

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Paulo dos Santos Rocha

**APLICAÇÃO DO 6 SIGMA NA MELHORIA DE
UMA LINHA DE INJEÇÃO DE PU**

Taubaté – SP

2018

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Paulo dos Santos Rocha

**APLICAÇÃO DO 6 SIGMA NA MELHORIA DE
UMA LINHA DE INJEÇÃO DE PU**

Monografia apresentada para obtenção do certificado de Especialização pelo curso Engenharia da Qualidade Lean Seis Sigma Green Belt do Departamento de Engenharia da Universidade de Taubaté.

Área de concentração: Qualidade e Produtividade
Orientador: Prof. Álvaro Azevedo Cardoso, PhD

Taubaté – SP

2018

Paulo dos Santos Rocha

APLICAÇÃO DO 6 SIGMA NA MELHORIA DE UMA LINHA DE INJEÇÃO DE PU

Monografia apresentada para obtenção do certificado de Especialização pelo curso Engenharia da Qualidade Lean Seis Sigma Green Belt do Departamento de Engenharia da Universidade de Taubaté.

Área de concentração: Qualidade e Produtividade
Orientador: Prof. Álvaro Azevedo Cardoso, PhD

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Álvaro Azevedo Cardoso, PhD Orientador Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

Profa. Esp. Juliana de Lima Furtado, BB Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

Eu agradeço este trabalho aos meus pais, Paulo e Sandra, que me apoiaram desde o início para que eu estudasse e aprofundasse meus conhecimentos.

Aos meus irmãos, Bruna e Pedro e a minha namorada Cindy, que sempre me trouxeram paz e segurança.

Agradeço pelos envolvidos nesse projeto de melhoria, pois sem eles nada disso teria trazido resultado.

Por fim aos meus professores, Juliana e Álvaro por me transmitirem todo conhecimento necessário para realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo mostrar a eficiência da aplicação do Seis Sigma na melhoria dos resultados de uma linha de injeção de PU para uma empresa do setor automobilístico que produz revestimentos acústicos e térmicos para o interior de veículos.

O trabalho se inicia através da análise de indicadores industriais, onde é possível ter o conhecimento de que se há um problema no processo industrial, inviabilizando a produção devido os resultados negativos.

Através do roteiro do DMAIC, que utiliza as etapas de *Define* (definir), *Measure* (medir), *Analyze* (analisar), *Improve* (melhorar) e *Control* (controlar), foi colocado em prática cada uma das ferramentas da qualidade, onde foi possível identificar e mensurar os principais problemas a serem focados em busca de atingir o resultado de melhoria da linha de injeção de PU através da eliminação dos desperdícios conhecidos no Lean Manufacturing.

Para mensurar os ganhos obtidos com as melhorias de qualidade do produto e produtividade da linha, foi utilizado o OEE. Onde inicialmente estava com 55% e após o término do projeto atingiu valores superiores a 90%.

O resultado obtido através da aplicação da ferramenta foi o aumento de produtividade e redução de refugos, sendo possível eliminar a necessidade de realizar horas extras para atender a demanda do cliente.

Palavras-Chave: Qualidade, Seis Sigma, OEE, Poliuretano, Acústica.

Abstract

This work aims to show the efficiency of the application of Six Sigma in improving the results of a PU injection line for an automotive company that produces acoustic and thermal coatings for the interior of vehicles.

The work begins by analyzing industrial indicators, where it is possible to have the knowledge that there is a problem in the industrial process, making production impossible because of the negative results.

Through the DMAIC roadmap, which uses the steps of Define, Measure, Analyze, Improve and Control, each of the quality tools was put into practice where it was possible identify and measure the key issues to be addressed in pursuit of the improvement of the PU injection line by eliminating the known wastes in Lean Manufacturing.

In order to measure the gains obtained with improvements in product quality and line productivity, OEE was used. Where initially it was with 55% and after the end of the project reached values superior to 90%.

The result obtained through the application of the tool was the increase of productivity and reduction of rejects, being possible to eliminate the need to perform overtime to meet customer demand.

Key Words: Quality, Six Sigma, OEE, Polyurethane, Acoustic

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. Justificativa.....	15
1.2. Objetivo.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1. Acústica.....	16
2.1.1. Fatores Históricos.....	18
2.1.2. Materiais Acústicos.....	18
2.1.2.1. Lã de Vidro.....	18
2.1.2.2. Lã de Rocha.....	19
2.1.2.3. Espumas de PU.....	20
2.1.3. Absorção sonora x Isolamento Acústico.....	22
2.2. Poliuretano.....	23
2.2.1. As aplicações do Poliuretano.....	24
2.2.2. Aplicação na indústria automotiva.....	25
2.2.3. Composição Química.....	26
2.2.4. Reação para formação da espuma.....	29
2.2.5. Meio Ambiente.....	31
2.3. Qualidade.....	31
2.3.1. Engenharia de Qualidade.....	32
2.3.2. Ferramentas da Qualidade.....	32
2.4. Seis Sigma.....	44
2.4.1. A estrutura do Seis Sigma.....	47
2.4.2. Investimentos iniciais.....	49
2.4.3. Incentivo dos funcionários.....	50
2.4.4. O modelo DMAIC.....	50
2.4.5. Composição do Seis Sigma.....	53
2.4.6. Lean Manufacturing ou Produção Enxuta.....	55

2.4.7.	Sistema Toyota de Produção	56
2.4.8.	7 desperdícios do Lean Manufacturing:	57
2.4.9.	Estudo dos Tempos e Métodos, Cronoanálise e Racionalização Industrial	59
2.4.10.	Lean x Seis Sigma: qual a diferença?	64
2.4.11.	Por que Lean Seis Sigma?	65
2.5.	OEE (Overall Equipment Effectiveness).....	66
2.5.1.	World Class OEE.....	66
2.5.2.	Como calcular o OEE?	67
3.	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	72
3.1.	Alinhamento dos objetivos da empresa.....	72
3.2.	Definir:.....	74
3.3.	Medir:.....	76
3.4.	Analisar:.....	77
3.5.	Implementar:.....	78
3.6.	Controlar:	78
4.	RESULTADOS OBTIDOS	80
4.1.	Definir:.....	80
4.2.	Medir:.....	81
4.3.	Analisar:.....	83
4.4.	Implementar:.....	85
4.5.	Controlar:	89
4.6.	Fechamento do Projeto.....	91
4.7.	Principais problemas detectados com o projeto de melhoria	92
4.7.1.	Colapsos:.....	94
4.7.2.	Encolhimento:.....	95
4.7.3.	Furos / Espaços vazios:	96
4.7.4.	Mistura insuficiente:.....	97
4.7.5.	Marcas / Deformações / Rasgos:.....	98
4.7.6.	Desmoldante / Temperatura do Molde:	100

4.8. Layout da linha após projeto de melhoria	101
5. CONCLUSÕES	103
6. REFERÊNCIAS	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Propagação do Som	16
Figura 2 - Rolo de lã de vidro.....	19
Figura 3 - Rolo de lã de rocha	20
Figura 4 - Espumas de PU	21
Figura 5 - Detalhe de espuma de absorção acústica	23
Figura 6 - Peças de PU para interiores	26
Figura 7 - Reações principais dos Isocianatos.....	28
Figura 8 - Etapas da síntese de espuma de poliuretano: (a) poliol e pré-polímero; (b) durante a mistura; (c) início da formação da espuma; (d) espuma depois de pronta	30
Figura 9 - Exemplo de planilha de desdobramento da função de qualidade	36
Figura 10 - Diagrama de Ishikawa	38
Figura 11 - Exemplo de fluxograma.....	40
Figura 12 - Primeiras empresas que tiveram sucesso	46
Figura 13 - Tradução do nível da qualidade para a linguagem financeira	48
Figura 14 - 7 desperdícios do Sistema Toyota de Produção.....	59
Figura 15 - Modelo de fluxo de produção	60
Figura 16 - Instrução de trabalho.....	63
Figura 17 - Efeito antes e depois aplicação	64
Figura 18 - Pirâmide Lean Sigma.....	65
Figura 19 - Escala de eficiência.....	67
Figura 20- Calculo de OEE	68
Figura 21 - Meta QCDH SPRINT	73
Figura 22 - Produção sem melhoria.....	74
Figura 23 - Produção com melhoria	74
Figura 24 - Layout da linha estudada	76
Figura 25 - Diagrama da Causa e Efeito.....	81
Figura 26 - Peça com falha de injeção por falta de expansão do material	84
Figura 27 - Componentes posicionados sobre o molde.....	85
Figura 28 - Peça aprovada	86
Figura 29 - Pinos Guias	87
Figura 30 - Sinal para visualizar processo em operação	90
Figura 31 - Fluxo de tratativa para problemas.....	93
Figura 32 - Falha de Colapso.....	95

Figura 33 - Falha de encolhimento	96
Figura 34 - Falha de furos / espaços vazios	97
Figura 35 - Falha de mistura insuficiente	98
Figura 36 - Falha de marca, deformação e rasgo	99
Figura 37 - Falha de temperatura do molde incorreta	101
Figura 38 - Layout da linha no final do projeto	102

ÍNDICE DE GRÁFICOS E TABELAS

Gráfico 1 - OEE Inicial.....	80
Gráfico 2 - Refugos inicial	80
Gráfico 3 - Pareto das causas.....	82
Gráfico 4 - OEE após implementações.....	89
Tabela 1 - Escala de Ondas Mecânicas	17
Tabela 2 - Características sobre aplicações	25
Tabela 3 - Exemplo de folha de verificação	34
Tabela 4 - Escala/pesos para os itens: Ocorrência de Causa (O) e Gravidade do Efeito (G)...	41
Tabela 5 - Escala/pesos para o item: Detecção de Falha (D)	41
Tabela 6 - Modelo de FMEA.....	43
Tabela 7- Principais personagens da estratégia Seis Sigma	55
Tabela 8 - Estudo de Capabilidade Inicial.....	83
Tabela 9 - Estudo de capabilidade após implementação	88
Tabela 10 - Estudo de capabilidade após seis meses.....	92

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

Devido à globalização, que tem a competitividade a cada dia mais acentuada e também devido as variações econômicas do mercado, as empresas precisam encontrar alternativas rápidas para amenizar os desperdícios oriundos de um processo produtivo para que possam oferecer um produto com melhor valor de mercado. Com isso, se torna imprescindível à utilização de novas metodologias.

Visando atender a esse mercado, o trabalho utilizará os indicadores obtidos de um processo fabril para obter melhorias de uma linha de injeção de PU para uma empresa do setor automobilístico que produz revestimentos acústicos e térmicos para o interior de veículos, que apresenta alto índice de rejeição e de paradas de linha.

Para isso será utilizado a aplicação do Seis Sigma, com o uso das fases do DMAIC para definir, mensurar, analisar, implementar e controlar os problemas, de forma que seja possível aperfeiçoar seus processos produtivos sem que haja a degradação do produto final e cause um incidente com nossos clientes finais.

1.2. Objetivo

Esse trabalho visa melhorar a eficiência da linha de injeção de PU que apresenta alto índice de rejeição e de paradas de linha, onde captaremos os indicadores de PPM e parada de linha oriundos do processo fabril, para trabalharmos com a métrica do OEE para avaliarmos a evolução do projeto que utilizará as fases do DMAIC.

Desta forma foram estabelecidos o objetivo de aumentar o OEE para 80%, atuando na redução de parada de linha e de refugos até novembro de 2017.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Acústica

A área da física que é responsável por estudar o som é chamada de acústica, onde através dela teremos os seguintes termos que poderemos analisar:

- Fontes Sonoras: São todos os dispositivos que emitem sons;
- Meio de propagação: É como o som irá se propagar no ambiente, como por exemplo o ar;
- Reflexão ou absorção: é a propriedade de quando as ondas sonoras encontrar um obstáculo que lhe impedem ou diminuem sua força/capacidade de propagação em seu meio;
- Receptores: aquele que irá receber o som, como por exemplo no caso do homem, que possui ouvido para receber o som.

Conforme Jearl Walker (1996), as fontes sonoras fazem parte de nosso dia a dia, apesar de que normalmente nós não fazemos relação entre elas e o estudo da física por se tratarem de fatores comum para a vida do homem. Essas fontes são capazes de produzir vibrações por meio das quais são transmitidas moléculas, o que causa a onda de pressão que passa a se propagar.

Conforme Jearl Walker (1996), essa onda ao atingir os nossos ouvidos, faz com que o tímpano vibre, enviando para o nosso cérebro impulsos que produzem essa sensação sonora. O meio mais comum para que essa onda se propague, é o ar, mas também pode se propagar em meios como líquidos, ou ainda gases. Como exemplo de fontes sonoras, podemos citar os instrumentos musicais, como o violão e a bateria, por exemplo, ou ainda o nosso aparelho fonador.



Figura 1 - Propagação do Som
Fonte: Walker (1996)

Como dito por Adriano Gonçalves (2008), é essencial a aplicação de materiais absorventes em diversas aplicações, desde o ramo civil para construção de salas acústicas ou aplicações automotivas para o interior de veículos.

As ondas sonoras podem apresentar uma grande diversidade de frequência, desde poucos hertz que representam pequenas vibrações, até mesmo outras de grandes magnitudes como as ondas produzidas através de abalos sísmicos. Já os seres humanos, tem a capacidade de ouvir apenas as ondas que estão entre 20 Hz até 20.000 Hz, que chamamos popularmente de som. (GONÇALVES, 2008).

A velocidade de propagação do som depende principalmente do meio em que ele se propaga e não de sua frequência. Com base nisso, podemos dizer que as ondas sonoras tem a capacidade de se propagar com a mesma velocidade.

Tabela 1 - Escala de Ondas Mecânicas

Frequência Hz	Denominação	Método de excitação	Aplicação
0,5 ---- 20	Infra-sons	Vibração da água em grandes reservatórios, batidas do coração.	Prognóstico do tempo, diagnóstico de doenças do coração.
20 ---- 2.104	Sons Audíveis	Voz humana e dos animais, instrumentos musicais, apitos, sirenes, alto-falantes ...	Para comunicação e sinalização, assim como para a medição de distâncias.
2.104---- 1010	Ultra-sons	Emissores magnetostrictivos e piezoelétricos, apitos de Galton, também são excitados por alguns animais e insetos (morcegos, grilos, gafanhotos etc.)	Deteção submarina por eco, limpeza e deteção de defeitos em peças e estruturas de construções, aceleração de reações químicas, investigação em medicina, biologia e física molecular.
1011	Hipersons	Vibrações térmicas das moléculas	Em investigações científicas.

Fonte: Algo sobre (2018)

No exemplo dado por Adriano Gonçalves (2008), para analisarmos o trabalho do isolamento de qualquer estrutura, o processo pode ser bem simples, se pegarmos um cômodo vazio em nossa casa e gritarmos, há uma grande probabilidade de se ouvir o som propagando pelo ambiente, porém se pegarmos o mesmo ambiente, porém agora com mobílias, como por exemplo uma sala já com o sofá, e novamente gritarmos no ambiente, você poderá ver que o som não irá voltar a se propagar.

2.1.1. Fatores Históricos

Através da análise das ondas sonoras e suas representações que se tornaram possíveis graças ao Teorema de Fourier no início do século XIX e posteriormente com os estudos de Georg Simon Ohm onde sugeriu que os ouvidos eram sensíveis a diferentes ondas sonoras, iniciou uma separação da ciência que estudava o som da física e da matemática, passando a ser estudada como Acústica (GONÇALVES, 2008).

Houve diversas contribuições a respeito dos estudos acústicos durante o século XIX, porém foi no século XX onde houve um grande avanço da instrumentação, o que permitiu que fossem realizadas medições, simulações e até mesmo modulações mais precisas.

2.1.2. Materiais Acústicos

Segundo Everest (2001), há uma vasta gama de materiais utilizados na isolação acústica, para as mais diversas aplicações, desde para a construção civil até mesmo para a indústria automotiva. Dentro desta grande gama de materiais, é possível destacar alguns materiais.

2.1.2.1. Lã de Vidro

Conhecida mundialmente como uma das melhores isolantes térmicas, ela também possui grandes propriedades acústicas.



Figura 2 - Rolo de lã de vidro
Fonte: Isover (2018)

Características comuns a todos os produtos:

- Alto poder de isolamento térmica;
- Ótimo coeficiente de absorção acústica;
- Não propagam chamas;
- Não deterioram ou apodrecem;
- Dimensionalmente estáveis mesmo em altas temperaturas;
- Fáceis de recortar e aplicar;
- São inquebráveis, reduzindo as perdas nas obras;
- Não são atacados por roedores ou insetos;
- Não atacam as superfícies com as quais estão em contato;
- Não favorecem a proliferação de fungos ou bactérias;
- Ausência total de partículas não fibradas.

2.1.2.2. Lã de Rocha

Fabricada em todo mundo, torna-se similar com a lã de vidro, apresentando aplicações mais específicas e melhor custo-benefício.



Figura 3 - Rolo de lã de rocha
Fonte: Isover (2018)

Principais Características:

- Alto poder de absorção acústica;
- Resistência ao Fogo;
- Segurança (não oferece risco à saúde);
- Proteção pessoal;
- Favorável custo/benefícios.

Propriedades:

- Facilidade de manuseio;
- Boa resiliência;
- Resistentes a vibrações;
- Não higroscópicos;
- Imputrescíveis e quimicamente neutro.

2.1.2.3. Espumas de PU

É o que podemos considerar como o último nível quando tratamos de isolamentos acústicos, sendo capaz de isolar ou absorver ruídos incômodos. Devido sua estrutura multicelular, as ondas sonoras são dissipadas em seu interior, de qualquer direção que elas acabem vindo. Devido sua capacidade acústica, sua aplicação é diversa.



Figura 4 - Espumas de PU
Fonte: Basf (2018)

Principais características do poliuretano:

- Menor peso;
- Menos ruído;
- Melhor ajuste;
- Menor custo de fabricação;
- Resistência à corrosão;
- Não é quebradiço;
- Memória Elastomérica;
- Resistência a Abrasão;
- Resistência ao corte e ao rasgo;
- Resistência a óleo;
- Resistência a grandes carregamentos;
- Grande variedade de durezas;
- Claro e translúcido;
- Não marca, não mancha;
- Pode ser fundido;
- Resistente a ozônio;
- Resistente à micro-organismos;
- Alta ou baixa histerese;
- Alta ou baixa resiliência.

Algumas limitações do poliuretano:

- Altas temperaturas

- Ambientes úmidos e quentes
- Alguns ambientes químicos

Conforme Randall (2002), são basicamente essas três as desvantagens existentes devido às limitações do poliuretano, eles não são bons para trabalhos em alta temperatura devido a sua termoplacidade característica de sua natureza, fazendo com que as suas propriedades positivas acabem tendendo a se perder.

2.1.3. Absorção sonora x Isolamento Acústico

Conforme Lineu Passeri Júnior (2018), quando falamos sobre materiais e suas propriedades, absorção sonora e o isolamento acústico são dois conceitos distintos e estão se referindo diretamente à propriedade dos materiais de absorver ou de isolar o som. Quando ondas sonoras incidem sobre determinada superfície e por fim, não são refletidas para o recinto em que foram produzidas, temos a absorção sonora. Ou seja, a energia, no todo ou em parte, foi absorvida pelo material utilizado. Porém quando as ondas sonoras que são emitidas acabam sendo refletidas ao ambiente, eis que a energia foi isolada pelo material utilizado em questão.

O que determina a capacidade de absorção sonora é a densidade e a espessura de cada um dos materiais. Conforme apontado por Lineu Passeri Júnior (2018), a absorção sonora equivale à somatória de dois fatores:

Dissipação sonora:

- A dissipação sonora em questão se origina devido ao movimento das partículas de ar que existem no interior do material quando da passagem da onda sonora através dele. Desta maneira, para que possamos considerar um material um bom **absorvedor sonoro**, é necessário que ele “respire”, isto é, que permita às partículas do ar penetrarem e se movimentarem em seu interior (PASSERI, 2018).
- Incluem-se neste grupo: as espumas em geral, as lãs (de vidro, de rocha e de pet), os feltros e outros tecidos com espessura considerável. Materiais com trama muito estreita (como as lonas e os encerados) ou muito esparsa (como a gaze) são ineficazes (PASSERI, 2018).

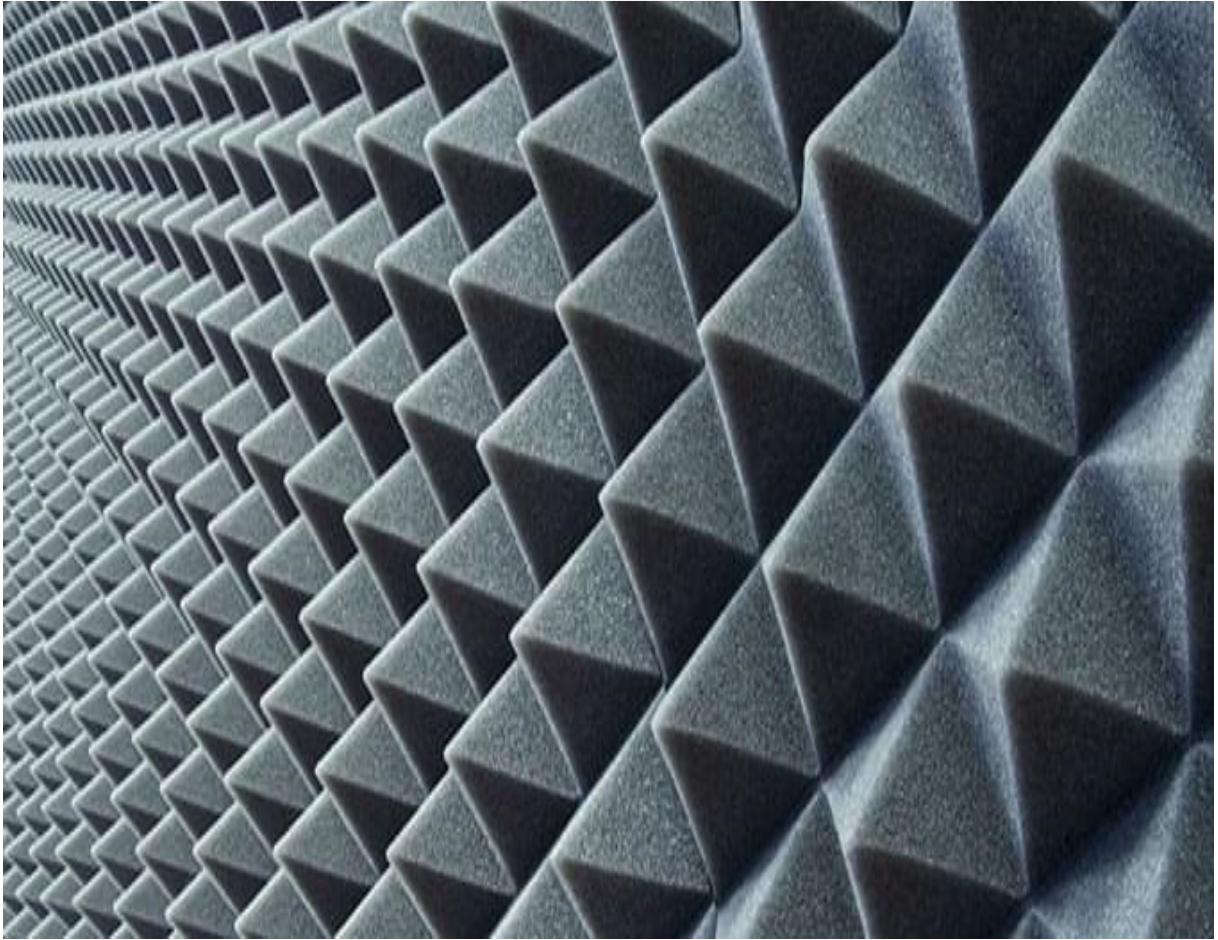


Figura 5 - Detalhe de espuma de absorção acústica
Fonte: AECweb (2018)

Transmissão sonora:

- Já a transmissão sonora, por sua vez, se dá pela passagem da onda sonora através do material e sua chegada ao ambiente, ou ao meio, do outro lado, esclarece Lineu Passeri Júnior (2018). Portanto, se colocarmos uma manta de lã de vidro na abertura de uma janela, paradoxalmente, a energia sonora transmitida, e não a energia dissipada continuará a ser a principal componente responsável pela absorção sonora, pois a trama aberta da lã de vidro não impede que a energia sonora incidente atravessasse-a e escape pela janela aberta.
- Assim, para que materiais porosos/fibrosos apresentem toda a sua capacidade de dissipar energia sonora, eles devem ser fixados sobre uma superfície sólida (PASSERI, 2018).

