

MURILO HENRIQUE POLIZEL

**Ferramenta A3 aplicada na redução do tempo de fabricação de um
rolamento de giro de grande porte**

Murilo Henrique Polizel

**Ferramenta A3 aplicada na redução do tempo de fabricação de um
rolamento de giro de grande porte**

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.

Orientador: Prof. Dr. Valério Antonio Pamplona Salomon

P769f Polizel, Murilo Henrique
Ferramenta A3 aplicada na redução do tempo de fabricação de um
rolamento de giro de grande porte / Murilo Henrique Polizel –
Guaratinguetá, 2020.
70 f : il.
Bibliografia: f. 68

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2020.
Orientador: Prof. Dr. Valério Antonio Pamplona Salomon

1. Produção enxuta. 2. Processo decisório. 3. Lean manufacturing.
I. Título.

CDU 65.012.4

Luciana Máximo

Bibliotecária CRB-8/3595

MURILO HENRIQUE POLIZEL

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

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

Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri
Coordenador

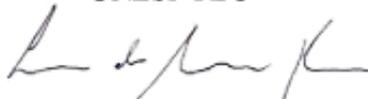
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Valério Antonio Pamplona Salomon
Orientador/UNESP-FEG



Dr. Erica Ximenes Dias
UNESP-FEG



Eng. Lucas de Almeida Rezende
Membro Externo

Julho de 2020

DADOS CURRICULARES

MURILO HENRIQUE POLIZEL

NASCIMENTO	25.11.1994 – Piracicaba / SP
FILIAÇÃO	Carlos Roberto Polizel Beatriz Regina de Moraes Polizel
2018	Melhoria Contínua Liebherr Brasil
2016/2018	Estagiário de Engenharia Mecânica Liebherr Aerospace Brasil
2014/2020	Formação Acadêmica (Engenharia Mecânica, Engenheiro Mecânico) Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”
2010/2012	Aprendiz de Mecânica de Manutenção Empresa LEF Pisos e Revestimentos
2010/2012	Formação profissionalizante (Mecânico de Usinagem) Escola SENAI “Mário Dedini”

Dedico este trabalho aos meus pais, professores e profissionais que trabalhei, os quais foram essenciais para meu crescimento e motivação para concluir importantes etapas da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por me manter com saúde e foco nos meus objetivos; ao meu pai, minha mãe, meus dois irmãos e minha família por me darem todo o suporte e incentivo; aos meus professores do SENAI “Mário Dedini” e meu padrinho Sr. Douglas Ulisses da empresa LEF Cerâmica na qual fui aprendiz, os quais foram essenciais na minha formação profissional antes da faculdade; aos meus professores da escola Anglo Cidade Alta que me deram toda a base para ser um bom engenheiro; aos professores e funcionários da FEG UNESP, em especial meu orientador Sr. Dr. Valério Salomon, que foram solícitos em me transmitir conhecimentos e me formar um engenheiro com diferencial; aos meus irmãos da República Masmorra que foram pessoas chave para meu crescimento pessoal; e aos gestores Sr. Rogério Gimenez, Sr. André Vianna, Sr. Mário Coelho, Sra. Laura Almeida e Sr. Marco Santos, os quais me deram oportunidades para mostrar meu potencial e crescer com meus erros.

“Não existirá progresso enquanto estivermos satisfeitos com a situação atual.”

Taiichi Ohno

RESUMO

Num mercado altamente competitivo, no qual os preços dos produtos são fixos e o cliente está cada vez mais exigente, o método de trabalho sustentado pela produção em massa não é mais viável, portanto é preciso adotar novas filosofias que objetivem levar o desempenho dos processos a um patamar superior. A produção enxuta ou *lean*, derivada do Sistema Toyota de Produção, por meio de conceitos, metodologias e ferramentas os quais colocam os valores do cliente como prioridade número um, é a saída para que as empresas alcancem a competitividade necessária para sustentarem-se e destacarem-se no mercado. Com base nas ferramentas de análise e soluções de problemas utilizadas no *lean*, este trabalho tem como objetivo a aplicação da ferramenta A3 na redução do tempo de fabricação de um rolamento de giro de grande porte, e apresenta todos os conceitos e metodologias envolvidos para ser usado como referência na análise e soluções de quaisquer outros problemas enfrentados. A aplicação da ferramenta teve um resultado satisfatório no problema enfrentado, já que o tempo de fabricação do rolamento estava 105% fora da meta, e ao final do projeto ficou apenas 10% fora da meta, totalizando uma redução de 7 horas no tempo de fabricação. Além do resultado técnico, os impactos do projeto foram intangíveis na linha de negócio da empresa, pois os tempos de fabricação de todos os outros rolamentos também foram reduzidos, devido à difusão da cultura de melhoria contínua entre todos os colaboradores.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema Toyota de produção (TPS). Produção enxuta. *Lean*. Ferramenta A3. Análise e solução de problemas.

ABSTRACT

In a highly competitive market, in which product prices are fixed and the customer is increasingly demanding, the method of work supported by mass production is no longer viable, so it is necessary to adopt new philosophies that aim to take the performance of processes to a higher level. *Lean* or *lean* production, derived from the Toyota Production System, through concepts, methodologies and tools that place the customer's values as number one priority, is the way for companies to achieve the necessary competitiveness to sustain themselves and stand out on the market. Based on analysis and solutions problem tools used in *lean*, this work aims to apply the A3 tool in reducing the manufacturing time of a large slewing bearing, and presents all the concepts and methodologies involved to be used as a reference in the analysis and solutions of any other problems faced. The application of the tool had a satisfactory result in the problem faced, since the time of manufacture of the bearing was 105% outside the target, and at the end of the project it was only 10% outside the target, totaling a reduction of 7 hours in the manufacturing time. In addition to the technical result, the project's impacts were intangible in the company's business line, as the manufacturing times for all other bearings were also reduced, due to the dissemination of the culture of continuous improvement among all employees.

KEYWORDS: Toyota production system (TPS). *Lean* production. *Lean*. A3 tool. Problem analysis and solutions.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Bases do controle de processo	26
Figura 2 – Ciclo PDCA para controle de processos	27
Figura 3 – Fatores básicos para o ciclo de manutenção do controle de qualidade	28
Figura 4 – Utilização do Ciclo PDCA para manutenção e melhoria contínua	29
Figura 5 – Método de análise e solução de problemas	30
Figura 6 – Diagrama Ishikawa para correlação do efeito e suas causas	31
Figura 7 – Utilização do Diagrama Ishikawa no problema com acidentes nas escadas.....	32
Figura 8 – Diagrama de Pareto	33
Figura 9 – O pensamento <i>lean</i> de mercado	35
Figura 10 – Os fundamentos do pensamento <i>lean</i>	36
Figura 11 – Os métodos e ferramentas que sustentam os fundamentos <i>lean</i>	37
Figura 12 – Os 8 desperdícios do <i>lean</i>	38
Figura 13 – Ferramenta A3 para análise e soluções de problemas.....	43
Figura 14 – Detalhamento do problema com a ajuda do 5 porquês	45
Figura 15 – Exemplo de um modelo de Folha de Estudo de Processo (FEP)	46
Figura 16 – Exemplo de um rolamento de giro de esferas	47
Figura 17 – Exemplo de um rolamento de giro de roletes	48
Figura 18 – Composição do grupo do projeto	49
Figura 19 – Primeira definição do “tema e motivo da escolha do tema” do A3	51
Figura 20 – Versão final do tema e motivo da escolha do tema.....	51
Figura 21 – Peças que compõe um rolamento de roletes	52
Figura 22 – Exemplo de uma FEP feita no processo de usinagem de desbaste (P1)	54
Figura 23 – Comparação dos tempos de fabricação do anel x	55
Figura 24 – Comparação dos tempos de fabricação do anel y	55
Figura 25 – Comparação dos tempos de fabricação do anel z.....	56
Figura 26 – Comparação dos tempos de fabricação do rolamento montado.....	56
Figura 27 – Diagrama Pareto para identificação dos processos com maior impacto no tempo de fabricação.....	57
Figura 28 – Fase do estado atual do projeto A3	58
Figura 29 – Fase dos objetivos e metas do A3	59
Figura 30 – Análise de causas sendo realizada através da Diagrama Ishikawa	60

Figura 31 – Fase da análise das causas potenciais do A3.....	61
Figura 32 – Fase da confirmação das causas raiz do A3	62
Figura 33 – Fase do acompanhamento de eficácia do projeto A3.....	64
Figura 34 – Etapa da conclusão no A3	65
Figura 35 – Indicador oficial da empresa que mostra o atendimento à meta do tempo de fabricação geral de todos os rolamentos.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Processos de fabricação do rolamento B1	53
Tabela 2 – Fase do plano de ações do A3	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TPS	Sistema Toyota de Produção
NBR	Norma Brasileira
ISO	Organização Internacional para Padronização
PDCA	Planejar, executar, avaliar e agir
6M	Máquina, matéria-prima, medida, método, mão-de-obra e meio ambiente
FEP	Folha de Estudo de Processo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	PANORAMA DA COMPETITIVIDADE ENTRE AS EMPRESAS.....	17
1.2	A EVOLUÇÃO DOS MODELOS PRODUTIVOS.....	17
1.2.1	Produção Artesanal	17
1.2.2	Produção em Massa	18
1.2.3	Produção Enxuta	18
1.3	OBJETIVOS.....	20
1.3.1	Objetivo Geral	20
1.3.2	Objetivo Específico	20
1.4	JUSTIFICATIVA.....	20
1.5	ESTRUTURAÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	21
2	REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA	22
2.1	GESTÃO DA QUALIDADE.....	22
2.1.1	História e definições	22
2.1.1.1	Definição de Qualidade.....	23
2.1.2	Controle de Processo	24
2.1.3	Ciclo PDCA	26
2.1.4	Ferramentas da Qualidade para Análise de Causas	29
2.1.4.1	Diagrama de Causa-Efeito.....	30
2.1.4.2	Diagrama de Pareto.....	32
2.2	SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO (TPS).....	33
2.2.1	O Pensamento <i>Lean</i> de Mercado	34
2.2.2	Os Fundamentos da Produção <i>Lean</i>	35
2.2.3	Os 8 Desperdícios	38
2.2.4	Ferramentas para Análise e Soluções de Problemas	41
2.2.4.1	Ferramenta A3.....	41
2.2.4.2	5 Porquês.....	44
2.2.5	Trabalho Padronizado	46
2.3	ROLAMENTOS DE GIRO.....	46
3	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	48
3.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DA EMPRESA.....	48

3.2	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E DEFINIÇÃO DO PROJETO	48
3.3	DEFINIÇÃO DA EQUIPE E RESPONSABILIDADES	49
3.4	DEFINIÇÃO DO TEMA E MOTIVO DA ESCOLHA DO TEMA	50
3.5	DEFINIÇÃO DO ESTADO ATUAL	52
3.6	DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS E METAS	58
3.7	ANÁLISE DAS CAUSAS POTENCIAIS	59
3.8	CONFIRMAÇÃO DAS CAUSAS RAIZ	61
3.9	PLANO DE AÇÃO	62
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
4.1	ACOMPANHAMENTO DA EFICÁCIA	64
4.2	ETAPA DA CONCLUSÃO NO A3	65
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

1.1 PANORAMA DA COMPETITIVIDADE ENTRE AS EMPRESAS

No panorama do mercado nacional e internacional, no qual a oferta é maior que a demanda, a competição entre as empresas cresce cada vez mais, e simplesmente ter um bom produto em questões tecnológicas não é o suficiente para conquistar a confiança dos clientes, pois estes estão cada vez mais exigentes em relação à segurança, qualidade, entrega e custos. As empresas produtoras estão diante a um grande desafio, sendo necessária uma mudança de postura para garantir sua sobrevivência (SHIMOKAWA; FUJIMOTO, 2011). “Esse acirramento da competição dá origem a uma ‘pressão competitiva’, que direciona as empresas para a busca de mais eficiência nas suas operações e nos processos de gestão” (ANTUNES at.al, 2008, p. 26).

Dennis (2008) afirma que é preciso ter foco no cliente e objetivar a máxima qualidade do produto, o menor custo possível e menor tempo de entrega, através da eliminação de desperdícios no processo, e como consequência aumentar o percentual de valor agregado ao produto.

Foi com esse modelo de gestão que a Toyota conseguiu sobreviver à crise pós Segunda Guerra Mundial, e ter a base para o desenvolvimento do Sistema Toyota de Produção (TPS) que mais tarde foi traduzido como Produção Enxuta ou *Lean*, o qual foi difundido pelo mundo e adotado por muitas empresas (WOMACK; JONES; ROOS, 2004). Mais do que um simples modelo de gestão, é uma filosofia que garante o envolvimento de todos os colaboradores ativamente no processo de melhoria contínua dos produtos e processos, tornando a empresa altamente competitiva (DENNIS, 2008).

1.2 A EVOLUÇÃO DOS MODELOS PRODUTIVOS

1.2.1 Produção Artesanal

A mecanização da produção após a Primeira Revolução Industrial representou um grande avanço na tecnologia para o mundo e possibilitou que os sistemas produtivos se aperfeiçoassem cada vez mais. Tomando-se como base comparativa a produção de automóveis, entre os anos de 1880 e 1915 tais sistemas produtivos eram categorizados como artesanais, os quais necessitavam de profissionais altamente qualificados que precisavam ter

amplios conhecimentos de projetos, operações de máquinas, ajustes e acabamentos. O sistema tinha um volume de produção muito baixo, menos de mil carros por ano aproximadamente, sendo que desse volume, em média apenas 50 eram do mesmo projeto, e desses 50 dificilmente 2 eram idênticos, já que a produção artesanal tinha a desvantagem de resultar em variações nos produtos, além de altos custos de fabricação pelo fato de que cada produto era praticamente um novo protótipo, sendo acessíveis somente às pessoas com alto poder aquisitivo, e dificilmente era possível garantir qualidade em questões de durabilidade e confiabilidade (WOMACK; JONES; ROOS, 2004).

1.2.2 Produção em Massa

Após a Primeira Guerra Mundial, Henry Ford transformou o sistema produtivo até então existente com a criação do Sistema Ford, baseado no sistema de produção em massa criado por Fred Winslow Taylor, reduzindo drasticamente os custos de produção e aumentando significativamente a qualidade do produto. Isso foi possível através do alcance de alto nível de padronização que garantia a intercambiabilidade das peças e facilidade de ajustá-las entre si, juntamente com a divisão das operações de fabricação em menores partes, colocando-as em fluxo contínuo numa linha de montagem em movimento, a qual levava o carro até o operador parado, sendo que ao longo da linha cada montador era responsável por uma parte da fabricação. Isso fez com que o montador se tornasse altamente especializado em apenas parte da montagem, e reduziu sua movimentação e esforço no processo de fabricação, isso atrelado à facilidade de ajuste das peças garantia rapidez na execução da tarefa (DENNIS, 2008).

Este foi um grande momento histórico já que tornou a compra de automóveis acessível às demais classes, e o alto volume de produção conseguiu atender à crescente demanda. “Entre 1908 e o início dos anos 1920, quando Ford alcançou o topo de sua produção com 2 milhões de unidades por ano, ele cortara o custo real ao consumidor em dois terços” (WOMACK; JONES; ROOS, 2004).

1.2.3 Produção Enxuta

Após a Segunda Guerra Mundial, a empresa Toyota decidiu entrar no ramo de produção de veículos em larga escala, foi aí que Eiji Toyoda, presidente da empresa, em 1950 decidiu visitar a Ford em Detroit para estudar sobre o sistema de produção em massa. Concluiu que o sistema usado pela Ford não era aplicável à Toyota, já que o mercado interno era reduzido e

demandava uma grande variedade de veículos, exigia altos investimentos em tecnologia e o Japão encontrava-se em estado precário no pós-guerra, e o mundo externo já tinha diversas fábricas de automóveis já estabelecidas as quais tinham interesse em se estabelecer no Japão e também proteger-se de exportações japonesas, portanto Toyoda precisava adotar outra estratégia. Assim o chefe de produção Taiichi Ohno, com toda inteligência e apoio de Eiji Toyoda, começou a desenvolver o TPS, que mais tarde foi conhecido como sistema *lean* (DENNIS, 2008). O sistema *lean* é focado na eficiência de 5 elementos: desenvolvimento de produtos, gestão de fornecedores, suporte ao cliente, ampla gestão da empresa e processo de produção do pedido à entrega. Essas tarefas presentes nos elementos *lean* são superiores às mesmas tarefas presentes no sistema de produção em massa (WOMACK, 2016).

Com o princípio de valorizar a mão de obra garantindo emprego vitalício, Taiichi Ohno conseguiu o envolvimento dos trabalhadores em melhorar continuamente os processos de produção, condição chave para a criação do sistema *lean*. A Toyota treinava fortemente os funcionários em análise e soluções de problemas, os quais concentravam energias no dia a dia em eliminar custos com desperdícios, agregando assim maior valor ao produto e aumentando significativamente sua qualidade, para assim garantir a satisfação do cliente e consequente aumento da demanda; desenvolver melhorias no processo para aumentar eficiência, como por exemplo o desenvolvimento da troca rápida de matrizes que permitia a utilização de uma só prensa para atender a diversos modelos de peças. Em paralelo a empresa atuava na redução de estoque, produzindo somente o necessário e no momento certo, de acordo com a real necessidade do cliente; no desenvolvimento de fornecedores através da exigência da redução de custos das peças e maior qualidade (DENNIS, 2008).

E com esses avanços alcançados com a produção enxuta, a Toyota conseguiu produzir veículos a menores custos, menor tempo, maior qualidade, menor índice de falhas de montagem, menor área produtiva e menor estoque, em relação à produção enxuta. O novo modelo produtivo chamou a atenção das empresas que ainda trabalhavam com o sistema de produção em massa, até mesmo a Ford passou a adotar o mesmo modelo perante a sua crise na década de 80 (WOMACK; JONES; ROOS, 2004). O *lean* foi difundido pelo mundo e tornou-se fator crucial para que as empresas tornem-se mais competitivas para sobreviver à crescente concorrência.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Este presente trabalho tem como objetivo mostrar na prática a utilização da ferramenta A3 do *lean* e seus respectivos desafios e benefícios, tanto na questão humana como técnica, para que com os conhecimentos transmitidos seja possível a aplicação da ferramenta na análise e soluções de quaisquer outros problemas.

