

**CRISTIANO LIMA**

**Aplicação das ferramentas PDCA e FMEA na mitigação da ocorrência de peças não conformes**

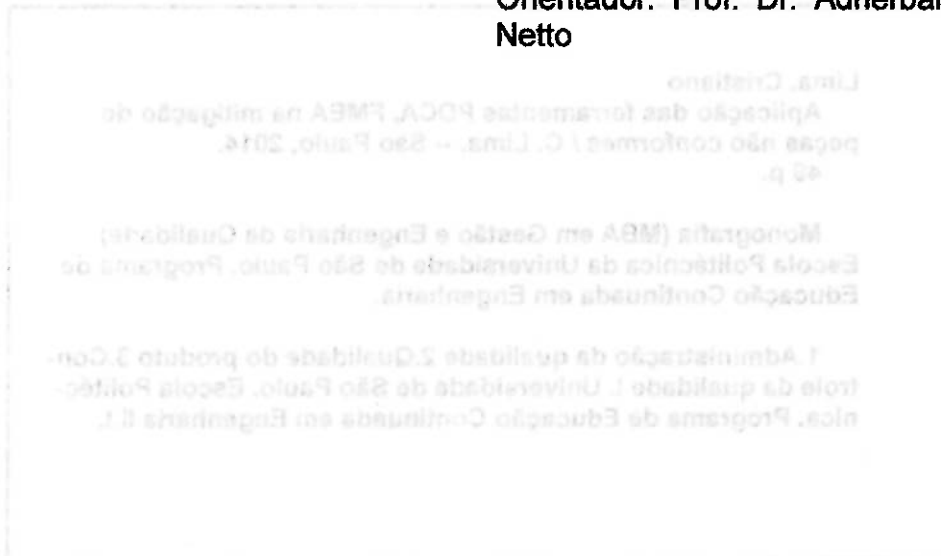
**São Paulo  
2014**

**CRISTIANO LIMA**

**Aplicação das ferramentas PDCA e FMEA na mitigação da ocorrência de peças não conformes**

**Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Gestão e Engenharia da Qualidade**

**Orientador: Prof. Dr. Adherbal Caminada Netto**



**São Paulo**

**2014**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter conseguido completar mais esta etapa da vida.

À toda minha família por ter entendido minha falta devido aos estudos. À minha mãe, (Nilde), por ter me lançado ao mar para que eu aprendesse a nadar. À minha esposa, (Majory), pela compreensão e colaboração, principalmente nos momentos mais difíceis. À minha filha de um mês (Málíka) e Kauanny por entender minha falta.

Ao Prof. Dr. Marcelo Massarani, pelas críticas construtivas.

Ao Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de Souza pelas correções e orientações.

A Universidade de São Paulo e ao PECE por deter excelentes professores.

Aos diretores da empresa que trabalho (Eng. Eduardo e Sra. Mônica Toutin) por acreditarem no meu potencial e investirem na construção do meu conhecimento.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	9
1.1. Estruturação do trabalho .....	9
2. FUNDAMENTAÇÃO.....	11
2.1. PDCA .....	11
2.2. Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA) .....	13
2.2.1 Desenvolvimento da análise PFMEA.....	15
2.2.1.1. Modo de falha potencial .....	15
2.2.1.2. Efeito potencial de falha .....	16
2.2.1.3. Causas potenciais de modo de falha.....	16
2.2.1.4. Controles atuais de processo .....	16
2.2.1.5. Determinação da priorização de ação .....	17
2.3. Brainstorming e técnica de entrevista .....	20
2.4. Controle Estatístico de Processo (CEP).....	20
3. ESTUDO DE CASO .....	25
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO .....	25
3.2. Peça estudada .....	26
3.3. Aplicação das ferramentas da qualidade .....	27
4. RESULTADO DO ESTUDO DE CASO .....	43
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45
ANEXOS .....	47
Anexo A – Tabela para Classificação de Severidade.....	47
Anexo B – Tabela para Classificação de Ocorrência.....	48
Anexo C – Tabela de Classificação de Detecção .....	49

*Educação é aquilo que a maior parte das pessoas recebe,  
Muitos transmitem e poucos possuem.*

*Karl Kraus*

## RESUMO

Esse trabalho tem como objetivo demonstrar a aplicabilidade das ferramentas da qualidade PDCA e FMEA para a mitigação de peças não conformes originadas do processo de usinagem mecânica. A metodologia foi baseada nas diretrizes contidas na norma ABNT NBR ISO 9001:2008 – Sistema de Gestão da Qualidade e no manual de referência do FMEA publicado pelo Instituto da Qualidade Automotiva (IQA). É apresentado como estudo de casos a aplicação da metodologia proposta em Indústria Metalúrgica do segmento de usinagem mecânica, localizada na cidade de São Paulo. Como há inúmeros casos que necessitam de melhoria o estudo manteve o foco em uma peça que compõe o turbo utilizado em caminhões. As ferramentas PDCA e FMEA são muito utilizadas pelas organizações para gerenciar seus processos internos e também garantir que as metas estabelecidas sejam alcançadas e reduzir de maneira significativa os prejuízos, e com as informações adquiridas ajudar a tomar decisões, bem como obter uma produção sem desperdícios.

O principal objetivo da aplicabilidade dessas ferramentas está na prevenção de falhas (quaisquer erros ou defeitos de um processo, projeto ou item, especialmente os que afetam o cliente, as falhas podem ser reais ou potenciais) que podem prejudicar o processo como um todo. Através de métodos sistemáticos pode-se olhar à frente afim de prever e evitar problemas, defeitos com novos projetos e novos produtos que entram em fabricação. Conclui-se que é possível reduzir os níveis de peças defeituosas utilizando o PDCA e o FMEA, contudo, utilizando outros métodos como incremento, por exemplo, Diagrama de Pareto, Brainstorming e CEP, os objetivos são alcançáveis mais facilmente na profundidade certa, tornando mais satisfatório os resultados da produção e o processo mais capaz.

Palavras chave: PDCA, FMEA e Qualidade.

## **ABSTRACT**

This monography aims to demonstrate the applicability of quality tools PDCA and FMEA to mitigate non-compliant parts originated from machining process. The methodology was based on the guidelines contained in the standart ISO 9001:2008 – Quality Management System and FMEA reference manual published by the Automotive Quality Intitute (AQI). As a case study, the application of the methodology is proposed in a Metallurgical Industry of the machining segment located in the city of São Paulo. As there are numerous cases that need improvement the study focused on a piece that makes up the turbo charger used in trucks. The PDCA and FMEA tools are widely used by organizations to manage their internal processes and also ensure that the targets are achieved and significantly reduce the losses and the acquired information to help make decisions.

The main objective of the application of these tools is to prevent crashes (any errors or defects in a process design or both, especially those that affect the customer, faults can be actual or potential) that can harm the process as a whole . Through the are of systematic methods someone can predict and avoid, defects in new products design and manufacturing. We conclude that it is possible to reduce the levels of defective parts using PDCA and FMEA, however, using other methods for improvement, as the tools: Pareto Diagram, Brainstorming and CEP, the objectives are achieved more easily, at the correct depth, getting production results more satisfactory, and the process more able.

**Keywords:** PDCA, FMEA and Quality.

## 1. INTRODUÇÃO

No contexto que as organizações estão inseridas, cada vez mais se tornam notórios os problemas de qualidade. A todo momento surgem anúncios em horário nobre na televisão sobre recall, indaga-se quanto custa à empresa anunciante esse recall? Essa conta é importante, porém, mais importante é a conta mais difícil de se computar, o custo da imagem, ou seja, quanto as empresas perdem em valores monetários por terem a imagem arranhada e exposta no cenário nacional e internacional. Atualmente cada vez mais se investe em ferramentas de controle de qualidade e de controle de processos, em máquinas mais precisas, pessoas mais qualificadas, em produção com perdas cada vez mais próximas de zero, em suma, qualidade total em todos os ambientes das organizações.

Na definição do objetivo desse trabalho foi pensado em primeiro plano a importância da produção sem desperdícios, em segundo plano, levou-se em consideração o impacto desses desperdícios frente aos interesses da organização estudada, em terceiro plano, qual produto seria alvo desse estudo, por fim, quais seriam as metodologias e ferramentas da qualidade utilizadas para reduzir efetivamente os níveis de peças não conformes, quais pessoas seriam envolvidas e como seria realizado o acompanhamento e divulgação dos resultados alcançados.

Esse trabalho tem como objetivo apresentar metodologias e mostrar a aplicabilidade de algumas ferramentas da qualidade na redução do índice de peças não conformes. PDCA, FMEA e CEP são as ferramentas da qualidade que serão utilizadas.

Questões relacionadas a valores monetários não serão expostas nesse trabalho, a identificação da organização alvo do estudo bem como o código da peça estudada.

### 1.1. Estruturação do trabalho

Primeiramente, serão apresentadas as ferramentas da qualidade, como PDCA, FMEA, *Brainstorming*, técnica de entrevista e CEP que servirão de base para o escopo do trabalho. O conceito da metodologia PDCA, as definições de diferentes autores sobre o método, o detalhamento descritivo de cada etapa dessa

metodologia, bem como as duas principais formas de sua utilização serão apresentados no capítulo 2.

No mesmo capítulo 2 será exposto os conceitos e definições de FMEA incluindo o histórico e a descrição em termos gerais. No PFMEA será apresentado todas as etapas de seu desenvolvimento, as definições e características de cada etapa, a definição de prioridade para as ações até a verificação da eficácia das ações. *Brainstorming* e a técnica de entrevista servem de subsídio para a investigação de possíveis causas e geração de ideias para solução de problemas. Será apresentado as definições de CEP na visão de alguns autores, a interpretação dos gráficos de controle, os conceitos de índice de capacidade e desempenho bem como a contextualização dos limites superior e inferior de controle e especificado.

O estudo de caso, a descrição da caracterização da organização alvo do estudo, a aplicabilidade das ferramentas da qualidade (PDCA, PFMEA, CEP, gráficos de pareto, *Brainstorming* e entrevista com pessoal chave do “chão de fábrica”) no produto denominado como porca de ajuste, serão apresentados no capítulo 3.

Os resultados do estudo de caso bem como as melhorias alcançadas será a apresentação do capítulo 4. A apresentação fará um paralelo entre as metas e objetivos planejados com os resultados alcançados.

Ao final do estudo serão apresentadas as conclusões e recomendações. Será exposto no capítulo 5 as dificuldades, a análise crítica dos métodos aplicados e melhorias.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO

A revisão de literatura neste trabalho consiste em uma objetiva abordagem dos assuntos mais significativos, relacionados as ferramentas da qualidade, que serão conceitualizadas, contextualizadas e utilizadas.

Os assuntos serviram como subsídios à aplicabilidade das ferramentas na organização descrita visando a mitigação da ocorrência de peças não conformes em sua manufatura.

### 2.1. PDCA

As normas ISO 9001:2008 (Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos) e a 9004:2010 (Gestão para o sucesso sustentado de uma organização – Uma abordagem da gestão da qualidade) estão ancoradas na metodologia PDCA. Essa sigla significa em seu idioma de origem *Plan, Do, Check e Act*, conhecido por Ciclo PDCA, também conhecido por ciclo de Deming em homenagem ao próprio criador William Edwards Deming.

Os princípios básicos do método em questão foram originados de conceitos da administração clássica, descritas por Taylor e Fayol e aprimorados por Juran e Deming (Andrade, 2003).

Segundo Fayol apud Andrade (2003), administrar “*é prever, organizar, comandar, coordenar e controlar. Prever é perscrutar o futuro e traçar o programa de ação. Organizar é constituir o duplo organismo, material e social, da empresa. Comandar é dirigir o pessoal. Coordenar é ligar, unir e harmonizar todos os atos e todos os reforços. Controlar é velar para que tudo corra de acordo com as regras estabelecidas e as ordens dada*”.

Segundo Juran apud Andrade (2003), administrar está baseado nos três processos gerenciais: Planejamento, Controle e Melhoramento.

A metodologia é muito utilizada em diagnóstico, análise e prognóstico de problemas organizacionais, amplamente utilizada em soluções de problemas em diversos segmentos.

Para Andrade (2003), o tema em questão foi amplamente difundido por W. Edward Deming em implementações do sistema de qualidade em indústrias, J.

Juran e K. Ishikawa através de seus estudos sobre o gerenciamento de sistemas produtivos empresariais e pelo professor brasileiro Vicente Falconi Campos, em estudos sobre métodos e melhorias fundamentados em conceitos da gestão pela qualidade total adequado ao sistema produtivo da indústria nacional.

Campos (2004), conceitua PDCA como um processo de tomada de decisões.

