

## Reduced Setup Time for an SMT Line

Aurea Gama de Jesus<sup>1</sup>, Manoel Henrique Reis Nascimento<sup>2</sup>, Paulo Francisco da Silva Ribeiro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Discente em Engenharia de Produção - Instituto de Ensino Superior (FUCAPI). Av. Gov. Danilo de Matos Areosa, 381 - Distrito Industrial, Manaus – AM.

<sup>2,3</sup> Departamento de pesquisa - Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM). Av Joaquim Nabuco, 1950 – Centro, Manaus/AM.

Email: [aureagj76@gmail.com](mailto:aureagj76@gmail.com), [hreys@bol.com.br](mailto:hreys@bol.com.br), [paulofranciscosilvaribeiro@gmail.com](mailto:paulofranciscosilvaribeiro@gmail.com)

### ABSTRACT

**Received:** July 17<sup>th</sup>, 2018.

**Accepted:** August 01<sup>th</sup>, 2018.

**Published:** September 30<sup>th</sup>, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



The article seeks to investigate the cause in the model changeover delay in the operational process of an automatic surface mount device (SMD) insertion line of TV boards, identifying the factor that causes the time to perform SETUP using the Six Sigma to perform analysis of the results achieved. The tools applied were the process flow mapping, the Ishikawa cause and effect diagram and the Six Sigma standard planning, execution, verification and action cycle, which facilitated data collection and analysis of activities that were divided into: external and internal activities. Through this procedure it was possible to perform the recording and analysis of the data collected. The balancing of the processes and activities of the line before and during the exchange of the SETUP model, displacing external activities that were performed as internal. The next step was to standardize the activities in the process, known as Surface Mount Technology (SMT). The modification of the developed processes was of vital importance to the feeding of machines with higher quality and in a shorter time, determining and separating the common items from the exclusive ones. For this to happen, it was necessary to reprogram the machines. The model identified as critical and a 55-inch TV, the time before the study was over 80 minutes and was reduced to 40 minutes after the actions were implemented. The paper presents clearly how it was obtained and the gains in detail.

**Keywords:** SMT, SMD, Six Sigma, Ishikawa.

## Redução no tempo de Setup de uma linha SMT

### RESUMO

O artigo busca investigar a causa na demora de troca de modelo no processo operacional de uma linha de inserção automática de dispositivos de montagem em superfície (SMD) de placas para TVs, identificando o fator que ocasiona a perda de tempo para realizar o SETUP, utilizando o Seis Sigma para realizar análise dos resultados alcançados. As ferramentas aplicadas foram o mapeamento do fluxo de processo, o diagrama de causa e efeito “Ishikawa” e o ciclo de planejamento, execução, verificação e ação no padrão Seis Sigma, que facilitou a coleta de dados e análise das atividades que foram divididas em: atividades externas e internas. Por meio deste procedimento foi possível realizar o registro e análise dos dados coletados. O balanceamento dos processos e atividades da linha antes e durante a troca de modelo SETUP, deslocando atividades externas que eram executadas como internas. O passo seguinte foi padronizar as atividades no processo, conhecido com Tecnologia de Montagem em Superfície (SMT). A modificação dos processos desenvolvidos, foram de vital importância para realizar a alimentação de máquinas com maior qualidade e em um menor tempo, determinando e separando os itens comuns dos exclusivos. Para isto ocorresse, se fez necessário a reprogramação das máquinas. O modelo identificado como crítico e uma TV de 55 polegadas, o tempo antes do estudo era superior a 80 minutos e foi reduzido para 40 minutos após as ações serem implementadas. O trabalho apresenta de forma clara como foi obtido e os ganhos em detalhes.

**Palavras-chave:** SMT, SMD, Seis Sigma, Ishikawa.

## I INTRODUÇÃO

O mundo corporativo tem como foco o resultado positivo através do melhoramento dos produtos de forma a reduzir custos e desperdícios. O tempo é um recurso que deve ser utilizado da maneira mais racional possível. O mercado cada vez mais exige o cumprimento dos prazos estabelecidos no planejamento da produção e entrega dos bens de consumo ou serviço.

Segundo [1] e [2] “determinar quanto tempo um homem plenamente apto gastaria na execução dessa tarefa, estabelecendo assim um tempo-padrão. Dessa maneira, conhecendo o modo ideal e o tempo-padrão para executar uma tarefa”.

O ciclo de produção uma vez estabelecido é utilizado como referência para a padronização dos processos de produtos nas organizações. A padronização das rotinas de trabalho determina o desempenho dos diversos produtos que organização realiza.

A estratégia de produtividade define investimentos e uma permanente concorrência entre as unidades dentro da organização.

Para [3], [4] Taylor chegou à conclusão de que a administração das empresas precisava ser melhorada e que havia muitas perdas com a ineficiência, a busca para melhorar eficiência das organizações e de seus processos, está atrelada em eliminar o desperdício e as perdas. Desta maneira, é possível concentrar-se o estudo de Tempos e Movimentos, proporcionando ao colaborador executar a tarefa com o mínimo de esforço e o máximo de produtividade [5].

