

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Thaís Coelho Pereira Lima

**A METODOLOGIA SEIS SIGMA APLICADA NO PROCESSO
DE REDUÇÃO DE PROBLEMAS DE POROSIDADE EM
COMPONENTE DE SISTEMA *POWERTRAIN***

Taubaté – SP

2017

Thaís Coelho Pereira Lima

**A METODOLOGIA SEIS SIGMA APLICADA NO PROCESSO
DE REDUÇÃO DE PROBLEMAS DE POROSIDADE EM
COMPONENTE DE SISTEMA *POWERTRAIN***

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Mecânica do Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade de
Taubaté.

Orientador: Prof. MSc. Paulo Cesar Corrêa
Lindgren

Co-orientadora: Profa. MSc. Maria Regina
Hidalgo de Oliveira Lindgren.

Taubaté – SP

2017

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas / Unitau - Biblioteca das Engenharias**

L732m

Lima, Thaís Coelho Pereira

A metodologia seis sigma aplicada no processo de redução de problemas de porosidade em componente de sistema powertrain. / Thaís Coelho Pereira Lima. - 2017.

35f. : il; 30 cm.

Monografia (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2017

Orientador: Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren,
Coorientador: Profa. Ma. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.

1. Gestão da qualidade. 2. Porosidade. 3. Seis sigma. 4. Sistema powertrain. I. Título.

THAÍS COELHO PEREIRA LIMA

**A METODOLOGIA SEIS SIGMA APLICADA NO PROCESSO DE REDUÇÃO DE
PROBLEMAS DE POROSIDADE EM COMPONENTE DE SISTEMA *POWERTRAIN***

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia Mecânica do
Departamento de Engenharia Mecânica da
Universidade de Taubaté.

Data: 01/11/2017

Resultado: 9,7

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Paulo César Corrêa Lindgren

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Profa. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Alúcio Pinto da Silva

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Pois, qual de vós, pretendendo construir uma torre, não se assenta primeiro para calcular a despesa e verificar se tem os meios para concluí-la?

Lucas 14:28

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, a capacitação concedida e a força e perseverança em superar todos os obstáculos.

Aos meus pais e minha irmã pela fé e confiança a mim depositada. Obrigada pelo apoio e incentivo em todas as minhas decisões, e por ser um exemplo a ser seguido.

Aos meus amigos por me apoiarem e me auxiliarem com ensinamentos que me enriqueceram como ser humano e me fazem crescer cada dia mais na fé.

Agradeço por ter tido ao meu lado por muito tempo uma pessoa que só me agregou coisas boas e só me fez crescer e evoluir.

Ao meu orientador, professor MSc. Paulo Lindgren e co-orientadora professora MSc. Regina Lindgren, agradeço as ideias compartilhadas, os conselhos e comentários valiosos que contribuíram para a execução do trabalho.

RESUMO

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa embasada em um estudo de caso único, desenvolvido em uma empresa de fundição de caixas de câmbio para automóveis. Esta empresa utiliza a Metodologia Seis Sigma para melhorar os processos em alguns de seus setores, a fim de padronizar seus procedimentos para reduzir problemas de qualidade e as variabilidades, identificadas como causas-raiz dos referidos problemas. Constatou-se que a metodologia foi capaz de orientar e direcionar as equipes responsáveis pelos projetos para que atingissem as metas estipuladas. Ainda foi possível identificar que a abrangência do Seis Sigma permite ganhos em finanças, em tempo e em qualidade de serviço. Pode-se concluir que, em particular, a utilização de ferramentas de qualidade na área automobilística vem desempenhando um papel fundamental para a resolução de problemas, dentre as mais variadas fontes, restando claro que as organizações devem fazer investimentos para serem aplicadas ferramentas como o Seis Sigma, visto que a dimensão dos benefícios conseguem estender-se pelas mais diversas áreas, permitindo a resolução de qualquer problema e a melhoria da qualidade e da produtividade de produtos, processos ou serviços oferecidos pela organização e suas subsidiárias..

Palavras-chave: Gestão da qualidade; Porosidade; Seis Sigma; Sistema *Powertrain*.

ABSTRACT

With a research based on a single case study, developed in a foundry company of gearboxes for automobiles. This company uses the Six Sigma Methodology to improve processes in some of its sectors, in order to standardize the procedures to reduce quality problems and the variability identified as root causes of these problems. It was verified that the methodology was able to guide and direct the teams responsible for the projects to reach the stipulated goals. Likewise, it was possible to identify that the scope of Six Sigma allows gains in finances, time and quality of service. Can be concluded that, in particular, the use of quality tools in the automotive area has been playing a key role in solving problems. Among the most varied sources, it is clear that organizations must make investments to apply tools such as Six Sigma, since the size of the benefits can extend across the most diverse areas. Allowing the resolution of any problem and improving the quality and productivity of products, processes or services offered by the organization and your subsidiaries.

Keywords: Quality management; Porosity; Six sigma; Powertrain System

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA.....	12
1.2 OBJETIVO.....	13
1.2.1 Objetivo Geral.....	13
1.2.2 Objetivos Específicos.....	13
1.3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	13
1.4 RELEVÂNCIA DO ESTUDO.....	14
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	14
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	15
2.1 História do Seis Sigma.....	15
2.2 Atuação do Seis Sigma nas empresas.....	16
2.3 Classificação dos Belts.....	18
2.4 DMAIC.....	20
2.5 <i>Powertrain</i> e seus componentes.....	21
2.6 Transmissão manual.....	22
3 METODOLOGIA.....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
4.1 Detecção do problema.....	26
4.2 Identificação da causa raiz do problema.....	27
4.3 Fluxo de inspeção visual final.....	29
4.4 DPMO – Defeitos por milhão de oportunidades.....	31
5 CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de Conversão Sigma.....	15
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição de amostras e intervalos.....	17
Figura 2 – Pirâmide de divisão dos <i>belts</i> no Seis Sigma.....	19
Figura 3 – Passos do DMAIC.....	20
Figura 4 – Esquema mostrando o <i>Powertrain</i> com transmissão manual.....	22
Figura 5 – Esquema de transmissão veicular.....	23
Figura 6 – Caracterização de defeito em laboratório metalográfico.....	26
Figura 7 – Modelo de transmissão antes da melhoria.....	27
Figura 8 – Modelo de transmissão pós melhoria.....	28
Figura 9 – Fluxo de inspeção visual – ANTES.....	29
Figura 10 – Fluxo de inspeção visual final – DEPOIS.....	30
Figura 11 – DPMO antes das melhorias.....	31
Figura 12 – DPMO pós melhorias e custos.....	32

