



Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DA QUALIDADE NA AUTOMAÇÃO DE UM PROCESSO DA INDÚSTRIA AERONAUTICA.

Taubaté
2016



Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

ANDERSON JOHNY PORTELA GOMES
RAFAEL BRITO GONÇALVES

**Aplicação das Ferramentas da Qualidade na Automação de um Processo da
Indústria Aeronáutica.**

Taubaté - SP
Ano de entrega

Anderson Johny Portela Gomes
Rafael Brito Gonçalves

Aplicação das Ferramentas da Qualidade na Automação de um Processo da Indústria Aeronáutica.

Trabalho de Graduação apresentado ao Coordenador de Trabalho de Graduação do curso de Engenharia Elétrica e Eletrônica do Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Taubaté, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica.

Orientador: JOSE CARLOS SAVIO SOUZA

Taubaté
2016

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

G633a	<p>Gomes, Anderson Johny Portela Aplicação das ferramentas da qualidade na automação de um processo da indústria aeronáutica. / Anderson Johny Portela Gomes, Rafael Brito Gonçalves. - 2016.</p> <p>57f. : il; 30 cm.</p> <p>Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica) – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica, 2016 Orientador: Prof. Me. José Carlos Savio Souza, Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica.</p> <p>1. Automação de processo. 2. Ferramentas da qualidade. 3. Melhoria contínua. 4. Processo industrial. I. Título.</p>
-------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Universidade de Taubaté

Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DA QUALIDADE NA AUTOMAÇÃO DE UM PROCESSO DA INDÚSTRIA AERONAUTICA

ANDERSON JOHNY PORTELA GOMES

RAFAEL BRITO GONÇALVES

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

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA


Prof. Dr. MAURO PEDRO PERES
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Me. JOSE CARLOS SAVIO SOUZA
Orientador/UNITAU-DEE

Prof. Me. RUBENS CASTILHO JUNIOR
UNITAU-DEE


Prof. Dr. MAURO PEDRO PERES
UNITAU-DEE

Dezembro de 2016

De modo geral, a todos os nossos professores que nos apoiaram e tiveram paciência conosco. Aos nossos familiares e pessoas amadas,

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, agradece a Deus, nosso Senhor, por ter nos dado saúde e sabedoria para estarmos aqui.

Ao nosso orientador, *Prof. Me. Jose Savio* que jamais deixou de nos incentivar. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível.

Aos nossos pais, que de ambos os lados, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram nossos estudos e trabalho.

Ao casal Shirley e Edson que nos deram base emocional para conduzir esse estudo

A todos que contribuíram com informações, dados e apoio, os quais não citarei agora, porém é inevitável não lembrar.

Mais inevitável ainda é não lembrar das alegrias e discussões ao lado dos “Bolinhas Club”, grupo de estudo que será levada muito além desses 5 anos passados.

A empresa aeronáutica que forneceu espaço e informação para o desenvolvimento dessa atividade, e dentro dela, um agradecimento especial para o Mestre Demetrio Cruz, que deu apoio técnico em todas as atividades aqui apresentadas.

RESUMO

Com a evolução no setor industrial, foi crescendo a necessidade na redução de custos de produção e aumento da produtividade. Aliados a esse pensamento a Automação de processos e a aplicação das Ferramentas da Qualidade, de forma preventiva foram ganhando espaço nas atividades dos engenheiros no setor industrial.

A Automação de um processo tem como objetivo maximizar a produtividade e minimizar os custos de produção. As Ferramentas da Qualidade atuam preventivamente e corretivamente no processo de fabricação, com o intuito de controlar o processo de forma a garantir que os requisitos do produto ou serviço sejam atendidos, assim como as expectativas dos clientes.

Este trabalho estará explorando a aplicação das Ferramentas da Qualidade na implementação de uma máquina para automatização de um Processo de Furação, com o objetivo de desenvolver práticas mais assertivas em todas as etapas do desenvolvimento de um novo processo para fabricação de um mesmo produto, assim como: Definição de requisitos, desenvolvimento de fornecedores, testes para pré-aceites e aceites, maturação do processo e implementação para produção em série. A partir dessas etapas serão descritas as ferramentas da qualidade que darão apoio e sustentação para Automação do processo, entre elas: Avaliação da Capabilidade do Processo, FMEA, 5W1H, Diagrama de Pareto, Diagrama de Causa-Efeito, Ciclo PDCA, etc.

PALAVRAS-CHAVE: Automação de Processo, Ferramentas da Qualidade, Melhoria contínua, Processos industriais.

ABSTRACT

With the evolution in the industrial sector, the need was increased in reducing production costs and increasing productivity. Allied to this thinking, Process Automation and the application of the Quality Tools, in a preventive way were gaining space in the activities of the engineers in the industrial sector.

Automation of a process aims to maximize productivity and minimize production costs. The Quality Tools act preventively and correctively in the manufacturing process, in order to control the process in order to ensure that the requirements of the product or service are met, as well as the expectations of the customers.

This work will be exploring the application of Quality Tools in the implementation of a machine for automation of a Drilling Process, with the objective of developing more assertive practices in all stages of the development of a new process for the manufacture of a same product, as well as: Definition of requirements, supplier development, pre-acceptance and acceptance testing, process maturation and implementation for serial production. From these steps will be described the quality tools that will provide support and support for Process Automation, among them: Process Capability Assessment, FMEA, 5W1H, Diagram Pareto, Diagram Cause-Effect, Cycle PDCA, etc.

KEYWORDS: Process Automation, Quality Tools, Continuous Improvement, Industrial Processes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – PDSC e DMAIC (Fonte: Pessoa, 2007)	16
Figura 2 – Simbologia Diagrama de Processo (Fonte: Correa & Correa, 2009).....	17
Figura 3 – Gráfico Sequencial (Fonte: Bonifácio, 2006)	18
Figura 4 – Folha de Verificação (Fonte: Davis et al, 2007)	20
Figura 5 – Gráfico de Pareto (Fonte: Correa & Correa, 2009)	21
Figura 6 – Diagrama de Arvore (Fonte: Souza, 2003)	22
Figura 7 – Diagrama de Ishikawa pelos 6 M’s (Fonte: Autor)	23
Figura 8 – Diagrama de Ishikawa por similaridade de assunto (Fonte: Davis et al, 2007)..	23
Figura 9 – Matriz Esforço x Impacto (Fonte: Rossi, 2007)	26
Figura 10 – Histograma (Fonte: Autor)	26
Figura 11 – Diagrama de Dispersão (Fonte: Autor)	27
Figura 12 – Carta de Controle de Processo (Fonte: Correa & Correa, 2009).	28
Figura 13 – (a)Processo capaz, (b)Processo não capaz (Fonte: Vasconcellos, 2007)	29
Figura 14 – Plano de Ação (Fonte: Souza,2003 (ILUSTRAÇÕES))	30
Figura 15 – Planilha de FMEA (Fonte: Autor)	31
Figura 16 – Exatidão x Tendência x Precisão (Fonte: adaptado de Werkema)	34
Figura 17 – Método DMAIC (Fonte: Autor)	36
Figura 18 – Indicadores de Gerência: Eventos ÑC x Área (Fonte: Autor)	37
Figura 19 – Pareto: Problemas x Qtde de Eventos x Custo 2015 (Fonte: Autor)	38
Figura 20 – FMEA na Montagem de Subconjuntos 2 (Fonte: Autor)	39
Figura 21 – Diagrama de Ishikawa no Processo de Furação (Fonte: Autor)	40
Figura 22 – Matriz Esforço x Impacto – Relacionado ao Brainstorming (Fonte: Autor) ..	40
Figura 23 – Trecho da SPEC (Fonte: Empresa Aeronáutica).....	43
Figura 24 – Especificação do Robô de Furação (Fonte: Empresa Aeronáutica).....	44
Figura 25 – Representação Gráfica do CDP (Fonte: Empresa Aeronáutica)	45
Figura 26 – Relógio comparador e Anel Padrão (Fonte: Empresa Aeronáutica).....	45
Figura 27 – Coletor de Dados (Fonte: Empresa Aeronáutica)	46
Figura 28 – Representação Gráfica da Normalidade do Processo (Fonte: Autor)	46
Figura 29 – Representação da Capabilidade do processo (Fonte: Autor)	46

Figura 30 – Rugosímetro (Fonte: Empresa Aeronáutica)	48
Figura 31 – MSA de Medição de Rugosidade (Fonte: Empresa Aeronáutica)	49
Figura 32 – MSA de Medição de Diâmetro (Fonte: Empresa Aeronáutica)	50
Figura 33 – Indicadores de Gerência: Eventos ÑC x Área (Fonte: Autor)	53
Figura 34 – Pareto: Problemas x Qtde de Eventos x Custo 2016 (Fonte: Autor)	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Seleção das causas mais prováveis	25
Tabela 2 – Critérios de Capacidade de Processo	29
Tabela 3 – Índice de Severidade	32
Tabela 4 – Índice de Ocorrência	33
Tabela 5 – Índice de Detecção	33
Tabela 6 – Componentes da Variabilidade de um Sistema de Medição	35
Tabela 7 – Descrição do Planejamento	37
Tabela 8 – Quantidade de Eventos x Problema 2015	39
Tabela 9 – Etapas da Execução	40
Tabela 10 – Folha de Verificação	41
Tabela 11 – Brainstorming – Solução de Problemas no Processo de Furação	41
Tabela 12 – Medidas obtidas no dimensional de Rugosidade	47
Tabela 13 – Etapas de Implantação	49
Tabela 14 – Quantidade de Eventos x Problema 2016	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNQ	Custo da Não Qualidade
CPV	Custo do Produto Vendido
TQC	Controle da Qualidade Total
PDCA	Plan DO Check Action
LSE	Limite Superior de Especificação
LIE	Limite Inferior de Especificação
MASP	Metodologia de Análise e Solução de Problemas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO DO TRABALHO	13
1.2	JUSTIFICATIVA	13
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	14
2.1	QUALIDADE.....	14
2.2	CONTROLE DA QUALIDADE TOTAL	14
2.3	ENGENHARIA DA QUALIDADE.....	16
2.4	METODOLOGIA DMAIC	16
2.5	FERRAMENTAS DA QUALIDADE	17
2.5.1	DIAGRAMAS DE PROCESSO	18
2.5.2	GRAFICO SEQUENCIAL.....	18
2.5.3	ESTRATIFICAÇÃO	19
2.5.4	FOLHA DE VERIFICAÇÃO.....	20
2.5.5	GRAFICO DE PARETO	21
2.5.6	DIAGRAMA DE ARVORE	22
2.5.7	DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO	23
2.5.7.1	BRAINSTORMING	24
2.5.8	DIAGRAMA DE PRIORIZAÇÃO	25
2.5.9	MATRIZ ESFORÇO X IMPACTO	26
2.5.10	HISTOGRAMA	27
2.5.11	DIAGRAMA DE DISPERSÃO (CORRELAÇÃO)	28
2.5.12	CARTAS DE CONTROLE DE PROCESSO	28
2.5.13	INDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO	29
2.5.14	PLANO DE AÇÃO (5W1H).....	31
2.5.15	FMEA	32
2.5.16	ESTUDO DE MSA – ANALISE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO	35
3	METODOLOGIA	37
3.1	MÉTODO DMAIC.....	37
3.2	DEFINE.....	38
3.2.1	DEFINIR ESCOPO	38
3.2.2	META GERAL	38
3.3	MEASURE	39

3.3.1	MEDIR	39
3.4	ANALYZE	40
3.4.1	ANALISE DO PROBLEMA	40
3.5	IMPROVE	43
3.5.1	MELHORAR O PROCESSO.....	43
3.5.2	PRÉ-ACEITE	45
3.5.2.1	TESTES	45
3.5.2.2	ANALISE DOS DADOS OBTIDOS	48
3.5.3	IMPLATAÇÃO	48
3.5.3.1	ESTUDO DE MSA	49
3.5.3.2	APLICAÇÃO DOS TESTES DE FURAÇÃO.....	50
3.6	CONTROL	53
3.6.1	CONTROLAR E MONITORAR O PROCESSO.....	53
4	CONCLUSÃO.....	55
5	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	57
6	ANEXOS	58
6.1	ANEXO A	59
6.2	ANEXO B	60
6.3	ANEXO C	61
6.4	ANEXO D	62

1. INTRODUÇÃO

Devido às diversas evoluções no cenário global industrial, as empresas têm buscado cada vez mais tecnologias, técnicas e ou métodos que as mantenham competitivas no mercado. As empresas devem oferecer produtos e serviços que atendam as necessidades e expectativas dos clientes, porém que garantam lucros às empresas e seus acionistas e tenham um preço competitivo no mercado. As companhias buscam maximizar a eficiência de seu processo, a fim de reduzir os custos de fabricação, aliados ao aumento da produtividade. Para atingir esses objetivos, num âmbito tecnológico, temos a automação de processos produtivos e de forma técnica e metódica a aplicação das ferramentas da qualidade.

A automação é um sistema que faz uso de técnicas computadorizadas ou mecânicas com o objetivo de padronizar e aperfeiçoar todos os processos produtivos dos mais diversos setores da economia, visando a maior eficiência do processo, da segurança e qualidade dos produtos e serviços fornecidos.

Atualmente estão disponíveis no mercado ferramentas da qualidade que ajudam as empresas a identificar e prever problemas, atuando de forma preventiva e corretiva, buscando evitar que novos problemas ocorram no processo produtivo ou a reincidência deles.

Este trabalho tem como premissa criar uma metodologia de implementação das ferramentas da qualidade na automação do processo de furação numa empresa do ramo aeronáutico, cuja identidade será preservada e não será citados nenhum tipo de informação quanto seus fornecedores, clientes, peças e colaboradores. Com o intuito de potencializar os resultados a metodologia de melhoria continua visa padronizar a sistemática de análise da automação do processo produtivo desde o levantamento de requisitos até a entrega para produção em serie.

Para o embasamento deste trabalho de graduação, estaremos buscando dentro da metodologia Lean Manufacturing (Manufatura Enxuta), sistema que aborda respostas rápidas a mudanças e mitigação dos desperdícios no processo, aplicando assim o pensamento de melhoria continua. Para o desenvolvimento do mesmo, aplicaremos o método DMAIC (Define, Measure, Analyse, Improve e Control) que faz parte do conjunto de praticas do Lean Manufacturing, que trata a melhoria continua dividindo-a nas seguintes etapas:

- **Definir**, quais processos são elegíveis e mais adequados para se automatizar nas áreas de produção.

- Medir, etapa onde constata através de indicadores qual processo tem o maior potencial de automatizar, ferramentas que serão aplicadas, diagrama de Pareto e Boxplot;
- Analisar, etapa onde teremos que aplicar FMEA, Diagrama de Ishikawa para análise dos modos de falhas e variáveis do processo.
- Melhorar, aplicação de Kaizen para implementação de ações de melhoria.
- Controlar, onde empregaremos algumas ferramentas de controle para monitoramento, planos de controles e gestão visual.

1.1 OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso de engenharia (TCC) é desenvolver uma metodologia de seqüências da utilização das ferramentas da qualidade na automação, baseando-se no método DMAIC, aumentando ainda mais os resultados dessa melhoria no processo produtivo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Este trabalho visa o crescimento profissional, envolvendo todas as técnicas adquiridas ao longo do curso de Engenharia.

O cenário atual das empresas que tem como meta a redução de custo com produção de seus produtos e com o aumento da produtividade, este trabalho se torna de extrema importância, pois tem como foco a prevenção de problemas ao invés de somente corrigi-los.

Com os estudos e identificação de possíveis problemas provenientes do processo pode-se obter:

- Diminuição de custos de implantação de processos autônomos.
- Modo de falha e potenciais riscos mapeados.
- Maior integração entre as ferramentas da qualidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Este capítulo irá apresentar a ferramentas utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho, bem com as fundamentações teóricas necessárias para o conhecimento do processo envolvido.

2.1 QUALIDADE

Qualidade são aspectos de um produto ou serviço que lhe permitem satisfazer necessidades (Longenecker; Moore; Petty ,1997, p. 470).

Segundo Miranda (1994, p.5) as organizações precisam gerar produtos e serviços em condições de satisfazer as demandas dos usuários finais – consumidores sob todos os aspectos. No cenário empresarial esses consumidores são chamados de clientes internos, os quais também precisam estar satisfeitos com o produto ou serviço que será recebido, ou seja, um produto que passa por várias etapas na fabricação, precisa sair de uma etapa para outra em conformidade com as necessidades da próxima etapa.

Gestão da Qualidade significa o modo de organização das empresas para garantir produtos e serviços com qualidade, que envolvem atendimento às especificações, respostas rápidas às mudanças de especificações, baixo índice de retrabalho, consequente de defeitos, tempo reduzido de fabricação e aspectos tecnológicos tais como: tecnologia básica de processo, tecnologia dos materiais, tecnologia envolvida no processo de manuseio e tecnologia de produção.

A correta utilização de todas estas tecnologias em conjunto com o processo da Gestão da Qualidade permite o aumento da produtividade e, que por consequência, influencia a competitividade da empresa.

Portanto, essas ações estão alinhadas aos fatores estratégicos e competitivos da empresa, devido à grande variedade de opções de arranjos do fluxo de trabalho que refletirá no pronto atendimento ao cliente..

