

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS  
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LARISSA CALDAS DE ALBUQUERQUE

**METODOLOGIA DMAIC APLICADO NO SETOR DE PRODUÇÃO DE  
PLACAS ELETRÔNICAS**

MANAUS  
2022

LARISSA CALDAS DE ALBUQUERQUE

**METODOLOGIA DMAIC APLICADO NO SETOR DE PRODUÇÃO DE  
PLACAS ELETRÔNICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia de  
Produção da Escola Superior de  
Tecnologia da Universidade do Estado do  
Amazonas, como parte dos requisitos para  
a obtenção do grau de Engenheiro de  
Produção

Orientador(a): Prof. MSc. Silvio  
Romero Adjar Marques.

MANAUS  
2022

LARISSA CALDAS DE ALBUQUERQUE

**METODOLOGIA DMAIC APLICADO NO SETOR DE PRODUÇÃO DE  
PLACAS ELETRÔNICAS**

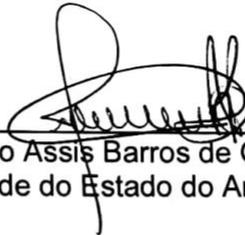
Trabalho apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Data de aprovação: Manaus (AM), 26 de outubro de 2022.

Banca examinadora:



Prof. MSc. Sílvio Romero Adjar Marques – Orientador  
Universidade do Estado do Amazonas



Prof.ª MSc. Francisco Assis Barros de Oliveira - Avaliador  
Universidade do Estado do Amazonas



Prof. MSc. Nadja Polyana Felizola Cabete – Avaliadora  
Universidade do Estado do Amazonas

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço imensamente à Deus pela oportunidade que me foi concedida. À minha família que sempre esteve ao meu lado aconselhando-me e oferecendo suporte. Aos meus colegas da universidade que sempre tiveram presentes nas provas, apresentações, testes e estudo, sempre dispostos a ajudar quando necessário.

Aos professores que promoveram a curiosidade e o descobrimento de novos conhecimentos da engenharia.

Tenho a agradecer a minha companheira Máisa Nôvo que esteve me apoiando nos momentos difíceis e árduos do andamento do curso.

Aos meus amigos Gabriel Caporazzo, Nicole dos Anjos e Polyana Santana que foram colegas de sala que se tornaram grandes amigos por todo o período que passamos na universidade e muitos aprendizados juntos.

E por fim aos professores: Msc. Silvio Romero e Msc. Nadja Polyana pela orientação na realização deste trabalho.

## RESUMO

A competitividade mundial através da globalização torna a busca por redução de defeitos e por melhoria contínua cada vez mais evidente. A manufatura eletrônica é responsável por uma grande parcela do mercado atualmente, pois se trata de um bem de consumo utilizados por grande parte da população. O presente trabalho retrata o estudo realizado em uma empresa de eletrônicos do Polo Industrial de Manaus no setor SMT onde são montadas as placas de circuito impresso. Por meio do trabalho foi feita a identificação de oportunidades de implementação do Lean Seis Sigma com intuito de melhoria da qualidade do processo. Para isso, buscou-se realizar o mapeamento do processo de produção, identificar os maiores causadores e sugerir melhorias através da implementação de ferramentas Lean Seis Sigma. Por meio do estudo de caso com a aplicação da metodologia DMAIC em uma empresa de placas eletrônicas de Manaus foi possível analisar e sugerir melhorias para o processo através da sequência do escopo da ferramenta. Dessa forma, como conclusão o uso da metodologia bem definida do DMAIC trouxe benefícios para a empresa e assim propiciando a melhoria da qualidade de processo.

Palavras chave: Lean Seis Sigma, Processo SMT, Controle de Qualidade, DMAIC, Melhoria Contínua

## **ABSTRACT**

Global competitiveness through globalization makes the search for defect reduction and continuous improvement increasingly evident. Electronic manufacturing is responsible for a large part of the market today, as it is a consumer good used by a large part of the population. The present work portrays the study carried out in an electronics company of the Industrial Pole of Manaus in the SMT sector where the printed circuit boards are mounted. Through this work, opportunities to implement Lean Six Sigma were identified in order to improve the quality of the process. For this, we sought to map the production process, identify the biggest offenders and suggest improvements through the implementation of Lean Six Sigma tools. Through the case study with the application of the DMAIC methodology in an electronic board company in Manaus, it was possible to analyze and suggest improvements to the process through the sequence of the scope of the tool. Thus, as a conclusion, the use of the well-defined methodology of DMAIC brought benefits to the company and thus providing the improvement of the process quality.

Keywords: Lean Six Sigma, SMT process, Quality Control, DMAIC, Continuous Improvement

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo dos 4P's .....	13
Figura 2 - Distribuição Normal - Níveis Sigma .....	17
Figura 3 - Níveis Seis Sigma e a correlação com o custo da não qualidade .	17
Figura 4 - Lean Seis Sigma.....	19
Figura 5 - Ferramentas Lean Seis Sigma.....	20
Figura 6 - Modelo Diagrama de Causa e Efeito .....	21
Figura 7 - Metodologia DMAIC.....	22
Figura 8 - Diferença de componentes PTH e SMD .....	23
Figura 9 - Processo SMT .....	23
Figura 10 - Exemplo de Estêncil SMT .....	24
Figura 11 - Processo de printagem da PCB.....	24
Figura 12 - Máquina de inspeção de solda .....	25
Figura 13 - Máquina insersoras Panasonic .....	25
Figura 14 - Máquina de inspeção de montagem de componentes.....	26
Figura 15 - Exemplos de defeitos SMT .....	26
Figura 16 - Forno de refusão .....	27
Figura 17 - Processo 1 - mapeamento macro .....	31
Figura 18 - Processo 2 - mapeamento macro .....	31
Figura 19 - Diagrama de Ishikawa componente deslocado - antena .....	37
Figura 20 - Diagrama Ishikawa componente chip (resistores e capacitores) deslocado.....	38
Figura 21 - Exemplos de defeitos em Nozzles.....	43
Figura 22 - Bancada de inspeção de nozzle .....	44
Figura 23 - Guia bloco para Feeder NPM.....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação metodológica .....	28
Tabela 2 - Project Charter .....	33
Tabela 3 - SIPOC .....	34
Tabela 4 - Matriz GUT .....	39
Tabela 5 - Matriz de priorização Antena deslocada .....	39
Tabela 6 - Matriz de priorização Chip deslocado .....	40
Tabela 7 - 5 Porquês .....	40
Tabela 8 - Soluções propostas .....	41
Tabela 9 - Cronograma de limpeza de nozzle e holder antigo .....	42
Tabela 10 - Novo cronograma de limpeza de nozzle e holder .....	42
Tabela 11 - Novo Cronograma de Limpeza - produção.....	43
Tabela 12 - Cronograma de treinamento.....	45
Tabela 13 - Plano de controle das ações .....	45

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
1.1 PROBLEMA.....	10
1.2 OBJETIVO GERAL.....	10
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	11
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>12</b>
2.1 LEAN MANUFACTURING.....	12
2.1.1 Princípios do Lean Manufacturing.....	13
2.1.2 Desperdícios.....	14
2.2 SEIS SIGMA.....	15
2.3 FILOSOFIA LEAN SEIS SIGMA.....	18
2.3.1 Ferramentas Lean Seis Sigma.....	19
2.4 PROCESSO SMT E QUALIDADE.....	22
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>28</b>
<b>4 ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>30</b>
4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA.....	30
4.2 MAPEAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO.....	30
4.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO DMAIC.....	32
4.3.1 Definir.....	32
4.3.2 Medir.....	35
4.3.3 Analisar.....	37
4.3.4 Melhorar.....	41
4.3.5 Controlar.....	45
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Indústria Eletrônica abriga no Brasil algumas das maiores fábricas do setor da América Latina. Segundo a ABINEE - Associação Brasileira da Indústria de Elétrica e Eletrônica, o faturamento de 2021 encerrou em R\$221,3 bilhões, uma crescente nominal de 22% em relação a 2020. É um dos segmentos que mais possuem transformações, tanto no produto final quanto nas inovações em seus processos e matérias primas.

A Manufatura Eletrônica se trata da montagem de placas eletrônicas chamadas PCB's (Printed Circuit Board / Placa de Circuito Impresso) que podem ser encontradas em todos os dispositivos eletrônicos, incluindo televisores, telefones celulares, computadores, tablets e relógios inteligentes.

Para a montagem dessas placas é necessário o armazenamento das matérias primas, que são os componentes eletrônicos, que precisam de um estoque especial, pois são sensíveis à umidade e à temperatura. A preparação para a inicialização do processo começa no setup da linha, onde são alimentados os componentes e carregados os programas nas máquinas conforme o modelo a produzir. Podem acontecer problemas ao longo do processo, principalmente falhas no processo, gerando produtos não conformes, perda de material e retrabalho, levando à necessidade de ação corretiva imediata. Essas são as principais problemáticas que precisam ser geridas pois afetam a produtividade do processo, a funcionalidade e a qualidade do produto final.

Conseqüentemente, faz-se necessário a procura contínua por melhorias e métodos ágeis de gestão, em busca da qualidade, diminuição de refugos, maximização dos resultados e redução de custos. Nesse contexto, a empresa deve adotar uma estratégia de gestão da qualidade, para que os processos sejam realizados de maneira eficaz objetivos atingindo-os e também eficientes. Alcançando-os da melhor forma possível com menores custos e buscando continuamente melhorias.

Para a melhoria contínua do processo é exigido uma análise da causa raiz de eventuais problemas, onde faz necessário a procura pela causa raiz do problema, ou seja, a razão pelo qual o problema está ocorrendo. A causa raiz pode ser dito como

o ponto preciso na cadeia causal onde a aplicação de uma ação corretiva ou intervenção impediria a ocorrência da não conformidade. O conceito de não conformidade é o não atendimento às especificações definidas, algo fora do padrão de tolerância determinado. Padrão de tolerância é o valor máximo e mínimo que uma determinada especificação pode chegar de acordo com os projetos de determinado produto, sendo assim o modelo a ser seguido para um produto conforme.

Na Empresa onde foi realizada o estudo, situada no Polo de Industrial de Manaus, são fabricados aparelhos eletrônicos. Especificamente no setor de produção de placas eletrônicas, verifica-se um índice elevado de problemas relacionados à falta de qualidade, demandando uma ação corretiva para sanar os problemas.

### **1.1 Problema**

Deste modo, surge o questionamento: a aplicação da ferramenta DMAIC pode melhorar a qualidade no processo de montagem de placas eletrônicas?

### **1.2 Objetivo Geral**

Portanto, este trabalho tem como objetivo analisar o processo produtivo de uma empresa de montagem de placas eletrônicas do Polo Industrial de Manaus, buscando identificar oportunidades para a implementação de ferramentas DMAIC com intuito de melhoria na qualidade do processo.

### **1.3 Objetivos Específicos**

- Realizar o mapeamento dos processos de produção de placas eletrônicas;

- Identificar as causas que interferem na qualidade no produto;
- Sugerir melhorias através da implantação de ferramenta DMAIC na indústria, para melhorar a qualidade de processo.

#### **1.4 Organização do trabalho**

O seguinte trabalho contempla: Capítulo 2, será tratado revisão bibliográfica, o Lean Manufacturing e seus princípios, Seis Sigma, filosofia Lean Seis Sigma e ferramenta DMAIC, processo SMT e qualidade; Capítulo 3, encontra-se a metodologia de pesquisa; Capítulo 4, está descrito o estudo de caso; Capítulo 5, conclusão da pesquisa.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Lean Manufacturing

Originário da Toyota Motor Corporation, o Lean Manufacturing - Manufatura Enxuta - é considerado como uma alternativa radical para o método tradicional de produção em massa e um conjunto de princípios para maximizar eficiência operacional, qualidade, velocidade e custo (HOLWEG, 2007).

Elaborada por Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, a filosofia Lean Manufacturing tem como base a absoluta eliminação de desperdícios. Segundo Ohno (2019) o Lean possui então dois principais pilares de sustentação: Just in Time e Jidoka (Autonomação).