1 INTRODUÇÃO

As empresas tornaram-se lugares competitivos nos mais variáveis setores. No atual mercado competitivo, em que as empresas, estão constantemente aperfeiçoando seus produtos, processos e serviços, para a obtenção de maiores proporções no mercado, é fundamental para a sua sobrevivência, a eliminação de desperdícios e aperfeiçoamento dos recursos utilizados para a qualidade total de seus produtos e satisfação de seus clientes. Na sua totalidade, as empresas buscam meios, métodos e ferramentas para permanecerem ativas, desenvolvendo seus produtos com a máxima qualidade e, ainda assim, gerando lucros.

Neste cenário, esta monografia apresenta um estudo de caso único através da aplicação da Metodologia Seis Sigma, para um componente de sistema *Powertrain*, que apresenta um elevado índice de vazamento, após a montagem completa no cliente final, acarretando em perdas financeiras significativas para a empresa em que são detalhadas as etapas da metodologia aplicada e, sendo finalizado, pela conclusão das análises realizadas, ações tomadas e resultados obtidos.

A empresa foco deste estudo atua no setor de fundição de alumínio de componentes de alta complexidade, fornecendo peças de transmissão e componentes estruturais, para empresas automobilísticas.

Na busca pela excelência no segmento de Qualidade, a empresa e seus clientes podem se beneficiar, tornando possível a otimização, redução e resolução de problemas de qualidade, potencializando o desenvolvimento interno e externo da empresa.

1.1 PROBLEMA

A fim de atingir um nível de qualidade e confiabilidade para satisfazer e até superar as expectativas dos clientes, problemas de qualidade devem ser minimizados a todo custo. No período econômico em que o país vive, as falhas podem ser definitivas para a sobrevivência de qualquer empresa.

Diante desse cenário, busca-se analisar como a metodologia Seis Sigma pode auxiliar na redução significativa de problemas de qualidade em componentes de um sistema *Powertrain*.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Avaliar a aplicabilidade da metodologia Seis Sigma para a resolução de problemas de qualidade em uma empresa de fundição de alumínio de componentes de alta complexidade em caixas de câmbio manual

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar os principais problemas que afetam a qualidade e causam vazamento em componentes de um sistema *Powertrain*;
- Compreender os sistemas de Gestão da Qualidade e identificar onde a metodologia Seis Sigma pode atuar para a resolução de problemas no componente caixa de câmbio;
- Identificar e compreender os benefícios que um sistema de Gestão da Qualidade pode proporcionar a uma empresa e à satisfação de seus clientes.
- Compreender a análise e ações que foram implementadas para a resolução do problema abordado no estudo de caso específico.

1.3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Considerando a composição de um conjunto completo do sistema *Powertrain* e a complexidade de seus componentes e sua funcionalidade, optou-se por analisar apenas um modo de falha do componente, visto que o modo de falha escolhido é um dos principais problemas detectados no cliente: porosidade no alojamento do selo seis.

A proposta de aplicabilidade dos princípios e técnicas do Seis Sigma será elaborada e implementada para a resolução do modo de falha.

1.4 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

Trata-se de uma aplicação prática da metodologia seis sigma na resolução de um problema de vazamento que, detectado externamente, gera grandes custos, além de afetar diretamente a imagem da empresa.

De acordo com Werkema (2004), é uma das ferramentas que atualmente está sendo amplamente difundida nas empresas como estratégia de alcance de metas, estabilidade operacional, análise e resolução de falhas e obtenção de novos clientes.

Para se alcançar o diferencial no mercado, as organizações precisam e devem investir em qualidade dos seus produtos e serviços e em ferramentas para atingir cada vez mais a satisfação dos clientes e, conseqüentemente, a sobrevivência das empresas.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Organizou-se a estrutura do trabalho em capítulos, conforme descrição a seguir:

- Capítulo 1 - Apresenta, em linhas gerais, a introdução ao tema, o problema, o objetivo geral, específico, delimitação e relevância do estudo;
- Capítulo 2 - Apresentação da Revisão Bibliográfica sobre os conceitos utilizados no decorrer do trabalho;
- Capítulo 3 - Neste capítulo aborda-se a metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto;
- Capítulo 4 - Capítulo destinado ao estudo de caso, apresentação e discussão da elaboração da metodologia proposta;
- Capítulo 5 – Conclusão desta monografia.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 História do Seis Sigma

A metodologia Seis Sigma foi criada em 1987 na empresa Motorola pelo engenheiro sênior e cientista da Divisão de Comunicação, Bill Smith. O presidente da empresa na época, Bob Galvin, estipulou a meta de aumentar dez vezes o desempenho da Motorola em até cinco anos. Para este atingir a meta, Smith propôs a metodologia onde o limite para a tolerância de um processo era de seis desvios padrões do valor central, ou Seis Sigma (6σ) (Rodrigues, 2006, p.4).

A classificação e conversão em sigma e suas respectivas quantidades de defeitos por milhão de oportunidades, bem como suas porcentagens de erros e acertos, estão exemplificadas na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Tabela de Conversão do Sigma

Nível Sigma	Sigma (1,5 deslocado)	DPMO (Defeitos por milhão)	% Erro	% Acerto
1 σ	- 0.5	691462	69,14620%	30.85380%
2 σ	0.5	308538	30,8537%	69.14630%
3 σ	1.5	66807	6.68070%	93.31930%
4 σ	2.5	6210	0.62100%	99.37900%
5 σ	3.5	233	0.02330%	99.97670%
6 σ	4.5	3.4	0.00034%	99.99966%
7 σ	5.5	0.019	0.0000019%	99.999991%

Fonte: Akshai Anandm (2009) adaptado pela autora

O sistema Seis Sigma abrange todas as atividades de uma empresa, visando ações de melhoria em todos os seus setores. Seu principal objetivo é reduzir os defeitos nos processos, produtos e serviços, reduzindo, conseqüentemente, os custos em reparos, retrabalhos, inspeções e desperdícios, melhorando sua relação e satisfação de clientes internos e externos, bem como, sua eficiência e,

consequentemente, sua competitividade. Para isso, utiliza-se como estratégia a seleção correta dos projetos a serem desenvolvidos. Segundo Rotondaro (2002) a seleção do projeto correto é essencial para que os recursos disponíveis sejam destinados de maneira precisa, alinhando à estratégia da empresa.