2.2 CONTROLE DA QUALIDADE TOTAL

O principal foco de uma empresa é manter-se competitiva no mercado, para isso a satisfação das expectativas dos clientes se torna um fator de extrema relevância. Segundo Campos (2004), esta satisfação é possível de ser alcançada através da inserção do Controle da

Qualidade Total, que tem como principais características a ato de manter ou melhorar os padrões para atendimento destas necessidades continuamente e reconhecimento das necessidades das pessoas.

O Controle da Qualidade Total é um sistema conhecido pela sigla TQC (Total Quality Control), que foi criado a partir de idéias americanas, aprimoradas no Japão e inseridas logo após a Segunda Guerra Mundial. Este sistema garante a competitividade da empresa por meio de lucro contínuo adquirido pelo domínio da qualidade.

Se os produtos da empresa suprir de forma ideal e confiável as necessidades do cliente, logo é considerado um produto de qualidade. Para controlar qualidade do produto de uma empresa é preciso realizar o gerenciamento da mesma ao longo do processo e não por resultados (gerenciamento preventivo), detectando quais os problemas foram encontrados, realizando a análise dos mesmos para buscar quais foram as causas que ocasionaram tais erros, buscando a melhoria do processo, para que não ocorram mais erros com a mesma causa. Neste contexto, a palavra Total significa o envolvimento total exercido por todas as pessoas da equipe de análise de causa em busca de bons resultados, de forma metódica e harmônica.

Na ótica de Slack (1993), uma das idéias mais poderosas surgidas do crescimento da qualidade é o conceito de “cliente interno, fornecedor interno”. O pensamento é que todas as partes envolvidas nos processos da empresa trabalhem “livres de erros”, ou seja, isto é uma forma de garantir um produto final sem erros. Cada etapa do processo é um fornecedor interno, o qual deveria oferecer produtos isentos de defeitos e em conformidade com as especificações para a próxima etapa do processo, que são seus clientes internos. Para que erros cometidos durante uma fase do processo não atinja o cliente externo, cada fornecedor interno contribui com a responsabilidade de garantir a qualidade do produto mantendo os seus próprios clientes internos satisfeitos. O objetivo do TQC é que não haja retrabalhos e inspeções do produto após o seu término, com isso os produtos devem ser produzidos com qualidade e buscando melhorias continuamente para atingir a perfeição. Cada um destes conceitos é atingido por meio de ferramentas e métodos.

De acordo com Contador (1998), qualidade total é um sistema da empresa que tem como premissa o melhoramento contínuo dos processos e recursos produtivos, que terá como resultado o aperfeiçoamento dos produtos e serviços, tendo como finalidade a satisfação de todos os envolvidos na cadeia produtiva: consumidor, acionista, empregado e fornecedor.

Para que esse sistema possa ser empregado ele precisa estar integrado à cultura da organização, tal sistema é constituído por valores, ferramentas e princípios.

Em suma o TQC é voltado para operações gerenciais, no qual a qualidade é inserida em produto durante o processo de fabricação, e não acrescentada ao final do produto como inspeção.

2.3 ENGENHARIA DA QUALIDADE

Na visão de Montgomery (2004), o conjunto de atividades operacionais, de gerenciamento e de engenharia que a empresa utiliza para garantir que as características da qualidade de um produto estejam nos níveis exigidos ou normais, denomina-se Engenharia da Qualidade.

Durante etapas de pesquisa, planejamento e desenvolvimento de produtos empregam-se conceitos e práticas elaborados pela engenharia de qualidade que visam aumentar o desempenho e produtividade durante de produtos (TAGUCHI, 1988).

A engenharia da qualidade é responsável por utilizar técnicas e procedimentos que estabeleçam parâmetros e medidas para garantir a qualidade de um produto, identificando problemas e possíveis problemas que ocasionaram produtos não conformes (que não atendem as especificações) evitando que os mesmos causem impactos durante o processo produtivo e ou até mesmo cheguem ao cliente.

2.4 METODOLOGIA DMAIC

DEFINIR – MEDIR – ANALISAR – MELHORAR – CONTROLAR (DMAIC)

O ciclo DMAIC, iniciais de Define (Definir), Measure (Medir), Analyse (Analisar), Improve (Melhorar) e Control (Controlar), e uma versão mais detalhada do ciclo PDCA. Suas etapas são descritas como:

1. Definir (D): identificar uma situação apropriada (não conformidade) para os Esforços do Seis Sigma com base nas necessidades do cliente;
2. Medir (M): consiste em medir os defeitos atualmente gerados em relação aos principais processos internos que exercem influencia sobre o problema;

3. Analisar (A): determinar as causas mais prováveis dos defeitos e entender por que estes defeitos são gerados mediante a identificação das variáveis que provavelmente causarão alterações no processo;

4. Melhorar (I): identificar meios para remoção das causas;

5. Controlar (C): determinar como manter as melhorias.

O DMAIC é uma metodologia muito utilizada por companhias norte-americanas que empregam o programa Seis Sigma com o objetivo de realizar melhorias, projetar produtos, serviços e processos (AGUIAR, 2002).

Segundo Werkema (2004) e Aguiar (2002), os métodos PDCA e DMAIC são análogos, havendo apenas uma mudança de nomenclatura. Dessa forma as empresas que já utilizam o PDCA, não precisam mudar a metodologia para implementar o programa Seis Sigma. A Figura 1 mostra de forma clara a correspondência entre os dois métodos de melhoria de processos.

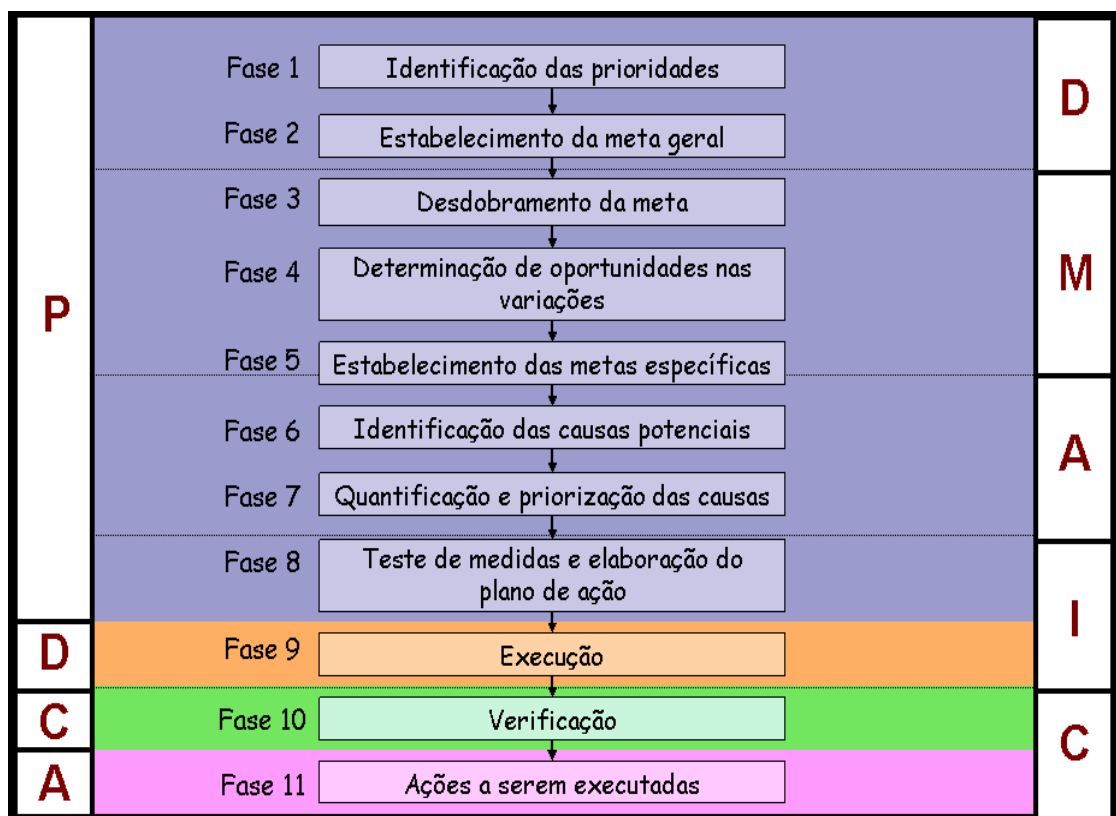


Figura 1 – PDCA e DMAIC (Fonte: Pessoa, 2007)

2.5 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Ferramentas da qualidade são técnicas simples e ao mesmo tempo fortes, de fácil entendimento e aplicação. Elas podem ser utilizadas para coletar, processar e dispor as informações no decorrer do MASP.

A seguir, além das clássicas Ferramentas do Controle da Qualidade, serão apresentadas algumas novas técnicas apropriadas para o tratamento de dados não numéricos (Ferramentas do Planejamento da Qualidade).

2.5.1 DIAGRAMAS DE PROCESSO

O objetivo do Diagrama de Processo é apresentar a sequência de todas as etapas de um processo de forma simples e rápida. A Figura 2 apresenta o significado dos símbolos padronizados e universalmente aceitos para cada fase que compõe um Diagrama de Processo.

Em operações de serviços, este procedimento é conhecido como Mapeamento do Processo.

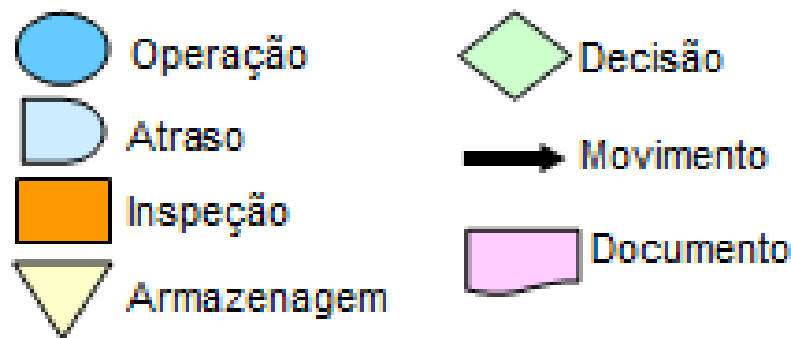


Figura 2 – Simbologia Diagrama de Processo (Fonte: Correa & Correa, 2009).

2.5.2 GRAFICO SEQUENCIAL

É um gráfico utilizado para mostrar o comportamento de uma variável do problema ao longo do tempo (horas, dias, meses, anos, etc).

Muitas vezes esta informação encontra-se sob forma de tabelas, o que leva as pessoas a executarem uma análise pontual da situação. Colocando-se estes dados em um gráfico, a equipe terá condições de analisar tendências e buscar informações que justifiquem determinados comportamentos da variável analisada.

É importante que a equipe registre no Gráfico Sequencial as mudanças ocorridas no processo e que estejam de algumas formas relacionadas com o problema analisado, bem como o período em que ocorreu a primeira aparição da não conformidade. Assim é possível fazer com que todos adquiram um conhecimento maior a respeito do problema analisado, busquem

o que aconteceu em cada momento crítico e quais ações foram tomadas. A Figura 3 mostra um exemplo de Gráfico Sequencial com informações sobre um determinado problema.

Apos a elaboração deste gráfico é possível aplicar um princípio criado pelos japoneses chamado de Princípio dos Três Gens, que significa: ir ao local onde as coisas acontecem (Genba), observar o problema como ele realmente é (Genbutsu), e obter dados reais da situação (Genjitsu). Somente assim as decisões tomadas no processo de análise e solução do problema serão embasadas em fatos e dados concretos, e não através do conhecimento empírico.

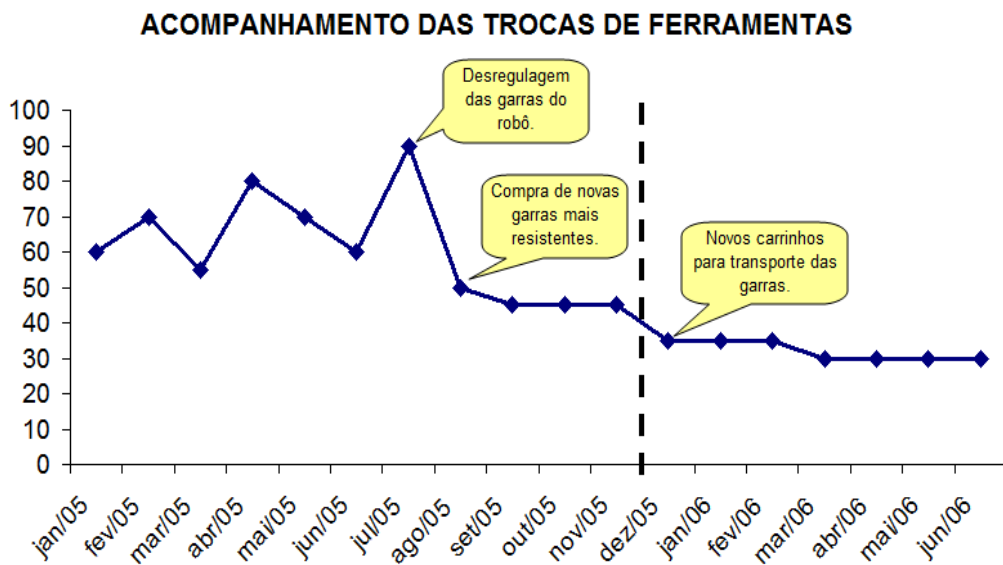


Figura 3 – Gráfico Sequencial (Fonte: Bonifácio, 2006)

Através da análise deste exemplo é possível verificar:

- O comportamento da perda por trocas de ferramentas ao longo dos dois últimos anos;
- Se a perda esta em tendência crescente, decrescente ou se manteve estável nesse período;
- Qual a menor e a maior perda já obtida e em que período isso ocorreu.

2.5.3 ESTRATIFICAÇÃO

A Estratificação é uma ferramenta que auxilia na descrição mais objetiva de um problema. Sua utilização possibilita pesquisar o problema sob vários pontos de vista, para que se tenha uma melhor visualização e compreensão do mesmo. A Estratificação também facilita a determinação dos pontos mais críticos do problema.

Na perspectiva de Bonifácio (2006), independente do tipo do problema, existem pelo menos quatro pontos essenciais nos quais os problemas devem ser investigados. São eles:

a. Por tempo: consiste em verificar quais momentos ou ocasiões influenciam na ocorrência do problema. Exemplos: o problema ocorre de maneira diferente de manhã, a tarde, a noite, as segundas-feiras, nos feriados, no verão ou no inverno, etc.

b. Por local: neste tipo de Estratificação e verificado se os resultados variam em diferentes partes de uma peça. Exemplos: lado esquerdo, lado direito, dentro, fora, etc. Também é possível verificar se o problema varia em diferentes regiões do país, cidade, máquinas, plantas, etc.

c. Por tipo: neste ponto é possível avaliar se os resultados variam dependendo da matéria-prima, do material utilizado, do fornecedor, etc.

d. Por outros fatores: consiste em verificar se os resultados se alteram em função do método de trabalho, dos operadores, das condições climáticas, dos meios de medição, etc.

Pode-se estratificar:

- Dados históricos: quando os dados já estão coletados, porém desorganizados ou não agrupados em categorias, ou seja, apesar de se ter muitos dados, tem-se pouca informação consistente a respeito do problema.

- Novos dados: quando os dados históricos não estão disponíveis, não são totalmente confiáveis ou estão disponíveis e são confiáveis, porém são insuficientes para focar bem o problema.

Para estratificar dados históricos ou novos dados é necessário:

1. Definir quais os fatores de estratificação que deverão ser tabulados para uma melhor definição do problema analisado. Exemplos: por tipo de defeito, por localização do defeito no produto, por turno, por tempo, por operador, por tipo de matéria-prima, por fornecedor, por máquina, etc.

2. Determinar o período de coleta de dados durante um espaço de tempo não muito curto, de forma que no intervalo considerado possam ocorrer mudanças nos fatores de estratificação considerados importantes.

3. Elaborar uma Folha de Verificação listando os fatores de estratificação anteriormente identificados e apresentando campos para que estes fatores sejam registrados.

2.5.4 FOLHA DE VERIFICAÇÃO

A Folha de Verificação é uma ferramenta utilizada para registrar a frequência com que os problemas ocorrem.

Para Bonifácio (2006), uma Folha de Verificação bem elaborada é o ponto de partida para que o problema possa ser subdividido em partes menores e sua descrição possa ser clara e objetiva, pois ela facilita e organiza a coleta de dados, eliminando a necessidade de rearranja-los posteriormente.

No entanto, essas Folhas não substituem a documentação formal de processo, que deveria ser atualizada tão logo as ações de correção dos problemas tenham sido validadas (CORREA & CORREA, 2009).

O tipo de Folha de Verificação a ser utilizado depende do objetivo da coleta de dados. Os tipos mais utilizados são: por classificação e por localização de defeitos. A Figura 4 mostra um exemplo de Folha de Verificação por classificação de defeitos. Geralmente estas Folhas são elaboradas após a definição das categorias para a estratificação dos dados.