[6] e [7] também afirma “A Administração Científica é uma escola clássica de administração, tendo recebido outras denominações: clássica, americana e tradicionalista.”

O gerenciamento do tempo é utilizado como referência no estudo das atividades produtivas para estabelecer de que maneira é possível inovar [8].

A demora nesta troca entre modelos pode gerar custos difíceis de serem mensurados, podendo comprometer o planejamento e a capacidade produtiva. É possível reduzir este desperdício através da investigação das causas utilizando o Seis Sigma e sua metodologia o DMAIC (Definição, Medição, Análise, Implementação da melhoria e Controle) [9].

O artigo busca estudar e identificar a causa da demora na troca de modelo de uma linha de montagem em uma empresa do Polo Industrial de Manaus, que por questão de confidencialidade chamaremos pelo nome fictício de uma empresa do PIM.

O estudo e implementação de melhoramento em seu processo através do Seis Sigma, tem relevância para evidenciar o retorno dos investimentos em treinamento dos seus colaboradores.

Segundo [10]; [11]; [12]. “O desperdício pode ser definido como qualquer atividade que não agrega valor. A *Toyota* identificou sete tipos de desperdícios, os quais acredita-se serem aplicáveis em vários tipos de operações diferentes”.

Estes grupos de perda são mencionados a seguir:

- Perda por superprodução;
- Perda por espera;
- Perda por transporte;
- Perda no próprio processamento;
- Perda por estoque;
- Perda por movimentação;
- Perda por fabricação de produtos defeituosos.

A tarefa de coletar e analisar dados para desenvolver um sistema eficiente que trate das causas que reduzem a eficiência do processo produtivo foi o foco desta pesquisa. A melhoria continua e uma tarefa solicita de todos os envolvidos no processo a

capacidade trabalhar com métodos de coleta de dados através do correto preenchimento de relatórios.

Somente se pode opinar e tomar decisão quando é possível mensurar, analisar os dados para identificar as causas responsáveis por perdas para eliminar desperdícios e tornar as organizações mais competitivas.

## II REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

### II.1 A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Quando ocorreu a revolução industrial um profundo e irreversível processo de transformações econômicas e sociais teve início onde o foco principal foi na Inglaterra. A passagem da manufatura para um processo mecanizado veio acompanhado de muitos problemas a serem equacionados.

Homens trabalhando com máquinas para suprir uma demanda crescente por bens e serviços, isto nunca havia ocorrido na história humana com tanta rapidez, à produção já não é mais restrita a um número finito de consumidores, as empresas estavam cada vez mais interessadas em aumentar seus lucros. O capital e o trabalho são as palavras que refletem a nova realidade, uma maneira diferente de produzir e consumir toma conta das pessoas, muitas oportunidades de estudo e desenvolvimento dos métodos de trabalho surgem [13].

A principal questão a ser resolvida está sempre relacionada com o aumento da produção, e a ideia geral está baseada em aumento de jornada de trabalho e o pagamento de baixos salários.

Para [14]; [15] “antes de estudar a Administração Científica, seria conveniente analisar suas origens. Elas estão ligadas às consequências geradas pela revolução industrial”.

Em meio a todas estas circunstâncias surgiu Taylor, um engenheiro que mais tarde ficaria conhecido como o criador de um método para organização do trabalho de forma científica. O jovem iniciou sua carreira como aprendiz, e posteriormente já formado assumiu o cargo de engenheiro mecânico chefe na fábrica de aço Midway [16].

A observação da execução das atividades humanas associadas à utilização de máquinas no processo produtivo era o caminho para o aumento da produção. Nos seus experimentos o objetivo principal do estudo foi à medição do tempo das atividades, que resultou na divisão do trabalho de forma sequencial.

### II.2 O PROCESSO PRODUTIVO

Pode-se definir um processo como constituído por insumos, processamento e saída cujo resultado pode ser um produto ou serviço.



Figura 1: Qualquer produção envolve os processos input-transformação-output.

Fonte: [10].

Segundo [17], a produção de bens em grande quantidade é a principal característica do processo conhecido por produção em massa, as organizações que produzem televisores, computadores e

veículos entre outros bens de consumo utilizam as mais diversas ferramentas para buscar o controle, inovação e melhoria contínua dos processos.

Segundo [10]. “Uma empresa é um processo e dentro dela existem vários processos: não só processos de manufaturas como também processos de serviço”.

Para manter a organização funcionando de forma adequada é necessário administrar cada etapa do fluxo produtivo de um produto ou serviço. Em geral estas etapas são divididas em: materiais, máquinas, método, mão de obra, medida e meio ambiente. A divisão em sub-processos facilita o controle e eventualmente análise de problemas que podem acontecer. Para aumentar o lucro das organizações é necessário reduzir falhas e variações, contribuindo desta forma para atingir metas estabelecidas. A linha de produção é um método que veio para facilitar a montagem de bens de consumo em massa de maneira a reduzir o tempo de produção através da divisão do trabalho em postos e cada um com seu tempo bem definido.

### II.3A LINHA DE PRODUÇÃO

Para [14] “A fabricação em série, com linhas de produção adotadas nas usinas Ford, não é invenção sua, mais um dos numerosos processos científicos que adotou, com maior êxito. Havendo velocidade prefixada para andamentos das cadeias”.