A Toyota com sua filosofia Lean Manufacturing reduziu seus estoques. Segundo Womack (2004) a Toyota coloca uma pressão contínua pela redução dos estoques através da busca das causas básicas. Reduzir estoques sem ataca-las é fonte de mais problemas e não de soluções.

O primeiro pilar é o Just In Time (JIT), técnica de fornecer exatamente a quantidade, exatamente na hora certa e exatamente no local correto. Ele está literalmente no centro do Sistema Toyota de Produção (STP). Segundo Ohno (2019), Just in Time significa que, em um processo de fluxo, as partes corretas necessárias à montagem alcançam a linha de montagem no momento em que são necessária e somente na quantidade necessária. Uma empresa que estabeleça esse fluxo integralmente pode chegar ao estoque zero.

O segundo pilar é o Jidoka (Autonomação) que conforme Wilson (2010) “trata-se de uma série de questões culturais e técnicas relacionadas ao uso de máquinas e mão de obra em conjunto, utilizando pessoas para as tarefas únicas que são capazes de realizar e permitindo que as máquinas autorregulem a qualidade. Tecnicamente, o Jidoka usa táticas como poka-yoke (métodos de prova de erros do processo), andons (exibições visuais como luzes para indicar o status do processo, especialmente anormalidades) e 100% de inspeção por máquinas. É o conceito de que nenhuma peça defeituosa pode progredir na linha de produção.”

### 2.1.1 Princípios do Lean Manufacturing

Segundo LIKER E MEIER (2007) em O Modelo Toyota – Manual de aplicação demonstra que a Toyota possui os princípios baseados nos 4P's: Philosophy (Filosofia), Process (Processo), People/Partners (Pessoas, parceiros) e Problems Solution (Solução de Problemas). Como demonstrado na Figura 1, os pilares são:

Figura 1 - Modelo dos 4P's



Fonte: LIKER E MEIER (2007)

**Filosofia:** No nível mais fundamental, os líderes da Toyota veem a empresa como um veículo para agregar valor aos clientes, à sociedade, à comunidade e aos seus funcionários. Não se trata de um ritual político ingênuo. É real. Remete ao fundador da empresa, Sakichi Toyoda, e sua vontade de inventar teares movidos à eletricidade para facilitar a vida das mulheres na comunidade rural onde ele cresceu. Continuou quando Sakichi pediu que seu filho, Kiichiro Toyoda, dessa sua contribuição ao mundo inaugurando uma empresa de automóveis.

**Processo:** Os líderes da Toyota aprendem, por meio da instrução e da experiência, que quando seguem o processo certo obtêm os resultados certos. Enquanto alguns dos procedimentos que devem ser feitos em nome do Modelo Toyota atraem dólares imediatamente para suas bases, como redução de estoque e eliminação de movimentação humana desnecessária nas tarefas, outros são investimentos que, a longo prazo, possibilitam redução de custo e aumento da qualidade. Os investimentos de longo prazo são os mais difíceis. Alguns são claramente quantificáveis em termos de causa e efeito, ao passo que, em outros casos, é preciso acreditar que haverá alguma compensação. Por exemplo, levar peças para uma linha de montagem a cada hora pode parecer um desperdício; no entanto, isso sustenta o princípio da criação de fluxo. Desperder tempo no desenvolvimento de consenso e na obtenção de informações junto aos que são afetados pode parecer desnecessário.

Pessoas e Parceiros: Agregue valor à sua organização desafiando seus funcionários e parceiros a crescer. O Sistema Toyota de Produção (STP) foi, numa época, denominado sistema de “respeito à Humanidade”. Quase sempre se pensa que respeitar as pessoas significa criar um ambiente sem estresse que oferece muitas facilidades e que seja agradável aos funcionários. Mas muitas das ferramentas do STP objetivam trazer problemas à tona, criando ambientes desafiadores que estimulem as pessoas a pensar e a crescer. Pensar, aprender, crescer e ser desafiado nem sempre é divertido. Nem o ambiente da Toyota sempre o é. Mas as pessoas e os parceiros da Toyota, incluindo os fornecedores, crescem e tornam-se melhores e mais confiantes.

Solução de problemas: Continuamente, deve-se resolver a raiz dos problemas para que se conduza a aprendizagem organizacional. As pessoas resolvem problemas todos os dias, gostem ou não. Geralmente os problemas são verdadeiras crises - um combate. Os mesmos problemas surgem porque não se vai até sua causa e não se acionam contramedidas. Na Toyota, mesmo quando parece que o lançamento de um produto ou o projeto de uma equipe foi realizado sem erros e alcançaram todos seus objetivos, muitos problemas tiveram que ser resolvidos. Sempre há oportunidades para aprender para que haja menor probabilidade de os mesmos problemas ocorrerem novamente. Mais ainda, quando alguém na Toyota aprende uma lição importante, espera-se que a compartilhe com outras pessoas que confrontam problemas semelhantes, de forma que a empresa possa aprender. (LIKER E MEIER, 2007, p.27)

### 2.1.2 Desperdícios

Segundo Taiichi Ohno (2019), para conseguir a total eliminação de desperdícios é necessário considerar apenas o trabalho que é necessário como trabalho real e definir o resto como desperdício. Logo, a verdadeira melhoria na eficiência surge quando se produz zero desperdício. Ohno descreveu os 7 tipos de desperdícios: Superprodução, Tempo disponível (Espera), Transporte, Super processamento, Estoque, Movimento e Produtos defeituosos.

Segundo WILSON (2010) em *How to Implement Lean Manufacturing* estes desperdícios podem ser exemplificados como descrito a seguir:

Superprodução: Este é o mais notório, uma vez que não é apenas um desperdício em si, mas agrava os outros seis desperdícios. Por exemplo, o volume super produzido deve ser transportado, armazenado, inspecionado e provavelmente poderá conter algum material defeituoso. A superprodução não é apenas a produção de um produto que se não pode vender, mas também a produção precoce do produto.

Tempo disponível (Espera): É simplesmente a ociosidade de trabalhadores por qualquer motivo. Pode ser uma espera de curto prazo, como o que ocorre

em uma linha desequilibrada, ou esperas mais longas, como falta de estoque ou maquinário, que acarretam que a equipe de produção tenha que aguardar para a voltar à produção normal.

Transporte: Este é o desperdício de movimento de peças. Ocorre entre etapas de processamento, entre as linhas de processamento, e acontece quando o produto é enviado ao cliente.

Super processamento: Este é o desperdício de processar um produto além do que o cliente deseja. Engenheiros que fazem especificações que estão além das necessidades do cliente geralmente criam esse desperdício no estágio de projeto. Escolher equipamentos de processamento ruins ou equipamentos de processamento ineficientes também aumenta esse desperdício.

Estoque: Este é o desperdício clássico. Todos os estoques são desperdícios, a menos que o estoque se traduza diretamente em vendas. Não faz diferença se o estoque é de matérias-primas, WIP (Work In Process – produtos aguardando para serem consumidos) ou produtos acabados.

Movimento: Esse é o movimento desnecessário de pessoas – como operadores e mecânicos andando pelo chão de fábrica, procurando ferramentas ou materiais. Com demasiada frequência, isso é frequentemente ignorado como um desperdício. Afinal, as pessoas são ativas; estão se movendo; parecem ocupadas. O critério não é se eles estão se movendo, é: eles estão agregando valor ou não? O design do trabalho e o design da estação de trabalho são um fator chave para evitar este desperdício.

Produtos defeituosos: Este desperdício é geralmente chamado de sucata. Mas a frase que Ohno usa, “fazer peças defeituosas” é clássica. A maioria das pessoas usa o termo “sucata”, então veem a peça defeituosa como um desperdício. Ohno vai muito além disso. Ele não apenas categoriza a peça como sucata, mas o esforço e os materiais para fazê-la. Ohno era um pensador de processo natural. Nesse caso, ele não apenas lamentou a perda de uma unidade de produção, mas também o fato de que as pessoas gastaram tempo, esforço e energia valiosos para fazer a unidade – tudo isso foi perdido, não apenas a unidade de produção. (WILSON, 2010, P.25)

## 2.2 Seis Sigma

O Seis Sigma nasceu na Motorola, em 15 de janeiro de 1987, com o objetivo de tornar a empresa capaz de enfrentar concorrentes estrangeiros, que estavam fabricando produtos de melhor qualidade a um custo mais baixo. Depois que a Motorola recebeu o Prêmio Nacional de Qualidade Malcolm Baldrige, em 1988, o Seis Sigma passou a ser conhecido como o responsável pelo sucesso alcançado pela

organização. Entre o final da década de 80 e o início da década de 90, a Motorola obteve ganhos de 2,2 bilhões de dólares com o programa. (WERKEMA, 2012).

Seis Sigma é uma filosofia de qualidade com base em objetivos de curto prazo, com empenho para atingir metas em longo prazo, por meio da medição e do foco no cliente para orientar projetos de melhoria contínua em todos os níveis da organização (PEPPER; SPEDDING, 2010).

A metodologia do Seis Sigma trata da redução da variabilidade de um processo. Para MARSHAL (2004), determinar o nível seis sigma implica em calcular quantos defeitos ocorrem em comparação ao número de oportunidades das atividades que não obtiveram o resultado pretendido, em um bem ou serviço, definido como defeitos por milhão de oportunidades. Partindo do conceito estatístico, considera-se que o comportamento do processo segue a distribuição normal de probabilidades. A chamada distribuição normal é um modelo probabilístico utilizado para nomear de forma geral uma frequência com que valores ocorrem num histograma. Sendo essa distribuição a mais importante da estatística, pois é a qual a maioria dos fenômenos do dia a dia convergem para uma distribuição normal de probabilidade. É descrita pela função densidade descrita na Fórmula 1:

Fórmula 01: Função densidade da distribuição normal

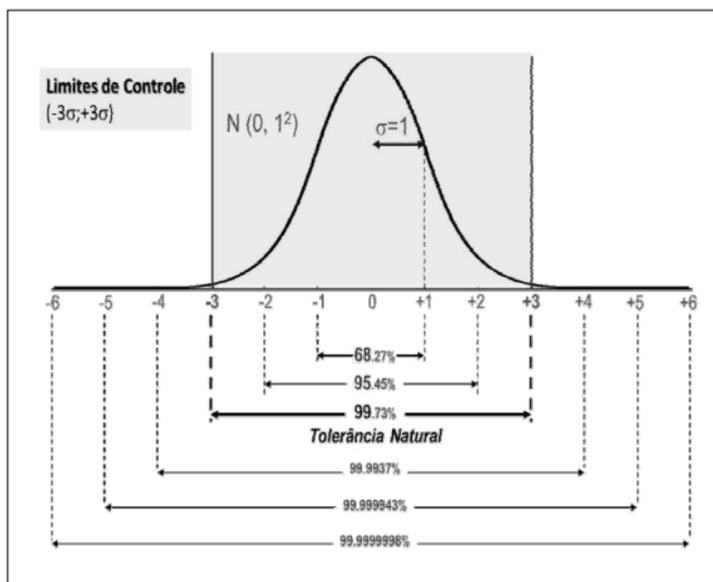
$$f(x): \frac{e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}}{\sigma\sqrt{2\pi}}, \text{ onde } -\infty < X < +\infty$$

Onde  $\mu$  representa a média populacional e  $\sigma$  o desvio padrão populacional. O desvio padrão é uma medida que expressa o grau de dispersão de um conjunto de dados e quanto mais próximo de 0 mais homogêneo são os dados.

Baseado nisso, procura-se reduzir gradativamente a variabilidade de um processo até que atinja um fator 99,99966% de sucesso (seis vezes o desvio padrão) ou 3,4 defeitos em um milhão de oportunidades (PPM - Partes por milhão).

Sabe-se que na distribuição normal o sigma ( $\sigma$ ) é o desvio padrão em torno da média ( $\mu$ ), assim a distribuição pode ser vista na Figura 2.