2.2. Poliuretano

Embora possam encontrar citações de reações da química uretana na data de 1849 pelos químicos Hoffmann e Wurtz, sua criação é atribuída ao químico alemão Otto Bayer em

1937, sendo sua aplicação inicial como um substituto da borracha durante o início da Segunda Guerra Mundial (RANDALL, 2002).

Como é mostrado nos estudos, os poliuretanos são polímeros extremamente versáteis. São aplicados numa ampla gama de materiais com propriedades diversas para diferentes aplicações. Esses polímeros podem ser encontrados sob a forma de elastômeros, fibras e espumas, podendo ainda apresentar biocompatibilidade. Na indústria de revestimentos, incluindo os adesivos, os poliuretanos têm sido utilizados e têm apresentado excelente desempenho na proteção de uma grande variedade de substratos como aço, concreto, plásticos, metais, papel, couro e madeira. Devido ao movimento mundial de restrição ao uso de substâncias orgânicas voláteis tóxicas (VOC), vêm sendo de fundamental importância a pesquisa e desenvolvimento de sistemas aquosos. Entre esses destacam-se os poliuretanos dispersos em água, que estão em amplo crescimento na indústria de revestimentos (DELPECH, 1999).

2.2.1. As aplicações do Poliuretano

Conforme Damarius Randal (2002), embora mais de três quartos do consumo global de poliuretano seja na forma de espumas, os produtos de poliuretano possuem os mais diversificados usos:

- Vernizes;
- Colas;
- Pneus;
- Móveis;
- Colchoes;
- Isolamento de paredes e tetos;
- Isolamento acústico automotivo;
- Assentos de automóveis;
- Preservativos;
- Calçados;
- Refrigeração.

Tabela 2 - Características sobre aplicações

Propriedade	Melhor desempenho	Pior desempenho
Dureza	-	-
Resistência à tração	Poliéster	Poliéter
Alongamento	-	-
Módulo de compressão	-	-
Resistência ao rasgo	Poliéster	PPG Poliéter
Resistência a compressão	TDI	MDI
Resiliência	MDI Poliéter	TDI Poliéter
Baixa temperatura	MDI Poliéter	TDI Poliéter
Alta temperatura	TDI	MDI
Abrasão - atrito constante	Poliéster	PPG Poliéter
Abrasão - atrito intermitente	MDI Poliéter	PPG Poliéter
Geração de calor	Poliéter	Poliéster
Resistência a hidrólise	MDI Poliéter	TDI Poliéter
Resistência a óleo	Poliéster	Poliéter
Envelhecimento ao calor	Poliéster	Poliéter
Baixa dureza	TDI Poliéter	Poliéter
Indústria de alimentos	MDI	TDI
Flexibilidade de formulação	MDI	TDI
Custo	TDI Poliéter	MDI Poliéter

Fonte: Bayer Material Science (2008)

2.2.2. Aplicação na indústria automotiva

Não é de hoje que vemos a indústria automobilística estar um passo a frente, no que se diz respeito a buscar novas tecnologias para deixar os carros cada vez mais leves, para que os mesmos possam apresentar uma melhor eficiência e com isso se tornar mais econômicos para o consumidor (DELPECH, 1999).

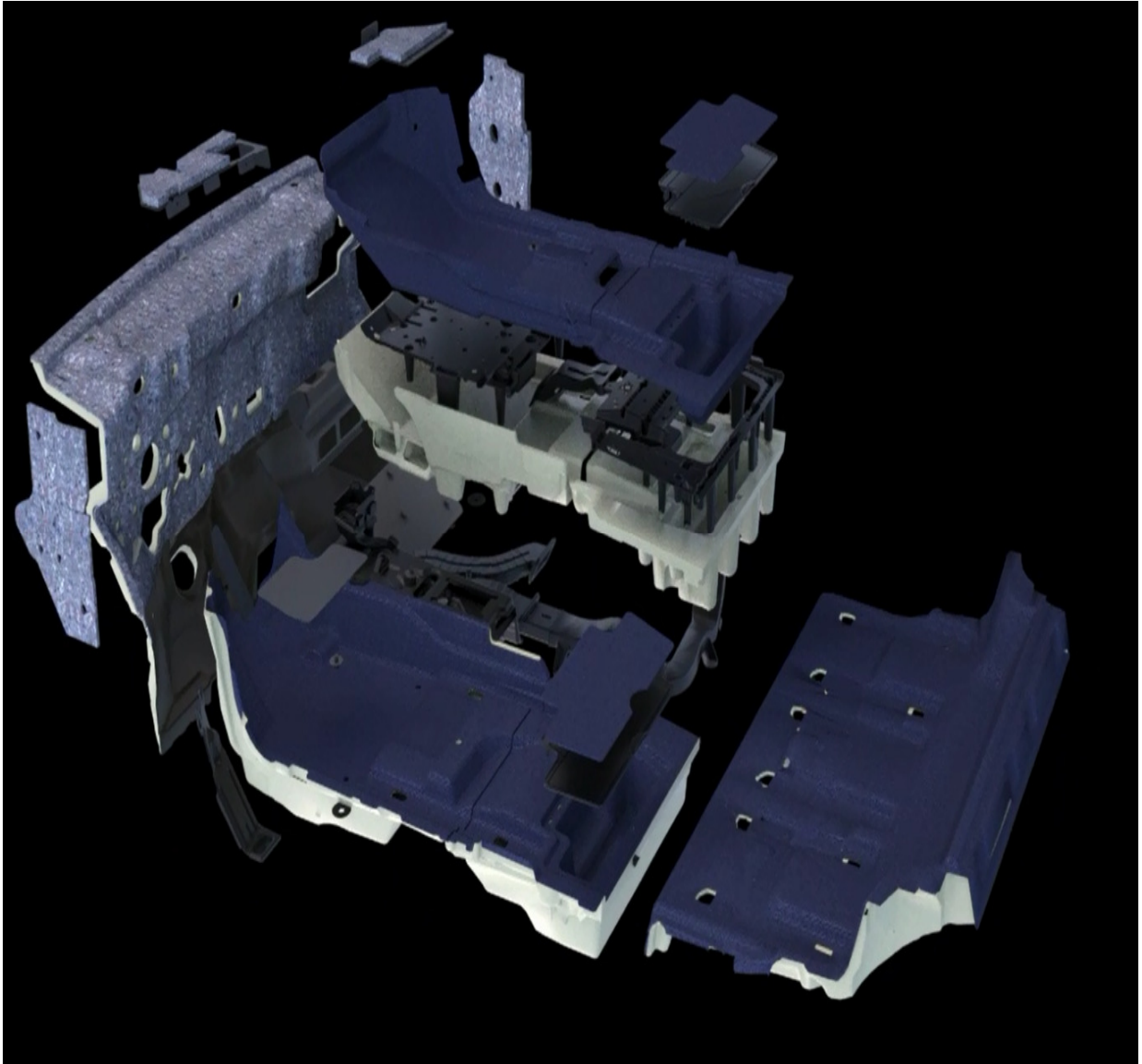


Figura 6 - Peças de PU para interiores
Fonte: Trèves Group (2016)

Podemos numerar uma grande diversidade de produtos, desde isolantes acústicos quanto para itens que nos proporcionam conforto, como os estofados dos carros. Os assentos com espumas de poliuretano são um bom exemplo de versatilidade, conforto e leveza para carros com melhor desempenho e menor emissão de poluentes desenvolvidos pela indústria automobilística.

2.2.3. Composição Química

O poliuretano, conhecido como PU, é um polímero produzido pela reação de poliadição de um isocianato com um polioliol e outros reagentes, sendo eles agentes de cura ou extensores de cadeia. Sua cadeia compreende uma cadeia de unidades orgânicas que são unidas por ligações uretânicas.

O poliuretano possui uma grande variedade de aplicações, com elas uma variedade de durezas e densidades, que podem variar conforme o tipo de monômero usado e com a adição ou ausência de aditivos que são capazes de alterar sua propriedade, como por exemplo sua estabilidade química, sua resistência à combustão, sua capacidade acústica, entre outras propriedades (FUEST, 2007).

Conforme Ronald Fuest (2007) , quando trabalhamos com PU, podemos destacar cinco reações dos isocianatos:

1. polióis formando poliuretanos;
2. aminas dando poliuréias;
3. água originando poliuréia e liberando gás carbônico que é o principal agente de expansão nas espumas de PU;
4. grupos uretano;
5. uréia resultando na formação de ligações cruzadas alofanato e biureto.

glicóis ou ainda os politetrametilenos glicóis. podem ser modificados ainda com radicais livres de estireno e acrilonitrila obtendo-se polióis poliméricos;

- Poliésteres: são normalmente polióis obtidos de resíduos de resinas poliésteres de alto peso molecular à base de polietileno tereftalato (PET);
- Óleo de Mamona: líquido viscoso obtido da compressão das sementes da mamona. Ele é um triglicerídeo derivado do ácido ricinoleico normalmente de funcionalidade próximo de 2,7;
- Polibutadieno líquido hidroxilado: obtido pela polimerização do butadieno catalisada pelo peróxido de hidrogênio em meio alcoólico. Obtém-se um polioliol muito reativo, com excelente resistência a hidrólise e grande capacidade de aceitação de cargas que barateiam seu custo final.

ISOCIANATOS:

- TDI ($C_9H_6O_2N_2$) - 2,4 tolueno diisocianato ou 2,6 tolueno diisocianato. Podem ser usados puros ou misturados em vários percentuais diferentes;
- MDI ($C_{15}H_{10}O_2N_2$) - 4,4 difenilmetano diisocianato; 2,4 difenilmetano diisocianato ou 2,2 difenilmetano diisocianato;
- HDI ($C_8H_{12}O_2N_2$) - hexametileno diisocianato;
- IPDI ($C_{12}H_{18}O_2N_2$) - isoforona diisocianato;
- HMDI ($C_{15}H_{22}O_2N_2$) - 4,4 dicitclohexilmetano diisocianato;
- NDI ($C_{12}H_6O_2N_2$) - naftaleno 1,5 diisocianato;
- TPMTI ($C_{22}H_{13}O_3N_3$) - trifenilmetano 4,4,4 triisocianato;
- PDI ($C_8H_4O_2N_2$) - 1,4 fenilenodiiisocianato.

2.2.4. Reação para formação da espuma

Como já mencionado anteriormente, a espuma de PU pode ser obtida mediante a mistura de dois componentes: o polioliol e o isocianato. A sequência é mostrada na **Figura 8** com suas etapas (CANGEMI, 2006).

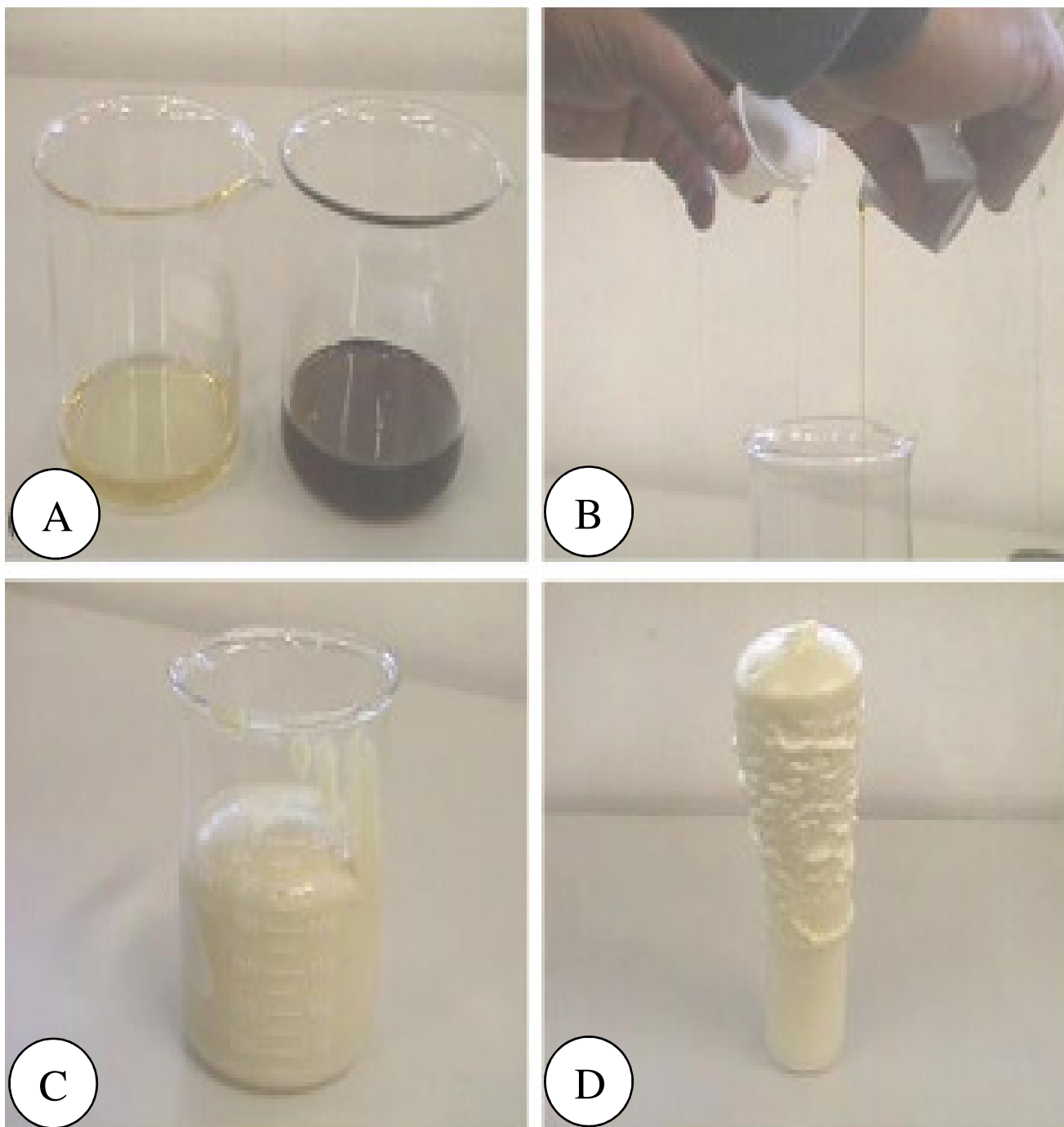


Figura 8 - Etapas da síntese de espuma de poliuretano: (a) poliol e pré-polímero; (b) durante a mistura; (c) início da formação da espuma; (d) espuma depois de pronta
Fonte: Cangemi (2006)

Conforme experimento demonstrado por Cangemi (2006). Em primeiro lugar deve-se realizar a mistura dos reagentes que estão cada um em seu recipiente em um único. Este pode ser um béquer ou até mesmo um container plástico, para fins de análise. Logo após a mistura dos dois componentes, ela começa a se expandir até formar a espuma.

Para se obter espumas de quaisquer cores, basta acrescentar corantes da cor desejada no polioli, para que quando este reaja, a espuma venha a apresentar a coloração pré determinada. (CANGEMI, 2006)

2.2.5. Meio Ambiente

Os produtos poliméricos possuem implicações ambientais em praticamente todas as etapas de vida do seu produto, que vai a partir do uso de matérias primas até a sua destinação final. Assim sendo, na manufatura e no processamento do poliuretano (PU) , o trabalhador deve ser protegido dos efeitos nocivos à saúde daquele que está em contato com o produto, principalmente no que diz respeito ao isocianato, cuja forma mais comum de exposição é por meio de inalação dos gases. Os vapores de isocianatos podem provocar irritação respiratória, sendo que caso ele seja exposto a elevadas concentrações podem levar a bronquites e até edemas pulmonares nos piores casos, devido a isso o uso de máscaras é essencial para aqueles que trabalham com tais produtos. Os efeitos tóxicos provocados pelos diversos tipos de isocianatos são semelhantes, sendo que as diferenças ficam por conta das pressões de vapor de cada um. Desta forma, o TDI, na temperatura ambiente, é mais tóxico do que o MDI, devido à sua maior pressão de vapor. Contudo, se o MDI for aquecido, atingindo a mesma pressão de vapor que o TDI, este se tornará igualmente tóxico (VILAR, 1999).

Como forma de garantir a segurança e a saúde do trabalhador que convive exposto a tais substâncias, no ano de 1963, a American Conference of Government Industrial Hygienists (ACGIH) estipulou que o valor limite de tolerância (TLV) para a maioria dos isocianatos não pode ser superior a 0,02 ppm para um período de oito horas de trabalho. Os mesmos limites são recomendados na legislação existentes na Europa, o que não impediu que países como os pertencentes ao Reino Unido vetassem a construção de novas plantas de produção de produtos de PUs (WOODS, 1982).

2.3. Qualidade

É comum ouvir falar sobre qualidade, termo comum que pode ser definido como o conjunto de atributos destinado a um bem ou serviço prestado que atenda de forma plena seu objetivo pelo qual foi solicitado, respeitando diversos critérios de funcionalidade, segurança, conforto, durabilidade, sendo de fácil manutenção, entre outros.

Embora conforme Bernardo Lins (2009), essa nossa de qualidade como adequação ao uso, apesar de clara e concisa, não explicita algumas particularidades das atividades de produção, comercialização e atendimento pós-venda de um produto (ou, guardadas as

proporções, de um serviço). De fato, são também associadas à qualidade outras características típicas da relação entre o fornecedor e o usuário, tais como a capacidade do fornecedor em se antecipar às necessidades do cliente, o seu tempo de resposta e o suporte oferecido.

Falando respectivamente a respeito de produto, sua qualidade é decorrente da qualidade do processo de produção em que ele está envolvido. Conforme Bernardo Lins (2009), para se obter um produto com qualidade, é necessário acompanhar o seu ciclo de vida, desde o projeto até o uso. Devem ser identificados àqueles atributos que irão determinar a qualidade do produto, de modo a projetá-lo para atender a tais atributos, produzi-lo dentro das especificações e acompanhar o seu uso, verificando se foi adequadamente projetado e corretamente produzido. Para isso são aplicadas ferramentas, tais como VOC (Voice of the Customer).

Desta forma, podemos garantir que a qualidade é o resultado de um grande esforço para o desenvolvimento do produto ou serviço, para que ele possa atender especificações próprias, conforme a necessidade de sua aplicação.

2.3.1. Engenharia de Qualidade

A engenharia da qualidade é o conjunto das técnicas e procedimentos para estabelecer critérios e medidas da qualidade de um produto, identificar produtos que não estejam conformes a tais critérios, evitando que cheguem ao mercado, e acompanhar o processo de produção, identificando e eliminando as causas que levaram a não-conformidades (LINS, 2009).

Portanto, o foco tradicional da engenharia da qualidade está em focar o controle, podendo ser através de inspeções de produtos, ou através do controle do processo. Já com a evolução da qualidade, a engenharia da qualidade obteve uma preocupação sobre as ações preventivas que possam garantir que a qualidade será alcançada, fazendo com que o controle que era o foco se tornou um apoio, quando for indispensável, em um contexto de gestão total da qualidade, estendida a todas as atividades da empresa (LINS, 2009).

2.3.2. Ferramentas da Qualidade

O gerenciamento da qualidade dos produtos e serviços estabelece um aumento da competitividade da empresa, com foco na melhoria de produto e processos visando satisfazer os clientes (INDEZEICHAK, 2005).

A evolução do controle da qualidade não só é permitido que a empresa reduza a frequência de erros, como também aumente o rendimento, a capacidade, o desempenho da

produção. Praticar um bom controle de qualidade é desenvolver, projetar, produzir e comercializar um produto de qualidade, mais útil e sempre satisfatório para o consumidor (ROSÁRIO, 2004).

As ferramentas da qualidade são métodos utilizados para a melhoria de processos e solução de problemas em qualidade. O uso dessas ferramentas tem como objetivo a clareza no trabalho e principalmente a tomada de decisão com base em fatos e dados, ao invés de opiniões. Os métodos estatísticos são ferramentas eficazes para a melhoria do processo produtivo e redução de seus defeitos. Entretanto, é preciso que se tenha em mente que as ferramentas estatísticas são apenas ferramentas elas podem não funcionar, caso sejam aplicadas inadequadamente (KUME,1993).

- **Folha de Verificação**

A folha de verificação é uma planilha para o registro de dados. O uso de uma folha de verificação torna a coleta de dados rápida e automática. Toda a folha de verificação deve ter espaço onde registrar local e data da coleta dos dados (VIEIRA, 1999).

Quando for preciso coletar dados, é essencial esclarecer sua finalidade e ter valores que reflitam claramente os fatos. Além dessas premissas, em situações reais é importante que os dados sejam coletados de maneira simples e num formulário fácil de usar. Uma folha de verificação é um formulário de papel no qual os itens a serem verificados já estão impressos, de modo que os dados possam ser coletados de forma fácil e concisa (KUME 1993).

Tabela 3 - Exemplo de folha de verificação

Lista de Verificação													
Data:													
Estágio de Verificação:							Seção:						
Produto:							Máquina:						
Total Inspeccionado:							Inspetor:						
Lote:							Turno:						
Especificação (peso)	Variação	Verificações											Frequencia
	menor que -0,03	X											
	-0,03	X											
	-0,02	X	X	X									
	-0,01	X	X	X	X	X	X	X					
5,20	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	0,01	X	X	X	X	X	X						
	0,02	X	X	X									
	0,03	X	X										
	maior que 0,03	X											
												TOTAL	

Fonte: AECweb (2018)

- **QFD – Desdobramento da Função Qualidade**

O QFD é uma ferramenta criada na década de 60. Ela tem por objetivo principal permitir que a equipe de desenvolvimento do produto incorpore as reais necessidades do cliente em seus projetos de melhoria. Sendo esse um processo sistemático que ajuda a identificar os desejos do consumidor, desdobrando-os por todas as funções e atividades da corporação, de maneira que não seja investido tempo e dinheiro em pontos menos significantes para o cliente final (SANTOS, 2014).