Problema	Ocorrência
A	III III III II
B	III III III
C	III II /
D	III

Figura 4 – Folha de Verificação (Fonte: Davis et al, 2007)

2.5.5 GRAFICO DE PARETO

O Gráfico de Pareto teve suas origens com o economista italiano Vilfredo Pareto, que estudou a distribuição da riqueza dentro da sociedade. Em seus estudos, no século XVI, Pareto constatou que cerca de 80% da riqueza mundial estavam nas mãos de 20% da população. Este aspecto pode ser relacionado com a Metodologia de Análise e Solução de Problemas, devido ao fato de que a maior parte dos resultados geralmente depende de poucas causas.

De acordo com Davis et al. (2007), o Gráfico de Pareto organiza a ocorrência de itens (anteriormente listados em Folha de Verificação) em ordem decrescente, adicionando uma

linha de percentual acumulado, a fim de facilitar a visualização de como as categorias se acumulam.

Os Gráficos de Pareto podem auxiliar na determinação de prioridades para a ação gerencial, fazendo com que o foco seja dado aquelas categorias que ocorrem com maior frequência. Este é um critério fundamental para a solução de problemas, sendo aplicado para priorizar as variáveis que contribuem mais significativamente para que o problema ocorra.

Qualquer priorização pode ser feita utilizando o Gráfico de Pareto. Basta que os itens a serem priorizados possam receber valores quantitativos. Durante a construção e utilização deste gráfico, alguns cuidados devem ser tomados:

- Bom senso na análise: nem sempre as categorias com maior frequência ou de maior custo são as mais importantes. Esta escolha deve ser feita em função da meta que se deseja atingir.

- Se um problema for de simples solução, mesmo pertencendo a categoria de pequena importância, deve ser tratado e eliminado de imediato. Essa ação com certeza contribuirá para a melhoria dos resultados e aumento da experiência das pessoas na utilização do MASP.

- Pequenos valores podem ser agrupados em uma categoria, que poderá ser chamada de “Outros”, porém, se a frequência desta categoria ultrapassar 10% do total de observações, isso significa que as categorias analisadas não foram classificadas de forma adequada e, conseqüentemente, muitas ocorrências acabaram se enquadrando sob esta identificação.

A Figura 5 mostra um exemplo de Gráfico de Pareto:

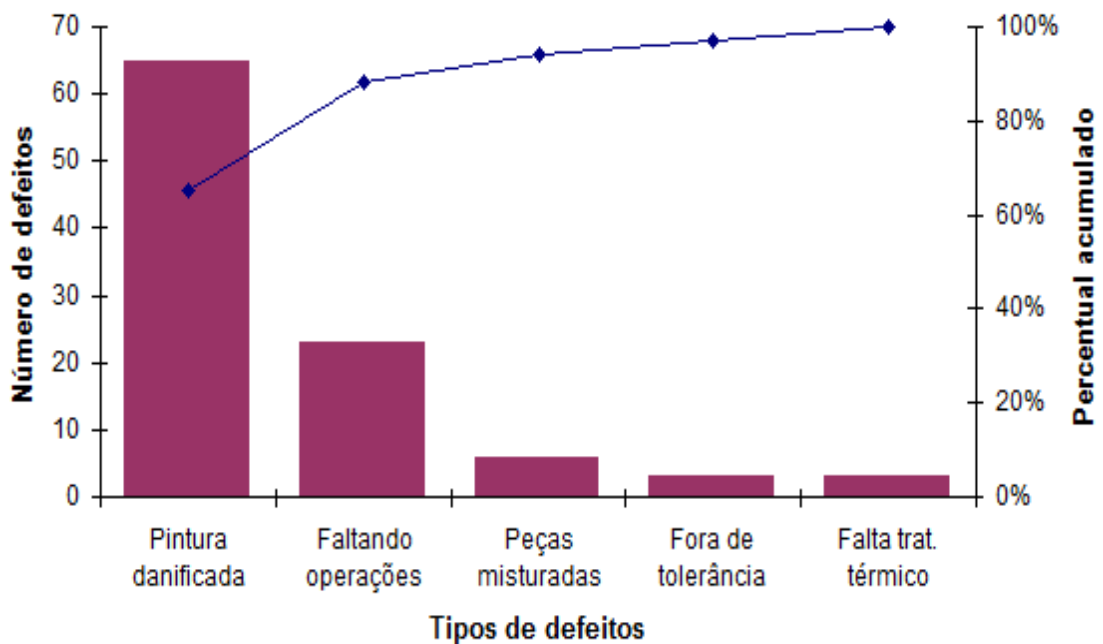


Figura 5 – Gráfico de Pareto (Fonte: Correa & Correa, 2009)

2.5.6 DIAGRAMA DE ARVORE

Apos todas as estratificações realizadas, o problema encontra-se descrito de forma detalhada. E neste momento que deve ser elaborado o Diagrama de Arvore, mostrado na Figura 6 como exemplo. Essa ferramenta tem como objetivo facilitar a visualização do desdobramento realizado, a priorização dos problemas específicos que mais contribuem para o alcance da meta geral é a determinação das metas específicas para a resolução do problema.

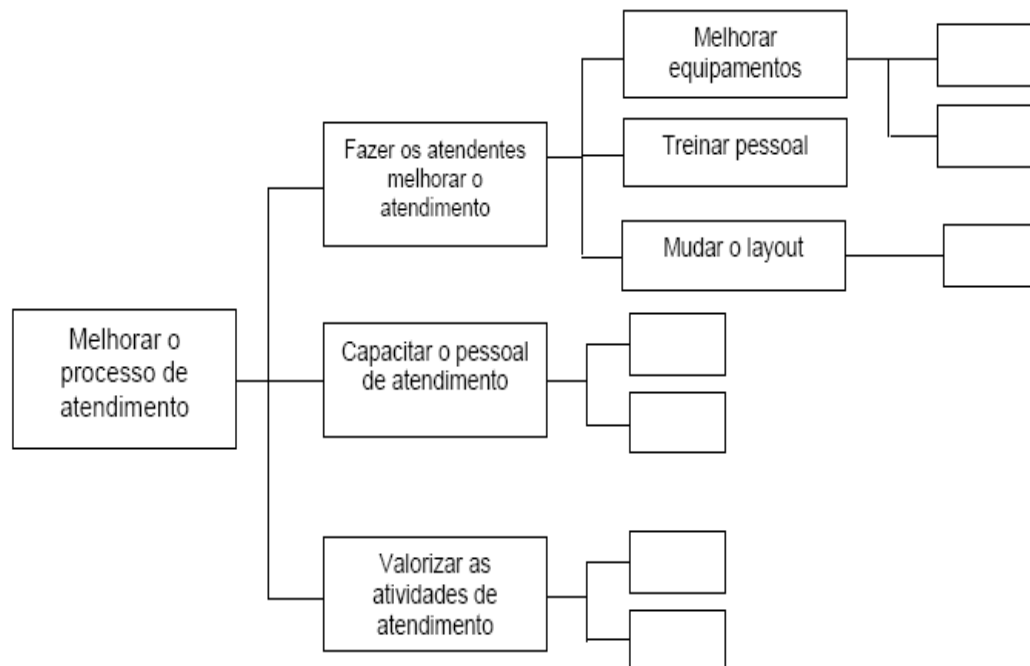


Figura 6 – Diagrama de Arvore (Fonte: Souza, 2003)

2.5.7 DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO

Introduzido na década de 60 por Kaoru Ishikawa, ícone do sistema de qualidade no mundo industrial moderno, o Diagrama de Causa e Efeito também é conhecido como Espinha de Peixe, devido a sua forma.

O objetivo desta ferramenta é dar apoio ao processo de identificação das possíveis causas-raízes de um problema, facilitando a visualização das anotações feitas pelo grupo em reuniões do tipo Brainstorming, sendo que as causas mais prováveis podem então ser discutidas e pesquisadas com maior profundidade. Normalmente, este diagrama é utilizado após feita a análise de um Gráfico de Pareto, onde os problemas que foram classificados como responsáveis pelo maior número de defeitos serão objetos de análise.

Na construção de um Diagrama de Causa e Efeito, a descrição do problema é colocada no lugar onde seria a “cabeça” do peixe. A partir daquilo que seria sua espinha dorsal, vão sendo acrescentadas ramificações onde podem ser colocadas as possíveis causas para o problema, partindo das mais gerais, ramificando para as causas das causas. Dependendo do contexto, estas causas podem ser agrupadas pelos seis M’s (Matéria prima, Mão de obra, Meio ambiente, Máquina, Método e Medição) ou por similaridade de assuntos, como mostram respectivamente os exemplos das Figuras 7 e 8

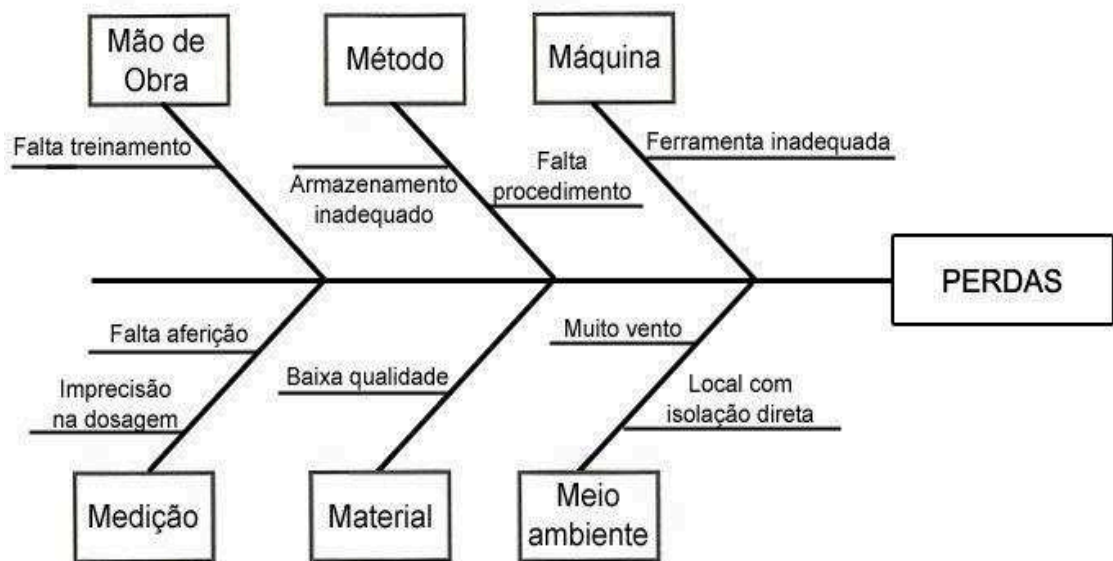


Figura 7 – Diagrama de Ishikawa pelos seis M's (Fonte: Autor)

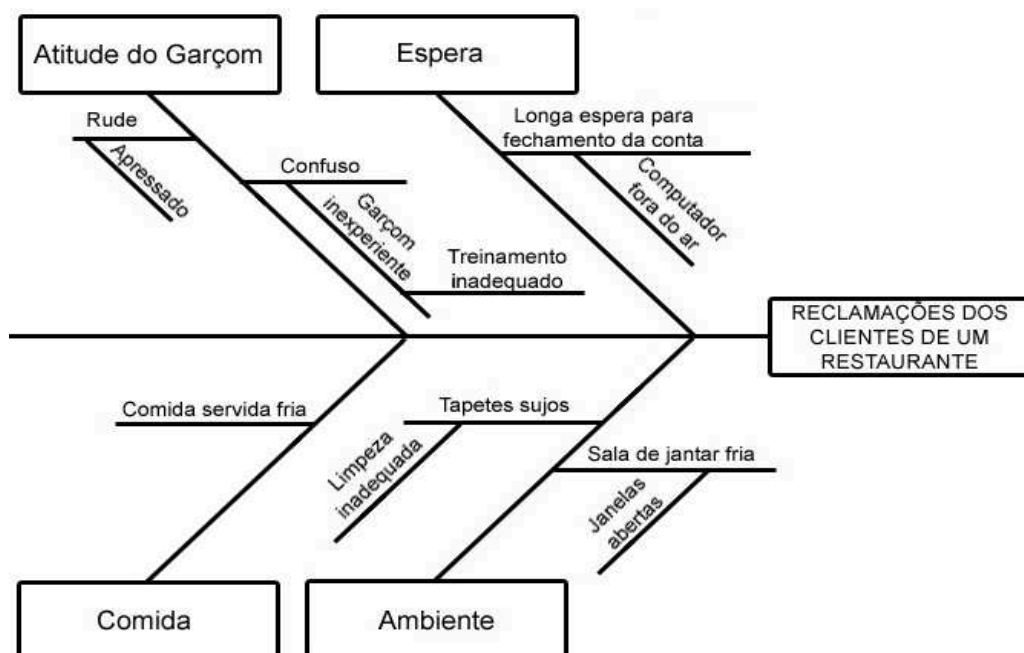


Figura 8 – Diagrama de Ishikawa por similaridade de assuntos (Fonte: Davis et al, 2007)

2.5.7.1 BRAINSTORMING

Este método foi inventado em 1939 pelo publicitário Alex F. Osborn. Seu nome se devida de Brian (mente) e Storming (tempestade), que pode ser traduzido como “Tempestade de ideias”.

Segundo Brassard (2000), o Brainstorming é usado para que um grupo de pessoas crie o maior número de ideias acerca de um tema previamente selecionado no menor espaço de tempo possível. Ele pode ser de dois tipos:

- Estruturado: quando cada integrante da uma ideia quando chegar a sua vez numa rodada. Neste caso a supremacia de integrantes desinibidos é evitada, de forma que todo participante tem a mesma oportunidade para contribuir com ideias. Isto promove um envolvimento maior de todos os integrantes, mesmo os mais retraídos. O Brainstorming termina quando nenhum dos integrantes tem mais ideias e todos “passam a vez” em uma mesma rodada.
- Não estruturado: quando qualquer integrante das ideias à medida que elas vão surgindo na mente, proporcionando um ambiente menos tenso que o anterior. Todavia há o risco de integrantes desinibidos dominarem a reunião, além de ser mais favorável para certos integrantes pegarem a essência de ideias de outros. Neste caso o Brainstorming termina quando os integrantes não têm mais ideias e todos concordam em parar.

Um Brainstorming pode ser realizado nas seguintes etapas:

1. Formar uma equipe com pessoas envolvidas na solução do problema. Pessoas criativas que não estiverem diretamente ligadas a resolução do problema também podem ser convocadas. Deve ser designado um indivíduo apenas para anotar as ideias que cada membro vai sugerindo.
2. Geração de ideias: Nesta etapa o que importa é a quantidade, não devendo haver julgamento de nenhuma ideia apresentada. Tais ideias devem ser anotadas com as palavras do participante, sem serem interpretadas ou criticadas. Periodicamente é importante fazer a leitura de todas as ideias até então anotadas. Depois de certo tempo as ideias começam a rarear, sendo necessário propor o encerramento desta etapa.

3. Crítica: Esta etapa tem como objetivo a qualidade. Se a ideia estiver voltada para o foco do problema ela continua, caso o contrario, ela é eliminada.

2.5.8 DIAGRAMA DE PRIORIZACAO

O Diagrama de Priorização serve para priorizar os fatores componentes de um problema. Este diagrama pode ser utilizado quando a quantidade de causas potenciais listadas no Diagrama de Causa e Efeito for elevada.

Partindo da premissa de que os participantes tem uma tendência de julgar todas ou a maior parte das causas muito importantes, é indispensável forçar a priorização destas causas através do uso do Diagrama de Priorização, onde e feita uma pré-seleção dos itens que forem mais prováveis.

Para cada causa listada, cada participante deve dar a pontuação 1, 3 ou 5, de acordo com o critério exposto na Tabela 1:

PONTUAÇÃO	DEFINIÇÃO	CRITÉRIO
5	CAUSA CRÍTICA (Tem que ser atacada)	Forte influência sobre o problema. Ocorre com alta frequência.
3	CAUSA IMPORTANTE (Auxilia a atingir a meta)	Média influência sobre o problema mas pouco influente ou fraca influência sobre o problema mas com alta frequência.
1	CAUSA DE MENOR IMPORTÂNCIA	Fraca influência sobre o problema e pouco frequente.

Tabela 1 – Seleção das causas mais prováveis

Em relação às causas, para evitar o excesso de pontuação 5, cada participante deve proceder da seguinte forma:

- 60 % devem receber pontuação 1;
- 30 % devem receber pontuação 3;
- 10 % devem receber pontuação 5.

2.5.9 MATRIZ ESFORÇO X IMPACTO

Segundo Rissi (2007), a Matriz Esforço x Impacto trata-se de um diagrama gerado a partir do Brainstorming, onde cada ideia é pontuada de acordo com o impacto que ela causará na solução do problema e o esforço necessário para realizá-la. Deve-se “atacar” inicialmente as ideias que causam o maior impacto com o menor esforço.

A Figura 9 ilustra a estrutura de uma Matriz Esforço X Impacto.

