

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**APLICAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES INTEGRADA AO
SEIS SIGMA BUSCANDO A GERÊNCIA DE GARGALOS NO
PROCESSO PRODUTIVO SMT**

NEWTON PINHEIRO BITAR

MANAUS
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

NEWTON PINHEIRO BITAR

**APLICAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES INTEGRADA
AO SEIS SIGMA BUSCANDO A GERÊNCIA DE GARGALOS
NO PROCESSO PRODUTIVO SMT**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração Gestão de Produção.

Professor Orientador: Dr. Daniel Reis Armond

MANAUS

2015

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

B624a	Bitar, Newton Pinheiro Aplicação da Teoria das Restrições integrada ao Seis Sigma buscando a gerência de gargalos no processo produtivo smt / Newton Pinheiro Bitar. 2015 89 f.: il. color; 31 cm. Orientador: Prof. Dr. Daniel Reis Armond Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Amazonas. 1. TOC. 2. Teoria das Restrições. 3. Seis Sigma. 4. Ganho. 5. Lucro. I. Armond, Prof. Dr. Daniel Reis II. Universidade Federal do Amazonas III. Título
-------	---

RESUMO

Cada vez mais as empresas de Manufatura, principalmente as que produzem commodities, procuram por melhorias de processos, consequentemente buscando melhores lucros. A rentabilidade dessas empresas vem diminuindo cada vez mais, devido à alta competitividade ou a falta de qualidade no seu processo. Em virtude de uma dinâmica com muitas variações, torna-se um problema não determinístico. Os estudos sobre as filosofias de gestão tem sido insumo importante para que os gestores possam entender os problemas no seu processo e buscar as soluções mais eficientes. Em se falando em Processo Produtivo, algumas lacunas vêm sendo preenchidas com as aplicações de algumas técnicas ou a adoção de algumas filosofias voltadas para o Gerenciamento e Otimização da Produção, mas em alguns casos, os resultados esperados não são suficientes. Um Sistema de Produção é constituído por recursos que podem ou não interagir entre si, ou seja, dependentes ou não dependentes, sempre levando em conta o método utilizado, que também depende do produto final. O presente trabalho proporcionou uma minimização de desperdício, maximizou o lucro, melhorou a identificação do gargalo, completou as lacunas faltantes, proporcionou uma utilização pareada (integrada) da Teoria das Restrições junto com Seis Sigma, tratamos o gargalo, junto com o estoque em processo (inventário), resultando assim em um ganho na produção e consequentemente aprimorando o lucro. Para tal, fizemos uso da Teoria das Restrições (***Theory of Constraints – TOC – 1984, que foi criada pelo físico israelense Eliyahu Goldratt, tão logo depois tornou-se um dos maiores consultores no ramo de Gestão Empresarial***), junto com Seis Sigma (***originalmente desenvolvida pela Motorola – Anos 80***). A abordagem foi baseada na Gerência do(s) Gargalo(s), utilizou-se algumas ferramentas estatísticas do seis sigma para a apresentação dos resultados.

Palavras-Chave: TOC, Teoria das Restrições, Seis Sigma, Ganho, Lucro, Gargalo. Desperdício, Inventário.

ABSTRACT

Increasingly, Manufacturing companies, especially those that produce commodities, they are looking for process improvements, thus seeking better profits. The profitability of companies is decreasing more and more, due to high competitiveness or lack of quality in their process, because a dynamic with many variations, it becomes a non-deterministic problem. Studies on management philosophies has been important input so that managers can understand the problems in the process and seek the most efficient solutions. When talking about in Production Process, some gaps have been filled with the application of some techniques or adopting some philosophies focused on the management and optimization of production, but in some cases, expected results are not enough. A Production System consists of features that may or may not interact with each other, that is, dependent or not dependent, taking into account the method used, which also depends on the final product. This work provided a minimization of waste, maximize profit, improved the identification of bottleneck, completed the missing gaps, provided a paired use (integrated) Restriction of Theory with Six Sigma, we treat the neck, along with the in-process inventory (inventory), resulting in a gain in production and consequently improving profit. To do this, we use the Theory of Constraints **(Theory of Constraints - TOC - 1984, which was created by Israeli physicist Eliyahu Goldratt, so soon after became one of the largest consultants in the Corporate Management Branch), along with Six Sigma (originally developed by Motorola – years 80)**. The approach was based on the Management of) Bottlenecks), used some statistical tools of Six Sigma for the presentation of results.

Keywords: TOC, Theory of Constraints, Six Sigma, Gain, Profit, Bottleneck. Waste, inventory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Recurso Gargalo.....	20
Figura 2 - Método TPC	22
Figura 3 - Estrutura Organizacional - Seis Sigma.....	34
Figura 4 - Formula da Pontuação Z	38
Figura 5 - Exemplo de uma Carta de Controle.....	40
Figura 6 - Diagrama de Pareto	42
Figura 7 - Diagrama de causa e efeito.....	44
Figura 8 - Histograma	45
Figura 9 - Integração da Teoria das Restrições com o Seis Sigma.....	48
Figura 10 - Tecnologia de Montagem em Superfície (SMT).....	56
Figura 11 - Tecnologia PTH	56
Figura 12 - Disposição Linha de Montagem SMT Básica - (IAC).....	59
Figura 13 - Processo de aplicação da pasta de solda.....	60
Figura 14 - Componente SMD montado e soldado	61
Figura 15 - Perfil Térmico do Forno de Refusão.....	62
Figura 16 - Fluxograma do Processo de Produção SMT	63
Figura 17 - Disposição da Linha no momento do estudo.....	63
Figura 18 - Método de Otimização de Linhas SMT	64
Figura 19 - Ocupação SMD x VPE.....	66
Figura 20 - Fluxo do Processo.....	67
Figura 21 - Ciclo por Máquina.....	67
Figura 22 - Ciclo por Máquina.....	69
Figura 23 - Diagrama de Cause e Efeito (ISHIKAWA)	69
Figura 24 - Plano de Ação.....	71
Figura 25 - Printer	72
Figura 26 - SPI (Solder Paste Inspection)	73
Figura 27 - Diagrama de Dispersão – Ciclo Printer após as melhorias.....	74
Figura 28 - SET Parâmetros Printer.....	75
Figura 29 - Tempo do Ciclo por Máquina – Situação Atual	75
Figura 30 - Nova Disposição da Linha SMD	76
Figura 31 - Carta de Controle X.....	77
Figura 32 - Carta de Controle S.....	77
Figura 33 - Gráfico de Distribuição - Antes das Melhorias	78
Figura 34 - Gráfico de Distribuição - Depois das Melhorias	78

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Escala Seis Sigma	31
QUADRO 1 - Comparação de Programas de Melhorias.....	47
TABELA 2 – Configuração Parâmetros Printer Gargalos	69

LISTA DE SIGLAS

AOI	Automated Optical Inspection
BOTTOM	Parte Inferior da PCB
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
DMADV	Define, Measure, Analyze, Design, Verify
CEP	Controle Estatístico de Processo
CPK	Índice de Capacidade de um Processo
IAC	Inserção Automática de Componentes
IMC	Inserção Manual de Componentes
IROG	Índice de Rendimento Operacional Global
LEAN	Enxuto
MF	Montagem Final
MIX	Mixada, Misturada
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OPT	Optimized Production Technology
PCB	Printed Circuit Boards
PDCA	Plan, Do, Check, Act
PPM	Partes por Milhão
PTH	Pin Through Hole
SMD	Semi Metalic Disc
SMT	Surface Mount Tecnology
SOIC8	Small Outline Integrated Circuit
SPI	Solder Paste Inspection
SS	Seis Sigma
STP	Sistema Toyota de Produção
TH	Through Hole
TOC	Teoria das Restrições
TOP	Parte Superior da PCB
TPC	Tambor-Pulmão-Corda (<i>Drum-Buffer-Rope</i>)
VHS	Vídeo Home System

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 - Cálculo do IROG.....	24
----------------------------------	----

SUMÁRIO

RESUMO.....	4
ABSTRACT	5
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE SIGLAS	8
LISTA DE EQUAÇÕES	9
1. INTRODUÇÃO	12
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2. JUSTIFICATIVA	13
1.3. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVO GERAL	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1. TEORIA DAS RESTRIÇÕES	17
3.1.1. O MÉTODO TAMBOR-PULMÃO-CORDA	19
3.1.1.1. O PROCESSO SISTÊMICO TAMBOR-PULMÃO-CORDA	20
3.1.1.2. RESTRIÇÕES INTERNAS COMO ELEVAR A CAPACIDADE	22
3.1.2. OS CINCO PASSOS DA TOC	27
3.1.3. OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO NA VISÃO DA TOC – NOVE REGRAS DA OPT	28
3.2. SEIS SIGMA: VISÃO GERAL.....	30
3.2.1. METODOLOGIA GERENCIAL DO SEIS SIGMA	31
3.2.2. ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DO SEIS SIGMA	33
3.2.3. INDICADORES DE DESEMPENHO – SEIS SIGMA	35
3.2.4. FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS USADAS PELO SEIS SIGMA	36
3.2.4.1. SISTEMA DE MEDIÇÃO	36
3.2.4.2. MEDIDAS DE DISPERSÃO	36
3.2.4.2.1. VARIABILIDADE.....	36
3.2.4.2.2. DESVIO PADRÃO	37
4. INTEGRAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES COM SEIS SIGMA	46
5. GERENCIAMENTO DE PROCESSOS DE MANUFATURA	51
6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	53

6.2.	DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	54
7.	PROCESSO DE FABRICAÇÃO SMT.....	55
7.1.	TECNOLOGIA DE MONTAGEM EM SUPERFÍCIE (SMT)	57
7.2.	PROCESSO DE MONTAGEM UTILIZANDO TECNOLOGIA (SMT) ..	58
8.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	68
9.	CONCLUSÃO.....	80
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Com o avanço da tecnologia o consumidor torna-se um parceiro cada vez mais exigente por produtos com mais qualidade e valor agregado. O crescente aumento da competitividade faz com que as empresas invistam mais em novas formas de gestão e a busca por novas formas mais eficientes de gerenciar seus negócios desperta o interesse em pesquisas mais contundentes, motivadas por alguns aspectos, como:

- Competitividade de mercado;
- Consumidor mais exigente;
- Mudanças de produtos com maior frequência, permitidas pelo avanço da tecnologia;

As empresas notaram que é indispensável a busca por um melhor desempenho organizacional. A combinação de diversas filosofias de gerenciamento vem deixando as empresas mais competitivas, com mais flexibilidade e capacidade de reação às mudanças do mercado. Duas dessas filosofias são tratadas nesse trabalho:

- Teoria das Restrições (TOC);
- Seis Sigma;

A TOC propõe uma nova maneira de se entender e gerenciar organizações, tendo como enfoque principal à maximização dos resultados operacionais e estratégicos da empresa, criando mecanismos para avaliar como as decisões de melhorias pontuais afetam o desempenho do sistema como um todo, sem visar, para tal, eficiências locais (ALMEIDA, 2007).

Por sua vez, para a filosofia Seis Sigma a variação é um fato da natureza, ou seja, sempre está presente em qualquer processo produtivo. Todavia, quanto menor for as variações durante um processo, mais eficiente ele será. Portanto, para o Seis

Sigma, deve-se procurar sempre buscar que a variação seja mínima para não afetar o desempenho do processo (PANAZZO, 2009).

Segundo Gershon (2010), melhorar a qualidade dos processos e manter níveis aceitáveis de desempenho são fatores críticos para o sucesso de qualquer organização.

No entanto, faz-se necessária uma discussão para definir até que ponto as metodologias de implementação de projetos Seis Sigma são capazes de medir o impacto que as reduções de variabilidades locais têm no desempenho global da organização e, em última instância, em sua lucratividade (ALMEIDA, 2007).

As organizações estão passando por rápidas mudanças em todos os aspectos operacionais. As mesmas precisam melhorar os seus processos e modelo de negócio, para alcançar as demandas, satisfação e manter um patamar competitivo no mercado (RASHID e AHMAD, 2014).

Muitas organizações que aplicam projetos Seis Sigma se empenham em identificar e calcular os benefícios potencialmente advindos deste tipo de projeto. Tais benefícios, geralmente, estão voltados às eliminações de desperdícios que, em última análise, refletem-se em reduções dos custos organizacionais. Trata-se de um processo complexo, particularmente quando estão envolvidas diversas etapas interdependentes, dentre as quais, a identificação da restrição do processo, etapa fundamental segundo a abordagem TOC, e que nem sempre é a principal preocupação da filosofia Seis Sigma. A TOC, por outro lado, a partir de sua visão sistêmica, visa identificar iniciativas de melhoria com foco no aumento do ganho da empresa, e não na redução de custos/desperdícios (ALMEIDA, 2007).

1.2. JUSTIFICATIVA

Máquinas insersoras de componentes são amplamente utilizadas na indústria eletrônica moderna para a montagem automática de placas de circuito impresso. Essas placas formam a parte principal dos equipamentos eletrônicos tanto de entretenimento (tais como rádios, televisores, dvd players, etc.), como de informática (tais como microcomputadores, monitores de vídeo, etc.).

Nesse contexto, o presente trabalho justificou-se, do ponto de vista prático, como um método de Controle de Processo integrado e adaptável, orientado a resultados, que permite reduzir a indisponibilidade das máquinas em um processo produtivo. Contribuiu-se ainda para a redução de custos com o auxílio das ferramentas de controle estatísticos do Seis Sigma. Adicionalmente, favorece a identificação do gargalo (restrição) do processo produtivo através da aplicação da TOC, e do OEE *Overall Equipment Effectiveness*, como uma medida para se avaliar a performance global de um equipamento.

Além disso, muitas obras tratam o tema “*Otimizar a disponibilidade de Máquinas no processo produtivo SMT*”, mencionando apenas a otimização das máquinas insersoras, utilizando algoritmos que fazem uso de inteligência artificial para melhorar o desempenho isolado, ou seja, da máquina mencionada ou por vezes otimizando o tempo de setup, algumas até utilizando a TOC para levantar as restrições de tempos.

Porém, por se tratar de um processo onde a máquina insersora é um membro do mesmo, observou-se o todo, para obter-se um ganho significativo em relação ao processo anterior, para isso foi necessário analisar desde a primeira máquina no caso o alimentador até a fase de testes que finaliza na OAI.

Do ponto de vista teórico e referencial, foram identificados poucos trabalhos relacionados ao uso de duas ou mais metodologias de gerenciamento ou controle de produção, usadas de forma integradas e com resultados satisfatórios. Nesse sentido, fez-se necessário uma abordagem para determinar o quanto essas filosofias são eficientes quando usadas de forma complementares.

O presente trabalho teve como contribuição a redução dessa lacuna ao fazer uso das ferramentas estatísticas da filosofia Seis Sigma, com foco na variabilidade e lucratividade, combinadas com a TOC, com uma visão mais sistêmica concentrada em iniciativas de melhorias no aumento do ganho organizacional.

1.3. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa limita-se em analisar, adaptar e aplicar o modelo proposto por Ehie e Sheu (2005), de integração da TOC com Seis Sigma, em um

processo produtivo do tipo Surface Mount Technology (SMT), localizado na área da IAC (Inserção Automática de Componentes), na máquina PRINTER em uma organização industrial do polo eletroeletrônico de Manaus-Amazonas. Estão excluídas do escopo da presente pesquisa outras etapas do processo, tais como:

- Outras Máquinas da IAC;
- IMC (Inserção Manual de Componentes);
- MF (Montagem Final);
- TESTES;

Além disso, ficam de fora do escopo dessa pesquisa os fatores que possam contribuir para resultados negativos (Indisponibilidade), através de paradas de linha por exemplo:

- Falta de material;
- Falta de energia;
- Manutenção corretiva;
- Má qualidade do material;

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Propor um modelo de gerenciamento de processos produtivos baseado nos fatores de convergências entre a Teoria das Restrições e a filosofia Seis Sigma aplicável à área de Inserção Automática de Componentes de uma indústria de Eletroeletrônico, localizada no Polo Industrial de Manaus.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os modelos de integração entre Teoria das Restrições e Seis Sigma propostos na literatura;
- Verificar a aplicabilidade da Teoria das Restrições para identificação dos gargalos produtivos de uma linha de Inserção Automática de Componentes SMD.
- Analisar, por meio do Seis Sigma, o tempo de indisponibilidade das Máquinas de uma linha de Inserção Automática de Componentes SMD do processo produtivo SMT.

CAPÍTULO II

3. REVISÃO DA LITERATURA

Nesse capítulo são apresentados os conceitos básicos para o bom entendimento dessa proposta de pesquisa. A composição do Referencial Teórico divide-se em: Teoria das Restrições; Seis Sigma e Processo Produtivo SMT

3.1. TEORIA DAS RESTRIÇÕES

A Teoria das Restrições (*Theory Of Constraints* – TOC) foi criada pelo físico Israelense Eliyahu Goldratt que com ela, tornou-se um importante consultor de gestão empresarial. Quando ainda estudante de física, desenvolveu para um amigo um sistema de planejamento de fábrica para a produção de gaiolas para aves. O sucesso desse empreendimento foi a base do *software* OPT (Optimized Production Technology), voltado para a programação da produção. No final dos anos 1970, a empresa Creative Output Inc., foi fundada para a comercialização desse sistema. Filiais dessa empresa foram abertas nos Estados Unidos e em alguns países da Europa. Aperfeiçoamento que se seguiram, em função da aplicação prática dessa sistemática, criaram uma série de princípios que constituíram o pensamento da tecnologia de produção otimizada (OPT). Apesar desse sucesso inicial, ele ainda não havia divulgado nenhuma teoria inerente ao *software* OPT (COGAN, 2007).

(COGAN, 2007) também cita que Goldratt observou que começou a haver uma certa resistência na aplicação do programa. Decidiu, então, com a edição de alguns livros sobre o tema, corrigir essa dificuldade. Em 1984, publicou, nos Estados Unidos, o livro *The Goal (A Meta)* em parceria com Jeff Cox. Além desse livro em que são estudados os princípios básicos da teoria das restrições, Goldratt escreveu em 1986 *The Race*, o qual representa uma contribuição técnica para promover melhorias nas empresas por meio de um processo de aprimoramento contínuo. Esse livro foi escrito em parceria com Robert Fox.

segundo Cogan (2007), Goldratt observou, então, que os conceitos descritos no livro *A Meta* estavam sendo implementados com sucesso pelas empresas que

não tinham o software OPT. Vale destacar que, em muitos casos, a implementação dos princípios apresentados em A Meta foram mais bem-sucedidos que propriamente do OPT. Em consequência disso, Goldratt decidiu dar mais importância à sua atividade educativa do que propriamente ao software OPT. Assim, na metade da segunda década de 1980, ele vendeu a empresa que comercializava o *software* OPT (Creative Output Inc) e criou nos Estados Unidos, juntamente com Fox, The Avraham Y. Goldratt Institute, com a finalidade de comercializar a parte educativa de sua teoria.

(REIS, 2004) comenta que na TOC somente existe uma única meta – “Ganhar Dinheiro”. Dessa maneira, a teoria das restrições define os seguintes parâmetros que auxiliam a medição do grau de alcance da meta:

- Lucro Líquido: mede o quanto de dinheiro, em termos absolutos, a empresa está gerando, sendo definido como o ganho menos a despesa operacional.
- Retorno sobre o investimento: dimensiona o esforço necessário para o alcance de um determinado nível de lucro, sendo definido como o lucro líquido dividido pelo inventário.
- Cabe esclarecer que na TOC o ganho corresponde ao preço de venda menos o montante de valores pagos.
- O inventário é definido como todo o dinheiro que o sistema investe na compra de artigos que ele pretende vender (abrangendo o conceito clássico mais os ativos);
- A despesa operacional é definida como todo o dinheiro que o sistema gasta para transformar o inventário em ganho, do ponto de vista prática (o modelo considera que todo o dinheiro gasto com algo que não possa ser guardado para um uso futuro faz parte da despesa operacional).

Já Cruz (2010), discute que para a TOC, o problema da empresa em não alcançar a sua meta, não deriva de sistemas de análise de custeio, mas sim da identificação das restrições que acometem seu processo produtivo. De acordo com o

autor, a TOC tem como premissa básica o gerenciamento de limitações, restrições ou gargalos e considera que toda a organização (empresarial ou não) possui uma meta principal que enfrenta restrições internas e/ou externas para ser alcançada. Restrição é todo e qualquer entrave que engessa ou dificulta seu processo produtivo, tais como gargalos na produção, falta de matéria-prima que compromete a sequência da linha de produção, necessidade de treinamentos, recursos escassos, fatores externos, dentre outros.

A meta empresarial, na perspectiva da TOC, pode ser definida como ganhar dinheiro no presente e no futuro, e a maneira de alcançá-la é incrementar o ganho da empresa (CRUZ, 2010).

Embora a primeira aplicação da Teoria das Restrições tenha sido na logística de produção, ela não está restrita ao campo da administração da produção. O conceito de gerenciamento das restrições nela apresentado é de uso geral aos demais setores de negócios. Cabe destacar que a aplicação da TOC em logística de produção é conhecida como método TPC, tambor-pulmão-corda. Outros livros de Goldratt demonstram a aplicação do método tambor-pulmão corda na logística de distribuição e no gerenciamento de projetos (COGAN, 2007).