Conforme Marcus Vinicius Rodrigues (2004), os principais benefícios obtidos através da aplicação do QFD são:

- Foco no consumidor e concorrência;
- Registro das informações;
- Interpretações convergentes das especificações;

- Redução do tempo de lançamento e reparos após o lançamento;
- Seu formato visual ajuda a dar foco para a discussão da equipe de projeto;
- Aumenta o comprometimento dos membros da equipe com as decisões tomadas, pois é parte dela;
- Os membros da equipe desenvolvem uma compreensão comum sobre as decisões, suas razões e implicações.

- **Diagrama de Pareto**

O diagrama de Pareto é usado quando é preciso dar atenção aos problemas de uma maneira sistemática e quando se tem um grande número de problemas e recursos limitados para resolvê-los (RAMOS, 2000).

Os problemas de qualidade aparecem sob a forma de perdas (itens defeituosos e seus custos). É extremamente importante esclarecer a forma de distribuição das perdas. A maioria deles deve-se a alguns poucos tipos de defeitos, que podem ser atribuídos a uma pequena quantidade de causas. Assim, se as causas destes poucos defeitos vitais forem identificadas, poderemos eliminar quase todas as perdas concentrando-nos sobre estas causas principais, deixando de lado, numa abordagem preliminar, os outros defeitos que são muitos e triviais. Podemos resolver este tipo de problema de uma forma eficiente, através da utilização do diagrama de Pareto (KUME, 1993).

Segundo Ramos (2000), é necessário que seja identificado qual será o objetivo para construir o diagrama, ou seja, qual será o problema que busca solucionar. Para isso é necessário realizar a coleta de dados para termos uma base de dados para a análise. É crucial determinar o período em que será realizada a análise.

- **Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa)**

Segundo Ramos (2000), o diagrama de causa e efeito é uma figura composta de linhas e símbolos, ele também é muito conhecido como Diagrama Espinha de Peixe, devido ao seu formato, que representam uma relação significativa entre um efeito e suas possíveis causas. Este diagrama descreve situações complexas, que seriam muito difíceis de serem descritas e interpretadas somente por palavras. Existem, provavelmente, varias categorias de causas principais. Frequentemente, estas recaem sobre umas das seguintes categoria, conhecidas como 6Ms:

- Mão-de-obra;
- Máquinas;
- Métodos;
- Materiais;
- Meio Ambiente;
- Meio de Medição.

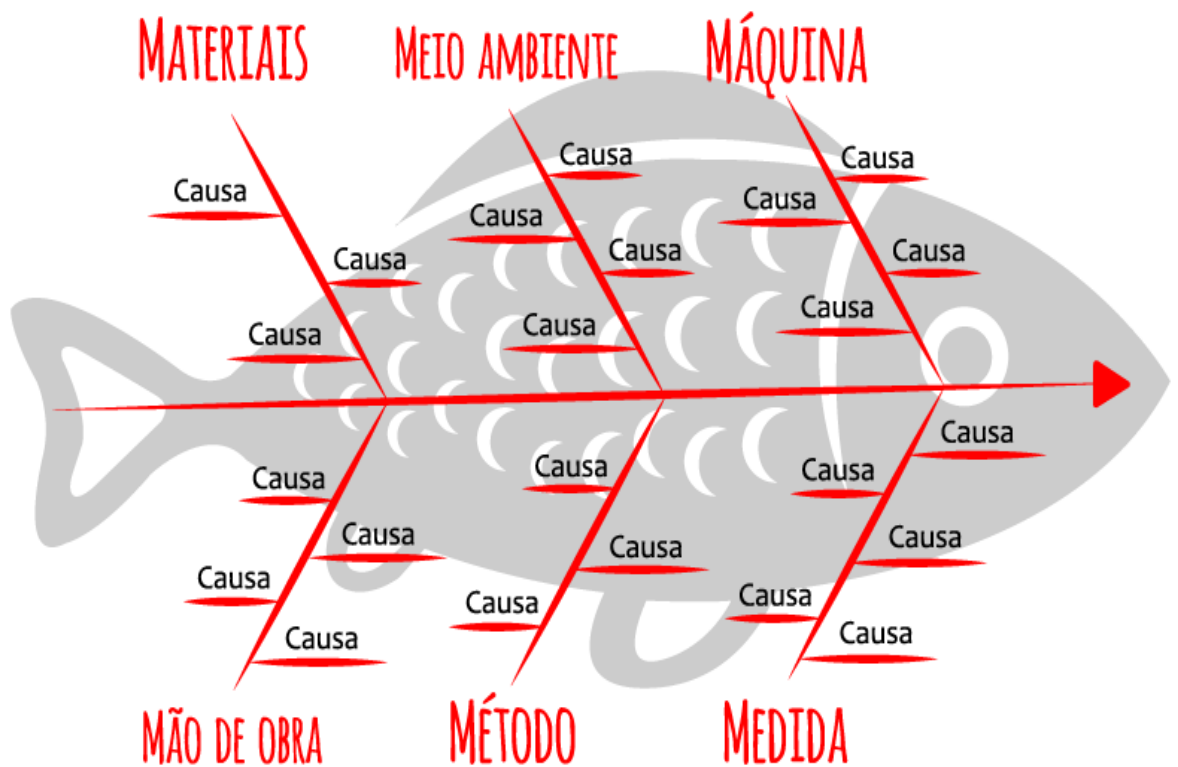


Figura 10 - Diagrama de Ishikawa
 Fonte: Ramos (2000)

O diagrama de causa efeito mostra a relação entre uma característica da qualidade e os fatores. O diagrama é usado atualmente não apenas para lidar com as características da qualidade do produto, mas também em outros campos (KUME, 1993).

- **Controle Estatístico de Processos (CEP)**

O Controle Estatístico de Processos (CEP) é uma abordagem muito utilizada na melhoria dos processos. Com esta ferramenta é possível promover, prevenção de defeitos, aumento da produtividade e ajuste desnecessário de um processo. (MONTGOMERY, 2004).

O CEP não é ferramenta que por si só implantada traga sucesso no sentido de garantir a qualidade dos produtos, mas sim uma ferramenta importante do sistema de gerenciamento da qualidade no sentido de manter e melhorar resultados (CABURON, 2006).

- **5W2H (Plano de Ação)**

Conforme Werkema (1995), a planilha 5W2H ou 4Q1POC é uma ferramenta que auxilia no planejamento das ações que for desenvolver, ele é constituído de um relatório por colunas, cada uma delas acompanhadas por um título, palavras da língua inglesa:

Why – Por que esta tarefa é necessária?

What – Quais são as contramedidas para eliminar o problema?

How – Qual é o método de execução desta tarefa?

Where – Onde será executada a tarefa?

When – Quando será executada a tarefa? Prazo máximo.

Who – Quem é o responsável pela execução da tarefa?

How much – Quanto custa? Quais os recursos necessários?

A técnica utilizada consiste em descrever o problema, definindo como ele afeta o processo, as pessoas e as consequências posteriores a estas situações. Durante a execução do Plano de Ação permite a você saber todos os detalhes de quem é quem, porque está fazendo e o que está fazendo (WERKEMA, 1995).

- **Fluxogramas**

A utilização de fluxogramas permite identificar possíveis causas e origens dos problemas que ocorrem nas linhas de processo de fabricação, verificando os passos desnecessários no processo, efetuando simplificações. Grande parte da variação existente em um processo pode ser eliminada somente quando se conhece o processo de fabricação. Isto significa que a sequência de produção, ou etapas, influencia na variabilidade final das características do produto (RAMOS, 2000).

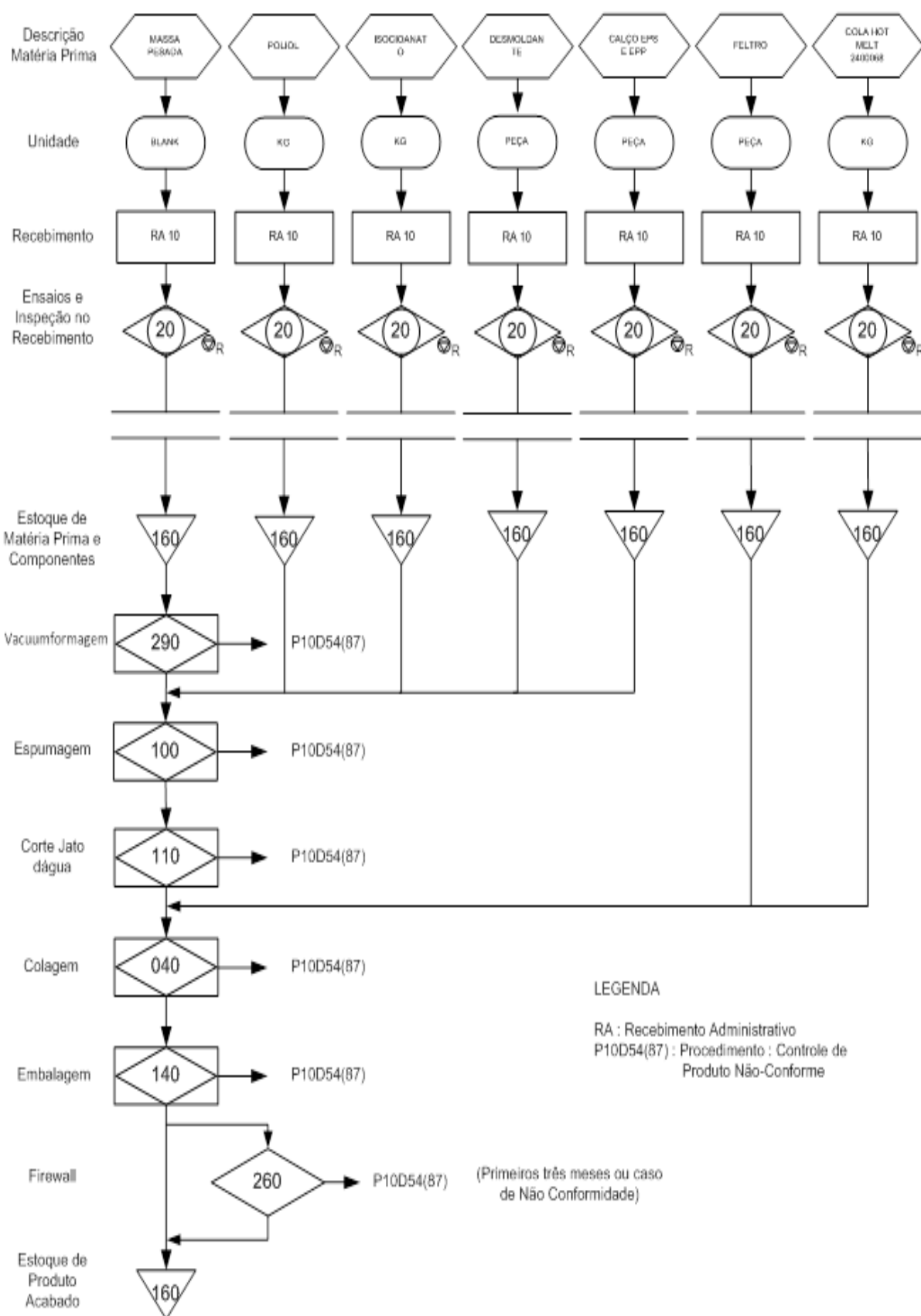


Figura 11 - Exemplo de fluxograma
Fonte: Trêves Group (2018)

- **FMEA**

A Análise de Modos de Falhas e Efeitos, o FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), é um método utilizado para prevenir as falhas com antecedência e analisar os riscos de produto ou processo, realizando a identificação de causas e efeitos para identificar ações que deverão ser tomadas para que elas não aconteçam (RODRIGUES, 2004).

O modo de falha está relacionado que um processo pode apresentar três elementos que estão sujeitos a apresentar falhas:

- **Efeito:** é a consequência que a falha pode causar ao cliente;
- **Causa:** é o que indica a razão da falha ter ocorrido;
- **Detecção:** é a forma ao qual seu processo utiliza para controlar que as falhas ocorram.

Tabela 4 - Escala/pesos para os itens: Ocorrência de Causa (O) e Gravidade do Efeito (G)

Nunca	Raramente	Muito baixa	Baixa	Moderada para baixa	Moderada	Moderada para alta	Alta	Muito alta	Sempre
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Fonte: Rodrigues (2004)

Tabela 5 - Escala/pesos para o item: Detecção de Falha (D)

Nunca	Raramente	Muito baixa	Baixa	Moderada para baixa	Moderada	Moderada para alta	Alta	Muito alta	Sempre
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Fonte: Rodrigues (2004)

Existem dois tipos principais de FMEAs, embora que atualmente sua aplicação é utilizada até para outras atividades, como manutenção:

- **FMEA de produto:** Relacionado às falhas que poderão ocorrer com o produto tendo como base as especificações do mesmo. Denominado normalmente como DFMEA;
- **FMEA de Processo:** é referente às falhas que poderão existir nas diferentes etapas de fabricação do produto, tendo como base as especificações de qualidade e que durante processo de fabricação poderá apresentar uma não conformidade. Denominado normalmente como PFMEA.

Conforme Rodrigues (2004), a aplicação do FMEA pode ser:

- Tendo como objetivo diminuir a probabilidade de ocorrência de falhas em projetos novos, para os produtos e processo;
- Relacionado as falhas que ainda não ocorreram, ou seja, diminuir a probabilidade de falhas potenciais em produtos e processos;
- Através da análise de falhas que já ocorreram em seu processo, você poderá aumentar a confiabilidade de seu produto e de seu processo;
- Para melhorar a qualidade em procedimentos e diminuir os riscos para que os erros ocorram.

Segundo Rodrigues (2004), para a elaboração do FMEA de maneira adequada, é necessário seguir as seguintes etapas:

- Definir o processo ou produto que será analisado;
- Definir a equipe que fará parte da elaboração do FMEA, ressaltando a importância da equipe multidisciplinar;
- Definir a não conformidade, o modo de falha;
- Identificar seus efeitos;
- Identificar suas causas principais e suas secundárias;
- Priorizar as falhas através do nível de risco;
- Atuar diretamente nas ações preventivas para que a falha não ocorra, através da detecção;
- Definir responsável e prazo para as ações preventivas.

Segundo Rodrigues (2004), você deverá criar ações corretivas priorizando as de maior índice de risco.

Tabela 6 - Modelo de FMEA

Processo ou ação	Efeito da falha	G	Causa básica da falha	O	Meio de detecção	D	Índice de Risco (GxOxD)
Tomar banho	Demora no banho	9	Pequeno fluxo de água no banheiro	7	Verificar sistema de bombeamento de água	5	315
		9		7	Inspeção do sistema de água	4	252
		9		7	Planejar a utilização de água através de escala	1	63
		9	Chuveiro sem pressão	6	Inspeção dos tipos de componentes utilizados no sistema	3	162

Fonte: Rodrigues (2004)

- **PDCA**

A O ciclo PDCA é uma ferramenta de melhoria contínua, ou seja, quando é identificado um problema ou uma oportunidade de melhoria, as etapas são realizadas através de um processo contínuo, dividindo-as em 4 etapas, são elas:

Etapa 1 - Planejar: nesta etapa são apontadas as metas, os problemas, as oportunidades de melhoria e como resolvê-los;

Etapa 2 - Fazer: com os dados obtidos anteriormente, a resolução dos problemas e/ou as oportunidades de melhoria devem, de forma experimental, serem resolvidos e os resultados anotados;

Etapa 3 - Verificar: baseado nos resultados experimentais da segunda etapa deve-se avaliar se as metas foram atingidas, e o planejamento definido na primeira etapa deve ser reavaliado;

Etapa 4 - Agir: nesta fase, o que foi planejado é implantado, passando a fazer parte normal dos processos; sendo o ciclo reiniciado tomando-se como base o que foi realizado (CORRÊA, 2005).

Esta ferramenta é utilizada para a busca da melhoria contínua, procurando formas mais abrangentes e aceitáveis para a melhoria, a parte mais importante é quando acontece a conclusão de sua aplicação, uma vez que o ciclo recomeça novamente (SOKOVIC, 2010).

- **Histograma**

Os histogramas foram apresentados pela primeira vez como ferramenta por André Michel Guerry no ano de 1883, onde esse utilizou o histograma para descrever as suas informações e análises estatísticas relativas a índice de crimes (SANTOS, 2014).

O histograma é um gráfico de barras que utiliza as variações de dados de uma determinada pesquisa ou processo, dividindo e mostrando a distribuição dos mesmos por categorias, evidenciando mais clara e precisamente a informação real da atual condição da variável em um determinado instante (SANTOS, 2014).

O histograma fornece informações, com a finalidade de obter uma fácil visualização da distribuição do conjunto de dados, a fim de facilitar também na percepção da localização do valor central e da dispersão dos dados em torno desta variável. Conceitualmente, os histogramas permitem a comparação entre limites especificados, procurando avaliar se os processos estão centrados no valor nominal, avaliação à necessidade de adotar possíveis medidas para a redução da variabilidade do processo. (WERKEMA,1995).

A preocupação com a variabilidade tem sido hoje o principal motivo das empresas buscarem cada vez mais a utilização de ferramentas relacionadas à qualidade. Empresas que buscam qualidade devem obrigatoriamente buscar a redução da variabilidade.

O Histograma é representado por um desenho gráfico, onde é evidenciada uma frequência de medições.

2.4. Seis Sigma

No ano de 1997, o presidente da General Electric Company, John Ewlich, anunciou o maior faturamento nos 105 anos de história da empresa e um lucro fenomenal, houve uma grande surpresa. Não pelos números, mas por creditar parte dos resultados ao programa de qualidade adotado dois anos antes por eles, pelo qual eles acabaram o denominando de Seis Sigma.

O estudo do seis sigma foi desenvolvido pela Motorola, na década de mil novecentos e oitenta, com o objetivo de reduzir a taxa de falhas em seus produtos eletrônicos manufaturados. Este estudo foi elaborado com o severo desafio do desempenho livre de defeitos, e tinha como principais objetivos o aprimoramento da confiabilidade do produto final e a redução de sucata. A origem do padrão Seis Sigma está num trabalho de benchmarking conduzido pela Motorola. Foram associados os dados internos de sua experiência de pedidos, pagamento de fatura e ordens de pagamento a outras estatísticas vinculadas ao dia-a-dia nos Estados Unidos, como a precisão de contas de restaurante, perda de bagagem aérea e prescrição de medicamentos. Também foram pesquisadas empresas conhecidas como tendo alta qualidade e níveis elevados de satisfação do cliente (conhecidas como as melhores da classe) e comparadas com empresas médias.

Os dados das empresas de desempenho médio foram desenhados num gráfico e o seu nível de falha associado a um nível Sigma. As empresas médias tinham taxas de falhas numa faixa de 3.000 a 10.000 por milhão de passos ou procedimentos, o que é equivalente a um nível Sigma de 3 a 4. Os resultados das melhores empresas, consideradas melhores da classe, foram próximos a 3,4 falhas por milhão, que é equivalente ao nível de Seis Sigma. A partir desta constatação, a Motorola estabeleceu como meta de qualidade a obtenção do Seis Sigma em 1993. Porém, o Seis Sigma ficou popular devido a atuação da General Electric. Em 1995 cada operação da GE, desde cartão de crédito, turbinas para aviões, até a rede de TV NBC trabalharam para obter o desempenho Seis Sigma. Só em 1999, a GE economizou mais de US\$ 1,5 bilhão por causa do Programa.

Assim que comentamos em Seis Sigma, indicamos a redução na variação do resultado entregue aos clientes a uma taxa de 3,4 falhas por milhão ou 99,99966% de perfeição.

Em decorrência da constatação do Seis sigma os resultados financeiros são consequências dos resultados no processo pelo estudado no Seis Sigma. É Estimado que a média das indústrias americanas opere em um nível de qualidade de 3 a 4 sigma, que com isso custa em torno de 10% a 15% de seu faturamento em desperdícios como inspeções, retrabalho, sucata, desgaste da imagem e perda de clientes. Quando trabalhamos com Seis Sigma estes custos são eliminados.

Mesmo as ferramentas usadas não sejam novas, o estudo do Seis Sigma acrescenta considerável valor a elas, desenvolvendo um vocabulário de métricas e ferramentas e uniformizado toda a organização. Ao formalizar o uso de ferramentas estatísticas, consegue evitar o emprego isolado e individual em um caminho desconectado, melhorando a necessidade de entender e reduzir variações, em vez de somente estimá-las. Seis sigma exige

que muitas coisas estejam quantificadas, mesmo sendo intangíveis, como a percepção do cliente. Dessa maneira, mostra um estudo de gerenciamento baseado em dados, e não apenas sentimentos ou intuição.

Os analistas norte americanos estimam que nas indústrias de transformação que não estiverem com um nível de qualidade Seis Sigma estarão sem capacidade competitiva. Trabalhar com Seis Sigma significa trabalhar em classe mundial. O impacto do sistema nas empresas continua se traduzindo em montanhas de dinheiro.

