRA (2011) a mecanização ou automatização de tarefas, deve ser ponderada em último caso, quando os objetivos não foram alcançados mesmo com a aplicação das etapas anteriores, neste caso como ressaltado por LOPES, *et al.* (2006), a reengenharia pode surtir resultados ótimos desde que haja viabilidade na sua implementação.

SUGAI (2007) ressalta em seu trabalho que em alguns casos a ordem de aplicação das etapas pode ser alterada, desde que não se perca a organização. O autor relata casos em que o estágio 3, “tarefas paralelas” e “Mecanização” foram aplicadas logo no início do processo e surtiram efeitos satisfatórios. De acordo com o próprio Shingo (1985) a distinção entre o estágio 1 e 2 pode ser difícil, pois quando se identifica tarefas internas e externas, a separação entre elas é uma consequência natural.

Muitas vezes como trata MOLDEN (1984), a transferência de ações internas para externas é visto como a principal arma do SMED. O que acaba por ocorrer em muitos processos é a não aplicação do terceiro estágio, muitas vezes por conta do resultado obtido pelos dois primeiros estágios, cerca de 30% a 50%. Hall (1983), no entanto, salienta que o restante das possíveis melhorias que podem ocorrer no processo só pode ser atingido quando alcançado o terceiro estágio como apresenta o gráfico da Figura 3.13.

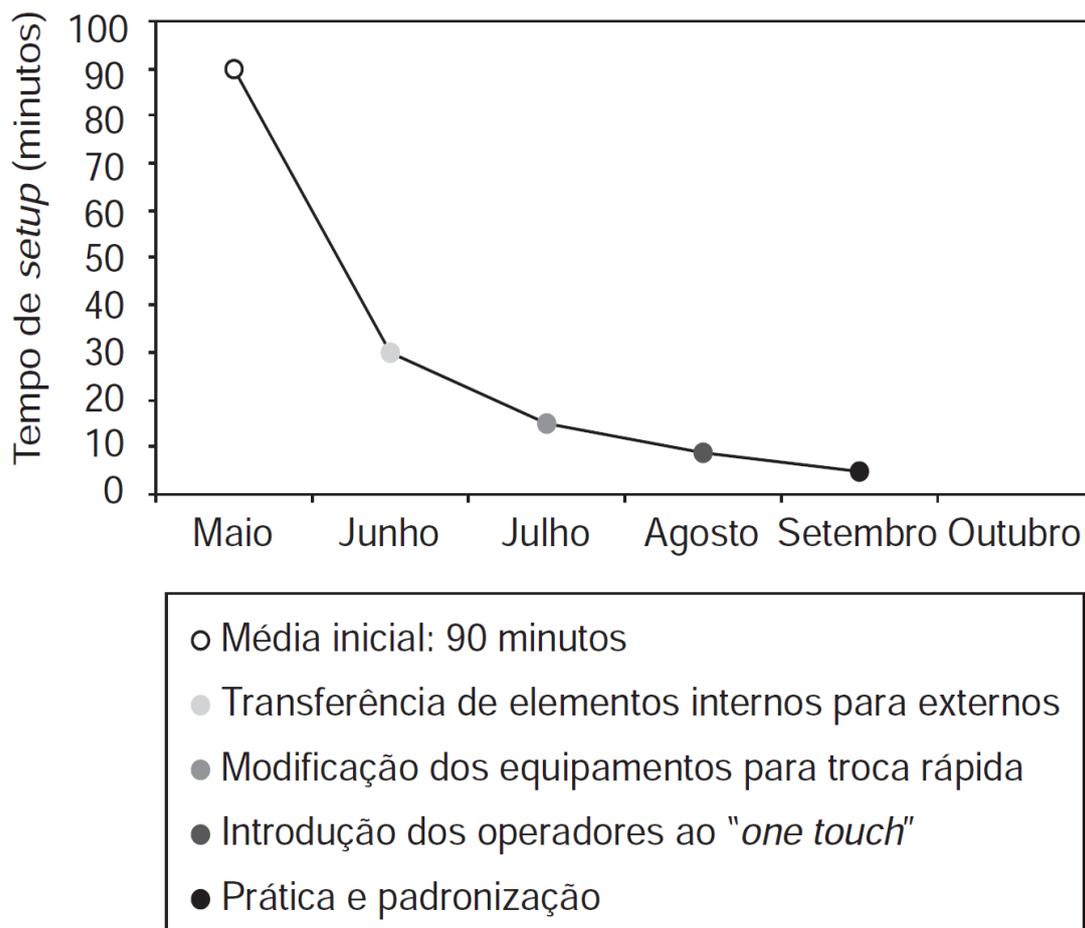


Figura 3.13 - Projeto de setup de uma prensa.  
Fonte: HALL (1983)

### 3.6.4 - Aspectos e considerações ao aplicar o SMED

Alguns fatores relevantes, não foram levados em consideração quando a metodologia SMED foi desenvolvida por Shingo. Tais fatores influenciam no tempo de produção e estão vinculados ao tempo de setup, a interferência da sequência das peças, as perdas durante o período de desaceleração e aceleração, e a melhoria em projetos.

A interferência da sequência das peças pode ser compreendida como a similaridade que a peça processada e a peça posterior a essa possuem, pois tal fator tem total influência sobre o tempo de setup (FLYNN, 1987), segundo BIDARRA (2011) tal situação deve ser resolvida ao nível do planejamento, determinando as sequências de produção mais apropriadas. MILEHAM (2004) propõe como solução a criação de grupos ou família de produtos que possuem um grau maior de similaridade, de forma a realizar uma gestão de processo baseada nas famílias de produto.

Muitos autores abordam sobre as perdas durante a desaceleração e aceleração do processo, tal perda se inicia no processo de desaceleração, para que então ocorra a parada da máquina e o setup. Após isso há o período onde tem início a aceleração da produção até que se alcance o primeiro produto com qualidade aprovada, onde finaliza-se o tempo de aceleração e então há a estabilização da produção. BIDARRA (2011) reforça que a definição de setup engloba esses três momentos nomeados de run-down, desaceleração, setup e run-up, aceleração.

A produção estabilizada não é algo que se alcança assim que o setup é finalizado, e em alguns casos a perda durante a desaceleração, mesmo essa sendo de menor significância (SUGAI, 2007). Segundo CULLEY (2003), há certa dificuldade em determinar o fim do período de aceleração da linha, pois como é apresentado no trabalho de BIDARRA (2011) há uma ainda há uma taxa significativa de variabilidade após saída da primeira peça dentro dos padrões especificados. Tais pontos devem ser levados em consideração durante o tempo setup.

MCINTOSH (2000) identifica dois tipos de melhoria existentes, que devem ser contínuas no processo, melhoria organizacional e melhoria de projeto. A melhoria organizacional, também conhecida como Kaizen, é o conjunto de práticas de manufatura originárias do Japão que tem como objetivo, a prática do trabalho em equipe na busca contínua da redução de custo e melhoria gradativa na prática do trabalho.