A metodologia Seis Sigma mostrou-se muito audaciosa, corrobora dessa afirmação Linderman, Schroeder, Choo (2001, apud CARVALHO et al, 2008, p. 3) ao afirmarem que “quanto mais desafiadoras as metas dos projetos, de maiores magnitudes serão os resultados. Estima-se que a Motorola tenha economizado mais de 17 bilhões de dólares com o Seis Sigma até hoje” (CONE, 2001, p. 31 apud MAUKIEWICZ, SUSKI, 2009, p. 32). O sucesso incomparável dessa ferramenta incentivou e fez com que empresas do mundo todo a adotassem, entre elas estão General Electric, Ford, Caterpillar, Microsoft, Siemens, Citibank, lembrando que a ferramenta é aplicável e eficiente não somente no ambiente industrial, mas em organizações dos mais diversos ramos e segmentos (MAUKIEWICZ, SUSKI, 2009, p.32).

2.2 Atuação do Seis Sigma nas empresas

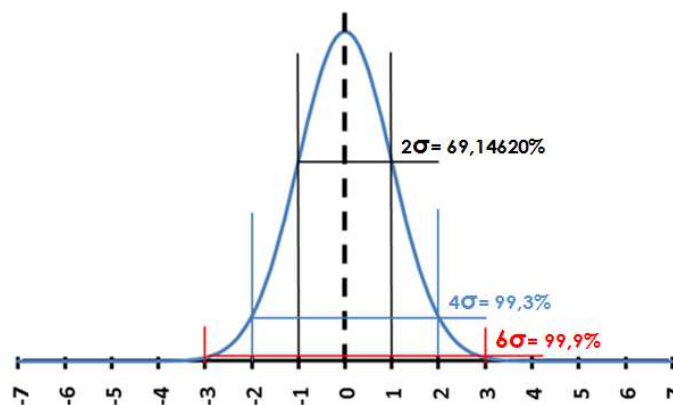
No que diz respeito à qualidade, é de conhecimento dos profissionais desse setor as ferramentas adotadas e os métodos aplicados no Seis Sigma, para a redução e eliminação da variabilidade em um processo produtivo. A metodologia em questão utiliza um método único e de extrema eficácia.

Segundo Rotondaro (2006) o Seis Sigma pode atuar de diversas maneiras nas empresas e pode ser observado na Figura 1 abaixo :

- **Benchmark:** é uma ferramenta utilizada para a comparação do nível de qualidade de processos, produtos, operações, características críticas, equipamentos, maquinários, divisões e departamentos.
- **Meta:** é um objetivo visando à qualidade. A meta do Seis Sigma é buscar e trabalhar próximo do zero defeito, erro ou falha. Entretanto, não é obrigatoriamente o zero. Na verdade, o que se espera é 3,4 partes por milhão de unidades defeituosas, 3,4 defeitos por milhão, 3,4 falhas por milhão ou 3,4 ppm;

- **Medida:** é uma medida para definir ou determinar o nível de qualidade. Quando o número de sigmas é menor, tal como em um processo Dois Sigma, o nível de qualidade é baixo. Deste modo, o número de rejeitos ou unidades defeituosas em tal processo tende a ser alto. Comparado a um processo Quatro Sigma, observa-se um nível de qualidade significativamente alto. Concluindo, o número de sigmas e o nível de qualidade de determinado produto é diretamente proporcional.
- **Filosofia:** é uma filosofia de melhoria contínua e definitiva do processo e redução de sua variação na busca infindável pelo zero defeito.
- **Estatística:** é um cálculo para cada característica crítica do produto, a fim de aumentar a qualidade, avaliando o desempenho em relação à especificação ou à tolerância;
- **Estratégia:** é uma estratégia baseada na união entre o projeto, produto, sua fabricação, sua qualidade final, sua confiabilidade, ciclo de controle, inventários, reparos no produto, *scraps* e defeitos, incluindo falhas no processo de entrega de um produto a um cliente e o grau de influência e satisfação que os mesmos possuem.
- **Visão:** é uma visão de levar uma organização a ser melhor do ramo. É o processo da busca da redução da variação, rejeitos, erros, defeitos e falhas. É ir além dos objetivos, estender a qualidade e superar expectativas do cliente.

Figura 1 - Distribuição de amostras e intervalos



Fonte: SEIS SIGMA (2006)

2.3 Classificações dos Belts

Por existir tantos métodos e ferramentas de qualidade, que visam melhorar os processos, o Seis Sigma destaca-se pela formação de uma equipe que possui treinamentos em técnicas estatísticas e práticas de análise e solução de problemas, e pela grande necessidade de comprometimento e dedicação de toda a equipe envolvida.

RYBORS (2011) fornecem uma amostra das vantagens do Seis Sigma relacionando aos diversos programas de qualidade já há mais tempo inseridos na literatura, ao alcançarem resultados práticos de grande valia e relevantes sobre os efeitos positivos do Seis Sigma, quando comparado a outras propostas de melhoria, por exemplo: programa de gestão do desempenho, gestão da qualidade total; manutenção produtiva total. Baseado em estudos de caso prolongados, os autores evidenciam que a metodologia Seis Sigma e o programa de gestão do desempenho são as maiores contribuintes para o desempenho estrategista.

Para tornar possível o alcance do objetivo inicial de um projeto Seis Sigma, é necessário o envolvimento desde o mais alto nível da companhia, até os níveis menores, pois permite a criação de estratégias baseadas em dados e fatos que, colocadas em prática, exigirão mudanças nos hábitos da organização como um todo.