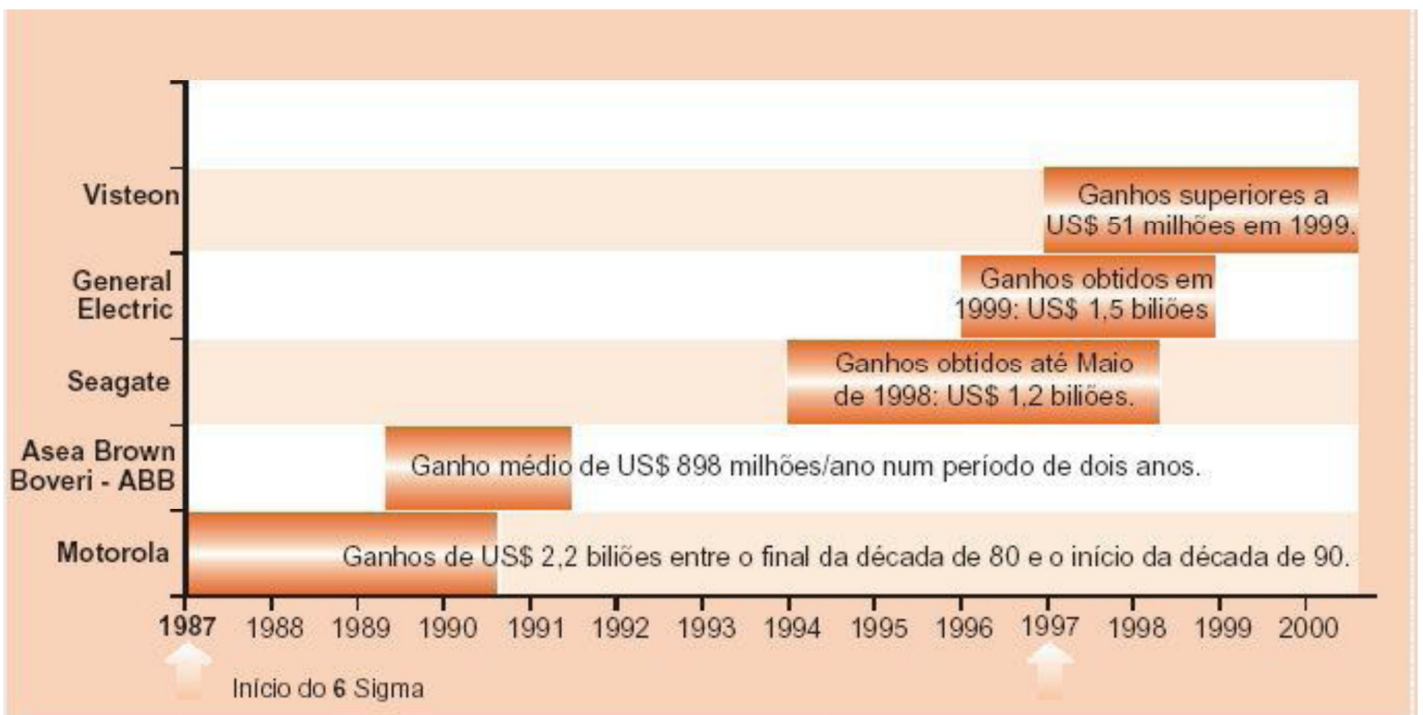


Figura 12 - Primeiras empresas que tiveram sucesso
Fonte: ABEPRO. Associação Brasileira de Engenharia de Produção. (2008)

A base do Seis Sigma são uma série de filosofias, ferramentas e técnicas que coordenadas adequadamente conseguem obter de forma rápida e eficiente uma série de benefícios para as corporações, bem como: aumento expressivo dos lucros, elevação da satisfação dos clientes, maior envolvimento da equipe e diminuição da variação dos processos. Essas são razões muito concretas que levaram inúmeras empresas em todo o mundo a implementar o Seis Sigma. Vejamos algumas delas:

A Allied Signal, gigante indústria do ramo automotivo e aeroespacial que mais tarde se tornou Honeywell que tinha um faturamento superior a US\$ 14 bilhões e estava há alguns anos à beira da falência, iniciou em 1994 a implementação do Seis Sigma e, de lá para cá, reduziu seus custos diretos em US\$ 2 bilhões e teve um crescimento, em 1998, de 12%..

Uma única planta da Asea Brown Boveri (ABB), nos Estados Unidos, em um único processo gerou uma economia de cerca de US\$ 770 mil por ano com a aplicação do Seis Sigma.

Na Motorola foi estimado que em pouco mais de 10 anos, conseguiu economizar mais de US\$ 11 bilhões.

Na maioria das empresas brasileiras opera num nível de qualidade próximo a três sigma revelado na pesquisa. Isso representa um enorme custo, de 25 a 40% do seu faturamento bruto. Somente fazendo uma rápida comparação: no nível seis sigma, o custo da qualidade não chega a 1% das vendas. Quando a General Electric conseguiu reduzir seu custo de 20% para menos de 10% e aumentou seu nível total de qualidade de quatro para cinco sigma, sua receita líquida cresceu US\$ 1 bilhão em apenas 24 meses.

2.4.1. A estrutura do Seis Sigma

Descrevendo tecnicamente o Seis Sigma é um dos elementos do processo do Gerenciamento pela Qualidade Total, TQM. A utilização do Seis Sigma é uma forma muito mais quantitativa de medir os esforços de Qualidade e efetivar a comunicação deste progresso para clientes, funcionários, fornecedores e acionistas.

O Seis Sigma é dividido em quatro fases: medir, analisar, aprimorar e controlar, sendo utilizado as ferramentas estatísticas em um ciclo único e dinâmico, com isso irá permitir a melhoria do processo em pontos que agregam valor.

O custo, para algumas empresas, de fornecer um produto de qualidade pode chegar a 40% de seu preço de venda. Por exemplo, uma máquina de lavar que você compra por R\$ 600,00 pode custar ao fabricante R\$ 240,00 em retrabalhos, somente para ele ter certeza de que você está levando para casa um produto de qualidade mediana.

A principal meta do Seis Sigma é chegar muito próximo de zero defeito, erro ou falha. Quanto maior o nível sigma, menor será a possibilidade de defeitos em um processo, produto ou serviço. Como exemplo os aviões têm um nível de qualidade superior a seis sigma, com menos de 1,5 falha por milhão de oportunidades. Mas, em operações com bagagens de passageiros têm um nível entre 6.000 e 23.000 extravios por milhão, ou 3,5 a 4 sigmas. Esse valor, aliás, é típico das operações de serviço como, por exemplo, o cálculo de contas em restaurantes, a efetivação de transações bancárias e o preenchimento de receitas médicas. Quando produtos e serviços são produzidos com nível seis sigma, pode-se ter 99,99966 % de certeza de que neles não ocorrerá falhas, e que provavelmente se refletirá no resultado

financeiro da empresa. A seguir, na **Figura 13** demonstra os principais benefícios de se alcançar níveis sigma mais alto.

Nível da qualidade	Defeitos por milhão (ppm)	Factor Percentual	Custo de qualidade
2 sigma	308.537	69,15	Não se aplica
3 sigma	66.807	93,32	25 a 40%
4 sigma	6.210	99,3790	15 a 25%
5 sigma	233	99,97670	5 a 15%
6 sigma	3,4	99,999660	< 1%

Figura 13 - Tradução do nível da qualidade para a linguagem financeira
Fonte: AEDB–Associação Educacional Dom Bosco. (2013)

Mesmo com este histórico de sucesso, existem outros exemplos de empresas que ainda estão com dificuldade de alcançar estes retornos tão significativos, sendo que muitas vezes estas desistem de continuar seguindo este caminho que antes se mostrava tão promissor.

As principais causas de sucesso do estudo do Seis Sigma em uma empresa são: cultura da empresa, conhecimento e comprometimento da alta administração sobre o programa, seleção das pessoas certas para treinamento.

Sem dúvida o comprometimento da alta administração é um dos principais fatores que determinam o sucesso da organização, pois a implementação do Seis Sigma exige uma mudança de postura de todos os membros da organização, sendo assim, é natural que as pessoas tenham receio das mudanças que são causadas quando o Seis Sigma é adotado e que criem uma resistência que pode ser difícil de ser vencida sem o apoio da liderança da empresa. Também é primordial considerar que os primeiros resultados com projetos Seis Sigma deverão ser colhidos aproximadamente seis meses após a finalização dos primeiros treinamentos, como consequência, caso não haja uma diretriz muito clara da alta administração, é possível que os Belts tenham seu foco deslocado dos projetos e desloquem seus esforços para o gerenciamento de sua rotina diária. Isto reduzirá significativamente a

possibilidade de sucesso das primeiras iniciativas do programa motivando descrédito na empresa por parte de seus colaboradores.

A implantação do Seis Sigma deve ser considerada como um meio para que as metas da empresa sejam alcançadas e não como um objetivo. Assim, é muito importante que todos os projetos executados tenham resultados significativos e estejam ligados diretamente com os objetivos da empresa. Este cuidado precisa ser tomado, pois no início do programa várias oportunidades são levantadas e existe uma tendência natural de que muitos projetos sejam iniciados sem que haja o cuidado necessário na definição deles. Neste momento é necessário considerar que mais importante que o número de projetos iniciados é o quanto cada um deste pode contribuir para organização.

A aplicação da metodologia Seis Sigma é possível aos mais variados tipos de negócio, porém a cultura da empresa pode definir claramente se haverá facilidade na implantação do sistema. O fato que empresas que tiveram a implantação bem sucedida de programas de qualidade (TQM, ISO 9000, TPM,5S) tem maior probabilidade de alcançar resultados financeiros mais significativos, isto não é uma regra, porém é facilmente notado pelos especialistas no assunto. O fato que empresas já terem implantado algum tipo de iniciativa de qualidade já possuem, portanto em sua cultura a motivação para trabalhar em equipe, para reduzir perdas e também já existe um histórico de dados do processo confiável para análise do problema e tomada de decisão. Permite que as mudanças no ambiente organizacional sejam menores e diminui a resistência das pessoas promovendo resultados com maior rapidez.

Conforme Antônio Maximiano (2005), a empresa deve analisar qual é a ambição de sua estrutura para atingir um nível de excelência sigma. Vamos levar como exemplo uma empresa de toalhas de banho, que tem como objetivo vender toalhas para que as pessoas se sequem após o banho. A pessoa que compra analisa a cor da toalha que deseja, não se atentando em grande maioria caso haja uma falha na costura. Porém vamos levar em consideração um comprador de um carro de luxo, uma falha na costura do estofado pode ser de grande desgosto do consumidor, fazendo com que o mesmo possa não levar o produto embora.

2.4.2. Investimentos iniciais

São necessários altos investimentos do momento em que a empresa inicia a implantação do Seis Sigma, pois no início é fundamental ter o suporte de consultorias especializadas no assunto e preparar o pessoal interno por meio de treinamentos que demandam várias horas de disponibilidade de pessoal técnico e que via de regra são muito

importante para o dia-a-dia da empresa. Hoje existem várias consultorias que podem auxiliar neste assunto, porém as decisões estratégicas de implantação devem ser bem avaliadas e bem definidas pela empresa que está implantando o sistema, pois isto irá definir o custo inicial do programa e qual o tempo necessário para que o retorno do investimento (payback).

Ao iniciar o programa com o investimento de muitos recursos com a intenção de mobilizar as pessoas por meio do treinamento pode provocar um adiamento no retorno do investimento e provocar frustrações que desta forma irão abalar por um bom tempo a confiança da organização no sistema. Mas, quando o programa tem seu início de forma modesta selecionando as pessoas certas para os primeiros cursos de nível mais básico como Green Belt, os erros na seleção de pessoas que participaram ativamente do programa como belts é menor e evita perda financeira e conseqüentemente evita transtornos futuros. É necessário um planejamento adequado para não causar decepções a cada empresa porque cada Empresa possui sua dinâmica e, portanto deve ser de acordo com suas características.

2.4.3. Incentivo dos funcionários

A informação aos funcionários deve ser de forma clara e objetiva sobre o que será abordado no Seis Sigma, pois somente assim haverá mudança na forma de pensar e agir no seu ambiente de trabalho.

Da mesma forma deve existir um plano de recompensa e reconhecimento definido e que normalmente são entregues em dinheiro e vinculado ao resultado financeiro do projeto e quanto o projeto se adequou as fazes exigidas na metodologia. Existe esta necessidade para que as pessoas mudem sua forma de pensar e cada vez mais suas atividades nos projetos se torne adequado ao formato Seis Sigma. Já o reconhecimento normalmente é dado pela exposição dos membros do projeto para a alta administração da empresa, pois a cada projeto finalizado os membros da equipe irão demonstrar para a liderança da empresa qual a sua parcela de importância no resultado alcançado pela empresa.

2.4.4. O modelo DMAIC

A aplicação desta metodologia Seis Sigma, são divididas nestas cinco fases com as letras iniciais D-M-A-I-C:

D – DEFINE (DEFINIR):

Nesta fase deve ser identificado qual processo (Y) do negócio será melhorado para atender a uma Característica Crítica para o Cliente (CTQ) aumentando a sua satisfação. Uma

vez identificado o processo a ser melhorado diz-se que está identificado um Projeto Seis Sigma. Deve ser verificada a viabilidade econômica do projeto e fazer uma previsão dos benefícios (financeiros inclusive) que podem ser alcançados.

Esta fase costuma ser simples de se aplicar na manufatura, onde os processos que geram produtos defeituosos e que, portanto, devem ser melhorados estão bastante claros (por exemplo: diminuir erros de montagem de uma peça, diminuir reparos e retrabalhos, diminuir o ciclo de tempo para executar uma tarefa, etc.).

Já nos casos das áreas comerciais muitas vezes não é fácil identificar quais processos têm impacto sobre a satisfação do cliente (além disso, as pessoas não têm o costume de enxergar suas atividades como um processo). Exemplos de processos que geram impacto sobre a satisfação dos clientes nas áreas comerciais são: diminuir número de erros na emissão de ordens de compras ou na emissão de notas fiscais, diminuir o tempo para importar um produto, diminuir o tempo para atender a uma chamada de um cliente, diminuir o tempo para entregar um item solicitado por um cliente, etc.

As ferramentas mais utilizadas nesta fase são:

- ✓ Técnicas de pesquisa com clientes;
- ✓ Benchmarking;
- ✓ Análise custo-benefício;
- ✓ QFD;
- ✓ Mapa do Processo (Macro);
- ✓ Gráfico de Pareto;
- ✓ Brainstorm;
- ✓ Diagrama de causa efeito;
- ✓ Carta de controle;
- ✓ Histograma.

M – MEASURE (MEDIR):

Nesta fase deve-se fazer um levantamento geral de todas as entradas do processo (X's) e como se relacionam com os CTQ's (características críticas para a qualidade) do cliente. O processo deve ser mapeado. Deve-se medir a habilidade do processo em produzir itens não defeituosos. Em outras palavras, mede-se a capacidade do processo, expressa por seu valor σ (sigma). Nesta fase as principais ferramentas utilizadas são:

- ✓ Mapa do processo (detalhado);
- ✓ Espinha de peixe ou Diagrama de Ishikawa;

- ✓ Matriz de Causa & Efeito;
- ✓ Gráfico de Pareto;
- ✓ Análise do sistema de medição;
- ✓ Cálculo da capacidade;
- ✓ Cronoanálise
- ✓ Folha de verificação;
- ✓ Estatística básica.

A – ANALYZE (ANALISAR):

Nesta fase deve-se procurar pelas fontes de variação (X's) que aumentam a variabilidade do processo e que são responsáveis pela geração de defeitos. As principais ferramentas utilizadas são:

- ✓ Estatística básica;
- ✓ Análise gráfica dos dados;
- ✓ Teste de hipótese;
- ✓ Teste de quiquadrado;
- ✓ Análise de Regressão;
- ✓ Fluxograma;
- ✓ FMEA.

I - IMPROVE (MELHORAR):

Nesta fase toma-se ação sobre o processo para melhorá-lo com base nas fontes de variação (X's) identificadas na fase de Análise (A). Ao final desta fase deve-se calcular a nova capacidade sigma do processo (σ) para comprovar que houve uma melhoria significativa.

As principais ferramentas utilizadas são:

- ✓ FMEA;
- ✓ Delineamento de experimentos;
- ✓ EVOP;
- ✓ Brainstorm;
- ✓ 5W2H;
- ✓ Análise de Regressão.

C - CONTROL (CONTROLAR):

Nesta última etapa devem-se empregar métodos para monitorar as fontes de variação (X's) identificadas para manter a capacidade melhorada adquirida. Deve-se passar a responsabilidade pelo monitoramento do processo para os donos do processo. Uma confirmação dos benefícios alcançados deve ser feita. As principais ferramentas utilizadas nessa fase são:

- ✓ Cartas de controle;
- ✓ Dispositivos à prova de erros (Poka-yoke);
- ✓ Planos de controle;
- ✓ Gráfico de Pareto;
- ✓ Histograma;
- ✓ Procedimentos.

2.4.5. Composição do Seis Sigma

A grande maioria dos benefícios do Seis Sigma reside exatamente na sua metodologia de implementação e no uso correto e sábio das ferramentas e técnicas estatísticas que devem ser utilizadas. Simplificações na aplicação da metodologia como a redução do número de pessoas treinadas e envolvidas no processo, podem acarretar resultados decepcionantes, muito aquém do desempenho que o Seis Sigma pode efetivamente propiciar. Todo negócio que aplica a metodologia Seis Sigma possui dentro da organização alguns elementos básicos:

LÍDER

Normalmente a mais alta posição dentro de um negócio. Deve ser o maior entusiasta da iniciativa Seis Sigma e o primeiro a exigir sua aplicação por todas as pessoas da companhia. Dele deve partir a iniciativa da implementação do Seis Sigma no negócio, do contrário as chances de fracasso são altas.

Ao longo do período de implementação do Seis Sigma deve fazer análises críticas periódicas para avaliar a eficácia da metodologia.

CHAMPIONS (FRENTE GERENCIAL)

Os Champions devem ser capazes de pavimentar o caminho para as mudanças necessárias e para a integração de resultados. São os Champions que definem as pessoas (ou a pessoa, dependendo do porte da organização) que irão disseminar os conhecimentos sobre o Seis Sigma por toda a empresa, e irão coordenar uma determinada quantidade de projetos.

MASTER BLACK-BELT (FRENTE TÉCNICA)

É um profundo conhecedor da metodologia e das ferramentas Seis Sigma. Normalmente é o responsável pelo treinamento dos Green-Belts na metodologia Seis Sigma. Atua como um gerente de projetos Seis Sigma. Deve cuidar para que os projetos sejam terminados com sucesso em um período de 4 a 6 meses.

Juntamente com os patrocinadores responde para o Líder do Negócio pela implementação do Seis Sigma.

BLACK-BELT

Assim como o Green-Belt é uma pessoa treinada na metodologia e ferramentas Seis Sigma. Diferente do Green-Belt, o Black-Belt dedica 100% do seu tempo ao desenvolvimento de projetos Seis Sigma. Os Black Belts conduzem nas empresas de 4 a 6 projetos por ano que podem gerar melhorias de US\$ 75 mil a US\$ 175 mil por projeto, em termos de redução de custos, melhoria dos tempos de ciclo do produto ou serviço, eliminação de defeitos e incremento significativo da satisfação do cliente.

GREEN-BELT

Pessoa treinada dentro da metodologia Seis Sigma e que é o líder da equipe durante a implementação de um projeto. Normalmente deve pertencer à área que é a maior beneficiada pelo projeto. A partir do momento que se inicia um projeto, o Green-Belt deve dedicar de 20 a 30% do seu tempo para a conclusão do projeto.

MEMBROS DA EQUIPE SEIS SIGMA

Indivíduos conhecedores do processo para o qual se está desenvolvendo um projeto e que devem auxiliar o Green-Belt no desenvolvimento do projeto desde a coleta dos dados até a implementação das melhorias.

PATROCINADOR

Elemento fundamental em uma equipe Seis Sigma. Normalmente é o responsável pela área que é a maior beneficiada por um projeto. Não participa da equipe 100% do tempo, mas deve fazer revisões periódicas ao final de cada etapa e deve providenciar os recursos financeiros, tempo, ajuda de outros departamentos necessários para os demais membros de a equipe desenvolver o projeto.

Existe durante o período de desenvolvimento do projeto e é constituída de 5 a 7 elementos que são conhecedores profundos do processo que se quer melhorar. Os membros de uma equipe podem ser fixos durante todo o projeto ou pode haver elementos que participam por períodos curtos apenas quando se faz necessária a sua presença.

A **Tabela 7** mostra as características básicas dos principais personagens da estratégia Seis Sigma.

Tabela 7- Principais personagens da estratégia Seis Sigma

	CHAMPIONS	BLACK BELTS	GREEN BELTS
QUALIFICAÇÕES	Diretores e Gerentes Familiaridade com Estatística	Formação superior. Sólidos conhecimentos de Estatística	Experiência técnica e administrativa. Familiaridade com ferramentas estatísticas básicas
TREINAMENTO	Três dias de Treinamento. (30 horas)	Quatro meses de treinamento. (200 horas + projeto)	Dois meses de treinamento. (100 horas + projeto)
NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS TREINADOS	Um Champion por área-chave da empresa	Um Master Black Belt para cada 30 Black Belts (em grandes empresas)	Um Green Belt para cada 20 funcionários

Fonte: Souza (2009)

2.4.6. Lean Manufacturing ou Produção Enxuta

O Lean Manufacturing ou Produção Enxuta é um termo criado por James Womack, Daniel Jones e Daniel Roos para nomear a filosofia de negócios que tem como objetivo reduzir o tempo de lead time, ou seja, entre uma solicitação do cliente até a entrega do produto acabado, de forma que possa eliminar os desperdícios oriundos de um processo, fundamentada sobre a qualidade e a flexibilidade de todo um processo com o

comprometimento de todos os envolvidos, maximizando a capacidade produtiva e possibilitando um valor final mais competitivo no mercado globalizado. (LOPES, 2009)

De acordo com Maximiano (2005), essa filosofia surgiu através do Sistema Toyota de Produção, quando as três grandes montadoras Americanas (GM, Ford e Chrysler) entraram em crise na década de 80 e precisaram rever as práticas que estavam aplicando naquele momento, com isso acabaram colocando um fim ao modelo de produção em massa.

Devido a origem do Lean Manufacturing ser do setor automobilístico, ela obteve uma grande aceitação nas empresas do mesmo seguimento, onde posteriormente devido aos resultados obtidos através de suas técnicas se tornou sinônimo de eficiência em todos os setores da indústria. Para que ela obtenha seus resultados de maneira mais ampla em sua aplicação, é necessário o comprometimento de toda a equipe e aderir à mudança cultural proposta por ela. (LOPES, 2009)

Segundo Slack (1997), O Lean apresenta diversas ferramentas que auxiliam a reduzir tempo e a evitar os desperdícios, tais como:

- ✓ 5S;
- ✓ Fluxo Contínuo;
- ✓ TPM;
- ✓ Trabalho Padrão;
- ✓ Sistema Puxado;
- ✓ Kaizen;
- ✓ Poka Yoke
- ✓ Redução de Setup.

2.4.7. Sistema Toyota de Produção

Quando falamos sobre Lean Manufacturing, facilmente nos lembramos do Sistema Toyota de Produção, que foi desenvolvido pela Toyota após a década de 50, onde o atual presidente da Toyota pretendia em até três anos superar as empresas da América, porém não poderiam seguir o modelo de produção em massa devido à escassez de recursos que o país enfrentava após a Segunda Guerra Mundial. Então Eiji Toyoda e Taiichi Ohno utilizando os fundamentos de Deming, elaboraram o conjunto de técnicas de manufatura que se tornaria o Sistema Toyota de Produção. (MAXIMIANO, 2005)

Segundo Maximiano (2005), a filosofia do Sistema Toyota de Produção é um contraste do que estava presente na época, o Sistema Ford de Produção. Enquanto uma segue o modelo de produção enxuta, a outra segue um modelo de produção em massa, onde a

produção deveria dar o seu máximo para produzir, ficando a cargo do departamento de vendas conseguir encontrar um destino no mercado.

Segundo Taiichi Ohno (1978), essa filosofia tem como objetivo evitar os desperdícios, de forma que aumente a capacidade produtiva e obtenha redução de custo, para isso existem dois grandes fatores básicos para a melhor eficiência em seu processo organizacional:

- **Autonomação (Jidoka):** É a automação inteligente, uma automação que ainda dependa do homem para ser realizada, onde a máquina para quando detecta uma anormalidade, devendo os operadores corrigir essa condição imediatamente e em seguida investigar a causa raiz.
- **Just in time:** É um sistema de administração da produção onde se determina que só após termos um produto vendido que devemos dar início ao processo de compra de matéria-prima e fabricação do produto. De maneira que mantenhamos sempre o estoque mínimo possível. Este sistema está ligado ao conceito de produção por demanda.