Figura 2 - Distribuição Normal - Níveis Sigma



Fonte: SANTOS (2017)

Os benefícios resultantes de se alcançar o padrão Seis Sigma são traduzidos do nível da qualidade para a linguagem financeira, onde a correlação dos níveis sigma com o custo da não qualidade que é o custo resultante dos recursos utilizados na fabricação de um produto ou serviço que não atendeu aos requisitos especificados, ou seja os desperdícios, conforme Figura 3.

Figura 3 - Níveis Seis Sigma e a correlação com o custo da não qualidade

Nível da qualidade	Defeitos por milhão (ppm)	Custo da não qualidade (percentual do faturamento da empresa)
Dois sigma	308.537	Não se aplica
Três sigma	66.807	25 a 40%
Quatro sigma	6.210	15 a 25%
Cinco sigma	233	5 a 15%
Seis sigma	3,4	< 1%

Fonte: WERKEMA (2012)

Segundo WERKEMA (2012), outros aspectos fundamentais para o seis sigma são:

- Foco na satisfação do consumidor, onde é importante que o desejo do cliente seja atingido.
- Infraestrutura criada na empresa, com papéis bem definidos para os patrocinadores e especialistas do Seis Sigma.

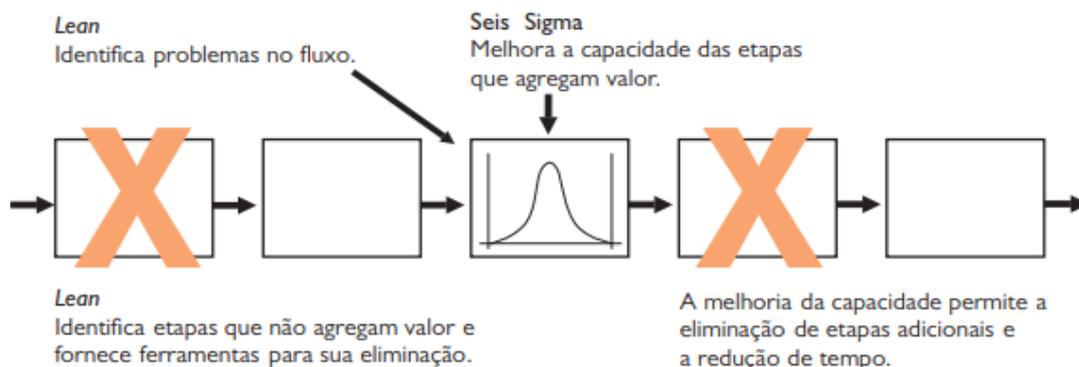
- Busca contínua da redução da variabilidade.
- Extensão para o projeto de produtos e processos.
- Aplicação efetiva a processos administrativos, de serviços ou de transações e não somente a procedimentos técnicos.

### **2.3 Filosofia Lean Seis Sigma**

Lean Seis Sigma é na verdade o uso combinado de duas metodologias tradicionais: a Lean Manufacturing e a Seis Sigma. A adoção combinada permite o desenvolvimento de melhoria contínua direcionada a todos os níveis organizacionais, tendo em vista a combinação de uma abordagem científica e quantitativa de qualidade, aliada às técnicas do Lean. Ao tempo em que uma busca padronização e o alcance de níveis de qualidade elevados e redução de custos, a outra tem orientação ao cliente e foco no mercado (PACHECO, 2014).

A integração entre o Lean Manufacturing e o Seis Sigma é natural: a empresa pode – e deve – usufruir os pontos fortes de ambas estratégias. Por exemplo, o Lean Manufacturing não conta com um método estruturado e profundo de solução de problemas e com ferramentas estatísticas para lidar com a variabilidade, aspecto que pode ser complementado pelo Seis Sigma. Já o Seis Sigma não enfatiza a melhoria da velocidade dos processos e a redução do lead time, aspectos que constituem o núcleo de Lean Manufacturing. (WERKEMA 2012). Como mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Lean Seis Sigma



Fonte: WERKEMA (2012)

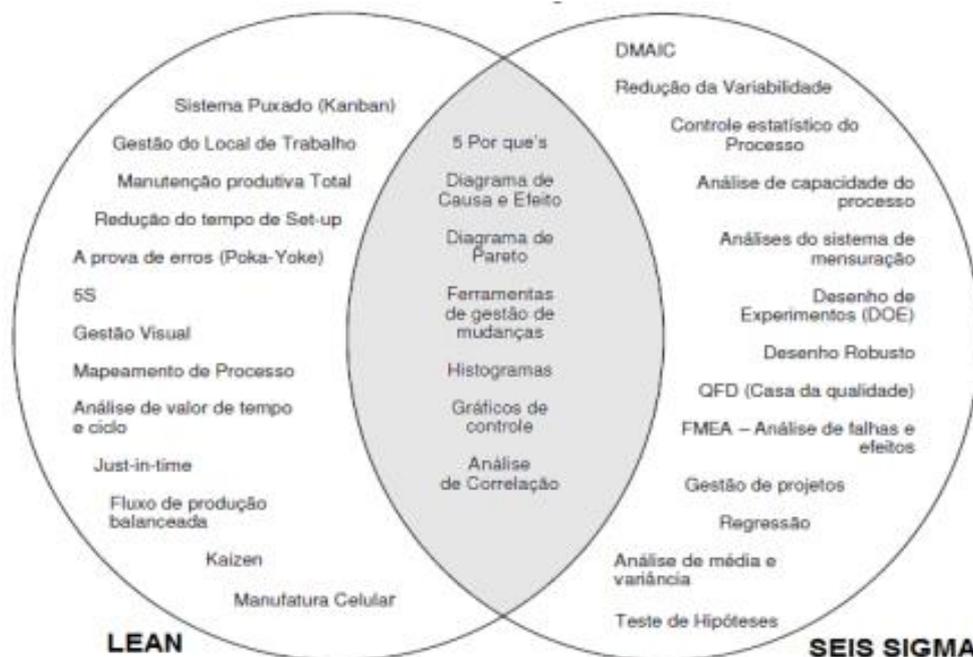
O Lean Seis sigma é a junção dos termos de Lean Manufacturing e Seis sigma, com o objetivo de melhorar os resultados da empresa aperfeiçoando e reduzindo a variabilidade nos seus processos, através da eliminação dos desperdícios e de atividades que não agregam valor, reduzindo custos.

### 2.3.1 Ferramentas Lean Seis Sigma

O primeiro passo para começar a implementar a metodologia em questão é entender quais são as necessidades do cliente e como funciona o sistema produtivo da empresa. É preciso pensar ainda em quais aspectos internos melhorar a qualidade dos produtos e processos. Em um segundo momento, é necessário buscar formas de eliminar as lacunas existentes. Para isso, serão definidas metas claras e elaborados projetos específicos para alcançar os objetivos traçados (SANDER, 2021).

O conjunto de ferramentas adotadas no Lean Seis Sigma pode ser verificado na Figura 5, onde é descrito a interposição do Lean Manufacturing com Seis Sigma.

Figura 5 - Ferramentas Lean Seis Sigma



Fonte: KUMAR et al (2006)

Um dos elementos da infraestrutura do Seis Sigma é a constituição de equipes para executar projetos que contribuam fortemente para o alcance das metas estratégicas da empresa. O desenvolvimento desses projetos é realizado com base em um método denominado DMAIC que está dividido em cinco etapas: Definição, Medição, Análise, Melhoria e Controle. Cada uma destas tem uma função bem específica que segundo WERKEMA (2012) é:

Define (Definir): Definir com precisão o escopo do projeto. Nesta etapa deverão ser executadas as seguintes ações:

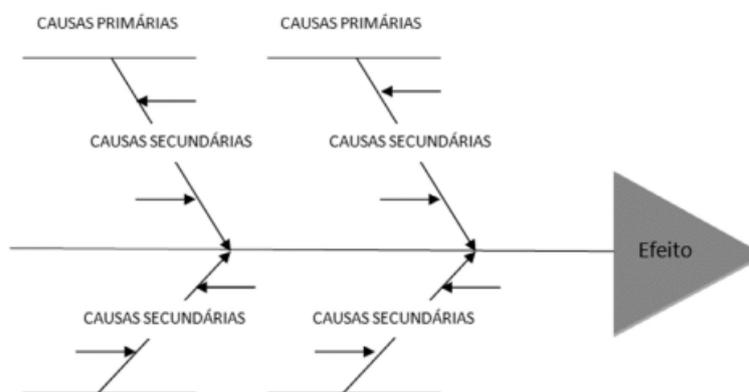
- Descrição do problema;
- Definição da meta;
- Avaliação do histórico do problema;
- Apresentação de possíveis restrições e suposições;
- Definição dos membros da equipe;
- Definição do cronograma preliminar.

Measure (Medir): Determinar a localização ou foco do problema. Aqui se inicia a investigação de dados históricos. Buscando a estratificação do problema e observação conforme diferentes aspectos e agrupamento de dados.

Analyse (Analisar): Determinar as causas de cada problema prioritário associado a cada uma das metas definidas na etapa anterior. Então será respondida o questionamento “Por que o problema prioritário existe?”.

Improve (Melhorar): Propor, avaliar e implementar soluções para cada problema prioritário. Logo de início as ideias devem ser geridas e organizadas de modo a encontrar as causas fundamentais do problema prioritário detectadas na etapa anterior. As ideias sugeridas nesta fase devem ser refinadas e combinadas para darem origem às soluções potenciais para o alcance da meta prioritária. O uso de uma destas ferramentas como Diagrama de Causa e Efeito, Diagrama de Afinidades ou Diagrama de Relações, exemplificado na Figura 6, poderá auxiliar a equipe na condução dessa tarefa. É importante que as soluções potenciais sejam elaboradas de modo claro e formalmente registradas.

Figura 6 - Modelo Diagrama de Causa e Efeito

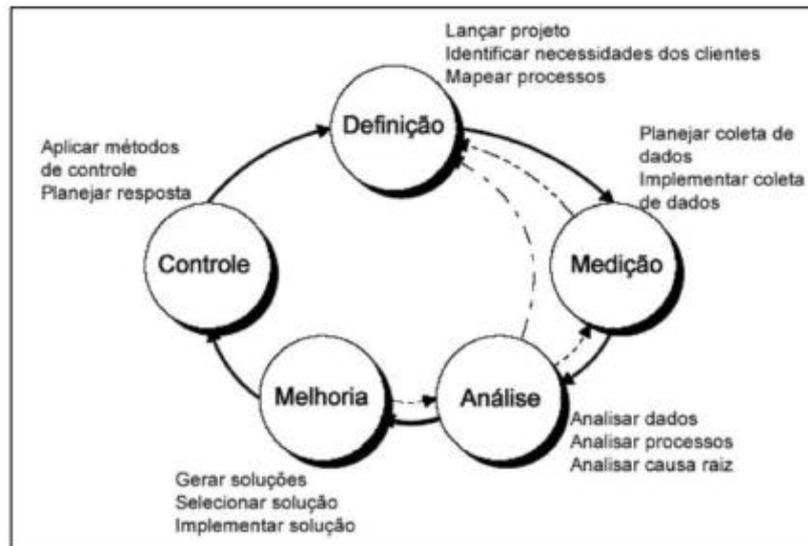


Fonte: PINTO E DE SOUZA (2019)

Control (Controlar): nesta etapa é trabalhado para que o alcance da meta seja mantido no longo prazo. Consiste na avaliação do alcance da meta em larga escala. Assim traçando um plano para monitoramento da performance do processo e do alcance da meta. Essa fase é muito importante para impedir que o problema já resolvido ocorra novamente.