Conforme a ABNT NBR ISO 9001 (2008), *Plan* (planejar) é “estabelecer os objetivos e processos necessários para gerar resultados de acordo com os requisitos do cliente e com as políticas da organização”. *Do* (fazer) é “implementar os processos”. *Check* (checar) é “monitorar e medir processos e produtos em relação às políticas, aos objetivos e aos requisitos para o produto e relatar os resultados”. *Act* (agir) é “executar ações para promover continuamente a melhoria do desempenho do processo”.

Galvani (2010), o PDCA começa no planejamento, em que se define o que fazer, quando e onde, em seguida ações ou varias ações planejadas são executadas. Verifica-se se o que foi feito estava conforme o planejado e implementa-se medidas para eliminar ou mitigar defeitos no produto ou na execução.

A primeira etapa refere-se objetivamente ao planejamento (*Plan*), consiste em definir os objetivos e metas, o que será feito para alcança-los, quais serão as estratégias e as ações.

A segunda etapa (*Do*), refere-se a execução das atividades planejadas na etapa anterior. Nessa etapa ocorre o treinamento, conscientização das pessoas envolvidas no processo, ou seja, capacitar os envolvidos.

A terceira etapa caracteriza-se por verificar (*Check*), analisar e comparar os dados da execução com o planejamento realizado na primeira etapa. Os dados coletados e registrados geram subsídios para a próxima etapa.

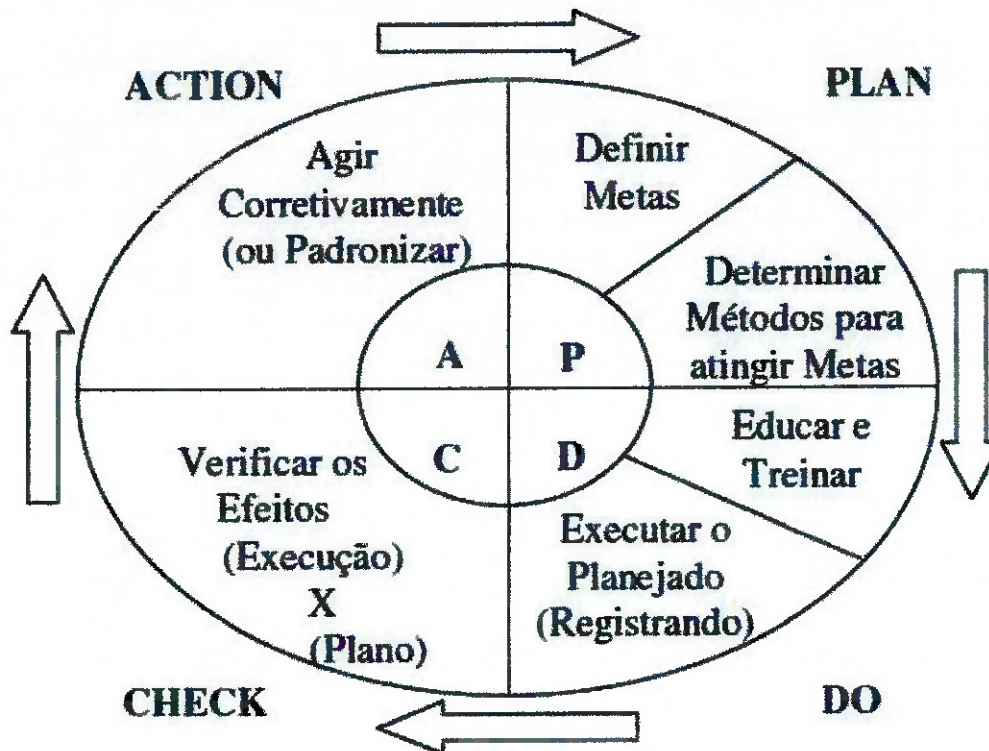
A quarta etapa (*Act*), caracteriza-se por corrigir as causas dos desvios encontrados, a ação para evitar que os desvios ocorram novamente e padronização das ações eficazes para esse controle (Choo, 2003).

A figura 1 ilustra as etapas do ciclo PDCA.

O PDCA pode ser usado de duas formas. Primeiramente na manutenção de controles quando o processo é repetitivo e a meta está relacionada ao cumprimento dos padrões operacionais. A segunda corresponde a melhoria do processo, a meta

está correlacionada com a implementação de técnicas e métodos para alcançá-la ou ultrapassá-la (Barros, 2008).

Figura 1 – Ciclo do PDCA



Fonte: Andrade (2003)

## 2.2. Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA)

Para August apud Souza (2012), o método FMEA começou a ser aplicado pelas Forças Armadas dos Estados Unidos da América, decorrente da demanda por melhoria dos equipamentos utilizados por essa instituição. Primeiramente o método foi denominado "*Procedures for Performing a Failure Mode, Effect and Criticality Analysis*", traduzido como Procedimentos para realização de Análises de Modos, Efeitos e Criticidade de Falhas.

Atualmente a metodologia do FMEA é aplicada em diversos segmentos da indústria e serviços.

Segundo Hirayama (2005), o método FMEA mantém-se como uma importante ferramenta para analisar as causas de variações conhecidas e potenciais de um processo.

A execução da análise FMEA é um dos itens requeridos pela norma ISO TS 16949:2009, durante o planejamento avançado do produto e processo, tendo como resultado ações preventivas e de melhoria contínua (ISO TS 16949, 2009).

De acordo com Kaminski (2012), análise FMEA é essencialmente uma metodologia de análise sistêmica, que procura identificar todos os possíveis modos e tipos de falhas e a influência que determinado efeito de cada uma das falhas tem sobre o desempenho do produto. Essa metodologia pode ser aplicada tanto na fase de projeto (FMEA de projeto) tanto na fase de manufatura (FMEA de processo). FMEA de processo conhecido também como PFMEA (*Process FMEA*), é uma técnica analítica aplicada ao processo produtivo geralmente pela engenharia de manufatura ou processo. A metodologia é aplicada da mesma forma que a aplicação do FMEA de projeto, a diferença está na abordagem que no caso do PFMEA é voltada para o processo e manufatura.

Segundo Hirayama (2005), para se fazer um estudo de PFMEA é necessário considerar fatores relacionados a mão de obra, ferramentas e equipamentos, materiais, sistemas de medição e ambiente de trabalho. O objetivo do PFMEA é mapear no processo as etapas cujo resultado pode afetar as principais características funcionais do produto ou da montagem, detectar as possíveis falhas antes da manufatura em análise tendo como base as especificações de projeto.

O PFMEA avalia os efeitos potenciais dos modos de falhas para o cliente. Define-se cliente não somente o usuário final do produto, também uma operação subsequente do processo de manufatura em análise ou uma operação de assistência técnica (Hirayama, 2005).

### **2.2.1 Desenvolvimento da análise PFMEA**

A análise PFMEA é geralmente desenvolvida por equipe multidisciplinar. Espera-se que o chefe da equipe envolva os representantes de todas as áreas afetadas.

A equipe, na fase de desenvolvimento da análise pode identificar oportunidades de melhoria de forma geral, pode identificar, eliminar ou reduzir alguma falha potencial ou recorrência de um modo de falha de processo.

Para análise inicial, segundo o manual de FMEA (Chrysler et al., 2008), recomenda-se partir do fluxograma do processo, que descreve o fluxo do produto através do processo, desde a entrada até a saída. O fluxograma de processo compreende cada etapa de todo processo de fabricação ou montagem, incluindo por exemplo expedição, armazenagem, recebimento, etc. A identificação de cada requisito ou função para cada processo compõe as respectivas saídas que se relacionam aos requisitos do produto. Os requisitos de cada processo descrevem a necessidade que o produto deveria conter e provêm informações base à equipe para identificar modos de falhas potenciais.

Outras fontes de informações são utilizadas no desenvolvimento do PFMEA, tais como notas de processos similares, desenhos e registros de projeto, não conformidades externas e internas (cliente), histórico de qualidade e DFMEA.

O anexo A mostra um formulário como exemplo com as informações mínimas esperada pelos OEM's "*Original Equipment Manufacturer*" significado de Fabricante Original do Equipamento.

O PFMEA contempla alguns quesitos para avaliação, os quais auxiliam na organização, classificação, identificação e priorização dos possíveis riscos envolvidos em cada etapa do processo, desde o modo de falha, priorização de ações e implementações de ações.

#### **2.2.1.1. Modo de falha potencial**

Define-se modo de falha como sendo a maneira como o processo poderia potencialmente falhar frente ao atendimento do requisito do processo e/ou objetivo

de projeto. Pode ser entendido também como a perda de uma função do processo, ou seja, uma falha específica (Hirayama, 2005).

### **2.2.1.2. Efeito potencial de falha**

Define-se efeito potencial de falha como sendo o efeito da falha da função percebida pelo cliente, por exemplo algum barulho na roda do veículo causado por uma falha do produto fornecido.

Cada efeito potencial de falha identificado, possui uma classificação de severidade correspondente, no qual se atribui um valor numérico associado ao efeito do modo de falha mais grave. Vide o anexo A para a classificação da severidade.

### **2.2.1.3. Causas potenciais de modo de falha**

Define-se sendo indicação de como a falha poderia ser originada. Descreve-se sob a forma de algo que possa ser corrigido ou controlado, por exemplo, falha do inspetor ao medir manualmente um dado comprimento.

Cada causa potencial de um determinado modo de falha, possui um valor numérico correspondente referente a probabilidade de ocorrência, ou seja, a classificação de ocorrência refere-se ao quão provável é ocorrer a causa potencial identificada, no qual se atribui um número relativo conforme a tabela do anexo B.

### **2.2.1.4. Controles atuais de processo**

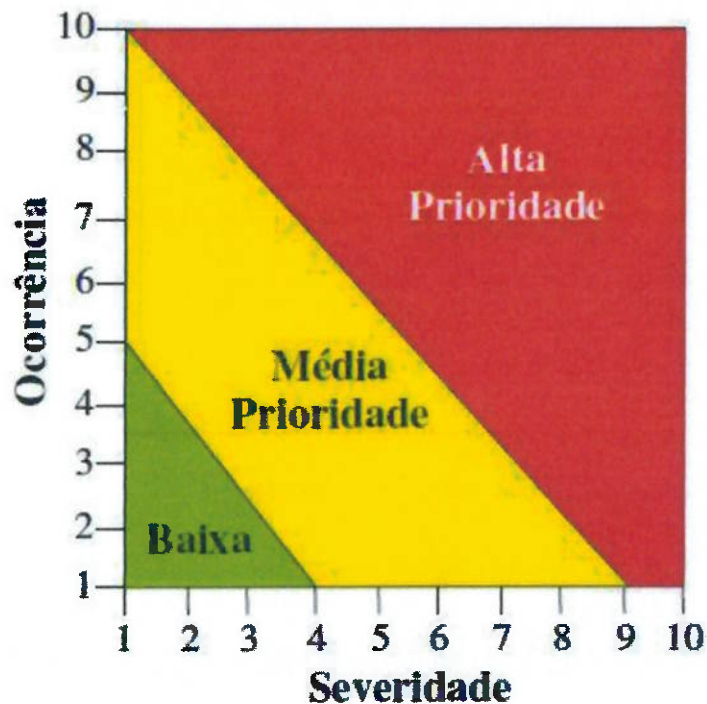
Os controles de processo subdividem-se em controles de detecção e prevenção. A prevenção pode eliminar a ocorrência da causa da falha e conseqüentemente do modo de falha ou reduzir a taxa de ocorrência. Os controles de detecção identificam a causa da falha ou modo de falha, podendo gerar ações corretivas ou contramedidas correspondentes. Como exemplo de controle de prevenção tem-se o treinamento do inspetor. Como exemplo de controle de detecção tem-se o sistema de passa ou não passa para detecção do comprimento fora dos limites especificados.

Para cada controle de detecção atribui-se um valor numérico para a detecção. Entende-se quão melhor for a detecção através do respectivo controle de detecção para determinada causa da falha ou modo de falha, menor será o valor numérico atribuído conforme a tabela no anexo C.

### 2.2.1.5. Determinação da priorização de ação

De acordo com o manual de FMEA (Chrysler et al., 2008), após ter finalizado a classificação de severidade, ocorrência e detecção, define-se a necessidade de esforço para redução dos riscos. A priorização é iniciada pelos modos de falhas com as classificações de severidade mais elevadas, posteriormente para classificações com ocorrências e detecções elevadas respectivamente, entende-se como classificação elevada de 8 (oito) acima. Palady (2004), propôs o método gráfico para definição de prioridades, onde o eixo das ordenadas corresponde ao índice de ocorrência de um modo de falha e o eixo das abscissas ao índice de severidade do mesmo modo de falha, conforme mostra a figura 2.