2.4.8.7 desperdícios do Lean Manufacturing:

Taiichi Ohno (1978), identificou que existem 7 tipos de desperdícios comuns em qualquer processo que não terão seu valor agregado ao valor do produto final e que devem ser eliminados ou reduzidos, que são eles:

- **Excesso de Produção ou Superprodução:** É quando produzimos mais do que nosso cliente precisa no momento. Seja produzir mais cedo do que é necessário ou mais do que é preciso. É importante que exista todo um trabalho de programação de produção para que isso não ocorra e por vezes não seja necessária mão de obra excedente ou horas extra desnecessária.
- **Espera:** Se trata do tempo ocioso do operador, seja ele oriunda do tempo de ciclo de máquina ou do tempo perdido durante uma parada de máquina não planejada. Para isso é importante que a equipe de processos realize um trabalho de cronoanálise para a distribuição de tarefas, para que não haja tempo de espera entre as operações por exemplo.

- **Transporte:** Eis um desperdício que não temos como eliminar, porém qualquer movimento realizado além do mínimo necessário se trata de desperdício. Por isso é importante que haja um fluxo bem definido do processo interno e externo.
- **Processamento ou Superprocessamento:** Quando se realiza um processo além do necessário ou não estando programado. Para isso é importante que seja feita uma pré-análise dos processos definidos.
- **Estoque:** Quando deixamos estocando matéria prima, estoque intermediário ou produtos acabados mais do que o necessário. Isso pode ser provocado pela falta de programação que faz com que haja um excesso de produção sem que o cliente necessite. É importante que a programação de produção e matéria prima trabalhem alinhadas com a necessidade do cliente.
- **Movimentação:** Quando o operador realiza movimentação além da necessária para realizar sua atividade. Para isso é importante a utilização das ferramentas de análise de fluxo.
- **Defeito:** Inspeção final, retrabalho e o refugo oriundo do processo. Se fazemos certo na primeira vez, não precisamos repetir todo processo, ou seja, gastar o dobro para produzir.

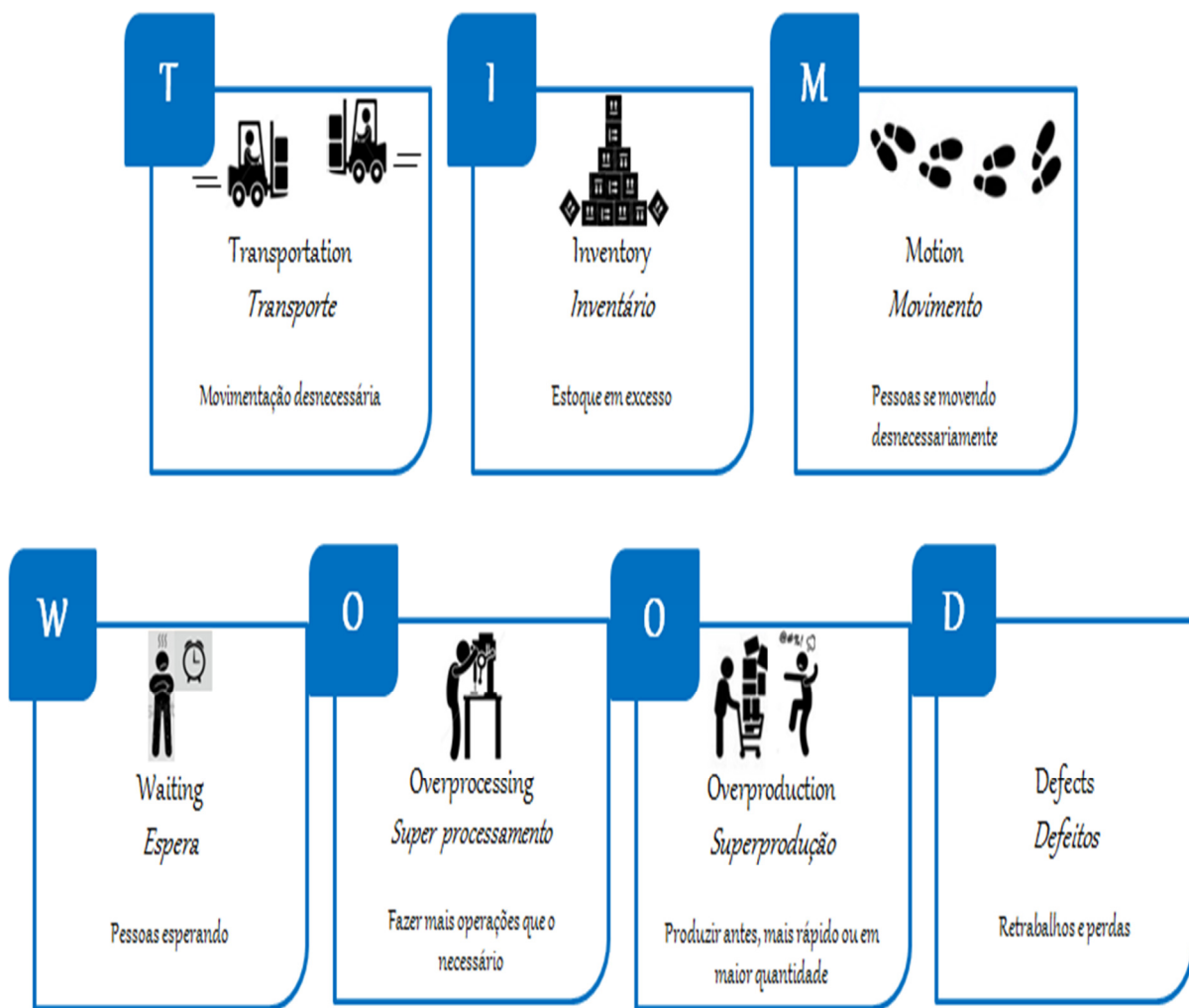


Figura 14 - 7 desperdícios do Sistema Toyota de Produção
Fonte: Kannenberg (1994)

Quando eliminamos ou reduzimos os desperdícios oriundos do processo, devemos partir para uma segunda etapa segundo Maximiano (2005), agregar valor ao produto, o que significa realizar as operações de transformação de uma matéria prima e seus componentes utilizando apenas o que está relacionado com o produto, de forma que diminuindo os desperdícios, conseguimos diminuir os custos de produção sem que haja um comprometimento no valor final do produto repassado para o cliente.

2.4.9. Estudo dos Tempos e Métodos, Cronoanálise e Racionalização Industrial

Segundo Taylor (1995), a cronoanálise é indicada quando a necessidade do cliente é melhorar a sua produtividade, para isso é necessário entender detalhadamente o que ocorre no processo de produção, a real capacidade de produção, eficiência do balanceamento dos postos de trabalho, pontos de ineficiência existentes na linha, interações entre os diferentes postos de trabalho, desperdícios de tempo e demais.

Segundo Maximiano (2005), as principais técnicas e princípios de que consiste um trabalho de Cronoanálise são:

- Cronometragens;
- Avaliação de Ritmo de Trabalho;
- Determinação de carga homem-máquina (saturação dos operadores devido a número excessivo de tarefas);
- Avaliação de Fadiga de Trabalho;
- Cálculo do Tempo Padrão;
- Análise Crítica em postos de trabalho, máquinas e dispositivos;
- Avaliação Ergonômica;
- Redução de Setup;
- Aperfeiçoamento do layout da linha de produção;
- Determinação do melhor método de trabalho (mais eficiente);
- Uso de técnicas para Padronização do trabalho;
- Aplicação de conceitos dos "7 desperdícios";
- Takt Time e Coligação de Postos de Trabalho para balanceamento de operação na linha;
- Princípios de Administração Visual.

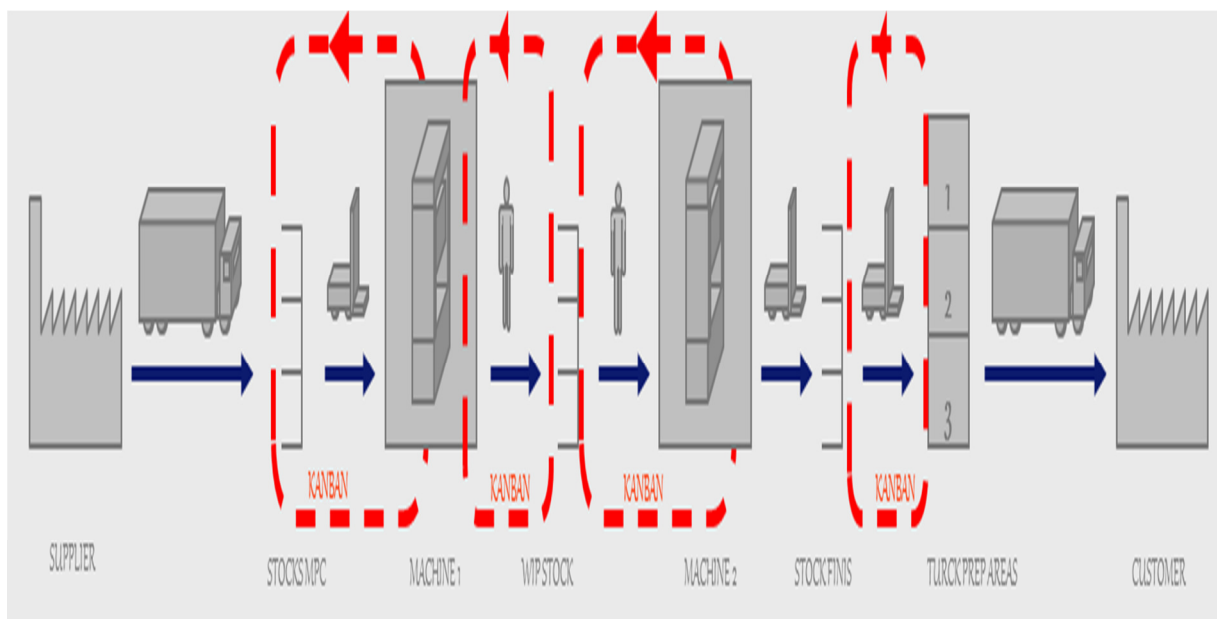


Figura 15 - Modelo de fluxo de produção
Fonte: Ramos (2000)

Segundo Maximiano (2005), um dos pontos mais importantes para o trabalho de cronoanálise é a realização de uma programação de produção, que deverá ser feita após que seja definido a quantidade de peças vendidas, a necessidade de produção, a frequência de produção, para que então define-se o equilíbrio de produção de máquinas com as horas necessárias.

De acordo com as horas previstas necessárias, calcula-se a mão-de-obra necessária para cumprimento da demanda.

Calcula-se a produtividade obtendo-se a relação da produção realizada e das horas trabalhadas.

Em nossa análise para saber a quantidade de pessoas necessárias, devemos realizar um trabalho minucioso com os seguintes fatores:

- **Cargas de Trabalho;**

As Cargas de trabalho têm uma relação direta com:

- Frequências operacionais;
- Condições das máquinas;
- Métodos de trabalho;
- Elementos utilizados;
- Treinamento do pessoal;
- Tempos de operação.

- **Máquinas necessárias definidas no balanço de produção;**

- **Horas de trabalho das máquinas definidas no balanço de produção.**

Conforme Maximiano (2005), consideramos como dados de processo todas as informações pertinentes ao modo como devem trabalhar as máquinas. Nesse campo é indicado:

- Velocidade;
- Eficiência;
- % de Paradas para manutenção;
- % de Desperdícios;
- Dados da produção;

- E todo dado necessário para planejar a produção ou calcular as cargas de trabalho.

A descrição do trabalho padronizado tem como finalidade relacionar as tarefas de cada pessoa em seu posto de trabalho e avaliar o método de trabalho, que permitirá calcular os tempos padrão. Classifica-se o que é feito, as frequências operativas e, finalmente, as cargas de trabalho.

O estudo da carga de trabalho leva-se em conta:

- Descrição do trabalho;
- Dados do processo;
- Tempos padrão a ritmo 100;
- Frequências operativas.




		OPERAÇÃO PADRÃO Termocompressão Insono Motor X62 AI01943		LEGENDA ⚠ Controle visual ⚠ Toque com as mãos ⚠ Poka-yoke ⚠ Características especiais + Segurança 🌱 Impacto ambiental		Linha: GAP 2 Númérc 14.OP.120.002 Data: 02/06/2015 Revisão: 4 		Validação Métodos: Nome - Visto <input type="text"/> Qualidade: Nome - Visto <input type="text"/> Segurança: Nome - Visto <input type="text"/> Produção: Nome - Visto <input type="text"/> Gap Lider: Nome - Visto <input type="text"/>	
Segurança	ETAPA	RISCOS	PROTEÇÃO - PREVENÇÃO			EM CASO DE EMERGÊNCIA			
	4	Corte nas mãos	Utilizar luva anti-corte e ter atenção quando estiver realizando a operação.			Procurar brigada de emergência.			
	1 e 2	Risco de esmagamento	Barreiras de segurança e botões de emergência.			Procurar brigada de emergência			
	5	Poliuição do solo	Descartar etiquetas velhas e o liner da etiqueta na caçamba cinza			Procurar Brigada de emergência			
OPERACIONAIS	N	OPERAÇÃO				Documentos de referência			
	A	Seguir instrução de máquina e parametrizar o equipamento conforme documentos de referência.				00.PP.120.004			
	B	Preencher liberação de máquina conforme número de documento de referência				00.LM.120.004			
C	Após a produção da Primeira peça conforme, realizar o preenchimento de ficha de aceitação da 1ª peça Ok				00.LM.120.004				
MODO OPERATÓRIO 1/2	N	OPERAÇÃO				IMAGEM			
	1	Assim que a prensa abrir e o operador 02 retirar a peça do molde, colocar o blank de feltro junto ao não tecido na prensa.  Cuidado para não se chocar contra o molde, procure trabalhar em uma posição confortável.							
	2	Acionar comando bimanual.  Verificar se não existe pessoas ou objetos próximos a área de prensagem.							
	3	Pagar não-tecido no suporte e posicionar sobre o blank de feltro fendido. Verificar ausência de rasgos no tecido e no feltro. Procure não flexionar a coluna.							
	4	Cortar dois pedaços de papel alumínio e colar na parte inferior direita do não-tecido. Verifique se o alumínio encontra-se na posição correta e bem fixado. Utilize luva anti-corte para realizar esta operação, risco de corte com o alumínio e estilete.							
	5	Colar etiqueta.  Verificar ausência de rasgos no feltro e no não tecido. Posicionar a etiqueta na região aproximada, tomando como referência documento de inspeção final.							

Figura 16 - Instrução de trabalho
Fonte: Trèves Group (2018)

Enfim, todos esses princípios têm como objetivo proporcionar às empresas maior capacidade de agregação de valor ao negócio além de melhores condições de trabalho à mão-de-obra, através da redução de desperdícios e a racionalização de processos.

2.4.10. Lean x Seis Sigma: qual a diferença?

Apesar de ambas as metodologias terem como principal objetivo realizar um impacto direto na lucratividade da empresa, elas atuam de formas distintas.

O Seis sigma atua na redução de variabilidade e dos defeitos do processo a fim de torná-lo mais eficiente, mantendo ou melhorando a qualidade com ganhos financeiros em seus resultados.

Já o Lean tem como objetivo tornar o processo mais eficiente ao reduzir os 7 desperdícios que envolvem o processo produtivo e aumentar a velocidade da produção, ou seja, produtividade.

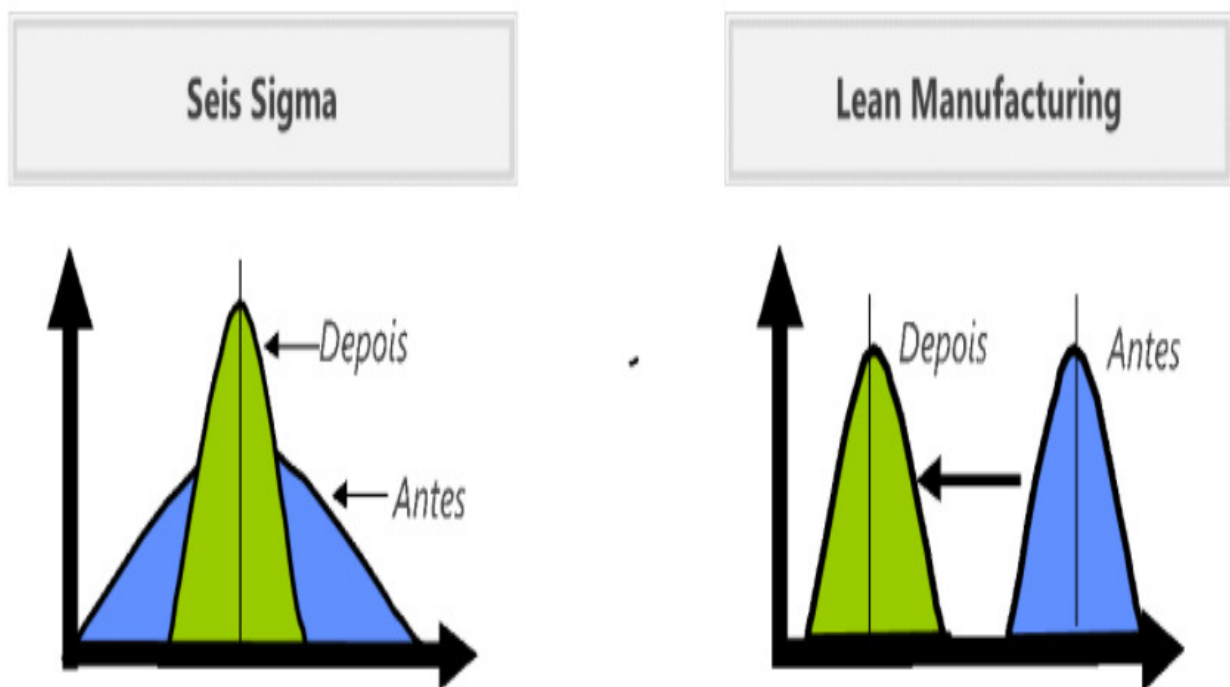


Figura 17 - Efeito antes e depois aplicação
Fonte: Voitto (2018)

2.4.11. Por que Lean Seis Sigma?

A junção surgiu como forma de melhorar os resultados industriais de uma empresa por meio da redução de variabilidade em seus processos produtivos e através da eliminação dos desperdícios.



Figura 18 - Pirâmide Lean Sigma
Fonte: Voitto (2018)

Lean Seis Sigma foca principalmente no Seis Sigma, sendo esse uma metodologia, focando na velocidade de obter resultados financeiros, mas agrega também o Lean através de sua filosofia, com seus conceitos de melhoria contínua e de aspectos culturais para a empresa. Portanto cada uma delas aproveita o que há de melhor para se tornar ainda mais poderosa ao que se diz respeito de Produtividade e Qualidade, sendo ambos essenciais para a manutenção da corporação.

2.5. OEE (Overall Equipment Effectiveness)

Conforme Cristiano Bertulucci Silveira (2016), o OEE é o principal indicador utilizado para realizar a medição da eficiência global. São várias as métricas que podem ser utilizadas na indústria para avaliar se algum processo é ou está sendo eficiente ou não. Tradicionalmente em programas de TPM (Total Productive Maintenance) utiliza-se muito o indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness). O OEE tem como simples objetivo responder a três questionamentos muito importantes:

- Com que frequência os meus equipamentos ficam disponíveis para operar?
- O quão rápido estou produzindo?
- Quantos produtos foram produzidos com qualidade, de maneira que que não geraram refugos?

Conforme Cristiano Bertulucci Silveira (2016), podemos perceber, com a resposta a essas três perguntas podem nos fornecer um panorama geral da operação em qualquer tipo de negócio e, por este motivo, o OEE é considerado tão importante na indústria

2.5.1. World Class OEE

Conforme Cristiano Bertulucci Silveira (2016), o World Class OEE é o índice utilizado como benchmark pelas indústrias em uma escala mundial. Em um estudo realizado, foi estimado que as plantas com melhor eficiência no mundo apresentam o índice de 85% de OEE e que em média, o restante das indústrias apresentam um índice de apenas 60%. Com esse resultado, podemos crer que para uma planta operando com OEE em torno de 60%, é possível aumentar a eficiência global em até 40% utilizando os mesmos equipamentos e os mesmos recursos. Neste ponto, surge uma importante questão:

- Como está a eficiência da minha planta?
- Como calcular a eficiência global dos equipamentos da minha empresa?

Benchmark de eficiência da planta

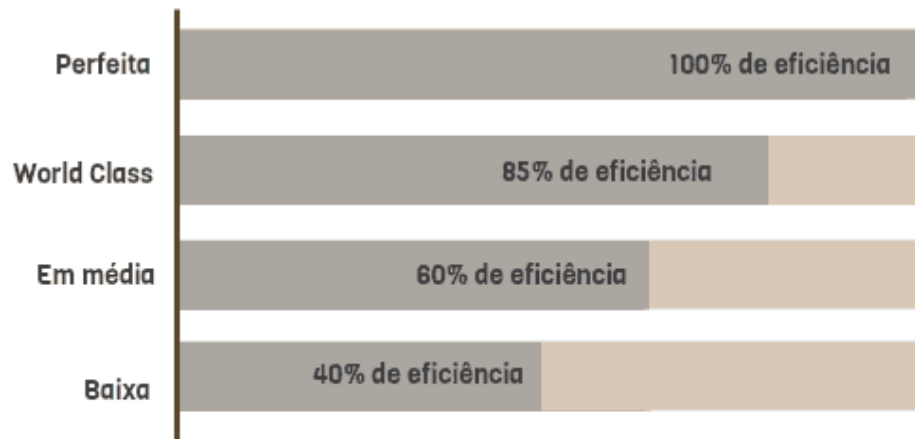


Figura 19 - Escala de eficiência
Fonte: Silveira (2016)

Se levarmos em conta o cenário perfeito dentro de uma empresa, o ideal seria que tivéssemos um indicador de 100% de eficiência na fábrica, um objetivo muitas vezes buscado pelas equipes de melhorias, que buscam alcançar um passo a frente todos os dias, mas na prática isso é muito difícil de ser alcançado por diversos motivos que poderíamos citar, tais como a própria variação do processo. Devido a isso é preciso que as empresas monitorem constantemente os índices de eficiência da empresa e é necessário estabelecer objetivos mensuráveis de onde esses indicadores poderão ser melhorados para obter resultados melhores (SILVEIRA, 2016).

2.5.2. Como calcular o OEE?

Conforme Cristiano Bertulucci Silveira (2016), iremos ver abaixo a maneira mais simples de mensurar a eficiência da empresa é realizar o cálculo do índice do OEE. Para que isso ocorra de maneira mais precisa, é necessário que os dados levantados pelos indicadores da empresa sejam confiáveis, para que não nos enganemos de maneira positiva ou negativa. Este índice é uma métrica percentual que representa como estão as melhores práticas incorporadas na cultura da empresa e leva em consideração três importantes variáveis de produtividade:

- A disponibilidade dos equipamentos para produção;
- A qualidade do que é produzido;
- A performance.