3.1.1. O MÉTODO TAMBOR-PULMÃO-CORDA

O gerenciamento das restrições pressupõe a existência, em qualquer sistema, de um ou mais recursos gargalos (restrições). Numa corrente, o rompimento se dará no elo mais fraco (COGAN, 2007).

Segundo Cogan (2007), o desenvolvimento do método tambor-pulmão-corda, característico da aplicação na logística de produção, foi feito por meio da analogia com uma tropa conforme exposto no livro “A Corrida” (Goldratt e Cox, 1997). Para os autores, uma tropa de soldados é bastante semelhante a uma operação fabril.

(COGAN, 2007) também faz uma analogia ao tambor como sendo o recurso que desenvolve os planos e os programas para a data em que o material deve ser adquirido e processado. As batidas do tambor são os programas de produção, que ditam quando e qual material deve ser processado pelos recursos de produção. O tambor desenvolve os planos e os programas para a data em que o material deve

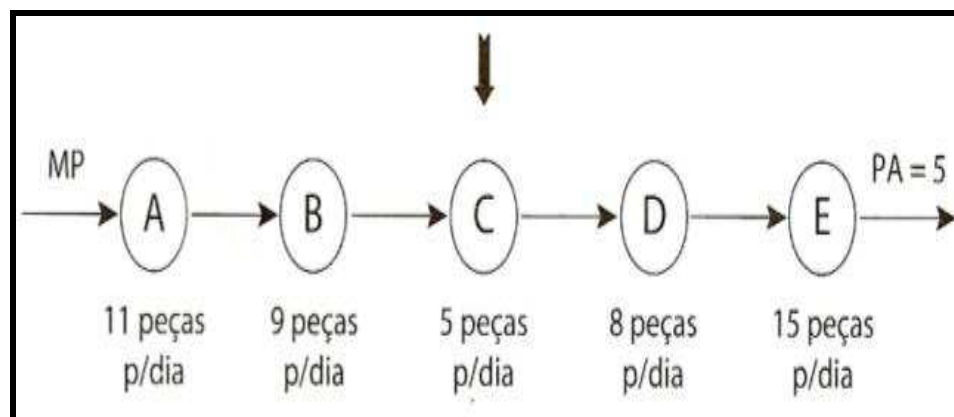
ser adquirido e processado. O pulmão é um estoque regulador, que faz com que o gargalo se mantenha ocupado. A corda é a quantidade de estoque que ele pode processar.

Para Sharagenheim e Ronen (1990), a metodologia tambor-pulmão-corda está sendo implementado em um número crescente nas organizações de manufatura, permitindo uma melhor programação da produção e melhoria na tomada de decisão sobre o chão de fábrica.

3.1.1.1. O PROCESSO SISTÊMICO TAMBOR-PULMÃO-CORDA

O Gerenciamento das Restrições pressupõe a existência, em qualquer sistema, de um ou mais recursos gargalos (restrições). A Figura 1 ilustra um processo de operação constituído de cinco máquinas ou cinco/setores de trabalho (A, B, C, D, E), no qual em uma ponta entra a matéria-prima (MP) que vai sendo processada por cada um dos cinco recursos existentes, de tal forma que na ponta oposta sairão correspondentes unidades de produtos acabados (PA).

Figura 1 - Recurso Gargalo



Fonte: Cogan, 2007

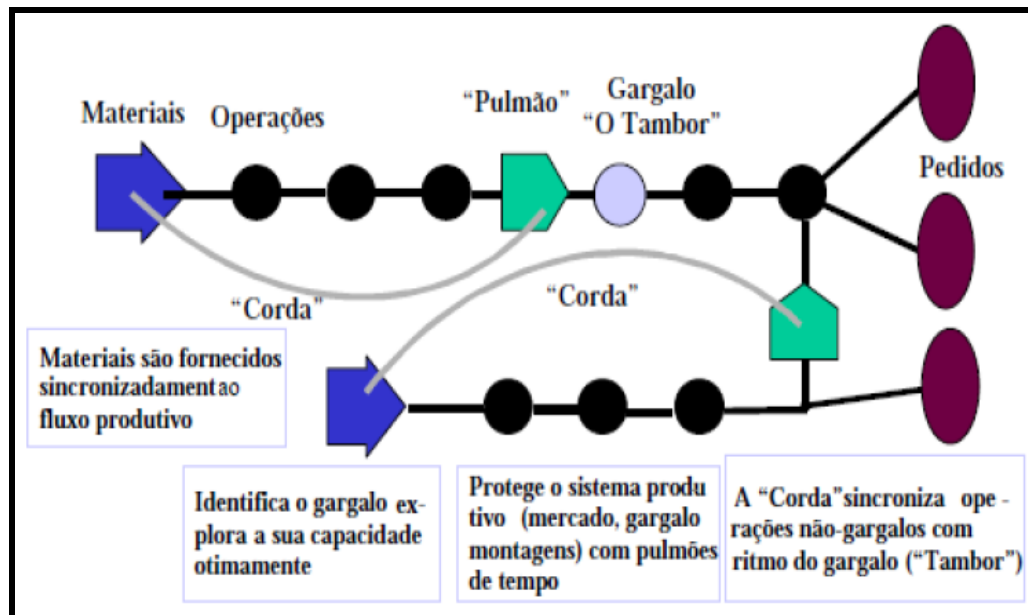
Observa-se na figura que cada recurso possui uma determinada capacidade de produção. O recurso A pode executar 11 peças por dia; B, nove; C, cinco; D, oito, e E, 15 peças. Como todo processo produtivo, há que se considerar a questão da dependência de uma operação sobre a outra, ou seja, uma peça somente poderá ser processada em um recurso que imediatamente o antecede.

Se na primeira operação a capacidade é de 11 peças, e assim sucessivamente, ter-se-á, ao final, como produtos acabados, tão-somente cinco peças – resultado da existência de um recurso gargalo que é o recurso C, que tem capacidade de executar apenas cinco peças (COGAN, 2007. pag. 12).

(PACHECO, 2010) cita que o TPC visa operacionalizar no chão de fábrica os cinco passos de melhoria dos processos da TOC. Assim sendo, de forma objetiva os elementos da lógica TPC são:

- a) Tambor:** é o gargalo do sistema, o qual determina sua capacidade produtiva total; portanto, define o ritmo da produção e restringe a capacidade, ou seja, é o tambor do sistema, uma vez que dita o seu ritmo de produção.
- b) Pulmão:** é a proteção colocada antes do tambor para evitar o impacto da variabilidade, como quebra de máquinas, variação no tempo de processo, problemas de qualidade ou falta de matéria prima para produzir. Há três tipos de pulmão que podem ser usados nesse caso: pulmão de tempo, inventário ou de capacidade.
- c) Corda:** tem o objetivo de sinalizar a necessidade de entrada de materiais no sistema, para alimentar o pulmão e o gargalo e de limitar a quantidade de matéria-prima liberada para a fábrica. A Figura 2 mostra de forma esquemática o método TPC.

Figura 2 - Método TPC



Fonte: Pacheco, 2010

3.1.1.2. RESTRIÇÕES INTERNAS COMO ELEVAR A CAPACIDADE

A partir da revisão da literatura, as estratégias de intervenção relacionadas a posteriori, consoante com quarto passo da TOC, se aplicam quando o gargalo é interno à fábrica, ou seja, quando a demanda total de um dado mix de produtos é maior do que a capacidade da fábrica. Cabe ressaltar que a aplicação e a análise das estratégias independem da ordem em que estão justapostas no texto e podem ser adotadas de forma individual e independente ou a partir da combinação entre elas, de acordo com as necessidades.

Para Pacheco (2010), as ações Estratégicas de 1 a 17, para elevar a capacidade da restrição interna da fábrica:

- **Estratégia 1: Eliminar todos os períodos de tempo morto no gargalo.** Uma hora perdida no gargalo é uma hora perdida em todo o sistema e por ser gargalo deve operar nas 24 horas do dia.
- **Estratégia 2: Melhoria dos tempos de processamento por unidade.** Realizar ações de melhoria contínua nos métodos de trabalho e na melhor utilização possível do potencial dos equipamentos.

- **Estratégia 3: Realizar melhorias no sistema de alimentação de máquinas visando sincronizar a velocidade de alimentação com a velocidade do processamento em si do recurso.**
- **Estratégia 4: Melhorar o controle de qualidade do sistema.** As iniciativas devem assegurar que:
 - a) Não seja processada nenhuma peça defeituosa no gargalo, que pode ser obtido adotando uma inspeção 100% imediatamente antes do gargalo;
 - b) Assegurar que todas as peças que passam pelo gargalo gerem Ganho para a Empresa, ou seja, que a produção de defeitos e retrabalhos pós-gargalo seja igual a zero.
- **Estratégia 5: Fazer a subcontratação ou terceirização de trabalho no gargalo.** Ou seja, implica subcontratar ou terceirizar uma parte da produção que anteriormente era feita pelo gargalo de forma a comprar capacidade adicional (UMBLE e SRIKANTH, 1990).
- **Estratégia 6: Comprar capacidade adicional.** Isso pode se dar das seguintes maneiras básicas: comprando nova(s) máquina(s), contratando novos trabalhadores para o recurso gargalo, utilizando horas-extras dos trabalhadores no gargalo ou adicionando turnos à produção.
- **Estratégia 7: Realocação de parte das operações anteriormente feitas no gargalo para outras máquinas não-gargalo que estejam operando com sobra de capacidade.** O objetivo o consiste em dividir a operação do gargalo em sub operações menores e redistribuí-las.
- **Estratégia 8: Efetuar melhoria na manutenção da(s) máquina(s) gargalo(s).** O objetivo de atuar para melhorar a manutenção da(s) máquina(s) gargalo(s) consiste em aumentar o coeficiente médio de utilização do(s) recurso(s) crítico(s) da Fábrica.

- **Estratégia 9: Realizar análises e alterações de layout.** Nesse ponto, sugere-se aplicar os conceitos da mentalidade enxuta de leiaute celular e simular cenários propostos usando a técnica da simulação computacional, para ajudar na tomada de decisão, a partir dos resultados o estudo de simulação.
- **Estratégia 10: Aplicar o algoritmo Tambor-Pulmão-Corda (TPC).** O uso do TPC que visa operacionalizar no chão de fábrica os cinco passos de melhoria dos processos da TOC sincroniza o sistema a partir do gargalo e protege a capacidade do gargalo com o uso do pulmão imediatamente anterior ao tambor.
- **Estratégia 11: Elevar o IROG (Índice de Rendimento Operacional Global) do equipamento.** Sua discussão é central para o cálculo da capacidade porque determina a capacidade prática e não teórica dos equipamentos. A equação 1 apresenta a fórmula de cálculo do IROG, aplicado tanto para equipamentos quanto para estações de trabalho, onde:

Equação 1 - Cálculo do IROG

$$\mu_{global} = \frac{\sum_{i=1}^n tp_i x q_i}{T}$$

Fonte: Gasperin e Palomino, 2006

Onde: tp é o tempo de ciclo ou tempo padrão de um produto;

qi é a quantidade do produto;

“T” é o tempo disponível para produção.

- **Estratégia 12: Desenvolver novos produtos ou componentes que não passem pelo(s) gargalo(s) da fábrica, visando aproveitar as folgas de capacidade dos recursos não gargalo.**

- **Estratégia 13: Modificar produtos ou componentes atuais de forma a reduzir o tempo de processamento no recurso gargalo da fábrica.** Ações conjuntas entre a área de Engenharia de Processos e Engenharia Industrial da empresa visando modificar o conceito dos produtos focando o gargalo, tendem a gerar boas alternativas.
- **Estratégia 14: Realizar análise da restrição partir dos Subistemas e técnicas de operacionalização do STP.** Os subsistemas referidos de: Quebra-Zero, Defeito- Zero, Operação Padrão, Troca Rápida de Ferramenta, Produção em fluxo unitário e Sincronização e Melhoria Contínua podem se apresentam como ferramentas importantes de intervenção. A ideia é de estender para a TOC, os benefícios que essas abordagens propiciam até os dias de hoje para o STP.
- **Estratégia 15: Realizar a análise da restrição a partir das sete perdas do STP.** A combinação da aplicação das sete perdas na operação pode gerar ganhos de capacidade no gargalo. Recomenda-se que essa análise seja afeita por um grupo multidisciplinar envolvendo os operadores.
- **Estratégia 16: Realizar análises de melhorias sob o ponto de vista ergonômico da operação.** Ações do tipo: redução de peso cargas manuseadas, o uso de ferramentas manuais adequadas, a eliminação de esforços repetitivos e movimentos desnecessário podem impactar na produtividade do posto de trabalho.
- **Estratégia 17: Efetuar melhorias no sistema produtivo como um todo.** Nesse caso indica-se a análise e aplicação dos Princípios da manufatura sincronizada, fundamentados nas 9 regras da OPT e derivados dos cinco passos de focalização da TOC.

(JUNIOR e RODRIGUES, 1998) mencionam que é preciso considerar dois aspectos importantes relacionados com as ações acima:

- a) O tempo de execução da melhoria;
- b) Os recursos envolvidos nas melhorias;

Em alguns casos o tempo para a execução da melhoria é pequeno como, por exemplo, eliminar o período de tempos mortos no gargalo e comprar capacidade adicional via horas extras. Em outros casos o tempo de execução das melhorias é grande como, por exemplo, algumas ações no campo da manutenção e a melhoria no processo de fabricação (JUNIOR e RODRIGUES, 1998).

Os recursos envolvidos nas melhorias podem ser reduzidos, em alguns casos ações para reduzir os tempos de preparação, para melhorar a alimentação das máquinas e para evitar os tempos mortos no gargalo. Nestes casos, torna-se desnecessário realizar qualquer tipo de avaliação de investimentos (JUNIOR e RODRIGUES, 1998).

Por outro lado, quando se considera a necessidade de investimento, é preciso considerar:

- a) Aquisição de novos equipamentos;
- b) Alterações de processos;
- c) Certas ações para reduzir o tempo de preparação;

Nestes casos, em geral, torna-se necessário a realização de uma avaliação de investimentos para verificar a viabilidade econômica da proposição técnica envolvida. Em grandes linhas, quando da existência real das restrições internas, essa análise de investimento deverá observar o ganho incremental/marginal decorrente do investimento específico. De alguma forma genérica deve-se priorizar as ações que demandem menos tempo de execução e recursos financeiros. Após uma análise dos resultados obtidos via ações que demandam pouco tempo e recursos, pode-se partir para as soluções mais complexas em termos técnicos, de tempo de execução e econômicos. E por fim, cabe ressaltar que se pode pensar em outras alternativas para aumentar o Ganho das Empresas. Por exemplo, desenvolver novos produtos e/ou componentes que não passam pelo(s) gargalo(s) da Fábrica, visando aproveitar as eventuais supercapacidades da(s) máquina(s) não gargalo(s) (JUNIOR e RODRIGUES, 1998).

3.1.2. OS CINCO PASSOS DA TOC

(MAHESH, 2008) cita que algumas literaturas sobre a TOC centram-se na gestão de um processo existente. A orientação fornecida pelo TOC para processos de gestão se dá em um nível que visualiza todo o sistema operacional como sendo constituído de um conjunto de processos interdependentes onde a saída de um processo é uma entrada para um outro processo ou processos. O número e o tipo de interdependência que existem em uma determinada planta será uma função da variedade de produtos, processos de produção e uma série de outros fatores.

Em qualquer sistema complexo existem restrições que tem um impacto direto e imediato sobre todo o sistema. Para isso foi criado a Gestão das Restrições, onde a organização pode fazer uso dos cinco passos para indentificá-las (GOLDRAFT, 1984):

Abaixo segue a descrição por Goldratt e Cox (1997), dos cinco passos que estão descritos, abaixo:

a) **Identificar uma ou mais restrições do sistema:** Restrições podem ser internas ou Externas à empresa. Quando a demanda total de um dado *mix* de produtos é maior do que a capacidade da fábrica diz-se que se tem um gargalo de produção. Todavia, quando a capacidade de produção é superior à demanda de produção a restrição é externa ao sistema produtivo, ou seja, a restrição está relacionada com o mercado e ao desempenho da área comercial da empresa (PACHECO, 2012).

b) **Explorar da melhor forma possível uma ou mais restrições do sistema:** Se a restrição é interna à fábrica, a melhor decisão consiste em maximizar o ganho no(s) gargalo(s), liberando sua capacidade ocultada. Se for externa ao sistema em um dado tempo, não existem gargalos na fábrica e o ganho estará limitado pelas restrições do mercado e ao desempenho das vendas da empresa, é necessário criar a demanda.

c) **Subordinar todos os demais recursos à decisão anterior:** A lógica deste passo é independentemente de a restrição ser externa ou interna, consiste em reduzir ao máximo os inventários e as despesas

operacionais e ao mesmo tempo garantir o ganho teórico máximo do sistema de produção.

d) Elevar a capacidade da Restrição: Este passo envolve investimentos para se obter um aumento na capacidade da restrição. Se o segundo passo tem como objetivo garantir que a restrição não seja desperdiçada, ou seja, aumenta-se a capacidade da restrição apenas melhorando a forma de como ela é gerenciada, o quarto passo tem como objetivo alcançar ganhos adicionais de capacidade pela via de investimentos em mais capacidade para a restrição.

e) Se a restrição for quebrada na etapa anterior, volte à etapa 1, mas não deixe que a inércia se torne uma restrição: Se nos passos anteriores a restrição inicial deixou de existir, deve-se repetir o ciclo de melhoria. O desempenho de todo sistema é reavaliado, procurando uma nova restrição, explorando, subordinando e elevando. O aviso em relação à inércia serve para alertar os gestores que as políticas, procedimentos e medidas adotadas anteriormente, as quais faziam sentido quando o sistema possuía outra restrição, agora devem ser reavaliadas e, provavelmente, substituídas por outras.

3.1.3. OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO NA VISÃO DA TOC – NOVE REGRAS DA OPT

Para Reis (2004), a otimização da Produção através da Teoria das Restrições, propõe: **“a soma dos ótimos locais não é igual ao ótimo local global”**, e estabelece nove princípios básicos.

Já para Pacheco (2010), a OPT (*Optimized Production Technology*) é uma abordagem criada por Goldratt (1988) para ajudar as empresas a entender a lógica de programação do método Tambor-Pulmão-Corda, que foi transformada em um pacote de software.

A contribuição para a discussão do tema da capacidade nesse estudo, parte da análise e entendimento das ideias e definições estabelecidas nas 9 regras para sincronização da produção da OPT determinadas por Goldratt (1988), são elas:

1. Balancear o fluxo e não a capacidade, isto é, a ênfase deve ser dada ao fluxo de materiais e não sobre a capacidade instalada dos recursos.
2. O nível de utilização de um recurso não-restrição não é determinado por seu próprio potencial e sim por outra restrição do sistema, caso contrário, temos o aumento do inventário.
3. A utilização e ativação de um recurso não são sinônimos. A utilização corresponde ao uso de um recurso não-restrição de acordo com a capacidade do recurso restrição. A ativação corresponde ao uso de um recurso não-restrição em volume superior à capacidade do recurso restrição.
4. Uma hora perdida no gargalo é uma hora perdida no sistema inteiro.
5. Uma hora economizada onde não é gargalo é apenas uma ilusão.
6. Os gargalos governam o ganho e o inventário.
7. O lote de transferência não pode e muitas vezes não deve ser igual ao lote de processamento.
8. O lote de processo deve ser variável e não fixo, otimizado para cada operação.
9. Os programas devem ser estabelecidos considerando todas as restrições simultaneamente.

3.2. SEIS SIGMA: VISÃO GERAL

Seis Sigma (do Inglês Six Sigma) é o nome de um programa focado na qualidade, que utiliza equipes de trabalhadores para realizar projetos que buscam a melhoria do desempenho operacional da organização. O primeiro programa Seis Sigma foi desenvolvido e implementado pela Motorola Corporation por volta de 1980. Depois foi amplamente adotado por muitas empresas nos Estados Unidos. Na distribuição normal seis sigma implica a quase perfeição em um processo, o que é a meta de um programa Seis Sigma. Para operar em um nível seis sigma através de um longo prazo, um processo tem de ser capaz de produzir não mais do que 3,4 defeitos por milhão, em que defeito refere-se a qualquer coisa que esteja fora das especificações dos clientes, tanto interno como externo (GROOVER, 2011).

As organizações de sucesso possuem métodos padronizados e ferramentas para melhorar suas saídas e explorar oportunidades que resultarão em ganhos financeiros tangíveis. Elas têm iniciativas baseadas em melhorias repetitivas. Conseguiram padronizar guias de como implementar e desenvolver as estratégias, táticas e ferramentas e a liderança necessária para criar e manter o sucesso. (ROTONDARO, 2104).