1.3.2 Objetivo Específico

Utilização da ferramenta A3 do *lean* para redução do tempo de fabricação de um rolamento de giro de grande porte, o qual apresentava-se com tempo de fabricação acima da meta estabelecida pela empresa, utilizando-se de metodologias para entendimento das causas do problema, priorização de problemas no momento de determinar as ações para alcançar o objetivo e monitoramento de eficácia.

1.4 JUSTIFICATIVA

Para que as empresas consigam sobreviver à concorrência acirrada do mercado, é preciso que seus processos de produção sejam o mais enxuto possível eliminando-se desperdícios e aumentando assim o valor agregado ao produto. Com isso é possível evitar que o cliente pague pela ineficiência do processo e conseqüentemente aumente seu interesse pelos produtos da empresa, e também torna possível que a empresa se torne competitiva a ponto de ganhar mercado e aumentar seus lucros.

Por meio do indicador oficial de qualidade, a empresa estudada constatou que a média de todos os tempos de fabricação dos rolamentos estava fora da meta esperada, e durante a reunião de análise crítica da alta liderança foi anunciada a necessidade de iniciar um projeto para solucionar o problema, utilizando a ferramenta A3 do *lean*.

1.5 ESTRUTURAÇÃO DOS CAPÍTULOS

O seguinte trabalho é composto por cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta o panorama da competitividade entre as empresas, assim como a evolução dos modelos produtivos para adequar-se à concorrência e sobreviver ao mercado.

O segundo capítulo apresenta toda a revisão da bibliografia necessária para o entendimento de cada etapa da metodologia utilizada na resolução do problema apresentado, assim como o contexto em que a ferramenta A3 deve ser utilizada.

O terceiro capítulo consiste nos materiais, dados e métodos empregados para seguir estritamente as metodologias da ferramenta A3 e com isso alcançar o objetivo do projeto.

O quarto capítulo apresenta os resultados encontrados, juntamente com uma reflexão sobre cada ponto do projeto que foi essencial para o alcance do objetivo do projeto.

O quinto capítulo traz a conclusão deste trabalho, mostrando a relevância do uso de metodologias estruturas para análise e soluções de problemas, o qual traz benefícios mútuos para o cliente e para a empresa.

2 REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

2.1 GESTÃO DA QUALIDADE

Ao longo do tempo experimentamos uma mudança no conceito de qualidade nas empresas, passando de uma abordagem puramente técnica focada em normas e especificações, para uma abordagem voltada ao entendimento aprofundado no que é valor para o cliente, e estruturar todo o processo produtivo e administrativo para se adequar constantemente de acordo com este conceito, integrando-se a nova mentalidade dentro do sistema de gestão, em um processo de melhoria contínua de acordo com os valores dos clientes.

Tendo isso em vista, a norma NBR ISO 9001, a qual qualifica o sistema de gestão de qualidade nas empresas, é composta por um capítulo dedicado à melhoria contínua, levando-nos a reconhecer que é um fator crucial para que a empresa se mantenha competitiva e sempre alinhada com os valores dos seus clientes, pois num mercado no qual a oferta é maior que a demanda, os clientes se tornaram muito mais exigentes em relação à segurança, qualidade, entrega e custos.

2.1.1 História e definições

No passado em que a produção era predominantemente artesanal, a qualidade dos produtos dependia exclusivamente da inspeção do artesão, o qual buscava fabricar um produto para atender a satisfação do seu cliente, o que garantia o sucesso da comercialização e a expansão do seu negócio. No entanto esse tipo de produção tinha um desafio a ser superado, pois era impraticável manter um padrão de qualidade para todos os produtos, já que cada produto era praticamente exclusivo pois que era feito de modo artesanal (DENNIS, 2008).

Com o surgimento da produção em massa após a Revolução Industrial no século XX, o controle de qualidade tornou-se uma necessidade, já que a qualidade passou a ser controlada de forma sistêmica, e não mais por inspeção de produto a produto, pois para atender um mercado de larga escala era necessário fornecer peças de reposição, e isso seria impossível se cada produto tivesse um padrão de qualidade diferente entre si (DENNIS, 2008). A partir daí o conceito de qualidade sofreu muitas evoluções, e foi a partir da década de 50 que a gestão da qualidade realmente ganhou destaque com os conceitos, filosofias e técnicas propostos por estudiosos conhecidos como “Gurus da Qualidade”.

2.1.1.1 Definição de Qualidade

Segundo Campos (2004), a qualidade é muito mais abrangente do que simplesmente a ausência de defeitos, pois está totalmente ligada à “preferência do cliente”. Um cliente não vai optar por um produto pelo simples fato da ausência de defeitos, porque por exemplo, um produto com zero defeitos, dependendo do processo de fabricação, tem possibilidade de ter altos custos de fabricação devido ao alto grau de inspeção, o que na maioria das vezes não é vantajoso para o cliente.

Para atingir um alto nível de qualidade é preciso entender o que de fato é valor para o público alvo do seu produto, isso definirá o caminho que a empresa deve trilhar para ter vantagem competitiva em relação aos seus concorrentes. Para facilitar essa análise, Campos (2004) lista 5 pontos importantes a serem levados em consideração no momento de avaliar o que é qualidade aos olhos do cliente:

- A. Projeto Perfeito: atender perfeitamente a necessidade do cliente, ele não quer pagar nada a mais do que precisa, e também não deve deixar de atender a qualquer necessidade existente.
- B. Sem Defeitos: um produto com defeitos afeta diretamente a confiança do cliente e aumenta os custos de produção, portanto a cultura de intolerância a defeitos deve ser disseminada na política de governança da empresa.
- C. Baixo Custo: os custos devem ser monitorados a fim de entregar um produto ou serviço que seja acessível para o cliente.
- D. Segurança do Cliente: como premissa na concepção de todo produto, a segurança do cliente deve ser posta em primeiro lugar, pois uma vez afetada, tem impacto desastroso na reputação da empresa.
- E. Entrega no prazo certo, no local certo e na quantidade certa: atrasos e problemas nas entregas são intoleráveis, e são fatores que diferenciam as empresas num mercado altamente competitivo.

Nesta mesma linha de raciocínio, Juran (1991) afirma que a qualidade é definida como as características dos produtos que vão em direção à necessidade do cliente, que conseqüentemente proporcionam satisfação ao mesmo. Além disso defende que a qualidade está atrelada à ausência de falhas, já que as falhas vão em direção oposta às necessidades dos clientes. A qualidade então é diretamente proporcional à satisfação do cliente, e para Carpinetti (2010) é compreendida pela relação da expectativa do cliente no momento de aquisição do produto e da experiência vivenciada no consumo, ou seja, é necessário acompanhar constantemente se os valores percebidos pela empresa estão de acordo com os valores percebidos pelos clientes.

2.1.2 Controle de Processo

Tendo-se em vista o que é qualidade, é preciso controlar os processos dentro da empresa para sempre ter a certeza de que estão em direção ao objetivo esperado. Para alcançar o controle adequado dos processos, é preciso sustentar três ações fundamentais (CAMPOS, 2004):

A. Estabelecimento da diretriz de controle (planejamento)

Para avaliar se o processo está de acordo com os padrões de qualidade esperados, primeiramente é preciso estabelecer uma meta a ser alcançada, o valor desejado de determinada característica do processo, pois com uma meta fica fácil perceber se o processo está fora do padrão. Após estabelecida a meta deve-se determinar os métodos, ou seja, os meios para alcançar a meta desejada.

B. Manutenção do nível de qualidade

Se o planejamento for executado da maneira correta, então teremos um padrão de qualidade, custo, entrega, segurança ou moral, e isso será o fator crucial para a fase de manutenção dos mesmos.

Nesta fase primeiramente é preciso atuar no problema para voltar o funcionamento dentro do resultado esperado imediatamente, por exemplo, se a máquina quebrou, conserte. Isso é conhecido como contenção do problema.

Feito isso o próximo passo é analisar as causas do problema e atuar na ação corretiva para que não volte mais a acontecer. Usando o mesmo exemplo anterior, é preciso entender as causas que fizeram a máquina quebrar e realizar ações para eliminá-las.

C. Alteração da diretriz de controle (melhorias)

Para obter melhoria contínua dos processos, é preciso revisar periodicamente as diretrizes de controle, pois existe a possibilidade de os padrões esperados mudarem com o tempo, seja por mudança no cenário de relacionamento com o cliente, problemas que acontecerem durante o processo ou oportunidades de melhorias identificadas.

Para exemplificar uma necessidade de “alteração da diretriz de controle” devido a um problema ocorrido (desastre indesejável), e como reagir ao problema, Campos (2004) cita o exemplo de um processo de aterrissagem e decolagem de aviões num aeroporto.

Num primeiro momento o *planejamento* foi realizado, ou seja, os procedimentos-padrão para esse processo acontecer sem falhas e com segurança foi definido.

No entanto um desastre acontece e um avião se acidenta durante um pouso, com isso *um problema foi identificado*.

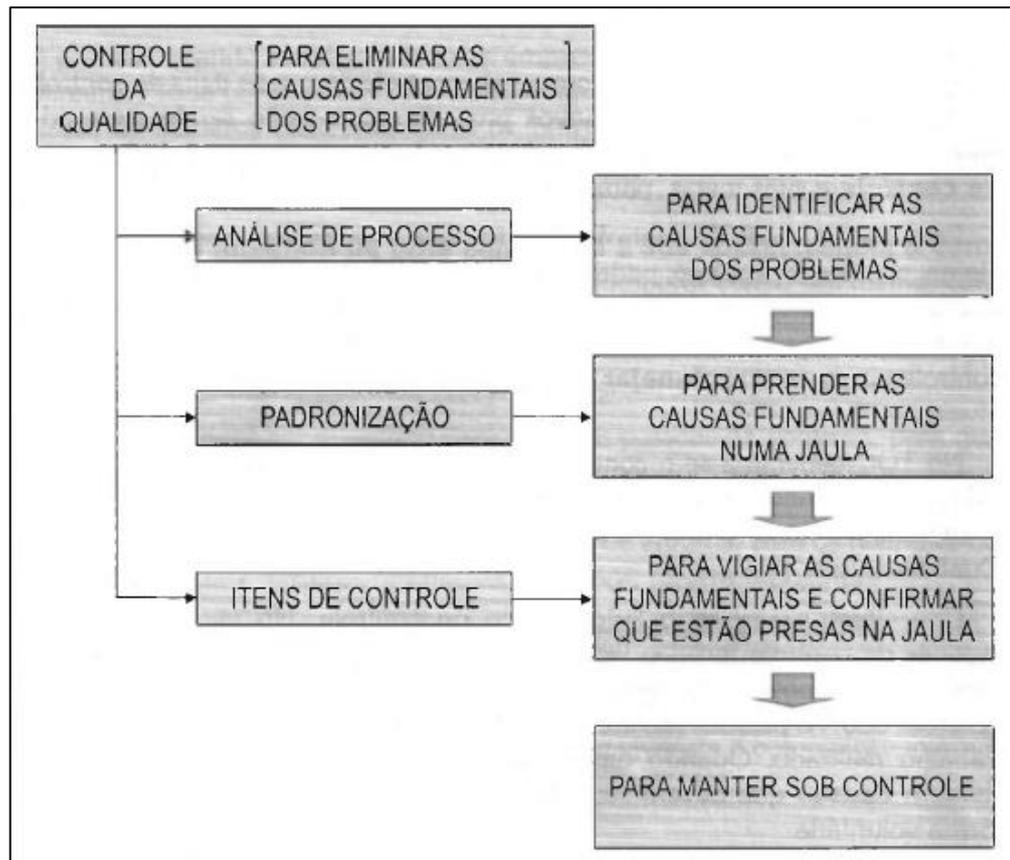
As ações necessárias são então realizadas para que o processo de decolagem e aterrissagem volte a operar o mais rápido possível (ações de contenção). Inicia-se então um processo de análise das causas que levaram o problema a acontecer e conseqüentemente fugir dos procedimentos-padrão, isso é definido como *análise de processo*.

Com a análise de processo concluída e as devidas causas raiz identificadas, as ações são realizadas para ataca-las e é definido um novo procedimento-padrão, a fim de evitar que o problema nunca mais aconteça, foi realizada então a fase de *padronização*.

Finalmente são definidos novos pontos de controle, a fim de monitorar o processo e garantir que os novos procedimentos estão sendo seguidos e que o problema não vai mais voltar a acontecer. Isso equivale à *alteração da diretriz de controle*.

Campos (2004) garante que essas são as bases para se manter o processo sobre controle, ou seja, saber identificar o problema, analisar o processo, padronizar e estabelecer itens de controle para que o problema não volte mais a acontecer, como ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Bases do controle de processo



Fonte: Campos (2004).

2.1.3 Ciclo PDCA

Método é uma palavra de origem grega, composta pelo prefixo META que significa “além de”, e o sufixo HODOS que significa “caminho”, ou seja, método é o caminho para se alcançar uma meta. No controle de processo citado no tópico anterior, o método utilizado na manutenção do nível de controle é o Ciclo PDCA (CAMPOS, 2004).

O Ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) consiste de 4 etapas, mostradas da Figura 2, que são planejar, executar, verificar e atuar corretivamente. Campos (2004), explica cada uma delas do modo a seguir, e também mostra detalhadamente na Figura 3 como cada etapa deve ser abordada:

A. Planejamento

Na etapa de planejamento são definidas as metas, ou seja, as “diretrizes de controle” como explicado no tópico anterior. Isso ajuda a entender de fato se o problema analisado é realmente um problema, e quanto fora da meta ele está, pois as empresas possuem muitos

problemas, e deve-se prioriza-los. O próximo passo é definir o caminho para alcançar a meta, ou seja, o método.

B. Execução

Nesta etapa do PDCA são executadas as ações, conforme o método definido na fase anterior, para que a meta seja atingida e o processo volte no padrão esperado. Também são coletados dados sobre os impactos das ações realizadas, a fim de serem usadas na próxima fase do ciclo.

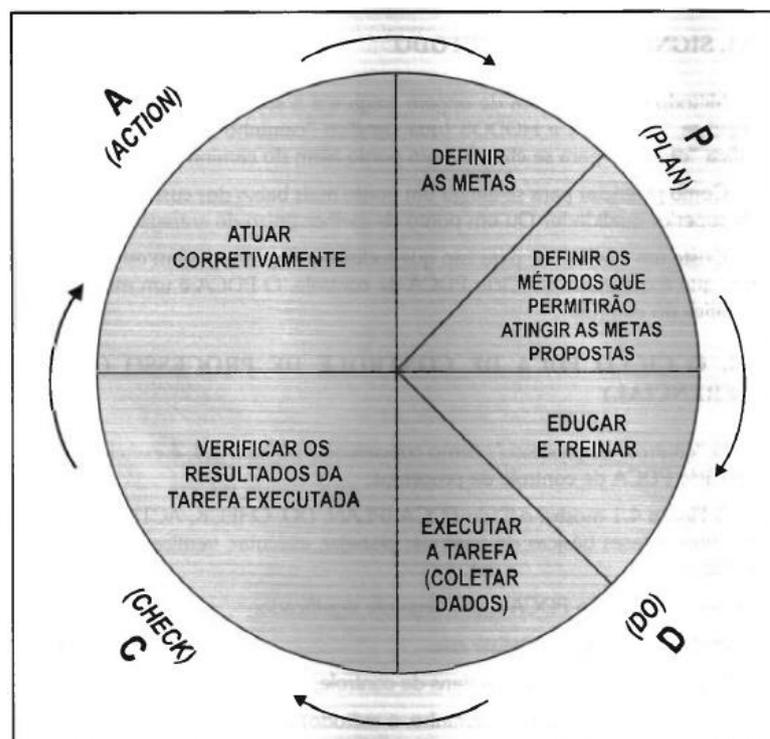
C. Verificação

A partir dos dados coletados após a execução das ações, o resultado obtido é comparado com o resultado desejado, ou seja, a meta definida na fase de planejamento.

D. Atuação corretiva

Durante as fases anteriores foi analisado se o problema foi corretamente tratado, e se as metas esperadas foram alcançadas. Caso a meta não tenha sido alcançada, nessa fase são realizadas as correções necessárias para atingir o nível esperado.

Figura 2 – Ciclo PDCA para controle de processos



Fonte: Campos (2004).

Figura 3 – Fatores básicos para o ciclo de manutenção do controle de qualidade

CICLO PDCA	ETAPAS	ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO NO CONTROLE DA QUALIDADE	OBSERVAÇÕES
P	1	ESTABELECIMENTO DO PADRÃO DE QUALIDADE	Estude e determine as necessidades de seu cliente (interno ou externo). Verifique a possibilidade de seu processo atender ou não a estas necessidades.
	2	ESTABELECIMENTO DOS PROCEDIMENTOS-PADRÃO	Estabeleça o seu processo de acordo com as necessidades do cliente e defina os fatores importantes do seu processo (causas) que devem ser padronizados.
D	3	TRABALHO DE ACORDO COM OS PADRÕES	As pessoas devem estar treinadas em manter os valores-padrão dos fatores importantes como determinados no item anterior. Conduza auditoria.
C	4	MEDIDAS	Defina as medidas a serem feitas: temperatura, pressão, composição química, dimensões, tempo, etc.
	5	PADRÕES DE VERIFICAÇÃO	Defina os padrões de verificação (inspeção). Estes padrões são geralmente de nível superior aos padrões de qualidade.
	6	VERIFICAÇÃO	Verifique se existem não-conformidades em relação aos padrões de verificação.
A	7	ELIMINAÇÃO DAS NÃO-CONFORMIDADES	As causas das não-conformidades devem ser eliminadas de imediato. Se a não-conformidade for crônica, os procedimentos operacionais-padrão devem ser alterados; se for ocasional deve ser conduzida uma análise de falhas para localizar a causa, devendo o evento ser registrado para análise futura.

Fonte: Campos (2004).