Segundo MCINTOSH (2005), as melhorias em projetos de máquinas, dispendem maiores tempos e gastos, porém aceleram ou eliminam as atividades de

ajustes durante o setup. A equipe *Desing and manufacturing group* apontam dois benefícios para a implementação das melhorias em projetos de máquinas, em primeiro lugar, há a capacidade de se reduzir o impacto das perdas durante a aceleração do processo, e segundo há a estabilização dos tempos de setup no longo prazo.

### 3.7 - DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS

Um sistema de produção pode ser definido como um conjunto de elementos que interligados possuem o objetivo de transformar “Inputs” em “outputs”, muitas vezes tratado como a entrada de matéria prima e a saída em forma de produto acabado, ou a execução de um serviço destinado ao consumidor final (MORAIS, 2013). O desenvolvimento de dispositivos para a adequação de máquinas às condições da produção, agem como suporte para que a qualidade do produto não seja reduzida com o aumento da produção.

Muito tem se falado de automação industrial e adequação de máquinas e pré-ajustagem, em concordância a terceira etapa da metodologia SMED. O sistema de pré-ajuste em máquinas CNC muitas vezes não é aplicado por falta de conhecimento das empresas ou pelo custo atribuído a esses sistemas. O uso destes sistemas ainda é baixo, segundo estudo de Simon (2008) de 457 empresas de usinagem brasileiras, apenas 16,6% utilizavam o sistema de pré ajustagem de ferramentas, o que otimiza o tempo da usinagem (CORRER 2017).

Os sistemas de presetting apresentam em muitos estudos uma maneira de aumentar a produtividade e a qualidade dimensional das peças produzidas.

### 3.8 - METODOLOGIA

O trabalho em questão busca através da aplicação de métodos de melhoria de processo e da qualidade solucionar a problemática apresentada, diminuição do tempo de setup e quantidade de refugo nos processos de desempenho. A empresa em questão produz peças no seguimento de motocicletas, as peças são os eixos primários e secundários utilizados nos sistemas de transmissão.

Para a realização cronológica do projeto foi proposto pela empresa em questão, um período de 3 meses para desenvolvimento e execução do projeto. Por conta da quantidade de perda que estava sendo verificada, identificou-se na máquina sakamura,

responsável por todo o processo de fabricação dos eixos, no ponto do processo de faceamento/desempeno, um gargalo de produção, ponto este onde há uma diminuição da fluidez do processo por fatores que devem ser avaliados.

A avaliação do processo foi feita por meio de acompanhamento do processo, diálogo com os colaboradores responsáveis, denominados preparadores, cronometragem de todas as ações realizadas pela máquina, quando em uso setup interno, e pelo preparador com a máquina parada, setup externos.

Verificou-se a necessidade da confecção de um novo dispositivo de ajuste para atender os requisitos da diminuição do desperdício com o setup de modelos.

Para a confecção do novo dispositivo, foi realizada o dimensionamento do compartimento da máquina faceadora onde o mesmo seria acoplado, durante o dimensionamento, foram feitos esboços conceituais do novo modelo antes da aplicação no software de modelagem 3D.

Dadas as medições foi avaliado a quantidade de material necessária para a confecção do dispositivo, dentro de um orçamento estabelecido pela empresa, visando a solução dos problemas e a recuperação em forma de lucro em um curto período de tempo.

Para a modelagem 3D foi utilizado o software Inventor 2015, da Autodesk, com finalidade modelagem das peças, detalhamento, montagem do dispositivo e apresentação em reunião para aprovação do projeto.

A manufatura das peças do dispositivo foi realizada pelo setor de ferramentaria da empresa, seguindo um cronograma estabelecido.

O período de teste do dispositivo, buscou o tempo de instalação do dispositivo na máquina, a cronometragem dos novos tempos de processo, avaliando novamente os setups internos e os externos, a fim de comparação com os valores anteriores. Verificação da existência ou não de refugo, medição do batimento das peças, com o batimento anterior a modificação do dispositivo, sendo este processo realizado após o processo de desempenamento, tendo em vista que o batimento aceitável pelo controle de qualidade da empresa é no máximo de 7 centésimos.

Como a empresa já possui muitos conceitos da qualidade agregados ao seu funcionamento, o check-list não precisou ser implementado pois já era utilizado, mas foi realizado a conscientização quanto ao uso destes tipos de ferramentas de controle de processo visando o aumento e melhoria contínua da qualidade e produção dos produtos.

O quadro da Figura 3.14 apresenta o cronograma das atividades desenvolvidas no âmbito da execução do trabalho.

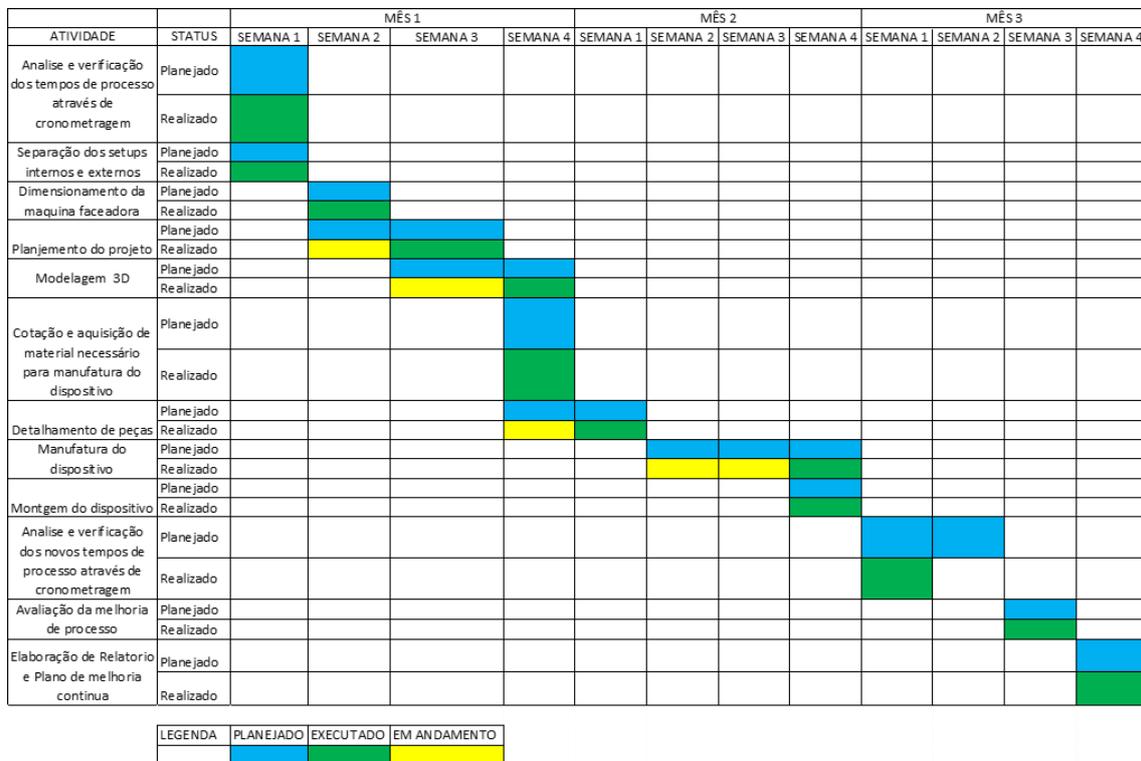


Figura 3.14 - Cronograma de atividades do projeto.