As organizações de sucesso entendem a variabilidade do processo e passam a controlá-la como a forma de redução de falhas e aumento da confiabilidade, essas tratativas são muito mais efetivas do que simplesmente só eliminar o defeito. Ao trabalhar com a variabilidade, a metodologia Seis Sigma consegue resultados dificilmente atingidos por outras metodologias. Como meio para descrever e controlar a variabilidade, essas organizações usam a estatística de uma forma inteligente, que pode ser resumida da seguinte maneira:

Obtenha os dados do seu processo, transforme em dados estatísticos, resolva o problema estatisticamente, transforme o resultado em dados de seu processo (MARI, 1997).

A métrica tradicional para a boa qualidade de processo é $\pm 3\sigma$ (nível 3 sigma), se um processo estiver estável e sob controle estatístico para uma determinada variável de produção de interesse e a variável for distribuída normalmente, então 99,73 por cento da saída do processo estará dentro da variação definida por $\pm 3\sigma$. Essa situação é ilustrada na tabela 1, isso significa que haverá 0,27 por cento (0,135 por cento em cada extremidade) da produção que se encontra além desses limites de ou 2.700 por milhão produzida (GROOVER, 2011).

A tabela 1 sinteticamente ilustra os principais valores adotados pela abordagem Seis Sigma (HARRY e SCHROEDER, 2009). De forma que, se o valor do desvio padrão é baixo, mais uniforme será o processo e menor a variação existirá entre os resultados. Quanto menor for o desvio padrão então, melhor será o processo e menor será a possibilidade de falhas (TRAD e MAXIMIANO, 2009).

Tabela 1 - Escala Sigma

Nível Sigma	Nível da Qualidade	Taxa de Erro	Defeitos por Milhão de Oportunidades (DPMO)	Custo da Não Qualidade (% do faturamento)
1 σ	30.90 %	69.10%	691.462	Não se Aplica
2 σ	69.10 %	30.90%	308.538	Não se Aplica
3 σ	93.30 %	6.70%	66.807	25 a 40%
4 σ	99.38 %	0.62%	6.21	15 a 25%
5 σ	99,977%	0.023%	233	5 a 15%
6 σ	99,99966%	0.00034%	3.4	< 1%

Fonte: Harry e Schroeder, 2000

3.2.1. METODOLOGIA GERENCIAL DO SEIS SIGMA

A Metodologia Seis Sigma apoia-se em três métodos, um deles é o **DMAIC**, as quais, segundo Eckes (2001), entende-se por:

- **Definir:** definir a equipe de trabalho, determinar os clientes do processo, bem como suas necessidades e requisitos, e especificar o processo a ser melhorado;
- **Medir:** identificar as características essenciais da eficiência e eficácia e relacioná-las ao conceito de sigma;
- **Analisar:** através de uma avaliação, pode-se determinar as origens do problema;

- **Implementar**: o conjunto de atividades ligadas ao surgimento, seleção e implantação de soluções;
- **Controlar**: assegurar que as melhorias se mantenham com o passar do tempo.
Os outros dois métodos são: PDCA e DMADV

PDCA - Essa metodologia é utilizada mundialmente para a manutenção, melhoria e inovação de produtos, serviços e processos. PDCA significa Planejar (Plan), Executar (Do), Verificar (Check) e Agir (Action). Para que as organizações sejam capazes de promover mudanças necessárias em tempo determinado, é necessário um sistema gerencial que as auxilie na solução dos problemas, o qual é o PDCA. É necessário implantar um planejamento de qualidade para promover mudanças radicais nos produtos e processos existentes. Esse procedimento é utilizado quando o gerenciamento pela melhoria da qualidade não é mais capaz de promover mudanças que possibilitem o alcance das metas propostas (MAUKIEWICZ e SUSKI, 2009).

DMADV significa. Definir (Define), Medir (Measure), Analisar (Analyze), Desenhar (Design) e Verificar (Verify). Essa metodologia procura definir os objetivos de melhoria do processo a qual seja consistente com a demanda do cliente e a estratégia da organização, medindo a qualidade do produto e a eficiência do processo produtivo e avaliando riscos. A metodologia também analisa o desenvolvimento de alternativas no desenho do produto, desenvolvendo o detalhe do desenho, otimizando a produção, além de verificar, por meio de testes, a implementação de processos produtivos (MAUKIEWICZ e SUSKI, 2009).

A implementação da metodologia DMADV auxilia na análise de solução de problemas, além de aumentar a sua eficiência com a melhoria da capacidade do projeto em transformar informações em conhecimento. Esse aumento de eficiência na solução de problemas é alcançado com a integração das ferramentas da qualidade e do conhecimento técnico do método de solução de problemas (MAUKIEWICZ e SUSKI, 2009).

Segundo Rotondaro (2014), Seis Sigma é uma metodologia rigorosa que utiliza ferramentas e métodos estatísticos para **definir** os problemas e situações a melhorar, **medir** para obter a informação e os dados, **analisar** a informação coletada, **incorporar** e aprender melhorias nos processos e, finalmente, **controlar**

os processos ou produtos existentes, com a finalidade de alcançar etapas ótimas, o que por sua vez gerará um ciclo de melhoria contínua.

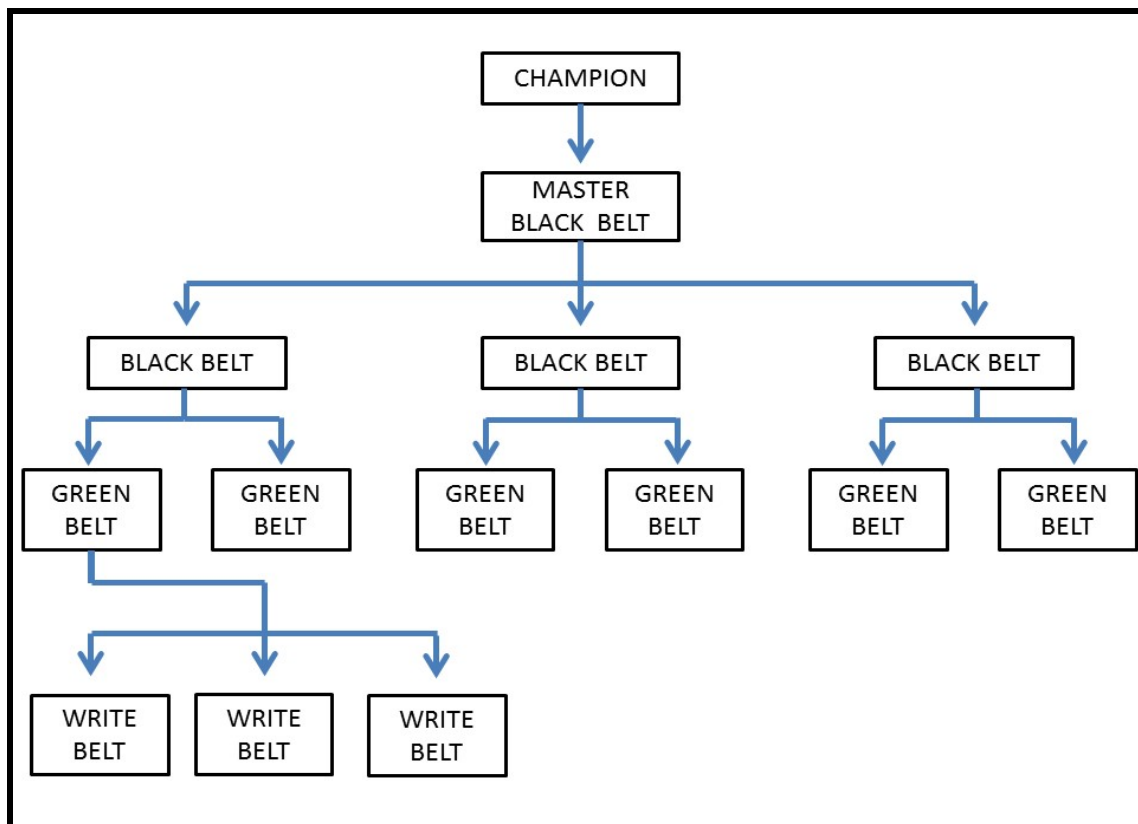
(ROTONDARO, 2104) também cita que existem 5 situações que motivam a adoção da metodologia Seis Sigma nos projetos, segue abaixo:

- a) A demanda do mercado;
- b) Exigência legal;
- c) O avanço da tecnologia;
- d) A Necessidade do negócio;
- e) A exigência do cliente;

3.2.2. ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DO SEIS SIGMA

Os projetos seis sigma devem seguir uma estrutura organizacional, para que o mesmo apoie-se em uma equipe bem definida. A Figura 3 mostra a disposição dessa estrutura:

Figura 3 - Estrutura Organizacional - Seis Sigma



Fonte: O Autor

CHAMPION: Executivo que conhece bem a empresa, organiza e apoia o projeto Seis Sigma na alta hierarquia, deve conhecer bem objetivo do projeto, conhece as teorias do Seis Sigma, organiza as equipes, financiador, motivador, facilitador e acompanha os resultados.

MASTER BLACK BELT: Tem a função de implantar os projetos Seis Sigma na organização, pratica o Seis Sigma e conhece bem suas ferramentas e regras, treina os Black Belts e Green Belts de como aplicar os métodos de forma correta, ajuda o Champion nas escolhas dos projetos.

BLACK BELT: Trabalham sob as orientações dos Master Black Belt, deve possuir conhecimentos matemáticos e de ferramentas estatísticas, possui certa

influência no meio, conhecedor do técnico de sua área de trabalho, habilidade para trabalhar em equipe.

GREEN BELT: Executam os projetos Seis Sigma como parte de suas atividades, solucionam problemas e analisam dados descritivos, utilizam metodologias gerenciais de qualidade, auxilia o Black Belt nas coletas e análises dos dados, lidera pequenos projetos em sua área de atuação.

3.2.3 INDICADORES DE DESEMPENHO – SEIS SIGMA

Segundo Maukiewicz e Suski (2009), Seis Sigma tornou-se uma importante metodologia na gestão de desempenho para avaliar o resultado das melhorias implantadas nas organizações, como qualidade, custo e tempo. Ela tem contribuído para o aprimoramento da medição de desempenho, sendo praticamente uma exigência para a melhoria contínua dos processos e implementação da estratégia competitiva.

“De fato, a essência da melhoria está no conhecimento que a organização tem sobre o que é necessário melhorar, bem como sobre os indicadores financeiros e não financeiros que refletem o desempenho organizacional” (NEELY, 1998. p. 208). É necessário pesquisar as falhas nos processos, e que os indicadores de desempenho demonstrem onde elas estão fornecendo dados para que sejam tomadas ações corretivas e preventivas.

Já Groover (2011), menciona que as metas gerais do Seis Sigma e os projetos que são realizados sob sua bandeira, segue abaixo:

- a) Satisfação dos Clientes;
- b) Alta qualidade de produtos e serviços;
- c) Defeitos reduzidos;
- d) Melhoria da capacidade de processo por meio da redução nas variações de processo;
- e) Melhoria contínua;
- f) Redução de custos por meio de processos mais efetivos e eficientes;

3.2.4. FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS USADAS PELO SEIS SIGMA

A aplicação de conceitos estatísticos é um dos aspectos fundamentais para a implantação, com sucesso, do programa Seis Sigma. É relevante que se destaque as principais ferramentas estatísticas utilizadas, pelas organizações, para o controle de processos (JOHANN *et al.* 2011).

3.2.4.1. SISTEMA DE MEDIÇÃO

Algo irrefutável dentro da filosofia Seis Sigma é a ideia de observar os dados de um processo, ou seja, dar a adequada atenção e saber definir, medir, analisar, melhorar e controlar os dados de um processo. Isso na verdade é a essência da ciência. E a ciência que se preocupa com a organização, descrição, análise e interpretação dos dados experimentais é a Estatística, considerada um ramo da Matemática Aplicada (BALESTRASSI, 2014).

3.2.4.2. MEDIDAS DE DISPERSÃO

O controle estatístico de processo (CEP) foi criado por Walter Shewhart na década de 1930 nos Estados Unidos. A percepção extraordinária do Shewhart de que a qualidade e a variabilidade são conceitos adversos no sentido de que onde tem muito de um terá necessariamente pouco do outro. Esta ideia funciona para ambos: processos e produtos (WERNKE, 2011).

3.2.4.2.1. VARIABILIDADE

(CARVALHO, 2008) cita que a variabilidade é normalmente provocada por uma combinação de muitas fontes de variação, muitas das quais podem ser identificadas por causas assinaláveis que podem ser eliminadas. A manutenção da centralidade, contudo, depende, muitas vezes, da regulação precisa do equipamento e da verificação regular dos parâmetros do processo. Uma das tendências dos operadores é deixar o processo entregue a si próprio desde que todos os indicadores principais se encontrem dentro do permitido.

Já Johann *et al.* (2011), escreve que Dispersão ou Variabilidade define-se como a variação ou diversificação de todos os valores de uma população em torno de uma média dos valores. A dispersão mostra o grau de homogeneidade ou heterogeneidade de uma distribuição comum, o qual não pode ser mensurado pelo cálculo da média aritmética.

(RIBEIRO e CATEN, 2012) citam que a variabilidade está sempre presente em qualquer processo produtivo, independente de quão bem ele seja projetado e operado. Se compararmos duas unidades quaisquer, produzidas pelo mesmo processo, elas jamais serão exatamente idênticas. Contudo, a diferença entre peças pode ser grande, provocando o aparecimento de produtos defeituosos, ou pode ser praticamente imperceptível. Além disso, as fontes de variabilidade podem agir de forma diferente sobre o processo. Conforme a fonte de variabilidade, o resultado pode ser:

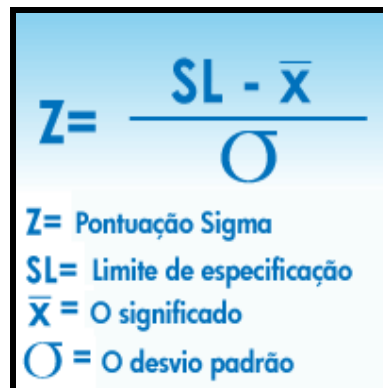
- a) pequenas diferenças peça-a-peça (habilidade do operador, diferenças na matéria-prima, etc.);
- b) alteração gradual no processo (desgaste de ferramentas, temperatura do dia, etc.);
- c) alteração brusca no processo (mudança de procedimento, queda de corrente, troca de setup etc.);

3.2.4.2.2. DESVIO PADRÃO

O Desvio padrão, é representado pela letra grega sigma em minúsculo (σ), é uma estatística que informa o quão firmemente os pontos de dados estão agrupados ao redor do significado para um determinado processo que, em troca, informa quanta variação existe. Quando os pontos de dados estão firmemente agrupados ao redor do significado e a curva de sino está saturada, o desvio padrão, devido à variação, é pequeno. Quando os pontos de dados estão espalhados e a curva de sino está reta, o desvio padrão e a variação estão ótimos. Os estatísticos geralmente falam sobre o número de desvios padrão do significado. Um desvio padrão em qualquer direção do significado significa 68% dos dados do grupo. Dois desvios padrão são 95% deles. E três desvios padrão são 99% dos dados. No Six Sigma, a grande questão é: quantos desvios padrão podem se encaixar entre o significado e o

limite de especificação? Nós podemos calcular esse número usando a fórmula da Figura 4, onde a mesma mostra a fórmula Z, com a **pontuação Z**, ou **pontuação Sigma**. Uma baixa pontuação Z significa que uma relevante porção da cauda de distribuição está se estendendo além do limite de especificação. Uma alta pontuação Z significa que não muito da distribuição está se estendendo além do limite de especificação, (HARRIS).

Figura 4 - Formula da Pontuação Z



$$Z = \frac{SL - \bar{X}}{\sigma}$$

Z = Pontuação Sigma
SL = Limite de especificação
 $\bar{X}$ = O significado
 σ = O desvio padrão

Fonte: HARRIS

3.2.5. FERRAMENTAS GRÁFICAS UTILIZADAS NO SEIS SIGMA

3.2.5.1. CARTAS DE CONTROLE

O controle da qualidade iniciou na década de 20, nos Estados Unidos, como resultado de avanços na tecnologia de medição e da aplicação industrial das cartas de controle, desenvolvidas pelo Dr. Walter A. Shewhart, da empresa de telefonia *Bell Telephone Laboratories*. Dr. Walter Shewhart desenvolveu uma técnica simples, mas poderosa para fazer a distinção entre causas comuns e causas especiais: as cartas de controle do processo. Ele propôs o uso das cartas de controle para a análise dos dados provenientes de amostragem, substituindo a mera detecção e correção de produtos defeituosos pelo estudo e prevenção dos problemas relacionados à qualidade, visando impedir que produtos defeituosos fossem produzidos (RIBEIRO e CATEN, 2012).

Durante a 2ª Guerra Mundial, a produção de bens de consumo caiu drasticamente, visto que a prioridade das empresas era a fabricação de produtos de uso militar. No fim da guerra, os bens de uso comum da população estavam escassos e a prioridade das indústrias passou a ser o fornecimento intenso para este mercado, com um forte comprometimento em relação ao prazo de entrega, em detrimento da qualidade (VALLE *et al.*, 2011).

A partir de 1954, com os seminários do engenheiro americano J. M. Duran, os japoneses começaram a perceber que o controle da qualidade dependia muito de fatores humanos e culturais. A partir dessa percepção, foi desenvolvido um método japonês para o controle da qualidade, que deu origem ao controle da qualidade total no estilo japonês, envolvendo a participação de todos os setores e funcionários da empresa e que muito contribuiu para que o Japão passasse a fabricar produtos de mais alta qualidade (RIBEIRO e CATEN, 2012)

O principal objetivo da Carta de Controle é mostrar as mudanças no processo, destacadas por pontos que apresentam comportamentos com tendências ou dinâmicas contrárias ao comportamento aleatório (ISHIKAWA, 1993).

A Carta de Controle utiliza medidas estatísticas através de limites de especificação e limites de controle, que indicam a situação desejada e o desempenho do processo. É uma ferramenta de baixo custo e utiliza gráficos para medição (SILVIA, 2011).

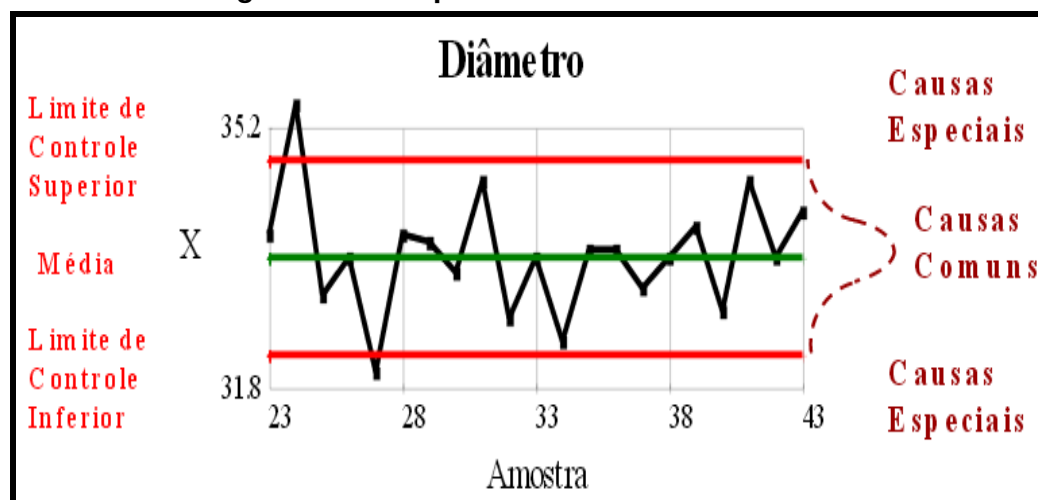
3.2.5.1.1. PROCESSO DE ANÁLISE DA CARTA DE CONTROLE

(RIBEIRO e CATEN, 2012), citam que no início de estudos que utilizam cartas de controle, o processo é colocado em funcionamento e são coletados dados referentes à característica em estudo. Esses dados podem ser, entre outros:

- a) dimensões de uma peça usinada;
- b) número de defeitos em um circuito impresso;
- c) viscosidade de um produto químico;
- d) resistência de um componente;
- e) peso de um refrigerante;

A coleta de dados é realizada com certa frequência e o tamanho das amostras, definidas de acordo com a característica em estudo. Por exemplo, pode ser adequado coletar, de hora em hora, amostras com 3 peças e medir seus diâmetros. A frequência de amostragem deve ser compatível com as principais causas de variabilidade presentes no sistema. Logo após, calcula-se a média, o desvio-padrão e então os limites de controle associados às causas comuns de variabilidade poderão ser definidos. Na Figura 5, pode-se visualizar os limites de controle em um exemplo de carta de controle. Uma vez definidos os limites de controle, os dados continuam sendo coletados e são plotados na carta de controle. Esta é a tarefa do dia-a-dia (monitoramento) (RIBEIRO e CATEN, 2012).

Figura 5 - Exemplo de uma Carta de Controle



Fonte: Ribeiro, Caten, 2012

Pelo gráfico da Figura 5 vemos rapidamente quem está fora do padrão seja pelo limite inferior ou pelo limite superior.