O conceito de linha de produção utilizada por Henry Ford mudou a maneira de trabalho, o posto de trabalho, as ferramentas, o método, a matéria prima e a mão de obra tiveram seu desempenho levado ao máximo, e desta forma foi possível estabelecer um novo padrão de produção em larga escala [14].

O fluxo de processos dividido em linhas de produção proporciona uma forma adequada para administrar a produção dividida em etapas que podem ter seu tempo monitorado e eventualmente balancear o processo buscando atingir o máximo desempenho.

#### II.3.1 AS VANTAGENS DA LINHA DE PRODUÇÃO

Segundo [14], algumas das vantagens apresentadas por este método de produzir com maior eficiência foram:

- Cada colaborador executa uma tarefa específica;
- A etapa do trabalho tem seu procedimento organizado buscando o maior desempenho no menor tempo;
- É possível produzir e inspecionar cada etapa do processo com maior rapidez;
- Os tempos de ciclo, carga e descarga de cada posto é monitorado;
- O balanceamento dos postos fica mais fácil de ser realizado;
- As linhas de produção podem ser adaptadas para modelos diferentes e quantidades variáveis.

Os modelos de produção se beneficiaram de todas estas características para atingir altos volumes de produção em massa, o processo de montagem contínua com poucas paradas pré-programadas de forma sistematizada.

#### II.3.2 A DIVISÃO DO TRABALHO

Segundo [18] “Convém lembrar que Taylor estudou principalmente a divisão do trabalho em nível operacional. Para ele, quanto mais um trabalho pudesse ser decomposto em tarefas cada vez mais simples, mais especializado seria o trabalhador”.

A divisão do trabalho promove à especialização dos colaboradores para executar determinadas tarefas específicas, o

objetivo é racionalizar a utilização do tempo de produção industrial. Esse método resulta em maior eficiência e rapidez ao processo produtivo. A especialização de funções e tarefas nas etapas produtivas industriais é o meio pelo qual o colaborador adquire, com a repetição da tarefa uma habilidade maior e desta forma fique “habilitado” para o posto onde foi treinado [18].

A especialização das atividades promove o desenvolvimento da coordenação motora em cada posto de trabalho, pois cada indivíduo tem sua função na estrutura do processo equacionado buscando sempre o melhor rendimento dentro de padrões estabelecidos [14].

O método da divisão do trabalho produz um aumento na produção, porém também ocasiona o aparecimento de colaboradores alienados com relação ao processo de produção, pois conhecem apenas uma das etapas do processo, transformando-se em um indivíduo muito limitado. O responsável pelo processo quase sempre busca por colaboradores capazes e interessados em desenvolver suas habilidades para trabalhar em mais de um posto de trabalho [14].

#### II.3.3 O POSTO DE TRABALHO

[19] “Taylor acreditava que todo e qualquer trabalho admitia uma fórmula para ser aperfeiçoado, mais para isso era preciso estudar a tarefa, o local de trabalho, as máquinas e ferramentas”.

Pode-se definir posto de trabalho como a menor unidade produtiva de um processo ou linha de produção, é o local que relaciona o colaborador e seu trabalho. As fábricas ou qualquer outra organização dispõem muitos postos de trabalho que mantém uma constante inter-relação [20].

O arranjo físico do local de trabalho passa por um chamado estudo ergonômico para que dessa maneira o processo funcione de forma satisfatória, para tanto é necessário que os postos de trabalho também funcionem de forma racional. Muitos são os cuidados que precisam ser executados quando se prepara um posto de trabalho, o estudo de tempos e métodos em conjunto com os ergonômicos é a base necessária para dimensionar o posto de trabalho. Caso o estudo nesta etapa seja inadequado o resultado pode ser notado no desempenho do colaborador que ocupará o posto. O outro aspecto notável será quanto a fadiga dos colaboradores, pois é provável que a pessoa passe várias horas ao dia exposto a um esforço excessivo.

#### II.3 COMO REALIZAR O BALANCEAMENTO DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO

Para [18] “Taylor focou seus estudos no trabalho dos operários, procurando dividir as tarefas em seus elementos básicos, passando depois a cronometrar o tempo necessário para sua execução, eliminando movimentos inúteis e desperdícios de tempo”.

O objetivo do estudo de tempo em um processo é buscar o balanceamento das atividades de cada posto de trabalho da linha de produção, o resultado pode ser expresso em minutos ou outra unidade de tempo [21].

A relação que existe entre o tempo disponível para a jornada de trabalho e o volume da demanda que deve ser atendida dentro de um período considerado. A determinação do tempo máximo em que cada estação de trabalho deve operar para não comprometer a vazão de produção especificada no projeto.

#### II.4.1 O QUE É O TEMPO PADRÃO

[22] “determinar quanto tempo um homem plenamente apto gastaria na execução dessa tarefa, estabelecendo assim um tempo-padrão”.

O tempo necessário para uma pessoa qualificada e bem treinada trabalhando em ritmo normal, executar uma tarefa especificada. O resultado do estudo é o tempo-padrão que serve de base para o balanceamento dos postos da linha de produção, de forma a melhorar seu rendimento através da eliminação dos “gargalos” do processo [23].