## CAPÍTULO 4

### DISCUSSÃO E RESULTADOS

#### 4.1 - DISCUSSÃO

Os dados obtidos mostram que houve uma diminuição bastante acentuada no tempo de set-up, mesmo o tempo de processo operacional não sendo afetado, o que resultou por não modificar seus tempos funcionais de processo, o tempo não operacional, ou tempo de atividades externas, diminuiu em grande quantidade.

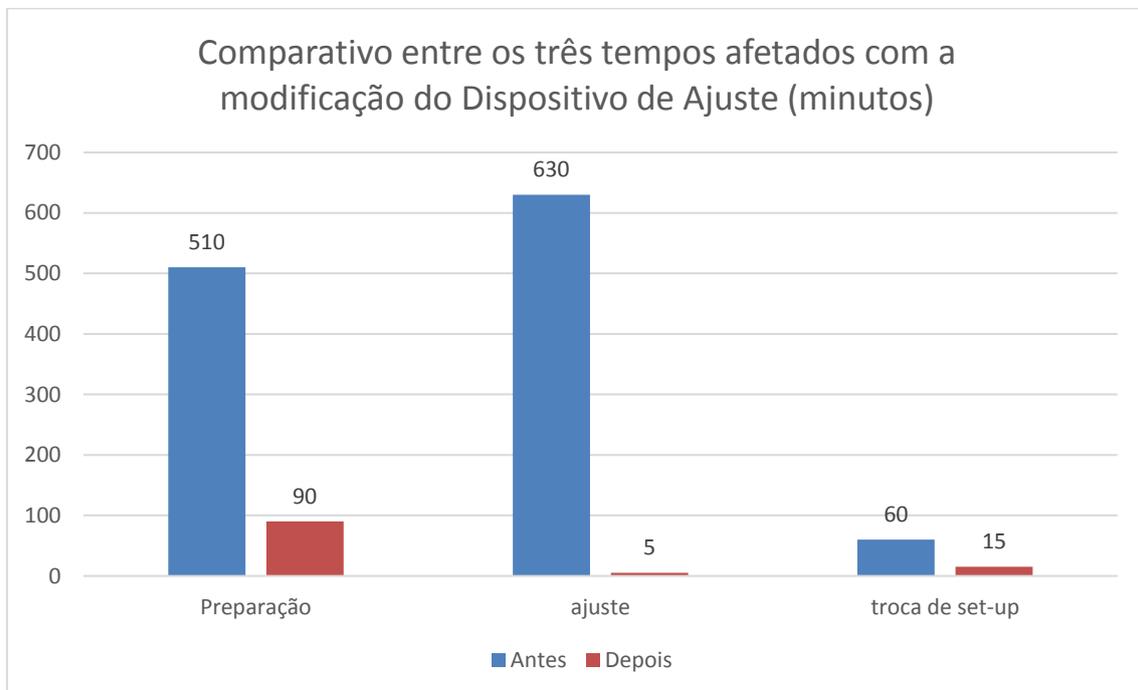


Figura 4.1 - Redução no tempo de processos da faceadora por implementação de novo dispositivo de ajuste.

Observando os tempos de preparação, ajuste, setup apresentados no gráfico da Figura 4.1, é possível inferir que houve uma redução no tempo de preparação de 83%, pois ajustado à máquina o dispositivo tinha uma redução muito grande no tempo de preparação, houve a diminuição do número de chaves necessárias para fazer o aperto, pois no novo dispositivo apenas no parafuso principal dos eixos x e z utilizavam chave, redução de 99,2%. Tal fator fortalece a eficácia do sistema de ajuste em conjunto onde a utilização de um dispositivo com tolerâncias bem definidas e o conhecimento do passo

da rosca do conjunto possibilita um ajuste quase que imediato, podendo até ser calculado antes da entrada do conjunto.

Houve também diminuição no tempo de troca de set-up, o tempo necessário para que o primeiro eixo com qualidade garantida pudesse ser aprovado, de 75%, a importância desse número é muito grande, pois ele mostra que houve diminuição de tempo gasto com peças refugadas em 75%, anteriormente era necessário que a máquina posterior, a desempenadeira de martelo, executasse inúmeras batidas sobre o eixo empenado, o que causava danos aos eixos, e em alguns casos gerava a perda da peça por aparecimento de trincas, ou defeitos que posteriormente poderiam se agravar e ocasionar danos ao consumidor final.

O número de batidas anteriormente era em média cinco batidas do martelo sobre o eixo empenado, cada batida possuía um ciclo de 12 segundos para ser executada, o que totalizava em média 60 segundos a mais de processo por peça, em lotes com 359 peças, como foi o caso do evento teste para o novo dispositivo. O desperdício de tempo com batidas do martelo da desempenadeira seria em média de 6 horas. Conjuntamente com o processo que por si demanda 3 horas de peças sendo faceadas, e o evento completo seria realizado em um período de 9 horas, pouco mais de um turno de oito horas de trabalho.

A modificação trouxe consigo um aumento na precisão do faceamento, e a diminuição do número de batidas para quase zero, utilizando uma média de 1 batida por peça para realizar um comparativo é possível verificar que o tempo gasto com batidas, é de 1 hora, o que totaliza um processo bruto de 4 horas, ou seja é possível produzir um lote com quase o dobro de peças, ou realizar a mudança de modelo e iniciar o processo de fabricação do modelo em um mesmo turno.

Outro fator anteriormente agravante era a possibilidade da formação do gargalo no processo. Tendo em vista que o número de batidas para o desempenho da peça resultava em um tempo superior ao tempo de faceamento. A diferença de tempo existente ocasionava em eventos com grande número de peças a estagnação do processo anterior, já que este era mais rápido que o processo que o sucedia.

Com a diminuição da quantidade de batidas, a diminuição do tempo no processo de desempenho de eixos, houve uma melhora na fluidez do processo.

A qualidade dimensional final dos eixos fora afetada, já que o batimento final alcançou o padrão requerido pela empresa, o batimento aceitável era de 7 micrometros,

o batimento alcançado com a implementação do dispositivo de ajuste foi de 1 a 3 micrometros.