As Cartas de Controle ajudam a avaliar e/ou monitorar um processo. Existem vários tipos de Cartas de Controles, para monitorar dois tipos de dados: Variáveis e do tipo Atributo:

Variáveis: é utilizado quando é necessário algo para se obter uma medida, temperatura, tempo, distância, ou seja, dependem de equipamentos para se obter a medição.

Cartas de controle para variáveis representam a aplicação típica do controle estatístico do processo, no qual os processos e seus resultados podem se caracterizar pelas medições das variáveis e também pode explicar dados do

processo em termos de sua variação de processo, variabilidade peça-a-peça e média do processo. As cartas de controle para variáveis geralmente são preparadas e analisadas aos pares, uma carta para a média do processo e outra para a variação do processo (ZVIRTES, 2007).

Segundo Ribeiro e Caten (2012), variáveis são características de qualidade que são mensuráveis, como, por exemplo: o diâmetro de um rolamento, uma resistência elétrica, o tempo de atendimento de um pedido, etc. Muitos processos têm características mensuráveis, assim há um amplo espaço para o uso das cartas para variáveis.

Atributos: utilizado para tomada de decisão: passa/não passa, quente/frio, conforme/não conforme, sucesso/insucesso, aceitável/não aceitável.

Para dados do tipo atributos ainda é necessário escolher se os dados são defeitos ou defeituosos, visto que são situações diferentes. O defeito é considerado um subconjunto dos defeituosos, isso significa que um produto ou serviço com defeito não é necessariamente defeituoso, eles pertencem ao conjunto de defeituosos.

Para Ribeiro e Caten (2012), os atributos são características que são comparadas com um certo padrão (especificações) e por isso podem assumir apenas valores discretos (classificação como conforme ou não-conforme, ou uma certa contagem de defeitos), por exemplo

- a) existência de manchas ou risco;
- b) presença de uma etiqueta;
- c) continuidade de uma costura;
- d) número de acidentes/hora;
- e) número de clientes reclamantes;
- f) número de reclamações/cliente.

Um produto ou serviço só é considerado defeituoso quando ele possuir defeitos que não são aceitos pelo cliente.

3.2.5.2. DIAGRAMA DE PARETO

Vilfredo Pareto foi um economista Italiano que, em 1897, apresentou um estudo sobre o tema distribuição de renda, mostra que esta era muito desigual, pois a maior parte da riqueza pertencia a um pequeno grupo de pessoas. J. M. Juran,

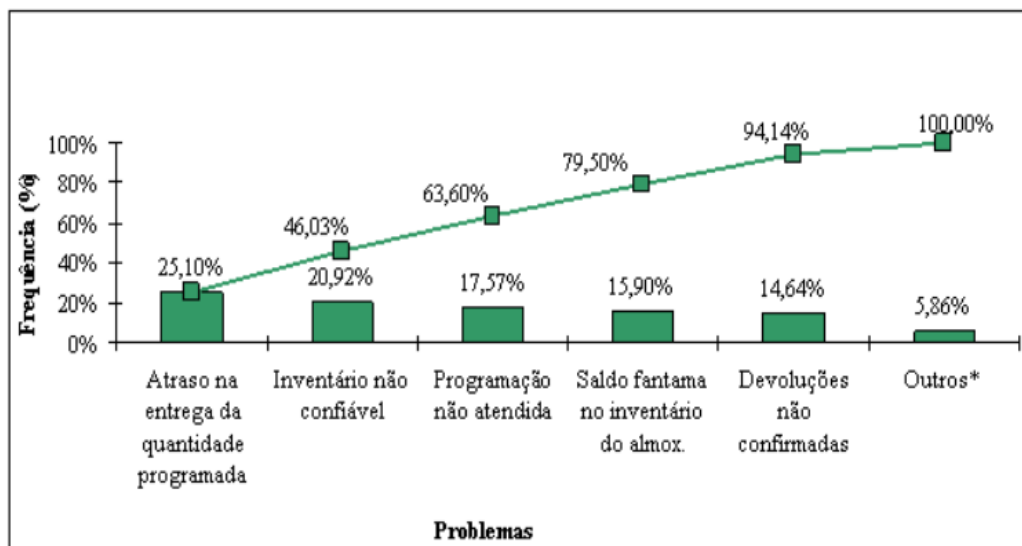
percebendo que fenômeno semelhante ocorria com os problemas da qualidade – as distribuições dos problemas e de suas causas também são desiguais -, adaptou os conceitos de Pareto e chegou à conclusão de que as melhorias mais significativas podem ser obtidas se concentrarmos nos “poucos problemas vitais” e, depois, “nas poucas causas vitais” desses problemas (BRAZ, 2014).

(BRAZ, 2014) também cita que Instrumento desenvolvido para a aplicação desse princípio foi o Diagrama de Pareto, que é uma descrição gráfica de dados que apresenta a informação de forma que se possa concentrar os esforços de melhoria nos pontos onde os maiores ganhos podem ser obtidos – nos itens que apresentem as melhores oportunidades de melhoria.

(NAKAZAKI, 2003) complementa que a utilização do Diagrama de Pareto apresenta outras vantagens além do maior poder de comunicação de um gráfico em relação a uma tabela. Esta ferramenta permite indivíduos de níveis hierárquicos diferentes na organização entenderem o que os dados estão mostrando e, além de tudo, a simplicidade faz com que todos interpretem da mesma maneira.

A Figura 6 ilustra um Diagrama de Pareto de Defeitos do Setor de Injeção Plástica:

Figura 6 - Diagrama de Pareto



Fonte: Silva et al. (2008)

Diante deste contexto para saber qual o problema mais significativo para o processo em questão, a ferramenta do Gráfico de Pareto é utilizada, como sendo um gráfico de barras que ordena as frequências das ocorrências, da maior para a menor, permitindo a priorização dos problemas. Mostra ainda a curva de percentagens acumuladas. Sua maior utilidade é a de permitir uma fácil visualização e identificação das causas ou problemas mais importantes, possibilitando a concentração de esforços sobre os mesmos (SILVA *et al.*, 2008).

3.2.5.3. DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO

Esta ferramenta é utilizada para apresentar a relação existente entre determinado resultado de um processo (que é um “efeito”) e os diversos fatores (causas) que podem influenciar nesse resultado (BRAZ, 2014).

Já Finamore (2008), fala que o diagrama de causa-e-efeito, também chamado Ishikawa, mostra graficamente potenciais causas de um problema. A disposição do diagrama mostra as relações causais entre os as possíveis causas e o efeito estudado. Por que usar diagrama de causa-e-efeito?

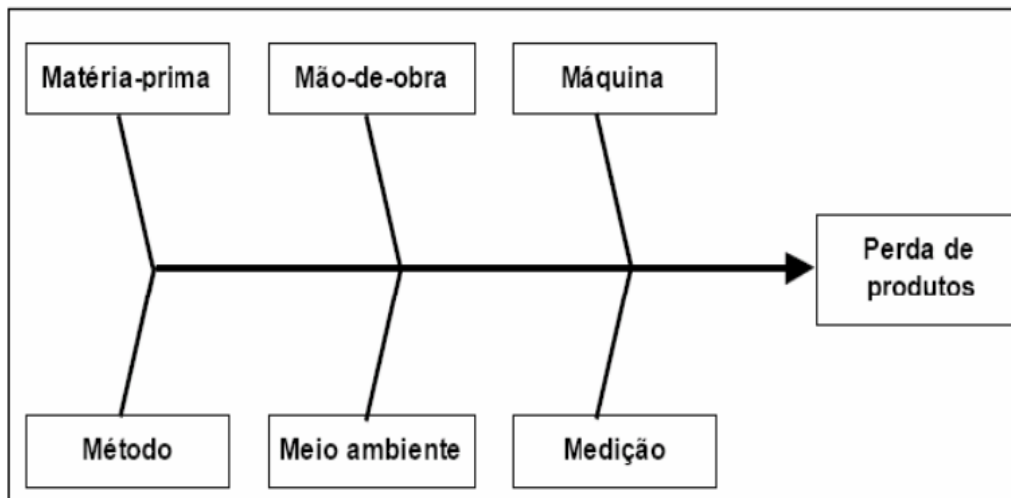
- Para estimular o pensamento durante um brainstorm de causas potenciais;
- Para entender o relacionamento entre potenciais causas;
- Para acompanhar quais potenciais causas já foram investigadas, e quais foram provadas com contribuição significativa para o problema.

Trata-se de um instrumento para expandir o leque de informações sobre o problema, e aumentar a probabilidade de identificar corretamente suas principais causas, para que se possa atacá-las. Essa abertura do campo de visão deve ser a mais ampla possível, e deve, portanto, ser desenvolvida com a participação de um grupo de colaboradores que tem o envolvimento e conhecimento sobre o processo e o problema (BRAZ, 2014).

É comum entre grupos trabalhando em esforços de melhoria irem direto para conclusões sem estudar bem as causas – apenas escolhendo algumas e esquecendo outras, correndo o risco de tomar ações que remediam apenas os

sintomas. O diagrama de causa-e-efeito funciona evitando essas tendências naturais, através de uma estrutura que ajuda a entender a relação entre as causas e mostra visualmente o que já foi estudado, facilitando a comunicação e o planejamento de novas ações (FINAMORE, 2008). A Figura 7 mostra um exemplo de um Diagrama de Causa e Efeito.

Figura 7 - Diagrama de causa e efeito.



Fonte: Fonte, 2008

A Figura 7 apresenta o diagrama de Ishikawa, trazendo o efeito (problema) e os fatores de causas possíveis do problema. Existem diversas razões para o uso do Diagrama, por ser uma ferramenta de fácil manuseio e ótimo sucesso, onde promove a identificação das causas do problema e um detalhamento para seu resultado, promove o relacionamento de cada causa e sub causa, escrevendo a característica de cada um dos 6 M's.

Em sua estrutura, as causas dos problemas (efeitos) podem ser classificadas como sendo de seis tipos diferentes:

- Medida: Qualquer causa que envolva uma medida tomada pelo colaborador anteriormente que poderia ter modificado a medida correta.
- Máquinas: Causa que envolve a máquina que estava sendo operada, como um defeito na máquina.

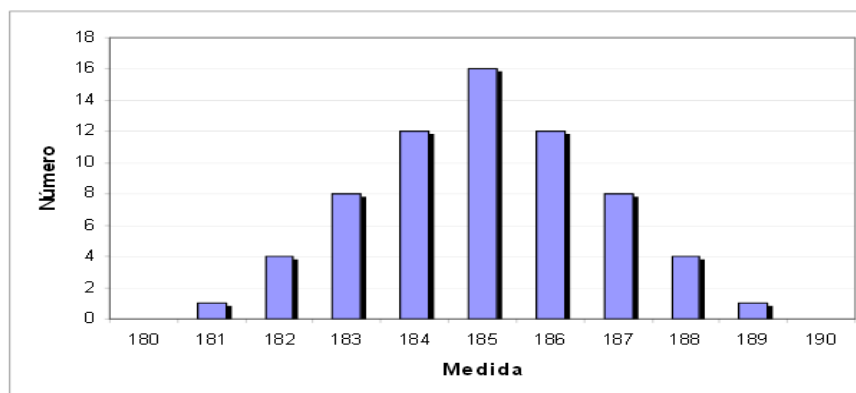
- **Matéria Prima:** Toda causa que envolve o material que estava sendo utilizado no trabalho.
- **Método:** Envolve o método que estava sendo executado o trabalho, podendo não ser o método certo.
- **Mão de obra:** Envolve uma atitude do colaborador, como pressa, imprudência, etc.
- **Meio ambiente:** Toda causa que envolve o meio ambiente em si, como calor, poeira, poluição, e também o ambiente de trabalho, tais como layout, falta de espaço, localização e outros.

3.2.5.4. HISTOGRAMA

É uma forma de descrição gráfica de dados quantitativos, agrupados em classes de frequência. O histograma permite verificar a forma da distribuição do valor central e a dispersão dos dados. Trata-se de um gráfico formado por retângulos contíguos com base nas faixas de valores da variável em estudo, e com altura definida pela frequência de ocorrências dos dados no intervalo definido pela base do retângulo (BRAZ, 2014).

O histograma também é conhecido como gráfico de barras, essa ferramenta gera informações a respeito da distribuição dos valores das amostras coletados, informando se a distribuição é normal ou não. Tem como característica a forma de sino, a Figura 8 mostra um histograma (PALADINI, 1997).

Figura 8 - Histograma



Fonte: Paladini, 1997

CAPÍTULO III

4. INTEGRAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES COM SEIS SIGMA

Poucos são os trabalhos que tratam sobre a aplicação da Teoria das Restrições integrada com o Seis Sigma para a melhoria de processo, geralmente são apresentadas em separados ou integradas a uma terceira (LEAN). É possível verificar que há um complemento entre as duas abordagens, já que a Teoria das Restrições visa o aumento do ganho da empresa sem olhar o custo/desperdício, enquanto que o Seis Sigma visa criar um padrão de qualidade para atender as expectativas do cliente, criando assim a demanda (ALMEIDA, 2007).

(ALMEIDA, 2007) cita a necessidade de uma discussão para definir até que ponto as metodologias de implementação de projetos Seis Sigma são capazes de medir o impacto que as reduções de variabilidades locais têm no desempenho global da organização e, em última instância, em sua lucratividade.

Muitas organizações que aplicam projetos SS se empenham em identificar e calcular os benefícios potencialmente advindos deste tipo de projeto. Estes benefícios, geralmente, estão voltados às eliminações de desperdícios que, em última análise, reflete-se em reduções dos custos organizacionais. Este é um processo complexo, especialmente quando estão envolvidas diversas etapas interdependentes, dentre as quais, a identificação da restrição, etapa fundamental segundo a abordagem TOC, nem sempre é a principal preocupação. O direcionamento dos gestores em projetos de curto prazo e maximização de resultados operacionais e estratégicos são fatores ligados a este processo. A definição dos projetos, muitas vezes, tem sido apontada como um dos fatores que impedem ou aceleram a obtenção de um melhor desempenho (ALMEIDA, 2007).

(ALMEIDA, 2007) também apresenta um modelo voltado à seleção de projetos Seis Sigma de acordo com alguns pressupostos da TOC, mais especificamente seus cinco passos de focalização e suas medidas financeiras de apoio à decisão. Sua proposta tem o objetivo de sugerir ao gestor utilizar a TOC como abordagem para o apoio ao planejamento e implementação de projetos Seis Sigma.

(NAVE, 2002) menciona que todas as teorias e metodologias de melhorias de processos fazem uma intercessão para as mesmas premissas. Começam olhando o valor agregado do produto, depois o custo da melhoria do processo, partindo do seguinte:

- O produto ou serviço é essencial e mais econômico;
- As necessidades dos clientes serão satisfeitas;
- A configuração atual do produto cumpre as exigências funcionais do mercado;
- A estrutura de gestão apoia o projeto;

(NAVE, 2002) também mostra os principais pontos de cada metodologia, no Quadro 1:

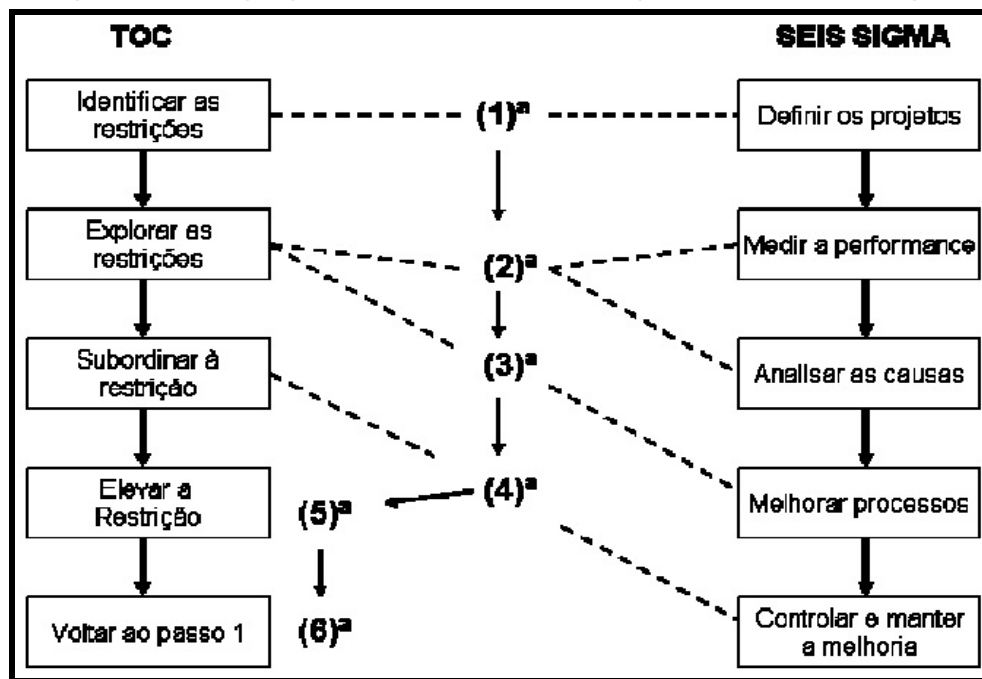
Quadro 1 - Comparação de Programas de Melhorias

PROGRAMA	SIX SIGMA	TEORIA DAS RESTRIÇÕES
Teoria	<i>Reduz a Variação</i>	<i>Gerencia a Restrição</i>
Aplicação das Diretrizes	1 - Definir 2 - Medir 3 - Analisar 4 - Melhorar 5 - Controlar	1 - Identificar a Restrição 2 - Explorar a Restrição 3 - Subordinar o Processo 4 - Elevar a Restrição 5 - Repetir o Ciclo
FOCO	<i>Foco no problema</i>	<i>Foco na Restrição</i>
Suposições	O Problema Existe; Saída do sistema melhora se variação em todo o processo é reduzida;	Ênfase na velocidade e volume; Processos Independentes;
Efeito Primário	Saída do Processo Uniforme	Processamento Rápido
Efeito Secundário	Menos Desperdício Baixo Inventário Medidas de Desempenho para os Gestores Melhora a Qualidade	Baixo Inventário/desperdício Contabilidade no custo de transferência
Críticas	Não é Considerado a interação com o Sistema	Análise dos dados não são quantificados

Fonte: Adaptado de Nave, 2007

(ALMEIDA, 2007), cita que para Ehie e Sheu (2005) a confluência do SS com a TOC pode ser feita por uma combinação de aspectos gerenciais da TOC e dos aspectos de engenharia do SS. Tanto o SS quanto a TOC têm ferramentas de aplicação semelhantes. Porém, na visão dos autores, cada fase da implementação de um projeto SS deverá correlacionar-se com as fases da TOC. O modelo proposto por Ehie e Sheu (2005) é apresentado na Figura 9, a seguir:

Figura 9 - Integração da Teoria das Restrições com o Seis Sigma



Fonte: Almeida, 2007

O SS e a TOC usam vocabulários diferentes embora com métodos de trabalho semelhantes. Ambos consistem em identificar e focalizar variáveis fundamentais, prevendo medidas críticas para melhorias nos processos, apoiando melhorias nos processos atuais e monitorando os resultados destas melhorias no nível global da organização (ALMEIDA, 2007).

(ALMEIDA, 2007).mostra baseado no modelo apresentado, por Ehie e Sheu (2005) que propõem os seguintes passos que devem ser seguidos:

a) Identificar/Definir

Identificar a restrição e verificar seu impacto global, ou seja, avaliar quais restrições impactam negativamente ou limitam aumentos no Lucro e no Retorno Sobre o Investimento da empresa.

Definir os projetos Seis Sigma de acordo com o impacto financeiro global. Depois de definido e verificado, identificam-se os projetos Seis Sigma com maior poder de alavancagem no Lucro e no Retorno Sobre o investimento da empresa.

b) Explorar/Medir/Analisar

Neste passo faz-se a medição do desempenho atual e identificam-se as causas-raiz que precisam de correção/melhoria, aplicando os passos medir e analisar do SS para validar a identificação.

c) Explorar/Melhorar

Uma vez as causas-raiz identificadas e confirmadas, neste passo aplica-se a estratégia SS utilizando técnicas estatísticas para remover as causas-raiz dos problemas para que haja o processo de melhoria. O objetivo é melhorar a capacidade atual do processo sem dispêndios de capital adicional.

d) Subordinar/Controlar

Subordinar todos os recursos à restrição. Neste passo, assegura-se de que às mudanças realizadas anteriormente, sejam sustentadas corretamente pelo resto do sistema. Por exemplo, os gerentes podem precisar mudar políticas, procedimentos ou contratar funcionários para que as mudanças sejam implementadas. É necessário um treinamento frequente neste passo, para que este processo se mantenha revisado.

e) Elevar

Se a melhoria do processo selecionado é insuficiente para satisfazer as necessidades do cliente, objetivos ou metas, os gestores têm que considerar outras opções como, por exemplo: terceirização ou investimento adicional, elevando a

capacidade do processo. Finalmente, os gestores têm que ficar atentos à dinâmica do sistema tradicional e monitorar constantemente a melhoria.

f) Voltar

Para evitar a inércia, voltar ao passo um.