#### II.4.2 QUAL O SIGNIFICADO DO GARGALO

Segundo [24] “Taylor estabeleceu um sistema baseado nas exceções: o supervisor não se preocupa com aquele funcionário que estivesse dentro do desempenho esperado ou dos padrões normais, mas sim com aquele que se afastasse desses padrões;”.

Para [25], o estudo do tempo de cada posto de trabalho da linha de produção deve evidenciar o gargalo, que pode comprometer o desempenho do processo.

Sempre que o tempo padrão estipulado for ultrapassado para um posto de trabalho fica evidente a necessidade ser estudado um novo método, ou transferência de atividades deste posto outros postos. O tempo é sem dúvida o recurso do processo que deve ser utilizado de forma a manter o equilíbrio entre o planejamento e a execução da vazão estipulada, caso contrário as metas não serão atingidas [26].

#### II.5 A PRODUÇÃO EM MASSA

Segundo [10], uma produção em massa é em sua essência um conjunto de atividades repetidas de modo a atender uma grande demanda. Para manter este tipo de processo com seus custos baixos em função do volume de produção, caso contrário a relação custo benefício inviabilizará a produção, o que pode comprometer a saúde financeira da organização por estar com parte de sua capacidade produtiva ociosa ou planejada de forma equivocada.

De acordo [10], “Processos de produção em massa são os que produzem bens em alto volume e variedade relativamente estreita, isto é, em termos dos aspectos fundamentais do projeto do produto”.

O tempo é um fator importante tendo em vista que reduzir os gargalos em um processo produtivo sempre estará ligado ao melhor aproveitamento do tempo das atividades. Os itens de controle do processo é outro fator impactante que solicita uma política adequada de forma a monitorar certas características do produto [27]. Os indicadores utilizados para gerir os procedimentos de produção são essenciais ao planejamento e controle dos processos nas empresas. Sua aplicação no planejamento possibilita o estabelecimento de metas quantificadas, o que provoca o desenvolvimento contínuo da organização.

Os indicadores de produção são essências para realizar a análise crítica do desempenho de cada linha, que demonstra se o resultado final da empresa foi alcançado, para que possa realizar a tomada de decisões e se necessário o replanejamento das atividades produtivas.

Para [14], o aumento das condições de competição entre as empresas no mercado mundial tem motivado o desenvolvimento de novos modelos de gestão empresarial, dos quais podemos citar os mais utilizados:

- Índice da qualidade;
- Metas de produção;
- Produtividade;
- Horas improdutivas por (manutenção, setup, falta de material, queda na demanda);
- Refugo de produto;
- Absenteísmo.

Todo indicador tem impacto direto no custo do produto ou serviço fornecido pela empresa para seus clientes. O indicador deve ser monitorado e controlado para proporcionar o correto desempenho do processo executado nas linhas de produção [10].

#### II.6 COMO REALIZAR O CONTROLE DO PROCESSO

Segundo [28], controlar uma “organização humana” significa detectar quais foram os fins, efeitos ou resultados alcançados.

Desta forma é necessário estabelecermos indicadores para efetivamente ser possível efetuar o controle no processo produtivo, estabelecendo o planejamento da produção. A evolução da competição entre as organizações no mercado mundial, tem levado ao desenvolvimento de outros modelos de gestão organizacional, cujas características principais são a melhoria contínua do processo buscando reduzir custo e aumentar o lucro [23].

#### II.7 O QUE É O TEMPO DE SETUP

Segundo [10], o tempo de setup é “definido como o tempo decorrido na troca do processo da produção de um lote até a produção da primeira peça boa do próximo lote”.

Pode-se investigar como melhorar a qualidade da troca de modelo através do estudo da rotina de trabalho. Para alguns tipos de máquinas pode ser fácil reduzir o tempo de setup a partir da análise das atividades buscando aperfeiçoar a operação.

O setup divide-se em duas categorias básicas de atividades interna e externa. As rotinas que ocorrem quando o equipamento não está em funcionamento são aquelas chamadas de interna, as atividades realizadas enquanto o equipamento está trabalhando é chamada de externa. Na prática é possível identificar formas de redução do tempo necessário para realizar o *setup*, pode-se determinar todas as etapas do processo como o tempo de preparação de material para alimentação e ajuste da máquina antes de iniciar as operações para o próximo modelo. Treinar a equipe que providenciará todas as atividades necessárias antes do início do *setup*, e o conhecimento do tipo de equipamento e qual o tempo estimado para realizar a manobra.

O treinamento dos operadores também contribui para reduzir o tempo total que é utilizado para realizar o *setup*. O estudo e balanceamento da distribuição dos componentes é fator importante para reduzir desperdícios e melhorar o processo. Atualizar os programas também contribui para a redução do tempo de *setup*, aumentando desta forma o tempo disponível para produção.

#### II.8 O QUE É O SEIS SIGMA

Várias empresas do PIM, desenvolvem projetos utilizando o Seis Sigma. Está é maneira que proporciona reduzir desperdícios e aumento dos lucros.