A modificação da garra de fixação do eixo foi realizada e surtiu o efeito esperado, anteriormente, o defeito decorrente no estriado dos eixos inutilizava completamente os mesmos, pois o estriado é elemento mecânico responsável pela transmissão de movimento através dos seus dentes, portanto, quando era constatado algum defeito nesta região excluía-se a peça para que não houvesse a propagação do risco de defeitos e mal funcionamento de sistemas, por conta de peças danificadas de fábrica. Com o novo perfil circular realizado na garra de fixação do eixo, o defeito foi solucionado e a quantidade de peças não conformes, se reduziu a zero.

## 4.2 - RESULTADOS

### 4.2.1 - Dados anteriores às modificações do dispositivo de ajuste

As problemáticas encontradas durante a análise do processo, apresentam-se no quadro da Tabela 4.1. É possível identificar no quadro a presença de três problemas principais: a garra de fixação que danifica o estriado do eixo principal durante o processo de fixação para o faceamento. Outro problema é o elevado tempo de setup existente durante a troca de modelos, pois anteriormente eram necessários ajustes demasiados para que o conjunto estivesse em conformidade para produção dentro dos padrões aceitáveis.

Tabela 4.1 - Quadro organizacional de problemática e ação reparatória.

ITEM	PROBLEMA	AÇÃO PROVISÓRIA	AÇÃO DEFINITIVA
1	GARRA DE FIXAÇÃO ESQUERDA DANIFICANDO O ESTRIADO	RETRABALHO DA GARRA	TROCAR TODO DISPOSITIVO DE AJUSTE
2	TEMPO ELEVADO NA TROCA DE SET-UP	FAZER AJUSTE COM DISPOSITIVO DO PP1	

O antigo dispositivo de ajuste é apresentado na Figura 4.2, é possível notar que o dispositivo é um conjunto composto por duas partes, uma responsável por realizar a fixação precisa e centralização dos eixos primário e secundário, através de uma garra dotada de um rasgo triangular, contida nos círculos vermelhos da Figura 4.2, o corpo do dispositivo é confeccionado de aço 1045 para construção mecânica, possuindo dois

furos, uma para a entrada de um eixo fixo e a outra para a entrada de um eixo guia que se ligam a máquina faceadora.



Figura 4.2 - Dispositivos de ajuste dos eixos de transmissão vista frontal.

Através da vista posterior, Figura 4.3, é possível notar a presença de quatro parafusos, cabeça cilíndrica no corpo do dispositivo, e mais dois parafusos de ajuste na parte superior, tais parafusos possuem o objetivo de alinhar a garra conforme mostrado na Figura 4.4, utilizando-se do aperto manual, tal processo demanda tempo, e configura-se como impreciso já que é possível notar na foto o uso de calços para que a posição encontrada seja mantida, um dos pontos levantados na metodologia de SMED é a redução do número de utensílios necessários para a troca e a eliminação de ajustes. Os parafusos posteriores alinham a garra em um eixo, denominado eixo x, enquanto os parafusos superiores realizam o movimento de subida e descida da garra, alinhando desta forma a garra no eixo denominado z.

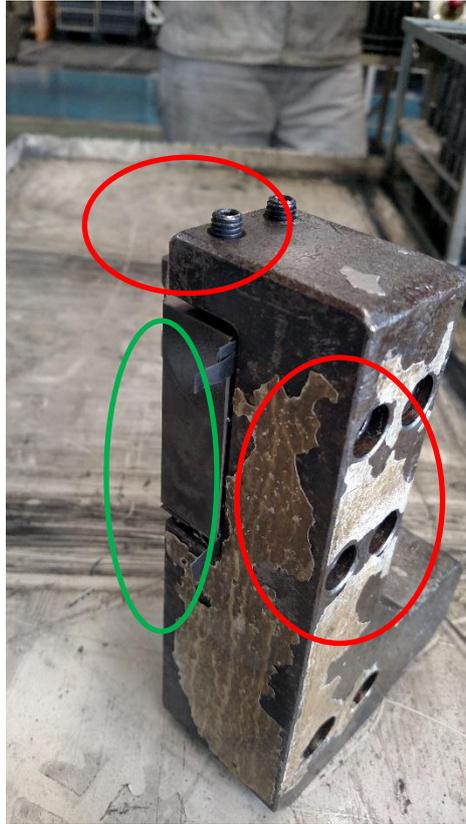


Figura 4.3 - Sistema de ajustes do dispositivo de ajustes antigo, necessidade de calços para ajuste.

É possível notar na Figura 4.4, que os estriados do eixo encontram-se em contato com a garra, de forma que produzem danos ao estriado quando a peça é fixada para o faceamento, como apresentados na Figura 4.5.

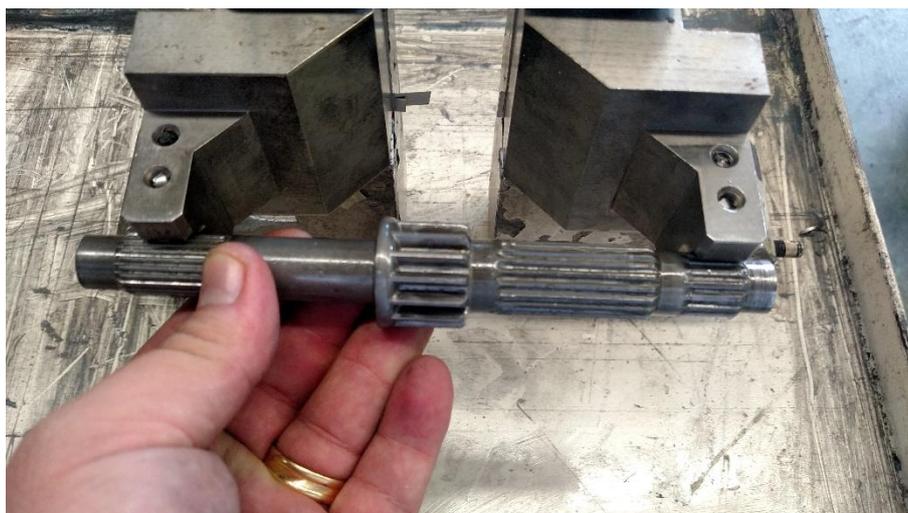


Figura 4.4 - Fixação do eixo na garra do dispositivo.



grau de liberdade para o movimento o que possibilita a adequação ao eixo que será fixado para o faceamento.