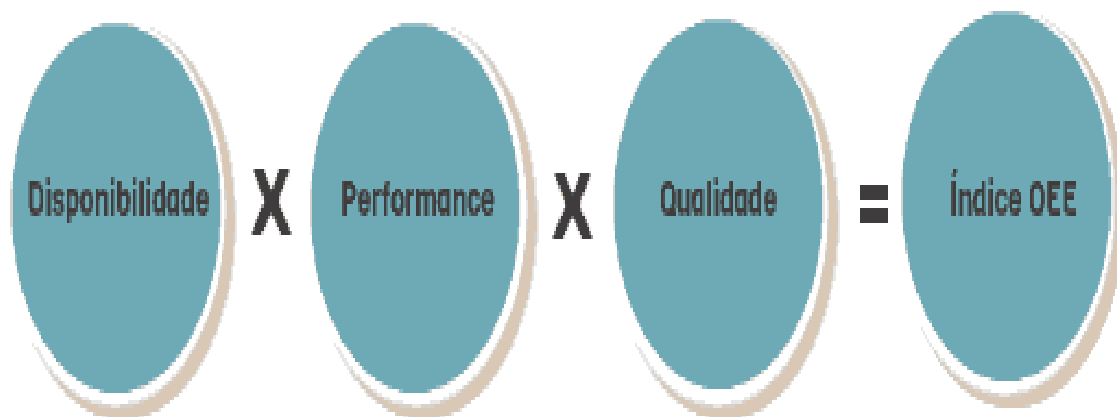


Figura 20- Calculo de OEE
Fonte: Silveira (2016)

- **Disponibilidade:**

Conforme Cristiano Bertulucci Silveira (2016), este indicador reflete os eventos que afetam a diretamente a disponibilidade dos equipamento ,ou seja, eventos que param a linha de produção. Podemos relacionar esses eventos com:

- Quebrado equipamento;
- Tempo de setup das máquinas;
- Falta de materiais;
- Troca de turno.

Estas ocorrências não esperadas são chamadas de downtime e o tempo que sobra para execução de paradas planejadas e produção é o Tempo Operacional. Importante frisar que no indicador de performance é expurgado o tempo de paradas planejadas, ou seja, manutenções preventivas ou programadas não são contabilizadas neste indicador.

Cristiano Bertulucci Silveira (2016), cria um case para analisarmos a ferramenta, podemos levar como exemplo uma análise realizada na indústria em uma máquina de produzir perfis metálicos (perfiladeira) que é programada para trabalhar por 2 turnos que somados resultam em 16 horas disponíveis para trabalho por dia. Em um dia normal de operação, a perfiladeira tem uma parada planejada de 30 minutos para que os operadores possam fazer a troca de turno e acompanhar o DDS (diálogo diário de segurança) e realize uma outra parada programada de 60 minutos em cada turno para refeição. Suponha que no mesmo dia, durante o segundo turno ocorre uma falha na guilhotina da perfiladeira que faz com que o equipamento fique parado em manutenção corretiva por 2 horas. Vamos calcular a disponibilidade neste dia para a perfiladeira:

- Tempo Programado = $(16 \times 60) - 30 = 930$ minutos
- Tempo disponível para produção = $930 - (2 \times 60) = 930 - 120 = 810$ minutos
- Disponibilidade = $810 / 930 = 0,87 = 87\%$

Conforme estudos realizados em nível mundiais em empresas que seguem padrões World Class, o indicador padrão mundial de disponibilidade é em torno de 90% (SILVEIRA, 2016).

- **Performance**

Conforme Cristiano Bertulucci Silveira (2016), é conhecido que toda linha produtiva em uma empresa tenha uma capacidade máxima de produção e esta capacidade está diretamente relacionada com o tempo de tudo que é produzido na linha analisada. Portanto, o índice de performance representa a porcentagem da velocidade de produção com relação a velocidade nominal, ou seja, velocidade de produção atual em relação a velocidade com que o equipamento produziu e foi projetado para tal.

Alguns fatores que impactam diretamente na performance são:

- Ineficiência dos operadores;
- Operadores em treinamento ou a falta de treinamento dos operadores;
- Materiais fora de especificação, muitas vezes associado a um desvio para que seja autorizado a produção do mesmo;
- Cronoanálise realizada de maneira inadequada, muitas vezes não considerando operações.

Continuando nosso exemplo da perfiladeira que analisamos a disponibilidade anteriormente, sabemos que ela trabalha por 2 turnos que somados resultam em 16 horas por dia e em um dia normal de operação, onde há uma parada planejada de 30 minutos para que os operadores possam fazer a troca de turno e acompanhar o DDS (diálogo diário de segurança) e realize uma outra parada programada de 60 minutos em cada turno para refeição. No nosso exemplo houve uma parada para manutenção corretiva de 2 horas. Outra informação importante para nossa análise é que a perfiladeira neste exemplo foi projetada para produzir 60 peças por hora, ou seja, 1 peça/min.

Acompanhando um dia normal de operação, no final do dia, verificou-se que a quantidade de peças produzidas foi de 700 peças. Vamos calcular a performance neste dia para este caso:

- Tempo Programado = $(16 \times 60) - 30 = 930$ minutos
- Tempo Operacional = $930 - 120 = 810$ minutos
- Tempo que deveria ser gasto para produzir as 700 peças = $700 \times 1\text{min} = 700\text{min}$
- Performance = $700 / 810 = 0,864 = 86\%$

Uma observação importante para este resultado é que no indicador de performance, consideramos todas as peças produzidas durante o período analisado, independentemente se foram produzidas com defeito ou não.

Outro cálculo que podemos ver neste estudo, é o Tempo Operacional, que significa o tempo de fato em que a máquina ficou disponível para produção, ou seja, é o tempo programado subtraído do tempo de quebra ou falha no equipamento (2 horas). Com relação as peças com defeito, veremos mais a frente que elas entram no cálculo do indicador de qualidade.

Conforme estudos mundiais em empresas que seguem padrões World Class, um nível padrão mundial do indicador de performance é em torno de 95% (SILVEIRA, 2016).

- **Qualidade**

Na análise realizada por Cristiano Bertulucci Silveira (2016), o mesmo diz que antes que um material seja produzido, vários parâmetros do produto são definidos pela empresa. Esses requisitos específicos e críticos que são definidos para o produto formam o padrão estabelecido para o mesmo e é necessário que o produto final ainda apresente esses padrões, de maneira que seja garantida a qualidade do produto final, caso o produto não apresente esse padrão, então o mesmo será tratado como um produto não conforme, ou seja, é considerado um refugo do processo, que deverá ser descartado ou passar por uma operação de reparo/retrabalho.

Novamente vamos dar continuidade com nosso exemplo da perfiladeira, que apresenta 16 horas de trabalho por dia, onde há uma parada planejada de 30 minutos para que os operadores possam fazer a troca de turno e acompanhar o DDS (diálogo diário de segurança) e realize uma outra parada programada de 60 minutos em cada turno para refeição. Foi realizada a análise do equipamento e constatou que no final do dia, das 700 peças produzidas,

50 apresentaram defeitos e foram tratadas como refugo. Então vamos seguir com a análise do índice de qualidade neste dia:

- $\text{Qualidade} = (700 - 50) / 700 = 0,93 = 93\%$

Conforme estudos mundiais em empresas que seguem padrões World Class, um nível padrão mundial do indicador de qualidade é em torno de 99% (SILVEIRA, 2016).

- **OEE**

Com os 3 indicadores já calculados anteriormente, podemos fazer o cálculo de OEE de nosso exemplo, a perfiladeira, utilizando a multiplicação abaixo:

- $\text{OEE} = \text{Disponibilidade} \times \text{Performance} \times \text{Qualidade}$
- $\text{OEE} = 0,87 \times 0,86 \times 0,93 = 0,695 = 69\%$

Segundo Cristiano Bertulucci (2016), é interessante notar que o resultado obtido no case de exemplo está abaixo dos padrões para ser considerado World Class. Com esse resultado é importante destacar que é possível realizar melhorias para cada um dos indicadores para que a empresa apresente resultados melhores de OEE.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Com a existência de um problema em um processo da fábrica, foi reunida uma equipe multifuncional com participação de pessoas do departamento da qualidade, manutenção, produção e engenharia, para tratarmos e solucionar o problema, para isso foi utilizado a ferramenta do DMAIC, pois ela realiza toda uma análise estatística nos dados de entrada e saída do processo. Devido a nem todos os participantes possuírem um conhecimento tão claro a respeito das ferramentas da qualidade, foi realizado uma apresentação, para que todos os membros pudessem assimilar a ferramenta durante a realização, o DMAIC por si só se torna auto orientativo em relação ao caminho que deve ser tomado durante a evolução de projeto, o que colabora para o bom desenvolvimento.

Para a empresa, este foi o primeiro trabalho realizado por uma equipe de melhoria, de maneira que se busca incentivar os membros envolvidos e fazer com que outras pessoas iniciem novos projetos.

Através dos resultados obtidos com o estudo aqui apresentado, buscamos mostrar para os envolvidos e para a organização a importância de aplicar a metodologia devido ao seu potencial, fazendo com que a direção de apoio para que as equipes realizem seu trabalho de maneira estruturada.

3.1. Alinhamento dos objetivos da empresa

A empresa estudada possui um programa Lean Thinking (Mentalidade enxuta), conhecido como SPRINT - Sistema de Produção Industrial Interna. Este programa tem como objetivo atingir a excelência operacional, fazendo com que a melhoria contínua seja um hábito de trabalho. Tem como meta 4 pilares: QCDH, do inglês Quality, Cost, Deliveries and Human (Qualidade, Custo, Entregas e Pessoas).



Figura 21 - Meta QCDH SPRINT

Através dessa mentalidade, é necessário trabalhar constantemente com as melhorias de processo, pois ano após ano, os preços de venda dos produtos fornecidos para nossos clientes sofrem reduções, de maneira que se caso não seja realizado melhorias contínuas em nosso processo, reduzindo os custos envolvidos na produção das peças, iremos diminuir e até mesmo no pior cenário ficar sem margem no produto, desta forma não haverá recursos para novos investimentos que irão assegurar o futuro sustentável da empresa.

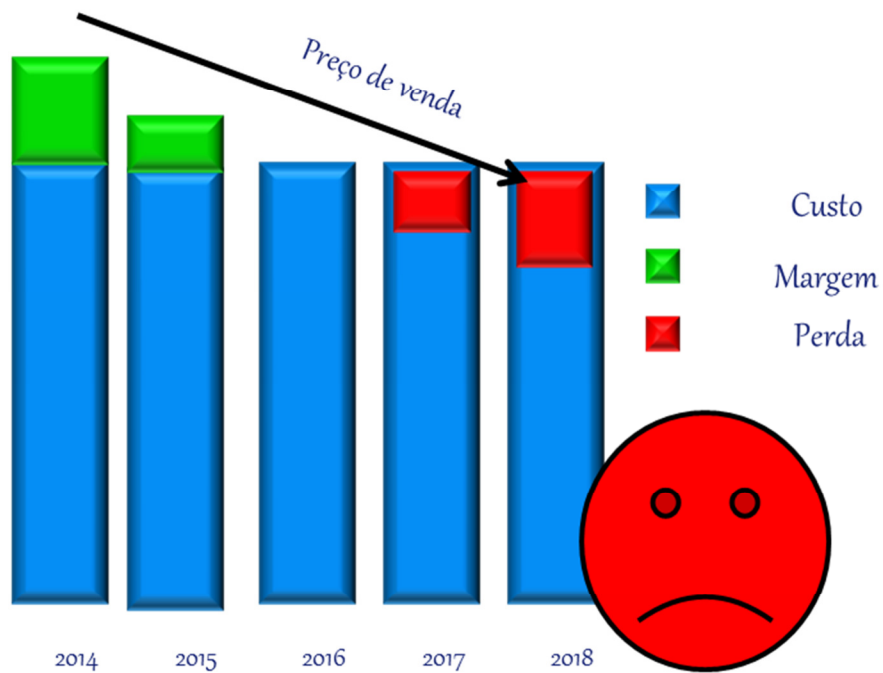


Figura 22 - Produção sem melhoria



Figura 23 - Produção com melhoria

3.2. Definir:

Para esta etapa, foi realizado o levantamento dos problemas existentes pela equipe envolvida no projeto de melhoria, com a finalidade de trazer melhorias que satisfaçam os clientes internos e/ou externos, minimizando os desperdícios oriundos da ineficiência do processo produtivo.

Algumas perguntas foram chave para o sucesso da etapa, tais como:

- Qual é o problema que deverá ser resolvido no projeto?
- Quais são os clientes e/ou fornecedores que são afetados diretamente ou indiretamente no processo?
- Qual deverá ser a meta almejada com a realização do trabalho e quais os ganhos esperados por ele?
- Qual é o processo relacionado com o problema?

Através dos indicadores de atendimento da produção registrados pelos líderes no sistema, foi possível identificar a deficiência no processo de injeção de PU através dos indicadores que apresentaram grande índice de rejeitos e não atendimento aos objetivos de produção.

A definição métrica utilizada para avaliar a eficácia do processo foi o OEE, onde através do gráfico de Pareto foi possível notar que nos meses anteriores ao início do projeto de melhoria, a linha não apresentou resultados dentro dos objetivos.

O objetivo para o projeto é melhorar o OEE da linha estudada para 80%, de maneira que iremos atuar na redução da parada de linha e na redução do PPM até novembro/2017, de maneira que será possível eliminar a necessidade de horas adicionais ao final do turno para que seja finalizada a demanda do cliente.

Para isso foi feito o mapeamento do processo junto com a equipe multifuncional e detalhado o refugo.

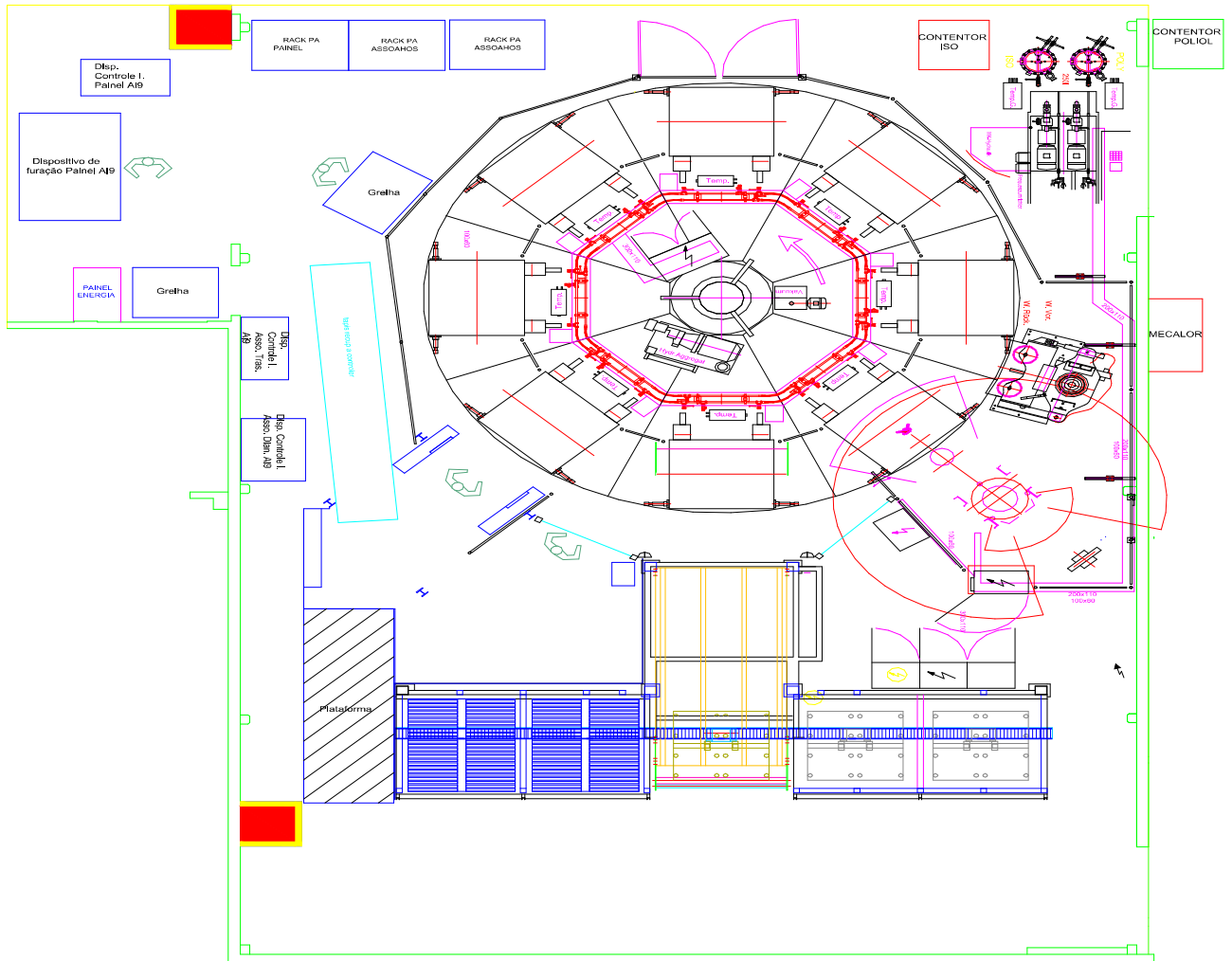


Figura 24 - Layout da linha estudada

3.3. Medir:

Nesta etapa, foi realizado o levantamento das entradas do processo que podem levar a perda de OEE, para isso foi utilizado o diagrama de causa e efeito.

Para a realização desta etapa, as perguntas mais relevantes foram:

- Qual o estado atual do processo? É possível mensurar?
- Quais são as fontes de variabilidade do processo?
- Os dados obtidos através dos indicadores são confiáveis? Ou existe a possibilidade de erro?
- Qual o comportamento dos dados históricos levantados?

Foi possível identificar os três principais pontos críticos:

- Falta de controle na refrigeração;
- Desmoldante não sendo eficiente ;
- Posicionamento dos componentes .

3.4. Analisar:

Nesta fase foram investigadas as maiores fontes das variações, que são responsáveis pelo aumento da variação no processo, de maneira que geram os defeitos.

Nesta fase, os principais questionamentos levantados para análise pelo grupo de melhoria Seis Sigma foram:

- Quais são as causas raiz que devemos atacar para obtermos um melhor resultado, conforme o interesse do trabalho?
- Quais são as causas raiz que podemos identificar e que sejamos capazes de comprovar com os gráficos básicos? E que somos capazes de comprovar através de análises estatísticas?
- Quais são as causas raiz que podemos identificar através de uma análise de risco?
- **X1 = Falta de controle da refrigeração:**

Foi realizada análise do processo, onde se constatou que a refrigeração do Isocianato e Polioliol estava sendo realizada com a água direto da torre de resfriamento que abastece as demais áreas da fábrica, isso faz com que no decorrer do turno trabalhado, a mesma perca eficiência e faz com que a água fique com temperatura mais elevada.

- **X2 = Falta de eficiência no desmoldante**

Foi observado que o operador muitas vezes rasgava as peças ao retirá-las do molde de injeção, ou provocava um atraso no fluxo da linha por não liberar o equipamento dentro do tempo. Essas peças precisavam ser retrabalhadas, resultando em uma grande perda de eficiência do equipamento.

Para melhorar essa condição, o operador passava a aplicar mais desmoldante sobre os moldes, o que provocava uma reação com a espuma, onde o produto final ficava com regiões falhadas pelo excesso de solvente presente no desmoldante. Embora o desmoldante seja utilizado para melhorar a soltar as peças do molde, ele causa uma reação no PU, formando pequenas bolhas.

- **X3 = Posicionamento irregular dos componentes**

Em análise aos maiores problemas da linha, está o posicionamento irregular dos componentes. Quando isso ocorre as peças apresentam falhas de injeção, pois como pode ser observado, o material posicionado fora de sua posição interfere com o fluxo de material dentro do molde, de maneira que restringe o acesso da espuma em algumas regiões, de forma que limita a expansão do mesmo para fazer uma peça conforme.

3.5. Implementar:

Os principais questionamentos que foram levantados pela equipe para obtenção de conclusões de maneira mais simples foram:

- Quais são as possíveis ações de melhoria?
- Todas as melhorias propostas podem ser transformadas em soluções com possibilidade de implementação?
- Como testar as soluções escolhidas a fim de garantir o alcance da meta sem efeitos colaterais indesejáveis? O tempo para a realização dos testes podem comprometer o tempo de implementação do trabalho?
- Como medir os resultados financeiros obtidos quando o plano de ação for implementado?

Nesta etapa o grupo se reuniu e através do Brainstorm sugeriram ações que poderiam solucionar os problemas levantados na fase Analisar.

3.6. Controlar:

Na fase Controlar, é onde monitoramos o desempenho para manter os ganhos obtidos com as ações implementadas e devemos estabelecer controles necessários que irão garantir a sustentabilidade do projeto.

Da mesma forma realizada nas etapas anteriores, o grupo levantou perguntas relevantes para a continuidade da etapa:

- A meta e os resultados financeiros foram alcançados até esta fase?
- Quais controles foram estabelecidos para garantir a sustentabilidade das melhorias feitas? Quais serão estabelecidos?
- Quem será o gerente do processo e como ele fará o acompanhamento dos indicadores?
- Será necessário criar ou atualizar os padrões e procedimentos já existentes no processo?

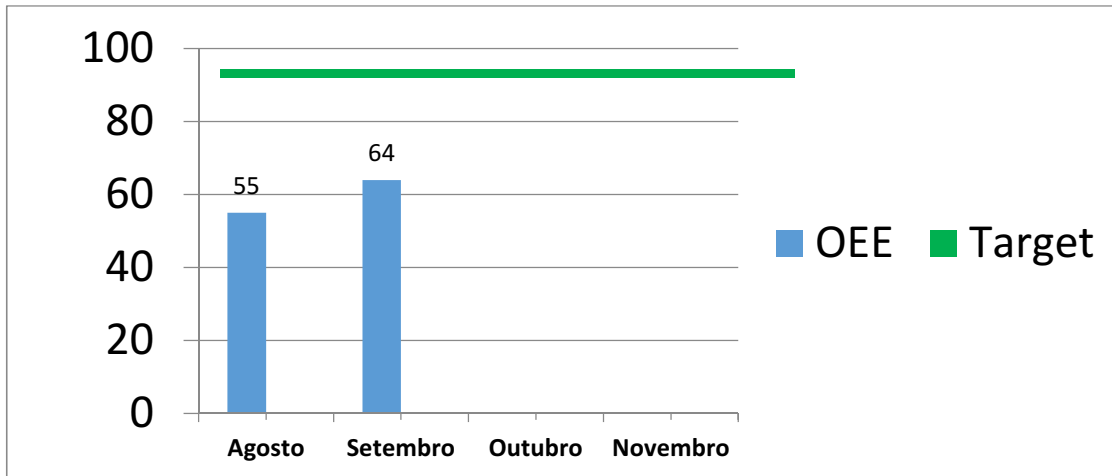
- Quem são os envolvidos que deverão passar por treinamento conforme as alterações realizadas?