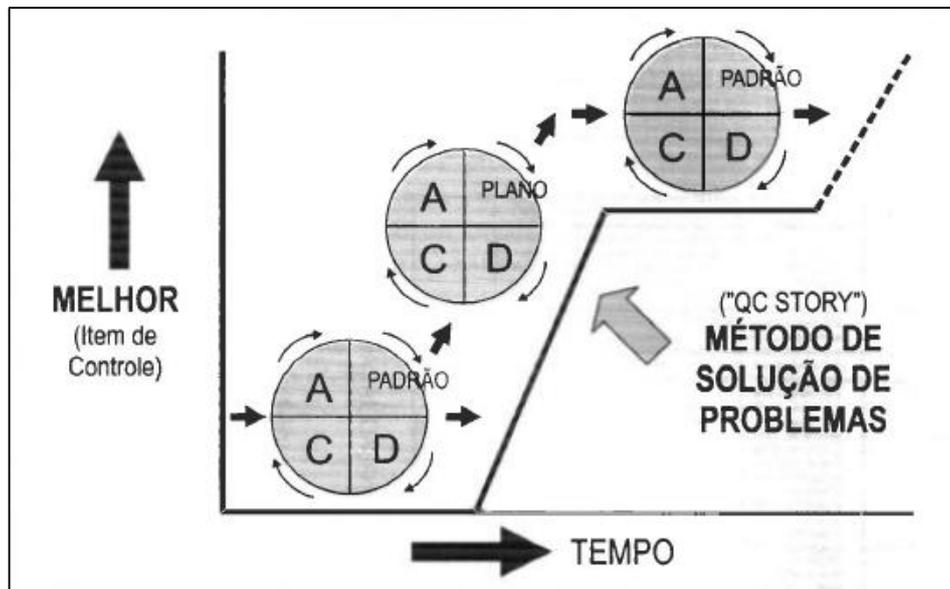
O Ciclo PDCA para Melhorias

O Ciclo PDCA, como dito anteriormente, é o método para manter o processo sob controle, ou seja, realizar a manutenção do processo para que volte às suas normalidades. No entanto, ele também é usado como meio para realizar melhorias contínuas no processo ao longo do tempo, como mostra a Figura 4. Campos (2004) nos detalha como esse processo acontece:

- A. O processo se encontra em um nível que, mesmo seguindo as operações padronizadas de processo, geram um efeito de não atendimento à algum dos itens de controle definidos (resultado indesejável = problema), ou seja, a diretriz de controle atual não é satisfatória.
- B. As causas do problema são então analisadas e atacadas para que o problema nunca mais volte a acontecer. Feito isso, é definido um novo padrão de processo a ser seguido e novos itens de controle para garantir o atendimento ao novo padrão.

- C. Como consequência disso, o processo passa a um patamar de desempenho superior, devido aos novos procedimentos padrão estabelecidos, e um melhor resultado para os itens de controle do processo. Ou seja, uma nova diretriz de controle foi definida.

Figura 4 – Utilização do Ciclo PDCA para manutenção e melhoria contínua



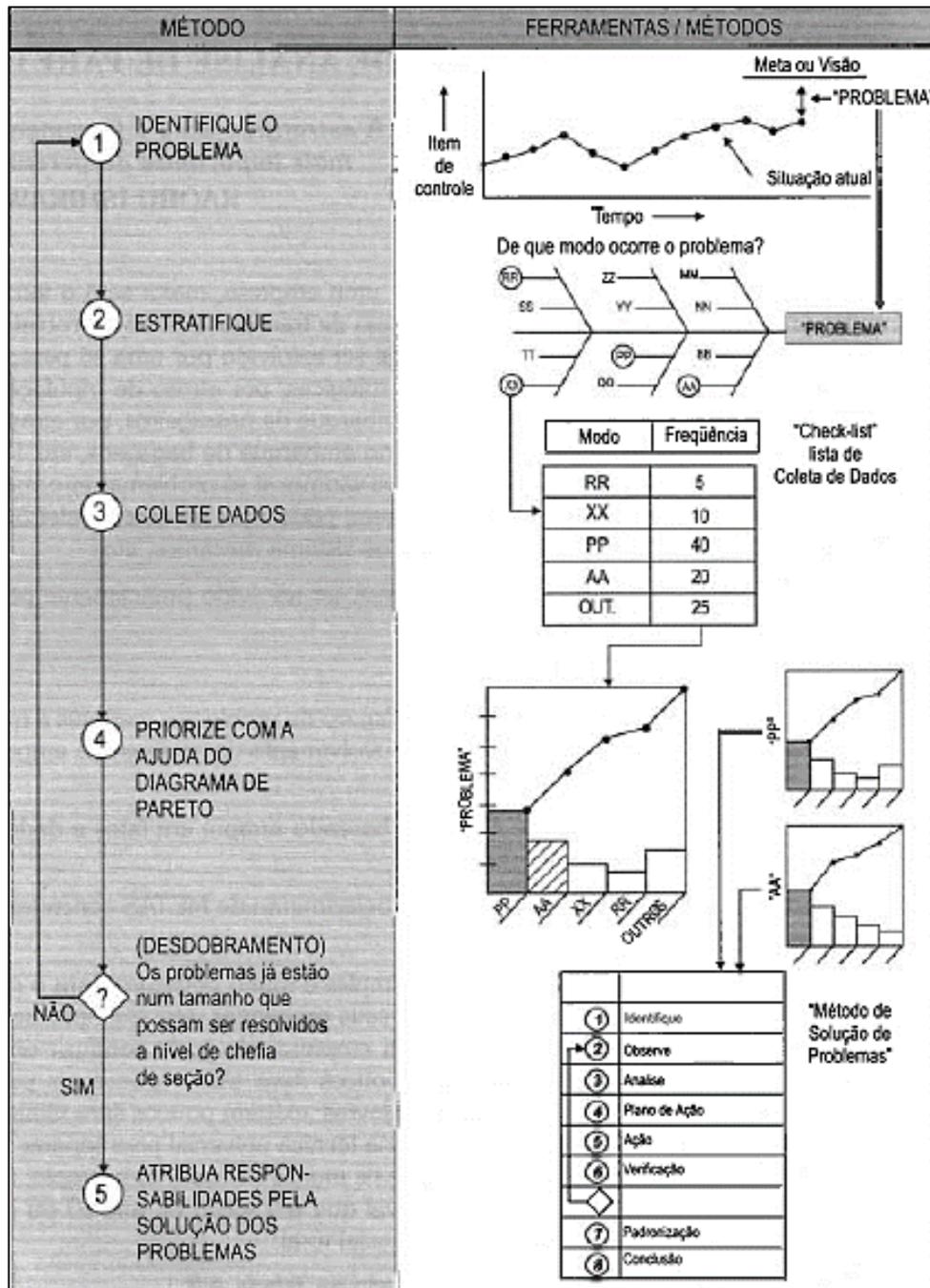
Fonte: Campos (2004).

2.1.4 Ferramentas da Qualidade para Análise de Causas

Existem diversas ferramentas da qualidade para análise e priorização das causas de um problema, dentre elas se destacam as 7 Ferramentas da Qualidade, que são Diagrama Ishikawa, Diagrama de Pareto, Histograma, Cartas de Controle, Fluxograma de Processos, Diagrama de Dispersão e Folha de Verificação.

Na análise de um problema, é possível usar uma ou um conjunto delas para um melhor resultado. Campos (2004) afirma que a utilização em conjunto do Diagrama Ishikawa e do Diagrama de Pareto é uma ótima combinação, como mostra a Figura 5, já que o Diagrama Ishikawa ajuda a identificar as causas do problema de modo eficiente, e o Diagrama de Pareto auxilia na priorização das causas a serem atacadas, ou seja, dividir o problema em problemas menores, atacando-se então uma pequena parte dos causadores que são responsáveis pela maior porcentagem do problema, e consequentemente alcançando-se resultados significativos num menor espaço de tempo. Campos (2004) também mostra que o Ciclo PDCA sempre deve ser usado neste processo para melhor acompanhamento da solução do problema e posterior padronização.

Figura 5 – Método de análise e solução de problemas



Fonte: Campos (2004).

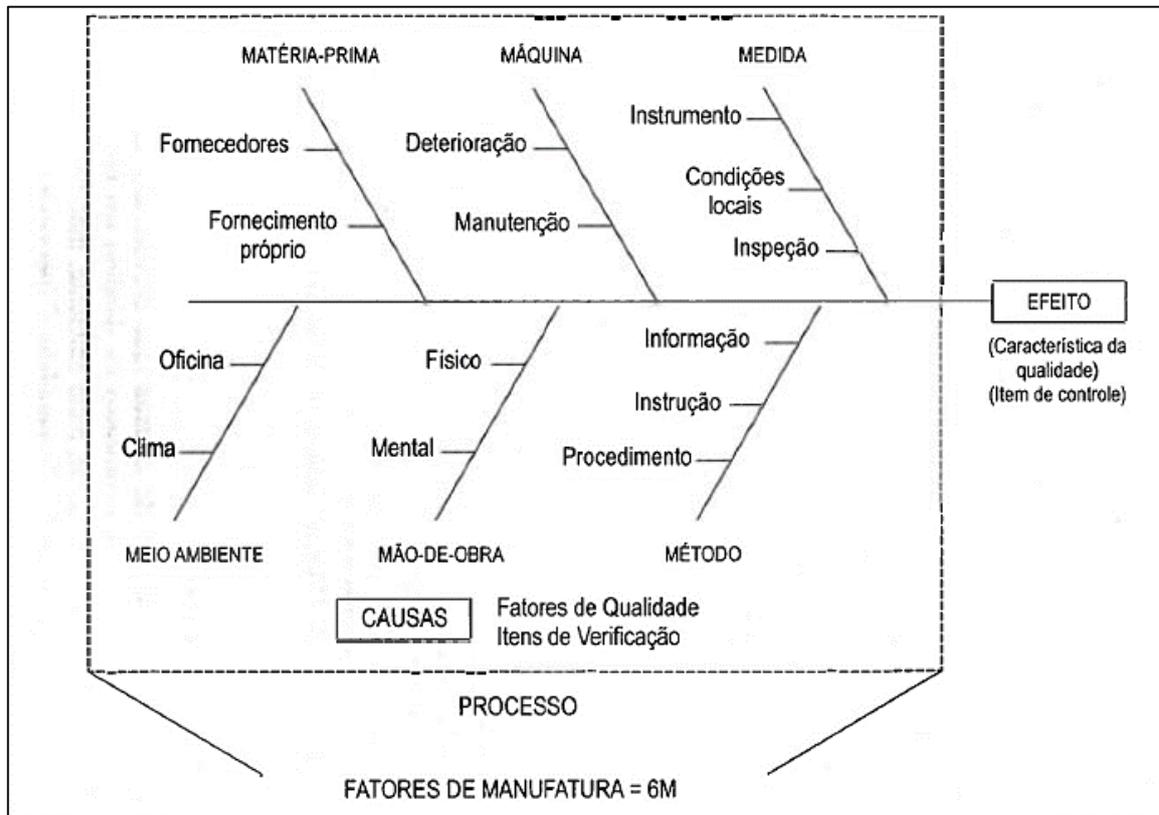
2.1.4.1 Diagrama de Causa-Efeito

Foi desenvolvida por Kauru Ishikawa, também conhecida como Diagrama Espinha de Peixe ou Diagrama Ishikawa (referência ao criador), é uma ferramenta para análise de problemas por meio da categorização das causas dentro dos fatores de manufatura, definidos

6M's (CAMPOS, 2004): máquina, matéria-prima, medida, método, mão-de-obra e meio ambiente.

Campos (2004) nos mostra que dentro de um processo, por exemplo, uma certa característica de qualidade do produto que foi afetada deve ser considerada como o efeito, e as causas que originam esse problema de qualidade estão dentro dos fatores de manufatura (6M), como mostra a Figura 6.

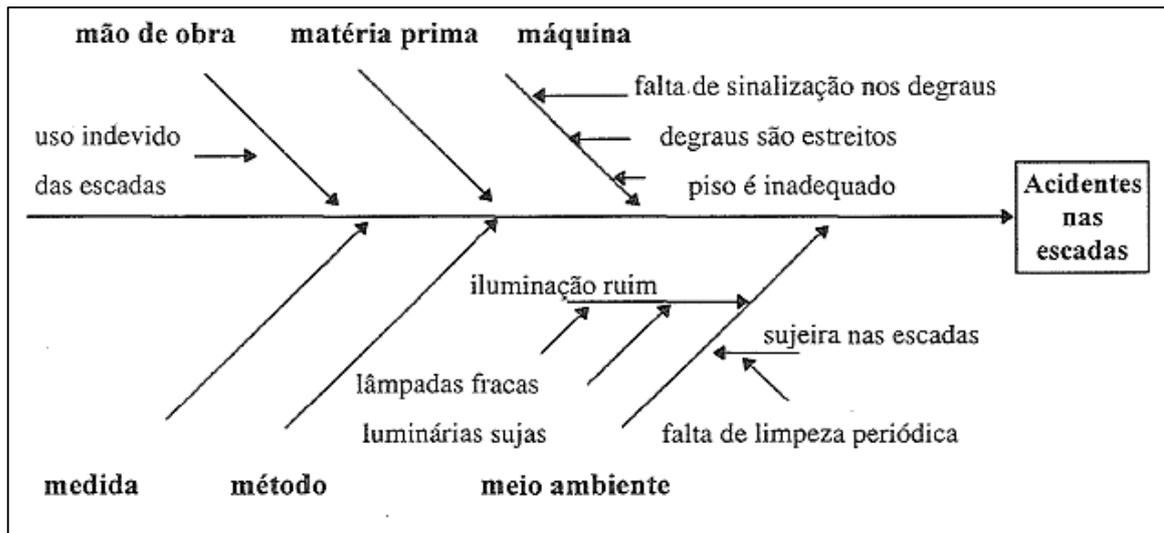
Figura 6 – Diagrama Ishikawa para correlação do efeito e suas causas



Fonte: Campos (2004).

Os 6M's facilitam a análise do problema, pois direcionam à investigação de todos os aspectos que podem vir a afetar determinada característica de qualidade, e assim levantar o maior número de causas possíveis. Com as causas levantadas, cada uma delas é analisada a fim de encontrar as verdadeiras causas raiz do problema. A Figura 7 mostra um exemplo da utilização do Diagrama Ishikawa na identificação das causas de um problema com acidentes nas escadas.

Figura 7 – Utilização do Diagrama Ishikawa no problema com acidentes nas escadas



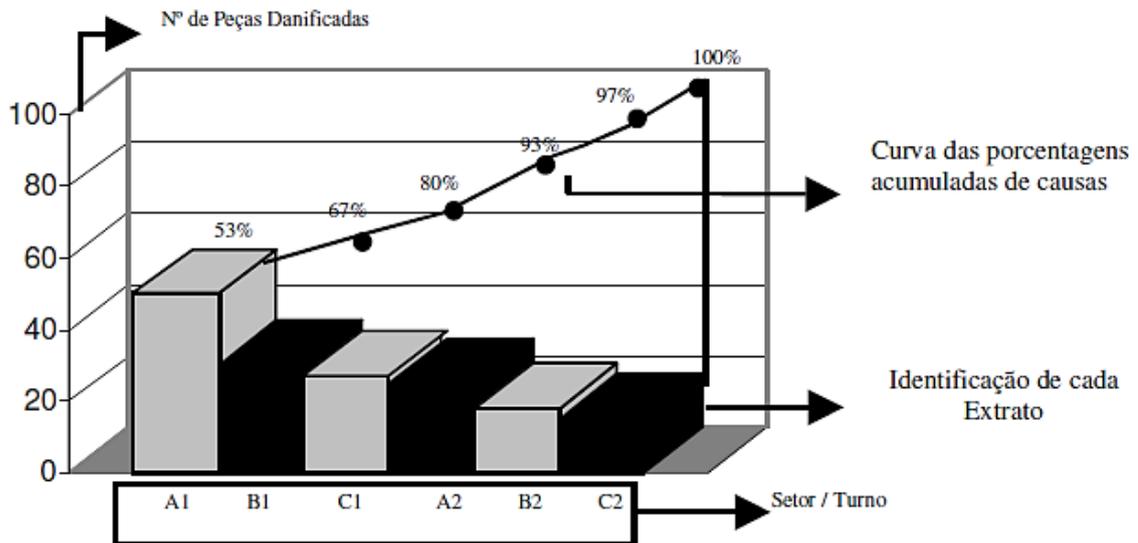
Fonte: Brassard (1985).

2.1.4.2 Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto, também conhecido como regra do 80/20, foi uma ferramenta desenvolvida por Joseph Juran a partir de estudos realizados pelo economista italiano Vilfredo Pareto e pelo americano Max Otto Lorenz. Uma analogia que explica ser conhecido como regra do 80/20 é que de acordo com os estudos que deram origem à ferramenta, por exemplo, 80% do dinheiro alocado em um banco pertence a 20% dos clientes, ou seja, consequentemente o restante dos clientes (80%) tem o poder dos outros 20% do dinheiro (SELEME et al., 2010).

A ferramenta auxilia na priorização das causas a serem atacadas, pois de acordo com a regra do 80/20, 80% do problema é resolvido tratando-se apenas 20% das causas levantadas (CAMPOS, 2004). É claro que apesar da regra ser válida, pode haver uma pequena divergência em relação aos valores propostos, e não seja exatamente 80/20, porém proporção sempre vai ser próxima disso. A Figura 8 mostra o exemplo de um Diagrama Pareto utilizado para identificação dos principais causadores de problemas com peças danificadas, no qual foi constatado que 50% dos turnos são responsáveis por 80% dos problemas.

Figura 8 – Diagrama de Pareto



Fonte: Silva (1995).

Campos (2004) afirma que o Diagrama de Pareto permite dividir um grande problema em partes menores possíveis de serem resolvidas com maior eficiência, através do estabelecimento de metas atingíveis.

2.2 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO (TPS)

No cenário pós Segunda Guerra Mundial, o Japão estava devastado devido ao grande confronto, e paralelamente a esse cenário a Toyota Motor Company vivenciava uma grande crise. Foi então na primavera de 1950 que um jovem engenheiro da empresa, chamado Eiji Toyoda visitou a fábrica Rouge da Ford em Detroit, a fim de estudar o estilo de produção cultivado na Ford e levar os aprendizados para reerguer a Toyota. Eiji e seu gênio de produção, Taiichi Ohno, chegaram à conclusão de que a produção em massa não funcionaria no Japão, devido aos seguintes fatores (DENNIS, 2008):

- O mercado interno do Japão exigia uma demanda por alta variedade de veículos, desde grandes caminhões para carregar produtos para o mercado, caminhões pequenos para atender a agricultura, carros de luxo para a elite e também carros pequenos para as ruas estreitas do país. Ou seja, era impossível manter altos estoques de um mesmo produto.