Para [29] “É possível definir o Seis Sigma como uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que tem como objetivo aumentar drasticamente a lucratividade das empresas”.

### II.8.1 QUAL O SIGNIFICADO DE “SIGMA”

A letra grega sigma tem seu uso em livros e fórmulas na Estatística e Matemática para definir diversos parâmetros.

[30] afirma que [31] “A variância (ou o desvio padrão) é uma medida da dispersão, ou espalhamento, dos valores da variável aleatória em torno da média, se os valores tendem a estar concentrados próximos da média, a variância é pequena”.

No programa Seis Sigma, quanto maior for o “nível sigma”, menor será a variação o que possibilita menor quantidade de defeitos, a meta é chegar a 6 Sigma equivale a 3,4 partes por milhão [32]; [29].

Quando produtos ou serviços são elaborados e produzidos com o nível Seis Sigma, é possível obter-se 99,99966 por cento de certeza de que eles não falharão, e desta forma o resultado financeiro da organização será o melhor em termos de custo e lucratividade [33].

### II.8.2 A INFRAESTRUTURA PARA O SUCESSO

Segundo [29] “A empresa deverá executar projetos que resultem tanto em benefícios externos quanto internos: aumento da satisfação dos clientes/consumidores e incremento da eficiência e eficácia dos processos internos” O benefício do Seis Sigma reside na metodologia de implementação e em seu uso adequado e das técnicas estatísticas [34] bem como das ferramentas que são utilizadas na aplicação da metodologia. De acordo com [29] “Para que o Seis Sigma tenha sucesso na empresa, é necessário treinar pessoas com perfil apropriado que se transformarão em patrocinadores do programa ou especialistas no método e nas ferramentas Seis Sigma.”

O resultado do treinamento de pessoas envolvidas no programa tem como objetivo conseguir um desempenho muito além do que outros programas podem efetivamente propiciar.

Os *Green Belts* desenvolvem tarefas básicas que podemos resumir de duas formas: liderar pequenos projetos de melhoria em suas respectivas áreas de atuação e auxiliar os *Black Belts* na

coleta de dados e no desenvolvimento de experimentos. A figura 2 mostra a Hierarquia Seis Sigma. Segundo [29] as organizações investem em seus colaboradores desde o mais alto executivo até os que executam as tarefas mais simples. O foco principal é conduzir, incentivar e supervisionar as iniciativas Seis Sigma em toda a organização. O colaborador responsável por implementar o programa deve desenvolver um plano para disseminar e desenvolver os seis sigmas por todos os setores e níveis hierárquicos na empresa. É seu dever selecionar os executivos (diretores e gerentes) para desempenhar a função de *Champions* (“Campeões”) na organização. O foco principal dos mesmos é coordenar equipes multifuncionais capazes de desenvolver projetos específicos de melhoria e de redução de custos. Os *Champions* são os responsáveis por pavimentar o caminho das mudanças para a integração de resultados.

Os *Black Belts* (Faixas Pretas), devem dedicar 100% do seu tempo ao programa, conduzindo de 4 a 6 projetos por ano de acordo com o porte da organização, que devem gerar melhorias de milhares de reais por projeto, buscando a redução de custos, melhoria dos tempos de ciclo do produto ou serviço [29].

Ser engenheiro ou administrador e possuir sólidos conhecimentos de estatística é imprescindível saber o que é média, desvio-padrão, teste de correlação, análise de variância, um outro fator é a compreensão da língua inglesa. Nas organizações, a figura do *Master Black Belt*, que, também dedica tempo integral, para assessorar os *Champions* na escolha de projetos de melhoria, coordenando o trabalho dos *Black Belts*.

Os chamados *Green Belts* (Faixas Verdes). São colaboradores de toda a organização que dedicam uma parte do seu tempo nas organizações para os projetos Seis Sigma. A responsabilidade dos *Green Belts* no programa é menor envolvimento é em geral restrito a projetos diretamente relacionados ao seu dia-a-dia de trabalho. Os *Green Belts* são treinados de maneira mais simplificada quando comparados aos *Black Belts* [29].

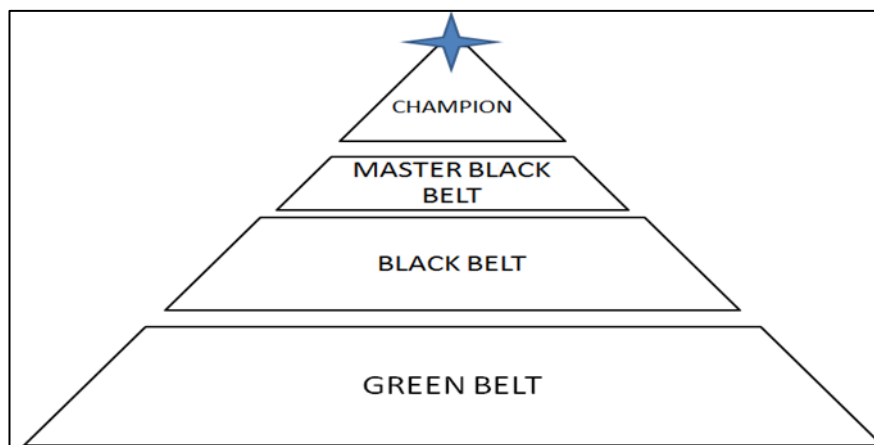


Figura 2: Hierarquia Seis Sigma.