5. GERENCIAMENTO DE PROCESSOS DE MANUFATURA

Um processo é uma sequência organizada de tarefas associadas a metas e/ou objetivos. Para que isso ocorra existem nesse contexto as entradas (insumos) e as saídas (produtos). Isso vale para as áreas de negócios, administrativas, de recursos humanos, financeiros, operacionais, manufatura e outros. Um processo bem definido com regras claras direciona o fluxo de trabalho e todos os seus caminhos possíveis para alcançar sua meta com o mínimo de perda e o máximo de sua capacidade. Além disso, existe nas organizações uma busca incessante pela melhoria de seus processos, para torna-los mais robustos, eficazes e eficientes. A melhoria é importante tendo em vista que os processos se degradam ao longo do tempo por diversos motivos e razões (SANTOS, 2003).

A organização que busca a melhoria continua de seu processo, procura a solução dos problemas de forma proativa, evitando assim trabalhar no modo de gerenciamento de crise ao ocorrer a ineficiência do processo. De acordo com Santos (2003), a melhoria de processos ajuda a organização no sentido de:

- Olhar o processo através dos olhos do cliente;
- Definir, gerenciar e medir um processo, a fim de avaliá-lo regularmente com informações orientada a dados;
- Dividir os processos em partes, contribuindo para uma compreensão de como os processos interagem e qual o impacto para os clientes;
- Reduzir os custos empresariais desnecessários.

O principal objetivo é identificar e compreender as questões, a fim de reconhecer soluções e implementar melhorias para ficar alinhado com as necessidades e expectativas dos clientes (SANTOS, 2003).

Segundo Pinto (2010), quando os principais interessados estão envolvidos na melhoria de processos, eles podem se concentrar coletivamente na eliminação de desperdício de tempo, recursos, materiais e oportunidades. Tais elementos são desperdiçados quando se deixa de examinar os processos que são utilizados para

conduzir os negócios. O trabalho pode ser concluído de maneira mais econômica, rápida e fácil. Há alguns casos de fracasso na implantação da melhoria continua, devido a alguns fatores, que deixados de lado contribuíram para o insucesso, são eles:

- Falha na integração das metodologias ou mau entendimento dos modelos;
- A seleção de projetos ou pessoas incompatíveis, sem o entendimento do objetivo;
- Falta de informações para a tomada de decisão;
- A falta do envolvimento da liderança e da alta direção;

CAPÍTULO IV

6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia da pesquisa num planejamento deve ser entendida como o conjunto detalhado e sequencial de métodos e técnicas científicas a serem executados ao longo da pesquisa, de tal modo que se consiga atingir os objetivos inicialmente propostos e, ao mesmo tempo, atender aos critérios de menor custo, maior rapidez, maior eficácia e mais confiabilidade de informação (BARRETO e HONORATO, 1998).

6.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

(VENTURA, 2002) cita que são incontáveis e absolutamente diversas as classificações da metodologia que se pode encontrar na literatura especializada.

Segundo Veiga (1996), a metodologia, ou procedimentos é o caminho traçado para atingir os objetivos do projeto. Em alguns casos, como nas ciências exatas ou biológicas, já se dispõem de metodologias consagradas que podem ser entendidas como um conjunto de procedimentos replicáveis em qualquer situação por diferentes pesquisadores. Por se tratar de um estudo estatístico que mostra e mede suas características, através de números as suposições mencionadas a respeito de um problema de pesquisa, definimos que se trata de uma Pesquisa Quantitativa.

(MORESI, 2003) considera que a Pesquisa Quantitativa trata de tudo o que pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisa-las. Requer o uso de recursos e técnicas estatísticas (percentagem, média, moda, mediana, desvio padrão, coeficiente de correlação, análise de regressão, etc.).

Já Portela (2004), afirma que nesse tipo de abordagem, os pesquisadores buscam exprimir as relações de dependência funcional entre variáveis para tratarem do como dos fenômenos. Eles procuram identificar os elementos constituintes do objeto estudado, estabelecendo a estrutura e a evolução das relações entre os elementos. Seus dados são métricos (medidas, comparação/padrão/metro) e as abordagens são experimental, hipotético-dedutiva, verificatória. Eles têm como base as metateorias formalizantes e descritivas.

- Vantagens: automaticidade e precisão, controle de *bias*
- Limites: determinação prévia de resultados

Como as amostras geralmente são grandes e consideradas representativas da população, os resultados são tomados como se constituíssem um retrato real de toda a população alvo da pesquisa. A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente (FONSECA, 2002).

O Objetivo será exploratório, visto que é necessário conhecermos melhor o problema e ajudar a propor uma solução, já que temos a sua definição, faltando apenas caracterizá-lo e classificá-lo.

Quanto a Natureza da Pesquisa foi aplicada, visto que, investigamos para comprovar ou rejeitar hipóteses levantadas a partir das análises dos dados coletados.

6.2. DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O Objeto de Estudo é uma Empresa Brasileira do ramo de produção de produtos eletroeletrônicos, uma das maiores no seu segmento, fundada em 1942 na Cidade de São Paulo, tendo sua planta produtiva inserida no Polo Industrial de Manaus, com sede em São Paulo. A Empresa foi a primeira a produzir rádios no Brasil, posteriormente passou também a produzir televisores. A organização participou da padronização do atual sistema de transmissão analógica brasileiro a cores, anos depois produzindo o primeiro televisor a cores com tecnologia própria.

Na década de 90 foi consagrada com diversos prêmios e certificados pela imprensa nacional, alguns como:

- *Revista Exame “Melhores e Maiores” (1993 – 1996);*

Hoje a mesma detém uma gama significativa no seu portfólio de produtos, fazendo-a respeitada no seu segmento, deixando-nos brasileiros orgulhosos de seus feitos.

Sua Fábrica é certificada no Sistema de Gestão Integrada (SGI), base para o credenciamento com a ISO 9001 e ISO 14001, onde contempla a qualidade e a parte ambiental, instrumentos que mostram o seu comprometimento com o cliente e com o meio ambiente.

Seu portfólio de produtos é composto por: DVD/HOME, Televisores, Áudio, Informática (Notebooks e Tablets), Telefonia, inseridos nas maiorias das casas brasileiras.

Sua divisão fabril está dividida em três principais partes ou processos:

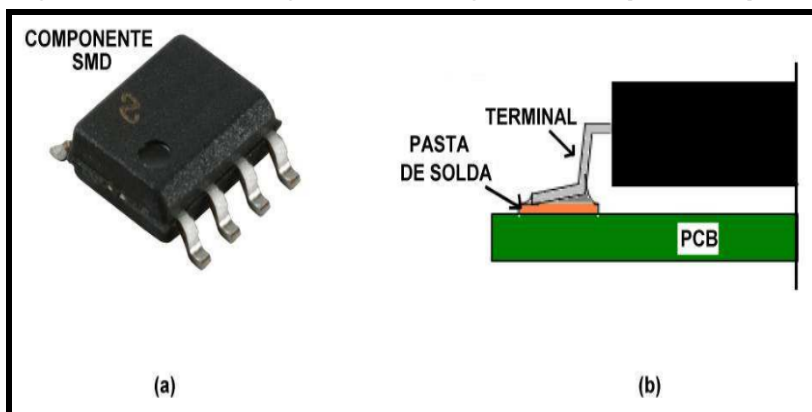
- IAC – Inserção Automática de Componentes;
- IMC – Inserção Manual de Componentes;
- MF – Montagem Fina que também agrega os Testes;

7. PROCESSO DE FABRICAÇÃO SMT

A coleta de dados se deu em duas linhas de Inserção Automáticas de Componentes (IAC), operando em dois turnos. A empresa opera sem terceirização de montagem de componentes e dispõem das seguintes áreas:

- Inserção Automática de Componentes (IAC), nessa fase são montados por máquinas inseridoras os componentes SMD, a Figura 12, ilustra o processo.
- Inserção Manual de Componentes (IMC), aqui são montados os componentes chamados Through Hole (TH), através da tecnologia Plated Through Hole (PTH), que são fixados através de terminais encaixados em furos, onde compõem circuitos tipo fonte de alimentação ou outros circuitos que ainda não houve a miniaturização do componente, a Figura 10 mostra o resultado.
- Montagem Final do Produto (MFP), fase final, produto montado.
- Fase de testes é concebida em todas as fases, cada uma com sua peculiaridade.

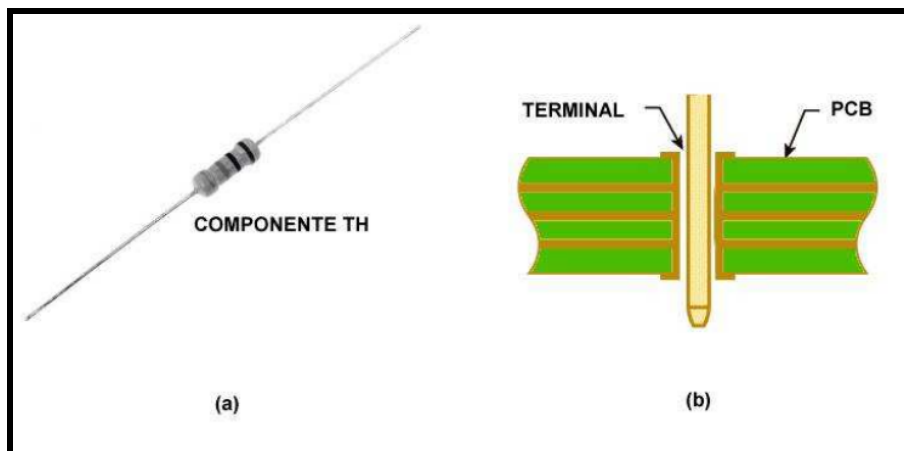
Figura 10 - Tecnologia de Montagem em Superfície (SMT)



Fonte: Borges, 2009

O componente ilustrado na **Figura 10(a)** consiste em circuito integrado com encapsulamento designado como SOIC8. Os componentes fabricados para uso em processos SMT são chamados de SMD (surface mounted devices). Na **Figura 10(b)** é possível observar a vista em corte de uma PCB com componente semelhante ao apresentando no item **10(a)**. A pasta de solda se funde quando levada ao forno, transformando-se em um bloco maciço de metal (BORGES, 2009).

Figura 11 - Tecnologia PTH



Fonte: Borges, 2009

Na **Figura 11, item 11(a)**, observa-se um componente eletrônico, mais especificamente um resistor, fabricado em tecnologia Through Hole. No item **11(b)** é ilustrada a vista em corte de uma placa de circuito impresso de cinco camadas de material condutor, com o terminal de um componente inserido em um furo. Posteriormente para **a ilustração 11(b)**, os espaços entre o terminal e furo serão preenchidos com solda (BORGES, 2009).

7.1. TECNOLOGIA DE MONTAGEM EM SUPERFÍCIE (SMT)

O processo de montagem SMT (Surface Mount Technology) ou Tecnologia de Montagem em Superfície, é também conhecido como SMD (Surface Mount Device, ou Dispositivos de Montagem em Superfície). Nessa tecnologia, os componentes eletrônicos são montados sob a superfície de uma placa de circuito impresso, já na tecnologia que antecedeu a SMT, conhecida como PTH (Pin Through Hole ou Pinos através de Furos), os pinos ou terminais dos componentes eram inseridos manualmente e soldados através de furos na placa de circuito impresso. Nesse tipo de tecnologia PTH normalmente são usadas pessoas para realizar a montagem dos componentes e a soldagem dos componentes acontece numa máquina através de uma onda de solda líquida que percorre a superfície inferior do circuito impresso (MORAES, 2006).

(MORAES, 2006) também comenta os grandes avanços tecnológicos, experimentados nos últimos anos, possibilitaram a utilização de equipamentos, técnicas e produtos que até pouco tempo só existiam em teses, em consequência deste avanço tecnológico, os processos produtivos da indústria foram amplamente automatizados. A utilização da tecnologia disponível possibilitou um grande avanço nos níveis de precisão, flexibilidade e capacidade de realizar grandes volumes de produção. O processo de montagem de circuitos eletrônicos é um exemplo. Para a montagem das placas de circuitos eletrônicos há a necessidade de um alto grau de precisão e de controle das variáveis de processo, e na maioria dos casos, as fábricas são configuradas para atender um grande volume de produção, e de forma geral, os trabalhos manuais têm sido cada vez menos aplicados, dando lugar ao uso da inteligência e do raciocínio.

Já Fuse (2015), cita que a montagem em superfície (SMT) os componentes são soldados sobre a superfície da placa, não necessitando assim, que a placa seja perfurada. Esta tecnologia surgiu na metade dos anos 60 e ainda está evoluindo rapidamente. Inicialmente, os componentes eram produzidos em pacotes similares aos componentes TH, onde os terminais eram cortados e moldados para permitir a soldagem sobre a superfície da placa. Hoje, a largura dos terminais e a geometria dos componentes estão continuamente sendo reduzidas.

A manufatura de uma placa de circuito impresso envolve a seleção de componentes, o layout da placa e os processos de fabricação, montagem e teste. Durante estas etapas vários defeitos podem ser gerados. Entender a origem e as consequências dos defeitos é fundamental para que ações corretivas e preventivas sejam tomadas no produto e no processo (DORO, 2004).

Na tecnologia SMT normalmente são usadas máquinas insersoras de componentes, chip placer e large placer durante todo o processo de produção, desde a aplicação da pasta de solda até mesmo a montagem dos componentes e a refusão da pasta de solda, pois os componentes em geral são muito pequenos, sensíveis e necessitam de grande precisão de montagem, exigindo um controle muito rígido dos parâmetros do processo (MORAES, 2006).

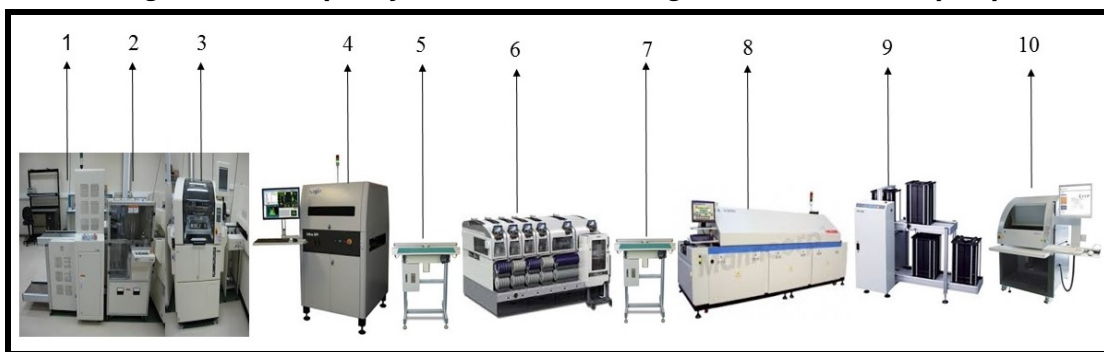
7.2. PROCESSO DE MONTAGEM UTILIZANDO TECNOLOGIA (SMT)

A **Figura 12** mostra a disposição de uma linha de produção SMT para a montagem de componentes SMD, abaixo a descrição dos itens relacionados:

1. Alimentador de Magazines: alimenta as placas sem componentes para a produção;
2. Inverter: inversor de posição de placas, caso a placa seja produzida na posição TOP ou BOTTOM.
3. Printer: dispositivo responsável pela aplicação da pasta de solda nos pads da placa.
4. Solder Paste Inspection (SPI): equipamento responsável pela inspeção da qualidade da pasta aplicada na placa.
5. Conveyor: equipamento responsável por transportar a placa de um equipamento ao outro.

6. Pick and Place: equipamento responsável pela montagem dos componentes nas placas.
7. Conveyor: equipamento responsável por transportar a placa de um equipamento ao outro.
8. Forno de Refusão: Responsável pela soldagem dos componentes na placa.
9. Buffer: equipamento responsável por armazenar as placas para a inspeção.
10. Automated Optical Inspection (AOI): equipamento responsável pela inspeção visual automática, mostrando se alguma placa está fora do padrão, provando ou reprovando.

Figura 12 - Disposição Linha de Montagem SMT Básica - (IAC)



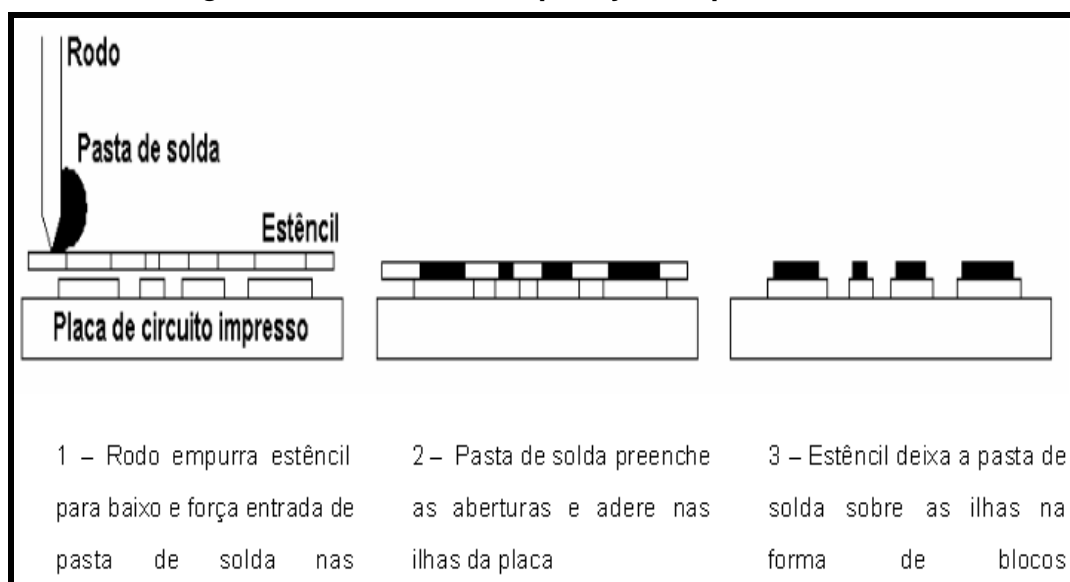
Fonte: O Autor

Basicamente existem dois tipos de processo de montagem SMT:

- Por soldagem através de refusão;
- Por soldagem através de ondas;

O processo estudado nesse trabalho foi o de soldagem por refusão. Ele se inicia quando a placa passa pela máquina chamada de Printer, que tem a função de depositar a pasta de solda sobre as ilhas ou pads da placa, através de um processo de semelhante ao de impressão por serigrafia, a **Figura13** demonstra o processo:

Figura 13 - Processo de aplicação da pasta de solda



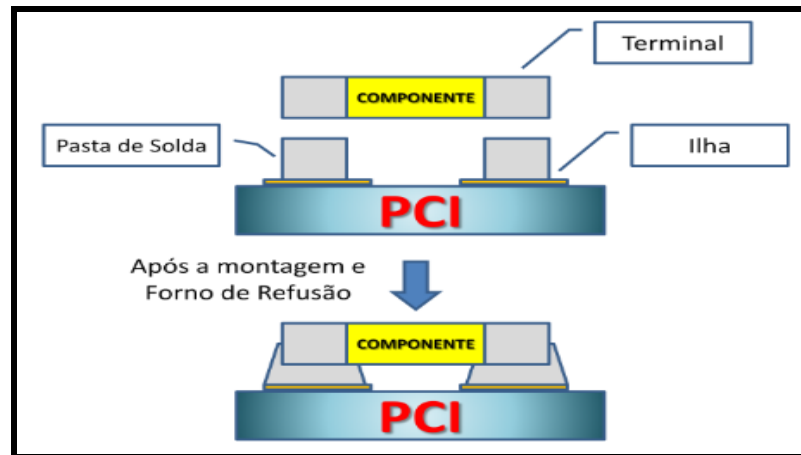
Fonte: Doro, 2004

Após passar pela Printer a placa é inspecionada Solder Paste Inspection SPI, verificando se a pasta foi aplicada corretamente.

A próxima fase consiste na inserção de componentes sobre a pasta de solda aplicada, esta operação é executada através das máquinas de inserção automática. Podendo variar de modelo dependendo do componente que deverá ser montado.

A última etapa do processo de montagem é a refusão da solda, que é realizada em um forno industrial composto por várias zonas de aquecimento, que permitem o ajuste do perfil térmico desejado para o produto em produção, a **Figura 14**, mostra o resultado.