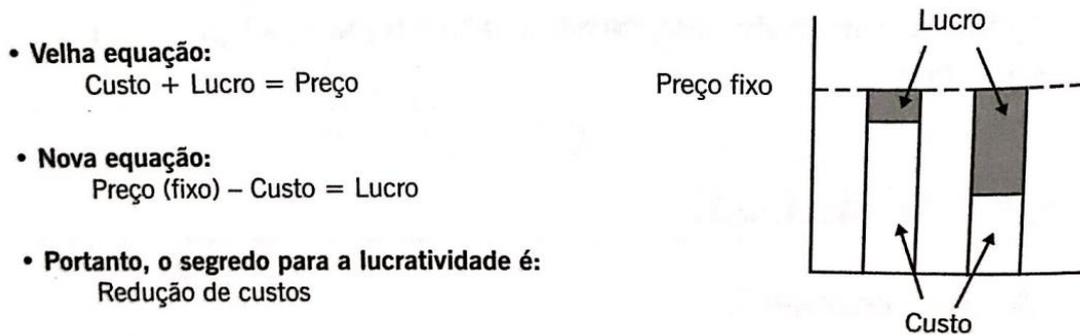
- O Japão tinha sido devastado pela guerra e sua economia foi altamente afetada, portanto carecia de altos investimentos em tecnologia que a produção em massa demandava.
- Outros países já possuíam muitas fábricas de automóveis estabelecidas, com grande interesse em fixar-se no Japão para defender-se contra exportações japonesas.

A Toyota então enxergou uma oportunidade em melhorar o sistema de produção para adaptá-lo às suas necessidades e vencer a crise, iniciando a criação do Sistema Toyota de Produção (TPS). Taiichi Ohno já defendia que o trabalhador era seu recurso mais valioso, diferentemente da política de retenção de informações e ideias cultivada pelas empresas baseadas na produção em massa, portanto iniciou uma filosofia para incentivar os trabalhadores a se envolverem no processo e proporem ideias para melhorá-lo. Isso foi uma iniciativa totalmente inovadora (DENNIS, 2008).

A empresa não possuía capacidade para altos investimentos, portanto Ohno resolveu os problemas da fábrica um a um, explorando ao máximo a criatividade e experiência dos trabalhadores do chão de fábrica, e paralelamente buscou trabalhar junto aos seus fornecedores para que os mesmos se desenvolvessem e conseguissem atender às novas necessidades da produção. Shimokawa (2011) afirma que o TPS equivale ao princípio de “zero defeitos”, portanto essa mentalidade em conjunto com a valorização do capital humano, levou a Toyota a desenvolver princípios e ferramentas revolucionárias para atacar os desperdícios da empresa, responsáveis por garantir a sobrevivência da empresa e tornar-se referência mundial, dando início à produção enxuta ou produção *lean*.

2.2.1 O Pensamento *Lean* de Mercado

Como mencionado anteriormente, o Sistema Toyota de Produção (TPS) foi criado por Taiichi Ohno, no entanto vários estudiosos buscaram entender a nova filosofia de produção, e na década de 90 foi divulgado ao mundo e ganhou popularidade como Sistema *Lean* de Produção, por meio do livro “A Máquina que Mudou o Mundo”, publicado por James Womack, Daniel Jones e Daniel Roos. Apesar do sistema ter sido criado na produção, é aplicável universalmente em todos os tipos de processos ou serviços, basta entendê-lo e aplicá-lo à realidade da necessidade. (DENNIS, 2008).

Figura 9 – O pensamento *lean* de mercado

Fonte: Dennis (2008).

Por meio da Figura 9 Dennis (2008) mostra a relação do pensamento *lean* com o velho pensamento de produção em massa. Antes quando o mercado vivia um cenário de pouca concorrência, quem determinava o preço era a própria empresa, que tinha uma porcentagem de lucro pré-determinada, portanto o preço do produto era o somatório dessa porcentagem de lucro com os custos de fabricação. Toda empresa possui custos ocasionados por desperdícios no processo de fabricação, portanto o cliente acabava pagando por isso sem perceber.

No entanto com a mudança para um mercado altamente competitivo, o preço é determinado pelo mercado (preço fixo), e o cliente tem o poder de escolha do fornecedor. Desse modo, se a empresa quiser aumentar sua porcentagem de lucro, ela é obrigada a diminuir seus custos de produção. É nessa linha de raciocínio que o *lean* trabalha, o cliente é posto em primeiro lugar, o que ajuda a definir o que é valor para ele e assim identificar os desperdícios no processo de fabricação.

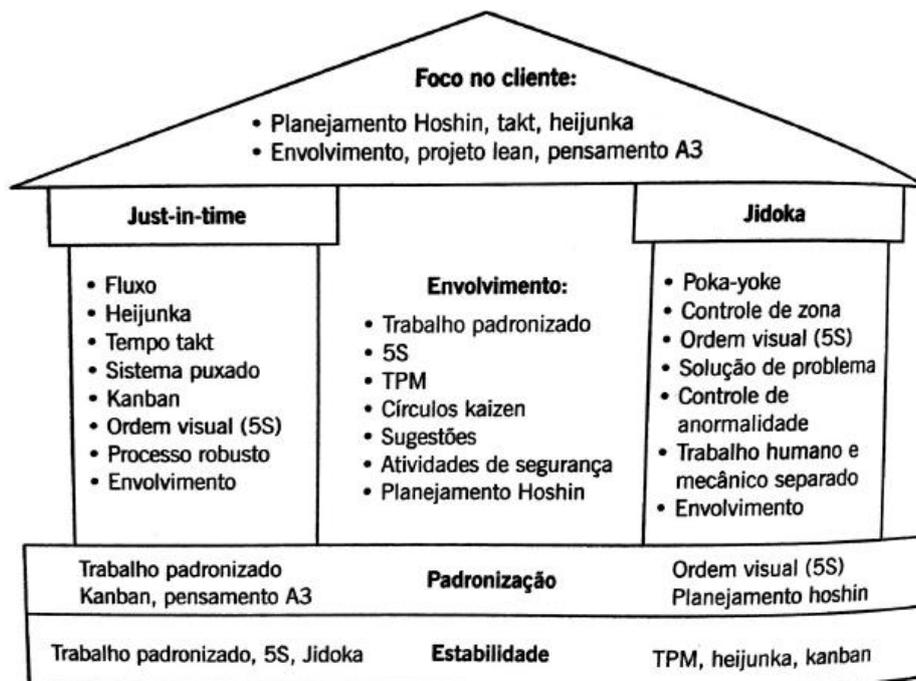
2.2.2 Os Fundamentos da Produção *Lean*

Dennis (2008) apresenta a casa *lean* (Figura 10), uma analogia para ajudar a atender como funciona os fundamentos da filosofia *lean* de produção. A parte mais pesada da construção, que tem o objetivo de ser sustentada pela empresa é o foco no cliente, oferece-lo a maior qualidade, o menor custo e o menor lead time possíveis, para assim ganhar sua confiança por muitos anos.

- **Padronização:** garantir a repetitividade da qualidade dos processos e serviços por meio da padronização, pois o estabelecimento de um padrão facilita a identificação de problemas. Um novo padrão deve ser definido toda vez que ser realizada uma melhoria, ou seja, quando o processo ser elevado a um patamar superior, isso garantirá a melhoria contínua na organização. Portanto essa é uma das bases da casa *lean*.
- **Estabilidade:** controlar os processos e serviços para manter o nível de desempenho esperado, o controle garante a estabilidade, e a estabilidade garante constância de bons resultados, que é a outra base da casa *lean*.
- **Envolvimento:** para que todos os itens anteriores aconteçam, é preciso manter o envolvimento de todos os colaboradores na melhoria contínua, todos devem assumir a responsabilidade em colocar os valores do cliente em primeiro lugar.

Para manter o sistema, existem métodos e ferramentas que sustentam o pensamento *lean* na empresa, como mostra a Figura 11 (DENNIS, 2008).

Figura 11 – Os métodos e ferramentas que sustentam os fundamentos *lean*

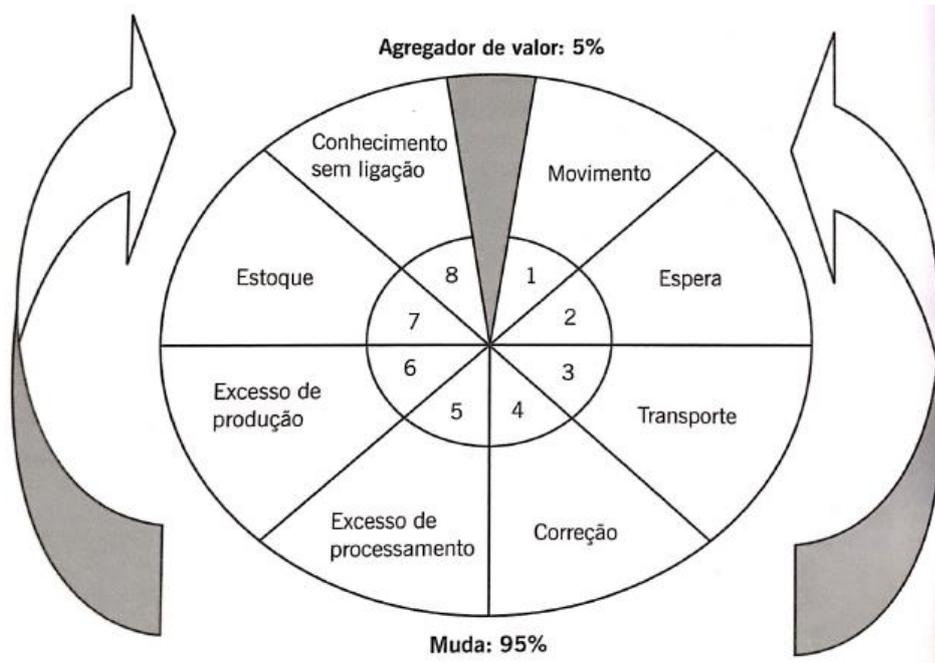


Fonte: Dennis (2008).

2.2.3 Os 8 Desperdícios

Em um processo produtivo baseado no foco no cliente que é o princípio fundamental do *lean*, tudo o que vai em direção às necessidades do cliente é definido como “agregação de valor”, consequentemente o oposto é definido como “não agregação de valor”, conhecido por *muda* no TPS, o mesmo que “desperdício”, que resulta em custos extras para o processo. Dennis (2008) afirma que em um processo de produção, apenas 5% do tempo representa a agregação de valor, e os outros 95% são desperdícios, sejam eles ocultos, fáceis de enxergar ou inerentes ao processo. A não agregação de valor é dividida em 8 desperdícios, como mostra a Figura 12.

Figura 12 – Os 8 desperdícios do *lean*



Fonte: Dennis (2008).

- Movimento

São as movimentações do trabalhador durante a execução do processo de fabricação, também está relacionada com as condições ergonômicas do mesmo. A qualidade é posta em risco quando trabalha-se com condições ergonômicas desfavoráveis, pois uma pessoa em condições ergonômicas afetadas entra em estresse e perde o foco na operação, além de desacelerar seu ritmo de trabalho. Dennis (2008) afirma que acidentes causados por falta de ergonomia somam 50% de todos os ferimentos em empresas da América do Norte. Taiichi

Ohno defendia a garantia de condições seguras para que o trabalhador execute seus serviços num ritmo ideal e sem estresse (SHIMOKAWA et al., 2011).

- Espera

Desperdício devido à espera de um trabalhador para iniciar o processamento de um produto, devido a diversos motivos, seja por demora na entrega de recursos na área de trabalho, tempo de medição de peças, tempos de paradas na linha devido a problemas, tempo de transporte de peças entre processos, entre outros (DENNIS, 2008).

- Transporte

É claro que todo produto precisa ser transportado durante o processo de produção, no entanto transporte é desperdício pois não agrega valor ao cliente. Está relacionado com o layout ineficiente no local de trabalho, por equipamentos excessivamente grandes ou pelo modelo tradicional de produção em lotes, características que resultam em necessidade de transportes desnecessários do produto, impactando em tempo e conseqüentemente em custos extras (DENNIS, 2008).

- Correção

Todo retrabalho realizado para efetuar a correção de algum desvio na qualidade padrão estabelecida de um produto, consiste em todo o material, energia e tempo gastos para isso desnecessariamente, pois o cliente não quer pagar por retrabalhos (DENNIS, 2008).

- Excesso de processamento

Define-se excesso de processamento todo trabalho realizado no produto que o cliente não quer pagar por ele, ou seja, vai contrário à necessidade do cliente. Por exemplo, pintar uma peça sendo que o cliente não precisa dela pintada. Dennis (2008) afirma que esse tipo de desperdício existe com frequência em empresas que o departamento de engenharia se encanta com determinada tecnologia, e aplicam no produto sem levar em conta se o cliente realmente precisa disso.

- Excesso de produção

Dennis (2008) diz que Taiichi Ohno considerava o excesso de produção como a origem de todos os outros desperdícios. Quando se produz mais que o necessário solicitado

pelo cliente, gasta-se recursos e mão-de-obra no momento errado, o que é prejudicial para o fluxo de caixa de uma empresa, pois o cliente não irá pagar por aquilo naquele momento. Produzir em excesso está relacionado com produzir em grandes lotes, isso implica na dificuldade em detectar erros rapidamente e conseqüente aumento do risco de retrabalhos em um maior número de peças.

- Estoque

Uma empresa *lean* trabalha com o mínimo de estoque possível, ou seja, trabalha de acordo com a quantidade necessária solicitada pelo cliente, pois além do estoque gerar custos de armazenamento e ocupar espaço desnecessariamente, requer gastos extras com recursos para fabricá-lo e manuseá-lo. Estoque é “dinheiro parado”, e corre-se o risco do estoque se tornar obsoleto, gerando desperdícios com retrabalhos ou no pior dos casos vir a ser descartado. Dennis (2008) afirma que estoque não está relacionado somente com o produto final, mas também produtos em processo, é preciso ter em mente que existem clientes externos e internos, os internos são os processos subsequentes, portanto só se deve produzir o que o próximo processo necessita. Os departamentos acabam produzindo mais que o necessário ao processo subsequente somente por “segurança”, e isso pode vir a esconder problemas, pois quando se tem essa “segurança”, o *jidoka* na maioria das vezes não é respeitado.

- Conhecimentos sem ligação

Está relacionado com a falta de comunicação dentro da empresa, tanto internamente como externamente com clientes e fornecedores. A falta de comunicação impede o fluxo de conhecimento e criatividade, o que pode vir a criar frustrações e oportunidades perdidas. Uma comunicação eficiente com os clientes facilita a identificações de desperdícios no processo, por meio do melhor entendimento dos valores dele. Em relação aos fornecedores, facilita a rápida identificação e soluções de problemas (DENNIS, 2008).

Dennis (2008) afirma que saber identificar e eliminar desperdícios é o grande diferencial de uma empresa *lean*, o que resulta em aumento da qualidade, melhora na entrega, redução de custos e conseqüente aumento da competitividade.

2.2.4 Ferramentas para Análise e Soluções de Problemas

2.2.4.1 Ferramenta A3

Apesar do termo A3 se referir à uma folha de papel de tamanho 29,7 cm por 42 cm, para o Toyota e outras empresas que seguem a filosofia *lean* o termo significa muito mais que isso. A ideia que o *lean* sustenta em relação à ferramenta A3 é que as organizações consigam mostrar o desenvolvimento da análise e solução de um problema em uma única folha de papel, facilitando-se o entendimento, alinhamento de ideias e difusão de lições aprendidas. É uma ferramenta poderosa para resoluções de problemas, realizar melhorias e fazer com que as coisas de fato realmente aconteçam (SHOOK, 2008).

Segundo Shook (2008), cada empresa pode adaptar a ferramenta A3 de acordo com as suas necessidades, no entanto para que um A3 consiga atingir o objetivo esperado pelo *lean*, deve conter os seguintes elementos:

- Título: define de forma clara o problema que está sendo tratado, o tema ou a questão a ser estudada, tem que ser de fácil entendimento para quem lê o A3.
- Responsável/Data: identifica quem é o principal responsável pelo desenvolvimento do A3, o qual deve seguir estritamente a metodologia sugerida, e também a data da última revisão do documento.
- Contexto: descreve o contexto do negócio e a importância do problema a ser tratado. Essa fase é extremamente importante pois numa organização existem diversos problemas, porém é preciso priorizá-los e convencer quem lê o A3 de que o problema tem um impacto significativo nos resultados esperados pela empresa. O contexto também deve deixar claro qual a meta esperada e quão fora da meta se está.
- Condições atuais: descreve a situação atual em que o problema se encontra, ou seja, o que se sabe sobre o problema ou questão. Esta fase consiste de fatos e dados, para que assim o problema seja entendido por completo e facilite a identificação do foco de ataque do mesmo. A utilização de ferramentas que segmentam um problema maior em problemas menores, como por exemplo o Diagrama de Pareto, são essenciais. Para compreender de fato a situação atual, é preciso ir ao chão de fábrica e entender como as coisas acontecem na realidade.

- Objetivos/Metas: com base nas fases anteriores, nesta etapa deve-se definir o que será atacado, quanto do problema isso representa e um prazo estimado para conclusão.
- Análise: analisa a situação atual em que o problema se encontra para que as causas sejam identificadas, e cada uma delas seja entendida para se chegar nas causas raiz do problema, e assim ser possível traçar as contramedidas pertinentes. Nesta fase é essencial a utilização de ferramentas para análise de problemas, como o Diagrama de Ishikawa e 5 porquês, por exemplo.
- Contramedidas propostas: proposta de ações corretivas para atacar as causas raiz, e assim conseguir atingir os objetivos e metas esperados.
- Plano: indica o plano de ação em cima das contramedidas propostas, por meio da definição dos responsáveis pela gestão de cada uma e os prazos esperados para conclusão das ações.
- Acompanhamento: cria-se nessa etapa um processo de acompanhamento da resolução do problema, por meio da comparação entre os resultados alcançados com os esperados. Também permite extrair todos os possíveis aprendizados com o A3 e analisar o novo contexto para definir próximos passos a fim de antecipar problemas remanescentes.