Fonte: [29].

### II.8.3 A METODOLOGIA DMAIC

Para [29] os desenvolvimentos desses projetos são realizados com base em um método denominado DMAIC. O Seis Sigma é dividido em cinco fases ou estágios básicos para que se

obtenha um desempenho adequado no processo, divisão ou empresa. Essas cinco fases são conhecidas pela sigla DMAIC: **Define** (definir), **Measure** (medir), **Analyse** (analisar), **Improve** (melhorar) e **Control** (controlar). A integração das ferramentas Seis Sigma ao DMAIC é sintetizada na figura 3.

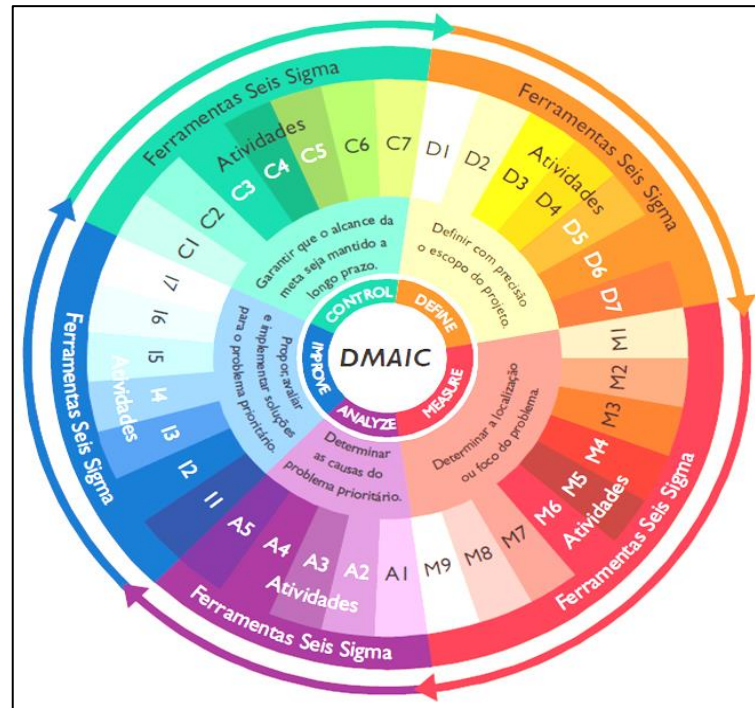


Figura 3. Integração das ferramentas Seis Sigma ao DMAIC.  
Fonte: [29].

Segundo [29] o método DMAIC está dividido em cinco etapas descritas a seguir.

**Definir:** é nesta etapa que identificamos os problemas de maior impacto no processo de maneira clara as necessidades e objetivos do projeto, as ferramentas utilizadas são:

- Pesquisa, entrevista, com os colaboradores da área estudada;
- A função qualidade QFD para coletar o nível da qualidade;
- Mapeamento do processo através do levantamento do fluxo das atividades.

**Medir:** esta etapa serve para validar o problema e medir seu impacto no processo que

Está em estudo:

- Estratificação, coleta de dados para identificar os problemas;
- Gage R&R, compara a Reprodutibilidade e Repetibilidade do processo;
- Diagrama de quatro blocos evidencia o resultado em forma de cubo.

**Análise:** é a etapa na qual identificamos as causas vitais (*Vital Few*) e validamos as hipóteses:

- Gráfico Causa e Efeito “*Ishikawa*”;
- Árvore lógica visualiza as diversas ramificações das soluções encontradas;
- Inter-relação demonstra se existe relação forte ou fraca entre variáveis estudadas;
- Gráficos demonstrar resultados obtidos;
- Inferência estatística utilizada para realizar tomada de decisão.

**Melhoria:** é a fase na qual é desenvolvida e executada a ideia principal para eliminar a principal causa e medir o efeito da solução aplicada:

- DOE (Design of Experiments), Planejamento de Experimentos.

**Controle** etapa utilizada para padronizar a solução aplicada, estabelecer o padrão e medição do fator de controle para manter a performance alcançada:

- Gráficos usados para demonstrar resultados obtidos;
- Carta de controle utilizada para monitoramento de processos críticos.

## II.9 O CONCEITO DE PROBABILIDADE

Para [30] “Em qualquer experimento, há sempre uma incerteza sobre a ocorrência ou não de um determinado evento. Para uma medida da chance ou probabilidade com a qual podemos esperar que o evento ocorra, e conveniente atribuir um valor entre 0 e 1”.

### II.9.1 A MÉTRICA DO SEIS SIGMA

A métrica do Seis Sigma, busca de forma adequada estudar os processos de forma sistêmica, mais qual é o significado do Sigma e do Nível de Sigma [29].

Para [30] “Um dos mais importantes exemplos de distribuição de probabilidade contínua é a distribuição normal, algumas vezes chamada de distribuição Gaussiana”.