Figura 14 - Componente SMD montado e soldado



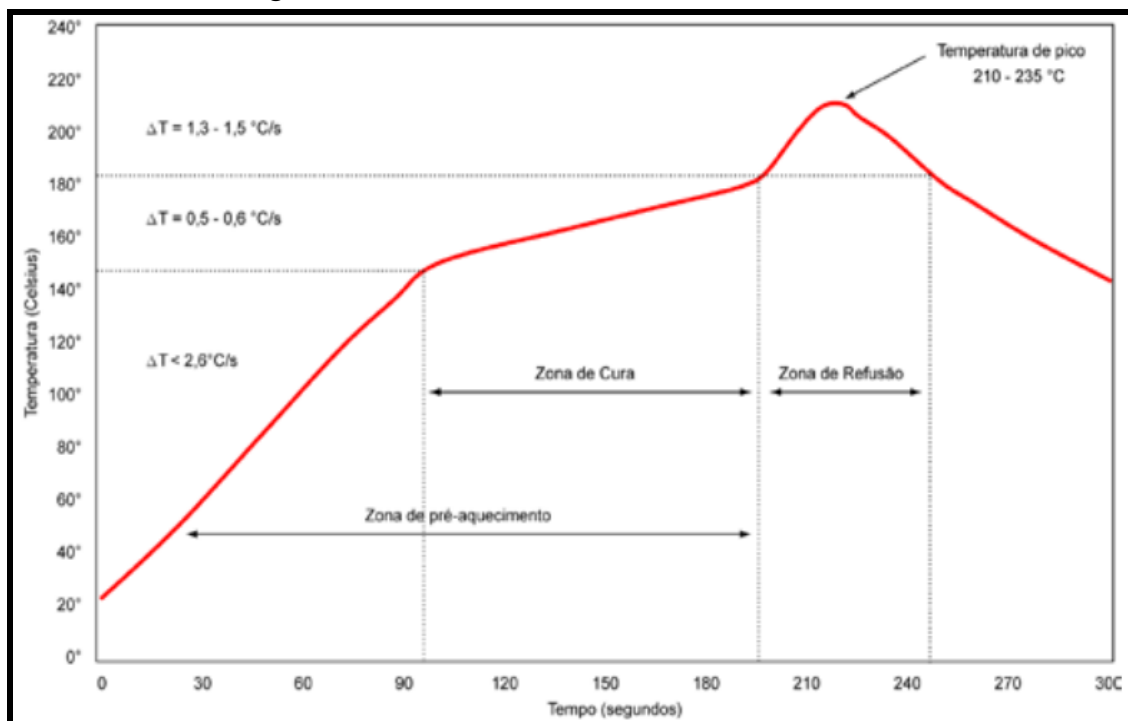
Fonte: Oliveira, 2012

(OLIVEIRA, 2012) explica que a refusão da pasta de solda acontece através do “perfil térmico” do forno, isto é, a curva da temperatura da placa em função do tempo **Figura 15**.

Este perfil é formado de quatro fases distintas:

- **Pré-aquecimento** - nesta fase a temperatura ambiente é elevada até a evaporação dos solventes da pasta de solda.
- **Desgaseificação** - nesta fase a temperatura é elevada lentamente como propósito de ativar o fluxo e igualar a temperatura na placa.
- **Refusão-nesta** - fase a temperatura é elevada para que as esferas de solda se fundam, formando então a junta de solda.
- **Resfriamento** – a temperatura é reduzida gradativamente até a temperatura ambiente.

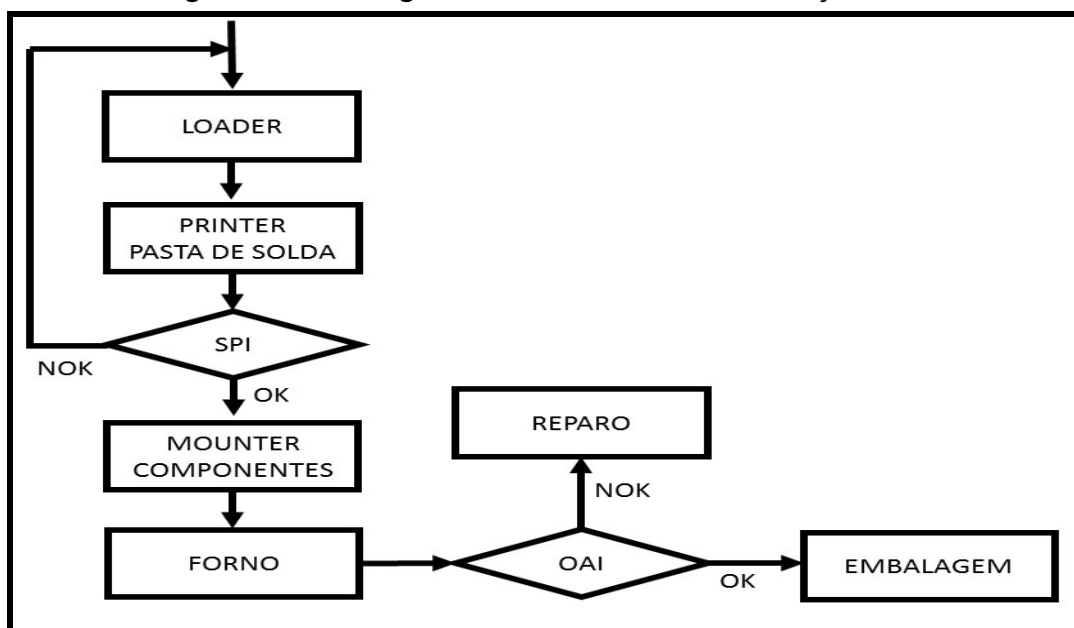
Figura 15 - Perfil Térmico do Forno de Refusão



Fonte: Oliveira, 2012

Após a Refusão é feita a inspeção na Automated Optical Inspection (AOI), verifique se todos os componentes estão montados, aprovando ou reprovando a placa. A **Figura 16** mostra o processo de montagem SMT em um fluxograma.

Figura 16 - Fluxograma do Processo de Produção SMT

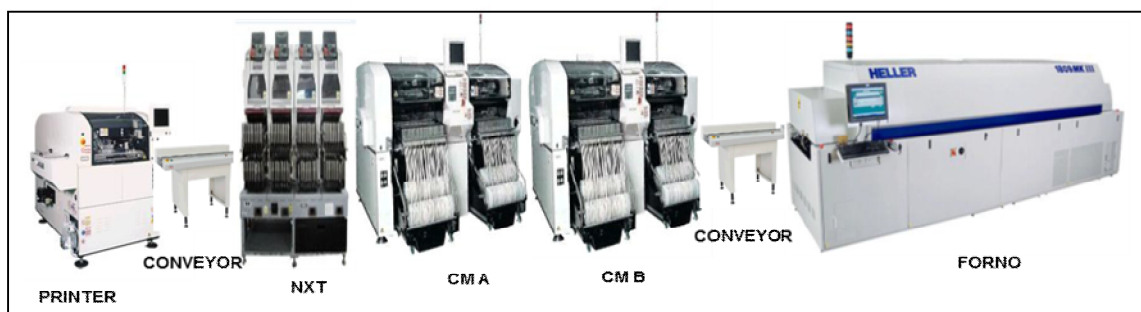


Fonte: O Autor

7.2.4.1. Disposição da Linha de Produção em que se baseou o estudo:

Os estudos foram feitos na Fábrica IAC, em linhas de montagem SMT, as mesmas eram compostas pelas máquinas mostradas na **Figura 17**:

Figura 17 - Disposição da Linha no momento do estudo



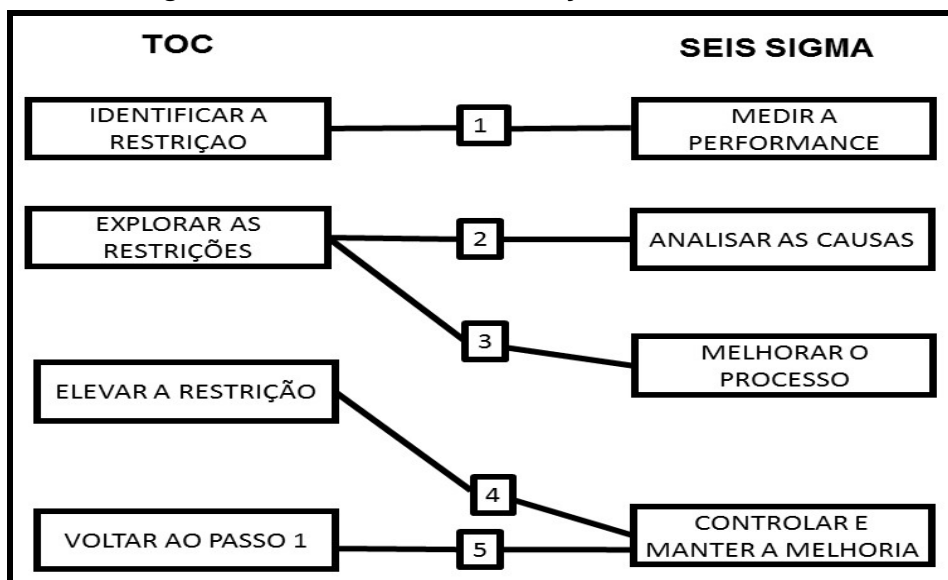
Fonte: O Autor

7.2.4.2. O MÉTODO PROPOSTO PARA A OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO SMT

O método usado é uma adaptação de Ehie & Sheu (2005), para otimização de linhas de produção SMT para inserção de componentes SMD.

Abaixo segue a **Figura 18** onde mostra um diagrama com os passos adaptados de (EHIE e SHEU, 2005):

Figura 18 - Método de Otimização de Linhas SMT



Fonte: Adaptado de Ehie e Sheu, 2005

1 - Medir/Identificar

A Restrição é identificada através da medição do resultado do processo olhando o ciclo de cada máquina e a quantidade produzida dos outros membros do processo, depois são comparados com a meta. Os resultados coletados são plotados em um Gráfico de Pareto, aquele que se mostrar com o maior valor de ciclo e o menor valor produzido se mostrará a restrição.

2 – Analisar/Explorar/Melhorar

Analizamos as especificações técnicas das máquinas, identificamos as capacidades máximas de cada gargalo e não gargalo, assim relacionamos possíveis causas a partir do efeito, através de um Diagrama de Causa e Efeito junto com a equipe de produção, engenharia e manutenção. Efetuamos as mudanças de setups, monitoramos novamente o processo, analisamos novamente se a restrição será ou não capaz de alcançar a meta ou se a mesma mudou de posição.

3 – Elevar/Controlar/Voltar

Após concluir que a restrição não conseguirá alcançar a meta, e o restante dos membros do processo tem condições de aumentar sua eficiência, devemos duplicar o gargalo, com isso daremos mais vazão ao processo, produzindo mais, disponibilizando mais rápido as máquinas para a produção de novos produtos, diminuindo a indisponibilidade gerada pelo gargalo diminuindo custos e aumentando lucro.

8.1. COLETA DE DADOS

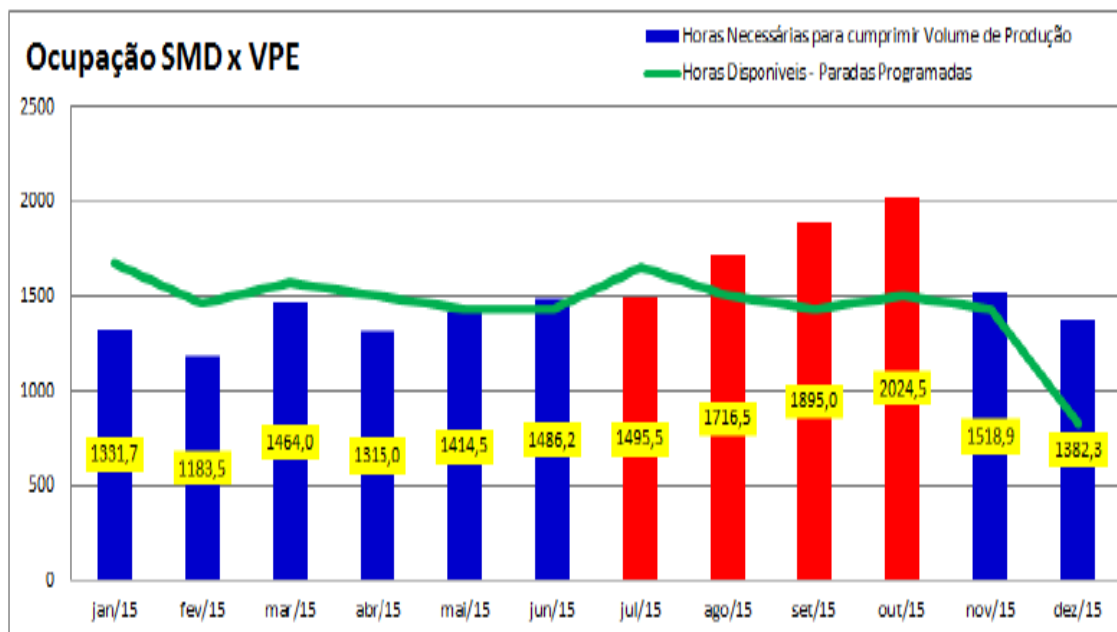
A demanda da análise de gargalos mais especificamente na IAC se deu a partir do plano de produção mostrado no gráfico da **Figura 19**, a mesma mostra que programação de produção versus capacidade de produção estavam divergentes, ou seja, a demanda estava maior que a oferta, analisando o plano, verificou-se que os meses de ago/2015, set/2015, out/2015, havia-se problemas de atender aos pedidos, baseando-se na quantidade de horas disponíveis das máquinas, a capacidade contratada era maior que a ofertada, com essa visão surgiu a oportunidade de melhorar a capacidade com pequenos ajustes e investimentos.

A coleta de dados foi feita de dois modos:

1. Através do relatório de produção, retirado de um software proprietário de apoio ao chão de fábrica;
2. Através de apontamento manual executada por dois dias;

Ambos os métodos foram coletados no mesmo período, na mesma linha e produzindo o mesmo modelo, os dados preliminares mostraram resultados pariformes, onde o gargalo encontrava-se espalhado na linha logo, sem balanceamento.

Figura 19 - Ocupação SMD x VPE



Fonte: O Autor

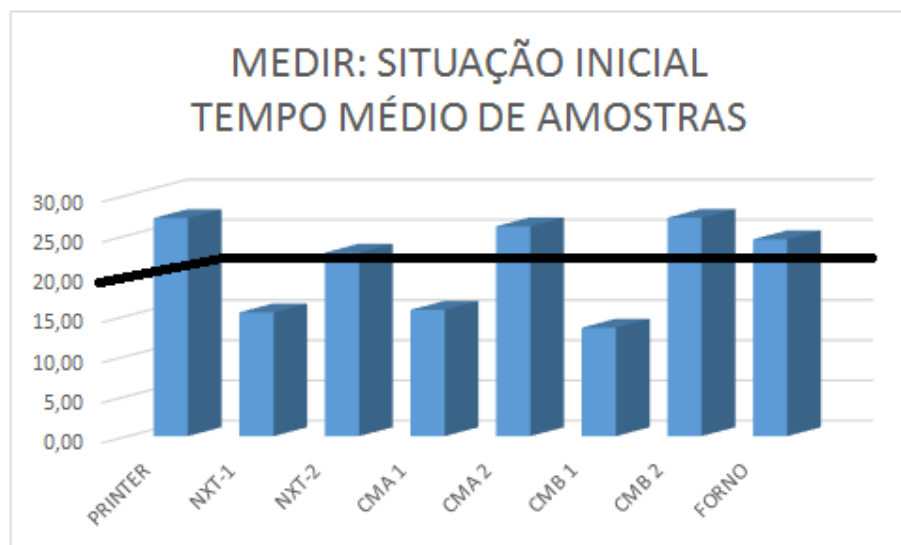
A **Figura 20** mostra o fluxo da linha e também os valores de todos os principais indicadores que mostram a eficiência de cada máquina. Pode-se verificar também que na **Figura 21**, que a PRINTER, NXT2, CMA2, CMB2 e o FORNO, estão acima da quantidade de ciclos estabelecidos como padrão, que seria de 20 ciclos para manter a produção dentro do planejado. Nesse sentido, foram identificados os gargalos. Os trabalhos se deram em aplicar o método proposto na seção 6.2.2.3, com a proposta de reduzir o ciclo de montagem das máquinas do processo produtivo de componentes SMD, consequentemente diminuindo desperdício (estoque em processo), aumentando o ganho e eficiência da máquina na linha.

Figura 20 - Fluxo do Processo



Fonte: O Autor

Figura 21 - Ciclo por Máquina



Fonte: O Autor

CAPÍTULO V

8. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A capacidade de produção foi incrementada a partir, da redução a ociosidade do gargalo em 10%, melhorou-se também o balanceando da linha, através das medições reduziu-se a quantidade de ciclos das máquinas de montagem no processo SMT, conseqüentemente reduziu-se o desperdício e reduziu-se a indisponibilidade das máquinas, com isso aumentou-se a sua capacidade produtiva, para tanto aplicou-se integralmente a Teoria das Restrições e o Seis Sigma como arcabouço de gerenciamento.

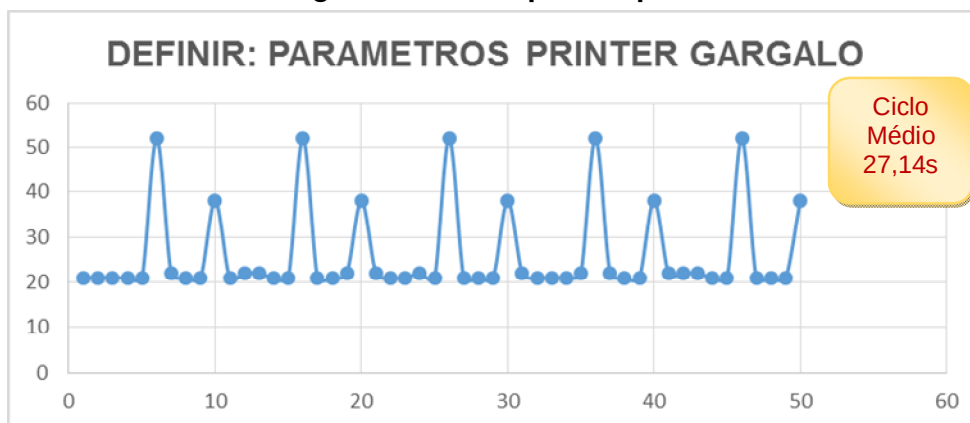
Após a realização do levantamento dos tempos para quantificar as perdas na produção as máquinas e como deveria ser a tratativa para uma ação mais eficiente com o objetivo de melhorar e determinar os resultados.

A PRINTER foi a primeira máquina da linha com o tempo de ciclo acima da meta. Dessa forma, decidiu-se então em começar os estudos por ela. Foi identificada a causa para o efeito da perda de produção devido aos altos ciclos na PRINTER, onde o aumento do tempo de produção se dava, preliminarmente pelo processo de limpeza automática. Esse processo alterna-se em LIMPEZA SECA e LIMPEZA SECA/MOLHADA, necessário para manter a qualidade da aplicação da pasta na placa.

Ao analisar o gráfico de dispersão mostrado na **Figura 22** e descrito na **tabela 2**, percebeu-se que o tempo normal para o Printer Load (Espalhamento normal da Pasta) levava em média 22 segundos em 50 ciclos, a limpeza a seco 38 segundos e era executada em 5 vezes a cada 50 ciclos e a limpeza seca+molhada leva 52 segundos, também executada 5 vezes a cada 50 ciclos.

Verificou-se, ainda, que a limpeza a seco levava 72% a mais do tempo normal de trabalho e que a limpeza seco+molhada leva 136% a mais da limpeza normal. Pode-se deduzir que dependendo da frequência e tipo de limpeza, e a quantidade de componentes na placa a PRINTER pode ser facilmente o gargalo da linha. No momento da coleta a configuração da máquina, apresentava-se:

Figura 22 - Ciclo por Máquina



Fonte: O Autor

Tabela 2 - Parâmetros da Printer (Gargalo)

PARAMETRIZAÇÃO PRINTER GARGALO	
Limpeza a seco	A cada 3 PCP
Limpeza a seco+molhada	A cada 5 PCP
Pasta de Solda: Checar volume	A cada 20 PCP
Velocidade de Impressão	60mm/seg
Pressão do Squeegee	40N

Fonte: O Autor

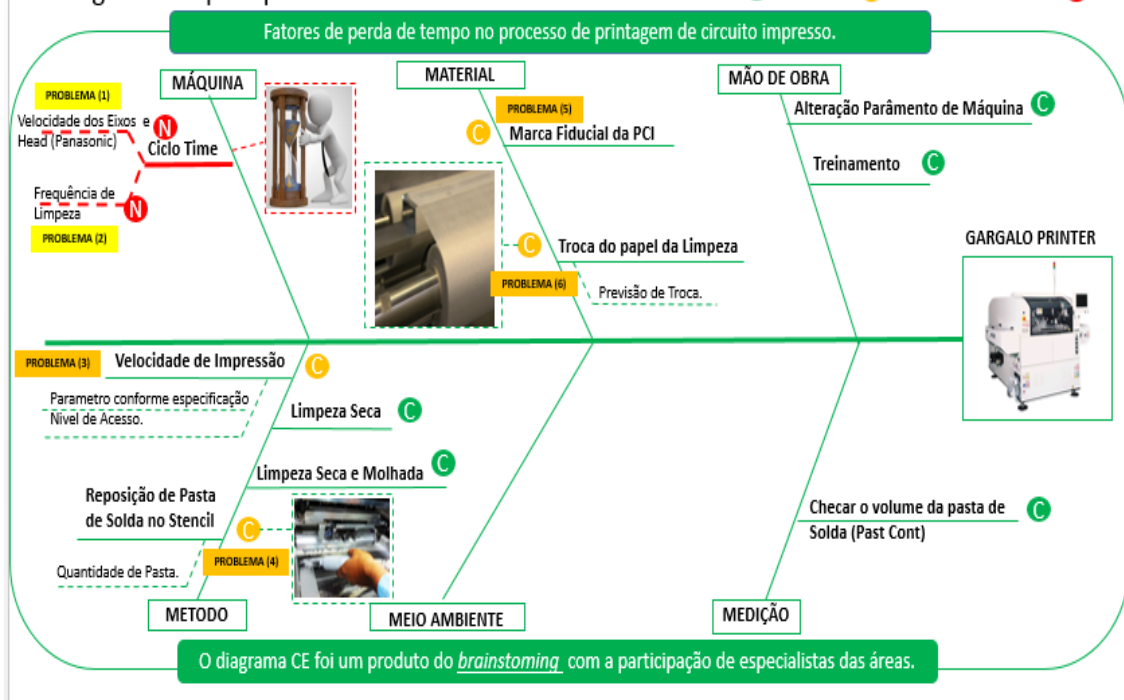
A limpeza automática durante a produção é importante, pois, ela é responsável por garantir a qualidade da impressão da pasta de solda, por outro lado, impacta diretamente na produção da linha, refletido no tempo do ciclo da máquina.