Figura 2 – Método gráfico para priorização de ações



Fonte: Palady (2004)

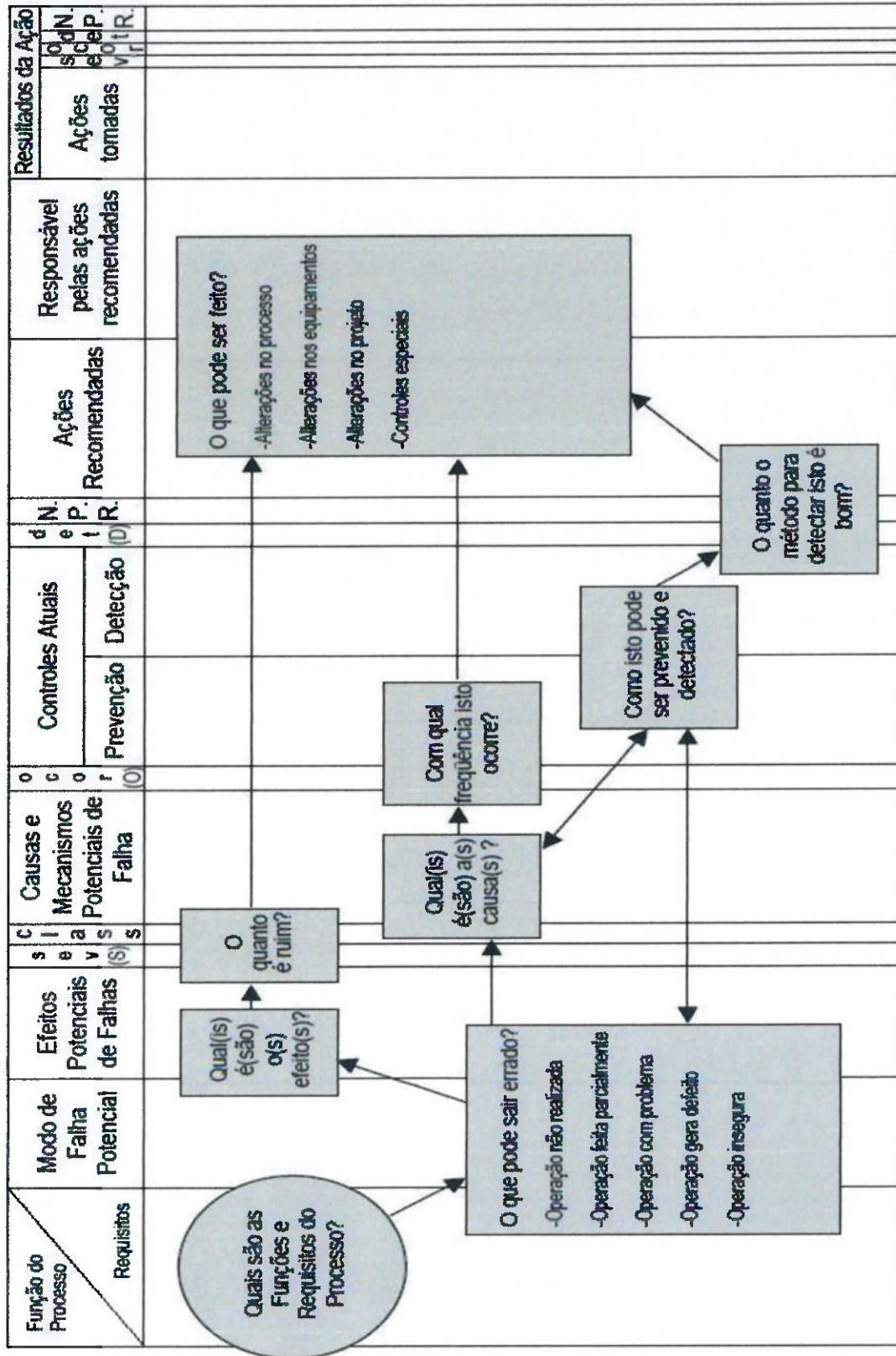
Uma abordagem comumente adotada é a utilização do Número de Priorização de Riscos (NPR) na definição de prioridade de redução de riscos. O NPR é o resultado da multiplicação da severidade, ocorrência e detecção. O manual de FMEA (Chrysler et al., 2008), não recomenda a determinação de valor limite para necessidade de ações.

As ações propostas, também chamadas de ações recomendadas, necessitam ser acompanhadas para verificação da execução dentro do prazo planejado. É importante manter sempre o PFMEA atualizado para que o documento possa sempre refletir o estado atual do momento.

A figura 3 representa uma sequência para realização do PFMEA. Essa sequência baseia-se no manual do FMEA (Chrysler et al., 2008).

# Seqüência de Análise de FMEA de Processo - PFMEA

Figura 3 – Sugestão de seqüência de análise de PFMEA



### **2.3. Brainstorming e técnica de entrevista**

*Brainstorming* tem como tradução “tempestade de ideias”, porém, não se trata de ideias aleatórias e sem organização, trata-se sim de ideias muito bem elaboradas para se tratar o problema.

O *brainstorming* é feito através de uma reunião onde se elege um mediador que conduzirá a geração das ideias. Sua participação é de fundamental importância, pois ele tem como papel direcionar e não impor nenhum tipo de pensamento; Seu objetivo é incentivar os pensamentos, a ponto de despertar as melhores ideias. Após as exposições dessas ideias o mediador poderá listar as ideias que podem ser apontadas como as ideias que melhor se encaixem para solucionar os problemas. É importante que essa lista seja obtida através de consenso, afim de não inibir ou constranger a pessoa que contribuiu com a ideia descartada.

Comumente a finalização do *brainstorming* se dá com a elaboração de um plano de ação que conterà as principais medidas para solucionar os problemas antes discutidos (Andrade, 2003).

A técnica da entrevista é baseada na experiência individual de cada um dos entrevistados, mediante uma sessão de perguntas que pode ser aplicada para a equipe, cliente, especialistas, etc. A partir das respostas apresentadas durante a entrevista, o gestor compila todos os riscos identificados (Rossi; Slongo, 1998).

### **2.4. Controle Estatístico de Processo (CEP)**

Segundo Silva Junior e Oliveira (2005), Shewart, através da análise de diferentes processos, concluiu que todos os processos apresentavam variação, sendo uma considerada aleatória e outra inerente.

Campos (2004), defini processo como conjunto de causas que provocam efeitos.

Vieira apud Barros (2008), definem CEP como sendo um procedimento para monitorar o desempenho e redução de variabilidade.

De acordo com Samohyl apud Barros (2008), gráficos de controle são ferramentas visuais utilizados na detecção de alterações de características de um processo ou produto.

Conforme De Vries; Reneau apud Takahashi (2011), a principal ferramenta do controle estatístico de processo é a carta de controle, que monitora uma variável de qualidade pelo valor médio e pela variabilidade. O gráfico identifica um comportamento e monitora o desempenho através da detecção de mudança no processo. Baseia-se na observação de amostras retirada em estudo específico, e caracteriza-se por uma linha central entre dois limites de controle. A linha central representa o valor médio e os dois limites de controle são denominados Limite Superior de Controle (LSC) e Limite Inferior de Controle (LIC). Esses limites são calculados de forma que se o processo está controlado os pontos amostrais estão entre eles. Em análise dos gráficos de controle possibilita-se a predição referente ao comportamento do processo, viabiliza a intervenção de forma preventiva, intervenção de forma corretiva no momento que ocorrem desvios mantendo-o entre os limites preestabelecidos. Também contribui para o controle estatístico de estabilidade e homogeneidade do produto ou serviço. Caso apresente algum ponto amostral ou uma tendência de descontrole, ações corretivas devem ser implementadas de forma a restabelecer a estabilidade do processo.

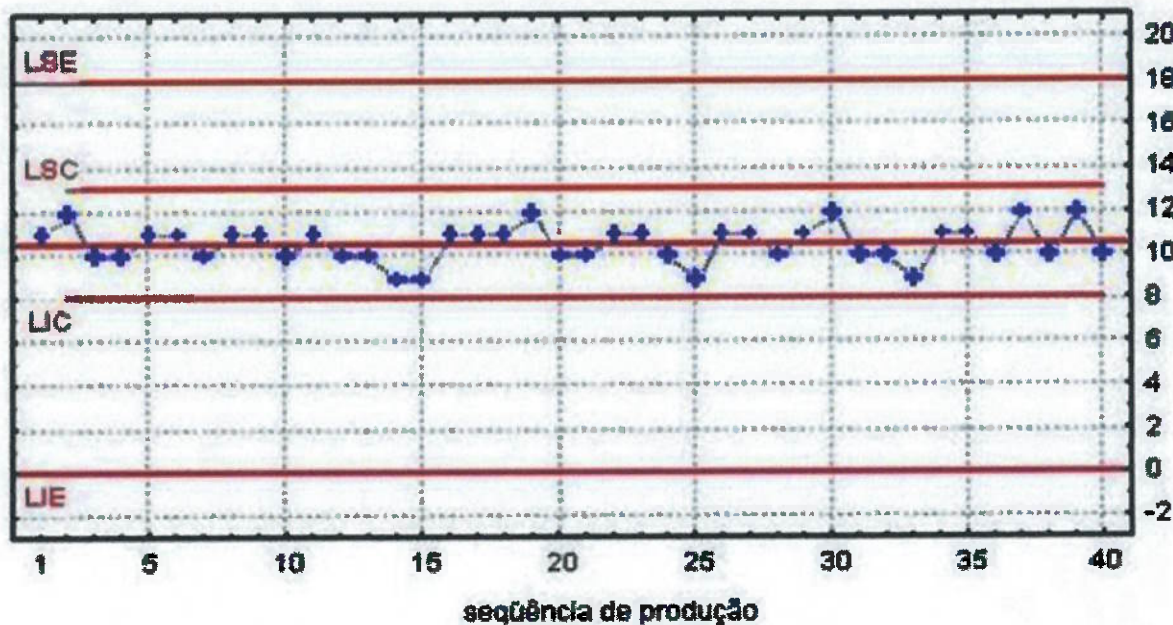
A figura 4 mostra um exemplo de processo sob controle estatístico.

Conforme o manual de CEP (Chrysler et al., 2005),  $C_p$  é o índice de capacidade. Compara a capacidade do processo com a variação máxima permitida indicado pela tolerância. A medida do índice mostra como o processo atenderá as necessidades de variabilidade. Esse índice pode ser calculado apenas para tolerâncias bilaterais e não há impacto na centralização do processo. Sendo  $\sigma_c$  a variação dentro do subgrupo, se o processo estiver estável, ou seja, sob controle estatístico, esta será uma boa estimativa de variação inerente do processo.

Varição inerente do processo é a variação devida apenas às causas comuns (sistemáticas).

Causas comuns são efeitos acumulativos de causas não controláveis, com pouca influência individualmente, tais como, vibrações, temperatura, umidade, falhas na sistemática de processo, entre outras.

Figura 4 – Exemplo de carta de controle



Fonte: <http://academiaplatonica.com.br/2011/gestao/cep-controle-estatistico-de-processo/>

Limite Superior Especificado (LSE) e Limite Inferior Especificado (LIE) são definidos pelos valores estabelecidos em projeto.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Cpk é outro índice de capacidade. Leva em conta a centralização do processo. Para as tolerâncias bilaterais, de dois lados, sempre será menor ou igual ao Cp. O Cpk somente será igual ao Cp quando o processo estiver centralizado.

Cp e Cpk devem sempre ser analisados em conjunto.

A figura 5 mostra um exemplo do comportamento da curva em relação a distintos índices de capacidade.

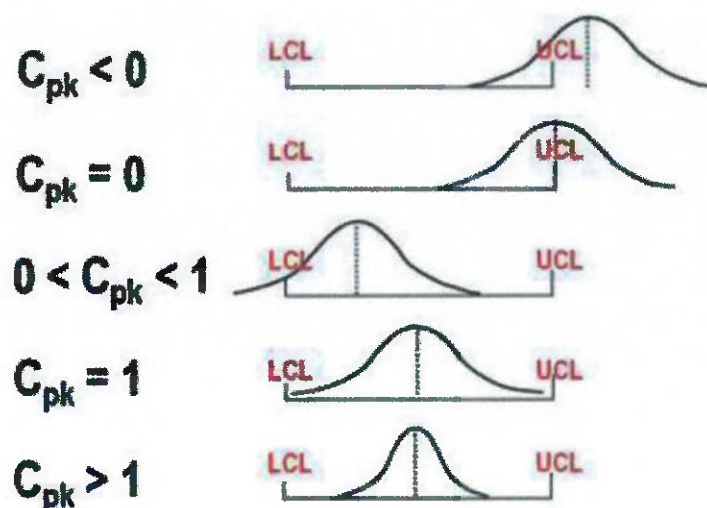
Cpk é calculado como o mínimo de CPU ou CPL. Sendo, CPU superior de capacidade e CPL inferior de capacidade.

$$CPU = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma}$$

$$CPL = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma}$$

$P_p$  é índice de desempenho. Compara o desempenho do processo com a variação máxima permitida pela tolerância. Não há impacto na centralização do processo.