De acordo com Anandm (2009) a organização da equipe para alcançar o objetivo é de extrema importância e necessidade e pode ser exemplificada na Figura 2 abaixo:

Green Belts: Os *Green belts* tradicionalmente atuam como funcionários de suporte, mas também atuam como gerentes de projetos em suas áreas de responsabilidade. Ao atuar como gerentes de projeto utilizam ferramentas semelhantes aos *Black belts* com um nível mais baixo de característica analítica;

Black Belts: Os *Black belts* são os líderes de equipe dos principais projetos de Seis Sigma. Estes lidam com os projetos de maior complexidade, dificuldade e maior impacto e retorno ao processo e negócio. Como líderes de equipe, os mesmos utilizam ferramentas de rastreamento e gerenciamento de projetos, bem como ferramentas de melhorias contínuas de processos e análise estatística.

Master Black Belts: Os *Master Black belts* recebem um profundo e intenso treinamento em ferramentas estatísticas e melhoria de processos. Exercem um papel semelhante ao do *Black Belt*, mas trabalham com um número maior de

equipes. Normalmente, gerenciam com sucesso várias equipes de melhoria e, dessa forma, possuem uma vasta experiência acumulada. Em algumas empresas atuam como consultores em gerenciamento de mudanças junto ao conselho administrativo e a outros gerentes. Em determinadas companhias, os *Black Belts* e especialmente os *Master Black Belts* ocupam funções nas quais se dedicam em tempo integral ao Seis Sigma. Nesses casos, espera-se que eles orientem vários times de melhorias de uma só vez.

Champions: Os Champions são a direção da iniciativa global de Seis Sigma e são responsáveis perante os executivos e a unidade de negócios operacionais pelos resultados. Eles estão no assento de líderes e devem ter uma linha de visão direta sobre pessoas e objetos, e principalmente deve conhecer constantemente o pulso da atividade da metodologia.

Figura 2 - Pirâmide de divisões dos *belts* no Seis Sigma

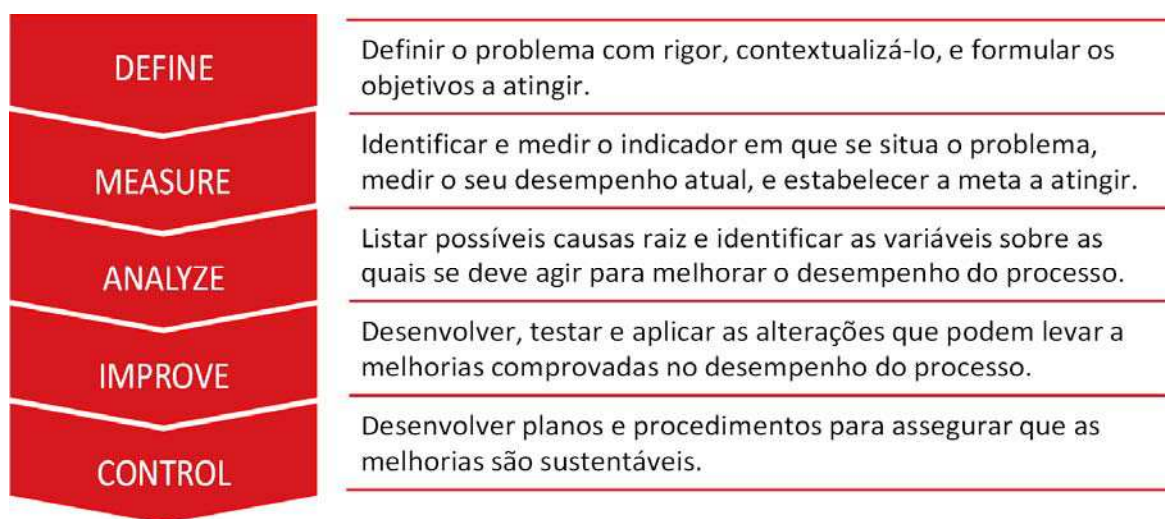


Fonte: www.cmmi.com.br/six-sigma-cmmi-mais-qualidade (2009).

2.4 DMAIC

A metodologia Seis Sigma possibilita uma moldura que utiliza uma grande e ampla caixa de ferramentas com uma estrutura de gerenciamento. Esse roteiro de metodologia de resolução de problemas é conhecido como DMAIC, proveniente das iniciais Definir, Medir, Analisar, Implementar e Controlar, sequencialmente. Esta e muitas outras metodologias de resolução de problemas são baseadas na mesma lógica do ciclo PDCA (Planeje, Execute, Verifique, Ações), introduzido por W. Edwards Deming. A figura abaixo mostra como ambos estão relacionados e como, de certa forma, o DMAIC refina o PDCA, organizando e dando continuidade de melhoria das etapas, de acordo com a Figura 3 a seguir:

Figura 3 - Passos do DMAIC



Fonte: www.goleansixsigma.com (2002)

As entrelinhas do roteiro DMAIC são ainda variáveis entre bibliografias, das mais abrangentes às mais específicas. De qualquer forma, é importante que se mantenha uma abrangência em um roteiro para que este possa ser aplicado a qualquer tipo de problema ou oportunidade, não se restringindo às especificações, como um projeto fabril extremamente quantitativo, por exemplo, considerando os passos e as ferramentas disponíveis, segundo Pande et al (2001) e Rontodaro et al (2002).

Diretrizes para utilização da ferramenta DMAIC (Pande et al, 2001):

- Tenha em mente um objetivo claro sempre que você decidir usar uma ferramenta e aplica-la para solucionar o seu problema de qualidade, não a use apenas porque “está no livro” ou “ainda não foi usada”;
- Considere as suas melhores opções e selecione a técnica que satisfaça suas necessidades, após o consenso das ideias da equipe envolvida;
 - Não dificulte ou complique adeque o detalhe e a complexidade da ferramenta à situação;
 - Adapte o método às suas necessidades;
 - Se uma ferramenta não estiver funcionando, pare e escolha pela ferramenta ou metodologia adequada para solucionar e atender as necessidades.

2.5 Powertrain e seus componentes

De acordo com Visnic (2017) o sistema Powertrain é composto por vários componentes importantes em um veículo, incluindo o motor, transmissão e todo o sistema que abrange a transmissão. Juntos, todos os componentes desse sistema ajudam e realizam o mecanismo de movimento em um automóvel. Todos os carros vêm equipados com uma variedade de motores, incluindo gasolina, diesel e motores elétricos. Alguns motores incluem injeção de combustível ou turbo compressor projetado para aumentar a potência do sistema.