Seguindo o modelo, após a medição seguiu-se para a fase de explorar a restrição, analisamos as causas, foi realizado um brainstorming com todos os setores envolvidos no processo e especialistas na operação, Engenharia, Produção e Qualidade, gerando assim um diagrama de causa e efeito (ISHIKAWA) mostrado na **Figura 23**, através de sua representação foi verificado o que está controlado, não controlado e o que passou a ser controlado.

Figura 23 - Diagrama de Cause e Efeito (ISHIKAWA)

(1) Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa)

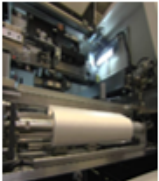
- Diagrama CE para problemas relacionados a Screen Printer. **C** Controlado **O** Passou a ser controlado **N** Não



Fonte: O Autor

Após a construção e validação do Diagrama de Causa e Efeito, a próxima fase foi a de implantação das melhorias, tendo como insumo o Plano de Ação, **Figura 24**, onde foram definidas as ações para a otimização do processo.

Figura 24 - Plano de Ação

(1) Plano de Ações						
Plano de Ação - Balanceamento de Linha						
PROBLEMA	AÇÃO (O que ?)	ETAPA (Como ?)	RESPONSÁVEL (Quem ?)	PRAZO DE INÍCIO (Quando ?)	PRAZO DE FIM (Quando ?)	STATUS
1	Velocidade dos Eixos e Head (Velocidade inferior ao restante da linha)	Entramos em contato com a PANASONIC, fomos informados não é possível fazer UPGRADE nesta versão de equipamento.	Operador 1	29/01/2015	09/04/2015	
2	 Frequência de Limpeza Automática (De quantas em quantas placas a limpeza automática é feita)	Medição dos tempos usados nos processo de limpeza e montagem; Linha 8	Operador 1	16/02/2015	18/02/2015	
		Medição dos tempos usados nos processo de limpeza e montagem; Linha 1,2 e 7	Operador 1	10/03/2015	13/03/2015	
		Medição dos tempos usados nos processo de limpeza e montagem; Linha 9	Operador 1	20/04/2015	07/05/2015	
		Medição dos tempos usados nos processo de limpeza e montagem; Linha 6	Operador 1	11/05/2015	29/05/2015	
		Eliminação da Limpeza Seca, validar SPI e AOI. Alternar a Seca + Molhada, de 5 para 10, validar na SPI e AOI. Alternar a Limpeza Seca + Molhada, de 10 para 20. Validar na SPI e AOI, validação Reprovada na SPI de 20 para 25.	Operador 1	20/04/2015	24/04/2015	
3	Velocidade de Impressão, não acompanha linha	Foi feita definição do padrão de impressão para o processo : Velocidade de Impressão : de 150 para 100; Pressão do Squeege : de 60 para 40;	Operador 2	20/04/2015	20/04/2015	
4	Reposição de Pasta de Solda, depende do operador avaliar a quantidade e o momento para completar a quantidade	Foi feita verificação e confirmamos através dos resultados da SPI que não estavam ocorrendo falhas no abastecimento de pasta de solda pelo operador;	Operador 2	20/04/2015	20/04/2015	
5	Marca Fiducial da PCI, erros de reconhecimento provocam atraso no ciclo de montagem	Nas amostragens feitas no processo não foram identificadas paradas relacionadas a ERRO DE RECONHECIMENTO DA MARCA FIDUCIAL.	Operador 1	20/04/2015	24/04/2015	
6	Troca do Papel de Limpeza da máquina, atraso no ciclo devido a atraso na troca do papel.	Em média ocorrem 3 trocas de papel durante o turno, estas trocas são feitas em momentos em que a linha já está parada por outras ações e nas amostragens não foram identificadas paradas para este motivo;	Operador 1	20/04/2015	24/04/2015	

Fonte: O Autor

Na sequencia, foi realizada uma avaliação para comprovar se as mudanças foram satisfatórias, se o gargalo (Printer - **Figura 25**) conseguiu alcançar os resultados esperados (META), neste momento as melhorias já foram analisadas, discutidas, implantadas e medidas novamente.

Observou-se que os resultados não foram satisfatórios e, por isso, foram alterados os parâmetros de limpeza seco e seco+molhado e a quantidade de placas com defeitos de pasta de soldas que subiu consideravelmente, chegando a comprometer também a quantidade de warnings gerados pelas máquinas seguintes do processo.

Verificou-se que a necessidade de elevar (duplicar) o gargalo não estava descartado, porém após algumas pesquisas, verificou-se que as alterações nas quantidades das limpezas poderiam ser feitas sem perder a qualidade, para isso bastava acrescentar após a Printer uma outra máquina chamada SPI, Solder Paste Inspection (Inspeção de Pasta de Solda).

Figura 25 - Printer



Fonte: < <https://www.manncorp.com/stencil-printing/smt-stencil-printers> >

SPI Solder Paste Inspection (Inspeção de Pasta de Solda), **figura 26** é um equipamento que trabalha com comparações de padrões, conferindo se a área e altura da pasta de solda estão de acordo com o template informado, ou seja, com qualidade para produzir. Caso a mesma esteja conectada a Printer, poderá retornar mensagens, identificadas através de erros indicados pelo sistema ocasionados pelo processo, atuando em real time em correções automáticas de parâmetros da Printer.

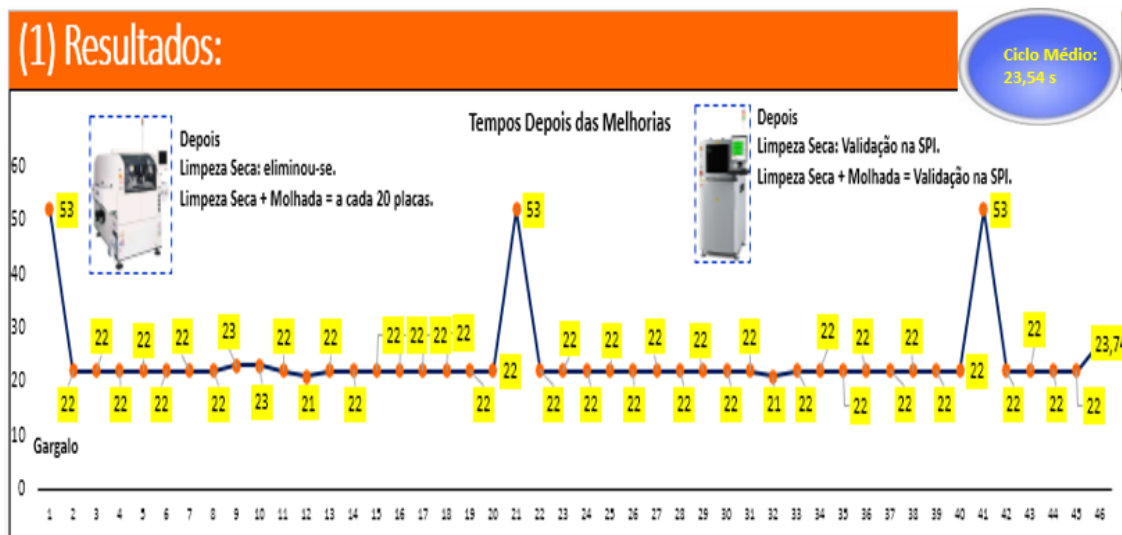
Figura 26 - SPI (Solder Paste Inspection)



Fonte: <<http://www.sgst.com/solder-paste-inspection-spi/>>

O novo gráfico de dispersão **figura 27**, mostra que a limpeza a seca foi eliminada e que a limpeza seca+molhada passou para a cada 20 placas, melhorando o tempo da máquina sem produzir, a SPI passou a garantir a qualidade da aplicação da pasta de solda nos pads das placas.

Figura 27 - Diagrama de Dispersão – Ciclo Printer após as melhorias



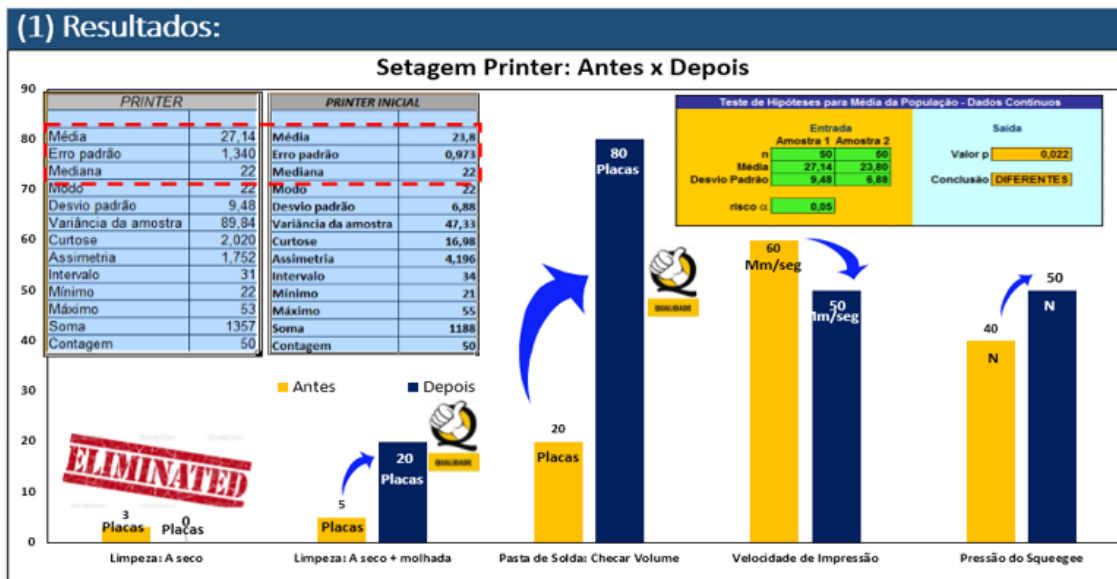
Fonte: O Autor

Já a **Figura 28** mostra os valores de sets da Printer antes e depois da SPI, foi verificado que os tempos médios baixaram, o desvio padrão baixou, a variância das amostras também foi reduzida.

Após a aplicação do método, novos dados foram coletados conforme a **Figura 29** e pode-se verificar que houve um balanceamento na linha e uma aproximação dos resultados em relação a meta, todas as medições foram feitas produzindo o modelo o mesmo modelo de placa.

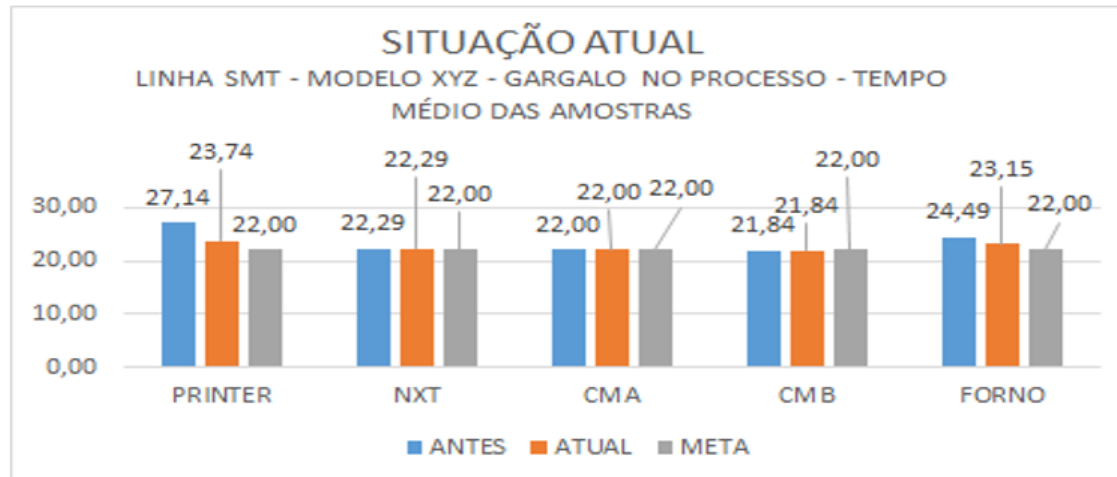
A **Figura 30** exibe como ficou à disposição da linha de montagem SMT após a aplicação do modelo.

Figura 28 - SET Parâmetros Printer



Fonte: O Autor

Figura 29 - Tempo do Ciclo por Máquina – Situação Atual



Fonte: O Autor

Figura 30 - Nova Disposição da Linha SMD

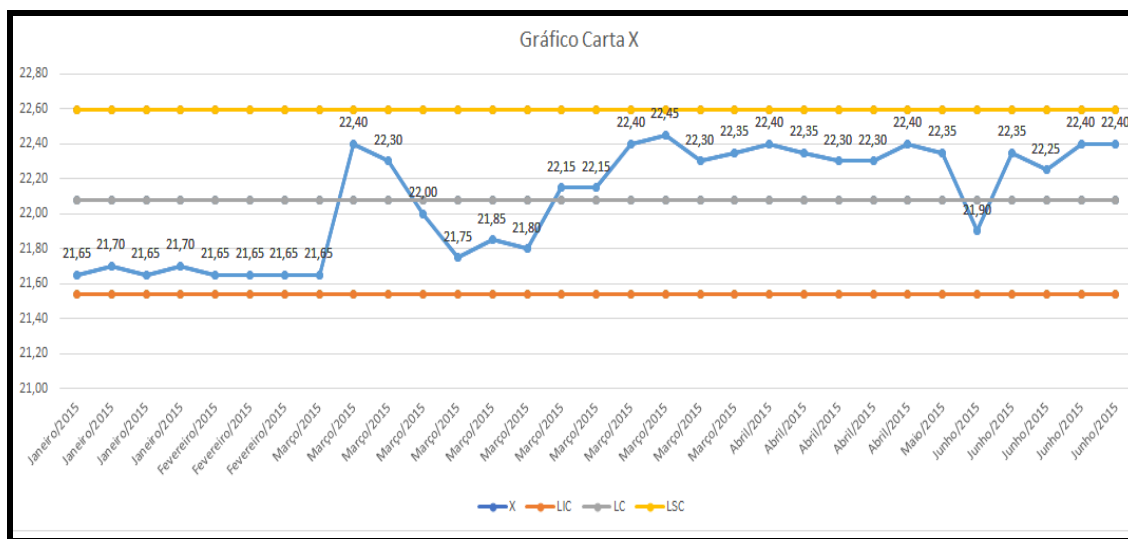


Fonte: O Autor

Cartas de Controle foram criadas para verificar se o processo estava ou não sob controle. Foram observados os seguintes pontos:

- A **Figura 31 e 32** mostram as cartas de controle com dados coletados no período de Janeiro/2015 à Junho/2015, para monitorar dados de qualidade tanto a média da característica da qualidade quanto a sua variabilidade, os cálculos estatísticos foram baseados na carta de controle do tipo $\bar{X}$ -S, onde os dados são variáveis do tipo contínuos, n não é fixo e é maior que 10,
- A reprodutividade foi garantida através de resultados semelhantes coletados por dois operadores diferentes e a partir de relatórios gerados pelo sistema de apoio ao chão de fábrica.
- A Carta $\bar{X}$ exibe as amostras dispersas ou não em relação à média e a Carta S mostra a variabilidade utilizando o desvio padrão em relação à média.

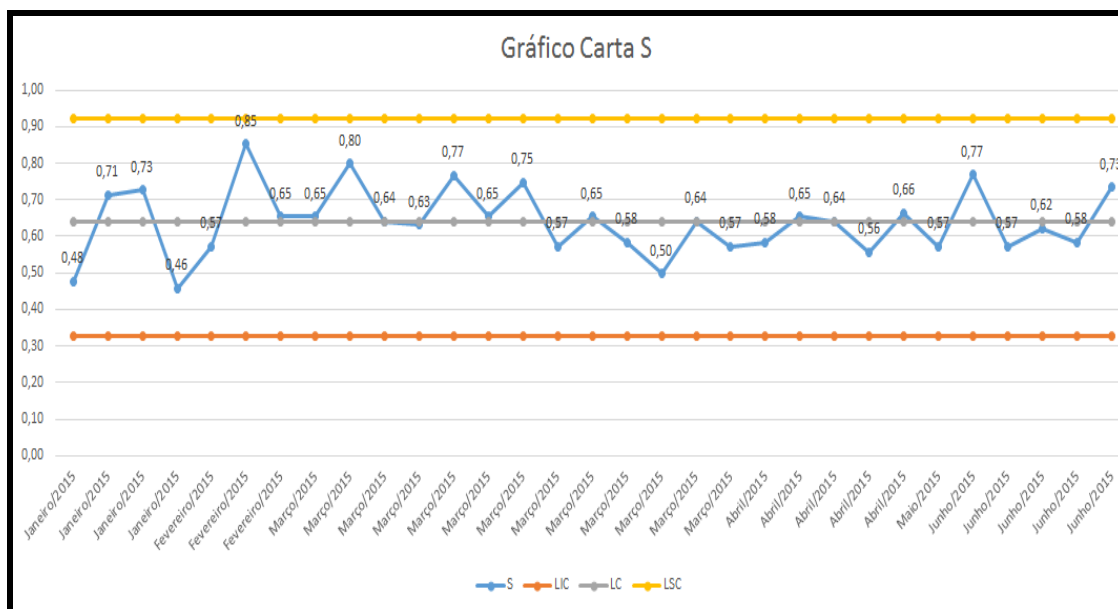
Figura 31 - Carta de Controle X



Fonte: O Autor

Foi observado a partir da Carta X, **Figura 31**, que nos meses de Janeiro/2015 à Fevereiro/2015, o tempo de ciclo estava abaixo da média, mostrando uma subutilização da máquina. Este foi um período de testes e validações. Nos meses seguintes as variações se deram pela inserção de novos modelos operando-os ao mesmo tempo e também pela variação do tamanho da placa.

Figura 32 - Carta de Controle S



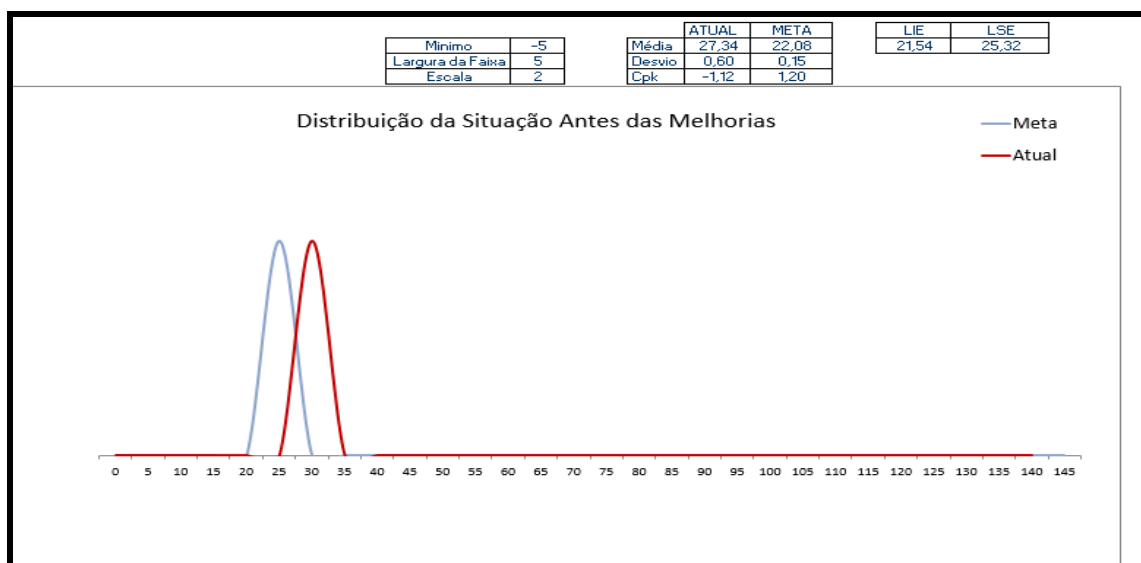
Fonte: O Autor

A Carta S, **Figura 32**, mostrou uma variabilidade controlada em relação ao desvio padrão, independente do modelo utilizado, sendo necessário apenas uma leitura diária, visando o acompanhamento.