4. RESULTADOS OBTIDOS

4.1. Definir:

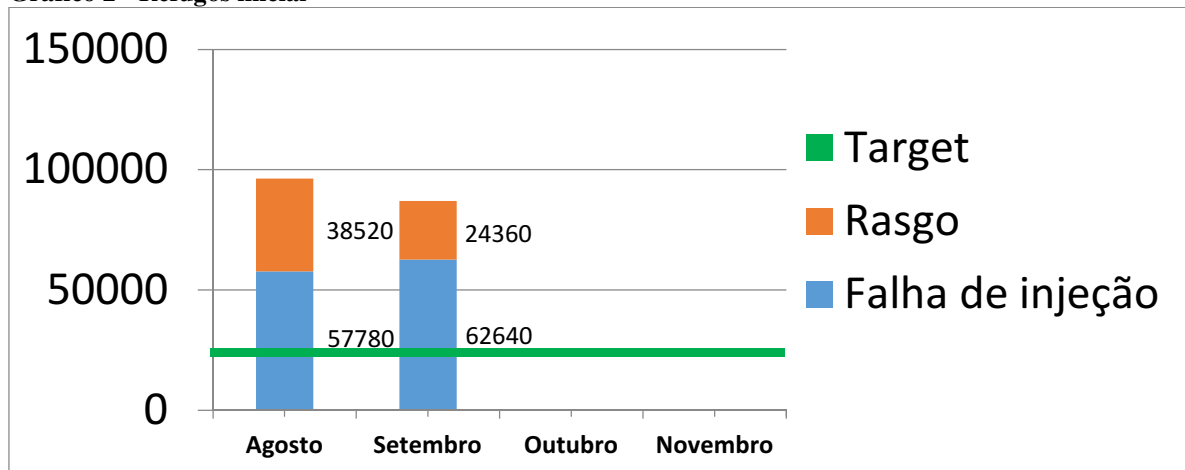
Através da metodologia utilizada, foi realizado o mapeamento do processo, conforme podemos ver nos gráficos abaixo.

Gráfico 1 - OEE Inicial



O custo da falta de qualidade nos últimos meses apresentavam um PPM médio de 91650, mão de obras ociosas durante o turno e a necessidade de ser realizado horas extras para atender a demanda de produção do cliente.

Gráfico 2 - Refugos inicial



4.2. Medir:

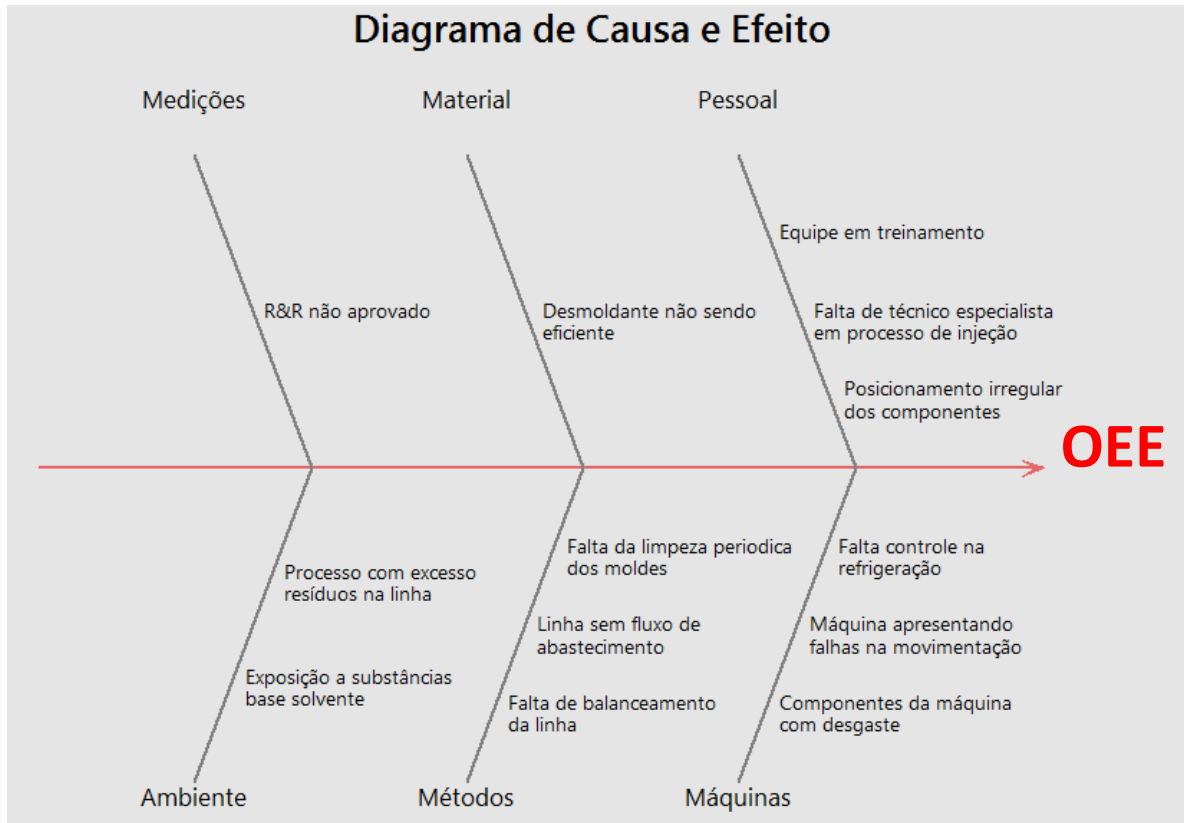
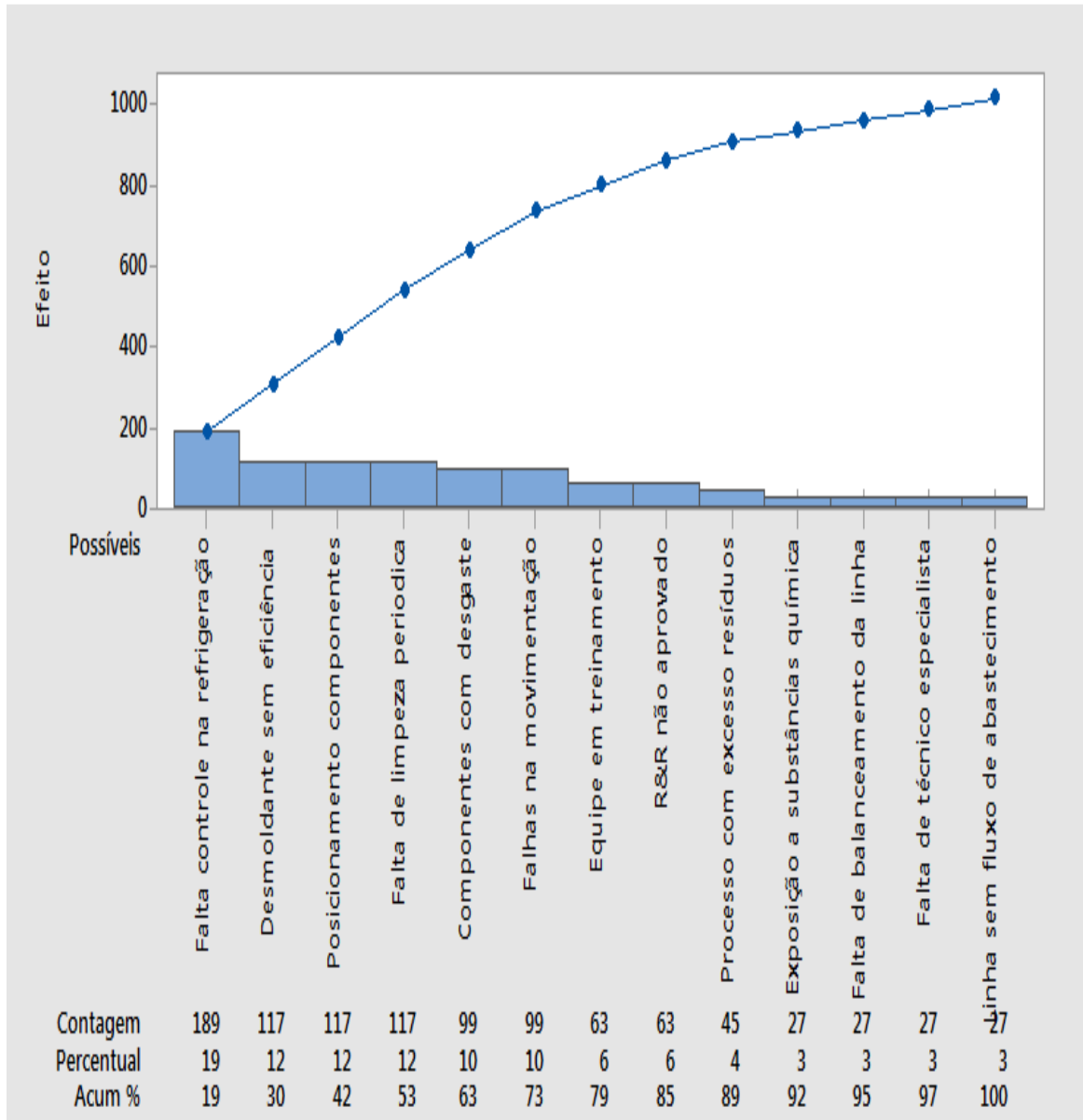


Figura 25 - Diagrama da Causa e Efeito

Através do software Minitab, foi feito o Pareto das causas, para avaliar quais variáveis de entrada eram mais críticas para o processo apresentar baixa performance.

Gráfico 3 - Pareto das causas



Foi possível identificar os três principais pontos críticos:

- Falta de controle na refrigeração;
- Desmoldante não sendo eficiente ;
- Posicionamento dos componentes .

Foi realizado um estudo de capacidade com uma amostragem de 7750 peças.

Tabela 8 - Estudo de Capabilidade Inicial

Amostragem	7750	Unidades
Oportunidades de Erro	1	Oportunidades
Unidades com Erro	704	Unidades
Total de oportunidades	7750	Erros
Rendimento	90,916	%
Rejeição	9,084	%
DPU	0,09084	
DPO	0,09084	
DPMO	90838,70968	
Nível Sigma	2,83561	Curto Prazo
	1,33561	Longo Prazo

Aproximadamente 9% desta amostragem apresentou rejeição após injeção, com um DPMO de 90838.

Para ação de contenção foi reavaliado o treinamento dos colaboradores envolvidos no processo com a finalidade de garantir que eles estão realizando suas tarefas conforme padrão.

4.3. Analisar:

- **X1 = Falta de controle da refrigeração:**

Quando o material trabalha fora dos parâmetros pré-estabelecidos e recomendado pelo fornecedor dos químicos, que seria entre 18 e 22 graus, a espuma perde sua eficiência de expansão, entrando em reação antes do tempo determinado, provocando nas peças falhas de injeção por falta de material.

Foi realizada uma análise em 100 peças produzidas com o resfriamento sendo realizado direto com a água da torre, de forma que sua temperatura sofre grande influência de fatores externos, tais como a temperatura ambiente. As primeiras peças produzidas apresentaram resultados satisfatórios, porém após uma sequência de trabalho, o Isoceanato e

Poliol passam a esquentar devido à falta de troca de água para resfriar o mesmo, fazendo com que a espuma não expanda de maneira adequada, provocando falta de preenchimento no produto. Como resultado dessas 100 peças avaliadas, 37 apresentaram problemas de falta de material em uma ou mais regiões, conforme podemos ver na **Figura 26**.



Figura 26 - Peça com falha de injeção por falta de expansão do material

- **X2 = Falta de eficiência no desmoldante**

Ao observar as condições dos moldes, foi notado que o desmoldante estava formando cascas que se desprendiam do molde. Essas regiões faziam com que a espuma ficassem presas, pois é necessário que o desmoldante forme pequenas camadas que ajudam a peça a se desprender.

Os parâmetros utilizados no processo foram monitorados, podendo observar que os moldes estavam trabalhando com temperaturas que variavam entre 50°C à 65°C, conforme condições do ambiente de trabalho. Em análise ao data sheet do desmoldante, foi possível constatar que a temperatura recomendada para o produto é entre 60 °C à 70°C.

O fato do molde soltar cascas de desmoldante, que prejudicam ao soltar a peça do molde, está diretamente relacionado com a temperatura de trabalho dos moldes, pois a temperatura mais baixa faz com que a cera resfrie o suficiente para endurecer e quebrar.

Após essa análise, foi feita uma solicitação para que o fornecedor possa dar um suporte para solucionar os problemas detectados na análise.

- **X3 = Posicionamento irregular dos componentes**

Ao observar o trabalho do operador, foi possível notar que existia uma variação em relação ao posicionamento dos componentes devido o fato de que o operador se orientava apenas pelo formato da peça, soltando as mesmas sobre o molde, sem um guias. Muitas vezes durante o processo de injeção a espuma fazia com que o componente saísse de posição, ou saísse do molde, de maneira que fosse produzida uma peça não conforme.



Figura 27 - Componentes posicionados sobre o molde

A repetibilidade do processo estava sendo garantida apenas na habilidade do operador, de maneira que para operadores com menos experiência na atividade a ocorrência de falhas era ainda maior.

4.4. Implementar:

- **X1 = Falta de controle da refrigeração:**

Para fins de análise, foi instalado um Chiller que é utilizado em outra linha, com temperatura controlada de tolerância para mais e para menos de 2°C. Novamente foi feita uma amostragem de 100 peças, onde o problema de falha de injeção não voltou a se repetir.



Figura 28 - Peça aprovada

O chiller utilizado refrigera as Cubas, onde os químicos ficam em espera, refrigerando antes de sua utilização. A temperatura recomendada de refrigeração é entre 18°C e 22°C, pois quando ele entra em trabalho acima disso faz com que o material termine seu ciclo de reação com maior velocidade, não expandindo o material dentro de sua capacidade, podendo apresentar colapsos.

Conforme constato na fase anterior, onde analisamos o problema, a solução para o problema de falta de controle da refrigeração foi realizar a instalação definitiva de um chiller, pois ele mantém a temperatura durante os ciclos.

- **X2 = Falta de eficiência no desmoldante**

Com a colaboração do fornecedor, foi realizado testes com outros desmoldantes que possuem propriedades diferentes ao que estava sendo utilizado na linha.

A primeira propriedade trocada foi a temperatura de fusão dos materiais, conforme analisado anteriormente, o produto que estava sendo utilizado precisava ser aplicado sobre a superfície de moldes com temperatura superior a nossa de trabalho, para isso o fornecedor nos enviou amostras com materiais que podem trabalhar desde 50°C até 70°C.

Em nossos try out detectamos que devido a geometria da peça, que possui regiões com formas negativas, havia dificuldade em soltar a peça, para isso aumentamos a quantidade de aplicação para avaliar se iria melhorar, porém o solvente presente no desmoldante não evaporava até o momento da injeção, fazendo com que a peça apresentasse falhas.

A solução proposta foi aumentar a porcentagem de teor de sólidos no produto, onde novamente realizamos try outs para avaliar a performance do material, que apresentou resultados satisfatórios.

Como resultado, as peças conseguiram ser soltas do molde sem rasgos e com uma redução no tempo de operação, passando de 46 segundos para 24 segundos.

- **X3 = Posicionamento irregular dos componentes**

Após analisar o problema, a solução proposta foi a inclusão de pinos guias, que além de orientar em relação de onde iria ficar os componentes, também garantiria que os componentes ficassem presos, sem o risco de cair durante a injeção do PU.

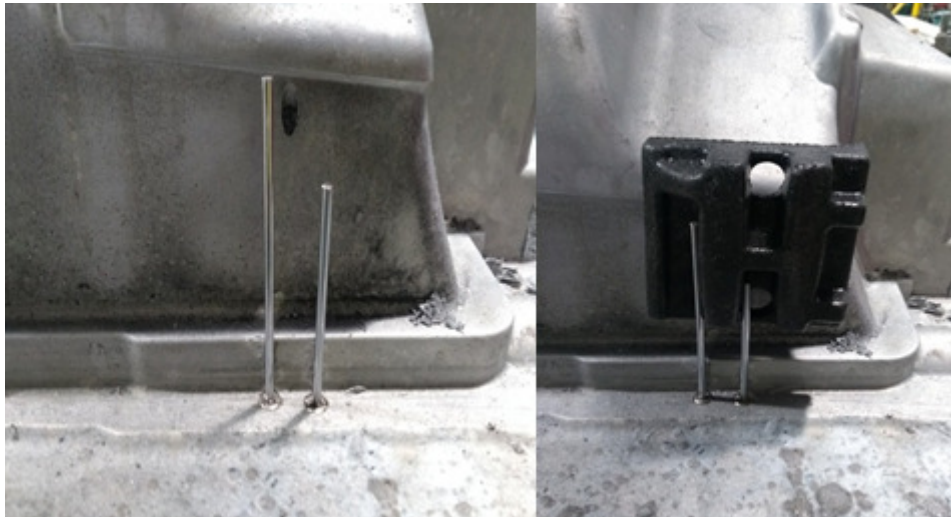


Figura 29 - Pinos Guias

Como podemos ver na **Figura 27**, foram adaptados em todos os moldes os pinos para orientar e travar os componentes, o que apresentou resultados satisfatórios para o processo, pois além de eliminar a ocorrência de peças não conformes, fez com que a operação realizada pelo operador do equipamento diminuísse o tempo.

- **Resultados obtidos:**

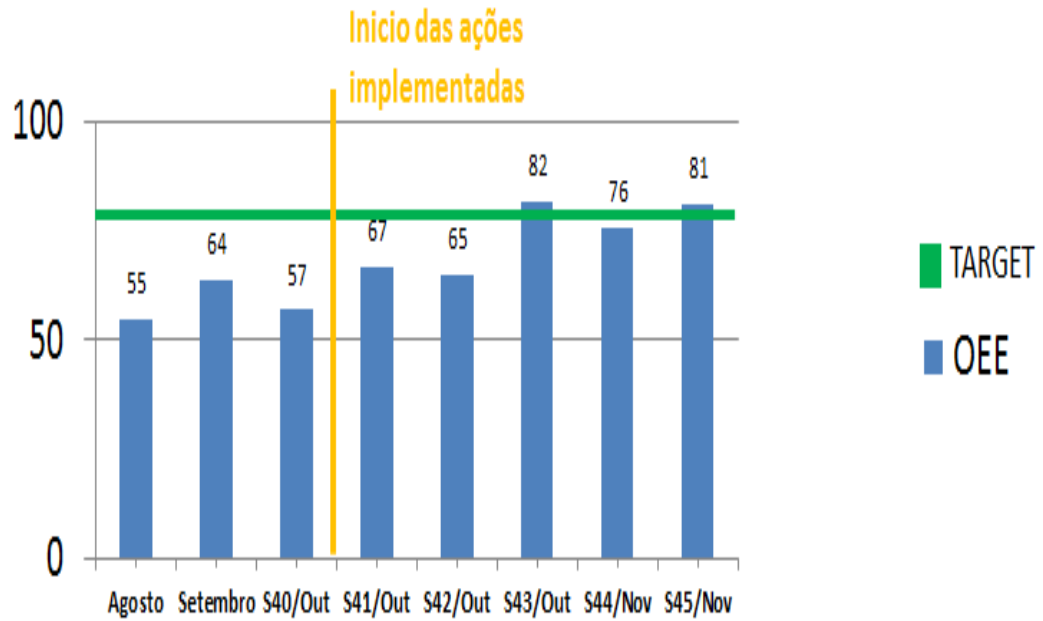
Após cinco semanas desde o início das implementações das melhorias, foi possível verificar uma melhoria significativa para o processo, conforme tabela abaixo do novo estudo de amostragem realizada.

Tabela 9 - Estudo de capacidade após implementação

Amostragem	10466	Unidades
Oportunidades de Erro	1	Oportunidades
Unidades com Erro	568	Unidades
Total de oportunidades	10466	Erros
Rendimento	94,573	%
Rejeição	5,427	%
DPU	0,05427	
DPO	0,05427	
DPMO	54270,97267	
Nível Sigma	3,10478	Curto Prazo
	1,60478	Longo Prazo

Através disso, analisamos semanalmente como estava o desempenho da linha, onde foi possível notar um crescimento de OEE desde o início das implementações, no início de Outubro, na semana 41, onde iniciamos o processo com um DPMO de 90838, onde até a segunda semana de Novembro, a semana 45, foi possível conseguir reduzir o DPMO para 54270, desta maneira foi possível atingir ao objetivo pré-estabelecido no início do projeto.

Gráfico 4 - OEE após implementações



4.5. Controlar:

- **X1 = Falta de controle da refrigeração:**

Após a instalação do Chiller para resfriar o Isoceanato e Polioliol, foi necessário monitorar se ele estava em funcionamento ou não. Para isso foi instalado um sistema de bloqueio no equipamento, onde o mesmo só poderá entrar em funcionamento caso o resfriamento do material esteja sendo realizado.

Como auxílio visual para o operador, foi instalado sistema de alarme luminoso e sonoro no posto de trabalho de abastecimento e de desmoldagem de peças, alertando-o caso necessário para que o mesmo possa atuar na correção do problema.



Figura 30 - Sinal para visualizar processo em operação

- **X2 = Falta de eficiência no desmoldante**

Para garantir que a aplicação está conforme padrão pré-estabelecido pela equipe de melhoria, sem que ocorra excesso de aplicação ou falta de da mesma sobre a superfície do molde, foi instalado controlador de vazão e do tempo de aplicação.

Como resultado desta ação, o controlador também irá garantir que não haja divergências de inventário do desmoldante, o que era um problema comum em análise do histórico do processo.

- **X3 = Posicionamento irregular dos componentes**

Para contemplar o novo procedimento de posicionamento dos componentes sobre as agulhas, foi realizada a revisão da instrução de trabalho e o procedimento de liberação de equipamento.

Após a alteração, foi realizado o treinamento com os colaboradores que trabalham no equipamento.

4.6. Fechamento do Projeto

Após finalizar a fase de controlar, que é a última etapa do DMAIC, foi possível realizar o fechamento do projeto, de maneira que o mesmo atingiu ao objetivo de conseguir atingir 80% de OEE.

Após se passarem seis meses, desde a implantação das ações de melhoria e as ações para controle, foi realizado a verificação de sustentabilidade do projeto, para verificar se as melhorias ainda estão em pleno vigor e os benefícios indicados no fechamento do projeto ainda estão presentes.