As etapas estão definidas exemplificadas na Figura 7:

Figura 7 - Metodologia DMAIC



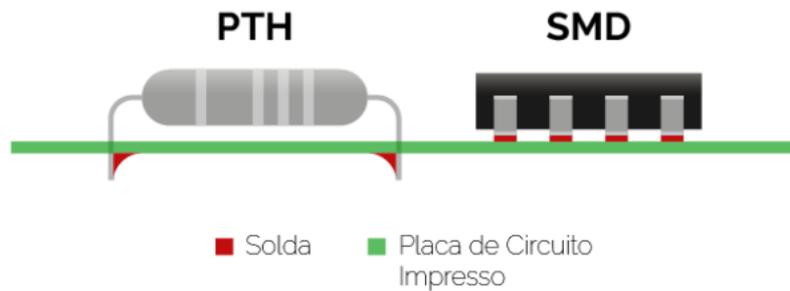
Fonte: ECKES (2001)

O DMAIC visa a melhoria do processo por meio da seleção correta de projetos e com etapas direcionadas para a solução de problemas dispostas de forma cíclica e contínua, contribuindo no processo de melhoria. (BRAITT E FETTERMANN, 2014).

## 2.4 Processo SMT e Qualidade

O processo de fabricação conhecido como SMT – Surface Mounted Technology (Tecnologia de superfície em montagem) no qual os componentes são soldados sobre a superfície da placa, não necessitando deste modo, que a placa é perfurada, como na tecnologia de THT - Through-Hole Technology (Tecnologia de furos de passagem), com componentes PTH - Pin Through Hole (terminal inserido no furo) surgiu na metade dos anos 60 e está evoluindo rapidamente. Atualmente, a largura dos terminais e a geometria dos componentes estão progressivamente sendo reduzidos, e esses componentes são chamados de componentes SMD – Surface Mounted Device (Dispositivo montado em superfície). Essa diferença está ilustrada na Figura 8.

Figura 8 - Diferença de componentes PTH e SMD

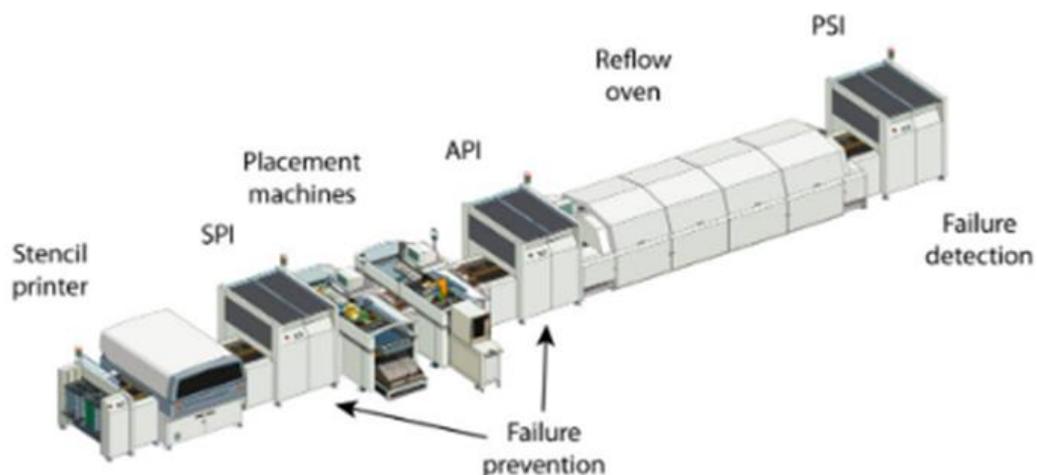


Fonte: FALCONELETRONICA (2020)

A tecnologia conhecida como SMT é aplicada por meio de máquinas automatizadas com alto grau de precisão, cujo gerenciamento ocorre por meio de softwares que informam a sequência de montagem, o tipo e a posição de cada componente a ser posicionado sobre a PCB - Printed Circuit Board (Placa de circuito impresso). As máquinas SMT se abastecem com componentes SMD, sendo alimentadas por dispositivos que fixam carretéis contendo os componentes eletrônicos que serão montados sobre a PCB. Os carretéis de componentes são rolos ou bobinas confeccionadas com fitas de plástico ou papel para o suporte dos componentes SMD de forma espaçada. Quando a máquina busca o componente a ser montado, o carretel avança até que o próximo componente esteja na posição de composição (LIDAK e REBELATO, 2005).

Na Figura 9 é possível observar os maquinários que compõem uma linha de produção de montagem de placas eletrônicas.

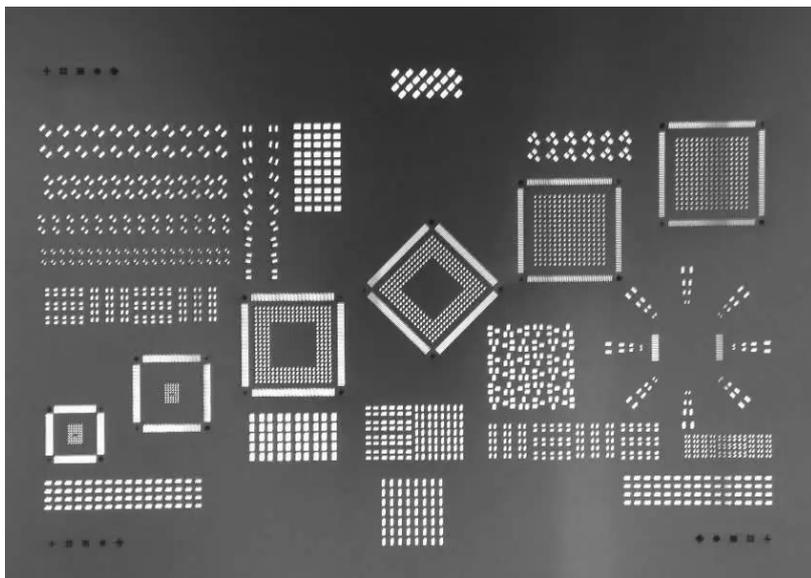
Figura 9 - Processo SMT



Fonte: JANÓCZKI et al (2013)

Cada maquinário é responsável por uma etapa da fabricação descritas como:  
Stencil Printer (Impressora de Estêncil): responsável pela adição de pasta de solda nas placas de circuito impresso, através de uma espécie de rolo que realiza a aplicação conforme o gabarito de uma chapa metálica denominada estêncil. Nesta etapa podem ocorrer, apesar de um processo simples, grandes defeitos na linha de montagem. Exemplo de Estêncil utilizado no processo SMT é ilustrado na Figura 10.

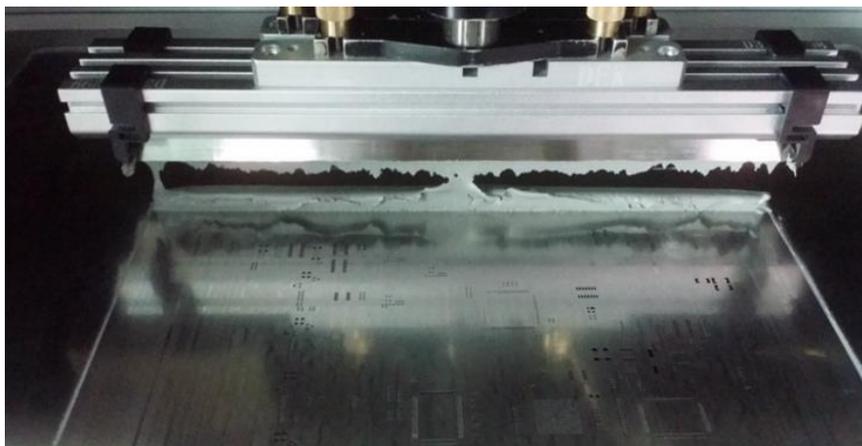
Figura 10 - Exemplo de Estêncil SMT



Fonte: MOKOTECHNOLOGY (2020)

A pasta de solda é requisito para a união dos componentes sobre a placa. Como mostrado nas Figuras 11, onde é evidenciado o processo de printagem no qual a pasta é adicionada a PCB com gabarito de estêncil para sua devida configuração conforme o design do modelo.

Figura 11 - Processo de printagem da PCB



Fonte: SMTHELP 2022

SPI - Solder Paste Inspection (Inspeção de pasta de solda): é um equipamento que realiza a captura de imagens e analisa a correta disposição da pasta de solda de acordo com o design do estêncil. São verificados parâmetros como altura, largura e volume, com o objetivo da placa não seguir adiante caso esteja fora dos requisitos estabelecidos, Figura 12.

Figura 12 - Máquina de inspeção de solda



Fonte: PARMi 2022

Placement Machines (Máquinas de montagem): são responsáveis pela inserção de componentes sobre a placa, são coletados e depositados de acordo com a sua correta posição na placa pré definida com o programa do modelo inserido na máquina. A velocidade e a precisão são fatores para um bom processo, Figura 13.

Figura 13 - Máquina inseroras Panasonic



Fonte: SMTNET 2022

API - Automatic Placement Inspection (Inspeção automática de montagem) ou também conhecido como M-AOI - Mounted - Automatic Optical Inspection (Montado - Inspeção óptica automática): Faz a inspeção dos componentes por meio também da captura de imagens no qual verifica a posição dos componentes montados sobre a superfície. Entre os erros detectados nesta etapa estão: componentes trocados, invertido, faltando, deslocado, virado, polaridade invertida, alto, entre outros como exemplificado na Figura 14.

Figura 14 - Máquina de inspeção de montagem de componentes



Fonte: PARMÍ (2022)

Figura 15 - Exemplos de defeitos SMT



Fonte: HONG (2012)

Reflow Oven (Forno de refusão): através de aquecimento em níveis de temperatura definidos por zonas fazem a solda entrar no processo de refusão e assim completar a soldabilidade, Figura 16.

Figura 16 - Forno de refusão



Fonte: DIRECTINDUSTRY (2022)

PSI - Post Soldering Inspection (Inspeção pós-soldagem) ou S-AOI Soldered - Automatic Optical Inspection (Soldado - Inspeção óptica automática): Similar a máquina de inspeção de montagem, mas esta é feita a verificação dos componentes após a soldabilidade.

O processo SMT é feito de forma automatizada onde as máquinas fazem a montagem dos componentes, a participação de mão de obra é apenas na alimentação dos carretéis de componentes nos feeders (Alimentadores) da máquina.

### 3 METODOLOGIA

Nesta sessão serão explicitados conceitos sobre metodologia e os procedimentos utilizados na pesquisa.

Conforme Gressler (2003), o delineamento de uma pesquisa inicia-se pela seleção de um tema para estudo de um paradigma. A seleção do tema está relacionada à viabilidade de sua investigação. Porém, ter um tema não é o suficiente para pesquisar, é necessário problematizar esse tema, especificando o aspecto mais intrigante do fenômeno abordado, tornando o problema “pesquisável”.

Segundo Gil (2002), há procedimentos a serem seguidos na realização da pesquisa. Sua organização varia de acordo com as peculiaridades de cada tipo.

Com relação às escolhas metodológicas, podem ser utilizadas as seguintes categorias conforme Tabela 1 apresenta-se, de forma estrutural, como pode ser classificada a metodologia científica (DE OLIVEIRA, 2011).

Tabela 1 - Classificação metodológica

Classificação quanto aos objetivos da pesquisa	Classificação quanto à natureza da pesquisa	Classificação quanto à escolha do objeto de estudo	Classificação quanto à técnica de coleta de dados	Classificação quanto à técnica de análise de dados
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Descritiva</li> <li>✓ Exploratória</li> <li>✓ Explicativa</li> <li>✓ Exploratório-descritiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Qualitativa</li> <li>✓ Quantitativa</li> <li>✓ Qualitativa-quantitativa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Estudo de caso único</li> <li>✓ Estudo de casos múltiplos</li> <li>✓ Amostragens não-probabilísticas</li> <li>✓ Amostragens probabilísticas</li> <li>✓ Estudo censitário</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Entrevista</li> <li>✓ Questionário</li> <li>✓ Observação</li> <li>✓ Pesquisa documental</li> <li>✓ Pesquisa bibliográfica</li> <li>✓ Pesquisa</li> <li>✓ Triangulação</li> <li>✓ Pesquisa-ação</li> <li>✓ Experimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Análise de conteúdo</li> <li>✓ Estatística descritiva</li> <li>✓ Estatística multivariada</li> <li>✓ Triangulação na análise</li> </ul>

Fonte: DE OLIVEIRA (2011).