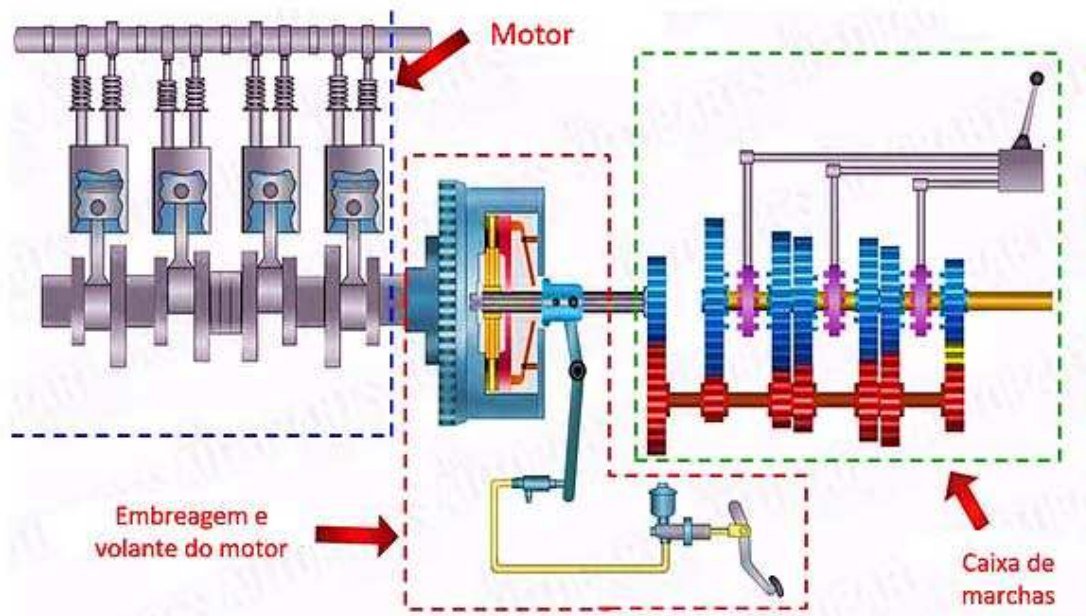
Carros devem ter uma transmissão automática ou manual. Ou geralmente tem várias velocidades para frente, neutras e uma engrenagem reversa. Transmissões de carros elétricos normalmente possuem apenas uma marcha para frente.

Drivetrain: potência encaminhada através da transmissão para o sistema de transmissão ajudando e realizando o movimento giratório das rodas.

A alimentação do sistema de transmissão é enviada para a parte frontal, traseira ou para as quatro rodas, dependendo do projeto inicial do veículo. Outros componentes importantes de um sistema *powertrain* são descritos por vezes como incluídos, partes tais como o conjunto de carcaça do diferencial, embreagens e

injetores de combustível, em veículos híbridos, o *powertrain* inclui a bateria, pode-se observar na Figura 4 a seguir:

Figura 4 - Esquema mostrando o *Powertrain* com transmissão manual



Fonte: www.portal.saebrasil.org.br (2016)

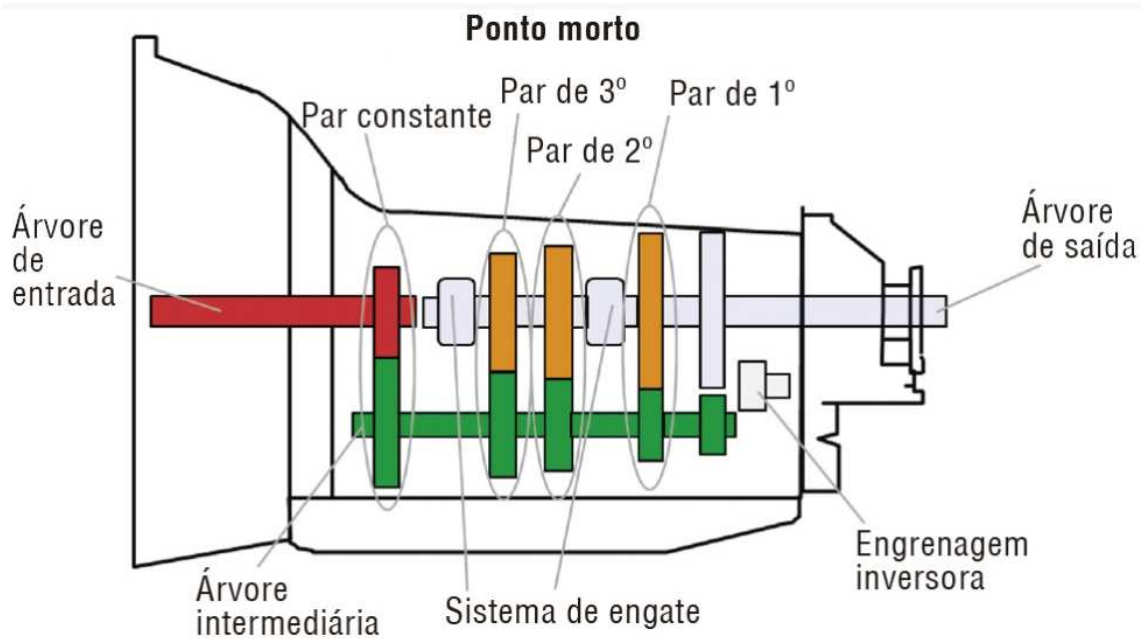
2.6 Transmissão manual

Segundo Naves (2016) a função de uma transmissão é converter a tração disponível da unidade de acionamento, requisitos satisfatórios colocados no veículo: a estrada, o motorista e o meio ambiente. A competitividade técnica e econômica é essencial nesse componente do sistema *powertrain*. Dentro além do desempenho de condução e transporte de passageiros e veículos comerciais, as transmissões são de importância central em relação à confiabilidade, combustível, consumo, facilidade de operação e segurança.