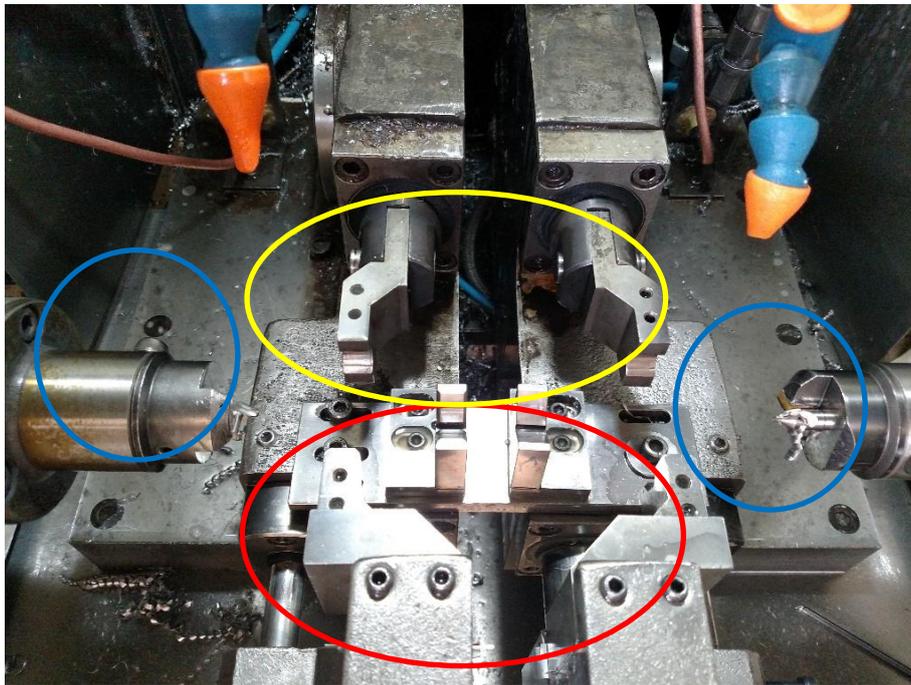


Figura 4.7 - Máquina faceadora e conjunto de dispositivos de ajuste.

O quadro da Figura 4.8 apresenta os dados encontrados após a análise do processo de faceamento, a média dos tempos operacionais e não operacionais. Em média o tempo operacional do processo dura 31 segundos partindo do abrir da porta até a retirada da peça, incluso um tempo de perdas. Em tempos não operacionais há um tempo despendido maior, para que um item seja colocado em processo é necessário a preparação que tem duração média de (510 minutos) os ajustes realizados no dispositivo de ajuste, etapa que possui duração de (630 minutos), o setup de modelo despende um tempo de (60 minutos), os tempos de troca de ferramenta são muito pequenos em relação ao real setup, utilizando um tempo de cerca de (5 segundos) para troca de ferramentas e o processo de medição, (3 minutos), o tempo completo para o processo é de setup é de (1206 minutos), podendo levar dois a três turnos de trabalho.

PROCESSO: FACEAR CENTRAR FC 0230M	TEMPOS OPERACIONAIS								
	ITEM	ABRIR PORTA	COLOCAR PEÇA	AVANÇO DOS CABEÇOTES	FECHAR PORTA	FACEAR PEÇA	TIRAR PEÇA	PERDAS	TBB
	1	2	2	2	2	16	2	5	31
	2	2	2	2	2	16	2	5	31
	3	1,57	1,9	2	2	16	2	5,53	31
	4	2	2	2	2	16	2	5	31
	5	1,8	2	2	2	15,89	2	5,31	31
	<b>MÉDIA</b>	<b>1,87</b>	<b>1,98</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>	<b>15,98</b>	<b>2</b>	<b>5,17</b>	<b>31</b>
	TEMPOS NÃO OPERACIONAIS								
	ITEM	PREPARAÇÃO	AJUSTE	TROCA DE SET-UP	TROCA FERRAM. 1	TROCA FERRAM. 2	TROCA FERRAM. 3	MEDIÇÃO DE ACOMP.	MEDIÇÃO 100%
1	510 MIN.	630 MIN.	60 MIN.	5	5		3 MIN.	3 MIN.	

Figura 4.8 - Média dos tempos operacionais e não operacionais da faceadeira.

Os tempos principais levados em conta são o de preparação, ajuste e setup, o tempo de preparação é o tempo necessário para adequação do dispositivo de apoio a faceadeira, levando em consideração a desmontagem do equipamento, a avaliação de desgaste de peças e o controle de manutenção quando é necessário no dispositivo. O tempo de ajuste é o tempo necessário para ajustar e alinhar o dispositivo para que esse se encontre em perfeito funcionamento, o aperto de todos os parafusos de forma a manter o sistema alinhado com precisão, o ajuste da altura que a garra do dispositivo precisará estar para processamento do modelo de eixo de transmissão em questão, o alinhamento nos eixos x e y através do relógio comparador de todos os componentes envolvidos no processo de faceamento. O tempo de setup é o período que compõe o teste até que o primeiro eixo com padrão de qualidade aprovado seja confeccionado, intercala-se com o tempo de ajuste.

O detalhamento do processo realizado na desempenadeira, está descrito no quadro da Figura 4.9. O processo de desempenho ocorre para que o batimento do eixo seja o mínimo dentro dos padrões de qualidade aceitáveis pelas normas da empresa, de 7 centésimos. O processo consiste na aplicação de uma carga sobre a área onde se encontra o empenamento, de maneira a aliviar a irregularidade geométrica. O desalinhamento no processo anterior de faceamento pode agravar o grau de empenamento da peça, e quando isso ocorre durante a aplicação da carga sobre a área empenada pode haver a geração de trincas e defeitos que inutilizam a peça, gerando desta forma os refugos. Portanto a melhor qualidade no processo de faceamento influi sobre a quantidade de refugo gerado. O processo de desempenho divide-se em quatro estágios: a entrada da peça pelo elevador, o movimento realizado pelo transfer para alocar a peça no contra-ponto, a fixação do contra-ponto e a aplicação de carga do martelo. O tempo completo deste processo que se denomina tempo operacional é de 33,2 segundos. O tempo não operacional da desempenadeira é de 126 minutos, onde o

maior tempo despendido está na preparação, 100 minutos, a troca de setup e os ajustes levam o total de 20 minutos, troca de ferramenta e medições somam um total de 6 minutos.

PROCESSO: DESEMPENAR DP 1404M	TEMPOS OPERACIONAIS												
	ELEVADOR DE ENTRADA		TRANSFER				CONTRA-PONTO		MARTELO		PERDAS	TBB	
	ITEM	SUBIR	BAIXAR	BAIXAR	FECHAR GARRA	TRANSFERIR	ABRIR GARRA	FECHAR	ABRIR	BAIXAR MARTELO			SUBIR MARTELO
	1	3	2	1	2	4	1	1	1	3	2	20	40
	2	3	2	1	2	3,5	1	1	1	3	2	2,5	22
	3	3	2	1	2	4	1	1	1	3	2	3	23
	4	3	2	1	2	4,2	1	1	1	3	2	0,8	21
	5	3	2	1	2	4	1	1	1	3	2	40	60
	MÉDIA	3	2	1	2	3,94	1	1	1	3	2	13,26	33,2
	TEMPOS NÃO OPERACIONAIS												
ITEM	PREPARAÇÃO	AJUSTE	TROCA DE SET-UP	TROCA FERRAM. 1	TROCA FERRAM. 2	TROCA FERRAM. 3	MEDIÇÃO DE ACOMP.	MEDIÇÃO 100%					
1	100 MIN	10 MIN	10MIN.	2 MIN			2 MIN.	2 MIN.					