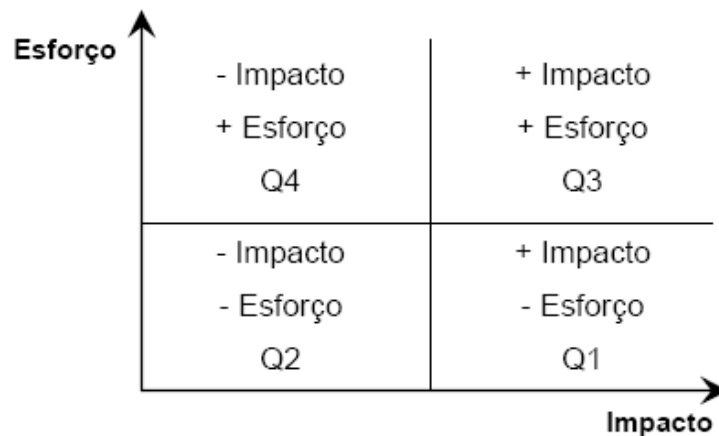


Figura 9 – Matriz Esforço x Impacto (Fonte: Rissi, 2007)

2.5.10 HISTOGRAMA

Histograma é um gráfico de barras que representa um conjunto de dados coletados em determinado momento no processo. Através de sua utilização é possível visualizar de forma clara como está se portando a variação de uma determinada característica, bem como a dispersão dos dados em torno de um valor central. A comparação de histogramas com limites de especificação torna possível avaliar se o processo está centrado no valor nominal e se é necessário adotar alguma medida para reduzir sua variabilidade. A Figura 10 mostra um exemplo de Histograma.

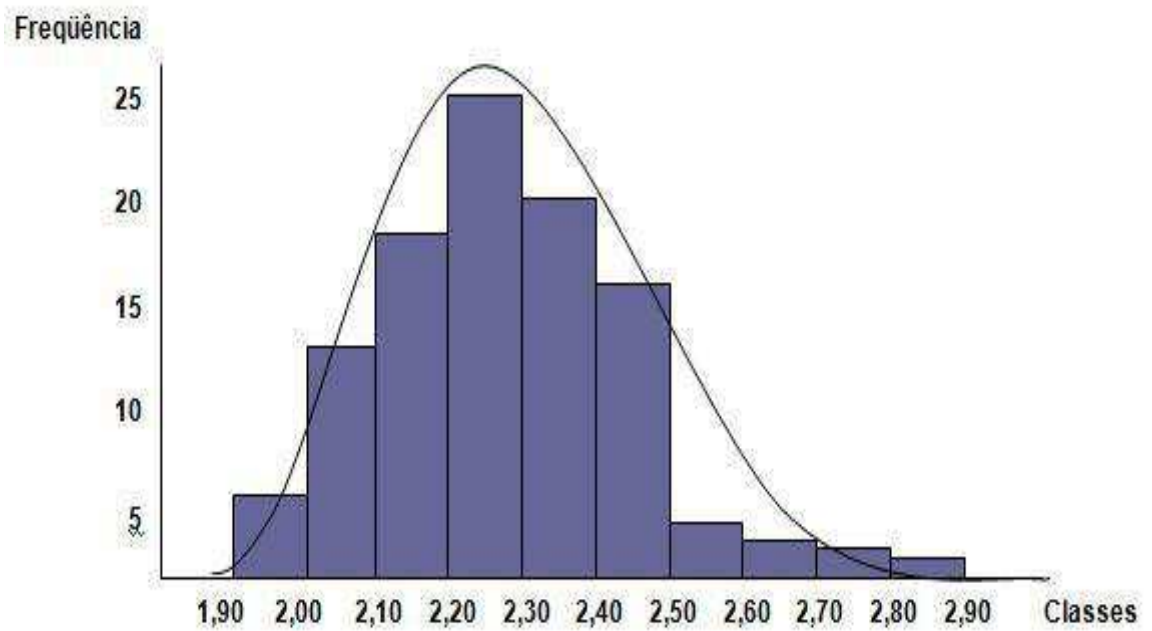


Figura 10 – Histograma (Fonte: Autor)

2.5.11 DIAGRAMA DE DISPERSAO (CORRELAÇÃO)

Na perspectiva de Davis et al. (2007), Diagramas de Dispersão são utilizados para determinar se existe ou não uma relação entre duas variáveis ou características do produto.

A Figura 11 mostra um exemplo de Diagrama de Dispersão que retrata a tendência clara de uma elevada correlação positiva entre duas variáveis: a medida que x aumenta, y também aumenta.

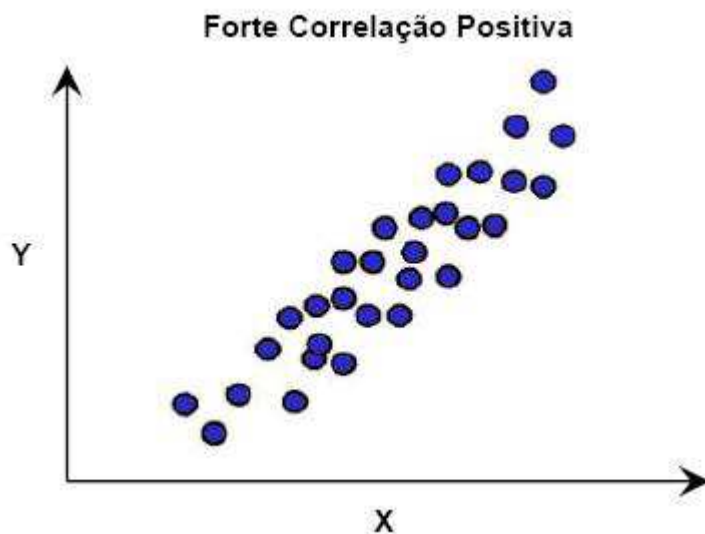


Figura 11 – Diagrama de Dispersão (Fonte: Autor)

2.5.12 CARTAS DE CONTROLE DE PROCESSOS

Criadas por Walter Shewhart ainda na década de 20, as Cartas de Controle permitem acompanhar as variações de um processo ao longo do tempo. Para que isto seja possível, é conveniente retirar, em intervalos de tempo regulares, algumas amostras representativas do lote produzido.

Através da análise destas amostras torna-se possível conhecer o processo e, assim, perceber as tendências de ocorrência de problemas. Estas tendências indicam a necessidade ou não de se intervir sobre o problema, de modo a evitar a produção de itens fora dos limites de especificação. Geralmente, as Cartas de Controle de Processos possuem as informações e o aspecto mostrado na Figura 12.

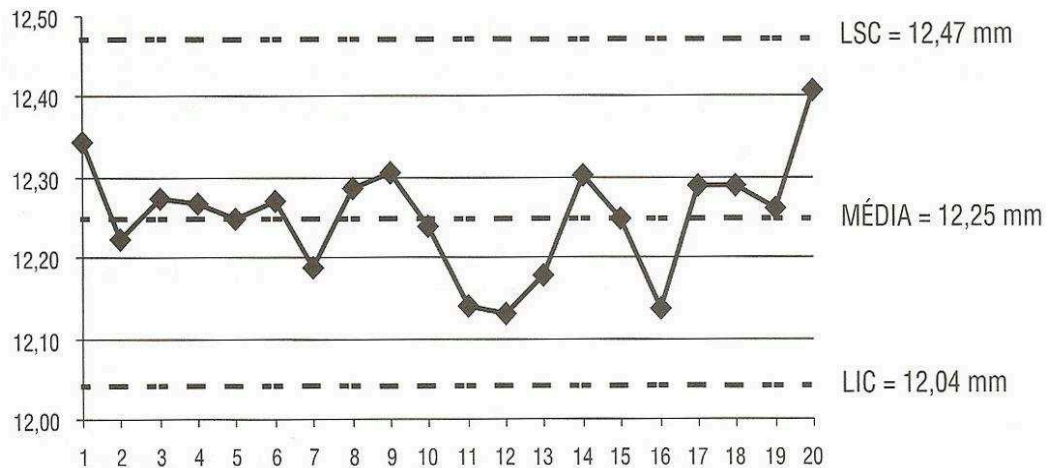


Figura 12 – Carta de Controle de Processo (Fonte: Correa & Correa, 2009)

2.5.13 INDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO

Eliminadas todas as causas especiais de variação, o processo se encontra sob controle estatístico ou, em outras palavras, ele está estável e previsível. Isso significa que apenas causas comuns de variação, que são inerentes ao próprio processo, estão presentes. Nessas condições um estudo sobre sua capacidade e efetuado a fim de avaliar se o processo é capaz de gerar produtos que atendam as especificações provenientes dos clientes internos e externos.

Em função disso, antes de se calcular a Capacidade do Processo, deve-se verificar se o processo, que já se encontra estável, segue uma distribuição normal. Em caso positivo, é possível utilizar os dados disponíveis nas Cartas de Controle, para realizar estimativas da média e do desvio padrão da normal que descreve a população (VASCONCELLOS, 2007).

Para exemplificar, nas Fig. 13 (a) e Fig. 13 (b), LSE e LIE representam respectivamente o Limite Superior de Especificação e o Limite Inferior de Especificação. A curva e a distribuição normal da população e a parte hachurada representa a fração de itens produzidos fora da especificação.

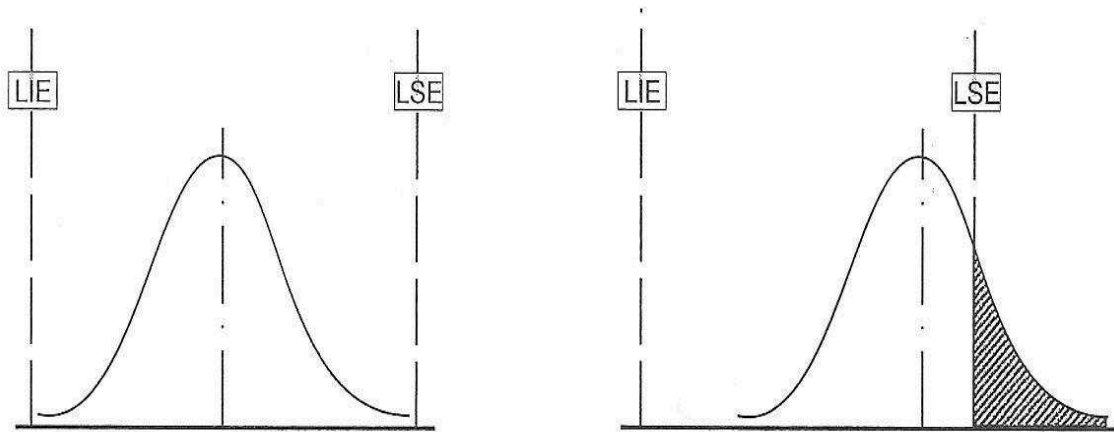


Figura 13 – (a) Processo capaz, (b) Processo não-capaz (Fonte: Vasconcellos, 2007)

Na Figura 13 (a), o processo é considerado capaz, pois todo o resultado está contido dentro das especificações. Já na Figura 13 (b), o processo é não-capaz, resultando itens com características mensuradas além do Limite Superior de Especificação.

A informação sobre a capacidade torna-se muito mais precisa quando procedimentos analíticos são adotados na determinação de índices que demonstram o quanto um processo é ou não capaz de atender as especificações.

Um dos procedimentos analíticos utilizados para a avaliação da capacidade do processo é o C_p , que relaciona a dispersão do processo aos limites de especificação, medindo apenas a performance potencial do processo, e não a real. Outra forma de avaliar a capacidade do processo é através da determinação do seu Índice de Capacidade, representado por C_{pk} . A utilização do C_{pk} tem como vantagem sobre o C_p , o fato de abordar tanto os aspectos de dispersão como o de centralização do processo. Com o resultado deste índice é possível verificar se o processo é capaz de atender as especificações, conforme critérios mostrados na Tabela 2.

ÍNDICE C _{pk}	CONCLUSÃO	NÍVEL DE QUALIDADE	DEFEITOS POR MILHÃO (PPM)
$1 \leq C_{pk} < 1,33$	Processo capaz	$\pm 3 \sigma$	66.810
$1,33 \leq C_{pk} < 1,67$	Processo capaz	$\pm 4 \sigma$	6.210
$1,67 \leq C_{pk} < 2,0$	Processo capaz	$\pm 5 \sigma$	233
$C_{pk} \geq 2,0$	Processo capaz	$\pm 6 \sigma$	3,4
$C_{pk} < 1$	Processo incapaz		

Tabela 2 – Critérios de capacidade do processo

Se na verificação da capacidade do processo o mesmo se revelar incapaz, pode-se determinar a porcentagem de itens fora da especificação.

2.5.14 PLANO DE AÇÃO (5W1H)

Para Werkema (1995), após a condução de todo o processo de análise, deve ser estabelecido o plano de ação, que é o conjunto de medidas com o objetivo de bloquear as principais causas da ocorrência do problema.

Para assegurar o cumprimento das ações propostas, deverão ser feitas algumas perguntas para que cada uma destas ações seja descrita de forma a facilitar seu monitoramento. Estas perguntas são conhecidas como 5W1H, sigla resultante da junção das letras iniciais de seis palavras da língua inglesa: What (O que?), When (Quando?), Who (Quem?), Where (Onde?), Why (Por quê?), e How (Como?).

A Figura 14 mostra como exemplo um formulário de Plano de Ação preenchido. Para sua elaboração, devem-se listar junto a equipe envolvida, todas as soluções mais adequadas para cada causa priorizada, levando em consideração dentre outras coisas: o custo de cada solução proposta, as dificuldades de implantação, os efeitos colaterais e o impacto previsto no resultado (meta).

O QUE	QUANDO	QUEM	ONDE	POR QUE	COMO
Eliminar paredes entre área de estocagem e carregamento	set/09	Oliveira	Estocagem e Carregamento	- Layout do depósito inadequado; - Distância elevada entre as áreas de estocagem e carregamento.	Instalar divisórias mais estreitas e usar painéis ou espelho.
Trocar piso de concreto para piso de asfalto	out/09	Ronaldo	Estocagem	Piso inadequado	Contratar empresa especializada na ramo.
Instalar placas indicativas	out/09	Lia	Carregamento	Falta de sinalização	Comprar e instalar placas.
Instalar sinais luminosos	nov/09	Roberto	Estocagem e Carregamento	Falta de sinalização	Contratar empresa especializada na ramo para efetuar a instalação.

Figura 14 – Plano de Ação (Fonte: Souza, 2003 (ILUSTRAÇÕES))

2.5.15 FMEA

O FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falha) é uma ferramenta de análise para assegurar que todos os modos potenciais de falhas de um projeto ou processo foram considerados e analisados. Não se sabe ao certo quando foi criado, porém existem evidências desde concretas da sua utilização em 1949, onde era usada na avaliação do risco de operações militares nos EUA, já na década de 70 ganhou força na indústria automobilística, e em 1988 foi lançada a serie ISSO 9000 que impulsionou sua utilização.

O objetivo é detectar e eliminar as falhas antes que aconteçam, com ações corretivas ou preventivas, durante as etapas de desenvolvimento e antes do início da produção. Apesar de ter direcionamento a novos projetos e processos, o FMEA passou a ser aplicada para diminuir as falhas de produtos e processos já existentes e para diminuir a probabilidade de falha em processos administrativos também.

O FMEA é basicamente dividido em dois tipos:

- FMEA DE PROJETO (DFMEA): São consideradas falhas que podem ocorrer no produto dentro das especificações do projeto, tem por objetivo evitar falhas no produto.
- FMEA DE PROCESSO (PFMEA): São consideradas falhas no planejamento e execução do processo e tem por objetivo evitar falhas do processo.

Inicialmente é sugerido a utilização do modelo de planilha a seguir para preenchimento das informações do FMEA.

Etapa ou Função do Processo / <i>Process step or Function</i>	Requisito / <i>Requirement</i>	Modo de Falha Potencial / <i>Potential Failure Mode</i>	Efeito(s) potencial(ais) de Falha / <i>Potential Effect(s) of Failure</i>	S	Causa(s) Potencial(ais) de Falha / <i>Potential Cause(s) of</i>	Controles Preventivos do Processo / <i>Controls</i>	O	Controles Detectivos do Processo / <i>Controls Detection</i>	D	RPN Antes / <i>RPN Before</i>
										0
										0
										0
										0
										0
										0

Figura 15 – Planilha de FMEA (Fonte: Autor)

Conforme Figura 15, para cada coluna temos as seguintes definições:

- Etapa ou Função do Processo: Descrição da etapa do processo a ser mapeada e/ou função da mesma no processo.
- Requisitos: Requisitos a serem entregues nessa etapa do processo.
- Modos de Falha: Definido como a maneira pela qual seu processo potencialmente falharia em atender aos requisitos do processo/projeto.
- Efeitos Potenciais da Falha: Estes são os efeitos do modo de falha que são percebidos ou detectados no cliente. Neste contexto, cliente poderia ser a próxima operação, revendedor ou usuário final.
- Causas Potenciais: São as formas pela quais o Modo de Falha pode ocorrer.
- Controle Detectivo: Controle do processo que detecta a ocorrência do Modo de Falha.
- Controle Preventivo: Controle do processo que detecta a ocorrência da Causa Potencial do Modo de Falha, impedindo que o Modo de Falha aconteça.