Shook (2008) organiza os elementos apresentados em uma única folha, como mostra a Figura 13, a fim facilitar o entendimento de como devem ser abordados no A3:

Figura 13 – Ferramenta A3 para análise e soluções de problemas

Título: Sobre qual mudança ou melhoria você está falando?

Autor/Data	

1. Background: sobre o que você está falando e por quê?

Qual é o propósito, a necessidade do negócio para a escolha dessa questão?
Qual indicador específico precisa ser melhorado?
Qual é a estratégia e o contexto operacional, histórico ou organizacional da situação?

5. Recomendações: Qual a sua proposta e por quê?

Quais são as opções para enfrentar os desvios e melhorar o desempenho na situação atual?
→ Sempre comece com duas ou três alternativas para avaliação.
Como elas se comparam em eficácia e viabilidade?
Quais são seus custos relativos e benefícios?
Qual delas você recomenda e por quê?
→ Mostre como suas ações propostas vão enfrentar as causas específicas dos desvios ou restrições que você identificou na sua análise. A conexão deve ser clara e explícita.

2. Estado Atual: como estamos agora?

Qual é o problema ou a necessidade - a defasagem no desempenho?
O que está acontecendo agora em comparação com o que você deseja ou com o que deveria estar acontecendo?
Você tem ido ao gamba?
Quais fatos ou dados indicam que há um problema ou uma necessidade?
Quais condições específicas indicam que você tem um problema ou uma necessidade?
Onde e quanto? Você pode desmembrar o problema?
→ Mostre fatos e processos visualmente, usando quadros, gráficos, figuras, mapas etc.

6. Plano: como você irá implementar? (4Ws, 1H*)

Quais serão as principais ações e resultados no processo de implementação e em qual sequência?
Quais suportes e recursos serão necessários?
Quem será responsável pelo quê, quando e quanto?
Como você irá medir a eficácia?
Quando seu processo será revisado e por quem?
→ Use um gráfico de Gantt (ou diagrama semelhante) para mostrar ações, etapas, resultados, linha do tempo e papéis.

3. Objetivo: qual resultado específico é solicitado?

Quais melhorias específicas no desempenho você precisa alcançar?
→ Mostre visualmente quanto, para quando e com qual impacto.
→ Não coloque uma contramedida como um objetivo!

7. Acompanhamento: como você irá garantir o PDCA?

Como e quando você saberá se os planos têm sido seguidos e as ações tiveram o impacto planejado e necessário?
Como você saberá se atingiu as metas?
Como você saberá se você reduziu o desvio no desempenho?
Quais questões relacionadas ou consequências inesperadas você prevê?
Quais contingências necessárias você pode antecipar?
Quais processos você vai usar para possibilitar, assegurar e sustentar o sucesso?
Como você vai compartilhar seus aprendizados com outras áreas?

4. Análise: por que há o problema ou a necessidade?

Que pontos específicos nos processos de trabalho (localização, padrões, tendências, fatores) indicam o porquê da existência de necessidades e desvios no desempenho?
Quais condições ou ocorrências lhe impedem de atingir os objetivos?
Por que eles existem? Quais são as causas?
→ Use as mais simples ferramenta de análise de problemas que lhe mostre causa e efeito até a causa raiz. Desde 5 Porquês até as ferramentas de controle de qualidade (Ishikawa, gráfico de Pareto), ou até mesmo ferramentas mais sofisticadas como 6 Sigma e CEP, se necessário.
→ Teste a lógica da relação causa e efeito perguntando "por quê?" de cima para baixo e afirmando "portanto" de baixo para cima.

Fonte: Shook (2008).

Os elementos do A3 são organizados na sequência como foi mostrado da Figura 13, de maneira lógica que facilitem a compreensão do problema, a solução e análise dos resultados. Shook (2008) afirma que o formato e os objetivos dos elementos em um A3 são orientados pelo seguinte conjunto de perguntas:

- A. Qual é o problema ou questão?
- B. Quem é o responsável pelo problema?
- C. Quais são as causas raízes do problema?
- D. Quais são algumas contramedidas possíveis?
- E. Como você decidirá que contramedidas propor?

- F. Como você vai obter concordância de todos os envolvidos?
- G. Qual é o plano de implementação – quem, o que, quando, onde e como?
- H. Como você saberá se suas contramedidas funcionam?
- I. Que problemas de acompanhamento você pode prever? Que problemas podem ocorrer durante a implementação?
- J. Como você vai capturar e compartilhar o aprendizado?

Shook (2008) reforça que não existe um modelo fixo e correto para uma ferramenta A3, o autor decide o que deve enfatizar no problema estudado, dependendo da situação em que se encontra e dos contextos específicos. Não é o modelo de A3 que importa, mas sim que ele siga o Ciclo PDCA (planejar, executar, avaliar e agir).

2.2.4.2 5 Porquês

A ferramenta 5 Porquês é uma ferramenta simples e muito poderosa, que foi essencial na implementação do Sistema Toyota de Produção (TPS). Ela consiste da repetição da pergunta “por quê?” na análise de um problema, o primeiro porquê é realizado em cima do sintoma observado (causa direta), e ao decorrer da análise, realizando a pergunta “por quê?” em cima da resposta anterior, torna possível a identificação das causas, e finalmente no 5º porquê (último) a causa raiz é encontrada. Não necessariamente são precisas 5 perguntas para se encontrar a causa raiz, pode ser menos ou mais que isso, no entanto a utilização da ferramenta mostra que em média 5 perguntas são ideais para alcançar-se o objetivo proposto (SHOOK, 2008).

Shook (2008), apresenta um exemplo de utilização dos 5 *porquês* realizada por Taiichi Ohno, para confrontar o motivo de uma máquina ter parado de funcionar, levando-o a um ciclo de descobertas:

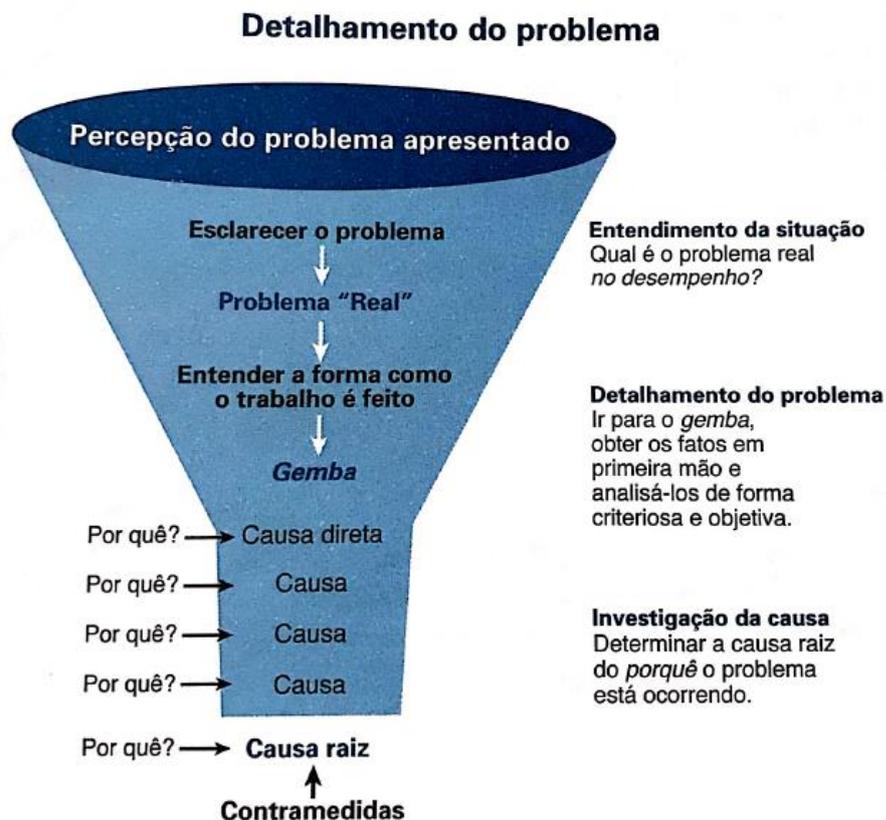
Sintoma/Causa direta: a máquina parou de funcionar.

- 1º porquê: Por que a máquina parou?
Ocorreu uma sobrecarga e o fusível queimou.
- 2º porquê: Por que ocorreu uma sobrecarga?
O rolamento não estava bem lubrificado.

- 3º porquê: Por que ele não estava bem lubrificado?
A bomba de lubrificação não estava lubrificando adequadamente.
- 4º porquê: Por que ela não estava lubrificando adequadamente?
O eixo da bomba estava gasto e chacoalhando.
- 5º porquê: Por que o eixo estava gasto?
Não havia um filtro no sistema e partículas de metal entraram na bomba.

Ohno ressalta que não se deve pensar na solução durante a análise do problema, porque isso pode induzir a criar uma solução antecipada erroneamente em cima de uma causa que não é de fato a causa raiz. Portanto a análise deve ser levada até o final e somente após isso devem ser discutidas ações corretivas criativas para atacar a causa raiz do problema (SHOOK, 2008). A Figura 14 mostra a linha de pensamento sustentada pelos 5 Porquês.

Figura 14 – Detalhamento do problema com a ajuda dos 5 porquês



Fonte: Shook (2008).

2.2.5 Trabalho Padronizado

No Sistema Toyota de Produção (TPS), qualquer operação que for repetida mais de uma vez deve ser padronizada, para que assim seja possível avaliar o processo continuamente e identificar problemas facilmente ou atuar em melhorias para elevar o processo a um patamar superior de desempenho (Narusawa; Shook, 2009).

Narusawa e Shook (2009) citam a Folha de Estudo de Processo (FEP) como um documento para definição de trabalho padronizado para posteriores acompanhamentos e análises. Luyster (2006) define a FEP como uma planilha para auxiliar na coleta de dados referentes aos tempos de fabricação de um produto em determinado processo, por meio da cronometragem de cada etapa de trabalho. A Figura 15 mostra um exemplo de uma FEP.

Figura 15 – Exemplo de um modelo de Folha de Estudo de Processo (FEP)

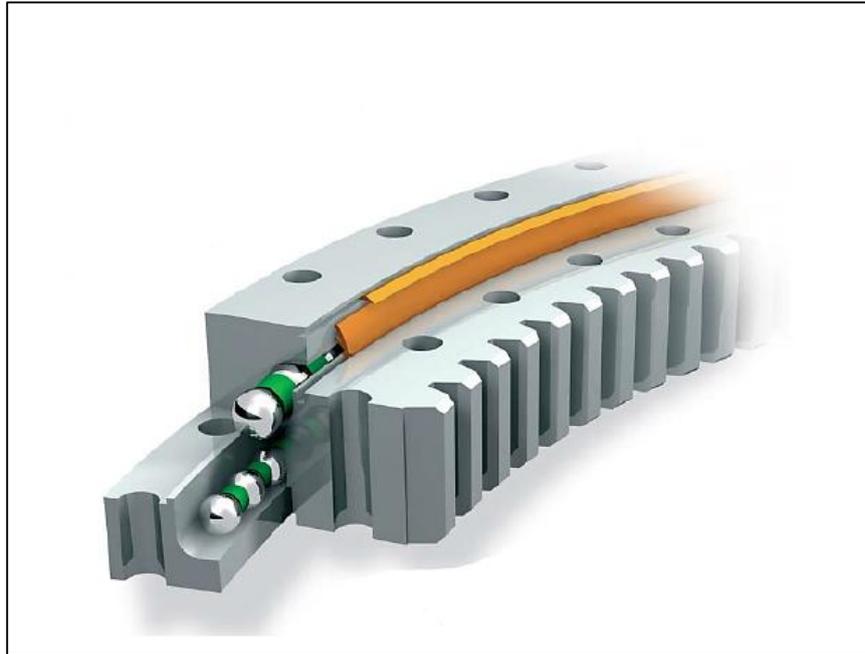
Folha de Estudo de Processo		Processo:							Observador:	Data / Hora:	Página:
										07 Maio 2007 14:40 h	1/1
Etapa do Processo	Operador								Máquina	Observações	
	Elemento de Trabalho		Tempo observado					Menor repetido	Tempo ciclo		
Montagem I	Pegar o tubo dobrado e apertar no dispositivo de fixação	6		6	5	5	4	5	5		Operador deve martelar para fixar
	Pegar o conector, colocar e grampear	4	4	4	3	4			4		
	Pegar a mangueira e colocar no dispositivo de fixação	4	5	4	4	4			4		Operador empilha as suas próprias mangueiras (peças)
	Iniciar o ciclo								1	4	
	Soltar e retirar	2	2	3	2	2	2		2		
	Prender a mola	8	6	7	6	7	5		6		

Fonte: *Lean Institute Brasil* (2010).

2.3 ROLAMENTOS DE GIRO

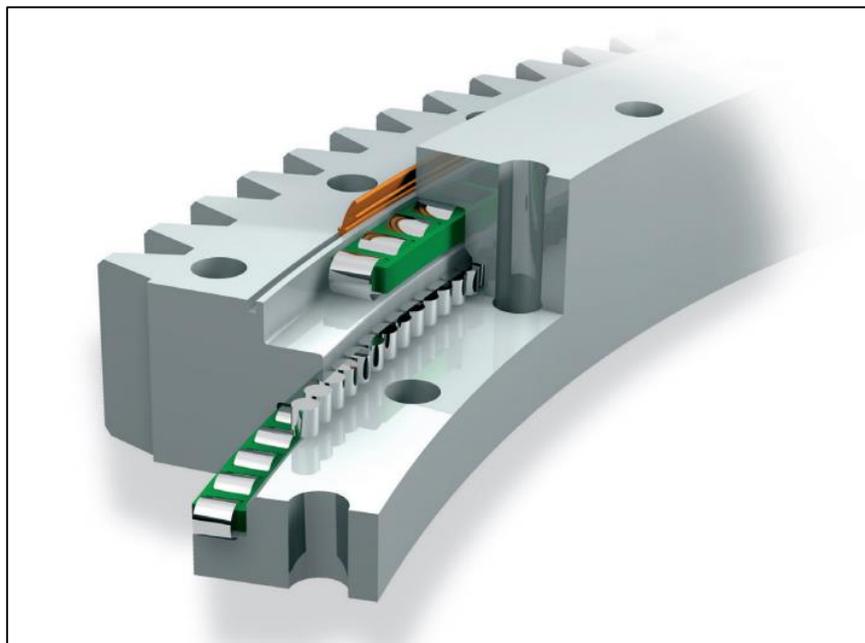
A IMO (2018) define rolamentos de giro como sendo rolamentos de grandes dimensões para a transmissão sincrônica de cargas axiais e radiais, e também momentos de tombamento. Os rolamentos de giro podem ser de esfera ou de roletes, e podem variar de diâmetro de 100 mm a 6000 mm, dependendo da aplicação. Geralmente são aplicados em sistema de giro de máquinas operatrizes, pás de torres de energia eólica, entre outros. As Figuras 16 e 17 mostram o exemplo de um rolamento de giro de esferas e um de roletes, respectivamente.

Figura 16 – Exemplo de um rolamento de giro de esferas



Fonte: IMO (2020).

Figura 17 – Exemplo de um rolamento de giro de roletes



Fonte: IMO (2020).

3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Neste capítulo serão contextualizadas informações relevantes da empresa, como o problema foi identificado e o desenvolvimento de cada etapa do Ciclo PDCA (planejar, executar, monitorar e agir) presentes no A3.

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA EMPRESA

A empresa em estudo possui 11 linhas de negócio e cada uma possui um gerente próprio, os quais respondem ao diretor industrial e o diretor financeiro, a linha em estudo atua no ramo de produção de rolamentos de giro de grande porte. A organização iniciou sua jornada *lean* em 2018, liderada pelo gerente de qualidade e apoiada pelo diretor industrial, começando com projetos piloto em algumas linhas de negócio para que após isso seja feita a expansão para as demais áreas.

A jornada de mudança de cultura vem sendo efetiva, pois é apoiada pela alta direção da empresa, e segundo Womack (2016) esse é um dos fatores cruciais para uma transformação. Uma mudança de cultura exige cautela, pois está ligada à mudança de paradigmas, deve-se iniciar projetos piloto em áreas selecionadas por meio de critérios bem definidos, e em seguida convencer as demais áreas por meio de resultados sólidos. A empresa estudada segue exatamente essa estratégia.

3.2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E DEFINIÇÃO DO PROJETO

Durante a reunião de análise crítica da alta direção da linha de negócio de rolamentos de giro de grande porte, no início do ano de 2019, na qual são avaliados os indicadores oficiais da gestão da qualidade, foi anunciado que a média dos tempos de fabricação de todos os rolamentos em 2018 foram 53% acima do planejado e, portanto, seria necessário um plano de ação, já que isso caracterizava-se como uma não conformidade para a empresa.

Como a linha de negócio em questão tinha planos de iniciar um projeto piloto para solucionar um problema utilizando-se da ferramenta A3 do *lean*, a gestão da qualidade atribuiu a ação ao supervisor de produção para aplicar a ferramenta A3 na redução do tempo de fabricação de um dos rolamentos mais impactantes em relação ao desvio identificado.

3.3 DEFINIÇÃO DA EQUIPE E RESPONSABILIDADES

Segundo Womack (2016), um A3 deve ser feito por 2 ou mais pessoas, dessas 2 pessoas essenciais, uma é o mentor (ou conselheiro) e outra o autor (ou líder), sendo o mentor responsável por garantir que o autor siga corretamente cada etapa do Ciclo PDCA e retenha aprendizado em cada uma delas, e o autor conduz o projeto seguindo estritamente a metodologia da ferramenta.