Este trabalho tem como objetivo exploratório realizar um estudo de caso único, quali-quantitativo por meio de análise de conteúdo utilizando a metodologia DMAIC numa empresa multinacional na fábrica de eletrônicos do Polo Industrial de Manaus, mais especificamente no setor SMD, onde são produzidas as PCBs – Printed Circuit Board, com o objetivo de reduzir defeitos no processo.

Sua filial de Manaus - PIM – Polo Industrial de Manaus é responsável pela fabricação de smartphones, tablets, smartwatches (Relógios inteligentes), buds (fones de ouvido bluetooth), TVs, entre outros.

O setor responsável pelas placas eletrônicas de smartphone tem seus índices de defeitos de processos elevados, em comparação a outras fábricas do mundo. Os dados referentes ao objeto de estudo deste trabalho foram coletados a partir da pesquisa de campo deste setor.

Baseando-se em um problema existente de qualidade que estava atingindo os índices, representantes das áreas reuniram-se para analisar e descobrir meios de melhorar a qualidade do processo. A coleta de dados aconteceu por meio da observação, verificação de históricos, além das informações contidas nos indicadores da qualidade utilizados pela empresa. Para abordar o problema foi usado a ferramenta DMAIC para obter respostas e conclusões significativas para a empresa.

Por meio da aplicação da ferramenta DMAIC pretendem-se investigar e obter melhorias em relação à qualidade do processo, além de fornecer uma nova forma de trazer aperfeiçoamento das tratativas em relação aos defeitos na linha de produção.

## **4 ESTUDO DE CASO**

Neste capítulo será apresentado o estudo de caso realizado na empresa citada no capítulo 3.

### **4.1 Apresentação da empresa**

A fábrica onde foi realizado o estudo de caso em uma empresa multinacional fabricante de eletrônicos. Está estabelecida no Polo Industrial de Manaus desde 1995, onde produz mais de nove produtos eletrônicos, dentre eles: TVs, celulares, condicionadores de ar, smartwatches e fones de ouvido bluetooth. Os produtos eletrônicos são fabricados em duas partes: Processo de montagem de placas eletrônicas – PCB's e o processo de montagem principal onde são feitas a montagem do aparelho com a placa eletrônica.

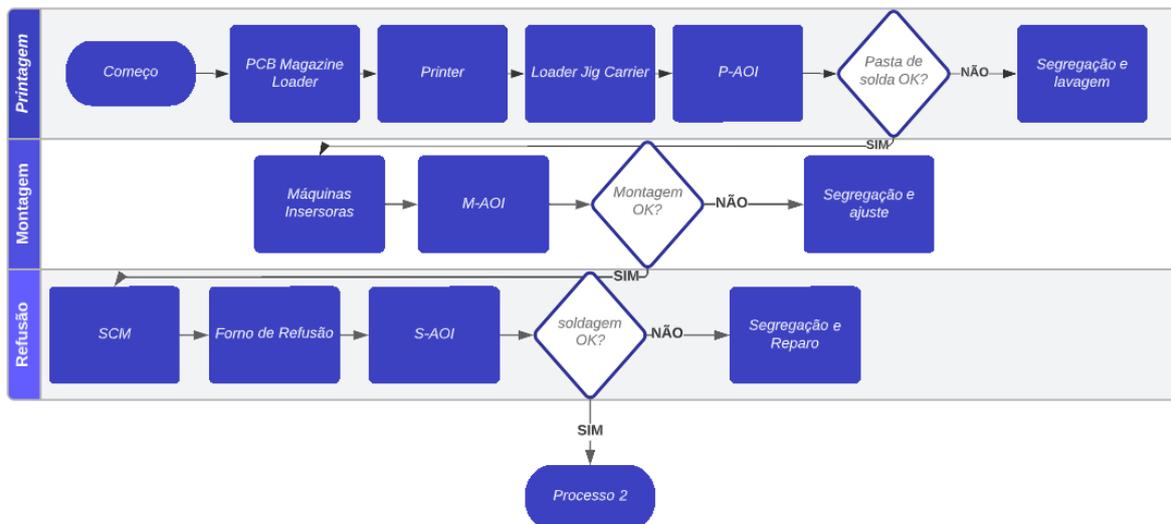
### **4.2 Mapeamento do Processo Produtivo**

O processo a ser analisado é o de montagem de placas eletrônicas do setor de celulares, onde são fabricados mais de 30 modelos diferentes com novos modelos sendo lançados a cada ano. O processo conhecido como SMT – Surface Mount Technology trata-se da montagem de componentes em superfície, onde os mesmos são fixados através de pasta de solda sobre placas lisas e fixados por um processo de soldabilidade no forno de refusão.

O processo é dividido em duas partes: sendo a primeira composta por: printagem, montagem e refusão e a segunda por teste, resina, cura de resina e corte. A Figura 17 e Figura 18 contém o mapeamento macro no processo, onde é possível observar as etapas para a fabricação de placas eletrônicas. O processo tem início com a alimentação dos rolos de materiais na linha de produção, quando o operador

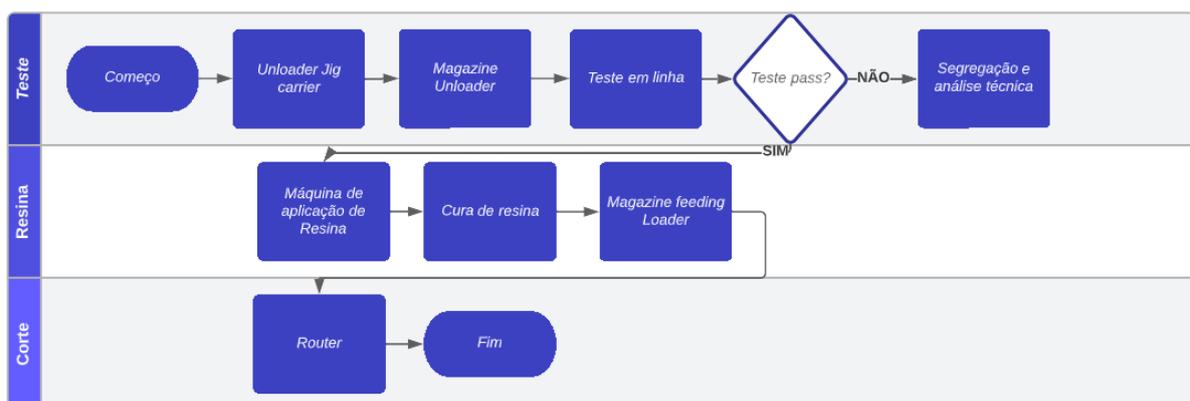
verifica todos os componentes inseridos na máquina antes do start da linha e o abastecimento de placas lisas. Com as máquinas prontas, é dado início ao processo, os operadores continuarão alimentando as máquinas à medida que os materiais vão sendo consumidos e o plano não finalizado. As placas eletrônicas possuem duas partes bottom (parte inferior da PCB) e top (parte superior da PCB), que são produzidas simultaneamente nas máquinas de inserção. Ao final da fase bottom são armazenadas em magazines, e enviadas para o início do processo pelo operador para a montagem da fase top, onde a partir de então segue para a segunda etapa. Ao final do corte as PCB's são armazenadas em bandejas e organizadas em caixas que variam a quantidade conforme o modelo.

Figura 17 - Processo 1 - mapeamento macro



Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

Figura 18 - Processo 2 - mapeamento macro



Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

Os modelos de PCB's devem ser entregues segundo o plano de produção do cliente interno. Alguns modelos possuem requisitos diferentes como a utilização de resina e testes em bancada offline (Fora do processo). Os processos de printagem, montagem e refusão possuem máquinas de inspeção após sua finalização, assim indicando os defeitos ocorridos após sua realização.

### **4.3 Aplicação do método DMAIC**

#### **4.3.1 Definir**

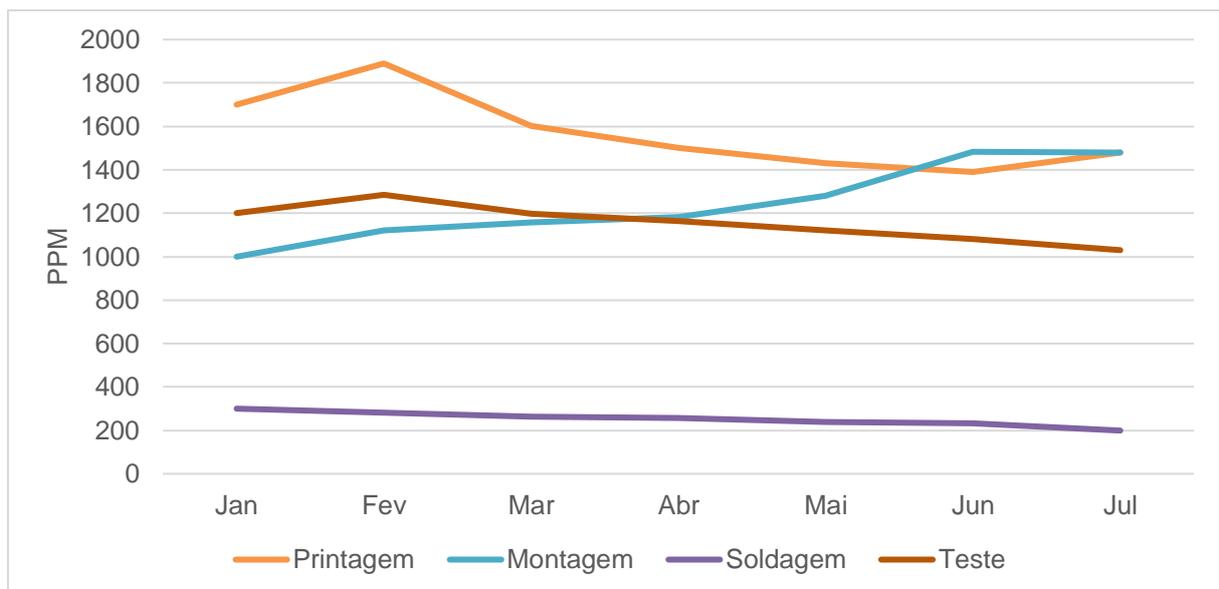
No setor em foco foi verificado que os índices de qualidade, expressos em KPIs – Key Performance Indicator (indicadores chave de desempenho) da empresa em sistema próprio da organização, não demonstram tendência de queda. Através do exame de dados históricos, o índice de inspeção de montagem se encontra em tendência de aumento. Para essa etapa, utilizou-se a ferramenta Project Charter, mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Project Charter

Project charter	
Objetivo	Equipe do Projeto
Reduzir em 200 PPM do índice de defeitos na montagem de componentes em até 4 meses.	Analista/Assistente da Qualidade Técnico de manutenção Líder de produção Operadores de produção
Descrição do problema	
No setor observa-se reclamações de problemas com defeitos de montagem produzindo produtos defeituosos gerando retrabalho e paradas de linha como maiores problemas da rotina de trabalho. O fato de na empresa o processo de análises de defeitos não seguir uma metodologia finda na detecção de causas raízes sem aprofundamento e monitoramento, assim anulando a eficácia das ações desenvolvidas.	
Avaliação do histórico do problema	
Gráfico 1 - Dados de índice de defeitos do processo	
Prazos	
1. Definição - 18/08/2022 2. Mensuração - 25/08/2022 3. Análise - 09/09/2022 4. Melhoria - 18/10/2022 5. Controle- 23/11/2022	

Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

Gráfico 1 - Dados de índice de defeitos do processo



Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

Nesta etapa também deve ser usado um diagrama que tem como finalidade definir qual o principal processo envolvido no projeto e assim facilitar a visualização

do escopo do trabalho. Para isso será utilizada a ferramenta SIPOC, demonstrada na Tabela 3.