Após o mapeamento das informações, realizamos a pontuação, que consiste em atribuir um valor ao índice do FMEA, que é o NPR (Numero de Priorização de Risco), que é calculado através do produto das notas da Severidade, Ocorrência e Detecção, que são ponderados por critérios pré-definidos, numa escala de “1” à “10”:

- Severidade: Avaliação da gravidade do Efeito Potencial do Modo de Falha, que terá o seguinte critério:

Efeito Local (Severidade no Processo e/ou no processo seguinte)	
Efeito	Critério
Falha em atender aos requisitos de segurança e/ou regulamentar	Pode colocar em perigo as pessoas sem aviso prévio.
	Pode colocar em perigo as pessoas com aviso prévio.
Interrupção maior	100% dos produtos/serviços podem ser perdidos e/ou parada do processo, do Fluxo de Valor ou de embarque.
Interrupção significativa	Uma porção dos produtos/serviços podem ser perdidos e/ou desvio do processo primário incluindo a redução da velocidade ou adicional de mão de obra.
Interrupção moderada	100% dos produtos/serviços podem ser retrabalhados fora do processo e serem aceitas.
	Uma porção dos produtos/serviços podem ser retrabalhados fora do processo e ser aceita.
	100% dos produtos/serviços podem ser retrabalhados no processo .
	Uma porção dos produtos/serviços podem ser retrabalhados no processo .
Interrupção menor	Pequeno inconveniente no processo, operação, serviço ou nas pessoas.
Sem efeito	Sem efeito percebido.

Tabela 3 – Índice de Severidade

- Ocorrência: Probabilidade de um Modo de Falha ocorrer devido a uma causa específica, seguimos a tabela a seguir:

Rank	Probabilidade de ocorrência da falha	Critério para classificar a ocorrência da causa	Frequência	PPM
10	Extremante alta	Ocorrência certa e/ou a falha é quase inevitável.	Ocorrência diária	Acima de 308.001
9	Muito alta	Ocorrência quase certa.	Ocorrência semanal	158.001 à 308.000
8	Repetidas falhas	Probabilidade de ocorrência relativamente alta sem documento de apoio.	Ocorrência quinzenal	66.808 à 158.000
7	Alta	Probabilidade de ocorrência alta mesmo com de documentos de apoio.	Ocorrência mensal	22.751 à 66.807
6	Moderamente alta	Moderada probabilidade de ocorrência sem documentos de apoio.	1 ocorrência por trimestre	6.211 à 22.750
5	Ocorrência ocasional	Moderada probabilidade de ocorrência com documento de apoio.	1 ocorrência por semestre	1.351 à 6.210
4	Relativamente baixa	Falhas ocasionais e Processo sob controle.	1 ocorrência a cada 9 meses	234 à 1.350
3	Baixa	Baixa probabilidade de ocorrência sem documento de apoio.	1 ocorrência por ano	33 à 233
2	Remota	Remota probabilidade de ocorrência com documento de apoio.	1 ocorrência a cada 2 anos	3,5 à 32
1	Quase impossível	Extremamente remota probabilidade de ocorrência.	1 ocorrência acima de 2 anos	0 à 3,4

Tabela 4 – Índice de Ocorrência

- Detecção: Avaliação da probabilidade dos controles do processo, detectivos e preventivos, de identificarem durante o processo, os Modos de Falha e/ou suas causas, empregamos a planilha abaixo para atribuição da nota:

Rank	Probabilidade da detecção	Oportunidade de detecção	Probabilidade de detecção pelo controle de processo	Prevenção de erros	Medições	Inspeções manuais
10	Quase impossível	Nenhuma oportunidade de detecção	Não há controle de processo. Não se pode detectar ou não está analisado.			X
9	Muito remota	Improável detectar em qualquer estágio	Modo de falha e/ou erro (causa) não é facilmente detectável (por exemplo: auditorias aleatórias)			X
8	Remota	Deteção do problema após o processamento	A deteção do modo de falha após o processamento, por pessoas, através de meios visuais, táteis ou auditivos.			X
7	Muito baixa	Deteção do problema na origem	A deteção do modo de falha no processo e por pessoas, através de meios visuais, táteis ou auditivos ou após o processamento através do uso de medição por atributos (gestão visual, passa-não passa, chave de verificação de torque manual etc.)			X
6	Baixa	Deteção do problema após o processamento	A deteção do modo de falha após o processamento e por pessoas, através do uso de medição por variáveis ou no processo atual e por pessoas, através do uso de medição por atributos (gestão visual, passa-não passa, chave de verificação de torque manual etc.)		X	X
5	Moderada	Deteção do problema na origem	A deteção do modo de falha ou erro (causa) no processo e por pessoas, através do uso de medição por variáveis ou por controles automáticos no processo que detechará o produto ou serviço não conforme e notifica as pessoas do processo (luz, buzina etc.). Medição realizada no setup e na verificação do primeiro produto ou serviço (somente para causas de setup)		X	
4	Moderamente alta	Deteção do problema após o processamento	A deteção do modo de falha após o processamento, por controles automáticos que detecharão o produto não conforme, bloqueando o produto ou serviço, para prevenir o processamento posterior.	X	X	
3	Alta	Deteção do problema na origem	A deteção do modo de falha no processo e por controles automáticos, que detecharão o produto ou serviço não conforme, bloqueando automaticamente o produto ou serviço, para prevenir o processamento posterior.	X	X	
2	Muito alta	Deteção do Erro e/ou Prevenção do Problema	A deteção do erro (causa) no processo o por controles automáticos, que detecharão o erro e prevenção que produtos ou serviços discrepantes sejam feitas.	X	X	
1	Quase certa	Deteção não aplicável. Prevenção do erro	Prevenção do erro (causa) como o resultado do projeto da máquina, produto ou serviço. Os produtos ou serviços discrepantes não podem ser feitos porque tem recursos à prova de erro, feitos através de projetos do produto ou processo.	X		

Tabela 5 – Índice de Detecção

- NPR: Após atribuímos a nota a Severidade, Ocorrência e Detecção, Obtemos o NPR ($S_x O_x D = NPR$). Este número será utilizado para priorizarmos os Modos de Falha e Causas a serem mitigados através da definição de ações. Como boas praticas, tem-se o habito de criar ações para os itens que tem valores individuais altos de Severidade, Ocorrência e Detecção, independente do valor do NPR resultante.

2.5.16 Estudo de MSA – Análise do Sistema de Medição

Sistemas de Medição são aplicados ao processo de tomada de medidas. Quando falamos em Sistema de Medição, é comum confundi-lo com equipamento de medição, quando ele, na verdade, é algo mais complexo, que engloba:

- Equipamento
- Método
- Condições ambientais
- Recursos humanos

O MSA (Análise dos Sistemas de Medição) é um conjunto de estudos estatísticos que visa, primeiramente, certificar a adequação do sistema de medição à dimensão ou característica a ser medida. Posteriormente, durante a utilização do sistema de medição, os estudos têm por objetivo assegurar que o sistema continua adequado.

Para o estudo de MSA, podemos encontrar os seguintes resultado:

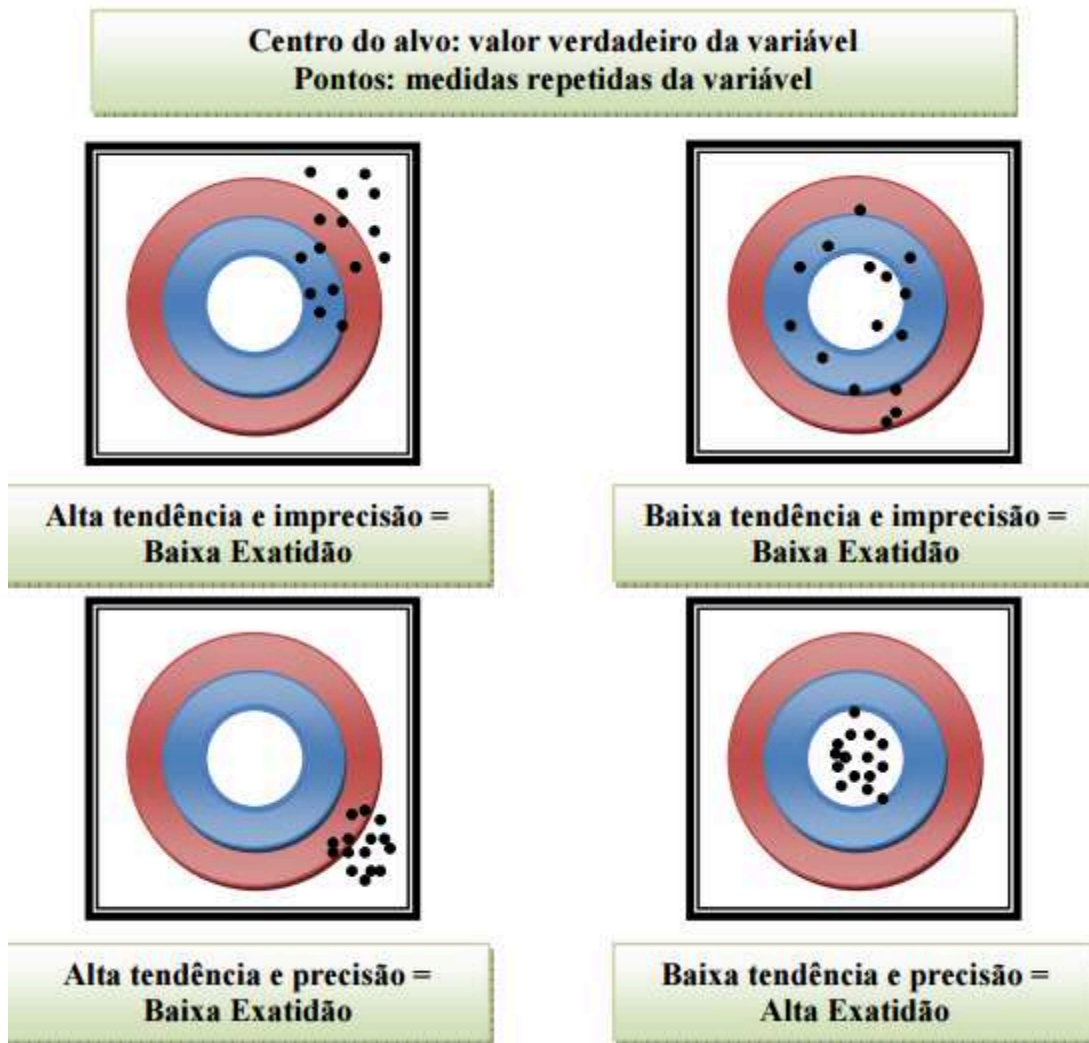


Figura 16 – Exatidão x Tendência x Precisão (Fonte: adaptado de Werkema)

O estudo é composto pela medição de consecutiva de 3 peças, 10 vezes cada uma, por 2 ou 3 operadores, o que resulta 60 à 90 medições, onde esses valores são utilizados em cálculos estatísticos onde obtemos um resultado em porcentagem, denominado R&R (Repetibilidade e Reprodutibilidade).

O R&R de um sistema de medição é uma estimativa da variação combinada da repetitividade e da reprodutibilidade. É a variância resultante da soma das variâncias dentro do sistema e entre sistemas.

Repetibilidade é a variação nas medidas obtidas com um dispositivo de medição quando usado várias vezes por um operador medindo a mesma característica na mesma peça em quanto que a Reprodutibilidade é a variação na média das medidas feitas por diferentes operadores utilizando o mesmo dispositivo de medição medindo características nas mesmas peças.

Existe um critério de aceitação para os valores obtidos no estudo baseando se nos erros de dispersão, uma regra geral de aceitação é apresentada no Manual de MSA da QS-9000 (1997):

- Erro menor que 10% - sistema de medição aceitável.
- Erro entre 10% e 30% - o sistema pode ser aceito com base na importância de sua aplicação, no custo do aparato de medição e nos seus custos de reparo.
- Erro acima de 30% - sistema de medição inaceitável.

Fonte de Variação	Desvio Padrão 5,15 sigma	Percentual da Variação Total
Repetitividade	$VE = 5,15 \times \sqrt{MQR}$	$100 \times VE/VT$
Reprodutibilidade	$VA = 5,15 \times \sqrt{\frac{MQA - MQAP}{IK}}$	$100 \times VA/VT$
Interação P x A	$VAP = 5,15 \times \sqrt{\frac{MQAP - MQR}{K}}$	$100 \times VAP/VT$
Peça	$VP = 5,15 \times \sqrt{\frac{MQP - MQAP}{JK}}$	$100 \times VP/VT$
R&R	$R \& R = \sqrt{(VE)^2 + (VA)^2 + (VAP)^2}$	$100 \times R\&R/VT$
Total	$VT = \sqrt{(R \& R)^2 + (VP)^2}$	

Tabela 6 - Componentes da variabilidade de um Sistema de Medição

3. METODOLOGIA

A aplicação da metodologia foi utilizada como parte de uma estratégia de redução de custo de fabricação, a fim de reduzir o custo de não qualidade das áreas de montagem estrutural, sendo que a principal de estruturação e análises será o PDSA.

3.1 MÉTODO DMAIC

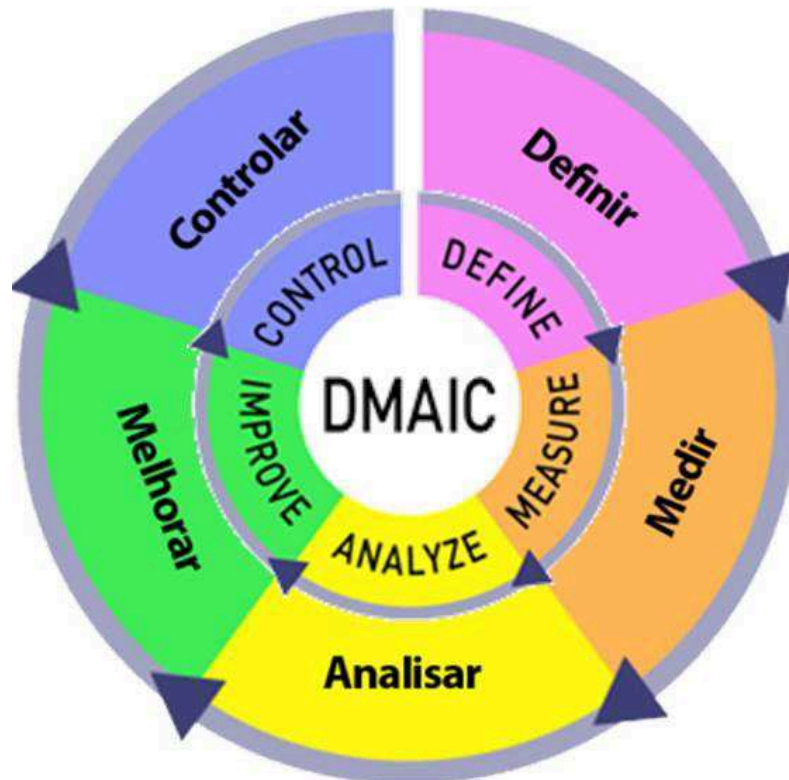


Figura 17 – Método DMAIC (Fonte:Autor)

3.2 DEFINE

3.2.1 Definir Escopo

Inicialmente foi verificada na empresa e dentro do setor aeronáutico a falta de referência para aplicação de ferramentas da qualidade no processo produtivo visando à melhoria contínua do processo, baseado em uma verificação continuada do processo de montagem.

Nesta etapa, estaremos realizando o levantamento de dados para identificação das oportunidades de melhoria.



5W1H					
Identificação do Problema					
O que	Como	Quem	Por que	Quando	Onde
Definição preliminar do problema	Levantamento de dados na base sobre Não conformidade	Eng. Qualidade	Para definir escopo de trabalho	mai/16	Base de Dados da Qualidade
Definição do local para aplicação do metodo	Gerar grafico para definição baseando-se na quantificação	Eng. Qualidade	Para focar esforços	mai/16	Base de Dados da Qualidade

Tabela 7 – Descrição do Planejamento (Fonte: Autor)

A tabela 7 descreve a maneira eficaz de realizar uma análise da área de montagem na qual vamos atuar e qual o problema iremos solucionar, então foi criado um sistema de Gestão da Qualidade, onde realizamos o mapeamento das não conformidades distribuídas em uma determinada área da produção e de acordo com os gabaritos de montagem, tal ferramenta possibilita classificar quais são os maiores códigos de problemas, qual gabarito possui o maior índice de não conformidade e qual área possui o maior CNQ (custo da não qualidade).

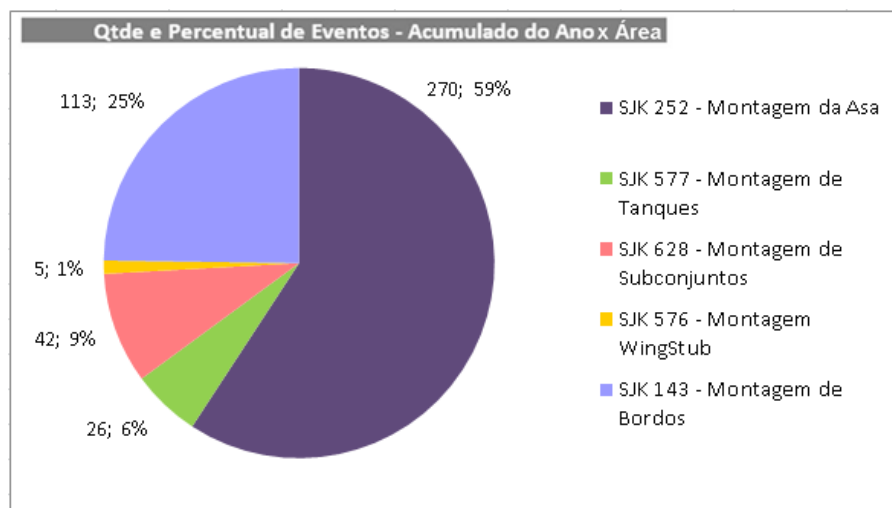


Figura 18 – Indicadores de Gerência: Eventos ÑC x Área (Fonte: Autor)

3.2.2 META GERAL

A meta é a redução de 65% dos eventos totais, o que compreende uma redução de 270 para 94 não conformidades em um mesmo período de tempo.