Figura 5 – Exemplo de processo com distintos índices de capacidade ( $C_{pk}$ ).  
LCL (Limite inferior de controle), UCL (Limite inferior de controle)



Fonte: Takahashi, (2011)

$P_{pk}$  é outro índice de desempenho. Leva em conta a centralização do processo.  $P_{pk}$  sempre será menor ou igual a  $P_p$  para tolerâncias bilaterais.  $P_{pk}$  será igual a  $P_p$  somente se o processo estiver centralizado.

$P_{pk}$  é calculado como o mínimo entre PPU e PPL, onde PPL e PPU são respectivamente os índices superiores e inferiores de desempenho.

$$P_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma_p}$$

$$PPU = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma_p}$$

$$PPL = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma_p}$$

$Ppk$  e  $Pp$  devem ser analisados em conjunto. Valor de  $Pp$  expressivamente maior que  $Pp$  indica oportunidade de melhoria pela centralização do processo. Em um processo estável, a capacidade do processo estará bem próxima do desempenho do processo.

A capacidade do processo corresponde a amplitude da variação inerente do processo, quando o processo está estatisticamente estável.

O desempenho do processo corresponde a amplitude da variação total do processo, sendo geralmente estimado pelo desvio padrão do processo atual. (Chrysler et al., 2005)

### **3. ESTUDO DE CASO**

Será apresentado nesse capítulo um estudo de caso de empresa do setor de usinagem mecânica. Será apresentada a empresa que não terá seu nome divulgado nesse trabalho.

#### **3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO**

Empresa criada em 4 de março de 1960 como indústria de materiais mecânicos para a construção civil, especializada em concreto protendido.

Em 1985 foi criada a divisão mecânica a qual passou desde então a prestar serviços externos de usinagem.

A empresa tem como missão a integração da engenharia mecânica a engenharia civil para aplicação de tecnologias em construções de médio e grande porte, de forma segura, sustentável e humana.

Os valores estão ancorados na ética, integridade, respeito as pessoas, espírito empreendedor, inovação, crescimento sustentável, respeito ao meio ambiente e responsabilidade social.

A visão é ser reconhecida como referencia no setor de concreto protendido e usinagem pelo comprometimento com os clientes, com a qualidade e com os resultados obtidos.

A empresa é acreditada pela NBR ISO 9001 desde 2006 e desde dezembro de 2012 pelas normas ISO 14001:2004 e OHSAS 18001:2007.

Atualmente possui 150 funcionários, está localizada na cidade de São Paulo, seu ramo de atividade é prestação de serviço de usinagem ao mercado de construção civil, automotivo, nuclear e bens de consumo.

Para atingir e ultrapassar os objetivos e metas estabelecidos, investe-se na capacitação e retenção de profissionais chaves, na modernização da produção através de máquinas seguras e mais precisas, na melhoria no controle de processos, no controle de produção e no controle da qualidade por meios de medições automáticos. Atualmente 80% da produção integra a tecnologia



### 3.3. Aplicação das ferramentas da qualidade

Na primeira etapa do planejamento (*Plan*) o setor de vendas ao receber a solicitação de orçamento realiza análise prévia baseada no escopo da empresa, ou seja, se é viável ou não a realização do serviço. Sendo viável, verifica se todas as informações estão contidas para a realização da análise crítica, comumente desenhos e normas, de posse das informações encaminha ao setor de Métodos e Processos (M&P) no qual analisa questões técnica e custos.

Na análise crítica, relacionada com as questões técnicas, estão comumente envolvidas:

- a) Análise do desenho
- b) Normas citadas na especificação da peça
- c) Tolerâncias
- d) Definição dos processos
- e) Tempos e Métodos através de simulações no software CAD/CAM

Na análise de questões relacionadas aos custos estão comumente envolvidas:

- a) Matéria prima (MP)
- b) Tratamento térmico
- c) Tratamento superficial
- d) Investimento condicionante a realização do produto

O setor de compras mantém os valores atualizados de matéria prima, tratamento térmico e superficial por se tratarem de serviços contratados de terceiros.

Através da reunião das informações acima descritas, são elaborados por Métodos e Processos (M&P) o orçamento técnico ou planilha de custos, envia-se à diretoria para avaliação da viabilidade econômica, determinação do custo da peça, determinação de objetivos e metas e envio do orçamento ao cliente.

Após o aceite do orçamento a equipe multidisciplinar composta pelo menos por um integrante dos departamentos de qualidade, M&P, produção e projetos se reúnem para:

- a) Avaliação e definição do fluxo do processo conforme figura 7.

- b) Planos de Ações
- c) Avaliação e definição dos meios e métodos de controle através do plano de controle, aqui denominado FOC – Folha de Operação e Controle.
- d) Estudo de PFMEA conforme a figura 8.

A alta direção determinou os objetivos e metas diferenciados para o cliente aqui denominado como ALVO por entender ser cliente chave aos interesses da organização.

- a) Aumentar a produtividade em 5% nos próximos 2 meses.
- b) Ter um índice de desperdício no máximo de 0,5%.

Figura 7 – Fluxo do processo do planejamento

Nome da Empresa		<b>DIAGRAMA DE FLUXO DO PROCESSO</b>						
CLIENTE:							CÓDIGO	
DESCRIÇÃO:		Porca de ajuste					DATA: 28/05/2013	
DESENHO:		RESPONSÁVEL:		Cristiano Lima		REVISÃO: 1		
CÓD. CLIENTE:								
ETAPA	OPERAÇÃO	OPERAÇÃO EXTERNA	MOVER	ESTOCAR	INSPEÇÃO	DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO PRODUTO	CARACTERÍSTICAS ESPECIAIS DE CONTROLE DE PROCESSO
1						RECEBIMENTO DA MATÉRIA-PRIMA E INSPEÇÃO	Quantidade - Dimensões - Documentação	PESO(Kg) - AISI420 TR.Ø15,88 mm - CERTIFICADO DA QUALIDADE
2			→			MOVER PARA ESTOQUE DA MATÉRIA-PRIMA	XXXXXXXXXX	Identificação do lote de entrada
3				▽		ESTOCAR	Disposição compatível com as dimensões da matéria-prima	XXXXXXXXXX
4			→			MOVER PARA LINHA TORNO TND 200	XXXXXXXXXX	Transcrição do lote de entrada na Ordem de Serviço
5						USINAR COMPLETO (TND)	Dimensões conforme plano de operação e controle	Utilização de sub-lotes
6						REMOVER BICO (THR)	Dimensões conforme plano de operação e controle	Utilização de sub-lotes
7						ROSCAR M8X1 (THR)	Dimensões conforme plano de operação e controle	Utilização de sub-lotes
8						FRESAR PONTA (CEU)	Dimensões conforme plano de operação e controle	Utilização de sub-lotes
9						FURAR PONTA (CEU)	Dimensões conforme plano de operação e controle	Utilização de sub-lotes
10						CHANFRAR (CEU)	Dimensões conforme plano de operação e controle	Utilização de sub-lotes
11						REBARBAR (BANCADA)	Dimensões conforme plano de operação e controle	Utilização de sub-lotes
12						FRESAR CHATO (CEU)	Dimensões conforme plano de operação e controle	Utilização de sub-lotes
13			→			MOVER PARA EXPEDIÇÃO - TRATAMENTO SUPERFICIAL	Etiqueta de identificação do produto e características do tratamento	Nota Fiscal - quantidade - tipo de tratamento (nitretação líquida) - fornecedor homologado
14						EXECUÇÃO DO TRATAMENTO SUPERFICIAL	Espessura da Camada e dureza superficial	Processo do Fornecedor (conf. Especificação)
16						LAVAR PEÇAS 100% LOTE	Peças isentas de resíduos nas roscas	Aspecto Visual
17						INSPEÇÃO FINAL 100%	Rosca, tratamento superficial, Aspecto Visual	Aspecto Visual
18			→			MOVER PARA EXPEDIÇÃO	Embalagem Compatível	Identificação de Aprovação
19						EXPEDIR	Quantidade	Nota Fiscal de Saída

OBSERVAÇÕES:

Figura 8 – PFMEA o planejamento

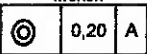
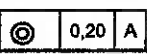
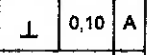
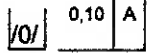
Função do Processo	Requisitos	Modo da Falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	S e v e r	Causas e Mecanismos Potenciais da Falha	O c o r r.	Controles Atuais do Processo Prevenção	Controles Atuais do Processo Detecção	D e t e c.	N P R	
Recebimento de matéria-prima	Verificação de matéria-prima	Diâmetro fora do especificado	Maior: desgaste de ferramenta	4	Falha na Inspeção de Recebimento	3	Inspeção de recebimento.	Comparar com pedido de compra	2	2	
			Menor: ausência de usinagem	4		3			2	4	
		Comprimento fora do especificado	Maior: perda de material nas pontas	4		3			2	4	
			Menor: excesso de troca de barras	4		3			2	4	
		Composição Química fora do especificado	Baixa usinabilidade, incompatibilidade com o requisito do cliente	4	Falha na Inspeção do Fornecedor	3	Certificado da Qualidade do Fornecedor	2	2		
Armazenagem da matéria-prima	Etiqueta de identificação	Mistura de lotes ou corridas	Perda da Rastreabilidade	6	Falha do operador de estoque	1	Organização na prateleira e número do pedido na etiqueta de identificação.	Identificação do lote, FIFO, controle computadorizado	1	6	
Usinagem da operação 10	USINAR COMPLETO	1. Comprimento e diâmetro maior. 2. Comprimento e diâmetro menor. 3  maior.	1 e 2. Não monta no conjunto 3. Desgaste prematuro do conjunto	6	Tipo de ferramental	3	Usinagem conforme FOC. Elaboração conforme desenho do cliente.	Liberação de Setup, Plano de inspeção em sub-lotes	2	4	
					Falha no equipamento				3	2	8
					Falha do operador				3	2	8
Usinagem da operação 20	REMOVER BICO	1. Peças com bico. 2. Peças lixadas demais.	1 e 2. Não interfere no conjunto	1	Falha do operador	2	Usinagem conforme FOC. Elaboração conforme desenho do cliente.	Liberação de Setup, Plano de inspeção em sub-lotes	2	4	
									2	4	
Usinagem da operação 30	ROSCAR M8X1	1. Ø da rosca maior. 2. Ø da rosca menor. 3  maior.	1. Desgaste prematuro da rosca 2. Não monta no conjunto 3. Desgaste prematuro do conjunto	4	Escolha inadequada de Ferramental	2	Usinagem conforme FOC. Elaboração conforme desenho do cliente.	Liberação de Setup, Plano de inspeção em sub-lotes	2	1	
					Falha no equipamento				3	2	4
					Falha do operador				3	2	2
Usinagem da operação 40	FRESAR PONTA	1. Espessura e distância maior 2. Espessura e distância menor.	1. Não monta no conjunto. 2. Desgaste prematuro do conjunto.	8	Escolha inadequada de dispositivo e ferramenta	3	Usinagem conforme FOC. Elaboração conforme desenho do cliente.	Liberação de Setup, Plano de inspeção em sub-lotes	2	4	
					Falha no equipamento				3	2	8
					Falha do operador				3	2	8
Usinagem da operação 50	FURAR PONTA	1  maior. 2  maior. 3. Furo maior. 4. Furo menor.	1,2 e 3. Desgaste prematuro da rosca 4. Não monta no conjunto	2	Escolha inadequada de Ferramental	2	Usinagem conforme FOC. Elaboração conforme desenho do cliente.	Liberação de Setup, Plano de inspeção em sub-lotes	2	6	
					Falha no equipamento				2	2	6
					Falha do operador				2	2	3
					Falha do operador				2	2	2
Usinagem da operação 60	QUEBRAR CANTO	1. Peças com rebarba. 2. Peças chanfradas demais.	1. Não monta no conjunto. 2. Desgaste prematuro do conjunto.	8	Escolha inadequada de Ferramental	2	Usinagem conforme FOC. Elaboração conforme desenho do cliente.	Liberação de Setup, Plano de inspeção em sub-lotes	2	3	
					Falha no equipamento				2	2	2
					Falha do operador				2	2	2
Usinagem da operação 70	FRESAR CHATO	1. Distância maior 2. Distância menor	1 e 2. Não monta no conjunto.	8	Fixação inadequada	2	Usinagem conforme FOC. Elaboração conforme desenho do cliente.	Liberação de Setup, Plano de inspeção em sub-lotes	2	3	
					Falha no equipamento				2	2	2
					Falha do operador				2	2	2
Usinagem da operação 80	REBARBAR	1. Peças com rebarba. 2. Rebarbada demais.	1 e 2. Não interfere no conjunto.	1	Escolha inadequada de Ferramental	2	Usinagem conforme FOC. Elaboração conforme desenho do cliente.	Liberação de Setup, Plano de inspeção em sub-lotes	2	4	
					Falha no equipamento				3	2	4
					Falha do operador				3	2	6