Os engenheiros e designers de desenvolvimento de transmissões devem ter uma compreensão do desenvolvimento histórico de seus produtos. Então eles podem estimar que progresso ainda é possível e qual potencial tecnológico e mais

atualizado no setor automobilístico atual e esse conhecimento elogia o de design sistemático da transmissão, conforme Figura 5 a seguir:

Figura 5 - Esquema de transmissão veicular



Fonte: revistaih.com.br/transmissao-manual-funcionamento (2014)

De acordo com Perestrello (2014) a transmissão dos veículos, também é conhecida como câmbio ou caixa de mudanças, tem a função de adequar o torque gerado pelo motor ao torque necessário na roda. Assim, ela ajusta o regime de trabalho do motor (torque e rotação) às necessidades de aceleração, capacidade de rampa, velocidade máxima e economia de combustível. A transmissão possui múltiplas relações de velocidade, permitindo que o veículo em baixa velocidade tenha força para acelerar rapidamente e capacidade de vencer grandes aclives e, simultaneamente, possa desenvolver alta velocidade final.

3 METODOLOGIA

Segundo Yin (2010), o estudo de caso é indicado para investigações empíricas através de fenômenos contemporâneos em um contexto real, em que os limites não são pré-estabelecidos, dados não podem ser manipulados e evidências possuem grandes variedades.

O estudo de caso apresentado utiliza a metodologia Seis Sigma aplicada no processo de redução de problemas de porosidade em componentes de um sistema Powertrain, em uma empresa de fundição de alumínio de componentes de alta complexidade. Trata-se de um problema da qualidade em que a detecção se dá no cliente, após a montagem final. Ao aplicar a metodologia Seis Sigma utilizou-se o processo DMAIC com a identificação do problema, análise e realização da melhoria necessária para otimização do processo. Visando identificar a causa raiz do problema, a empresa utilizou como apoio o indicador interno do cliente (FTTC), o Benchmarking da empresa situada na Espanha e o Diagrama de Causa e Efeito, que considera as possíveis causas que afetam o processo.

Para a empresa, a parte mais importante está relacionada ao Material e Método, conforme evidenciado no acompanhamento das ações. As possíveis causas levantadas referentes ao Material tratam-se da temperatura e fluxo do metal e em relação ao Método a possível causa é relacionado à geometria do molde. Observou-se no processo de enchimento do molde que o fluxo de material e temperatura eram inadequados, aprisionando ar na região do selo, o qual não era eliminado após a solidificação. Verificou-se que o perfil do raio próximo ao selo gerava o aprisionamento de ar durante o fluxo de enchimento do alumínio. Foram aplicadas ações direcionadas para as melhorias necessárias, como a padronização do canal de alimentação e a melhoria da geometria do molde, melhorando a saída do ar aprisionado. Embasados nestas melhorias, obtiveram-se os resultados positivos a seguir.

O estudo tomou como base uma única entidade e fez as observações e coletas de dados sobre a mesma de forma intensiva. Segundo Yin (2005), quando a investigação ocorre dessa maneira, pode ser caracterizada como estudo de caso único.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio das análises desenvolvidas neste estudo de caso, conseguiu-se identificar as potenciais causas-raiz, oportunidades e melhorias no processo e produto de uma caixa de câmbio manual. A partir do entendimento das análises, verificaram-se as melhorias e ações necessárias para a diminuição de reclamações de qualidade e gastos com a não qualidade, gerando o aumento da satisfação do cliente sob a ótica dos princípios e técnicas da metodologia Seis Sigma.

4.1 Detecção do problema

A detecção do problema abordado no estudo de caso: porosidade no alojamento do selo ocorre após a montagem final do componente completo, na operação tanque de estanqueidade, visto que, só é possível tal detecção devido ao esforço mecânico gerado após a prensagem do componente de vedação.

De acordo com as análises realizadas em laboratório, não foram observadas diferenças significativas entre três amostras analisadas do problema, uma vez que as três apresentaram microestrutura grosseira na região do selo, bem como a presença de bolhas de ar, gerando assim o vazamento após esforço de prensagem conforme Figura 6 a seguir:

Figura 6 - Caracterização de defeito em laboratório metalográfico



Fonte: Elaborado pela autora

4.2 Identificação da causa raiz do problema

Para a identificação das possíveis causas-raiz desse problema de qualidade foi utilizado como apoio o Benchmarking Nemak Espanha, ferramenta que consiste no processo de busca de melhorias práticas já utilizadas numa determinada indústria e que conduzem ao desempenho de melhorias.

Após análise foram levantados os potenciais a seguir:

- Fluxo de metal incorreto na direção do selo, possibilitando assim a presença de ar na região do selo, foi verificado que após a solidificação do alumínio, o ar não é eliminado.
- Fluxo de metal gerado pela condição do canal de alimentação do molde faz com que exista uma presença de metal gerando uma “ilha” possibilitando o aprisionamento de ar na região do selo.
- Perfil e geometria do raio próximo ao selo gera o aprisionamento do ar durante fluxo de enchimento do alumínio no molde.

Os três pontos acima levantados podem ser observados na Figura 7 a seguir:

Figura 7 - Modelo de transmissão antes da melhoria



Fonte: (NEMAK), 2017 – adaptado pela autora.

Após o levantamento dos pontos acima mencionados, foram tomadas algumas ações para a melhoria do produto:

- Realizada a produção de um lote com a modificação da geometria atualizada do selo, peça bruta, que apresenta resultado positivo na simulação.
- Alteração do tempo de compactação de 8 para 9 segundos, assegurando o completo ciclo da solidificação da alimentação.
- Produção com a temperatura na região do selo em torno de 180 graus, devido as análises de peças OK e NOK, foi verificado a necessidade de elevação da temperatura na região.