O padrão na empresa estudada é que o A3 seja realizado por um grupo de no máximo 6 pessoas. A primeira pessoa é o conselheiro (mesmo que mentor), que é uma pessoa com sólidos conhecimentos da filosofia *lean* e que tenha feito parte de um número considerável de projetos de soluções de problemas utilizando-se da ferramenta A3, é responsável por ensinar e garantir que o líder (mesmo que autor) siga a metodologia, e aprova ou não a conclusão de cada etapa do A3. A segunda pessoa é o líder, o qual possui grande conhecimento do processo e sinergia com outras áreas da empresa, sendo responsável por conduzir o projeto através de reuniões com a equipe e respeitar a metodologia de cada etapa da ferramenta A3. As outras 4 pessoas são chamadas de equipe, a qual deve ser multidisciplinar, ou seja, essas pessoas devem ser de diferentes áreas envolvidas no problema. Em resumo, cada pessoa que compõe o grupo do A3 deve ter um motivo para ter sido escolhida e suas responsabilidades devem ser alinhadas desde o início. O formulário de A3 usado no projeto é o mesmo formulário padrão usado na empresa em estudo.

A partir de todos os fatores mencionados, a equipe do A3 foi definida da maneira como mostra a Figura 18, no dia 15/03/2019:

Figura 18 – Composição do grupo do projeto

LÍDER:	Alex	EQUIPE:	Afonso, Josimar, Murilo e Paulo
DATA:	15/03/2019	CONSELHEIRO:	Denis

Fonte: Autor (2020).

O líder do A3, Alex, é o engenheiro de processos da linha de negócio de rolamentos e tem facilidade de comunicação com todos os funcionários do chão de fábrica, e também do administrativo, além de já ter recebido previamente um treinamento da ferramenta A3. Na composição da equipe, foram escolhidos o Afonso, Josimar, Murilo e Paulo. Afonso é o programador CNC das máquinas de usinagem que fabricam os rolamentos, possui facilidade

com projetos de melhoria e tem muito conhecimento dos processos. Josimar é analista de Planejamento e Controle de Produção (PCP), além de ser adepto a melhorias ele também seria capaz de alterar ou adaptar a programação da produção para facilitar o andamento do projeto, já que a linha não é dedicada a somente um modelo de rolamento. Murilo, autor desse trabalho de graduação, faz parte do time de melhoria contínua da empresa, ligado à gestão da qualidade, conhece a filosofia *lean* e ferramentas de soluções de problemas, dentre elas o A3. Paulo é operador de máquinas CNC, é ele quem tem o verdadeiro conhecimento dos processos no chão de fábrica e possui informações valiosas para o projeto A3. Por último, o conselheiro Denis, que faz parte do time de melhoria contínua da empresa a muitos anos, fez parte de um número considerável de projetos A3 e possui amplo conhecimento em *lean*.

3.4 DEFINIÇÃO DO TEMA E MOTIVO DA ESCOLHA DO TEMA

A definição do tema e motivo da escolha do tema é a etapa mais importante do A3, deve ser feita com cuidado e atenção aos detalhes, pois é a partir dela que o projeto vai se desenvolver e todas as outras etapas devem estar em sincronia com ela.

Em consenso com o grupo, o líder precisou escolher um modelo de rolamento que não tivesse atendido à meta do tempo de fabricação, de acordo com critérios de prioridade, e a partir disso definir o tema e o motivo da escolha do tema, e após isso apresentar essa etapa para o conselheiro.

O tema deveria ser claro e objetivo, de fácil entendimento. O motivo da escolha do tema, como o próprio nome diz, deveria contar uma breve história do problema e mostrar com dados e fatos que o mesmo era relevante para a empresa, e qual era o desvio em relação à meta. Como a linha de negócio de rolamentos vinha tendo dificuldades com a produção do rolamento tipo A modelo 1, o líder propôs ao grupo que levassem o projeto à frente com esse modelo, e assim foi feito. Após 2 reuniões o grupo consolidou o tema e motivo da escolha do tema conforme mostrado na Figura 19.

Figura 19 – Primeira definição do “tema e motivo da escolha do tema” do A3

TEMA
Redução do Tempo de Fabricação do Rolamento A1
1. MOTIVO DA ESCOLHA DO TEMA
Em função da retração do mercado de aero geradores brasileiro, por decisão estratégica da empresa assumimos a produção de diversos modelos de rolamentos para a filial, dentre eles o modelo A1, o qual representa 9% da demanda total de 2019. Sua meta do tempo de fabricação conforme indicador da qualidade é de 19 horas, entretanto estamos fabricando em 33.3 horas (75% acima da meta).

Fonte: Autor (2020).

Com esta etapa do A3 preenchida, o líder apresentou ao conselheiro para obter a aprovação necessária para passar para a próxima etapa de definição do estado atual do problema. Ao ler, o conselheiro ficou convencido que realmente existia um grande desvio no modelo A1, no entanto questionou se aquele realmente era a prioridade visando longo prazo, se realmente valeria a pena investir energia nele e não em outro modelo. Sem resposta para o questionamento do conselheiro, o líder não conseguiu a aprovação para a próxima etapa e teve que rever o tema e motivo da escolha do tema.

Após algumas reuniões com o grupo, e também com a ajuda do gerente da linha de negócio, o líder concluiu que a demanda de rolamentos de giro de roletes (tipo A) iria aumentar significativamente em relação aos modelos de rolamentos de esferas (tipo B). Dessa forma, o grupo escolheu o rolamento modelo B1, o qual também apresentava um grande desvio em relação à meta do tempo de fabricação, finalmente o tema e o motivo da escolha do tema ficou definido conforme mostra a Figura 20:

Figura 20 – Versão final do tema e motivo da escolha do tema

TEMA
Redução do Tempo de Fabricação do Rolamento B1
1. MOTIVO DA ESCOLHA DO TEMA
Conforme indicador da qualidade, de janeiro a março de 2019 operamos com uma média do tempo de fabricação de 68% acima do planejado em roteiro (considerando tipos A e B). Nesse mesmo ano 33% da produção será de rolamentos tipo B, que com o aumento da demanda passará a representar 81% até 2020. O rolamento B1 é o único em produção seriada até o momento e está operando 105% acima do tempo planejado (realizado: 39h; planejado: 19h).

Fonte: Autor (2020).

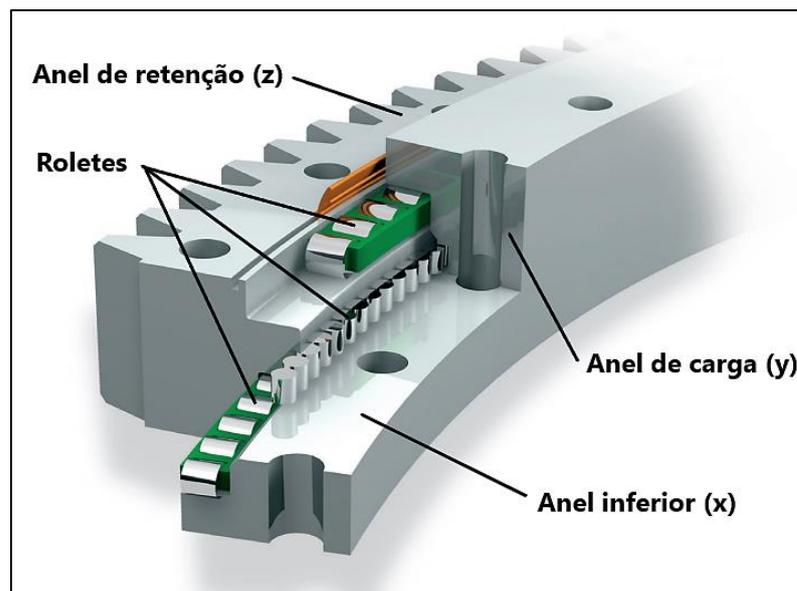
O líder apresentou a etapa novamente para o conselheiro, o qual se sentiu satisfeito com o trabalho dessa vez e concedeu a aprovação que o grupo precisava para passar para a próxima fase do A3.

3.5 DEFINIÇÃO DO ESTADO ATUAL

A partir do tema e motivo da escolha do tema, foi possível obter diretrizes para o estudo do estado atual, ou seja, o estado atual deveria ser direcionado para a análise da discrepância do tempo de fabricação do modelo de rolamento definido. Mais do que isso, o estado atual deveria ser descrito de maneira que fosse possível identificar a causa do problema que precisaria ser atacada.

O rolamento B1 é composto por 4 peças diferentes, o anel inferior (anel x), o anel de carga (anel y), o anel de retenção (anel z) e os roletes, conforme ilustra a Figura 21. Somente os anéis são fabricados na empresa e os roletes são comprados, com isso o grupo estudaria somente os tempos de fabricação dos anéis, pois era isso que o indicador da qualidade computava.

Figura 21 – Peças que compõe um rolamento de roletes



Fonte: Adaptada de IMO (2020).

A filosofia *lean* defende que não se deve analisar um problema confiando em dados registrados e suposições, os quais podem estar errados, é preciso ir até o chão de fábrica (*Gemba*) e ver de perto as possíveis causas do problema, ver o que realmente acontece.

Portanto o grupo acompanhou todo o processo de fabricação *in loco* para analisá-lo. Foi acompanhado um lote de cada anel do início ao fim, sendo que cada lote era composto por 9 peças. Durante o acompanhamento foram necessárias 2 pessoas, uma foi responsável por

cronometrar o tempo de fabricação, e a outra foi responsável por procurar possíveis oportunidades de melhoria e problemas nos processos e anotá-los.

O rolamento de modelo B1 passa por diversos processos de fabricação, que são a usinagem desbaste, têmpera por indução, desempenho, usinagem de dentes de engrenagem, furação, usinagem de acabamento, inspeção de qualidade, montagem e pintura, tais processos são identificados por siglas, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Processos de fabricação do rolamento B1

Processos de Fabricação do Rolamento B1	
P1	Usinagem de desbaste
P2	Têmpera por indução
P3	Desempeno
P4	Usinagem de dentes de engrenagem
P5	Furação
P6	Usinagem de acabamento
P7	Inspeção de qualidade
P8	Montagem
P9	Pintura

Fonte: Autor (2020).

Para a análise da fabricação dos anéis foi utilizado a ferramenta FEP (Folha de Estudo de Processo), com ela foi possível dividir um todo de um processo de fabricação em diversas operações menores, e assim cronometrar cada uma delas e também anotar todos os pontos relevantes, problemas e oportunidades de melhoria em cada operação, conforme exemplifica a Figura 22. Por exemplo, o processo de usinagem de desbaste (P1) foi dividido em diversas operações, tais como *setup*, colocação da matéria prima na máquina, centralização da matéria prima na máquina, usinagem do primeiro perfil, usinagem do segundo perfil, entre outras, a fim de facilitar a análise através do detalhamento dos processos.

Em cada etapa do processo de fabricação analisada foi anotado se a operação agregava ou não valor para o cliente ou se era inerente ao processo, a fim de facilitar a fase análise de causas do A3, pois de acordo com a filosofia *lean*, os maiores resultados vêm da eliminação de desperdícios, ou seja, na tratativa do que “não agrega valor”.

Figura 22 – Exemplo de uma FEP feita no processo de usinagem de desbaste (P1)

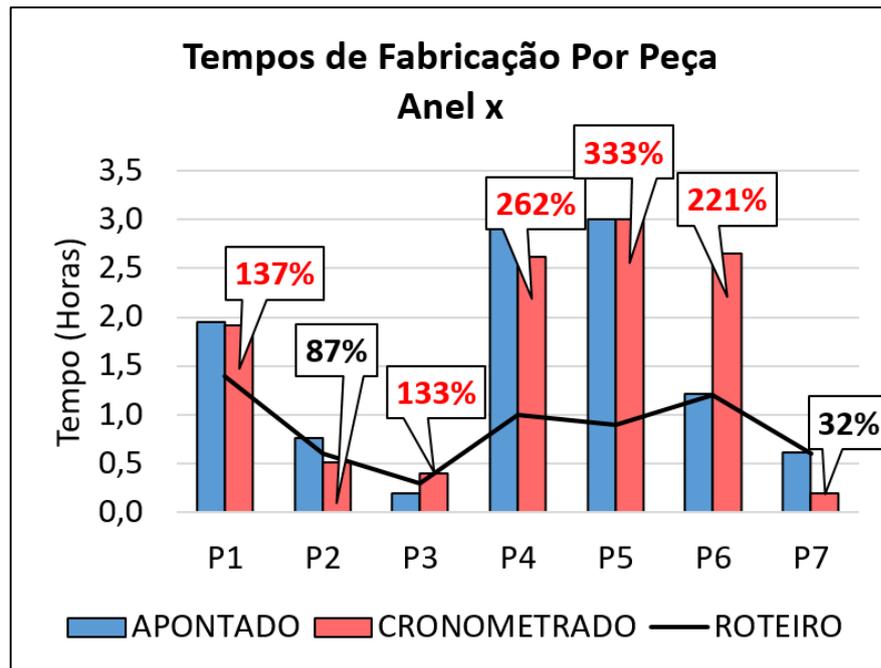
Folha de Estudo de Processo (FEP)					
Realizado por:	Murilo	Processo:	Usinagem de Desbaste (Anel x)		
Operador:	Diego	Código:	P1		
Sequência	Operação	Atividades	Problema: Melhoria Proposta	Agrega Valor?	Tempo
4	Desbaste	Usinagem para desbaste	<p>Máquina dá um giro de mesa para remover cavacos: realmente é necessário? Nas outras 2ª fases não existe isso;</p> <p>Demora (delay) para iniciar o giro de mesa de limpeza: Remover esse tempo de espera ou remover giro;</p> <p>Alguns operadores trocam inserto dentro da máquina e outros não: padronizar troca de inserto fora da máquina;</p> <p>Máquina deu erro e travou na hora de trocar ferramenta no magazine (aprox. 4,5 min): padronizar potenciômetro em 60% para não dar erro de sincronização.</p>	A	0:12:50
5	Acabamento	Usinagem de acabamento		A	0:08:00
6	Verificação	Limpar peça e virar o inserto	<p>Alguns operadores trocam inserto dentro da máquina e outros não: padronizar troca de inserto fora da máquina;</p> <p>Operador abre a porta após usinagem para verificar acabamento: Eliminar esse processo pois a pastilha não é usada mais de uma vez e os parâmetros já foram testados em protótipo.</p>	N	0:02:30
7	Usinagem	Usinagem canal		A	0:03:30
8	Retirar Peça	Bate ar na peça e mesa; tira cavacos maiores; mede diâmetro externo e altura canal	Atualizar desenho! Desenho está com sobremetal porém as cotas não consideram isso.	I	0:09:30
TOTAL					1:06:50

Fonte: Autor (2020).

Com os tempos de fabricação reais cronometrados de cada processo de fabricação em mãos, o grupo tirou uma média do número de anéis acompanhados e levantou um gráfico de barras para comparação dos tempos de fabricação reais (cronometrado), tempos de fabricação apontados pelos operadores (apontado) e meta dos tempos de fabricação (roteiro), por processo, a fim de observar as possíveis discrepâncias entre eles. O tempo de fabricação apontado pelos operadores foi colocado na comparação para ser analisado de existia algum tipo de problema no método de apontamento de horas que os operadores utilizavam.

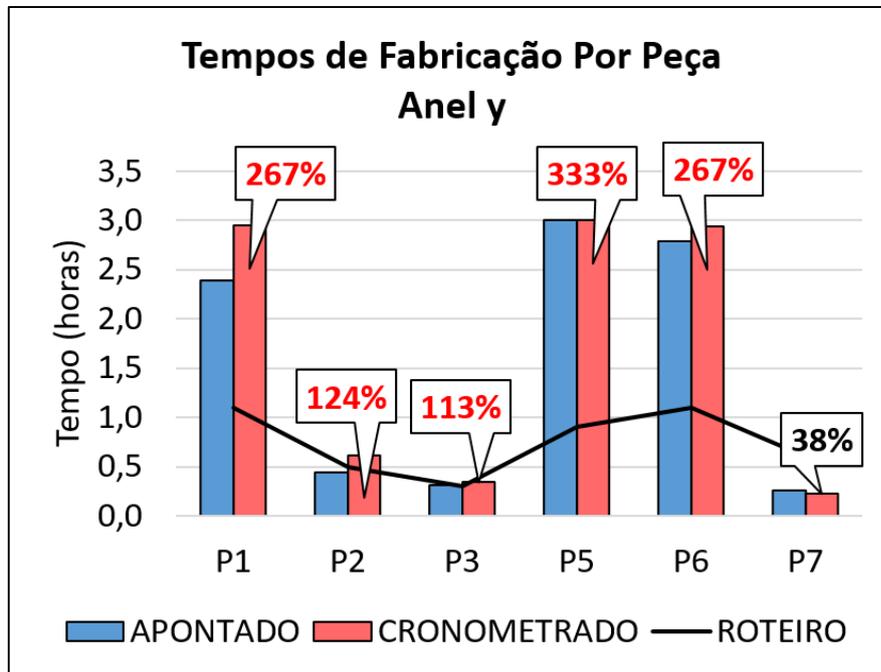
Foi feito um gráfico para cada anel e um gráfico para o rolamento montado. Também foi anotado no gráfico a porcentagem que o tempo de fabricação cronometrado (real) se encontrava em relação à meta (tempo de fabricação de roteiro), a fim de facilitar a análise, conforme mostram as Figuras 23, 24, 25 e 25.

Figura 23 – Comparação dos tempos de fabricação do anel x



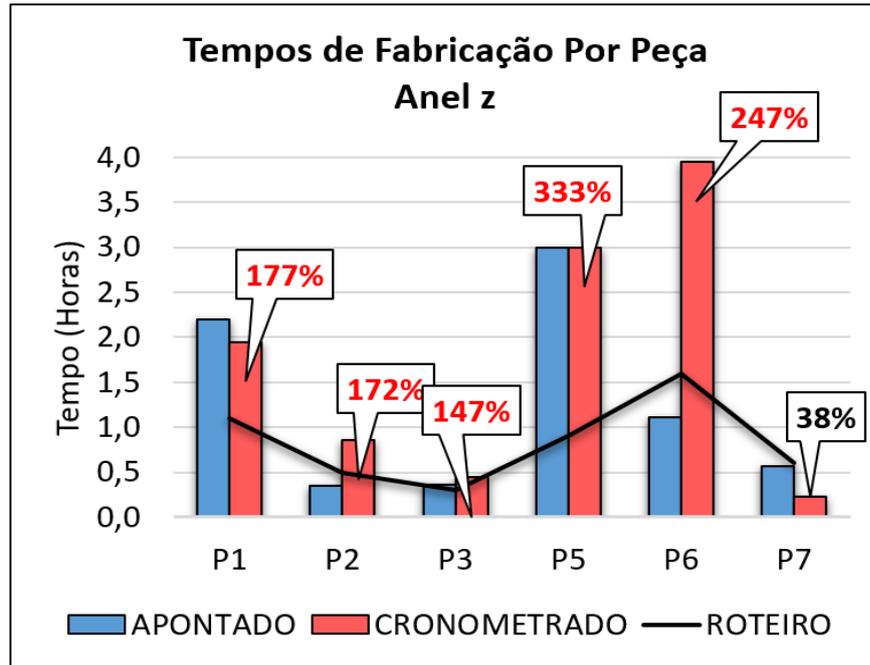
Fonte: Autor (2020).