Figura 7 – PFMEA o planejamento (continuação)

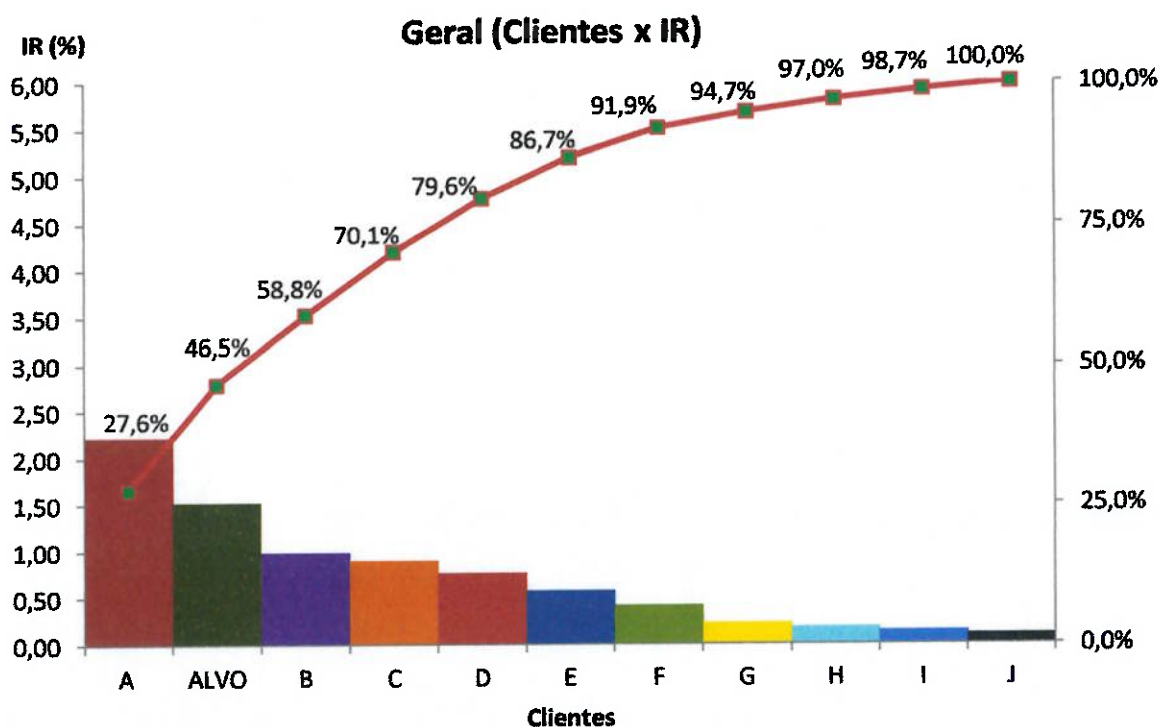
Tratamento Superficial	Tratamento Superficial (Nitretação)	Falha de cobertura	Baixa resistência, aspecto visual ruim e desgaste prematuro da porca	4	Falha na inspeção e/ou Processo de nitretação	3	Inspeção visual e Certificado de Qualidade	2	2
		Dureza abaixo do especificado.							
Inspeção Final	Insp. Final e visual 100%	Oxidação prematura	Aspecto visual ruim	4	Falha na inspeção e/ou Processo do fornecedor	2	Inspeção visual. Levar e clear as peças.	2	1
Embalagem	Código de peças	Enviar menos peças que o solicitado no pedido.	Não atender o pedido	2	perda do produto	1	Peças organizadas em caixa de papelão e identificada.	1	2

A segunda etapa é a execução (*Do*) do planejado. Nessa etapa são fornecidos os treinamentos e orientações necessárias, afim de que todos os envolvidos no processo estejam aptos e conhecedores dos possíveis defeitos que podem ocorrer na atividade que executam.

A terceira etapa é a verificação (*Check*) no qual a empresa verifica se os objetivos e metas estipulados foram atingidos.

Para verificar se os objetivos e metas foram alcançados, utilizou-se o gráfico 1, Diagrama de Pareto, para ranquear os índices de desperdício, aqui denominado refugo (IR). Da esquerda para a direita estão ranqueados por clientes os produtos que possuem maior índice de desperdício.

Gráfico 1- Índice de refugo por clientes

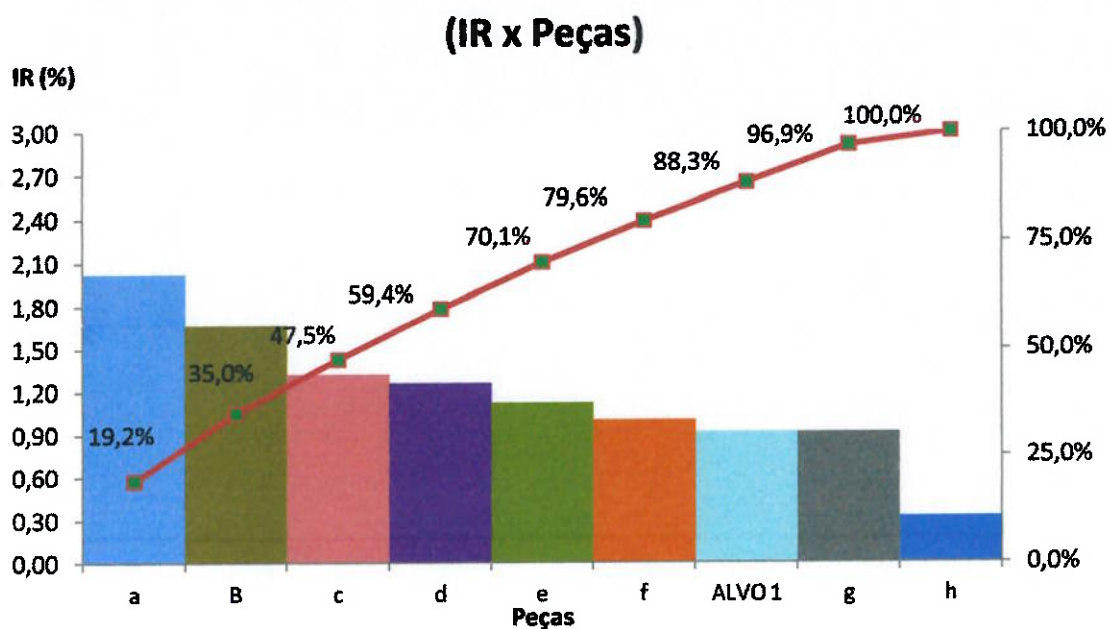


O IR dos produtos do cliente denominado no gráfico acima como ALVO está em 1,52%.

A peça estudada nesse trabalho denominada como porca de ajuste (ALVO 1), trata-se de item seriado, ou seja, todos os meses fabrica-se e os índices estão acima da meta proposta.

Através da estratificação do gráfico 1, tem-se que o IR da porca de ajuste está com 0,92% como mostra o gráfico 2.

Gráfico 2 – Índice de refugo por peças de mesmo cliente



Os outros produtos a esquerda do gráfico a partir do ALVO 1, estão com os índices mais elevados, porém foram considerados de menor relevância por não haver produção mensal e o volume é menor comparado aos demais.

Para determinar os principais motivos que originaram esse IR e ranqueá-los, estratificou-se novamente conforme o gráfico 3.

A figura 8 mostra a carta de controle antes da implementação das ações propostas.

Gráfico 3 – Índice de refugo por motivo

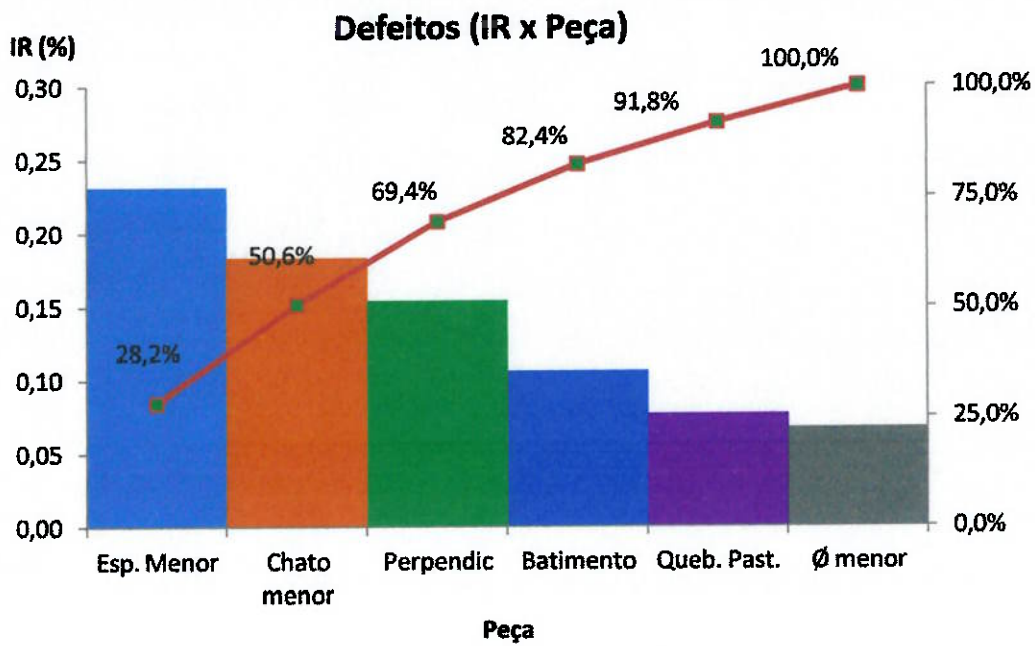
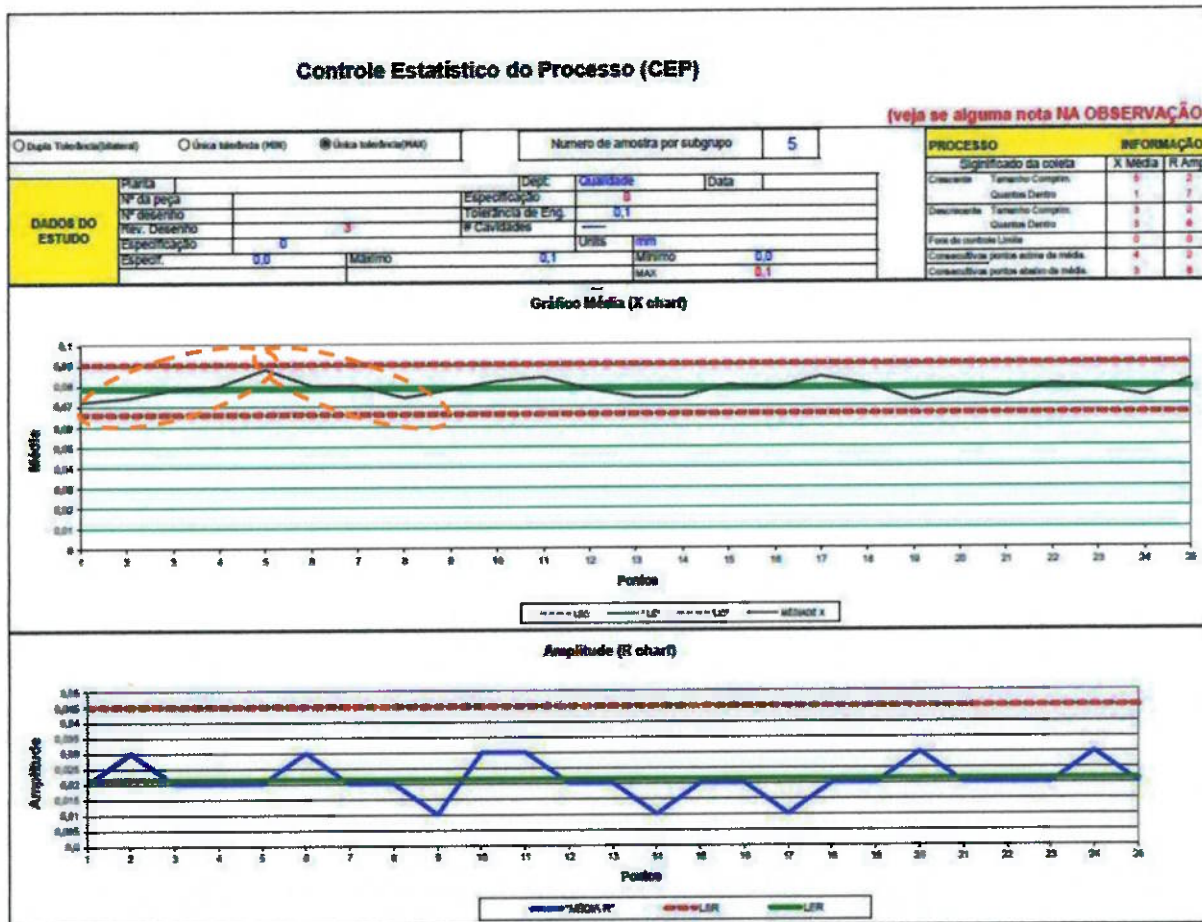
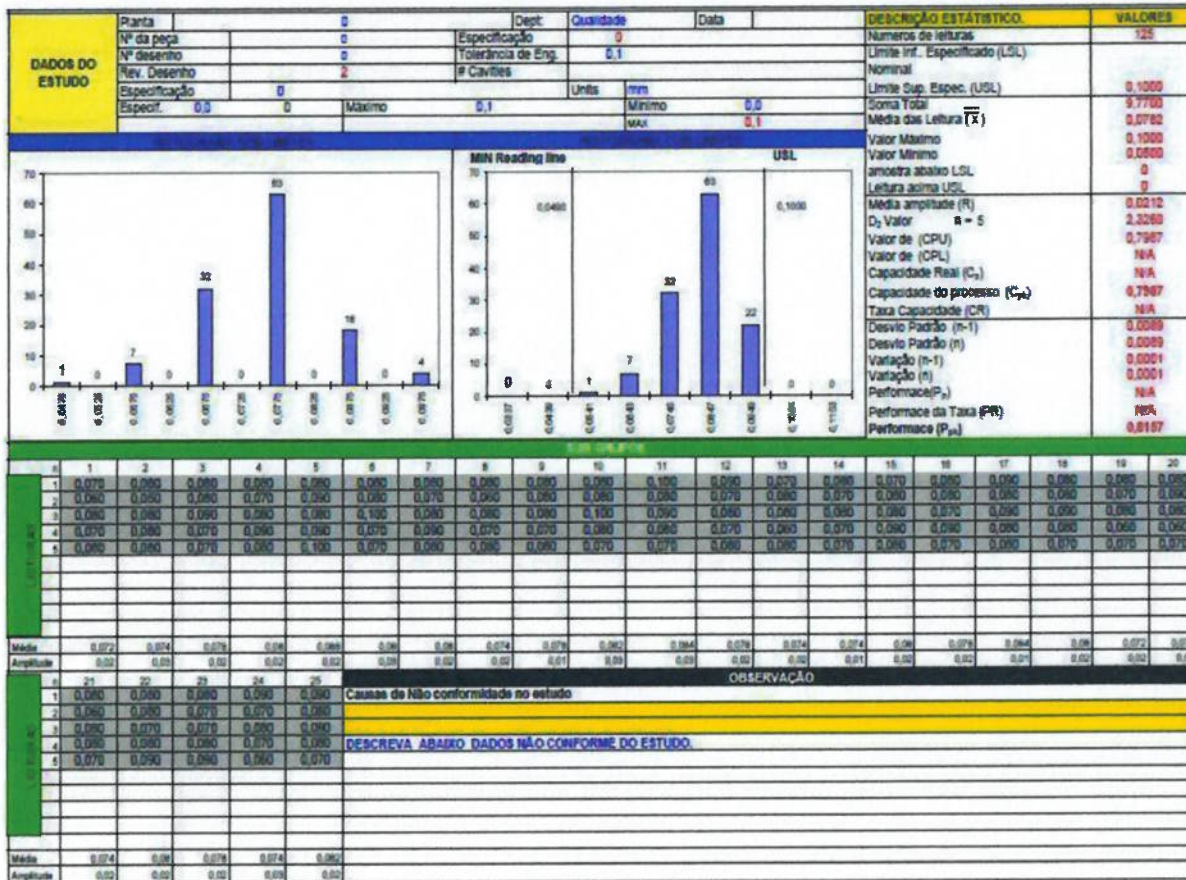