Figura 4.9 - Média dos tempos operacionais e não operacionais da desempenadeira.

#### 4.2.2 - Dados alcançados após a modificação do dispositivo de ajuste

##### 4.2.2.1 - Confeção do dispositivo

A fabricação do dispositivo foi dividida em pré-projeto, projeto e manufatura.

O pré-projeto foi a etapa onde foram coletados os dados e levantaram-se hipóteses para a solução dos problemas encontrados, como foi apresentado anteriormente no quadro da Figura 4.9. Soluções provisórias foram a troca da garra e ajustes no dispositivo, e a solução definitiva encontrada foi a troca do dispositivo completo.

A etapa de projeto incluiu, o levantamento de material necessário para a fabricação do novo dispositivo, o modelamento das peças em ambiente 3D, incluindo os testes possíveis neste ambiente. A Figura 4.10, ilustra o processo de modelagem do dispositivo de ajuste. A Figura 4.11, apresenta o detalhamento do dispositivo, de forma a apresentar o seu interior e o seu mecanismo de funcionamento. É possível notar que houve a substituição dos quatro parafusos na parte posterior do dispositivo e dos dois na parte superior do dispositivo por um parafuso no eixo x e um parafuso no eixo z. cada um dos parafusos possui avanço de um décimo por filete de rosca, e o seu rosqueamento é responsável pelo movimento do conjunto completo em x e em z, o que agiliza o processo de ajuste da garra. A parte frontal da garra também recebeu movimento através dos furos oblongos, o que permite o ajuste no eixo y.

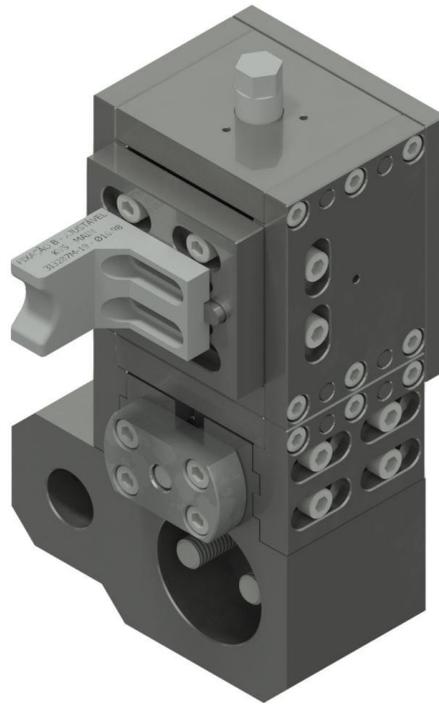


Figura 4.10 - Modelamento do dispositivo de ajuste.

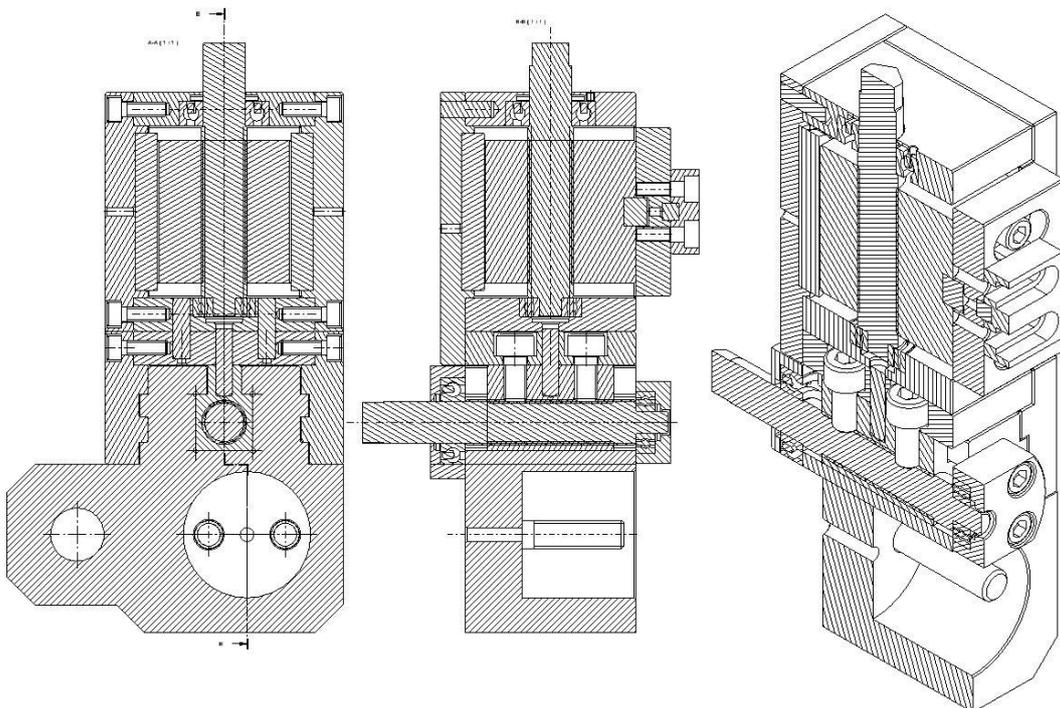


Figura 4.11 - Vista detalhada do dispositivo de ajuste, apresentando o mecanismo interno de funcionamento.

O dispositivo manufaturado está apresentado na Figura 4.12. É possível notar uma grande quantidade de parafusos com cabeça cilíndrica no dispositivo, porém excluído os parafusos presente no oblongo da garra, que permitem movimento, o restante

são todos puramente para fixação do dispositivo, de maneira a deixá-lo o mais preciso possível, a união por chavetas foi bastante empregada no projeto, pois dispositivo em questão possui a garra fixa a qual não admite grau de liberdade durante a fixação do eixo principal. Quanto à garra, nota-se a substituição do rasgo em “V” por um perfil circular, utilizado para evitar o defeito que se apresentava nos estriados do eixo de transmissão.