Figura 24 – Comparação dos tempos de fabricação do anel y



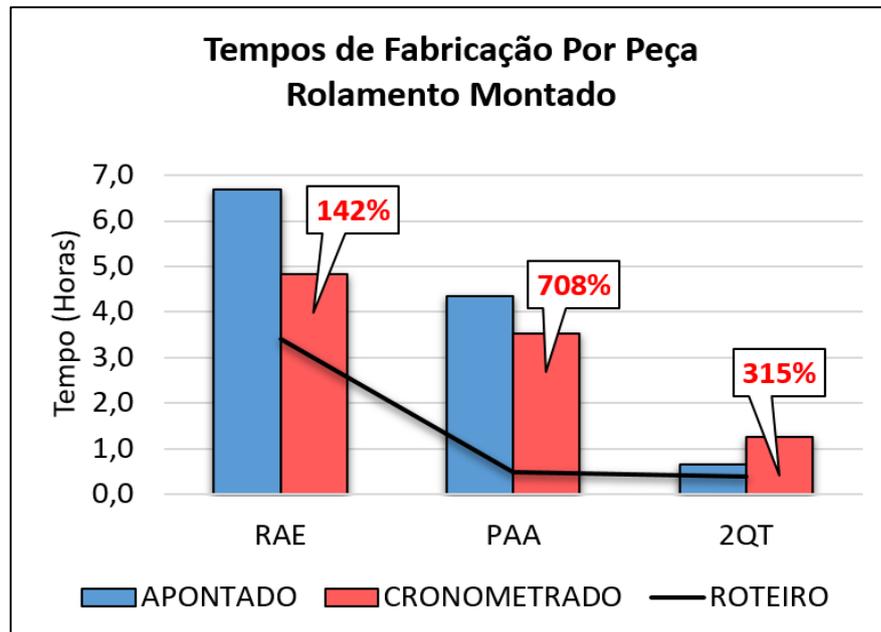
Fonte: Autor (2020).

Figura 25 – Comparação dos tempos de fabricação do anel z



Fonte: Autor (2020).

Figura 26 – Comparação dos tempos de fabricação do rolamento montado



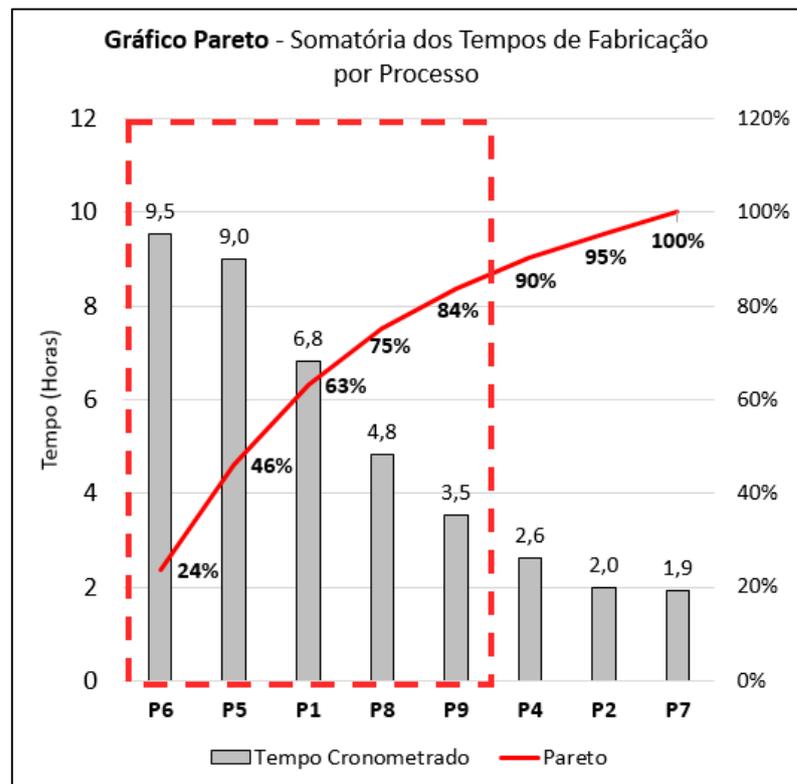
Fonte: Autor (2020).

Pelos gráficos de comparação foi observado que o método de apontamento de horas que os operadores utilizam estavam dentro do esperado, pois apresentaram pequena variação em relação ao tempo real cronometrado. No entanto o tempo real cronometrado estava muito acima do tempo planejado de roteiro, como já era esperado, pois o tempo de fabricação

cronometrado englobava tanto agregação de valor ao produto como também desperdícios (não agregação de valor).

Como o problema era grande, foi decidido usar o gráfico Pareto para fragmentá-lo em problemas menores e assim identificar prioridades, atacando os processos que mais impactavam no tempo de fabricação. Portanto os tempos de fabricação cronometrados de todos os anéis foram somados e separados por processo, conforme mostra a Figura 27. Baseando-se no teorema de Pareto, foram identificados os processos que representavam 84% do problema com o tempo de fabricação do rolamento estudado.

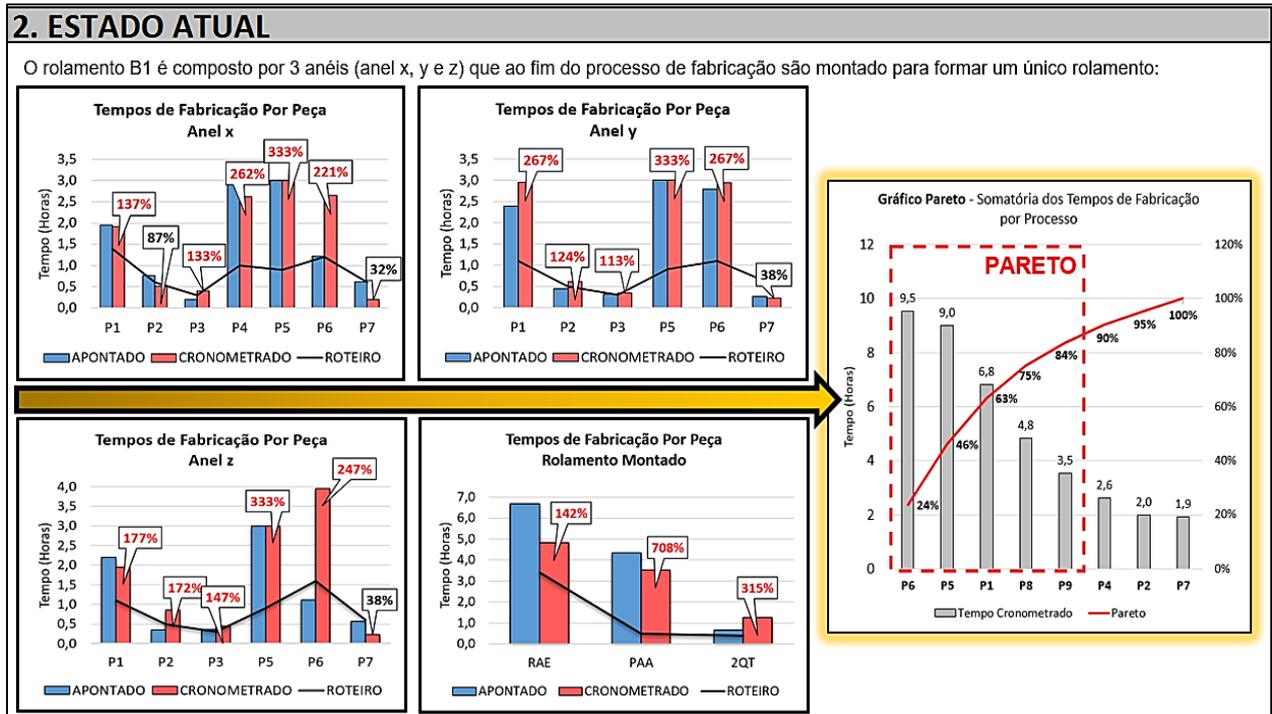
Figura 27 – Diagrama Pareto para identificação dos processos com maior impacto no tempo de fabricação



Fonte: Autor (2020).

O Diagrama de Pareto permitiu então identificar os maiores causadores do problema, que eram os processos de usinagem de acabamento (P6), furação (P5), usinagem de desgaste (P1), montagem (P8) e pintura (P9), os quais precisariam ser atacados com ações de melhoria. Dessa forma foi consolidada a fase do “estado atual”, já que esta etapa deveria entregar um problema para que fosse possível elaborar a fase “objetivos e metas”.

Figura 28 – Fase do estado atual do projeto A3



Fonte: Autor (2020).

O líder do A3 então apresentou a fase do “estado atual” (Figura 28) para o conselheiro, o qual aprovou o trabalho e autorizou o início da próxima fase “objetivos e metas”.

3.6 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS E METAS

O “estado atual” mostrou as divergências nos tempos de fabricação e identificou os processos com maior impacto, e a fase “motivo da escolha do tema” identificou a meta que deveria ser alcançada do tempo da fabricação. Dessa forma foi possível determinar os “objetivos e metas” do projeto, conforme Figura 29.

Esta fase deveria indicar quais os processos deveriam ser atacados (“o quê?”), quanto do problema que deveria ser diminuído (“quanto?”) e até quando deveria ser finalizado (“quando?”).

Figura 29 – Fase dos objetivos e metas do A3

3. OBJETIVOS E METAS
Tratar 84% do Diagrama Pareto, atacando os processos P6, P5, P1, P8 e P9 , e assim reduzir o tempo de fabricação de 39h para 19h até a semana 50 de 2019.

Fonte: Autor (2020).

Nesta fase, é importante traçar uma meta que converse com as fases anteriores, mesmo que ela pareça difícil num primeiro momento, isso faz com que o grupo se esforce para alcançar grandes resultados, e não busque apenas melhorar o que parece possível aos olhos dos especialistas no processo de fabricação.

3.7 ANÁLISE DAS CAUSAS POTENCIAIS

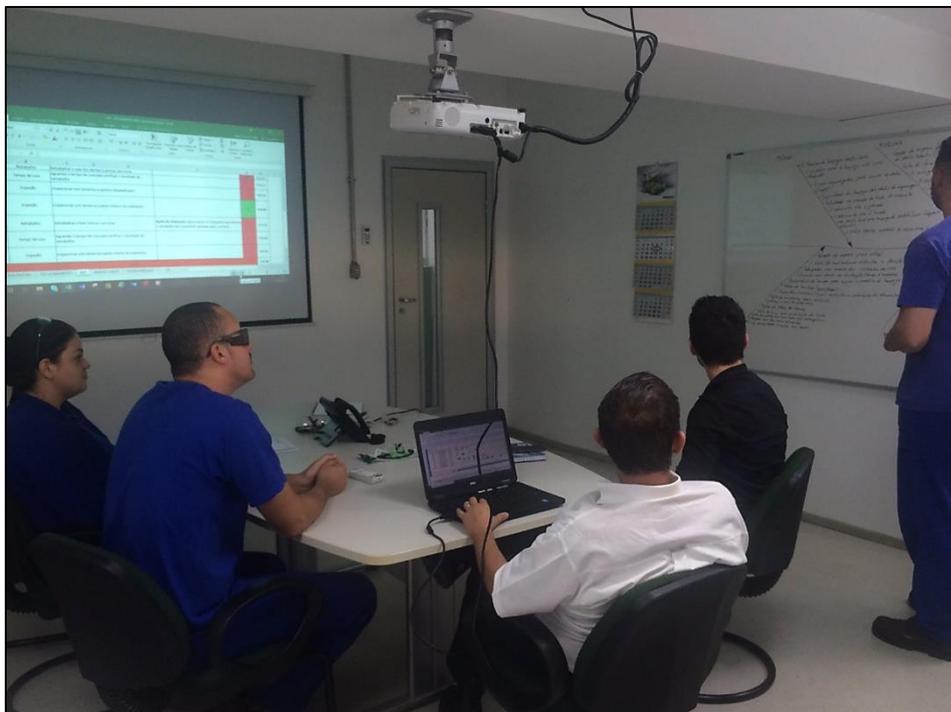
Neste momento, identificados os processos com maior impacto no problema do tempo de produção excedente, e também com os desperdícios e oportunidades de melhoria identificados através da FEP, foi necessária uma ferramenta para análise de causas potenciais com metodologia apropriada. O grupo definiu a ferramenta “Diagrama Ishikawa” para a análise, por ser uma ferramenta com uma ótima gestão visual e que orienta a explorar os 6M’s (mão de obra, método, material, máquina, medida e meio ambiente) para facilitar a identificar todas as causas raízes do problema.

Com a FEP foi possível encontrar as possíveis causas do problema, foram um total de 67 causas encontradas, e para todas as causas identificadas foi preciso fazer um 5 Porquês em cima de cada uma delas, pois as causas eram apenas um sintoma do problema, e o objetivo era encontrar de fato as causas raiz, para que assim fosse possível definir ações para eliminá-las definitivamente e o problema não voltasse mais a acontecer. Nessa fase foi extremamente importante envolver as pessoas do *Gemba* (chão de fábrica), quem realmente está próximo do processo e o conhece como ninguém (operadores de máquina, montadores, movimentadores, entre outros).

Portanto foi planejado um Diagrama Ishikawa para cada processo causador identificado no Pareto do “estado atual”, e foram definidos os colaboradores com maior envolvimento no chão de fábrica em cada processo para ajudar na análise de causas. Foi feita então uma reunião para cada processo, na qual estavam presentes o grupo do A3 e também as pessoas envolvidas do *Gemba*.

No primeiro momento da reunião foram apresentadas todas as causas encontradas na FEP, e com a ajuda das pessoas envolvidas no processo, foi discutido quais das 67 causas não fariam sentido serem analisadas. Feito isso, das 50 causas que foram decididas dar continuidade, cada uma delas foi classificada nos 6M's (mão de obra, método, material, máquina, medida e meio ambiente) e com a ajuda das pessoas envolvidas do processo (como mostrado pela Figura 30), foi desenvolvido um 5 Porquês para cada causa e encontradas suas respectivas causas raiz.

Figura 30 – Análise de causas sendo realizada através da Diagrama Ishikawa



Fonte: Autor (2020).

Com todas as causas raiz encontradas, as mesmas foram dispostas na fase “análise das causas potenciais” da folha A3, e em cada uma das 50 causas raiz foi identificada a necessidade para atacá-la, conforme Figura 31, para que assim o momento de definição das ações fosse facilitado.

Figura 31 – Fase da análise das causas potenciais do A3

4. ANÁLISE DAS CAUSAS POTENCIAIS	
> Necessidades identificadas por meio das causas raiz encontradas nos Ishikawa:	
CR1 - (TODOS) Fazer com que o empilhadeiraista não precise perguntar o que deve movimentar	CR25 - (P6) Reduzir o tempo de setup
CR2 - (TODOS) Fazer com que o operador não precise desperdiçar tempo de produção para buscar documentos	CR26 - (P5) Não contabilizar o tempo de subcontrato no indicador de tempo de fabricação da qualidade
CR3 - (P1) Diminuir o tempo que o operador gasta para apoiar o anel	CR27 - (P5) Permitir que a furação seja realizada na empresa
CR4 - (P1) Diminuir o tempo do ciclo de limpeza da peça	CR28 - (P8) Eliminar tempo de ajuste e colagem da vedação
CR5 - (P1) Garantir que o operador não utilize o resset quando abrir a porta da máquina	CR29 - (P8) Facilitar o tombamento para que o operador não precise colocar a vedação por baixo
CR6 - (P1) Eliminar as paradas na máquina por erro de sincronização	CR30 - (P8) Eliminar tempo de espera de mesa de verificação
CR7 - (P1/P6) Diminuir o tempo de máquina parada	CR31 - (P8) Garantir a estabilidade do processo de montagem
CR8 - (P1) Eliminar retrabalhos causados por erro de presset devido à etiqueta ilegível	CR32 - (P8) Reduzir número de setups da bomba de graxa
CR9 - (P1) Eliminar a necessidade do operador ir até a sala de ferramentas realizar presset	CR33 - (P8) Eliminar tempo de espera para montagem de rolamentos
CR10 - (P1) Eliminar a necessidade do operador ir até a sala de ferramentas buscar insertos	CR34 - (P8/P7/P9) Reduzir tempo de limpeza dos anéis
CR11 - (TODOS) Tornar o processo de apontamento de horas mais prático e robusto	CR35 - (P8) Reduzir o tempo de montagem dos roletes e espaçadores
CR12 - (TODOS) Criar método para garantir revisão de documentos de processo	CR36 - (P8) Eliminar a necessidade de retrabalho da tipagem
CR13 - (P6) Reduzir o tempo de setup entre as fases 1 e 2	CR37 - (P8) Eliminar a necessidade de retrabalho de tipagens ilegíveis
CR14 - (P6) Eliminar marcas de castanhas e evitar ovalização dos anéis	CR38 - (P8) Eliminar erros nos testes de batimento axial dos rolamentos
CR15 - (P1) Evitar que o operador tenha que procurar o paquímetro fora da CDS	CR39 - (P8) Eliminar a necessidade de retrabalho do chanfro do canal da vedação
CR16 - (TODOS) Diminuir a necessidade de tombamento dos anéis	CR40 - (P9) Eliminar os retrabalhos de pintura causados por falta de limpeza
CR17 - (P6) Eliminar a necessidade de seleção de anéis para formar pares	CR41 - (P9) Reduzir o tempo de limpeza de pistolas de pintura
CR18 - (P6) Evitar que peças da mesma MO andem separadas e diminuir estoque em processo no P6	CR42 - (P9) Eliminar necessidade de repassar macho nas roscas
CR19 - (P6) Reduzir o tempo do ciclo de limpeza dos anéis	CR43 - (P9) Evitar que as mangueiras atrapalhem a movimentação do pintor
CR20 - (P6) Reduzir o tempo da fase 1	CR44 - (P9) Eliminar retrabalhos causados por remoção de tinta úmida no chanfro dos furos
CR21 - (P6) Reduzir o tempo de centralização dos anéis	CR45 - (P9) Eliminar necessidade de repassar macho nas roscas onde são fixados os olhais
CR22 - (P6) Eliminar a necessidade de retrabalho do chanfro após usinagem no P6	CR46 - (TODOS) Eliminar retrabalhos causados por oxidação na superfície do rolamento
CR23 - (P6) Eliminar a necessidade de retrabalho dos furos antes de iniciar usinagem no P6	CR47 - (P9) Eliminar retrabalhos de pintura na região das roscas
CR24 - (P6) Eliminar necessidade de retrabalho dos anéis por causa de oxidação nos pontos de apoio	CR48 - (P9) Evitar que os anéis cheguem no P9 com cavacos nos furos
	CR49 - (P9) Reduzir tempo de limpeza dos anéis
	CR50 - (P9) Eliminar retrabalho de limpeza devido à excesso de graxa

Fonte: Autor (2020).