Figura 8 – Carta de controle da cilindricidade antes das ações





Analisando o gráfico aparentemente pode-se entender que o processo está capaz, no entanto, nota-se que há certa tendência (tracejado em laranja no gráfico Média), inicialmente ascendente e depois descendente. O valor de Cpk está menor que 1, ou seja, processo incapaz mesmo que esteja entre os limites especificados. O valor de Ppk estar menor que 1 indica que o desempenho do processo não é capaz.

As amostras forma coletadas a cada 30 minutos e medidas com relógio apalpador pelo operador.

Após o conhecimento dos maiores problemas, reuniu-se novamente a equipe multidisciplinar com intuito de encontrar a causa raiz dos problemas e aplicar as ações corretivas devidas. A partir daqui inicia-se a quarta etapa, da ação (*Action*).

Em reunião com a equipe multidisciplinar utilizou-se a técnica de *brainstorming* para catalogar as possíveis causas para cada problema evidenciado anteriormente. Consensualmente e por exclusão coletou-se as ideias mais familiares à causa raiz e automaticamente entre uma ideia e outra apareceram as ações para correção, detecção e prevenção.

Adicionalmente ao *brainstorming*, foi utilizada a técnica de entrevista. Foram entrevistados dois líderes de setor e dois preparadores de máquina individualmente, foram expostas as ações propostas apresentadas na tabela 1. O intuito era colher mais informações que pudessem complementar a investigação da causa raiz, complementar as ações e saber se as ações a ser implementadas poderiam surtir o resultado esperado. Para esse caso as ações foram corroboradas pelos entrevistados.

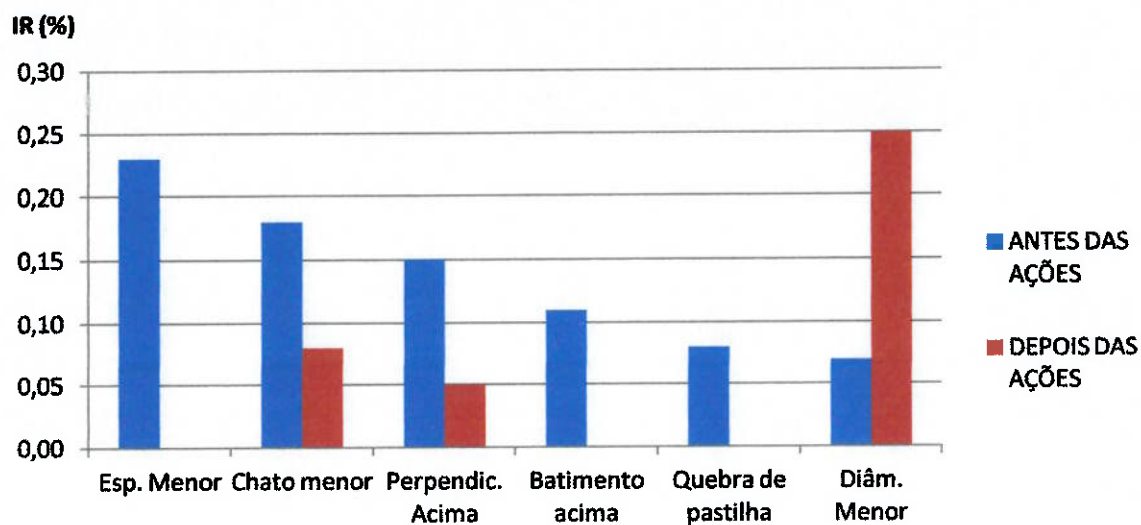
Tabela 1 – Ações corretivas e preventivas

<b>Motivos</b>	<b>Causa Raiz</b>	<b>Ações Corretivas</b>	<b>Ações Preventivas</b>
Espessura menor	A peça inclina no sentido transversal devido esforço na usinagem	Troca do suporte de fixação	Estreitar a faixa de tolerância em dois centésimos
Chato menor	Posicionamento da peça	Substituição do dispositivo de fixação	Alterar a frequência de medição de uma peça a cada hora para uma peça a cada trinta minutos
Perpendicularidade acima de 0,1 mm	Dispositivo de fixação não resistia satisfatoriamente ao esforço da usinagem	Substituição de máquina operatriz	Acompanhamento da produção medindo em tridimensional
Batimento acima de 0,1 mm	Folga na Pinça	Substituição da pinça	Diminuição da frequência de medição de uma peça a cada duas horas para uma peça a cada hora
Quebra de pastilha	Alto esforço na usinagem	Diminuir o esforço na usinagem aumentando em mais um ciclo o desbaste	Controle de vida útil da pastilha
Diâmetro menor	Falha na correção do programa CNC	Treinamento	Realizar novo setup a cada correção do programa

Após um mês das implementações das ações descritas na tabela 1, foram reavaliados os objetivos e metas, o fluxo do processo e o estudo de PFMEA foram alterados conforme mostrado respectivamente nas figuras 9 e 10. A figura 12 mostra a carta de controle posterior as ações.

Constatou-se que alguns defeitos não ocorreram, por exemplo, batimento acima do especificado e espessura menor, no entanto, outros defeitos continuaram a ocorrer porém com índice menor, como mostrado no gráfico 4.

Gráfico 4 – Índice de refugo antes e depois das ações implementadas



O índice médio de produtividade antes das ações implementadas era de 60 peças por hora, e após a implementação das ações foi registrado índice médio de 88 peças por hora.

Figura 9 – Fluxo do processo após a implementação das ações

Nome da empresa		<b>DIAGRAMA DE FLUXO DO PROCESSO</b>										
CLIENTE:										CÓDIGO		
DESCRIÇÃO:		Porca de ajuste								DATA:	17/07/2013	
DESENHO:		RESPONSÁVEL:		Cristiano Lima						REVISÃO:	3	
CÓD. CLIENTE:												
ETAPA	OPERAÇÃO	OPERAÇÃO EXTERNA	MOVER	ESTOCAR	INSPEÇÃO	Nº OPERAÇÃO	DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO PRODUTO	CARACTERÍSTICAS ESPECIAIS DE CONTROLE DE PROCESSO			
1							RECEBIMENTO DA MATÉRIA-PRIMA E INSPEÇÃO	Quantidade - Dimensões - Documentação	PESO(Kg) - AISI420 - Ø15,88 mm - CERTIFICADO DA QUALIDADE			
2			→				MOVER PARA ESTOQUE DA MATÉRIA-PRIMA	XXXXXXXXXX	Identificação do lote de entrada			
3				▽			ESTOCAR	Disposição compatível com as dimensões da matéria-prima	XXXXXXXXXX			
4			→				MOVER PARA LINHA DE TORNO CNC (TCN-14)	XXXXXXXXXX	Transcrição do lote de entrada na Ordem de Serviço			
5						10	USINAR EXTERNO E ROSCA M8x1,0 (TCN-14)	Dimensões conforme plano de operação e controle	Utilização de sub-lotes			
6						20	FRESAR, FURAR E CHANFRAR PONTA (CEU-05)	Dimensões conforme plano de operação e controle	Utilização de sub-lotes			
7						30	FRESAR CHATO (CEU-1, 2 ou 3)	Dimensões conforme plano de operação e controle	Utilização de sub-lotes			
8						40	TAMBOREAR	Peças isentas de rebarba	Aspecto visual			
13			→				MOVER PARA EXPEDIÇÃO - TRATAMENTO SUPERFICIAL	Etiqueta de identificação do produto e características do tratamento	Nota Fiscal - quantidade - tipo de tratamento (nitretação líquida) - fornecedor homologado			
14							EXECUÇÃO DO TRATAMENTO SUPERFICIAL	Espessura da Camada e dureza superficial	Processo do Fornecedor (conf. Especificação)			
16						60	LAVAR PEÇAS 100% LOTE	Peças isentas de resíduos nas roscas	Aspecto Visual			
17						70	INSPEÇÃO FINAL 100%	Conforme Plano de Operação e Controle	Aspecto Visual			
18			→				MOVER PARA EXPEDIÇÃO	Embalagem Compatível	Identificação de Aprovado			
19							EXPEDIR	Quantidade	Nota Fiscal de Saída			

OBSERVAÇÕES:

As colunas realçadas em cinza, representam as alterações realizadas em comparação ao fluxo de processo anterior as ações implementadas.