As melhorias podem ser observadas na Figura 8 a seguir:

Figura 8 - Modelo de transmissão pós a melhoria

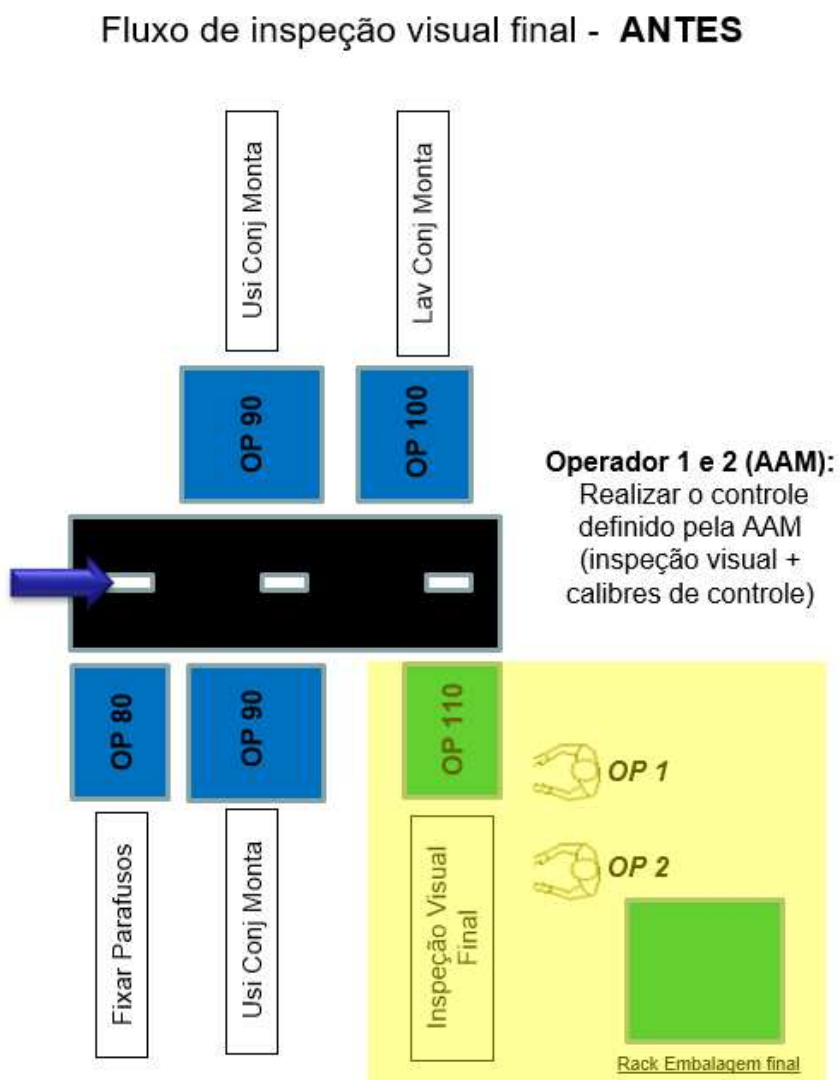


Fonte: (NEMAK), 2017 – adaptado pela autora.

4.3 Fluxo de inspeção visual final

Verificou-se durante a análise das potenciais causas raiz do problema, a necessidade de alteração do fluxo de inspeção visual final, referente a este modo de falha. Fez-se necessária a inspeção das peças após a usinagem em 100% da produção e também a contratação de empresa terceira para validar a inspeção interna das peças onde foi notada a necessidade de inclusão da iluminação com LED para inspeção da região do selo, conforme Figura 9 a seguir:

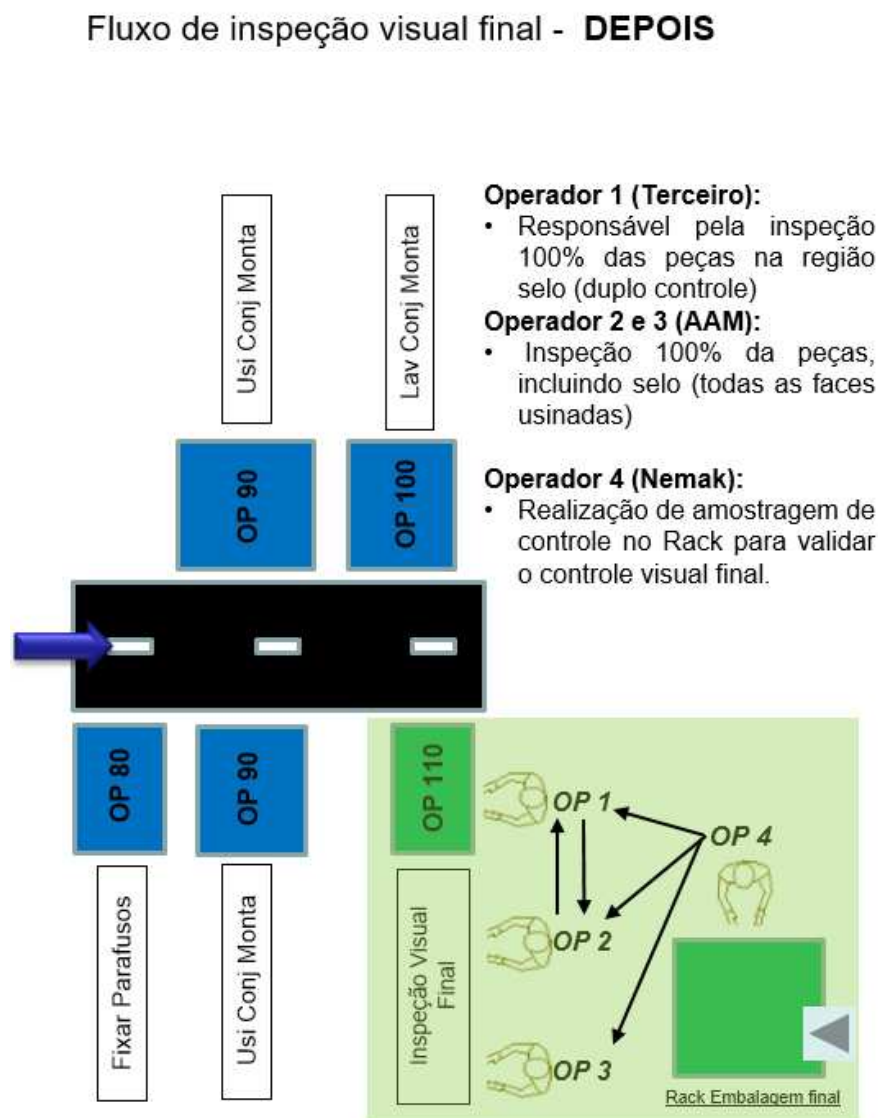
Figura 9 - Fluxo de inspeção visual - ANTES



Fonte: (NEMAK), 2017 – adaptado pela autora.