Encontradas as 50 causas raiz do problema, o próximo passo seria confirmar no *Gemba* (chão de fábrica) se aquelas realmente eram causas raiz, se elas já tinham sido resolvidas por algum outro projeto ou plano de ação da empresa, ou se já estavam sendo tratadas.

3.8 CONFIRMAÇÃO DAS CAUSAS RAIZ

Nessa fase, com as 50 causas raiz encontradas na etapa anterior, o grupo foi ao *Gemba* (chão de fábrica) para pegar mais informações sobre elas e decidir se elas realmente seriam confirmadas e depois definir as ações em cima de cada uma delas.

Durante essa análise das causas raiz, foram realizadas entrevistas com pessoas envolvidas e também visitado o *Gemba* para ver com os próprios olhos se elas realmente

persistiam causando problema de aumento do tempo de produção, e o resultado que o grupo obteve está apresentado na Figura 32.

Figura 32 – Fase da confirmação das causas raiz do A3

5. CONFIRMAÇÃO DA(S) CAUSA(S) RAIZ
<p>CR1 - Grande mudança de layout na área já planejada; CR21 - O operador e o programador informaram que não existe mais a dificuldade; CR27 - Projeto já existente em andamento; CR28 - A ação não facilitaria a montagem; CR38 - O problema não aconteceu mais. / CR3; CR5 à CR9; CR14; CR20; CR24; CR26; CR29; CR31; CR33; CR35; CR39; CR46 e CR47 - Confirmadas através de FEP no processo de fabricação do rolamento B1. / CR2; CR4; CR10 à CR13; CR15 à CR18; CR19; CR22; CR23; CR25; CR31; CR32; CR36; CR37; CR40 à CR45; CR48 à CR50 - Confirmadas através de FEP, porém com impacto menor que 5 min ou que não serão implementadas nesse momento.</p>

Fonte: Autor (2020).

O resultado foi que 5 das 50 causas raiz não fariam sentido serem continuadas, pois ou não eram um problema de fato do chão de fábrica, ou já estavam sendo tratadas por algum outro projeto da empresa. Das que restaram, foi identificado que algumas delas trariam uma melhoria no tempo de menos de 5 minutos por rolamento, portanto visando a próxima etapa foi dado prioridade para as causas raiz que trariam um retorno de melhoria de mais de 5 minutos por rolamento.

3.9 PLANO DE AÇÃO

Foram então definidas ações para atacar cada uma das causas raiz definidas como prioridade na fase anterior. Para cada uma delas foram escolhidas as pessoas do grupo para realizar a gestão de cada ação, assim como a semana planejada de finalização das ações em comum acordo com a gerência e o conselheiro, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – fase do plano de ações do A3

6. PLANO DE AÇÃO				
CAUSA	DESCRIÇÃO DA AÇÃO	RESPONSÁVEL	PRAZO	LIPRAM
CR3	> Criar dispositivo para facilitar o assentamento do anel na mesa do P1	William	Semana 42	
CR5	> Modificar o parâmetro atrelado ao resset que força a abertura das castanhas	William	Semana 42	
CR6	> Corrigir o problema de sincronização do posicionamento dos magazines	Alex	Semana 42	
CR7	> Criar instrução de trabalho para padronizar troca de insertos fora da máquina e treinar colaboradores (setup externo)	Alex/ Paulo	Semana 42	
CR8, CR9	> Criar local para disposição de ferramentas com problemas e criar rota de reposição	Josimar	Semana 39	
CR14	> Verificar calibração das castanhas e revisar pressão necessária para fixação correta sem danificar a peça	Afonso/ William	Semana 42	
CR20	> Remover fase 1 do anel x e otimizar a fase 1 dos anéis y e z no P6	Afonso/ William	Semana 42	
CR24	> Modificar o material do apoio entre anéis para não causar mais oxidação	Alex	Semana 39	
CR26	> Retirar o tempo do processo terceirizado do indicador de tempo de fabricação oficial da empresa	Josimar/ Murilo	Semana 38	
CR29	> Desenvolver dispositivo para tombamento do rolamento B1 na montagem	Alex	Semana 39	
CR31	> Criar instrução de trabalho para padronizar a montagem do B1	Murilo	Semana 42	
CR33	> Disponibilizar um carrinho a mais para separação de componentes de montagem	Josimar	Semana 37	
CR34	> Criar alerta de critério de limpeza para P7, P8 e P9	Alex	Semana 42	
CR35	> Criar dispositivo para montagem dos roletes e espaçadores	Murilo/ Paulo	Semana 44	
CR39	> Aumentara a profundidade do chanfro no programa do P1	Afonso/ William	Semana 42	
CR46	> Criar instrução de trabalho para preservação dos anéis em processo	Paulo	Semana 42	
CR47	> Criar alerta para que o P8 sempre use parafusos sem aba	Alex	Semana 36	

Fonte: Autor (2020).

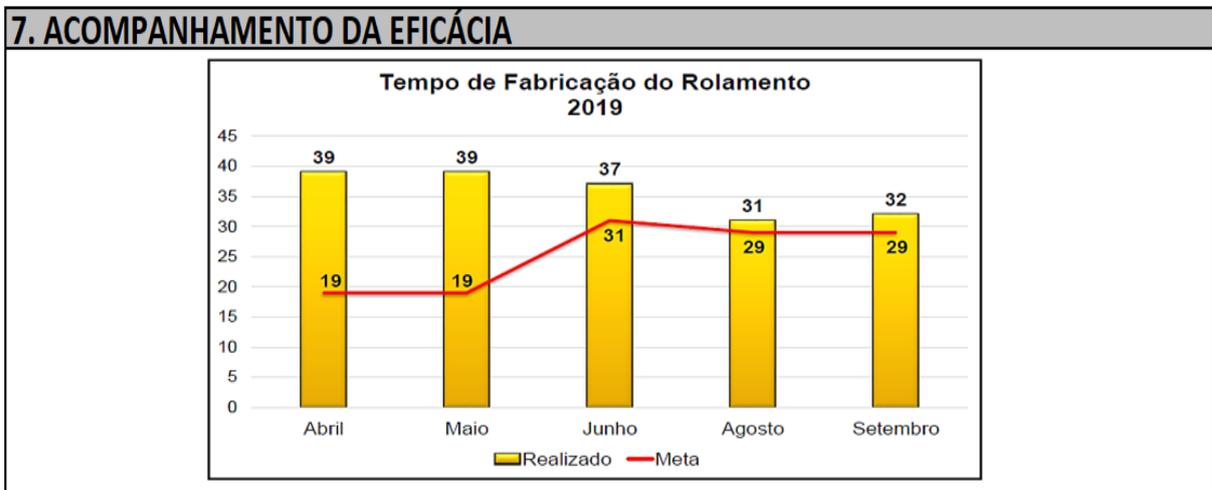
Os responsáveis pela gestão de cada ação garantiram então seu acompanhamento e execução, dentro do prazo acordado no A3.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ACOMPANHAMENTO DA EFICÁCIA

Após a implementação das ações foi realizado o acompanhamento da eficácia do plano de ações definidos pelo grupo, a fim de verificar se o resultado atendia o objetivo do projeto A3. Para isso foi necessário analisar a evolução dos tempos de fabricação registrados desde o início até o momento em que as ações foram finalizadas, como mostra a Figura 33.

Figura 33 – Fase do acompanhamento de eficácia do projeto A3



Fonte: Autor (2020).

O resultado da análise mostrou que o tempo de fabricação do rolamento estudado foi reduzido de 39 horas para 32 horas, resultando numa diminuição de 7 horas no tempo de fabricação. Como pode ser observado, a meta oficial do tempo de fabricação foi revisada e alterada pela gerência da área, de 19 horas para 29 horas, pois durante o desenvolvimento do projeto, foi constatado que a meta estava muito baixa devido à equívocos nos critérios de definição no início da criação do processo do rolamento estudado.

Portanto com base na verificação de eficácia, o conselheiro observou que as ações foram eficazes a ponto de entregar um resultado muito próximo da meta atual da empresa, e orientou o grupo a preparar a etapa de conclusão do A3.

4.2 ETAPA DA CONCLUSÃO NO A3

Com base na análise da fase de verificação de eficácia, o grupo constatou que o resultado foi próximo da meta atual da empresa, porém para ficar dentro da meta era preciso reduzir mais 3 horas do tempo de fabricação. Portanto foi necessário escrever nas conclusões as recomendações para chegar à meta estabelecida, como mostra a Figura 34.

Figura 34 – Etapa da conclusão no A3

8. CONCLUSÃO
Com a implementação das ações foram reduzidas 7 horas do tempo de fabricação, e o rolamento agora encontra-se apenas 10% fora da meta. Para estar dentro da meta é preciso reduzir mais 3 horas do tempo de fabricação, o que será possível realizando-se as demais ações definidas como menor prioridade pela equipe.

Fonte: Autor (2020).

Com isso o grupo deu o projeto A3 como finalizado, e orientou a supervisão da área de produção a prosseguir com a implementação das demais ações definidas como menor prioridade durante o desenvolvimento do trabalho, para que assim maiores resultados fossem alcançados.

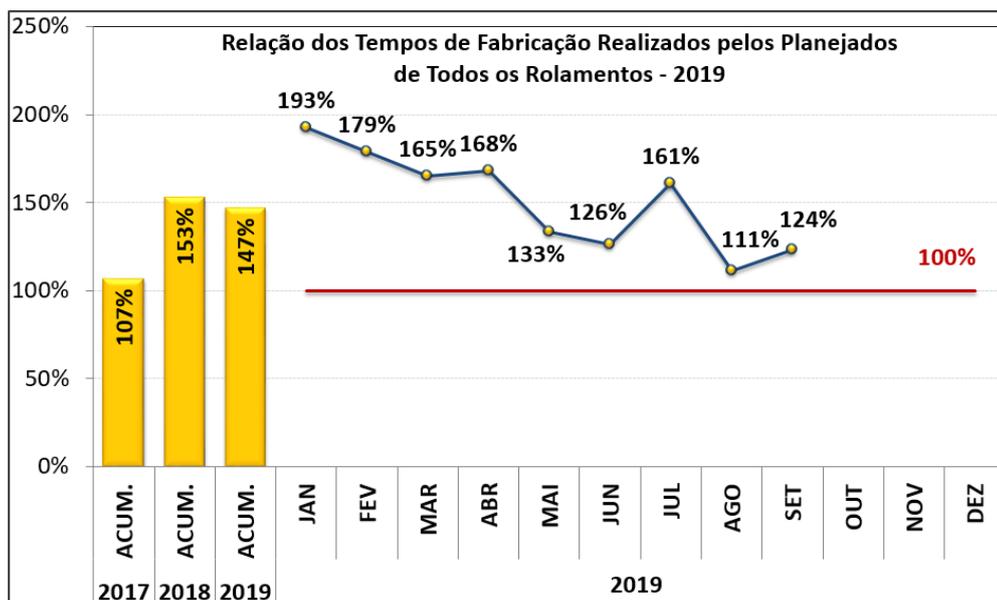
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelo fato da empresa estar em fase de início da implementação da cultura *lean*, este trabalho representou o primeiro projeto de análise e soluções de problemas utilizando-se da ferramenta A3 na linha de negócio de rolamentos de giro de grande porte. Os resultados foram satisfatórios pois no início do projeto o tempo de fabricação do rolamento estudado estava 105% fora da meta, e ao final do projeto o tempo de fabricação ficou apenas 10% fora da meta, no entanto o grupo deixou os próximos passos definidos para que a meta fosse alcançada.

Além do ganho em eficiência, o projeto também trouxe ganhos intangíveis com relação à cultura de melhoria contínua na área, através do aprendizado de métodos de resoluções de problemas difundido entre todos os colaboradores do setor e clarificação do que são desperdícios, pois o grupo buscou envolver o máximo de pessoas durante o desenvolvimento das análises e melhorias.

Para comprovar a hipótese de que o movimento do grupo no desenvolvimento do projeto de melhoria contínua gerou um impacto positivo no setor como um todo, foi constatado que houve uma melhora significativa desde o início do trabalho, em abril de 2019, no indicador oficial da qualidade que mostra o atendimento à meta do tempo de fabricação de todos os produtos, conforme o Figura 35.

Figura 35 – Indicador oficial da empresa que mostra o atendimento à meta do tempo de fabricação geral de todos os rolamentos



Fonte: Autor (2020).

Portanto isso mostra, como já dito por Womack (2016), que a melhoria contínua é o fator crucial para uma empresa manter-se competitiva num mercado acirrado, no qual os clientes exigem cada vez maior segurança, melhor qualidade, maior desempenho nas entregas e menores custos, além também de melhorar o ambiente de trabalho dentro da empresa, pois os projetos geridos com metodologias e pensamentos *lean* são capazes de conectar áreas da empresa e criar uma sinergia de muito aprendizado e cooperativismo.

A partir do trabalho desenvolvido, espera tornar-se base para quaisquer outros estudos que necessitem o entendimento sobre análise e soluções de problemas, especificamente utilizando-se da metodologia da ferramenta A3, independente da área de aplicação ou do problema vivenciado, e assim auxiliar empresas no processo de transformação baseadas na melhoria contínua.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, Junico; ALVAREZ, Roberto; KLIPPEL, Marcelo; BORTOLOTTI, Pedro; PELLEGRIN, Ivan de. **Sistemas de produção**: conceitos e práticas para projetos e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008. 324 p. *E-book*.
- BRASSARD, J. **Qualidade**: ferramentas para uma melhoria contínua. São Paulo: Quality Mark, 1985.
- CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC controle da qualidade total**: no estilo japonês. 8. ed. Nova Lima - MG: INDG Tecnologia e Serviços, 2004. 256 p. *E-book*.
- CARPINETTI, L.C.R. **Gestão da qualidade**: conceitos e técnicas. São Paulo: Atlas, 2010.
- CARVALHO, M.M *et al.* **Gestão da qualidade**: teoria e casos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- DELGADO, I.R.R. **Análise da metodologia A3**: o caso de uma empresa de distribuição de energia. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- DENNIS, Pascal. **Produção Lean simplificada**: um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo. 2. ed. rev. Porto Alegre: Bookman, 2008. 190 p.
- FAESARELLA, Ivete S.; SACOMANO, José B.; CARPINETTI, Luiz C.R. **Gestão da qualidade**: conceitos e ferramentas. São Carlos - SP: Universidade de São Paulo, 2006. *E-book*.
- FALCONI, Vicente. **O verdadeiro poder**: práticas de gestão que conduzem a resultados revolucionários. Nova Lima - MG: INDG Tecnologia e Serviços, 2009.
- IMO. **Rolamentos de giro**: catálogo de produtos. São Paulo: IMO, 2018. *E-book*.
- JURAN, J.M; GRZYNA, F.M. **Controle da qualidade handbook**: conceitos, políticas e filosofias da qualidade. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991. v. 1.
- LIKER, Jeffrey K.; CONVIS, Garly L. **O modelo Toyota de liderança Lean**: como conquistar e manter a excelência pelo desenvolvimento de lideranças. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- LUYSTER, T. **Creating your lean future state**: how to move from seeing to doing. New York: Quality Press, 2006.
- NARUSAWA, Toshiko; SHOOK, John. **Kaizen express**: fundamentos para a sua jornada lean. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2009.
- RIBEIRO, Pedro Miranda de Figueiredo. **Aplicação da metodologia A3 como instrumento de melhoria contínua em uma empresa da indústria de linha branca**. Orientador: Prof.

Dr. Kleber Francisco Esposto. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, 2012.

SELEME, Robson; STADLER, Humberto. **Controle da qualidade**: as ferramentas essenciais. 2. ed. rev. e atual. Curitiba - PR: Editora IBPEX, 2010. 181 p. *E-book*.

SILVA, D. C. **Metodologia de análise e solução de problemas**: curso de especialização em Qualidade Total e Marketing. Florianópolis: Fundação CERTI, 1995.

SHIMOKAWA, Koichi; FUJIMOTO, Takahiro. **O nascimento do Lean**: conversas com Taiichi Ohno, Eiji Toyoda e outras pessoas que deram forma ao modelo Toyota de gestão. Porto Alegre: Bookman, 2011. 296 p.

SHOOK, John. **Gerenciando para o aprendizado**: usando o processo de gestão A3 para resolver problemas, promover alinhamento, orientar e liderar. São Paulo: *Lean Institute* Brasil, 2008.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. **A máquina de mudou o mundo**: a arma secreta do Japão, da produção em massa para a produção enxuta: a segunda revolução automobilística. 10. ed. rev. Rio de Janeiro: Campus, 2004. 323 p.

WOMACK, James. **Caminhadas pelo Gemba**. 2. ed. aum. São Paulo: *Lean Institute*, 2016. 326 p.

WOMACK, James. **Trabalho padronizado**: apostila de curso. São Paulo: *Lean Institute* Brasil, 2010.