O Sigma é um termo estatístico para o Desvio Padrão, mostra como os valores individuais estão espalhados em relação a um valor central de uma população, caracteriza o tamanho da variação [30].

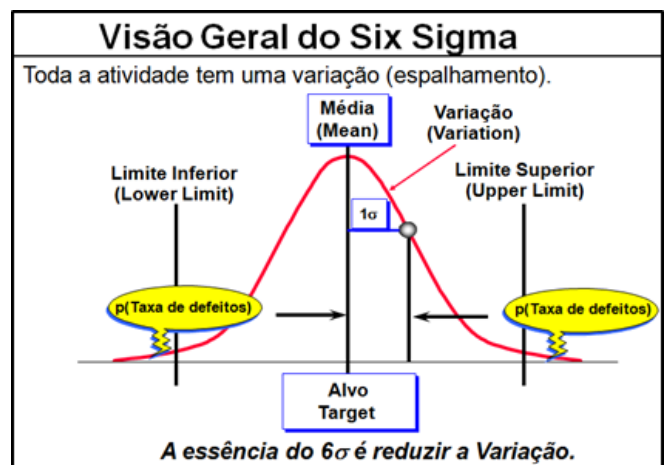


Figura 4: Curva de distribuição normal.  
Fonte: Autores, (2018).

Nível de Sigma ( $Z$ ) é uma medida usada para indicar quantos desvios padrões estão alocados da média até os limites de especificação quando a característica de qualidade é o desvio padrão. Baixa variação no processo significa grande nível de sigma.

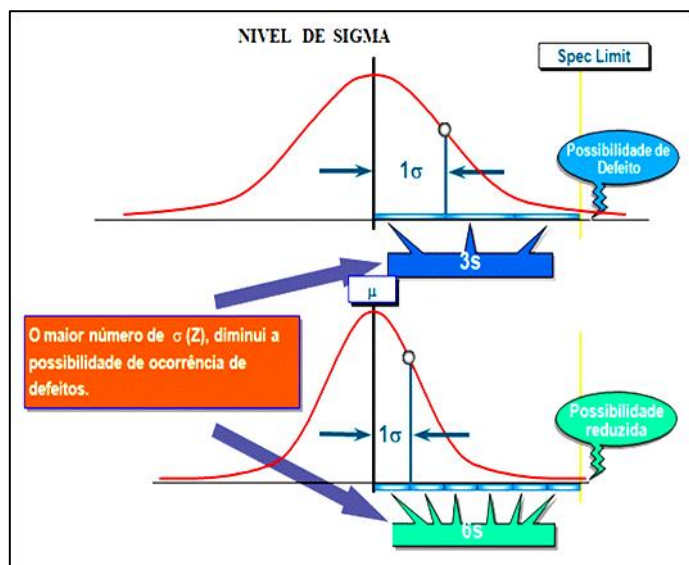


Figura 5: Nível de sigma.

Fonte: Autores, (2018).

Segundo [29] “A escala é usada para medir o nível de qualidade associado a um processo, transformando a quantidade de defeitos por milhão em um número na Escala Sigma. Quanto maior o valor alcançado na Escala Sigma, maior o nível de qualidade”.

O Seis Sigma utiliza alguns conceitos para realizar a análise dos dados coletados em um processo produtivo:

- A população é uma coleção de valores observados ou medidos em todos os indivíduos sobre todo o grupo de estudo, volume de produção diária, taxa de defeito de um determinado produto ou serviço [30].
- Amostra é uma quantidade de valores observados ou medidos de forma aleatória, a partir de uma população que recebeu um tratamento estatístico [30].
- A média de  $n$  valores observados, é calculada dividindo a soma dos valores observados pelo número de observações. A média é sensível a Pontos discrepantes (*outliers*) [30].
- O Quartil é o valor correspondente a divisão dos dados em quatro partes quando são colocados em ordem.
- Q1: Primeiro quartil = valor correspondente a 25% -  $(n+1)/4$ .
- Q2: Segundo quartil (mediana) = valor correspondente a 50% -  $(n+1)/2$ .
- Q3: Terceiro Quartil = valor correspondente a 75% -  $3(n+1)/4$ .

[30] afirma que “A variância (ou desvio-padrão) é uma medida da dispersão, ou espalhamento, dos valores da variável aleatória em torno da média  $\mu$ ”.

## II.10 DISPOSITIVOS DE MONTAGEM DE SUPERFÍCIE (SMD)

### II.10.1 TIPOS DE MÁQUINAS DE MONTAGEM DE COMPONENTES DE SUPERFÍCIE

Como Strauss comenta em seu trabalho, as máquinas de pegar e montar (*pick-and-place machine*) são os equipamentos

que montam os componentes SMD nas placas de circuito impresso e são responsáveis pelas seguintes tarefas:

1. Pegar o componente correto de uma posição selecionada de um dos alimentadores;
2. Montar na posição correspondente ao tipo de componente adquirido de maneira correta e com a polaridade correspondente.