Em seguida, foi realizada a alteração do fluxo de inspeção realizada após a usinagem final das peças e verificou-se a eficiência das alterações e necessidade de contratações e implementações de novos postos de inspetores, conforme pode-se observar na Figura 10 abaixo:

Figura 10 - Fluxo de inspeção visual final - DEPOIS



Fonte: (NEMAK), 2017 – adaptado pela autora.

4.4 DPMO – Defeitos por milhão de oportunidades

Para a realização do DPMO utilizou-se como base a amostragem de 24.000 unidades o qual pode ser observado 234 unidades com erros para essa quantidade. Existia um rendimento de 99,0250% e um total de rejeição de 0,97500%. Observa-se uma taxa de 0,00975 de defeitos por unidade, 0,009750 defeitos por oportunidades e 9750 unidades de defeitos por milhão de oportunidades, o nível sigma de 2,34 a longo prazo e 3,84 a curto prazo, conforme Figura 11 a seguir:

Figura 11 - DPMO antes das melhorias

Amostragem	24000	Unidades
Oportunidades de Erro	1	Oportunidades
Unidades com Erro	234	Unidades
<hr/>		
Total de oportunidades	24000	Erros
Rendimento	99,0250	%
Rejeição	0,97500	%
DPU	0,00975	
DPO	0,009750	
DPMO	9750,00	
NIVEL SIGMA	2,34	LONGO PRAZO
	3,84	CURTO PRAZO

Fonte: elaborado pela autora

Após as melhorias implementadas no processo, produto e inspeções, é possível observar novos valores para o DPMO, como serão apresentados a seguir: manteve-se como base a amostragem de 24.000 unidades o qual pode ser observado 155 unidades com erros para essa quantidade, um rendimento de 99,3542% e um total de rejeição de 0,64583%. Observa-se uma taxa de 0,000646 de defeitos por unidade, 0,00646 defeitos por oportunidades e 6458 unidades de defeitos por milhão de oportunidades, o nível sigma de 2,49 a longo prazo e 3,99 a curto prazo, conforme figura 12 a seguir:

Figura 12: DPMO pós melhorias e custos

Amostragem	24000	Unidades
Oportunidades de Erro	1	Oportunidades
Unidades com Erro	155	Unidades
Total de oportunidades	24000	Erros
Rendimento	99,3542	%
Rejeição	0,64583	%
DPU	0,00646	
DPO	0,006458	
DPMO	6458,33	
NIVEL SIGMA	2,49	LONGO PRAZO
	3,99	CURTO PRAZO

Fonte: elaborado pela autora

Referente às melhorias apresentadas, de padronização do canal de alimentação, elevação do tempo e da temperatura do processo de enchimento do alumínio, juntamente com o aprimoramento da geometria do molde, foi reduzido significativamente o número de vazamentos detectados após a montagem final no tanque de estanqueidade da caixa de câmbio manual no cliente, o que diminuiu o índice de inspeções internas e externas, contribuindo para a melhor qualidade, maior satisfação e desempenho do cliente. As melhorias apresentaram um aumento significativo de qualidade, reduzindo-se de um DPMO de 9.750 para 6.459, aumentando-se o nível sigma de longo prazo do processo de 2,34 para 2,49 e obtendo-se uma redução de custos anuais de R\$ 33.996,00.

5 CONCLUSÃO

Independente dos resultados alcançados, este trabalho atingiu de modo positivo o seu objetivo primordial, a aplicação de forma estruturada de uma importante metodologia relacionada à Engenharia Mecânica. A qualidade de um produto possui relação direta com as condições em que é produzido, fazendo-se necessária a preocupação com o desempenho dos processos produtivos e produtos.

A aplicação da metodologia Seis Sigma mostrou-se eficaz ao processo de fundição do componente caixa de câmbio, evidenciando a sua efetividade, no que tange aos custos de inspeção e reclamações dos clientes externos, alcançando o objetivo do projeto. Após as melhorias foram evidenciadas também a diminuição de reclamações do cliente e o aumento de sua satisfação.

As ações adotadas contribuíram para redução do custo mensal de inspeções no cliente e charge back (multas) da ordem de 33,9%. Oportunidades de melhoria podem ter continuidade se forem estendidas para o estudo aos outros setores, visando um escopo mais amplo, a fim de erradicar problemas de porosidade no produto. A busca incessante da qualidade continua, um ciclo após o outro, pois o Seis Sigma é fundamental para as empresas que desejam permanecer competitivas no mercado.

REFERÊNCIAS

ANANDM, Akshay. Six Sigma. India: Colegge Of Pharmacy, 2006. 15 p. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/zaxotes/six-sigma-a-present>>. Acesso em: 9 jul. 2017

NAVES, Hermano. **O sistema de transmissão de um Formula SAE**. 2016. Disponível em: <<http://ufmgformula.wixsite.com/formulaufmg/single-post/2016/08/31/O-sistema-de-transmissÃ£o-de-um-FÃ³rmula-SAE>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

NEMAK, Suporte UNIÃO SIGMA. **Porosidade selo 06**. Belo Horizonte, 2017.

Pande, P. S.; Neuman, R. P.; Cavanagh, R. R. **Estratégia Seis Sigma: Como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001. 472p.

PERESTRELO, Leandro Tadeu Roldao. **Transmissão manual - funcionamento**. 2014. Disponível em: <<http://revistaih.com.br/transmissao-manual-funcionamento/>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

RODRIGUES, Marcus Vinicius et al. **Ações para a Qualidade**. 5. ed. São Paulo: Campus, 2006. (184).

RONTODARO, Roberto G. et al. **Seis Sigma: Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. Rio de Janeiro: Atlas, 2002. 274p

RYBORZ, Joachim et al. **Automotive Transmission: Fundamentals, Selection, Design and Application**. 2. ed. New York: Springer, 2011. 742p.

VISNIC, Bill. **Ford pumps powertrains for 2018 F-150**. 2017. Disponível em: <<http://articles.sae.org/15574/>>. Acesso em: 22 ago. 2017.

Werkema, M. C. C. **Criando a Cultura Seis Sigma**. Nova Lima: Werkema Editora, 2004. 256p.