3.3 MEASURE

3.3.1 Medir

Neste momento avaliaremos o processo atual (foco em defeito) e desenvolver a base de referência para futuras comparações, quantificando os defeitos e criando um ponto inicial para melhoria contínua. São esses dados, os quais serviram de embasamento para o desenvolvimento desse método.



Descrição do Problema	Quantidade
Diâmetro	20
Posição (Deslocado/Desalinhado/Borda)	12
Riscos / Marcas	11
Descascamento	9
Faltando/Indevido	8
Metalização Faltando/Incorreta	8
Errada (PN/Traço Número Trocado)	7
Altura	5
Estrias/Rugas	5
Deslocamento	4
Riscos/Marcas	4
Diâmetro Primitivo/Nominal	3
Empenamento	3
Largura	3
Proteção Faltando/Solta/Danificada	3
Condutividade Elétrica	2
Mont/Peça Faltando/Trocada/Incompleta	2

Tabela 8 – Quantidade de Eventos X Problema 2015 (Fonte: Autor)

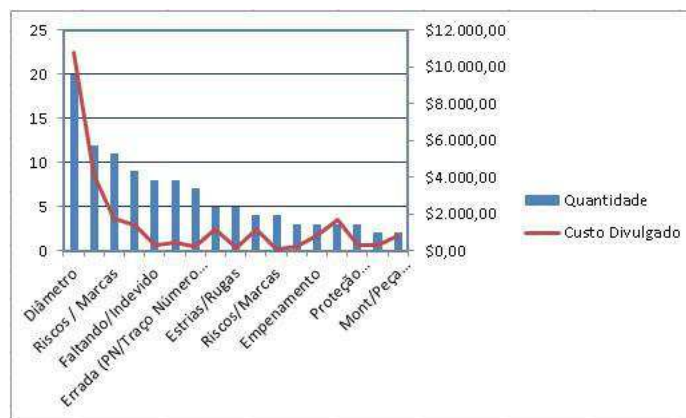


Figura 19– Pareto: Problemas x Qtde de Eventos x Custo 2015 (Fonte: Autor)

Ao analisarmos os gráficos, identificamos que a área com maior quantidade de Eventos é a Montagem da Asa, e os problemas com maior reincidência são relacionados a furos (Diâmetro, Posição e Riscos/Marcas).

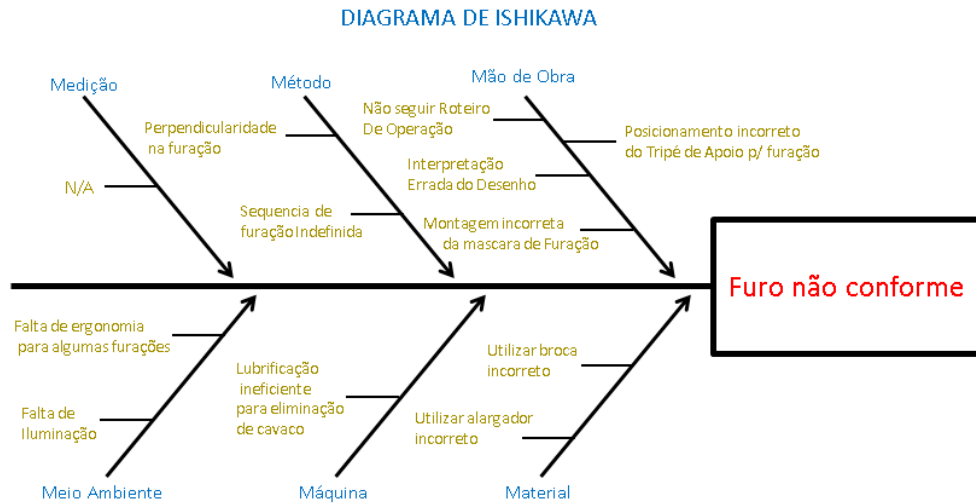


Figura 21 – Diagrama de Ishikawa no processo de furação (Fonte: Autor)

FOLHA DE VERIFICAÇÃO	
Item	Ocorrência
Material	4
Maquina	1
Meio Ambiente	1
Mão de Obra	9
Metodo	2
Medição	-

Tabela 10 – Folha de Verificação (Fonte: Autor)

Foi utilizada a Folha de Verificação para enumerar as causas de furos não conformes no processo. A principal causa das ÑCs é a Mão de Obra.

Brainstorming	
Ideias	
1	Criar padrão de duplo check para verificação da furação
2	Utilizar dispositivo para furação semi-automática
3	Desenvolver Processo de Furação Automática
4	Desenvolver Máquina que efetue a troca automática de Ferramenta

Tabela 11 – Brainstorming – Solução de Problemas no Processo de Furação (Fonte: Autor)

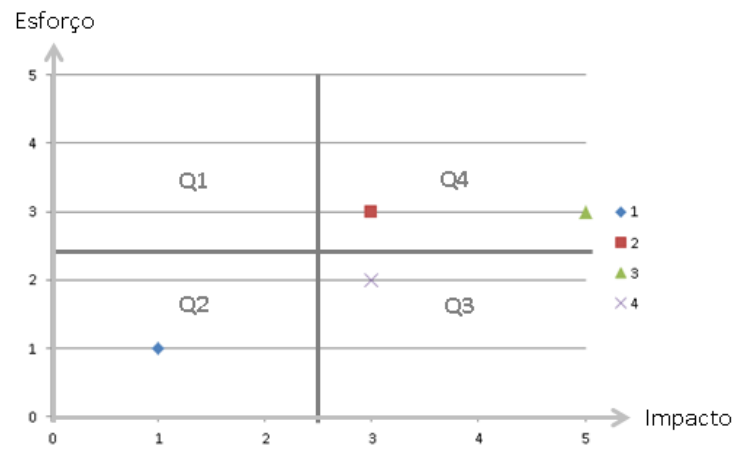


Figura 22 – Matriz Esforço X Impacto – Relacionado ao Brainstorming (Fonte: Autor)

Através da Matriz de Esforço X Impacto e a Folha de Verificação, identificamos que a medida “3” definida no Brainstorming é a melhor solução para o problema no processo de furação.

3.5 IMPROVE

3.5.1 Melhorar o Processo

Nesta etapa da metodologia é criado um plano de ação, baseando-se no que já foi definido na etapa anterior, para Melhoria do Processo de Furação.



Para adquirir uma Solução na automação de um processo, ou um maquinário, software e etc., é elaborada uma “SPEC”, documento onde está descrito todos os requisitos necessários para atender a necessidade da empresa, em todos os âmbitos, desde instalação do equipamento até os tramites judiciais e financeiros.

8. Performance Requirements

The equipment must be designed to support production rate below:

- Work days per month: 20 days
- Two shifts : 16 work hours per day
- Production rate: 8 aircrafts / month
- Solution duty: 95%
- Takt time considering duty: 95% of the takt time
- Estimated product life cycle: 12 years

9. Hole Requirements

All holes diameters, countersink depths, holes perpendicularities and holes positioning, shall be performed according the product requirements and standards; The capability must have variability index: $C_p \geq 1,33$ and it must be centered with relationship to the specifications with variability Index: $C_{pk} \geq 1,33$.

10. Environment Facilities

The solution shall be capable for operating in a typical Brazilian factory environment, with an ambient air temperature range from 0°C to 55°C and relative humidity of 95%.

The equipments shall be designed and constructed to make use of facilities as follows:

Electrical Power: 220 Volts, $\pm 10\%$, 3 phases, (3P + E), 60Hz

Compressed Air: 5 - 6 Bar (90 - 95 psi)

Figura 23 – Trecho da SPEC (Fonte: Empresa Aeronáutica)

A SPEC contem muito mais informações do que o apresentado na figura acima, porém as informações mais importantes para nosso estudo foram inseridas no contexto. Após definição de requisitos, levantamento de custos para melhoria e escolha dos possíveis fornecedores, a proposta passa por rigorosa análise da Gerencia, que após aprovada, é enviada a Direção e depois a Presidência, e só após o aceite em todos os níveis da Gestão, é que podemos iniciar o desenvolvimento e implantação do upgrade no processo. Essa sistemática de análise se deve por se tratar da aquisição e de uma nova tecnologia para empresa, ao elevado custo e ao tempo de desenvolvimento até a produção serie dos produtos por esse novo processo.

Robots KUKA KR 210 R3300K Ultra; it is this type of robot we used on our relevant previous applications. Its main technical specifications are:

- Pay load : 210 Kg
- Number of axis : 6
- Max working envelope : 3100mm
- Repeatability : less than 0,004 inch

The model KR210 possesses an excellent repeatability and a good stiffness for the clamping action.

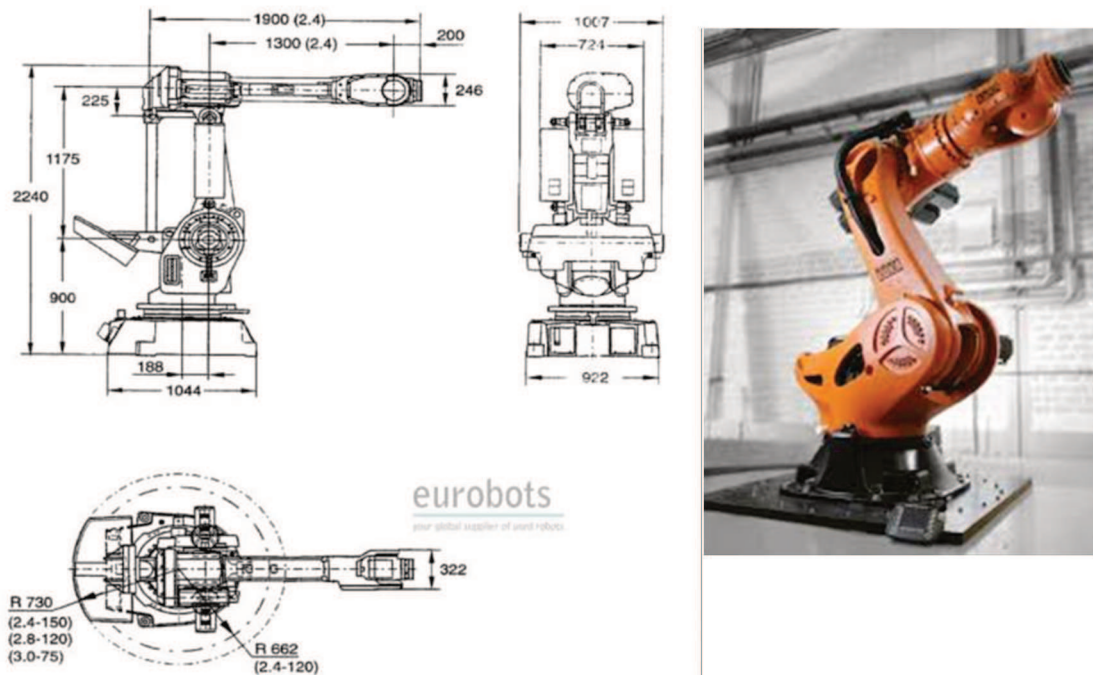


Figura 24 – Especificação do Robô de Furação (Fonte: Empresa Aeronáutica)

3.5.2 Pré-aceite

Antes da implantação do processo autônomo na empresa, são realizados diversos testes e ensaios no próprio fornecedor, suportado por uma equipe de Engenheiros, com intuito de comprovar e assegurar a capacidade do processo de produzir dentro do tempo e na qualidade necessária para atender a produção, esta fase é denominada de Pré-Aceite.

3.5.2.1 Testes

Para aplicação dos testes, são desenvolvidos CDPs (Corpos de Prova), os quais replicam as mesmas condições e características relevantes do produto (Material, Tratamento, Corte e etc.) e que serão submetidos a esse método de furação em desenvolvimento, teoricamente, refletindo o que seria o resultado no produto. Utilizamos CDPs para testes, pois seu custo é muito inferior a do produto, isso ajuda na minimização dos gastos no decorrer do desenvolvimento do processo.

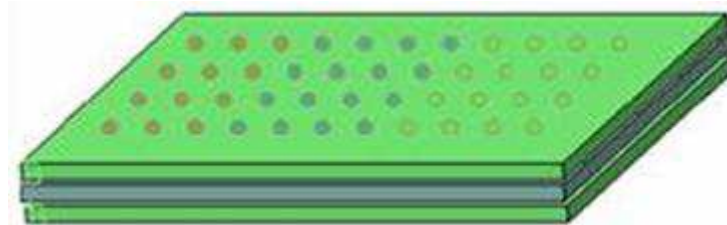


Figura 25 – Representação gráfica do CDP (Fonte: Empresa Aeronáutica)

Após a furação dos Corpos de Prova, são realizados os ensaios que analisam diâmetro e rugosidade para avaliar a Normalidade e Capabilidade do processo de ambos.

Para a medição de diâmetro de furo, é utilizado o relógio comparador e anel padrão, são coletados os valores máximo e mínimo encontrado em cada furo.



Figura 26 – Relógio Comparador e Anel Padrão (Fonte: Empresa Aeronáutica)

Acoplado ao Relógio Comparador, temos um equipamento conhecido como Coletor de Dados, que automaticamente grava e organiza os valores obtidos nas medições.



Figura 27 – Coletor de Dados (Fonte: Empresa Aeronáutica)

Utilizando um Software de Calculos Estatísticos, trabalhamos os dados obtidos para determinarmos o grafico de Normalidade e de Capabilidade do Processo (Cp e Cpk).

Diâmetro: Normalidade

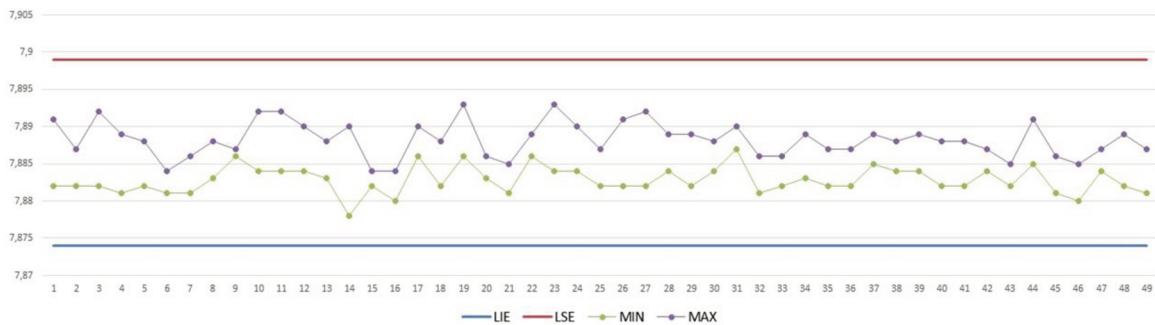


Figura 28 – Representação Gráfica da Normalidade do Processo (Fonte: Autor)

Diâmetro: Capabilidade

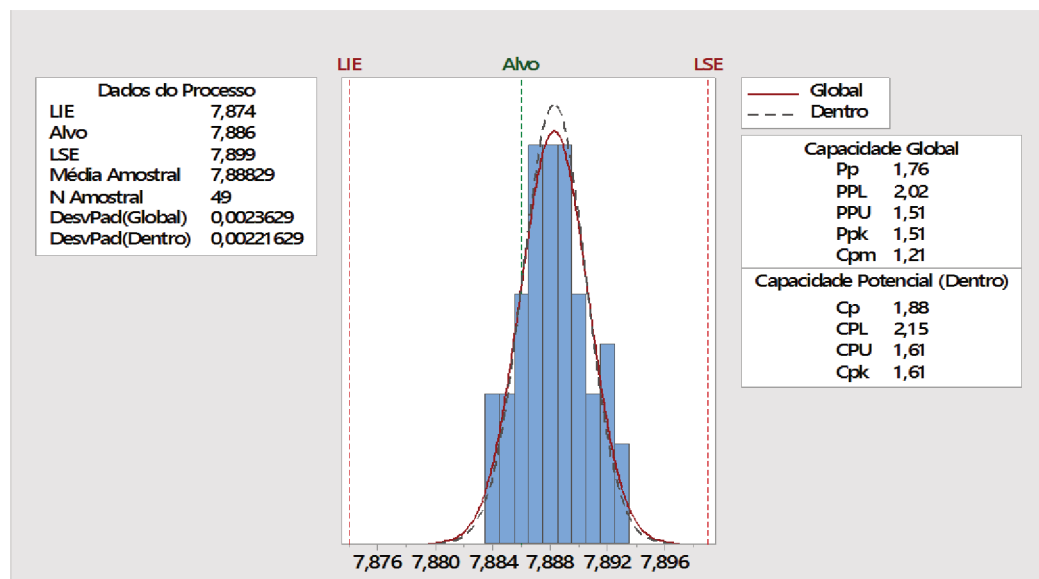


Figura 29 – Representa a Capabilidade do Processo (Fonte: Autor)

Rugosidade: Em relação a esse requisito, não realizamos nenhuma análise estatística ou gráfica, é realizada a medição da rugosidade por amostragem, onde verificamos apenas se os

valores obtidos estão dentro do requisito de projeto e/ou conforme regulamento interno, que se compreende em $Ra = 1,2 \mu m$.