Foi possível constatar que durante a fase Implementar, a equipe de melhoria ao atuar na implantação de ações com o objetivo de melhorar o processo e corrigir os maiores problemas, fez com que problemas secundários e menores fossem solucionados por estarem diretamente ligados aos maiores problemas, devido a isso os resultados encontrados após seis meses desde o fechamento foram:

- Aumento da produtividade de 42 peças/hora para 60 peças/hora;
- Redução de consumo de Isocianato e do Polioli em 17%, devido à diminuição do retrabalho e necessidade de maior injeção para compensação devido às falhas;
- Aumento do OEE da linha para 92% em média nos seis primeiros meses do ano de 2018;
- Foi realizado o levantamento de peças produzidas durante o mês de maio, onde em um total de 16632 unidades, 132 unidades foram consideradas rejeitos, portanto obteve um DPMO de 7936;
- Redução de MOD adicional para retrabalhar peças;
- Não foi necessário haver horas adicionais para compensar ineficiência de OEE para atender volume diário de produção do cliente;
- Aumento da disponibilidade de máquina que pode ser destinado a novos projetos;
- Eliminação da necessidade de armazenamento do estoque de segurança, que era mantido além do habitual devido ao risco de não conseguir atender a demanda de produção;
- Eliminação de incidentes de defeitos apontados pelo cliente nos últimos seis meses.

Tabela 10 - Estudo de capacidade após seis meses

Amostragem	16632	Unidades
Oportunidades de Erro	1	Oportunidades
Unidades com Erro	132	Unidades
Total de oportunidades	16632	Erros
Rendimento	99,206	%
Rejeição	0,794	%
DPU	0,00794	
DPO	0,00794	
DPMO	7936,50794	
Nível Sigma	3,91182	Curto Prazo
	2,41182	Longo Prazo

4.7. Principais problemas detectados com o projeto de melhoria

Com as análises realizadas pelo time multifuncional durante o desenvolvimento do projeto, foi possível criar um fluxo para servir como orientação para solucionar as possíveis falhas, de maneira que compartilhamos com os envolvidos no dia a dia do processo de fabricação como um plano de reação para realizar as tratativas dos problemas, conforme **figura 29**. Com a elaboração do fluxo, um plano de reação por escrito foi feito para solucionar os maiores problemas relacionados com a **especificação, máquina, operador/processo/molde e com a formulação** que podem ocorrer durante o processo de fabricação e muitas vezes antes da realização do trabalho era absorvido pela produção devido não conhecerem uma maneira de corrigir ou acreditarem que os problemas faziam parte do processo.

Para compartilhar o estudo realizado pela equipe de melhoria, foi organizado um treinamento com os líderes do processo e as pessoas diretamente envolvidas na produção, com exemplos práticos para o dia a dia deles.

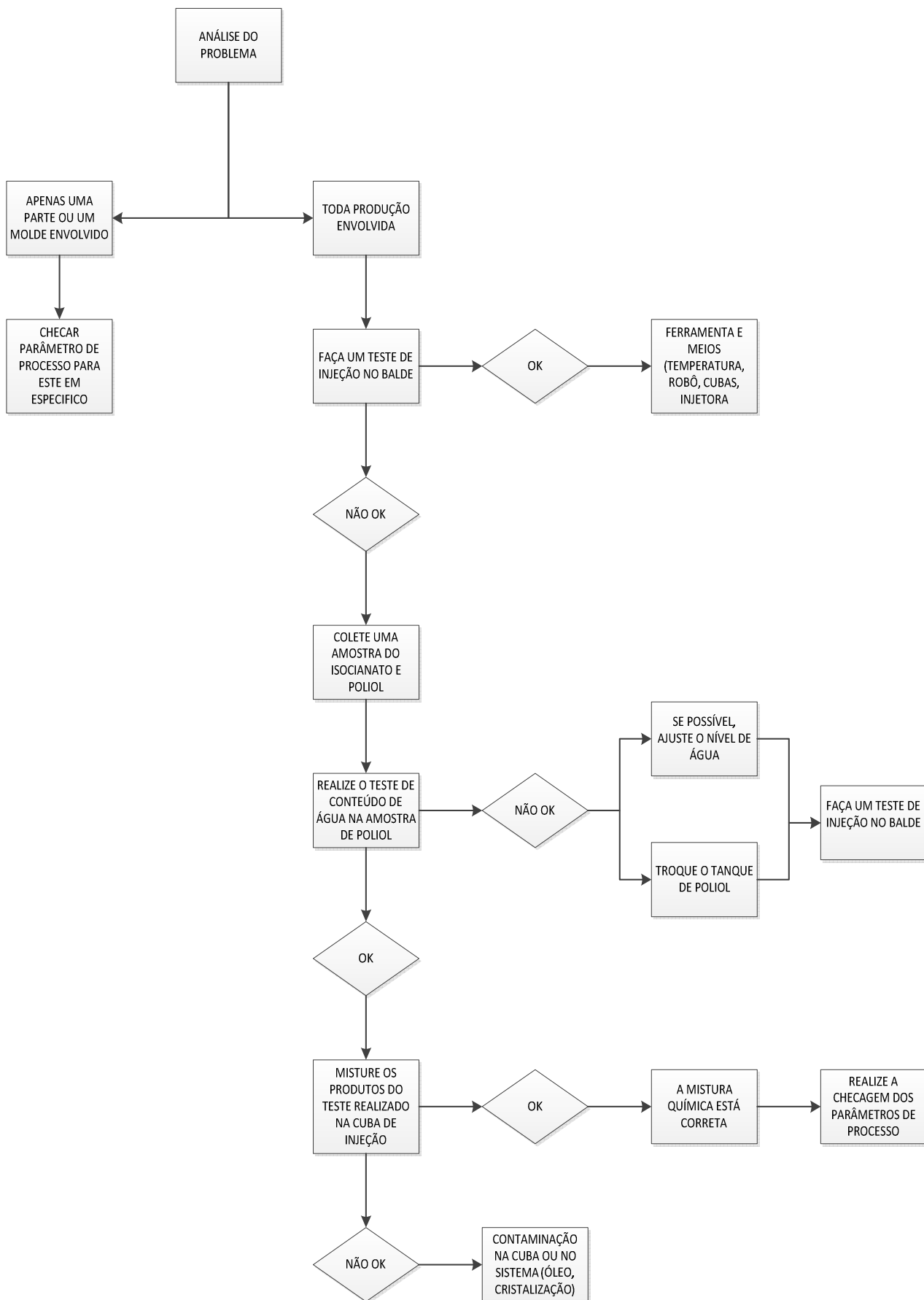


Figura 31 - Fluxo de tratativa para problemas

4.7.1. Colapsos:

ESPECIFICAÇÕES

- Mistura insuficiente entre isocianato e polioli;
- Verificar as pressões de mistura de isocianato e polioli;
- Verificar a temperatura hidráulica e a pressão hidráulica;
- Reatividade excessiva;
- Verificar as temperaturas dos componentes Polioli / Isocianato;
- Verifique a temperatura do molde;
- Revise o trabalho do índice de especificação de relação entre Isocianato e Polioli e compare-o com a formulação recomendada.

MÁQUINA

- Contaminação de óleo proveniente do circuito hidráulico / cabeça de mistura.

OPERADOR / PROCESSO / MOLDE

- Ar não devidamente evacuado (saídas de ar com espuma ou excesso de desmoldagem, resíduos nas saídas de gás, pois solvente, água ou outro material volátil pode criar um vazio. Limpe o molde);
- Contaminação devido a inserções;
- Fechamento do molde muito lento. Espuma já crescida;
- União de duas espumas de diferente reatividade / composição.

FORMULAÇÃO

- Verifique se os tanques de agitação estão corretos;
- Faça um teste de composição;
- Verificar a pesagem dos aditivos (estabilizadores, abridor de células e água).



Figura 32 - Falha de Colapso

4.7.2. Encolhimento:

ESPECIFICAÇÕES

- Verifique as especificações de injeção (peso da peça);
- Verificar as temperaturas dos componentes Polioli / Isocianato, caso o material esteja muito quente, diminua a temperatura dos moldes;
- Verifique a temperatura do molde;
- Revise o trabalho do índice de especificação de relação entre Isocianato e Polioli e compare-o com a formulação recomendada.

MÁQUINA

- Verifique se a máquina está realizando a dosagem correta;
- Verifique a calibração da injetora.

OPERADOR / PROCESSO / MOLDE

- O ar não foi adequadamente evacuado (verifique os tempos de amortecimento do molde, o tempo de polimerização da formulação e o tempo de abertura do molde);
- Revise o tempo que decorre depois que a peça é removida e a peça chega ao equipamento mecânico para esmagar as células de poliuretano. (muito longe);
- Equipamento mecânico para triturar células de poliuretano não otimizado. ("Calandragem").

FORMULAÇÃO

- Verifique se os tanques de agitação estão corretos;
- Faça um teste de composição;
- Verificar a pesagem dos aditivos (estabilizadores, abridor de células e água).



Figura 33 - Falha de encolhimento

4.7.3. Furos / Espaços vazios:

ESPECIFICAÇÕES

- Verifique as especificações de injeção (peso da peça);
- Verificar as temperaturas dos componentes Polioliol / Isocianato;
- Revise o trabalho do índice de especificação de relação entre Isocianato e Polioliol e compare-o com a formulação recomendada.

MÁQUINA

- Verifique se a máquina está realizando a dosagem correta;
- Verifique a calibração da injetora.

OPERADOR / PROCESSO / MOLDE

- Ar não devidamente evacuado (verifique os tempos de amortecimento do molde, o tempo de polimerização da formulação e o tempo de abertura do molde);
- Distribuição de PU não otimizada (Programa Robô para processo de injeção com molde aberto);
- Verificar tipo de malha (mais ou menos absorvente).

FORMULAÇÃO

- Faça um teste de composição para verificar a água;
- Teste de Paquest (Reatividade e Densidade).



Figura 34 - Falha de furos / espaços vazios

4.7.4. Mistura insuficiente:

ESPECIFICAÇÕES

- Insuficiente mistura entre Isocianato e Polioli;
 - Checar as pressões de mistura do Isocianato e Polioli;
 - Checar a temperatura do hidráulico e a pressão do hidráulico.

- Checar e limpar bico da injetora e agulhas;
- Revise o trabalho do índice de especificação de relação entre Isocianato e Polioliol e compare-o com a formulação recomendada.

MÁQUINA

- Mau funcionamento da bomba (não fornece fluxo adequado);
- Cabeçote de injeção com mau funcionamento.

OPERADOR / PROCESSO / MOLDE

- Não aplicável.

FORMULAÇÃO

- Não aplicável.



Figura 35 - Falha de mistura insuficiente

4.7.5. Marcas / Deformações / Rasgos:

ESPECIFICAÇÕES

- Revise o trabalho do índice de especificação de relação entre Isocianato e Polioliol e compare-o com a formulação recomendada.

MÁQUINA

- Verifique se a máquina está realizando a dosagem correta;
- Verifique a calibração da injetora.

OPERADOR / PROCESSO / MOLDE

- A temperatura do molde não é alta o suficiente ou o molde não retém bem o calor;
- Aplicação incorreta do desmoldante;
- Revise o método de desmoldagem (tempo mínimo de desmoldação da polimerização);
- Revise o tempo que decorre depois que a peça é removida e a peça chega ao equipamento mecânico para esmagar as células de poliuretano. (muito perto).

FORMULAÇÃO

- Faça um teste de composição para verificar a água;
- Teste de Paquest (Reatividade e Densidade).



Figura 36 - Falha de marca, deformação e rasgo

4.7.6. Desmoldante / Temperatura do Molde:

ESPECIFICAÇÕES

- Verificar as taxas de fluxo especificadas para o desmoldante do molde (g / min);
- Verificar o tempo decorrente entre o tempo de aplicação e a injeção da espuma (considerar tempo mínimo de 60s).

MÁQUINA

- Não aplicável.

OPERADOR / PROCESSO / MOLDE

- A temperatura do molde não é alta o suficiente ou o molde não retém bem o calor;
- Aplicação incorreta do desmoldante. Deve realizar o treinamento da equipe envolvida no processo;
- Verifique se os filtros estão limpos, caso estejam sujos, os elementos responsáveis pelo teor de sólidos não passarão de forma adequada para cobrir a superfície do molde;
- Verificar se o sistema de agitação e / ou recirculação do desmoldante funciona corretamente;
- Verifique se o sistema de aquecimento de moldes e cubas estão funcionando corretamente;
- Sistema de aquecimento do molde não distribuído de maneira adequada por toda superfície.

FORMULAÇÃO

- Verificar composição do desmoldante, avaliando se o teor de sólido está conforme sua formulação.



Figura 37 - Falha de temperatura do molde incorreta

4.8. Layout da linha após projeto de melhoria

Com a realização do projeto, houve alterações do layout da linha, pois houve uma melhora no fluxo devido não haver peças para retrabalho em fluxo no posto de trabalho devido aos rasgos.

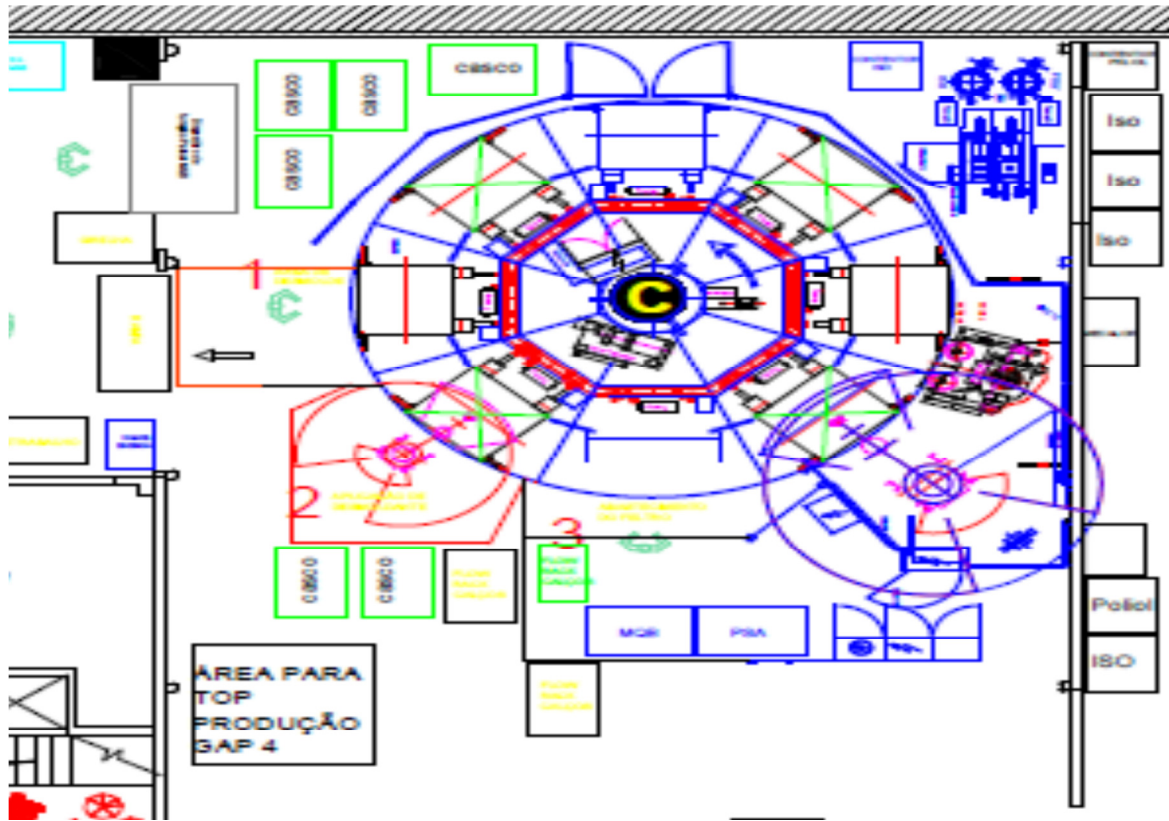


Figura 38 - Layout da linha no final do projeto

5. CONCLUSÕES

Foi possível obter grandes ganhos através do projeto de melhoria, trabalhando de maneira coordenada, onde a principal chave para o sucesso foi o empenho da equipe multifuncional.

O objetivo do projeto era atingir o OEE da linha estudada para 80%, de maneira que iremos atuar na redução da parada de linha e na redução do PPM até novembro/2017, de maneira que fosse possível eliminar a necessidade de horas adicionais ao final do turno para que fosse finalizada a demanda do cliente.

Os resultados métricos obtidos foram:

- Aumento da produtividade de 42 peças/hora para 60 peças/hora;
- Redução de consumo de Isocianato e do Polioli em 17%, devido à diminuição do retrabalho e necessidade de maior injeção para compensação devido às falhas;
- Aumento do OEE da linha para 92% em média nos seis primeiros meses do ano de 2018;
- Foi realizado o levantamento de peças produzidas durante o mês de maio, onde em um total de 16632 unidades, 132 unidades foram consideradas rejeitos, portanto obteve um DPMO de 7936;
- Redução de MOD adicional para retrabalhar peças;
- Não foi necessário haver horas adicionais para compensar ineficiência de OEE para atender volume diário de produção do cliente;
- Aumento da disponibilidade de máquina que pode ser destinado a novos projetos;
- Eliminação da necessidade de armazenamento do estoque de segurança, que era mantido além do habitual devido ao risco de não conseguir atender a demanda de produção;
- Eliminação de incidentes de defeitos apontados pelo cliente nos últimos seis meses.

Através do resultado do estudo de caso, conseguimos atingir um nível de excelência que não haveria se não fosse realizado o trabalho, devido a isso se tornou imprescindível à utilização desta ferramenta dentro da empresa para solucionar grandes problemas em busca de ótimos resultados.

A satisfação da equipe operacional fez com que eles apresentassem maior motivação e disposição para a realização das tarefas, além de um maior envolvimento com as ações na linha com ideias que servem para melhoria contínua do processo.

6. REFERÊNCIAS

Absorção sonora x Isolamento acústico: entenda as diferenças. **AECweb**. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br>> Acesso em: 16 de mar. de 2018.

Acústica. **Algo Sobre**. Disponível em: <<https://www.algosobre.com.br/fisica/acustica.html>> Acesso em: 16 de mar. de 2018.

ANDRADE, C.T.; COUTINHO, F.M.B.; DIAS, M.L.; LUCAS, E.F.; OLIVEIRA, C.M.F. e TABAK, D. **Dicionário de polímeros**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

BRUINS, P.F. **Polyurethane technology**. New York: Interscience Publishers, 1969.

CAMPOS, Vicente Falconi. TQC. **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do dia-a-dia**. 1. ed. Editora Bloch editores S.A, 1994.

CANGEMI, J.M. **Biodegradação de poliuretano derivado do óleo de mamona**. 2006. 132 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

CORRÊA, H. L. & CORRÊA, C. A. **Administração de produção e de operações: Manufatura e serviços: um enfoque estratégico**. São Paulo. Atlas, 2005.

DELPECH, Marcia, **Poliuretanos como materiais de revestimento de superfície**. São Carlos, 1999.

FUEST, R., **What Polyurethanes? Where?**. Crompton Corp, 2007.

GODINHO FILHO, M.; FERNANDES, F. C. F. **Manufatura Enxuta: Uma Revisão que Classifica e Analisa os Trabalho Apontando Perspectivas de Pesquisas Futuras**. **Gestão & Produção**. v. 11, n. 1, p. 1-19, jan-abr, 2004.

GONZÁLES, J. C. S.; MIGUEL, P. A. C. **Uma Contribuição à Interpretação da QS 9000. Programa de Mestrado em Engenharia de Produção. Núcleo de Gestão da Qualidade & Metrologia**. Centro de Tecnologia, Universidade Metodista de Piracicaba. ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 1998.

GREEN, T. - **Sistemas PU para Indústria de Transporte**, Feipur, 2006.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**; v. 2, 4ª edição, LTC, 1996.

HARMON, R. L.; PETERSON, L. D. **Reinventando a fábrica: Conceitos modernos de produtividade aplicados na prática**. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1991.

HARRY, Mikel J; LAWSON, J. Ronald, **Six sigma Producibility analysis and process characterization**, Massachusetts: Addison – Wesley Publishing Company, 1998.

ISHIKAWA, Kaoru. **Controle de Qualidade Total: à maneira japonesa**. Rio de Janeiro: Campos, 1993.

KANNENBERG, G. **Proposta de sistemática para a implantação de Troca Rápida de Ferramentas**. Porto Alegre, 1994 – dissertação de Mestrado em Engenharia da Produção – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

KEPNER & TREGOE. **O Administrador Racional - Uma abordagem sistemática à solução de problema e tomada de decisões**. 2 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2001.

KUME, Hitoshi. **Métodos estatísticos para melhoria da qualidade**. São Paulo: Editora Gente, 1993.

Lean Seis Sigma. **Voitto**. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/lean-seis-sigma>>. Acesso em: 12 de abr. de 2018.

LOPES, Carlos Roberto. **Lean Manufacturing – O segredo da melhoria contínua**. Disponível em: <<http://www.artigos.com>>. Acesso em: 11 abril 2018.

MARQUES, Jair Mendes; MARQUES, Marcos Augusto Mendes. **Estatística Básica os Cursos de Engenharia**. Curitiba: Editora Domínio do Saber, 2005.

MARTINS, Petrônio; Garcia, LAUGENI, Fernando P. **Administração da produção**, 2 ed. São Paulo: Saraiva 2005.

MAXIMIANO, Antônio César Amaru. **Teoria Geral da Administração: da revolução urbana à revolução digital**. 5. ed. – São Paulo: Atlas, 2005.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

MOTA, Edmarson Bacelar; LEUSIN, Sérgio. **Gestão da Qualidade**. 8. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

OHNO, Taiichi (1988) **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997 (edição norte-americana de 1988 e primeira edição japonesa de 1978).

PASSERI, L. **Absorção sonora x isolamento acústico: entenda as diferenças**. Disponível em: <<http://www.aecweb.com.br>>. Acesso em: 11 abril 2018.

Product Expertise. **Trèves Group**. Disponível em: <<https://www.treves-group.com/en/product-expertise>>. Acesso em: 14 de dez. de 2017.

RAMOS, A. W. **CEP para processos contínuos e em bateladas**. São Paulo: Fundação Vanzolini, 2000.

RANDALL, D.; LEE, S. **The Polyurethanes Book**, New York, Wiley Ltd., 2002.

RODRIGUES, Marcus Vinicius. **Ações para a qualidade: GEIQ, gestão integrada para a qualidade: padrão seis sigma, classe mundial**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004.

SANTOS, A. . **Application of flow principles in the production management of construction sites**. PhD Thesis of School of Construction and Property Management, Salford, England, 1999.

SANTOS, A. **Qualidade e Produtividade**. 1. Ed. - Belo Horizonte, Grupo Anima Educação, 2014.

SHINGO, S. . **O sistema Toyota de produção: do ponto de vista da engenharia de produção**. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SILVEIRA, Cristiano. **OEE, cálculo de eficiência da planta e integração de sistemas**. Sorocaba, 2016.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SOUZA, R. **Método para aplicação de técnicas de redução de desperdícios como meio para aumento de produtividade em indústrias gráficas**. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 2009.

TAYLOR, Frederick W. **Princípios da administração científica**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1995.

VILAR, W.D. **Química e tecnologia dos poliuretanos**. Rio de Janeiro: Vilar, 1999.

WERKEMA, Maria C. C. **TQC - série ferramentas da qualidade: As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos**. Editora Qfc. v. 1. 1995.

WOODS, G. **Flexible polyurethane foams**. London: Applied Science Publishers, 1982.