A Figura 34 e 35 mostram os valores dos seguintes indicadores: média, desvio padrão e o cpk, antes e depois das melhorias. A **Figura 33** mostra os resultados dos valores do Cpk antes da implantação do novo modelo, o Cpk é um índice de capacidade efetiva do processo, ou seja, usados para medir a capacidade de um processo atender ou não a demanda.

O resultado desse índice revelou um processo incapaz sem a mudança e consequentemente sem controle, evidenciando um resultado negativo, olhando para o Cpk da meta, percebe-se ser um processo capaz e sob controle, devido ao seu valor positivo e maior que 1,.

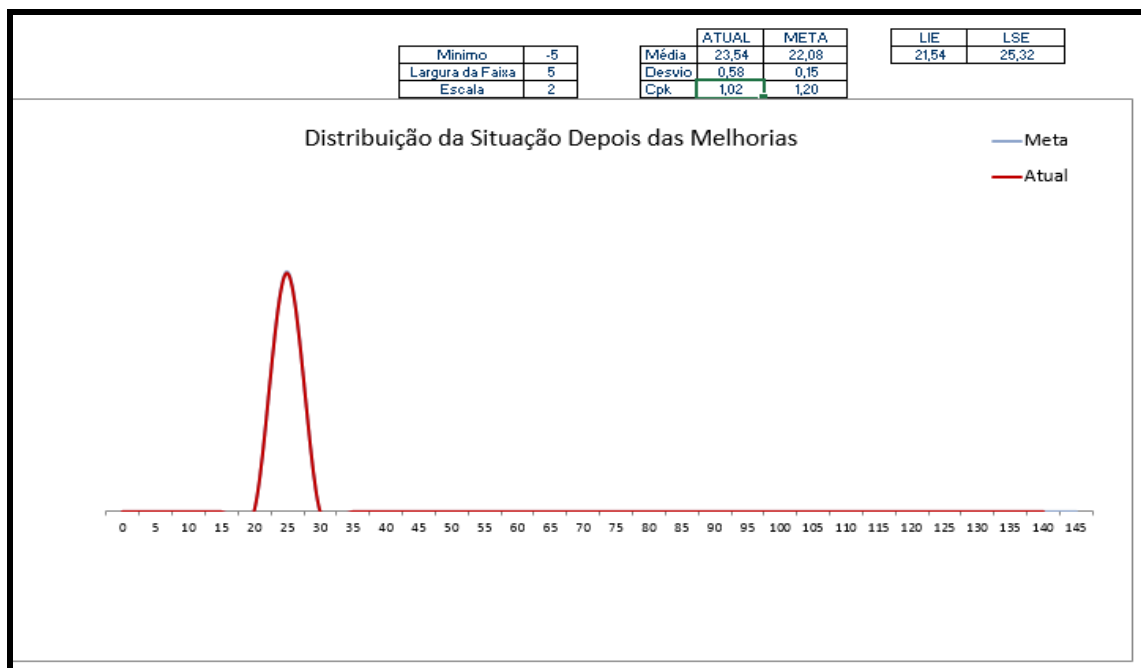
Figura 33 - Gráfico de Distribuição - Antes das Melhorias



Fonte: O Autor

A **Figura 34** mostra os resultados após a implantação do novo modelo, ou seja, após as melhorias, notamos uma melhoria nos resultados da capacidade (Cpk) do processo, para um valor positivo e maior que 1, identificamos que o processo está sob controle, mas precisa melhorar para se tornar capaz.

Figura 34 - Gráfico de Distribuição - Depois das Melhorias



Fonte: Dados da pesquisa

CAPÍTULO VI

9. CONCLUSÃO

O foco dessa pesquisa foi reduzir os desperdícios e melhorar o ganho de uma linha de produção SMD/SMT na área de IAC (Inserção Automática de Componentes) em uma empresa do Polo Industrial de Manaus.

Uma das principais dificuldades em manter a produção dentro da meta, era:

- A variabilidade dos tempos de ciclos das máquinas;
- Saber quem realmente era o gargalo da linha;
- Baixa qualidade no produto final.

Baseado nesses itens, foi definido o Objetivo Geral que é propor um modelo de gerenciamento de processos produtivos baseado nos fatores de convergências entre a Teoria das Restrições e a filosofia Seis Sigma aplicável à área de Inserção Automática de Componentes de uma indústria de Eletroeletrônico, localizada no Polo Industrial de Manaus.

Para alcançar o Objetivo Geral, o estudo realizado baseou-se em uma ampla pesquisa sobre a Revisão Bibliográfica em busca de trabalhos relacionados com o tema.

Dentro dos Objetivos Específicos:

a) Avaliar os modelos de integração entre Teoria das Restrições e Seis Sigma propostos na literatura;

Uma das principais contribuições foi a validação de um método de integração de duas ferramentas bastante utilizadas para a melhorias da qualidade de processos: uma voltada ao Negócio (Teoria das Restrições) contribuindo para a redução de desperdícios e gargalos, a outra voltada a Qualidade (Seis Sigma), usadas para o balanceamento de uma linha SMD, e redução da variabilidade.

Importante comentar que o modelo proposto não trata das restrições fora do processo produtivo, parte-se da premissa que já foram eliminadas.

b) Verificar a aplicabilidade da Teoria das Restrições para identificação dos gargalos produtivos de uma linha de Inserção Automática de Componentes SMD.

Com o modelo proposto contribuiu-se para mostrar através de cada fase, os resultados individuais de cada máquina no processo, mostrados abaixo:

- **Identificar a Restrição/Medir a Performance:** Através da coleta de dados e da medição dos ciclos das máquinas identificou-se a restrição do sistema;
- **Analisar/Explorar/Melhorar:** Analisou-se os parâmetros técnicos de cada máquina, identificou-se suas capacidades, e as comparou-se com a demanda, assim foram relacionadas as possíveis causas a partir do efeito,
- **Elevar/Controlar/Voltar:** Nesta fase observou-se duas possibilidades:
 1. Duplicar o gargalo, a Printer (máquina responsável por depositar a pasta de solda sobre as ilhas ou pads da placa, a análise dos dados mostrou-se como gargalo, tempo mais alto de ciclo), motivado a elevar a vazão de placas para as máquinas posteriores ao gargalo, assim teoricamente aconteceria o balanceamento da linha e uma representativa melhora na produtividade.
 2. Reduziu-se a quantidade de limpezas na Printer e melhorou o Sistema de Inspeção da aplicação da pasta de solda nos pads da placa.

c) Analisar, por meio do Seis Sigma, o tempo de indisponibilidade das Máquinas de uma linha de Inserção Automática de Componentes SMD do processo produtivo SMT.

Após o levantamento do custo x benefício, notou-se ser mais vantajoso optar pela melhoria na inspeção da aplicação da pasta de solda, para isso, foi adquirido uma máquina especializada neste tipo de inspeção chamada SPI (Solder Paste Inspection).

Esse investimento ajudou a eliminar a limpeza a seco e reduziu o tempo de ciclo e em $\frac{1}{4}$ a quantidade de limpeza a seca+molhada.

Avaliou-se a primeira medição baseada no gráfico de Ocupação SMDxVPE e verificou-se que os meses de Agosto/2015, Setembro/2015, Outubro/2015, estão

com a demanda inadequada para a capacidade, ou seja, em uma análise rápida, cogitou-se em duplicar a linha, para aumentar a capacidade de produção.

- Os resultados foram obtidos produzindo o mesmo modelo, o tempo médio total de produção foi reduzido em 4,20%, os tempos médios atuais ficaram 2,72% acima da meta, contra os 7,05 % da situação inicial.
- Conforme observou-se nos dados, o modelo proposto gera resultados satisfatórios e vantagens competitivas, podendo ser adaptado e aplicado em outras áreas do processo produtivo na busca pela gerência do gargalo.
- Aplicou-se a mudança para um outro modelo de placa e verificou-se após a primeira medição que o gargalo apresentou-se em uma nova posição, passando a ser a inseridora NXTL, motivada pela quantidade de componentes que a mesma teve que inserir na placa, a quantidade de componentes no segundo modelo tem 40% a mais de componentes a serem montados, comparando-o ao primeiro modelo, ou seja, ao gargalo, notou-se que depende da quantidade de componentes na placa, pois o tempo da Printer vai ser sempre o mesmo, contudo o tempo das Inseridoras variam conforme o modelo.
- Até a publicação deste trabalho, novos resultados estavam sendo gerados e analisados para atribuir novas ações e alcançar resultados satisfatório baseados na NXTL.
- Melhorias de processos algumas vezes exigem investimentos na ordem de médios para altos valores, caso contrário, será necessário a implementação de auditorias em todo o processo e principalmente na fase de controle, com a função principal de ratificar a efetividade nas melhorias.
- O Investimento realizado para a implantação de uma qualidade mais apurada, através da SPI, resultou em um aprimoramento no sistema de limpeza, reduzindo a quantidade de ciclos médios da Printer de 27,14s para 23,54s, representando um ganho de 15% na ociosidade da máquina, onde o resultado esperado baseava-se em 10%.
- Houve uma redução de 14,32 % no tempo de ciclo da PRINTER e também uma redução de 5,78% no tempo de ciclo do forno, os tempos das CMA e CMB, permaneceram os mesmos, possivelmente resultado do balanceamento.

- O modelo proposto e adaptado de Ehie & Sheu (2005), que objetivamos o uso integrado da TOC e Seis Sigma, mostrou-se eficiente para linhas de produção SMD, melhorou-se o Controle do Processo, potencializou-se a capacidade das máquinas que não se apresentou-se como gargalo, reduzindo custos de produção.

Ficou demonstrado que o processo ainda tem alguns pontos que merecem algumas intervenções pontuais, esse efeito também é mostrado pelo indicador cpk, onde revela que antes da mudança o valor era negativo, na ordem de -1,34, mostrando que o processo era totalmente incapaz. Baseado nesses resultados foi colocado como meta o cpk de 1,22, um processo capaz, mas ainda precisando de controles diários.

Após a implantação do novo modelo, o cpk chegou a 1,02 melhorando a capacidade, porém ainda precisa de melhorias, pois ainda está 16% abaixo da meta que é de 1,22.

Assim pode-se concluir que o Objetivo Geral e Específicos foram alcançados.

A presente pesquisa limitou-se em estudar, adaptar e aplicar o modelo proposto em uma linha específica de montagem SMD/SMT de uma Empresa de Manufatura de Eletroeletrônico do Polo Industrial de Manaus, não representando a totalidade do seu processo produtivo.

Para trabalhos futuros recomenda-se replicar o modelo para outras linhas da IAC e outras fases de montagem da Fábrica, como a IMC (Inserção Manual de Componentes) e a MF (Montagem Final), os resultados mostram um ganho e melhoras nos indicadores de desempenho e de capacidade produtiva, com baixo investimento e retorno relativamente positivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. L. R. A. **Proposta de um Modelo de Integração das Abordagens Seis Sigma e Teoria das Restrições**. Um Estudo de Caso: Universidade Metodista de Piracicaba, 2007.

BALESTRASSI, P. P. **Seis Sigma Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**: O Sistema de Medição: Editora Atlas, 2014. ISBN 978-85-224-3147-2.

BARRETO, A. V. P. HONORATO, C. F. **Manual de sobrevivência na selva acadêmica**. Rio de Janeiro. Objeto Direto, 1998.

BORGES, D. A. **Uma Solução Integrada aplicada ao Problema de Otimização do Ciclo de Montagem de uma Inersora Automática de Componentes utilizando uma Abordagem Híbrida de Metaheurística**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2009.

BRAZ, M. A. **Seis Sigma Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. Ferramentas e Gráficos Básicos: Editora Atlas, 2014. ISBN 978-85-224-3147-2.

CARISSÍMO, C. R. MATIAS, M. A. CALLADO, A. C. **Teoria das Restrições**: Análise da Aplicação Empírica do Processo de Pensamento em uma Empresa de Home Care, 2008: ISSN 1983-8611.

CARVALHO, C. E. V. **A Melhoria da Qualidade Suportada na Metodologia Seis Sigma: o Caso da Tecnimaster**. Universidade Fernando Pessoa: Porto, 2008.

COGAN, S. **Contabilidade Gerencial Uma abordagem da Teoria das Restrições**. Ed Saraiva, 2007. ISBN 978-85-02-06186-6.

COSTA, B. ALEXANDRE, D. **Integração da Manufatura Enxuta, Seis Sigma, e Teoria das Restrições:** Um Modelo Conceitual Incluindo Sistema de Execução da Manufatura e Sistemas Avançados de Planejamento e Programação. Universidade Nove de Julho, 2014.

CRUZ, C. MARQUES, A. SILVA, R. COGAN, S. **Teoria das restrições:** um estudo bibliométrico da produção científica apresentada no congresso brasileiro de custos (1994-2008). Rio de Janeiro:UFRJ, 2010. ABC Custos - Associação Brasileira de Custos. Vol 01. ISSN 1980-4814.

DINEI, M. SUSKY, C. A. **Implantação da Metodologia Seis Sigma:** Revista de Ciência & Tecnologia, 2009. Vol. 16. n. 32. p. 31-38.

DORO, M. M. **Sistemática para Implantação da Garantia da Qualidade em Empresas Montadoras de Placas de Circuito Impresso.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

ECKES, G. **A Revolução Seis Sigma.** Rio de Janeiro: Campus, 2001. ISBN 9788535242904.

EHIE, I, SHEU, C. **Integrating Six-Sigma and Theory of Constraints for Continuous Improvement:** A Case Study: Kansas State University. Manhattan, 2005.

FINAMORE, W. A. **Aplicação do Modelo Six Sigma na Administração de Operações:** Estudo de Caso no Tempo de Entrada de Materiais Importados. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2008.

FONTE, M. O. A. **O Lean Sigma Aplicado a uma Industria Automobilística.** Universidade Federal de Juiz de Fora, 2008.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da Pesquisa Científica.** Universidade Estadual do Ceará, 2002.

FUSE. **Printed Circuit Board and Surface Mount Design**. Acesso em Março, 2015.

GERSHON, M. **Choosing Which Process Improvement Methodology to Implement**. Journal of Applied Business & Economics, 2010. Vol. 10. Issue 5. p61.

Gasperin, C. Palomino, C. P. **Aplicação do índice de eficiência global dos equipamentos numa indústria metal-mecânica de pequeno porte**. XIII SIMPEP, 2006. Bauru. SP.

GOLDRATT, E. M. COX, J. **A Meta**: Um Processo de Aprimoramento Contínuo. São Paulo. Ed. Educator, 1997.

GOLDRATT, E. M. COX, J. **A Corrida**. São Paulo. Ed. Educator, 1997.

GROOVER, M. P. **Automação Industrial e Sistemas de Manufatura**. Editora Pearson. 3ª Edição. São Paulo, 2011. ISBN 8576058715.

HARRIS, W. **Desvio padrão**. Acessado em 28/03/2015.

ISHIKAWA, K. **Controle de qualidade total a maneira japonesa**. Ed. Campus, 1993.

JOHANN, C. D. OBERMANN, M. M. JABLONSKI, M. F. POLACINSKI, É. MOLIN, A. D. **Seis Sigma**: aplicação de ferramentas de controle da qualidade em uma empresa de agronegócios. Semana Internacional das Engenharias da FAHOR, FAHOR, 2011.

JUNIOR, J. A. V. A. RODRIGUES, L, H. **Teoria das Restrições**: Uma Análise das Ações de Melhorias Necessárias para Levantar a Capacidade das Restrições. PPGE/UFGRS, 1998.

MAHESH, C. G. LYN, H. B. **Theory of constraints: a theory for operations management.** College of Business. University of Louisville. Louisville. Kentucky, 2008.

MAUKIEWICZ, D. SUSKI, C. A. **Implantação do Metodologia Seis Sigma.** Revista de Ciência & Tecnologia, 2009. V. 16. N.32. P. 31-38.

MORAES, A. L. **Otimização do Processo Produtivo de Montagem de Placas SMT.** Faculdade de Jaguariúna. Jaguaraina, 2006.

MORESI, E. **Metodologia da Pesquisa.** Universidade Católica de Brasília, 2003.

NAKAZAKI, E. M. **Estudo dos Processos de uma Industria Gráfica para a Melhoria da Qualidade Utilizando as Ferramentas da Metodologia Seis Sigma.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

NAVE, D. How to Compare Six Sigma, Lean and the Theory of Constraints. **A Framework for choosing what's best for your Organizations: American Society for Quality.** Reprinted with permission, 2002.

OLIVEIRA, E. F. **Otimização do Tempo de Teste Funcional de Placa de Circuito Impresso Montada para Computador Pessoal.** Universidade Federal do Pará. Belem, 2012.

PACHECO, D. A. J. **Integrando a Estratégia da Produção com a Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma:** Uma abordagem metodológica. São Leopoldo, 2012.

PACHECO, D. A. J. **A Proposição de Estratégias para Elevar a Capacidade das Restrições em Sistemas Produtivos:** A Aplicação Integrada da Teoria das Restrições e do Lean Manufacturing. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos, 2010.

PALADINI, E. P. **Qualidade Total na Prática**. Editora Atlas. 2ª Edição. São Paulo, 1997.

PANNAZO, R. **Seis Sigma: Uma Ferramenta em Busca do Defeito Zero**, 2009.

PAULISTA, P. H. ALVES, R. A. **Ferramentas da qualidade: revisão bibliográfica e análise bibliométrica**. IV Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa, 2014.

PINTO, L. J. S. **Custo da Qualidade em Empresas Brasileiras: O Caso da Industria Golden Vital**. Universidade Federal Fluminense, 2010.

PORTELA, G. L. **Pesquisa quantitativa ou qualitativa? Eis a questão**. Universidade Estadual de Feira de Santana, 2004.

RABAK, C. S. SICHMAN, J. S. **Otimização do Processo de Inserção Automática de Componentes Eletrônicos Empregando a Técnica de Times Assíncronos**. Laboratório de Técnicas Inteligentes (LTI). Escola Politécnica (EP). Universidade de São Paulo (USP), 2001. Vol. 21, No. 1, p. 39-59. Pesquisa Operacional 39. ISSN 0101-7438.

RASHID, O. A. AHMAD, M. N. **Business Process Improvement Methodologies: An Overview**. Journal of Information System Research and Innovation, 2014. ISSN 2289-1358.

REIS, M. A. **Aplicação da Teoria das Restrições: um estudo de caso**. XXIV Encontro Nacional de Eng. de Produção. Florianópolis, 2004.

RIBEIRO, J. L. D. CATEN, C. S. T. **Controle Estatístico de Processo: Cartas de Controle para Variáveis, Cartas de Controle para Atributos, Função de Perda Quadrática, Análise de Sistemas de Medição**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

ROTONDARO, R. WUNDERLER, A. RIBEIRO, C. MIYAKE, D. NAKANO, D. LAURINDO, F. HO, L. L. CARVALHOR, M. BRAZ, M. BALESTRASSI, P. **Seis Sigma Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. Editora Atlas. São Paulo, 2014. ISBN 978-85-224-3147-2.

ROTONDARO, R. **Seis Sigma Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. Método Básico: Uma Visão Geral. Editora Atlas. São Paulo, 2014. ISBN 978-85-224-3147-2.

ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. Editora. Atlas. São Paulo, 2002.

SANTOS, C. A. **Produção Enxuta: Uma Proposta de Método Para Introdução de uma Empresa Multinacional Instalada no Brasil**. Universidade Federal do Paraná, 2003.

SHARAGENHEIM, E. RONEN, B. **Drum-Buffer-Rope Shop Floor Control**. Production and Inventory Management Journal. Third Quarter, 1990.

SILVIA, L. B. **A Implantação do Seis Sigma nos Processos do FGTS**. Universidade Candido Mendes. Rio de Janeiro, 2011.

SILVA, A. C. A. MARÇAL, L. L. COSTA, N. N. **Aplicação do MASP, Utilizando o Ciclo do PDCA na Solução de Problemas no Fluxo de Informações entre o PPCP e o Almoxarifado de uma Fábrica de Refrigerantes para o Abastecimento de Tampas Plásticas e Rolhas Metálicas**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, 2008.

VALLE, A. M. AGOSTINI, P. H. S. CENCI, R. O. **Aplicação de Cartas de Controle de Médias Móveis Exponencialmente Ponderadas (MMEP) no Monitoramento de Processos: Um Estudo de Caso Numa Montadora de Automóveis**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

VEIGA, J. E. **Como Elaborar seu Projeto de Pesquisa**. Universidade de São Paulo, 1996.

VELOSO, S. M. **Aplicação da Metodologia de Projeto Six Sigma para Tratamento de Ponto Crítico do Transporte Ferroviário**. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2007.

WERNKE, P. A. **Melhoria da Qualidade de um Componente Através da Aplicação de Ferramentas da Metodologia Seis Sigma**. Universidade de Santa Catarina, 2011.

ZVIRTES, L. **Métodos e Filosofias do Controle Estatístico de Processos**. UDESC/CCT. Santa Catarina, 2007.