Teste	Placa	Furo 5	Furo 10	Furo 15	Furo 20	Furo 25	Furo 30	Furo 35	Inspecção Visual
3	Inconel	0,243	0,353	0,451	0,312	0,34	0,234	0,343	Não verificado na parede do furos riscos ou marcas.
	Ti 6Al-4V	0,535	0,419	0,326	0,413	0,852	0,334	0,805	
	SS 15-5PH	0,516	0,189	0,248	0,440	0,296	0,264	0,292	
	SS 15-5PH	0,441	0,302	0,419	0,513	0,431	0,233	0,184	
10	SS PH13	0,353	0,204	0,223	0,209	0,246	0,349	0,464	Não verificado na parede do furos riscos ou marcas.
	Ti	0,262	0,206	0,189	0,175	0,424	0,26	0,254	
	SS 15-5PH	0,33	0,268	0,323	0,328	0,222	0,298	0,564	
	SS PH13	0,32	0,21	0,246	0,223	0,214	0,473	0,461	
12	SS PH13	0,278	0,45	0,342	0,514	0,509	0,513	0,538	Não verificado na parede do furos riscos ou marcas.
	Al 2124	0,553	0,257	0,193	0,381	0,213	0,615	0,579	
	Ti	0,206	0,299	0,334	0,486	0,396	0,247	0,473	
13	SS PH13	0,803	0,395	0,657	0,519	0,311	0,306	0,277	Não verificado na parede do furos riscos ou marcas.
	Al 2124	0,971	0,85	0,894	0,870	0,809	0,483	0,568	
	Ti	0,438	0,302	0,278	0,295	0,28	0,411	0,298	
16	Aço Inox PH13-8Mo	0,252	0,186	0,249	0,296	0,157	0,289	0,324	Não verificado na parede do furos riscos ou marcas.
	Alumínio 2124	0,162	0,334	0,351	0,386	0,111	0,125	0,267	
	Alumínio 2124	0,187	0,259	0,362	0,332	0,2	0,092	0,338	
2.1	Inconel 718	0,263	0,289	0,265	0,245	0,205	0,214	0,228	Não verificado na parede do furos riscos ou marcas.
	Aço Inox 15-5PH	0,185	0,18	0,127	0,249	0,107	0,245	0,191	
	Aço Inox 15-5PH	0,183	0,199	0,165	0,953	0,099	0,183	0,178	
1	Aço Inox 15-5PH	0,337	0,124	0,160	0,213	0,179	0,126	0,483	Não verificado na parede do furos riscos
	Aço Inox 15-5PH	0,167	0,164	0,178	0,190	0,366	0,192	0,502	
9	Aço Inox PH13-8Mo	0,218	0,227	0,332	0,958	0,288	0,265	0,495	Não verificado na parede do furos riscos ou marcas.
	Titânio 6Al-4V	0,38	0,356	0,234	0,836	0,223	0,11	0,359	
	Aço Inox 15-5PH	0,264	0,357	0,312	0,743	0,201	0,262	0,523	
	Titânio 6Al-4V	0,176	0,243	0,195	0,992	0,265	0,264	0,309	
8	Alumínio 2124	0,209	0,26	0,258	0,204	0,155	0,312	0,274	Não verificado na parede do furos riscos
	Alumínio 7037	0,182	0,239	0,242	0,236	0,205	0,24	0,325	
11	Aço Inox PH13-8Mo	0,131	0,641	0,892	0,156	0,264	0,303	0,417	Não verificado na parede do furos riscos ou marcas.
	Titânio 6Al-4V	0,211	0,315	0,387	0,260	0,253	0,263	0,192	
	Aço Inox 15-5PH	0,207	0,283	0,439	0,211	0,223	0,187	0,211	
	Aço Inox PH13-8Mo	0,228	0,287	0,512	0,197	0,283	0,196	0,204	
17.1	Aço Inox PH13-8Mo	0,259	0,171	0,425	0,238	0,222	0,311	0,202	Não verificado na parede do furos riscos
	Aço Inox 15-5PH	0,288	0,164	0,289	0,187	0,156	0,181	0,119	
17.2	Aço Inox 15-5PH	0,397	0,18	0,201	0,207	0,488	0,207	0,2	Não verificado na parede do furos riscos
	Aço Inox 15-5PH	0,116	0,169	0,202	0,218	0,211	0,377	0,184	
19	Aço Inox PH13-8Mo	0,126	0,136	0,093	0,097	0,183	0,473	0,254	Não verificado na parede do furos riscos ou marcas.
	Aço Inox 15-5PH	0,662	0,187	0,164	0,178	0,115	0,21	0,16	
	Aço Inox 15-5PH	0,128	0,142	0,120	0,168	0,136	0,09	0,15	
21	Aço Inox PH13-8Mo	0,363	0,312	0,139	0,140	0,126	0,268	0,358	Não verificado na parede do furos riscos ou marcas.
	Aço Inox 15-5PH	0,257	0,36	0,280	0,174	0,139	0,167	0,431	
	Aço Inox 15-5PH	0,337	0,22	0,178	0,153	0,179	0,172	0,373	
	Titânio 6Al-4V	0,392	0,223	0,212	0,242	0,172	0,183	0,383	

Tabela 3.3 – Medidas obtidas no dimensional de Rugosidade

Esses valores foram obtidos através de um instrumento exclusivo para medição de rugosidade, conhecido popularmente como Rugosímetro. Devido ao fato de não realizarmos análises estatísticas para essa característica, não se faz uso do Coletor de Dados.



Figura 30 – Rugosímetro (Fonte: Empresa Aeronáutica)

3.5.2.2 Análise dos dados obtidos

Ao analisarmos o gráfico de Normalidade (Gráfico N.N), verificamos que os valores máximo e mínimo estão centralizados, o que indica que os furos estão próximos ao nominal estipulado em projeto, e que auxilia em eventuais causas especiais, que mesmo que aconteçam, podem variar o valor do furo dentro da tolerância, sem causar qualquer inconveniente ao processo. Na Figura N.N, é mostrado o Cp e Cpk do processo, conforme requisito da SPEC, o Cpk deve ser superior a 1.33, neste caso, o $Cpk = 1.61$, o que significa que a cada 1 milhão de furos realizados teremos menos de 1% de furos não conformes (6.000 furos não conformes para 1.000.000 de furos realizados).

Nenhum furo apresentou rugosidade acima do especificado em norma.

Baseando-se nesses dados, podemos iniciar a etapa de implantação da melhoria na empresa.

3.5.3 Implantação

Durante a implantação do novo processo (Fundação, instalação de maquinário, programação, treinamento de mão-de-obra e etc.) são realizados novamente os testes anteriores com intuito de certificar os resultados obtidos anteriormente. Isso se deve porque as condições no fornecedor são diferentes das condições na empresa que adquire essa tecnologia, ou seja, os M's do processo variam, como por exemplo, o Meio Ambiente, muitas vezes o fornecedor é de um país de clima frio e quando trazemos o maquinário para o Brasil, que é um país de clima tropical, temos um comportamento diferente devido a essa mudança de temperatura. Para nós adequarmos a essas possíveis variações, repetimos os estudos feitos no fornecedor.

5W1H					
Identificação do Causas					
O que	Como	Quem	Por que	Quando	Onde
Validar meio de medição	Aplicação do Estudo de MSA	Eng. da Qualidade	Certificar se que o metodo definido atende a necessidade	jun/16	GEMBA
Aplicar testes de furação	Utilizar CDPs para furação	Eng. Qualidade, Eng. de Processo e Produção	Avaliar os resultados do processo	jun/16	GEMBA
Validar Capabilidade do processo	Utilizando os dados obtidos da ultima furação de CDPs	Eng. da Qualidade	Certificar que o processo atende as exigencias do produto	jun/16	Utilizar software dedicado
Dimensionar e avaliar rugosidade dos furo	Rugosimetro	Eng. da Qualidade	Certificar que o processo atende as exigencias do produto	jun/16	GEMBA

Tabela 13 – Etapas para Implantação

3.5.3.1 Estudo de MSA

Foi realizado o Estudo de MSA para medição de diâmetro de furo com Ogiva e rugosidade com Rugosimetro, utilizando uma planilha padrão e obtivemos os seguintes resultados:

NOME E Nº DA PEÇA		CARACTERÍSTICA A SER MEDIDA				CARACTERÍSTICA É KC OU NÃO? (marque com x)	
CDP		Rugosidade				SIM	NÃO x
NOME DO EQUIPTO. DE MEDIÇÃO		MENOR DIVISÃO DO EQUIPTO. DE MEDIÇÃO		ATIVO DO EQUIPTO		COORDENADOR DO ESTUDO	
Rugosimetro		0,01		F275399		Alaor / Anderson Johny	
AMPLITUDE TOLERÂNCIA / UNIDADE:		3,200	µm	QTDE PEÇAS: 10	QTDE MEDIÇÕES: 03	QTDE AVALIADORES: 02	

VALORES COLETADOS															
		PEÇAS										MEDIAS		Cálculos	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Avaliador A	1ª medição	1,580	1,600	1,640	1,720	2,200	1,640	1,740	2,030	1,370	1,610	1,713	Xa	Ra	
	2ª medição	1,580	1,740	1,550	1,770	2,000	1,650	1,630	1,490	1,600	1,730	1,674	1,701	0,191	
	3ª medição	1,600	1,620	1,730	1,940	1,910	1,640	1,670	1,670	1,610	1,770	1,716			
Avaliador B	1ª medição	1,790	1,780	1,490	2,030	1,860	1,620	1,680	1,600	1,630	1,760	1,724	Xb	Rb	
	2ª medição	1,780	1,590	1,860	1,650	2,140	1,700	2,100	2,130	1,560	1,600	1,811	1,749	0,331	
	3ª medição	1,560	1,540	1,780	1,650	1,940	1,360	1,940	1,670	1,800	1,880	1,712			
MÉDIA DAS PEÇAS		1,648	1,645	1,675	1,793	2,008	1,602	1,793	1,765	1,595	1,725	Xbar	1,725	Rp	0,413

RESULTADO (%) (VARIAÇÃO DA TOLERÂNCIA):		
Varição Equipito	Varição Avaliador	R&R
28,91	3,55	29,13

STATUS DO RESULTADO
APROVADO

Figura 31 – MSA de Medição de Rugosidade (Fonte: Empresa Aeronáutica)

NOME E Nº DA PEÇA		CARACTERÍSTICA A SER MEDIDA				CARACTERÍSTICA É KC OU NÃO? (marque com x)		
CDP		Diâmetro do Furo de 14,288				SIM X NÃO		
NOME DO INSTRUMENTO		RESOLUÇÃO DO INSTRUMENTO		ATIVO DO INSTRUMENTO		COORDENADOR DO ESTUDO		
Relógio Comp Dig + Ogiva 12,6395 mm		0,001		Relógio F293387		Anderson Johnny		
AMPLITUDE TOLERÂNCIA / UNIDADE:		0,043 mm		QTDE PEÇAS: 10		QTDE MEDIÇÕES: 03		QTDE AVALIADORES: 02

VALORES COLETADOS														
PEÇAS														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIAS	Cálculos	
Avaliador A	1ª medição	14,290	14,287	14,286	14,285	14,285	14,289	14,291	14,286	14,286	14,287	14,287	14,288	0,001
	2ª medição	14,290	14,288	14,286	14,286	14,285	14,289	14,291	14,287	14,287	14,288	14,288		
	3ª medição	14,291	14,289	14,287	14,287	14,286	14,290	14,291	14,287	14,286	14,287	14,288		
Avaliador B	1ª medição	14,290	14,288	14,285	14,286	14,285	14,289	14,291	14,286	14,286	14,287	14,287	14,287	0,000
	2ª medição	14,290	14,288	14,285	14,286	14,285	14,289	14,290	14,286	14,286	14,286	14,287		
	3ª medição	14,290	14,288	14,285	14,286	14,285	14,289	14,290	14,286	14,286	14,286	14,287		
MÉDIA DAS PEÇAS		14,290	14,288	14,286	14,286	14,285	14,289	14,291	14,286	14,286	14,287	Xbar 14,287	Rp 0,006	

RESULTADO (%):		
Repetitividade	Reprodutibilidade	R&R
Varição Equipeto	Varição Operador	
5,36	4,84	7,22

STATUS DO RESULTADO
APROVADO

Figura 32 – MSA de Medição de Diâmetro (Fonte: Empresa Aeronáutica)

Após aprovados os meios de medição, podemos iniciar os testes.

3.5.3.2 Aplicação dos Testes de Furação

Na aplicação dos testes de furação dos CDPs e Produto teste, foram identificados pontos de não conformidades, esses são:

Furos com marcas e Riscos:

A3

Regulamento

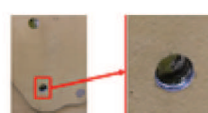
CDP

Título / Descrição

FURROS COM MARCAS

PROBLEMA

Após furação do CDP pelo robô foram identificados furos com marcas



DETALHES

Após a furação dos CDPs foram encontrados furos com marcas e riscos



CAUSAS

A utilização de uma ferramenta danificada e o acúmulo de casca ocasionaram as marcas e riscos nos furos

AÇÃO DE CORREÇÃO

Criado procedimento de rotina de inspeção de ferramenta e aplicado sistema de aspiração de casca.

ABRANGÊNCIA / AÇÃO CONTINGÊNCIA

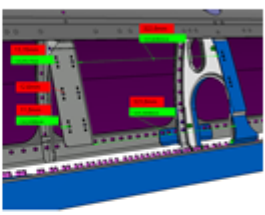
Aplicar AÇÃO DE CORREÇÃO para todos os processos de furação automáticos.

REALIZADO POR

Anderson Johnny Pereira Gomes

ANEXO B – A3 de não conformidade: Furos com marcas e riscos (Fonte: Autor)

Furos deslocados (fora de posição):

A3	Regulamento	Título / Descrição
	Caverna da Asa	FUROS DESLOCADOS
PROBLEMA		
<p>Furação teste do produto apresenta furos deslocados</p> 		<p>DETALHES</p> <p>Após a furação do produto teste, o mesmo apresenta furos deslocados no eixo Y, que após análise, constatou que a programação do robô está correta, as coordenadas dos furos no robô está conforme modelo 3D e que o erro está na montagem da máscara e produto pois não existe limitador de posição no eixo Y</p>
CAUSA RAIZ		
<p>Constatado que houve o posicionamento incorreto das máscaras de furação e produto.</p>		
AÇÃO DE CORREÇÃO		
<p>Criado batente de posição para o eixo Y.</p>		
ABRANGÊNCIA / AÇÃO CONTINGÊNCIA		REALIZADO POR
<p>Criar batente para todas as máscaras de furação.</p>		<p>Anderson Johnny Pereira Gomes</p>

ANEXO C – A3 de não conformidade: Furos deslocados (Fonte: Autor)

Furos ovalizados:

A3	Regulamento	Título / Descrição
	CDP	FUROS DISCREPANTES
PROBLEMA		
<p>Após furação do CDP pelo robô foram identificados furos discrepantes</p>		<p>DETALHES</p> <p>Após realizar os testes de furação em CDPs com placas de alumínio e titânio foi identificado furos discrepantes, apresentando riscos e ovalização. Devido a baixa rotação, o caucão de titânio não era totalmente retirado, ficando preso a ferramenta, provocando os riscos e ovalizações nos furos.</p>
CAUSA RAIZ		
<p>Parâmetros da máquina definidos inadequadamente, foram definidos para a furação de pacotes de placas de alumínio, porém o pacote em questão era constituído por placas de alumínio e titânio</p>		
AÇÃO DE CORREÇÃO		
<p>Foram modificados os parâmetros da máquina, alterando a rotação de 338 RPM para 590 RPM</p>		
ABRANGÊNCIA / AÇÃO CONTINGÊNCIA		REALIZADO POR
<p>Aplicar solução para todos os robôs que trabalhem com chapas de materiais diferentes</p>		<p>Anderson Johnny Pereira Gomes</p>

ANEXO D – A3 de não conformidade: Furos Ovalizados (Fonte: Autor)

Aplicando as ações de correção e abrangência sobre os problemas encontrados nos testes de CDPs e protótipos, corrigimos os desvios no processo, ultima etapa para aprovação da implantação da automação na furação, permitindo assim a produção em serie do produto através desse processo.

O próximo passo é produzir e controlar, para avaliar o resultado numa produção continua da peça e sendo assim realizar um ajuste mais fino, com o intuito de melhorar ainda mais a fabricação nesse método autônomo.