Tabela 3 - SIPOC

Fornecedores <b>Suppliers</b>	Insumos <b>Inputs</b>	Processo <b>Process</b>	Produtos <b>Outputs</b>	Consumidores <b>Customers</b>
Fornecedor de componentes	Rolos de componentes	Printagem ↓ Montagem ↓ Refusão ↓ Teste ↓ Resina ↓ Corte	PCB's	Cliente Interno
Fornecedores de placas lisas	Placas lisas			
Fornecedores de pasta de solda	Pasta de solda			
Fabricante de maquinários	Wiper de limpeza			
Fabricante de Wiper	Metal			
Fabricante de Metal	Emendas de rolos			
Fabricante de emendas				

Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

O índice geral do processo é o resultado dos índices de processo 1 (Inspeções de printagem, montagem e refusão) e processo 2 (Teste, Resina e corte), onde serão exemplificados a seguir. Os dados mostrados no Gráfico 1 demonstram os índices de defeitos totais do processo.

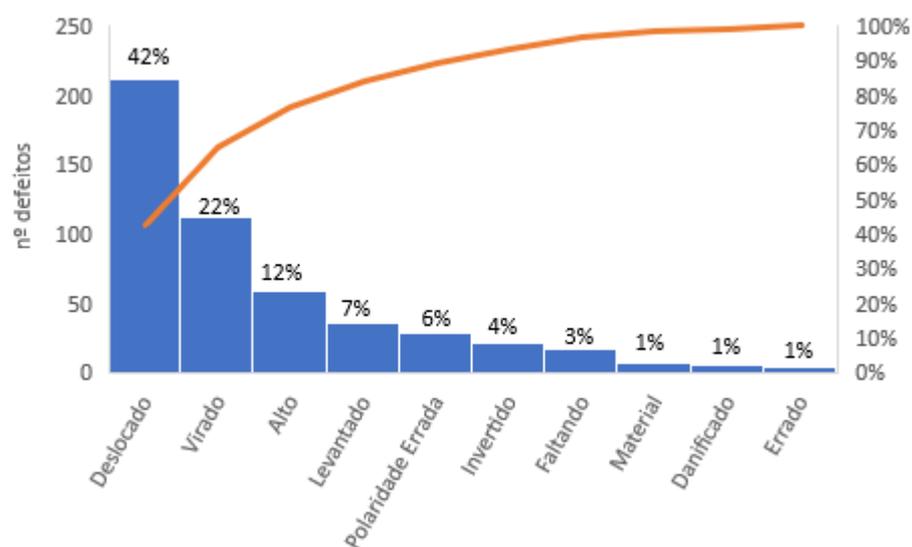
Como observado no gráfico 1 o comparativo de histórico não demonstra uma perspectiva de redução para o índice de montagem. Confirmando que as ações desenvolvidas não são eficazes para eliminação dos defeitos. Assim, nas próximas etapas do DMAIC deve-se realizar análise desse problema, com intuito de redução em 200 PPM.

#### 4.3.2 Medir

Para a questão em estudo foi feita uma estratificação do gráfico 1, mostrando os dados relacionados apenas aos defeitos de montagem. Atualmente, a meta do ano de 2022 é de 900 PPM. Assim, observa-se que os valores estão acima da meta estipulada.

O Diagrama de Pareto evidenciado no Gráfico 2 refere-se à quantidade de defeitos de montagem gerados na primeira metade do ano de 2022.

Gráfico 2 - Diagrama de Pareto para defeitos de montagem

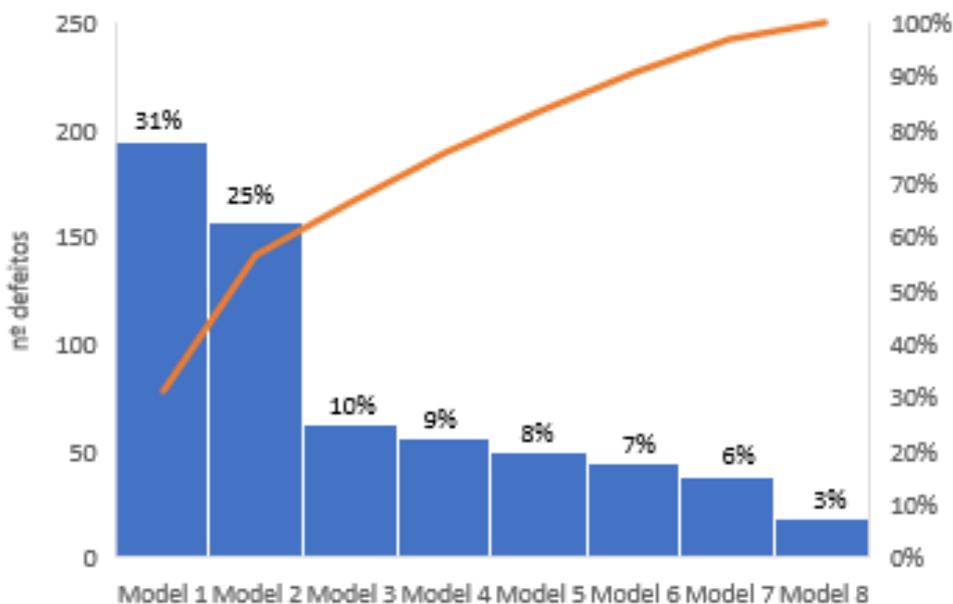


Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

Observa-se que do total de 3500 defeitos de montagem, a maior porcentagem é de defeitos de deslocamento, representados por 42%, seguido de defeitos de componente virado, com 22% do total de defeitos, e o restante se divide em alto, levantado e polaridade errada, entre outros como principais causadores de não conformidades. Assim sendo, o defeito de deslocamento representa a maior parcela de defeitos no período analisado, tomando tempo para ajustes em linha bem como também parada de linha para ações imediatas para este tipo de defeito.

Analisando apenas os defeitos de deslocamento, é possível estratificar pelos modelos com maior incidência e visualizar pelo diagrama de Pareto (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Estratificação por modelo

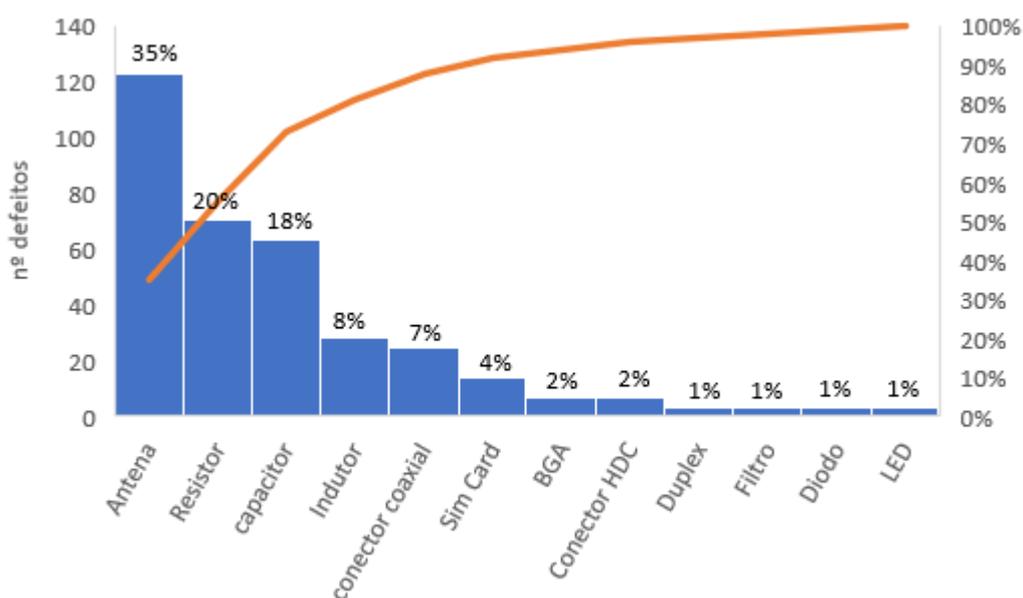


Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

É possível observar através do gráfico 3 que os Modelos 1 e 2 representam mais da metade dos indicadores de componentes deslocados, representando um percentual de 56% do total deste tipo de falha.

Mediante a estratificação dos dados conforme tipo de componente é possível verificar que os maiores números de defeitos estão relacionados a antenas, resistores e capacitores, conforme mostrado no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Estratificação do modelo 1 e 2



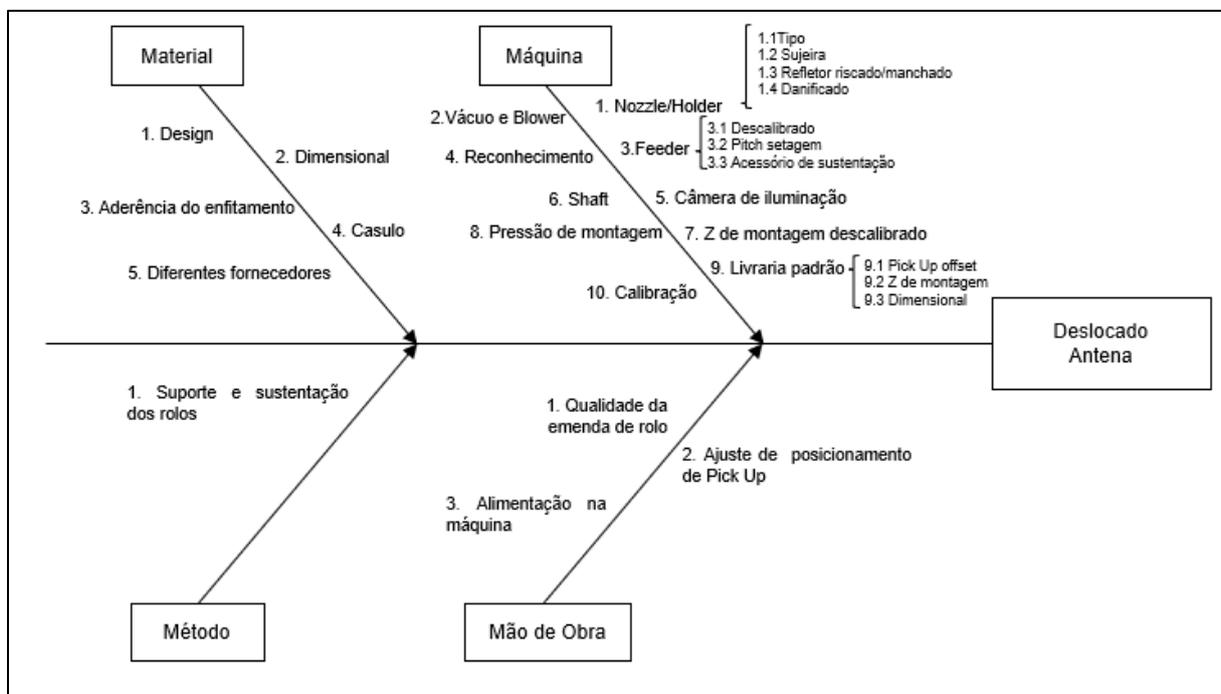
Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

O Gráfico 4 representa então que 73% dos defeitos de deslocamento são em antenas, resistores e capacitores, sendo assim os maiores detentores de defeitos de deslocamento.