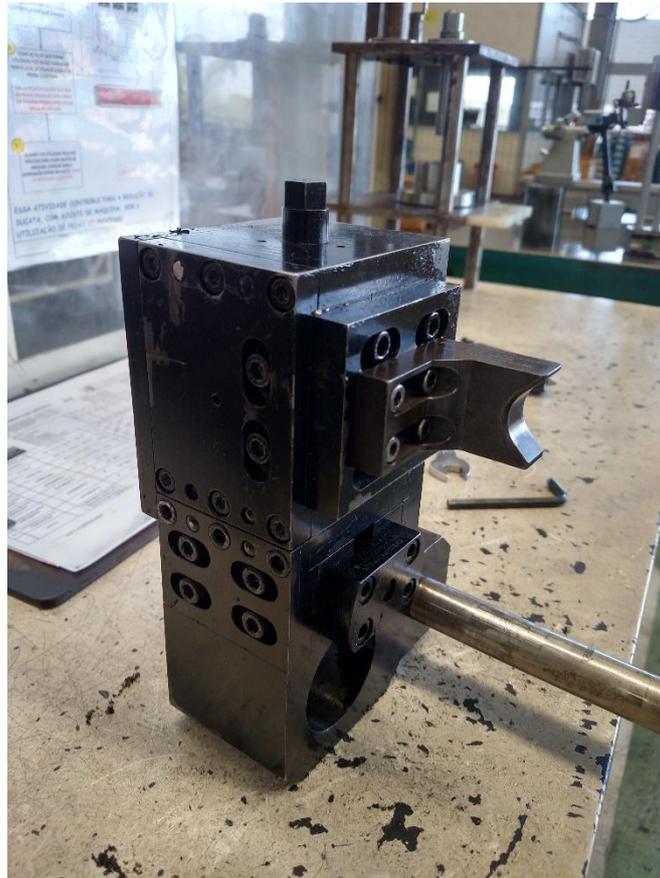


Figura 4.12 - Dispositivo de ajuste final manufaturado.

#### 4.2.2.2 - Dados pós implementação

Com o projeto completo foi realizada a implementação do mesmo à máquina de faceamento conforme apresentado na Figura 4.13. O problema ocasionado pela tangência do diâmetro maior do eixo foi resolvido, atualmente o berço onde o eixo é apoiado, permite uma fixação mais justa, impedindo que o eixo se desalinhe.

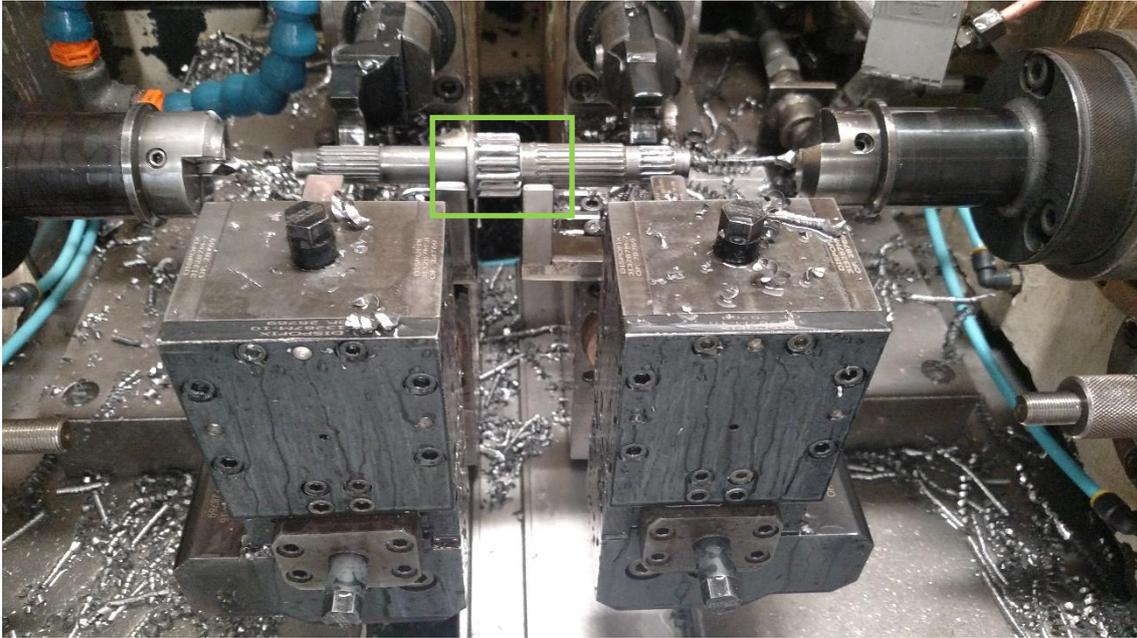


Figura 4.13 - Implementação dos novos dispositivos de ajuste na máquina faceadora.

Após a implementação do projeto foi possível coletar dados que apontavam as melhorias que houveram com a utilização do novo dispositivo. O quadro da Figura 4.14 apresenta os dados após o uso do dispositivo.

PROCESSO: FACEAR CENTRAR FC 0230M	TEMPOS OPERACIONAIS								
	ITEM	ABRIR PORTA	COLOCAR PEÇA	AVANÇO DOS CABEÇOTES	FECHAR PORTA	FACEAR PEÇA	TIRAR PEÇA	PERDAS	TBB
	1	2	2	2	2	16	2	5	31
	2	2	2	2	2	16	2	5	31
	3	1,5	1,9	2	2	16	2	5,6	31
	4	2	2	2	2	16	2	5	31
	5	1,8	2	2	2	15,89	2	5,31	31
	<b>MÉDIA</b>	<b>1,86</b>	<b>1,98</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>	<b>15,98</b>	<b>2</b>	<b>5,18</b>	<b>31</b>
	TEMPOS NÃO OPERACIONAIS								
	ITEM	PREPARAÇÃO	AJUSTE	TROCA DE SET-UP	TROCA FERRAM. 1	TROCA FERRAM. 2	TROCA FERRAM. 3	MEDIÇÃO DE ACOMP.	MEDIÇÃO 100%
1	90 MIN.	5 MIN.	15 MIN.	5	5		3 MIN.	3 MIN.	

Figura 4.14 - Média dos tempos operacionais e não operacionais da faceadora.

Dentro dos tempos operacionais, não há diferença entre o disposto no quadro 4 e no quadro 6 onde o tempo de processamento para que ocorra o faceamento de uma peça permanecesse 31 segundos, porém quando se observa o tempo de processos não operacionais. Nota-se que houve um grande decréscimo no tempo necessário para realização do setup de novos modelos. Para um item ou modelo, o tempo de preparação apresentado é de 90 minutos, o ajuste possui um tempo mínimo de 5 minutos. A troca de setup foi reduzida para 15 minutos, a troca de ferramenta e as medições de acompanhamento e 100% permaneceram com o mesmo tempo.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O desenvolvimento deste projeto possibilitou um aprofundamento dos conhecimentos ao redor do modelo de produção Lean Manufacturing, em particularidade à metodologia SMED, à sua abrangência e à sua aplicação na realidade, possibilitou também a compreensão do processo de desenvolvimento de dispositivos e modificação em máquinas de processos.