Figura 10 – PFMEA após ações

Função do Processo	Requisitos	Modo da Falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	S e v e r i d e	C i a s s i f.	Causas e Mecanismos Potenciais da Falha	O c o r r.	Controles Atuais do Processo Prevenção	Controles Atuais do Processo Detecção	D e t e c.	N. P. R.
Recebimento de matéria-prima	Verificação da matéria-prima	Diâmetro fora do especificado	Maior: Não alimenta a máquina.	4	N	Falha na Inspeção de Recebimento	3	Inspeção de recebimento.	Comparar com pedido de compra	4	48
			Menor: Quebra da pinça ou Ø fora do especificado	4	N		3			4	48
		Comprimento fora do especificado	Maior: perda de material nas pontas	4	N		3			4	48
			Menor: excesso de troca de barras	4	N		3			4	48
		Empenamento maior que o especificado	Perda de produção. Aumento da probabilidade de sucata e manutenção de máquina.	4	S	Falha na inspeção do fornecedor	3	NA	Certificado da Qualidade do Fornecedor	4	48
		Composição Química fora do especificado	Baixa usinabilidade, incompatibilidade com o requisito do cliente	4	N	Falha na inspeção do Fornecedor	3	N/A	Certificado da Qualidade do Fornecedor	4	48
Armazenagem da matéria-prima	Etiqueta de identificação	Mistura de lotes ou comidas	Perda da Rastreabilidade	6	N	Falha do operador de estoque	3	Organização na prateleira e número do pedido na etiqueta de identificação.	Identificação do lote, FIFO, controle computadorizado	4	72
Usinagem da operação 10	USINAR EXTERNO, FURAR E ROSQUEAR (M8x1,0)	Comprimento de 59 mm acima do especificado	Profundidade da rosca e furo fora do especificado	5	N	Falha operacional na correção do programa	3	Controle de vida útil do bedame, broca e macho. Usinagem conforme FOC. Elaboração conforme desenho do cliente.	Paquímetro. Tridimensional. Liberação de Setup, Plano de inspeção em sub-lotes	4	60
			Desgaste do bedame.	3	4	64					
		Comprimento de 59 mm abaixo do especificado	Rosca curta e chato deslocado no comprimento	8	X	Falha no equipamento	2			4	48
			Desgaste da broca	4		3	60				
		0,2 I A acima do especificado	Desgaste da membrana do conjunto	5	X	Falha do operador	3	4	60		
			Ø Rosca menor	Não monta no conjunto		8	X	Falha do operador	3	Usinar conforme a FOC.	4
		Desgaste do macho		8	4	96					
		Ø Rosca maior	Desgaste prematuro da rosca no conjunto	6	X	Falha do operador	2	Usinagem conforme FOC. Elaboração conforme desenho do cliente.	4	48	
			Desgaste da broca	6			3		72		
		Diâmetro acima e abaixo do especificado	Desgaste do inserto	4	N	Falha do operador	4	Usinar conforme FOC. Controle de vida útil de ferramenta	4	64	
			Falha na correção da dimensão	4			3		4	48	
		Profundidade do furo acima do especificado	Desgaste da broca	4	N	Falha do operador	3	Usinar conforme FOC. Controle de vida útil de ferramenta	4	48	
		Profundidade da rosca fora do especificado	Falha na substituição da ferramenta	4	N	Falha do operador	3		4	48	
		Chanfro e raio fora do especificado	Desgaste do inserto	5	N	Falha do operador	3	Usinar conforme FOC. Controle de vida útil de ferramenta	4	60	
Comprimento de 29 mm menor que o especificado	Desgaste do inserto	4	N	Falha do operador	4	4	64				

Figura 10 – PFMEA após ações (continuação)


Usinagem da operação 20	FRESAR, FURAR E CHANFRAR PONTA	Furo acima do especificado	Desgaste prematuro do conjunto	5	X	Falha do operador	2	Controle de vida útil da ferramenta	Calibrador P/NP liso, Plano de inspeção em sub-lotes	5	50
			Desgaste da broca	5		Falha do operador	2			5	50
		Furo abaixo do especificado	Não monta no conjunto	8	X	Desgaste de ferramenta	2	Liberação de setup		5	80
			Broca fora do especificado	7		Falha no fornecimento	2			5	70
		Espessura fora do especificado	Maior. Não monta no conjunto. Menor. Desgaste prematuro do conjunto.	8	X	Desgaste do inserto	3	Usinagem conforme FOC. Elaboração conforme desenho do cliente.	Micrômetro. Liberação de Setup, Plano de inspeção em sub-lotes	5	120
						Falha de correção	3			5	60
				4		Falha do operador	3			5	60
		± 0,10 A acima do especificado	Desgaste prematuro do conjunto	8	X	Desgaste da broca	2	Usinagem conforme FOC. Elaboração conforme desenho do cliente.	Tridimensional. Liberação de Setup, Plano de inspeção em sub-lotes	5	80
				Erro de posicionamento da peça		8	Cavaco na pinça			4	5
		 0,10 A maior.	Pode não montar no conjunto	5		Desgaste da broca	2			5	50
		RZ 4 acima do especificado	Desgaste da broca	4	X	Falha do operador	4	Controle de vida útil da broca	Rugosímetro. Liberação de Setup, Plano de inspeção em sub-lotes	5	80
				4	N		3			5	60
Chanfro de 10,80 mm fora do especificado	Desgaste de ferramenta	4	N	Cavaco na pinça	3	Usinagem conforme FOC. Elaboração conforme desenho do cliente.	Projektor de perfil. Liberação de Setup, Plano de inspeção em sub-lotes	5	120		
		6	N		2			5	60		
Comprimento de 49 e 28,5 mm fora do especificado	Não monta o conjunto no cliente	8	N	Lascar a broca	2	Usinagem conforme FOC. Elaboração conforme desenho do cliente.	Projektor de perfil ou paquímetro. Liberação de Setup, Plano de inspeção em sub-lotes	5	40		
	Falha na fixação	6	N		2			5	60		
Raio fora do especificado	Desgaste da ferramenta	4	N	Falha do operador	2	Usinagem conforme FOC. Elaboração conforme desenho do cliente.	Projektor de perfil ou paquímetro. Liberação de Setup, Plano de inspeção em sub-lotes	5	90		
		6	N		3			5	90		
Usinagem da operação 30	FRESAR CHATO	1. Largura, comprimento e espessura maior. 2. Largura, comprimento e espessura menor.	1. Pode não encaixar a chave. 2. A chave encaixa com folga.	6	N	Desgaste da ferramenta	3	Usinagem conforme FOC. Elaboração conforme desenho do cliente.	Liberação de Setup, Plano de inspeção em sub-lotes	5	60
				6		Falha na fixação	3			5	90
Operação 40	Tamborear	Falha na retirada da rebarba	Peças com rebarbas	4	N	Falha do tamboreador	Inspeção visual amostral	Visual	8	64	
				8					N	Falha na inspeção e/ou Processo do fornecedor	N/A
Operação 60	Lavar peças	Falha na lavagem	Rosca com resíduo de sal	5	N	Falha operacional	Visual	Visual			
			Solução contaminada	4					2	Utilizar solução limpa	8

Figura 10 – PFMEA após ações (continuação)

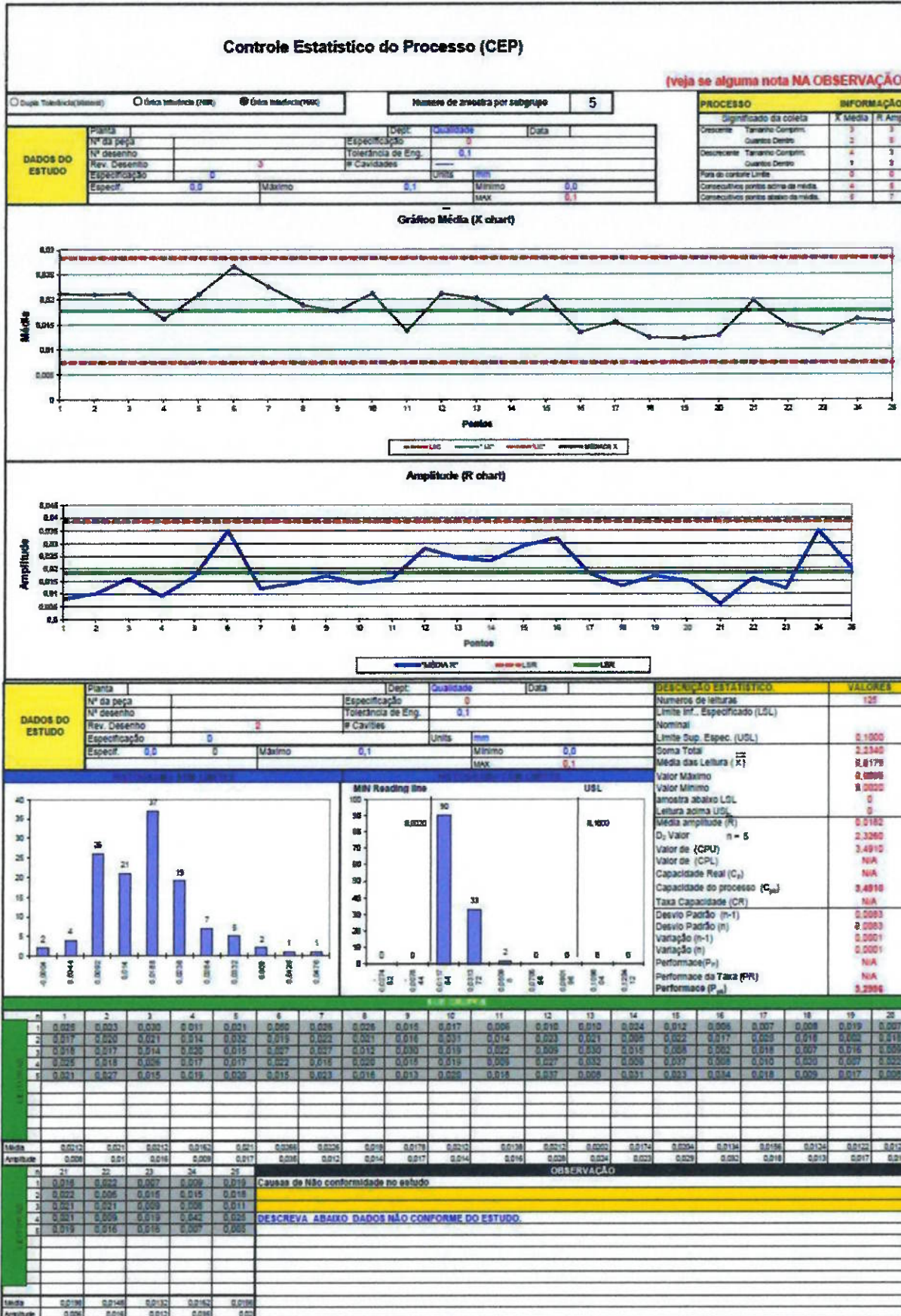
Operação 70	INSPEÇÃO FINAL	Excesso de sal da nitratação na rosca	Não monta no conjunto	8	N	Falha operacional	3	Lavar e injetar ar nas peças	Contra peça 100% manual	7	188
		Rosca M8x1,0 fora do especificado	Não monta no conjunto	8	X	Falha operacional	2	N/A	Calibrador de rosca P/NP manual	7	112
		Comprimento da rosca fora do especificado			N				Contra peça 100% manual		
		Furo Ø 10 fora dos especificado	Pode não montar no conjunto	8	X	Falha operacional	2	NA	Calibrador P/NP liso.	7	112
		Esp. 6,0 mm fora do especificado	Pode não montar no conjunto	8	N				2		
		⊥ 0,10 A acima do especificado	Pode não montar no conjunto	7	X	Falha na substituição da broca	2	NA	Tridimensional	7	98
		Chato deslocado no comprimento	Não monta no conjunto	7	N	Falha operacional	2	N/A	Visual	7	98
		Falha no tratamento superficial	Oxidação / desgaste prematuro	4	N	Falha na inspeção e/ou Processo do fornecedor	2	Lavar e olear as peças	Visual e Certificado de Qualidade do fornecedor	8	64
Embalagem	Código de peças	Enviar ao cliente menos peças que o solicitado no pedido.	Não atender o pedido	4	N	Erro no contagem das peças	2	Peças organizadas em caixa de papelão e identificadas.	Pesar as peças	8	64

A figura 11 abaixo menciona as ações recomendadas para os modos de falhas potenciais mostrados na figura 10.