#### 4.3.3 Analisar

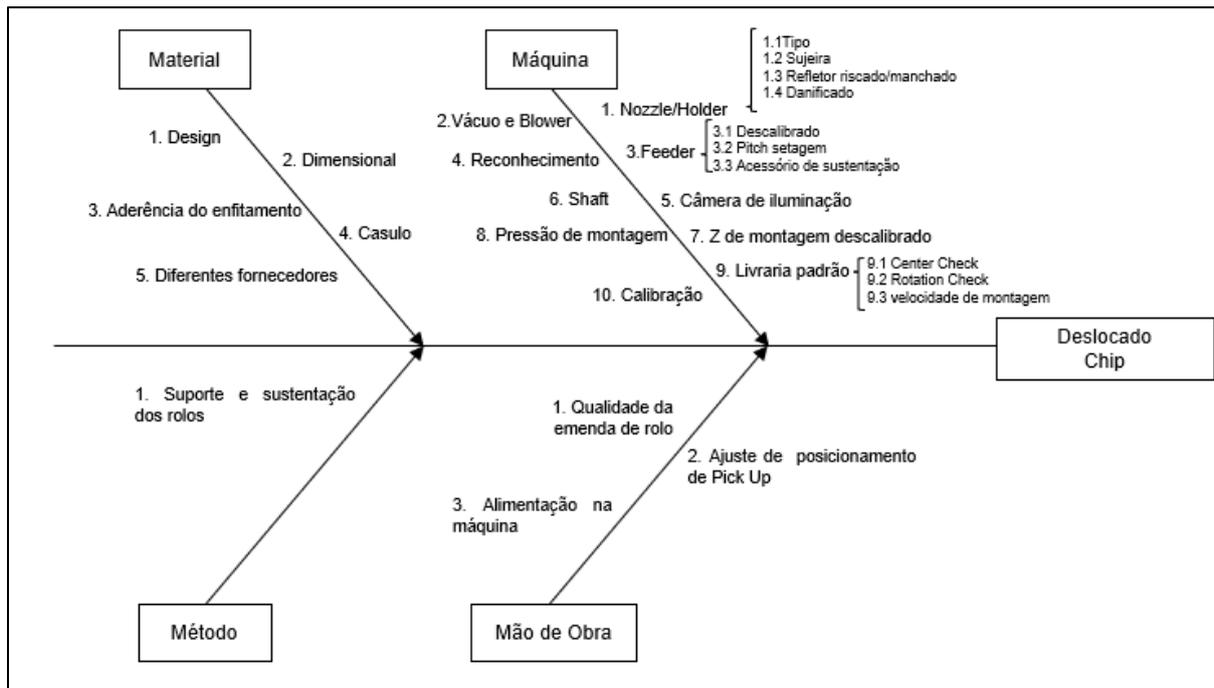
O Diagrama de Ishikawa nas Figuras 19 e 20 fornecem um mapeamento das causas dos principais componentes detectados como os maiores indicadores do defeito de deslocamento como identificado no Gráfico 4. São eles, antena, resistor e capacitor que juntos representam 73% das falhas desse sintoma.

Figura 19 - Diagrama de Ishikawa componente deslocado - antena



Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

Figura 20 - Diagrama Ishikawa componente chip (resistores e capacitores) deslocado



Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

Ao término da construção do Diagrama Ishikawa foram identificadas causas potenciais para os problemas. No entanto, é necessário priorizá-las para verificar as que realmente contribuem de modo significativo para as ocorrências, por meio de uma Matriz de Priorização como mostrado nas Tabelas 5 e 6.

A Matriz de Priorização ou Matriz GUT representa uma priorização das causas tendo como base gravidade, urgência e tendência, como demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Matriz GUT

<b>MATRIZ GUT</b>				
<b>Ptos</b>	<b>G</b>	<b>U</b>	<b>T</b>	<b>G x U x T</b>
	<b>Gravidade</b> Conseqüências se nada for feito.	<b>Urgência</b> Prazo para tomada de decisão.	<b>Tendência</b> Proporção do problema no futuro.	
<b>5</b>	Os prejuízos ou dificuldades são extremamente graves.	É necessária uma ação imediata.	Se nada for feito, o agravamento da situação será imediato.	5 x 5 x 5 <b>125</b>
<b>4</b>	Muito graves.	Com alguma urgência.	Vai piorar em curto prazo.	4 x 4 x 4 <b>64</b>
<b>3</b>	Graves.	O mais cedo possível.	Vai piorar em médio prazo.	3 x 3 x 3 <b>27</b>
<b>2</b>	Pouco graves.	Pode esperar um pouco.	Vai piorar em longo prazo.	2 x 2 x 2 <b>8</b>
<b>1</b>	Sem gravidade.	Não tem pressa.	Não vai piorar ou pode até melhorar.	1 x 1 x 1 <b>1</b>

Fonte: DAYCHOUM, M (2007)

Tabela 5 - Matriz de priorização Antena deslocada

<b>Matriz de priorização: Antena</b>						
<b>Ishikawa</b>	<b>Causas</b>	<b>G</b>	<b>U</b>	<b>T</b>	<b>GxUxT</b>	<b>colocação</b>
Máquina	Nozzle/ Holder	5	4	5	100	1º
Máquina	Feeder	4	5	5	100	2º
Máquina	Z de montagem	5	4	3	60	3º
Máquina	Livraria Padrão	3	3	4	36	4º
Máquina	Vácuo/Blower	4	4	2	32	5º
Máquina	Shaft	3	4	2	24	6º
Máquina	Reconhecimento	2	3	3	18	7º
Mão de Obra	Qualidade da emenda de rolo	3	2	3	18	8º
Máquina	Calibração	4	2	2	16	9º
Material	Design diferentes - Fornecedores	3	4	1	12	10º
Máquina	Iluminação Câmera	3	2	2	12	11º
Mão de Obra	Ajuste de posicionamento de pick up	3	2	2	12	12º
Mão de Obra	Alimentação na máquina	2	2	2	8	13º
Material	Design	3	2	1	6	14º
Máquina	Pressão de montagem	3	2	1	6	15º
Material	Dimensional	2	2	1	4	16º
Material	Aderência	2	2	1	4	17º
Material	Casulo	2	2	1	4	18º
Método	Suporte e sustentação de rolos	1	1	1	1	19º

Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

Tabela 6 - Matriz de priorização Chip deslocado

Matriz de priorização: Chip						
Ishikawa	Causas	G	U	T	GxUxT	colocação
Máquina	Nozzle/ Holder	5	5	5	125	1º
Máquina	Livraria Padrão	5	5	4	100	2º
Método	Suporte e sustentação de rolos	4	4	5	80	3º
Máquina	Vácuo/Blower	4	4	4	64	4º
Máquina	Shaft	3	4	4	48	5º
Máquina	Calibração	5	3	2	30	6º
Máquina	Feeder	3	3	3	27	7º
Máquina	Reconhecimento	2	3	3	18	8º
Mão de Obra	Qualidade da emenda de rolo	3	2	3	18	9º
Mão de Obra	Ajuste de posicionamento de pick up	3	2	2	12	10º
Máquina	Z de montagem	2	2	2	8	11º
Material	Design diferentes - Fornecedores	2	4	1	8	12º
Máquina	Iluminação Câmera	2	2	2	8	13º
Mão de Obra	Alimentação na máquina	2	2	2	8	14º
Material	Design	2	2	1	4	15º
Máquina	Pressão de montagem	2	2	1	4	16º
Material	Dimensional	2	2	1	4	17º
Material	Aderência	2	2	1	4	18º
Material	Casulo	2	2	1	4	19º

Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

As principais causas identificadas e priorizadas são: Nozzle e Holder, Feeder e Livraria padrão. A partir disso foi aplicada a ferramenta de 5 Porquês, com o objetivo de encontrar a causa raiz do problema, mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 - 5 Porquês

Problema: Componente deslocado (Antena/Chip)					
Causas	Por quê?	Por quê?	Por quê?	Por quê?	Por quê?
Nozzle/Holder	Os nozzles e holders não estão conformes.	Nozzles e Holder estão com acúmulo de resíduos	Não é feita a devida troca e limpeza adequada	Cronograma de limpeza ineficaz	
		Nozzle manchados, riscados e danificados	Ocasionado no processo de limpeza	Instrumentos para a limpeza não adequados	
Feeder	Os feeders fazendo com que o componente salte	Enfitamento sem apoio no passe no feeder	Tipo de Feeder não possui sustentação		
Livraria Padrão	A livraria está fora do padrão	Técnicos modificam para evitar paradas	Não atuam na causa do problema	Falta de conhecimento	Falta de treinamento aos técnicos inexperientes

Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

Portanto, ao final da etapa analisar, as causas fundamentais do problema estão identificadas, de modo a constituírem a base para a geração de soluções. A partir da análise serão sugeridas melhorias para correção das causas investigadas.

#### 4.3.4 Melhorar

A partir das causas identificadas para o problema, foi feita a geração de ideias de soluções para a eliminação das causas, conforme evidenciado na Tabela 8.

Tabela 8 - Soluções propostas

<b>Causa Raiz</b>	<b>Solução Proposta</b>
Cronograma de limpeza de Nozzle/Holder ineficaz	Revisão do Cronograma atual
Instrumentos para a limpeza de Nozzle não adequados	Mudança de instrumentos para Limpeza de Nozzle
Tipo de Feeder não possui sustentação	Adição de peça extra para adicionar sustentação ao enfitamento
Falta de treinamento aos técnicos inexperientes	Treinamento com técnico experiente - Líder

Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

Para a causa raiz do cronograma de limpeza de Nozzle/Holder – peça no qual faz a sucção do componente e o transporta até a montagem na PCB - foi verificado que o cronograma atual era feito conforme as linhas totais do processo e dividido 1 linha por técnico de manutenção para limpeza semanal conforme Tabela 9.

Tabela 9 - Cronograma de limpeza de nozzle e holder antigo

Técnico	Linha	W36	W37	W38	W39	W40	W41
Técnico 1	1						
	2						
	3						
	4						
Técnico 2	5						
	6						
	7						
	8						
Técnico 3	9						
	10						
	11						
	12						
Técnico 4	13						
	14						
	15						
	16						
Técnico 5	17						
	18						
	19						
	20						

Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

No entanto, é desconsiderado o volume de produção por linha, e no processo existem modelos com maior volume de produção que outros, ou seja, em linhas que produzem mais, a ocorrência de sujidade é maior, necessitando então de limpeza com maior frequência. Como solução foi feita a revisão do cronograma atual, adicionando a priorização conforme o volume de produção. Assim a partir da quantidade de produção da semana anterior consta a necessidade de realizar a limpeza geral de nozzles e holder do processo, conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Novo cronograma de limpeza de nozzle e holder

Linha	W36	W37	W38	W39	W40	W41
1						SIM
2					SIM	
3						
4	SIM				SIM	
5			SIM			
6				SIM		
7						SIM
8				SIM		
9			SIM			
10	SIM		SIM			
11			SIM			
12		SIM				SIM
13		SIM				
14	SIM			SIM		
15	SIM				SIM	
16		SIM				
17		SIM				
18		SIM				SIM
19				SIM		
20					SIM	

Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

Nesse novo cronograma foi considerada a produção da semana anterior para determinar quais linhas serão limpas, sendo priorizada a linha com maior volume de

produção acumulada. Assim, nas linhas que não receberam a limpeza somam-se o número de produção acumulada, fazendo com que sempre sejam limpas as linhas com maior tempo de uso, que correspondem a maior sujeira em nozzles e holders, mantendo assim uma limpeza mais eficiente do processo. Os valores de produção e acumuladas são mostrados na Tabela 11.

Tabela 11 - Novo Cronograma de Limpeza - produção

Linha	Prod W35	W36	Prod W36	Acumulada	W37	Prod W37	Acumulada	W38	Prod W38	Acumulada	W39	Prod W39	Acumulada	W40	Prod W40	Acumulada	W41
1	36.000		10.000	46.000		4.500	50.500		20.000	70.500		25.000	95.500		15.000	110.500	SM
2	0		45.000	45.000		30.000	75.000		3.000	78.000		35.000	113.000	SM	25.000	25.000	
3	11.000		38.000	49.000		12.000	61.000		2.000	63.000		12.000	75.000		35.000	110.000	
4	45.000	SM	35.000	35.000		15.000	50.000		35.000	85.000		35.000	120.000	SM	25.000	25.000	
5	35.000		12.000	47.000		35.000	82.000	SM	32.000	32.000		32.000	64.000		16.000	80.000	
6	28.000		18.000	46.000		14.000	60.000		36.000	96.000	SM	0	0		32.000	32.000	
7	13.000		16.000	29.000		13.000	42.000		45.000	87.000		15.000	102.000		42.000	144.000	SM
8	17.000		17.000	34.000		28.000	62.000		37.000	99.000	SM	25.000	25.000		35.000	60.000	
9	12.000		35.000	47.000		32.000	79.000	SM	35.000	35.000		0	35.000		36.000	71.000	
10	48.000	SM	45.000	45.000		45.000	90.000	SM	38.000	38.000		15.000	53.000		45.000	98.000	
11	29.000		13.000	42.000		48.000	90.000	SM	29.000	29.000		35.000	64.000		32.000	96.000	
12	36.000		27.000	63.000	SM	23.000	23.000		28.000	51.000		19.000	70.000		45.000	115.000	SM
13	35.000		36.000	71.000	SM	24.000	24.000		32.000	56.000		25.000	81.000		7.000	88.000	
14	42.000	SM	42.000	42.000		15.000	57.000		34.000	91.000	SM	35.000	35.000		15.000	50.000	
15	45.000	SM	48.000	48.000		13.000	61.000		0	61.000		45.000	106.000	SM	0	0	
16	36.000		50.000	86.000	SM	16.000	16.000		36.000	52.000		12.000	64.000		24.000	88.000	
17	17.000		47.000	64.000	SM	42.000	42.000		0	42.000		36.000	78.000		13.000	91.000	
18	28.000		50.000	78.000	SM	37.000	37.000		15.000	52.000		45.000	97.000		35.000	132.000	SM
19	3.000		12.000	15.000		50.000	65.000		45.000	110.000	SM	23.000	23.000		32.000	55.000	
20	0		0	0		50.000	50.000		36.000	86.000		52.000	138.000	SM	31.000	31.000	

Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

No que se refere a limpeza de nozzles, foi verificado que na área de limpeza não existia instrumento de inspeção adequado para verificação de nozzles com defeitos como: manchado, danificado, riscado entre outros como identificado na Figura 21.