3.6 CONTROL

3.6.1 Controlar e Monitorar o Processo

Para controle e monitoramento do processo e também estratificação desses dados, é utilizado o sistema de Banco de Dados da Qualidade, da mesma forma que foi utilizado no início do estudo. Após um período realizamos nova análise do processo para identificarmos o resultado do trabalho até aqui:

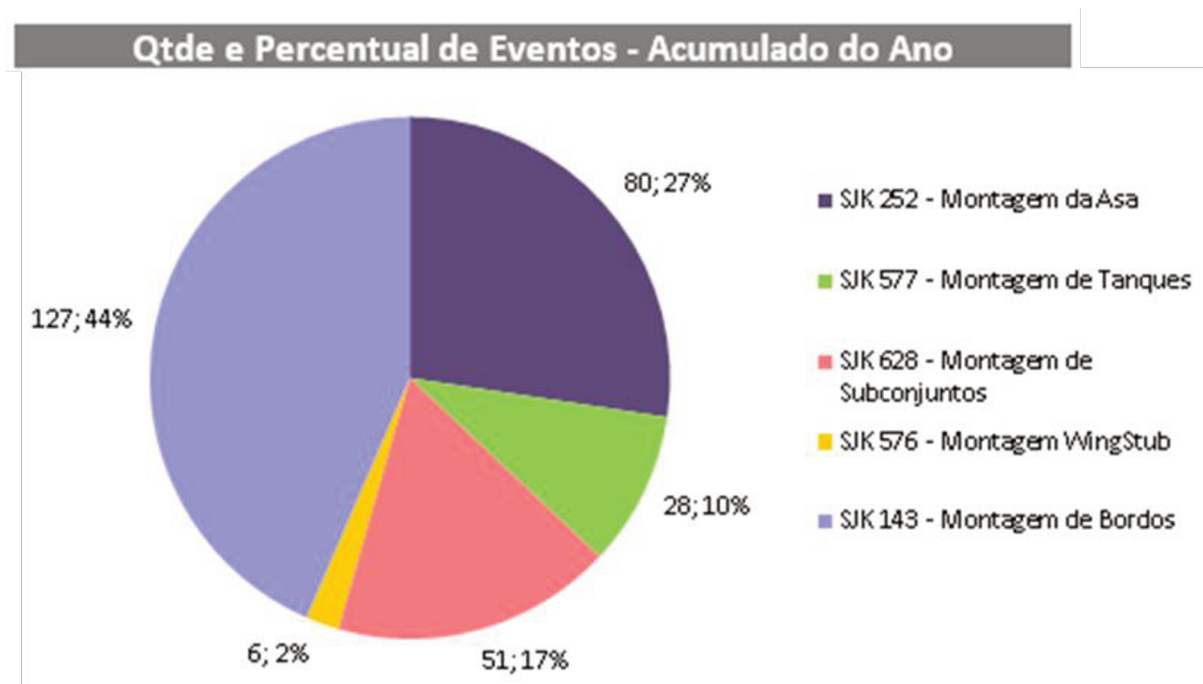


Figura 33 – Indicadores de Gerência: Eventos ÑC x Área (Fonte: Autor)

Avaliando o gráfico, vemos que houve uma redução de 70% nas não conformidades da área de Montagem da Asa, superando a meta, que era de 65%.

A visão futura da área é de atingirmos 80% de redução quando chegarmos ao amadurecimento completo da nova tecnologia de furação, que leva de 1 à 2 anos, num processo contínuo de melhoria, trabalhando sempre na identificação pontos críticos tornando os mais robustos.

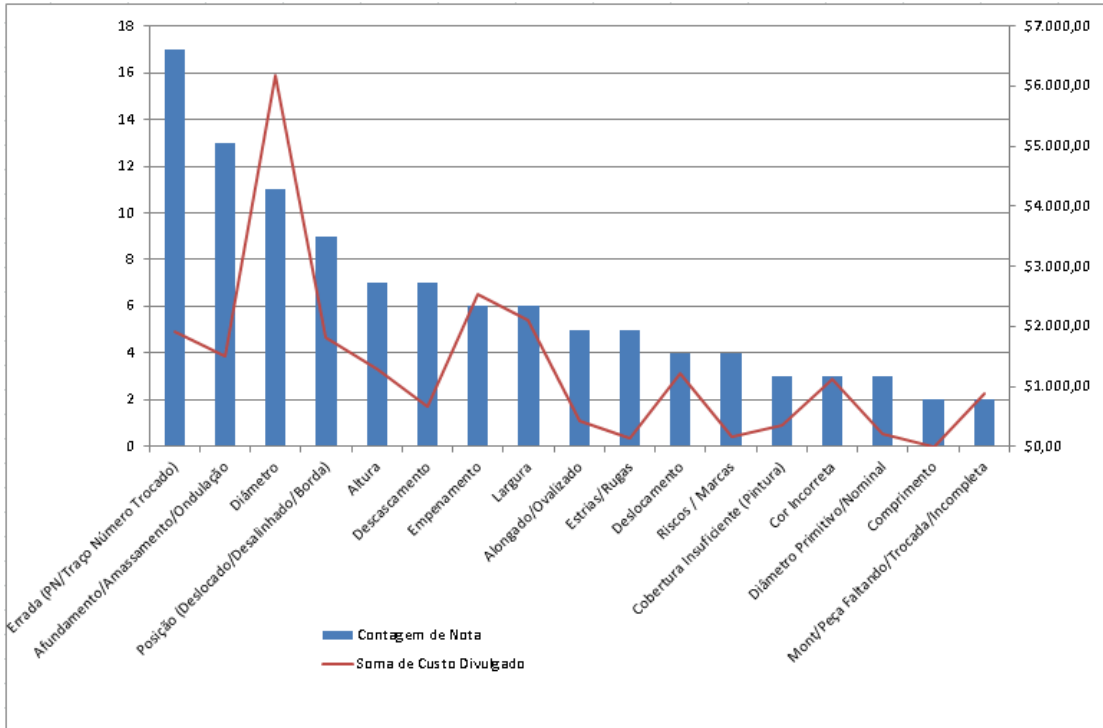


Figura 34– Pareto: Problema x Qtde de Eventos x Custo 2016 (Fonte: Autor)

Descrição do Tipo de Defeito	Contagem de Nota	Soma de Custo Divulgado
Errada (PN/Traço Número Trocado)	17	\$1.911,72
Afundamento/Amassamento/Ondulação	13	\$1.504,79
Diâmetro	11	\$6.182,73
Posição (Deslocado/Desalinhado/Borda)	9	\$1.809,20
Altura	7	\$1.283,80
Descascamento	7	\$672,17
Empenamento	6	\$2.526,40
Largura	6	\$2.110,03
Alongado/Ovalizado	5	\$416,07
Estrias/Rugas	5	\$128,29
Deslocamento	4	\$1.212,17
Riscos / Marcas	4	\$150,88
Cobertura Insuficiente (Pintura)	3	\$343,50
Cor Incorreta	3	\$1.118,90
Diâmetro Primitivo/Nominal	3	\$215,46
Comprimento	2	\$0,00
Mont/Peça Faltando/Trocada/Incompleta	2	\$884,56

Tabela 14 – Quantidade de Eventos X Problema 2016 (Fonte: Autor)

Através da Gestão visual (Figura 37 e Tabela 14) é verificada uma redução nos eventos relacionados a furo e numa redução considerável nos Custos da Não Qualidade quando comparado com o período anterior (Figura 19 e Tabela 8), no qual tínhamos quase US\$12.000,00, já atualmente temos pouco menos de US\$6.000,00, o que representa uma queda superior a 40%, ajudando a apoiar as justificativas para realização desse trabalho.

4 CONCLUSÃO

O trabalho realizado teve como finalidade aplicar as ferramentas da qualidade em um processo produtivo de uma empresa do ramo aeronáutico, em que se encontrava com um alto índice de não qualidade, afetando desta forma o custo do produto vendido, para reduzir estes custos é que a metodologia principal utilizada consistia em Definir o problema, Medir, Analisar as causas, Realizar as melhorias e Controlar os resultados (DMAIC), desta forma sendo possível ao seu final obter os resultados esperados.

O produto em que houve a aplicação do DMAIC foi definido com base no resultado do ano anterior, em que no comparativo com os outros produtos fabricados pela empresa, ele representava o ponto mais crítico em relação a custo e quantidade de eventos.

Na medida em que após o final do projeto, os resultados encontrados foram mais que satisfatório e também levando em conta que ocorreram melhorias em áreas que inicialmente não faziam parte do foco principal, conclui-se que a metodologia utilizada foi corretamente selecionada, atingindo desta forma os objetivos propostos inicialmente.

Os resultados recorrentes deste projeto foram de uma suma importância para empresa, visto que devido ao alto índice de qualidade encontrado neste produto após o final deste projeto, um novo produto foi conferido à empresa para que seja desenvolvido e fabricado utilizando-se da mesma metodologia aqui aplicada.

Por fim, o conhecimento agregado para todos os componentes do grupo de projeto, foi de grande importância, visando que quem faz a qualidade, não é só o departamento da qualidade e sim a empresa num todo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASÃO, C. **Diagrama de Ishikawa**. Blog Pegg, 2011. Disponível em: <<http://blogpegg.wordpress.com/>>. Acesso em: 2015 Fevereiro 17.

CAMPOS, V. F. **Gerenciamento pelas diretrizes**. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1996. 336 p.

LONGENECKER, J.; MOORE, C.; PETTY, J.W. **Administração de pequenas empresas**. São Paulo: Makron Books, 1997.

MAESTRELLI, N. C.; IGARASHI, M. O.; MAMMANA, S.; BORUSZEWSKY, W. **Ensino de ferramentas básicas de qualidade: uma Proposta para a disciplina introdução à Engenharia de Produção**. XLII COBENGE - Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2014.

MIRANDA, Roberto Lira. **Qualidade total: rompendo as barreiras entre a teoria e a prática**. 2 ed. São Paulo: Makron Books, 1994.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

SLACK, N. **Vantagem Competitiva em Manufatura: Atingindo competitividade nas operações industriais**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 1993. 198 p.

STEVENSON, W. J. **Administração das Operações de Produção**. 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. I, 2001.

SOUZA, J. J. **O Programa Seis Sigma e a Melhoria Contínua**. 2003. 84 p. Monografia (Especialização em Administração Contemporânea) – Fundação Getúlio Vargas, São Paulo.

TAGUCHI, G.; ELSAYED, E. A; HSIANG, T. **Engenharia da Qualidade em Sistemas de Produção**. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

TQC – **Controle da Qualidade Total** (no estilo japonês). 7. ed. Nova Lima: INDG, 2004. 256 p.

WERKEMA, M. C. C. **As Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos**. 6. ed. Belo Horizonte: INDG, 1995. 108 p.

6 ANEXOS

ANEXO A - FMEA na montagem de Subconjuntos 2 (Fonte: Autor)

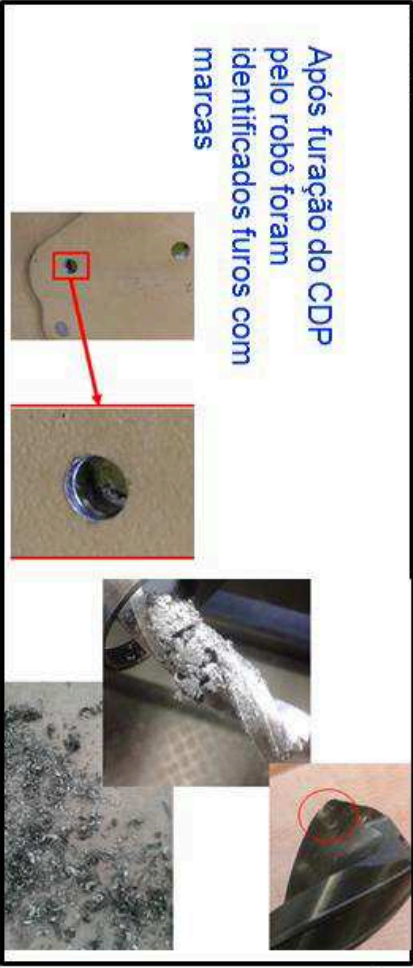
ANEXO B - A3 de não conformidade: Furos com marcas e riscos (Fonte: Autor)

ANEXO C - A3 de não conformidade: Furos deslocados (Fonte: Autor)

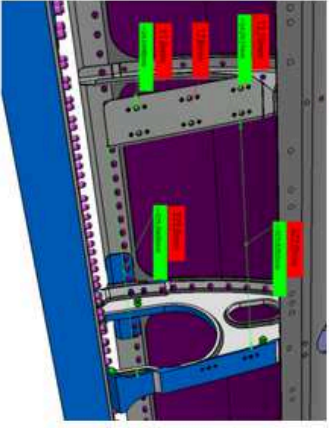
ANEXO D - A3 de não conformidade: Furos Ovalizados (Fonte: Autor)

6.1 ANEXO A

Responsável pelo Processo: Marco Antonio Faria		Projeto/Família: 08 - PFMEA Furação das RIB's e Track's na SPARI - Bordo de Ataque - GUA								
Equipe: Anderson, Claudemir, Renata, Rafael		Data de Elaboração: 16/09/2011								
		Data da Última Revisão: 12/09/2014								
NOME DO PROCESSO	FUNÇÃO DO PROCESSO	MODO DE FALHA	EFEITO(S) DE FALHA	S	CAUSA(S) POTENCIAIS DE FALHA	O	CONTROLE ATUAL DO PROCESSO	D	RPN	AÇÃO CORRETIVA RECOMENDADAÇÃO
Furação	Realizar furação final nas peças	Furos fora da especificação	Furo maior	4	Maquinas com batimento (pistola)	5	Medição de furos com Intramess.	4	80	
				4	Dificuldade de furação (processo manual)	3		4	48	
				4	BOE LUB com limalha / sujeira	5		4	80	
				2	Alargador gastos	3		4	24	
				2	Alargador novo com medidas fora de especificação	3		4	24	
				5	Maquinas com batimento (pistola)	5		4	100	Emir MM. Instuir realização de ronda TPM voltado aos ferramentais e seus detalhes.
			Furo ovalizado	5	Buchas das máquinas danificadas (cachoimbo com fôlida dentro do furo)	3		4	60	
				5	Ergonomia desfavoravel	3		7	105	
				5	Buchas das máquinas danificadas (cachoimbo com fôlida dentro do furo)	3		7	105	
				5	Cachoimbos de furação danificados	7		6	210	Abir uma solicitação MM para efetuar verificação, através de medição
				5	Dificuldade de acesso	3		6	30	
				3	Excesso de cavaco	3		7	63	
Furos fora da especificação	Furos nos Furos	4	Alargador gastos	3	7	84				
		4	BOE LUB com limalha / sujeira	4	7	112				
			Rugosidade maior que especificado							

A3	
Seguimento	Titulo / Descrição
CDP	FUROS COM MARCAS
<p>PROBLEMA</p> <p>Após furação do CDP pelo robô foram identificados furos com marcas</p> 	<p>DETALHES</p> <p>Após a furação dos CDPs foram encontrados furos com marcas e riscos</p>
<p>CAUSA RAIZ</p> <p>A utilização de uma ferramenta danificada e o acumulo de cavaco ocasionaram as marcas e riscos nos furos</p>	
<p>AÇÃO DE CORREÇÃO</p> <p>Criado procedimento de rotina de inspeção de ferramenta e aplicado sistema de aspiração de cavaco.</p>	
<p>ABRAGENCIA / AÇÃO CONTENÇÃO</p> <p>Aplicar AÇÃO DE CORREÇÃO para todos os processos de furação automáticos.</p>	
<p>REALIZADO POR:</p> <p>Anderson Johnny Portela Gomes</p>	

6.2 ANEXO B

A3	Segmento	Título / Descrição
Caverna da Asa	FUROS DESLOCADOS	
PROBLEMA	<p data-bbox="1054 421 1158 667">Furação teste do produto apresenta furos deslocados</p> 	<p data-bbox="1168 1160 1184 1240">DETALHES</p> <p data-bbox="963 1151 1145 1794">Após a furação do produto teste, o mesmo apresenta furos deslocados no eixo Y, que após análise, constatou que a programação do robô está correta, as coordenadas dos furos no robô está conforme modelo 3D e que o erro está na montagem da máscara e produto pois não existe limitador de posição no eixo Y</p>
CAUSA RAIZ	<p data-bbox="647 421 679 1576">Constatado que houve o posicionamento incorreto das máscaras de furação e produto.</p>	
AÇÃO DE CORREÇÃO	<p data-bbox="464 412 496 958">Criado batente de posição para o eixo Y.</p>	
ABRAGENCIA / AÇÃO CONTENÇÃO	<p data-bbox="325 412 357 981">Criar batente para todas as máscaras de furação.</p>	
REALIZADO POR:	<p data-bbox="320 1160 347 1532">Anderson Johnny Portela Gomes</p>	

6.3 ANEXO C

43	
Seguimento	Titulo / Descrição
CDP	FUROS DISCREPANTES
PROBLEMA Após furação do CDP pelo robô foram identificador furos discrepantes	DETALHES Ao realizar os testes de furação em CDPs com placas de alumínio e titânio foi identificado furos discrepantes, apresentando riscos e ovalização. Devido a baixa rotação, o cavaco de titânio não era totalmente retirado, ficando preso a ferramenta, provocando os riscos e ovalizações nos furos.
CAUSA RAIZ Parâmetros da máquina definidos inadequadamente, foram definidos para a furação de pacotes de placas de alumínio, porem o pacote em questão era constituído por placas de alumínio e titânio	
AÇÃO DE CORREÇÃO Foram modificados os parâmetros da máquina, alterando a rotação de 338 RPM para 590 RPM	
ABRAGENCIA / AÇÃO CONTENÇÃO Aplicar solução para todos os robôs que trabalhem com chapas de matérias diferentes	
REALIZADO POR: Anderson Johnny Portela Gomes	

6.4 ANEXO D