Figura 11 – Ações recomendadas do PFMEA

Letras destacadas no NPR da figura 10	Ações Recomendadas	Responsabilidade e data de conclusão pretendida	Resultados de ações				
			Ações implementadas/ data de conclusão	S	O	D	N. P. R.
<b>A</b>	Controle de vida útil do macho	Gelson. 05/08/13	Sim. No prazo.	8	2	4	64
<b>B</b>	Controle de vida útil do inserto	Gelson. 05/08/13	Sim. No prazo.	8	2	5	80
	Controle de vida útil da broca	Gelson. 05/08/13	Sim. No prazo.	8	2	4	64
<b>C</b>	Sistema de limpeza automática	Djalma. 05/09/13		8	2	4	64
<b>D</b>	Sistema de limpeza automática na pinça	Djalma. 05/09/13		8	2	4	64
<b>E</b>	Checar a dureza de cada lote	Cristiano 30/08/13	Sim. No prazo.	8	2	7	112
<b>F</b>	Inspeção Visual 100%	Cristiano 30/08/13	Sim. No prazo.	8	2	7	112

Figura 12 – Carta de controle após as ações



As amostras foram coletadas a cada trinta minutos e medidas em máquina tridimensional no laboratório metrológico.

Os índices de capacidade de processo (Cpk) e de desempenho de processo (Ppk) indicam que o processo está capaz, pois os índices estão acima de 1,33. A variação do processo se enquadra entre os limites especificados em projeto.

Os problemas de qualidade não foram identificados no PFMEA mostrado na figura 7 por diversos motivos:

- a) A equipe multidisciplinar falhou na identificação de possíveis falhas, no nível de detalhamento e sagacidade de sua análise.
- b) A equipe técnica do cliente não foi devidamente envolvida, afim de obter informações pertinentes a possíveis modos de falhas e os efeitos potenciais de falhas em seu processo de montagem.
- c) Não foi devidamente analisado junto ao fornecedor de tratamento térmico as possíveis falhas, como por exemplo, resíduo de sal da nitretação entre os filetes da rosca.
- d) Não foi solicitado ao cliente o envio das lições apreendidas.

#### 4. RESULTADO DO ESTUDO DE CASO

Em reunião e discussões com a equipe multidisciplinar e a alta direção, conclui-se que as melhorias implementadas mediante as metas estabelecidas foram alcançadas e os objetivos excederam as expectativas.

O índice de refugo passou de 0,92% antes das ações de melhoria para 0,38% após as ações conforme mostra o gráfico 4.

A produtividade após as implementações das ações corretivas e das preventivas foi acima do estabelecido na fase de desenvolvimento, pois a meta foi aumentar a produtividade em 5% em no máximo 2 meses, e a produtividade estava em 60 peças por hora passando para 88 peças por hora, que corresponde aproximadamente a um aumento de 47%, ou seja, aproximadamente 42 pontos percentuais a mais que o desejado.

Pode-se notar que se fossem utilizados somente o PDCA e o FMEA para redução do índice de refugo, provavelmente os resultados não seriam alcançados no mesmo tempo, pois os métodos complementares utilizados foram relevantes para apressar a identificação dos possíveis desvios de qualidade. O gráfico de pareto foi utilizado para ranquear os defeitos por nível de aparecimento, possibilitando concentrar esforço nos desvios mais presentes. O CEP bem como a carta de controle possibilitou avaliar se o processo estaria estável e capaz.

Os gráficos da carta de controle mostram que o processo estabilizou e que está sob controle estatístico, uma condição a mais na prevenção de possíveis desvios de qualidade.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Através da aplicação das metodologias ao estudo de caso, pode-se mostrar e evidenciar que as ferramentas da qualidade utilizadas, auxiliaram na melhoria da qualidade, produtividade e segurança no planejamento dos processos de usinagem.

Os problemas de qualidade na usinagem podem ser mitigados sem acarretar custos adicionais à organização.

O estudo de PFMEA foi relevante, pois propiciou o desdobramento de cada etapa do processo no qual possibilitou a identificação dos problemas existentes e os que poderiam advir.

Outra técnica que trouxe ótimos benefícios foi o *brainstorming*, pois possibilitou identificar inúmeras oportunidades de melhoria e potenciais problemas.

É importante intensificar a participação de operadores e preparadores de máquina no planejamento do processo e na solução de problemas, pois os mesmos possuem muitas informações que ficam encobertas pelas poucas oportunidades de se expressarem.

Recomenda-se treinar e orientar a mão de obra fabril baseando-se nas lições aprendidas antes de realocá-la, pois diminui-se a probabilidade de desvios de qualidade por falta de informações e conhecimento dos problemas outrora identificados.

As dificuldades encontradas na aplicação da metodologia *brainstorming* e análise de PFMEA, decorreu-se da dificuldade de ajustar a agenda dos envolvidos nas datas dispostas para reunião.

Conclui-se que as metodologias aplicadas visando mitigar a ocorrência de peças não conformes no processo de usinagem, são importantes para aumentar a qualidade inicial dos produtos, fator necessário para se manter competitivo no mercado e por consequência obter a satisfação dos clientes.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, F. F. de. **O método de melhorias PDCA**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO TS 16949 - Sistemas de Qualidade Automotiva**. Brasil: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001 - Sistemas de Gestão da Qualidade**. Brasil: ABNT, 2008.

BARROS, F.F. **A melhoria contínua no processo de plantio da cana-de-açúcar**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia a dia**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2004.

CHOO, C. W. **A Organização do Conhecimento**. São Paulo: SENAC, 2003.

CHRYSLER LLC; FORD MOTOR COMPANY; GENERAL MOTORS CORPORATION. **Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial (FMEA) – Manual de Referência Quarta Edição**. São Paulo: IQA – Instituto da Qualidade Automotiva, 2008.

CHRYSLER LLC; FORD MOTOR COMPANY; GENERAL MOTORS CORPORATION. **Controle Estatístico de Processo (CEP) – Manual de Referência Segunda Edição**. São Paulo: IQA – Instituto da Qualidade Automotiva, 2005.

GALVANI, L. R. **Análise comparativa da aplicação do Programa Seis Sigma em processos de manufatura e serviços**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

HIRAYAMA, R. E. **Otimização do planejamento de processos de montagem final da indústria automotiva**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

<http://academiaplatonica.com.br/2011/gestao/cep-controle-estatistico-de-processo/>.

Acesso em 20/01/2014.

KAMINSKI, P. C. **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

PALADY, P. **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. 3. ed. São Paulo: IMAM, 2004.

ROSSI, C. A. V.; SLONGO, L. A. Pesquisa de satisfação de clientes: o estado-da-arte e proposição de um método brasileiro. **Revista de administração contemporânea**. V2. n1.pp. 101-125.1998.

SOUZA, R. V. B. de. **Aplicação do método FMEA para priorização de ações de melhorias em fluxos de processos**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

TAKAHASHI, F. H. **Aplicação do controle estatístico de processo (CEP) como ferramenta para a melhoria da qualidade do leite**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

## ANEXOS

Anexo A – Tabela para Classificação de Severidade

Efeito	Critérios: Severidade do Efeito no Produto (Efeito no Cliente)	Classificação	Efeito	Critérios: Severidade do Efeito no Processo (Efeito na Fabricação/Montagem)
Falha em Atender a Requisitos de Segurança e/ou Regulatórios	<p>Modo de falha potencial afeta a operação segura do veículo e/ou envolve não-conformidade com regulamentação governamental, sem prévio aviso.</p> <p>Modo de falha potencial afeta a operação segura do veículo e/ou envolve não-conformidade com regulamentação governamental, com prévio aviso.</p>	10  9	Falha em Atender a Requisitos de Segurança e/ou Regulatórios	<p>Pode trazer perigo ao operador (de máquina ou montagem), sem prévio aviso.</p> <p>Pode trazer perigo ao operador (de máquina ou montagem), com prévio aviso.</p>
Perda ou Degradação da Função Primária	<p>Perda da função primária (veículo inoperável, não afeta a operação segura do veículo).</p> <p>Degradação da função primária (veículo operável, mas com um nível reduzido de desempenho).</p>	8  7	Interrupção Maior  Interrupção Significante	<p>100% dos produtos podem ser refugados. Parada da linha de produção ou parada de embarque (expedição)</p> <p>Uma parcela do lote de produção pode ser refugada. Desvio do processo primário, incluindo velocidade reduzida da linha de produção e acréscimo de mão de obra.</p>
Perda ou Degradação da Função Secundária	<p>Perda da função secundária (veículo operável, mas as funções de conforto/conveniência estão inoperáveis).</p> <p>Degradação da função secundária (veículo operável, mas as funções de conforto/conveniência apresentam um nível reduzido de desempenho).</p>	6  5	Interrupção Moderada	<p>100% do lote de produção pode ser retrabalhado fora da linha e aceito.</p> <p>Uma parcela do lote de produção pode ser retrabalhada fora da linha e aceita</p>
Incômodo	<p>Aparência ou Ruído Audível, veículo operável, item não conforme e percebido pela maioria dos clientes (&gt; 75%).</p> <p>Aparência ou Ruído Audível, veículo operável, item não conforme e percebido por muitos clientes (&gt; 55%).</p> <p>Aparência ou Ruído Audível, veículo operável, item não conforme e percebido por clientes observadores (&lt; 25%).</p>	4  3  2	Interrupção Moderada  Interrupção Menor	<p>100% do lote de produção pode ser retrabalhado na estação, antes de ser processado.</p> <p>Uma parcela do lote de produção pode ser retrabalhada na estação, antes de ser processado.</p> <p>Ligeira inconveniência para o processo, operação ou operador</p>
Nenhum efeito	Nenhum efeito perceptível.	1	Nenhum efeito	Nenhum efeito perceptível.

### Anexo B – Tabela para Classificação de Ocorrência

Probabilidade de Falha	Critérios: Ocorrência de Causa - PFMEA (Incidentes por itens/veículos)	Classificação
<b>Muito Alta</b>	$\geq 100$ por mil $\geq 1$ em 10	<b>10</b>
<b>Alta</b>	50 por mil 1 em 20	<b>9</b>
	20 por mil 1 em 50	<b>8</b>
	10 por mil 1 em 100	<b>7</b>
<b>Moderada</b>	2 por mil 1 em 500	<b>6</b>
	0,5 por mil 1 em 2.000	<b>5</b>
	0,1 por mil 1 em 10.000	<b>4</b>
<b>Baixa</b>	0,01 por mil 1 em 100.000	<b>3</b>
	$\leq 0,001$ por mil 1 em 1.000.000	<b>2</b>
<b>Muito Baixa</b>	A falha é eliminada através de controle preventivo.	<b>1</b>

### Anexo C – Tabela de Classificação de Detecção

Oportunidade para Detecção	Critérios: Probabilidade de Detecção por Controle de Processo	Classificação	Probabilidade de Detecção
Nenhuma oportunidade de detecção.	Nenhum controle de processo. Não se pode detectar, ou não está analisado.	10	Praticamente Impossível
Improvável detectar em qualquer estágio.	Modo de falha e/ou Erro (Causa) não é facilmente detectável (por exemplo, auditorias aleatórias).	9	Muito Remota
Detecção do Problema Pós-Processamento	Detecção do modo de falha pós-processamento, pelo operador, através de meios visuais/táteis/audíveis.	8	Remota
Detecção do Problema na Origem	Detecção do modo de falha, na estação, pelo operador, através de meios visuais/táteis/audíveis, ou pós-processamento, através do uso de medição por atributo (passa/não-passa, verificação de torque manualmente/por chave de estalo etc.).	7	Muito Baixa
Detecção do Problema Pós-Processamento	Detecção do modo de falha, pós-processamento, pelo operador, através do uso de medição por variável, ou na estação, pelo operador, através do uso de medição por atributo (passa/não-passa, verificação de torque manualmente/por chave de estalo etc.).	6	Baixa
Detecção do Problema na Origem	Detecção do modo de falha ou Erro (Causa) na estação, pelo operador, através do uso de medição por variável, ou por controles automáticos na estação, que detectarão peças discrepantes e notificarão o operador (luz, campainha etc.). Medição realizada no setup e verificação da primeira peça (somente para causas de setup).	5	Moderada
Detecção do Problema Pós-Processamento	Detecção do modo de falha pós-processamento, por controles automáticos, que detectarão peças discrepantes e travarão a peça, para impedir processamento subsequente.	4	Moderadamente Alta
Detecção do Problema na Origem	Detecção do modo de falha na estação, por controles automáticos, que detectarão peças discrepantes e automaticamente travarão a peça na estação, para impedir processamento subsequente.	3	Alta
Detecção do Erro e/ou Prevenção do Problema	Detecção de Erro (Causa), na estação, por controles automáticos, que detectarão o erro e impedirão que a peça discrepante seja produzida.	2	Muito Alta
Detecção não aplicável. Prevenção do Erro.	Prevenção de Erro (Causa) como resultado do projeto do dispositivo de fixação, projeto da máquina, ou projeto da peça. Peças discrepantes não podem ser produzidas porque o item foi tornado à prova de erro, pelo projeto do processo/produto.	1	Praticamente Certa