Figura 21 - Exemplos de defeitos em Nozzles



Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

A inspeção atual era feita visualmente sem apoio e iluminação, impossibilitando o operador de limpeza de fazer um correto julgamento do estado do nozzle. Para sanar o problema, foi adquirido um microscópio de alta resolução e melhor apoio, facilitando a verificação e o julgamentos dos itens inspecionados, assim eliminando nozzles não conformes no processo, como observado na Figura 22.

Figura 22 - Bancada de inspeção de nozzle



Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

Em relação ao feeder (alimentador da máquina de inserção de componentes, peça no qual é adicionado o material na máquina) sem sustentação, foi detectado que o tipo de feeder utilizado no processo não possuía o apoio necessário no momento do passe (movimento de impulso que é realizado quando o componente é consumido e precisa avançar para disponibilidade de um novo) fazendo com que o mesmo se desloque no próprio casulo e monte o componente deslocado. Para resolver o problema foi feita a compra de uma peça adicional ao feeder chamada de guia bloco, que oferece uma sustentação ao enfileiramento, reduzindo o salto do componente, como pode ser visto na Figura 23.

Figura 23 - Guia bloco para Feeder NPM



Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

A respeito dos técnicos inexperientes sem treinamento, foi feita uma divisão em que um técnico com maior experiência é responsável por liderar e treinar os demais técnicos, auxiliando nas ações e soluções diárias no processo. Foi criado

também um cronograma de treinamento com técnicos especialistas de cada equipamento, conforme cronograma na Tabela 12.

Tabela 12 - Cronograma de treinamento

Treinamento	W36	W37	W38	W39	W40	W41
Especialista 1						
Especialista 2						
Especialista 3						

Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

Portanto, foram tomadas quatro ações de solução das principais causas detectadas e estratificadas no processo e realização da ferramenta DMAIC.

#### 4.3.5 Controlar

Para esta etapa, deve-se organizar os meios de controle sobre as ações e o monitoramento dos resultados, permitindo melhorias graduais com as ações sendo realizadas. Desta forma, torna-se necessário um plano de ação e controle como apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Plano de controle das ações

Nº	O que	Como	Quem	Quando	Entrega
1	Utilização do novo cronograma de limpeza de holder e nozzle	Atualizar planilha e compartilhar com os técnicos suas atividades	Supervisor de Manutenção	Semanalmente	Limpeza de nozzle e holder
2	Novas ferramentas de limpeza de nozzle	Verificar utilização	Supervisor de qualidade	Semanalmente	Utilização da ferramenta
3	Guia bloco feeder	Ajuste de feeders com nova peça	Responsável do feeder	W37	Feeders com nova peça
4	Treinamento	Seguir cronograma de treinamento	Supervisor de manutenção	Semanalmente	Treinamento seguir cronograma

Fonte: Elaborado pela Autora (2022).

É de grande importância que seja seguido o plano de controle para cada ação, em que o responsável deve verificar a sua eficácia conforme o planejado. Visando o alcance do resultado os índices devem ser monitorados juntamente com o controle das ações acompanhadas regularmente para garantir a continuidade das ações para o alcance do resultado.

## 5 CONCLUSÃO

O presente estudo propôs a utilização do método DMAIC para a melhoria de qualidade no processo de montagem de placas eletrônicas em uma empresa do Polo Industrial de Manaus (PIM), como uma orientação à busca de aperfeiçoamento do processo e dos índices de qualidade na área de SMT. Durante a realização do estudo, foi elaborado o mapeamento do processo, sendo possível entender os índices de qualidade e avaliando-os.

A partir dos dados e do entendimento do contexto, foi perceptível que os defeitos de maior impacto se encontravam na montagem. Assim, através da análise foi construída a estratificação e identificado o defeito de deslocamento como o maior causador que contribuía para o alto índice. Baseado nisso, foram avaliadas quais eram os principais tipos de componentes responsáveis pelo índice de defeito antenas e chips (resistores e capacitores) e então analisadas suas causas. Visto isso, foram sugeridas ações para a solução das causas encontradas:

- Revisão do cronograma de limpeza de holder e nozzle,
- Mudança no instrumento de inspeção de limpeza de nozzle,
- Adição de peça guia para alimentador da máquina,
- Rotina de treinamento com especialistas em máquinas.

Completo-se o desenvolvimento com o detalhamento das ações e o plano de controle e monitoramento para eficácia do método. Assim, observa-se que todos os objetivos propostos foram atingidos.

Com a aplicação das ações propostas no processo, a metodologia escolhida se mostrou de fato satisfatória. A metodologia e o escopo do DMAIC foram bem definidos e proporcionaram uma segmentação do projeto de forma lógica e eficiente. A etapa de definição proporcionou o entendimento do processo, através de seu mapeamento e com a análise de dados dos índices serviu de evidência da necessidade de aplicação no processo de montagem. A fase de medição possibilitou a compreensão da proporção e da estratificação dos defeitos desse processo, expondo a porcentagem do tipo de defeito, modelo e tipo de componente com maior frequência e estratificados como maiores causadores: Antena e Chip. Na etapa seguinte, Analisar, foram identificadas as causas do problema através do Diagrama

de Ishikawa e diagrama de Priorização, e a partir das causas priorizadas foi utilizada a ferramenta 5 Porquês para identificação da causa-raiz.

Na etapa de aplicação de melhorias foram propostas soluções para as causas raízes encontradas, gerando a mudança para um novo cronograma de limpeza de nozzle e holder, levando em consideração a produção, dado que apenas eram feitos em sequência das linhas e se tornando ineficaz para o processo; treinamento com técnicos mais experientes, visto que ainda havia muitos erros gerados pela falta de conhecimento técnico; mudança de instrumento de inspeção de nozzle, pois o método existente era ineficiente, e por fim novas peças para sustentação do feeder.

Mais à frente na última fase Controlar, estabeleceu um plano de controle para as soluções propostas, que deve ser seguido para que o resultado seja alcançado de forma a garantir que os defeitos sejam reduzidos.

À vista disso, como conclusão do estudo, nota-se benefícios para a empresa levando em consideração que houve exploração e análise das principais causas dos índices de falta de qualidade no processo.

## REFERÊNCIAS

- ABINEE. **Cenário Econômico.** Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/abinee/associa/manul.htm>>. Acesso em: 28 jul de 2022
- BRAITT, Bruno; FETTERMANN, Diego Castro. **Aplicação do DMAIC para a melhoria contínua do sistema de estoque de uma empresa de informática.** Produto & Produção, v. 15, n. 4, 2014.
- DAYCHOUM, Merhi. 40 Ferramentas e técnicas de gerenciamento. Rio de Janeiro, Brasport, 2007.
- DE OLIVEIRA, Maxwell Ferreira. **Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em Administração.** Universidade Federal de Goiás. Catalão–GO, 2011.
- DIRECTINDUSTRY. **Heller Industries.** Disponível em: <<https://www.directindustry.com/pt/prod/heller-industries/product-22061-1335285.html>> . Acesso: 07 de set de 2022.
- ECKES, G. **A Revolução Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucros.** Rio de Janeiro: Campos, 2001.
- FALCONELETRONICA. **O QUE SÃO PTH, SMD E QUANDO USAR CADA UM?**. 2020. Disponível em: < <https://falconeletronica.com.br/o-que-sao-pth-smd-e-quando-usar-cada-um/>>. Acesso: 28 set de 2022
- GIL, Antônio Carlos, 1946- **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2002
- GRESSLER, Lori Alice. **Introdução à pesquisa.** Edições Loyola, 2003.
- HOLWEG, Matthias. **The genealogy of lean production.** *Journal of operations management*, v. 25, n. 2, p. 420-437, 2007.
- HONG, S.J. KIM, H.Y. HAN, S. **Regular Papers: Process Optimization for Flexible Printed Circuit Board Assembly Manufacturing.** Materials Science. 2012
- JANÓCZKI, M., Becker, Á., Jakab, L., Gróf, R. and Takács, T. **Automatic optical inspection of soldering.** Materials Science-Advanced Topics. 2013
- KUMAR, M. et al. **Implementing the Lean Sigma Framework in an Indian SME: A Case Study.** PRODUCTION PLANNING & CONTROL, v. 17, n. 4, p. 407-423, 2006.
- LIKER, Jeffrey K.; MEIER, David. **O modelo Toyota-manual de aplicação: um guia prático para a implementação dos 4Ps da Toyota.** Bookman Editora, 2007.
- MARSHALL, I. J.; CIERCO, A. A.; ROCHA, A. V.; MOTA, E. B. **Gestão da qualidade.** 3. ed. Rio de Janeiro: FGV. 2004.
- MOKOTECHNOLOGY. **O guia definitivo para o estêncil SMD PCB.** 2020. Disponível em: <https://www.mokotechnology.com/pt/pcb-stencil/>. Acesso: 25 de set de 2022.
- OHNO, Taiichi; BODEK, Norman. **Toyota production system: beyond large-scale production.** Productivity press, 2019
- PACHECO, Diego Augusto de Jesus. **Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração.** Production, v. 24, p. 940-956, 2014

PARMI. **Portifólio**. 2022. Disponível em:< <https://parmi.com/portfolio/>> Acesso: 15 de set de 2022

PEPPER, Matthew PJ; SPEDDING, Trevor A. **The evolution of lean Six Sigma**. International Journal of Quality & Reliability Management, 2010.

PINTO, G. S; SOUZA. L. N. **Entre as causas e os efeitos: construção de diagramas dos problemas de saúde pública**. 1.ed. Porto Alegre: Rede UNIDA. 2019

SANDER, C. **Lean Seis Sigma: O guia básico da metodologia**. 1.ed. Editora CAE. 2021

SANTOS, Hemyly Pessoa dos et al. **Aplicação da metodologia Seis Sigma como estratégia para a redução do índice de trincas em carcaças internas produzidas por uma empresa do Polo Industrial de Manaus**. 2017.

SMTHELP. **Página inicia**. Disponível em:< <https://www.smthelp.com/>> . Acesso: 25 de set de 2022

SMTNET. **Catálogo**. Disponível em: <[https://smtnet.com/company/index.cfm?fuseaction=view\\_company&company\\_id=51237&component=catalog&catalog\\_id=16519](https://smtnet.com/company/index.cfm?fuseaction=view_company&company_id=51237&component=catalog&catalog_id=16519)> Acesso: 10 de set de 2022.

WERKEMA, C. **Criando a cultura Lean Seis Sigma**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier. 2012

WERKEMA, C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier. 2012

WILSON, Lonnie. **How to implement lean manufacturing**. McGraw-Hill Education, 2010.

WOMACK, James P. **A máquina que mudou o mundo**. Gulf Professional Publishing, 2004.