#### 5.1 - OBSERVAÇÕES AOS RESULTADOS

Quanto aos resultados obtidos, pode-se inferir as seguintes considerações:

- O projeto teve seu objetivo alcançado com a redução do número de refugo e a diminuição do tempo de setup do equipamento. A implementação do SMED através do projeto surtiu resultados claramente satisfatórios, diante dos objetivos, que eram buscados pela direção da empresa. Com efeito, a redução de 99,2% do tempo de ajustes foi um grande marco na produção do trabalho, e a redução de 75% no tempo de setup, salvo que se utilizou reengenharia, há casos onde a aplicação do SMED sem o uso de reengenharia pode alcançar reduções de tempo de 45%;
- É necessário, no entanto, considerar sobre o estado da arte da metodologia SMED, alguns fatores de importância singular para estabelecer uma visão mais incisiva sobre os resultados alcançados;
- A familiaridade da empresa com o modelo Lean manufacturing, foi de grande importância para que o projeto fosse executado no tempo proposto, em outras situações, há a necessidade da conscientização dos colaboradores, quanto a melhoria que podem ser alcançadas através da aplicação da metodologia, demandaria tempo e recursos, portanto, aplicar a metodologia em uma empresa que já possui uma boa estruturação da qualidade agiliza a aplicação do processo;
- A redução de batidas durante o desempenho, pode ser traduzido como um lucro de 50% a mais por lote, que antes não era obtido por conta das perdas com o tempo de processo;

- Algumas etapas do SMED foram realizadas em conjunto por conta do tempo para realização do projeto, mesmo existindo a inflexibilidade dos estágios iniciais, os quais não deixaram de serem executados, o trabalho teve um foco maior no 3º estágio, que engloba entre outras coisas a confecção de dispositivo que auxiliem a redução do tempo de setup, e em muitas literaturas não possui uma abordagem aprofundada.

## 5.2 - PROPOSTAS DE MELHORIAS

- Há um apelo para que ocorra a continuidade da análise de processos por meio dos responsáveis, que podem ser melhorados, e com o resultado positivo alcançado pelo trabalho em questão, existe uma maior confiança da diretoria para apoiar propostas de melhoria.
- A aplicação da metodologia em toda a máquina sakamura pode vir a ser um projeto, desafiador por conta da complexidade maior que o conjunto de máquinas apresentaria, porém, seria uma ótima oportunidade de reforçar a eficácia do SMED e das demais ferramentas da qualidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULMALEK, F.A.; RAJGOPAL, J. **Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study.** International Journal of Production Economics. ISSN 0925-5273. Vol. 107, n.º 1 (2007), p.223-236.

ABRACICLO – Disponível em: <<http://www.abraciclo.com.br>>. Acesso em: 25 de junho de 2019, 20h45min.

ABRACICLO - <http://www.abraciclo.com.br/dados-do-setor/38-motocicleta/78-producao>. Acesso em 25/06/2019.

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6409.**Tolerâncias geométricas – Tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento - Generalidades, símbolos, definições e indicações em desenho.** MAIO 1997

BIDARRA, T. F. T. **Implementação da metodologia SMED numa empresa do sector da indústria automóvel.** Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em: Engenharia e Gestão Industrial. Covilhã, Outubro de 2011.

BUDYNAS, R.; KEITH, J. **Elementos de máquina de Shigley: projeto de engenharia mecânica.** 8. ed. Porto Alegre. 2011.

CABRITA, C. P. **Caracterização das filosofias lean production, six sigma, lean sigma e lean maintenance.** Universidade da Beira Interior, 2009.

CALABREZ, F. **Revisão dos sistemas de transmissão automotiva.** Santo André, 2015.

CORREA, I.; JÚNIOR, M. V.; BERGAMIN, W. R.; APOLINÁRIO, R. de L.; BATTISTI E. **Ganho de produtividade e redução de custo em máquinas cnc a partir do uso de presetting a laser.** Revista Ferramental. Tecnologia. 2017.

CULLEY, S J, OWEN, G W, MILEHAM, A R and MCINTOSH, R I. **Sustaining changeover improvement.** Proc. Instn Mech. Engrs Vol. 217 Part B: J. Engineering Manufacture, 2003.

CUSUMANO, M. A. **The Japanese Automobile Industry: Technology and Management at Nissan and Toyota**. 3. ed. Harvard East Asia Monographs, 1989.

FLYNN, B. B. **The effects of setup time on output capacity in cellular manufacturing**. International Journal of Production Research, v. 25, n. 12, p. 1761-1772, 1987.

FRASCARELI, F. C. de O.; RODRIGUES, J. de S. **Aplicação de técnicas de redução de tempos de setup para aumento de produtividade em uma indústria metal-mecânica**. XXXIII encontro nacional de engenharia de produção a gestão dos processos de produção e as parcerias globais para o desenvolvimento sustentável dos sistemas produtivos salvador, BA, Brasil, 08 a 11 de outubro de 2013.

HALL, R. W. **Zero Inventories**. Homewood: Dow Jones-Irwin, 1983.

LIKER, J. K. **The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer**. McGraw-Hill Professional, 2004. ISBN 0071392319.

LOPES, R.; NETO, C.; PINTO, J. P. **Quick Changeover: Practical application of method SMED**. Tecnometal. ISSN 0870-8444. Vol. 28, nº 167 (2006), p.5-10.

MASCARENHAS, R. **O que são as tolerâncias geométricas aplicadas nos desenhos técnicos mecânicos?** Disponível em: <<https://www.cursosguru.com.br/o-que-sao-as-tolerancias-geometricas-aplicadas-nos-desenhos-tecnicos-mecanicos/>>. Acesso em: 05 de julho de 2019, 19h45min.

MELCONIAN, S. **Elementos de Máquinas**. 10. ed. São Paulo: Erica, 2018

MONDEN, Y. **Produção sem estoques: uma abordagem prática ao sistema de produção da Toyota**. São Paulo: IMAM, 1984.

MORAIS, D. F. de; CASTANHEIRA, Dr. N. P.; SAKOVICZ, R.; PINO, S. R. **Estudo para viabilização da automação de uma célula de usinagem de bielas automotivas, com a implementação da Robótica: estudo de caso**. Revista eletrônica multidisciplinar facear. 2013

PINTO, J. L. Q. **Modelo de Implementação do pensamento JIT - Uma abordagem prática aos conceitos**. Publindustria Edições Técnicas, 2009b. ISBN 978-972-8953-35-5.

**SUFRAMA – Zona Franca de Manaus: Indicadores de Desempenho do Polo Industrial de Manaus 2013 – 2018.** 21/03/2019.

**SCHROEDER, M.; SHOOK, J. Alexis - Lean lexicon: A graphical glossary for lean thinkers.** Cambridge, MA, USA: Lean Enterprise Institute, 2008. ISBN 0966784367.

**SUGAI, M.; MCINTOSH, R.I.; NOVASKI, O. Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso.** São Carlos: Revista Gestão & Produção. Vol. 14 (2007)

**SHINGO, S. A revolution in manufacturing: the SMED system.** Productivity Press, 1985. ISBN 0915299038.

**SHINGO, S. O Sistema de Troca Rápida de Ferramentas.** Porto Alegre: Bookman Editora, 2000.

**VAN LANDEGHEM, H.; LIAN, Y. H. Analyzing the Effects of Lean Manufacturing using a Value Stream Mapping based simulation generator.** (2007).

**WOMACK, J. P., et al. Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation.** Simon & Schuster Audio, 1996. ISBN 0671574221.