Estas tarefas ficam mais evidentes e demandam um nível de complexidade cada vez maior com o aumento da variedade de componentes e com a miniaturização cada vez maior dos mesmos, fazendo com que as trilhas e ilhas da PCI sejam projetadas para serem cada vez menores e encurtando a distância entre os componentes montados. Alguns componentes como o *Metal Electrode Leadless Face* (MELF) está sendo miniaturizado, enquanto que outros componentes como o *Quad Flat Package* (QFP) estão aumentando em tamanho pelo fato do aumento do número de terminais devido à da integralização cada vez maior de funções em um circuito integrado, como por exemplo, os microcontroladores para sistemas embarcados. Minimelfs (0204=3,6×1,4 mm) e micromelfs (0102=2,0×1,1 mm) já são amplamente aplicados devido às suas características de confiabilidade, porém por possuir um formato cilíndrico, a montagem deste tipo de componente necessita ser tratada de forma diferenciada dos demais.

Em contraste, o *Plastic Leaded Chip Carrier* (PLCC) e o QFP aumentaram em tamanho atingindo dimensões além de 29,4 mm. São estas demandas que impulsionam o desenvolvimento de nos equipamentos capazes de realizar a montagem em meio às tendências do desenvolvimento dos componentes.

Dependendo do procedimento de soldagem da placa, seja ele por solda à onda ou solda por refusão, o método de montagem deve ser seguido por um processo a mais. No processo de solda à onda antes da montagem dos componentes SMD é necessário depositar um adesivo entre as ilhas ou *pads* (parte exposta do cobre da placa em contato com o terminal do componente), e logo em seguida a placa passa por um processo de cura onde o adesivo enrijece e mantém os componentes na posição correta, somente após o processo de cura é que as placas podem passar pelo processo de soldagem. Com relação ao método de soldagem SMD, é necessário depositar a solda em forma de uma pasta cobrindo o *pad* como um todo utilizando uma máscara, como em um processo de serigrafia. Logo em seguida a montagem é iniciada e após seu término a placa passa por um forno de refusão onde resistências elétricas de alta potência fornecem calor que é direcionado para a placa através de ventiladores instalados dentro do forno.

Ao realizar um comparativo entre os processos THT e SMT, pode-se observar que o processo de montagem SMT é mais simples, pois uma única máquina pode montar uma grande variedade de componentes enquanto que no processo THT existem máquinas específicas para os tipos de componente, por exemplo, para componentes radiais e axiais duas máquinas são necessárias.

As máquinas de montagem de componentes em superfície (SMD) podem ser divididas de acordo com as características desenvolvidas para atender os requisitos de montagem. A máquina denominada como modelo básico e modelo de alcance médio é composta por até 100 alimentadores capazes de comportar uma variedade de tipos de embalagem como o rolo, a vareta e a bandeja de componentes.

Como uma linha é composta por várias máquinas os alimentadores podem ser montados individualmente com qualquer tipo de embalagem observando a limitação física dos espaços dos mesmos. Ainda como característica os alimentadores são montados em suporte móveis conhecidos como carrinhos de

alimentação que são facilmente trocados fazendo com que o posicionamento dos alimentadores em um setup de linha seja feito antecipadamente. Basicamente as máquinas do modelo básico e médio são compostas por uma única cabeça de montagem e são conhecidas como “*pick-and-place machines*” (máquinas de aquisição e montagem), cuja característica de montar um componente por vez confere uma capacidade de montagem de componentes por hora - CPH de até 4.000 posições, porém levando em consideração o movimento realizado pela cabeça entre as posições de aquisição e de montagem e do início e parada de movimentos, na prática, este valor é reduzido para 2.400. Já nas máquinas de modelo Premium a quantidade de cabeças aumenta e até mesmo o tipo de cabeça muda para adquirir mais componentes em uma só operação, com isto, o CPH destas máquinas atinge facilmente valores superiores a 40.000.

Além das máquinas de montagem mencionadas anteriormente é possível distinguir outras três categorias que são divididas em:

- Máquinas de montagem de terminais próximos: A sua acuracidade de montagem varia em torno de  $0.4\text{ mm}$  e é capaz de montar componentes de até  $55\text{ mm}^2$ , o que representa uma acuracidade alta em termos de posicionamento XY e rotacional. Esta característica é proveniente dos controles de imagem do posicionamento dos componentes e reconhecimento do posicionamento da placa antes da montagem, esta rede de sensoriamento faz com que seja possível ajustar a posição do componente e a força com que o mesmo é montado na placa. Geralmente são compostas de uma única cabeça de montagem com atuadores únicos ou múltiplos para realizar a aquisição dos componentes;
- Máquinas de montagem de chips de alta velocidade: Os diferentes fabricantes usaram métodos distintos para desenvolver este tipo de máquina. Um exemplo pode ser dado de um sistema onde a cabeça de montagem é do tipo tambor ou rotacional composta de até 12 *nozzles* (atuador pneumático que utiliza o vácuo para pegar o componente), cada um adquirindo um tipo de componente. Para o caso de máquinas com duas cabeças na mesma configuração, o acesso às posições de montagem da PCI é feito separadamente, ou seja, enquanto a primeira cabeça está pegando os componentes a segunda está montando os componentes do ciclo anterior e vice-versa, isto é feito para evitar colisões entre as mesmas. Para montagem de componentes com muitos terminais, ao invés de duas cabeças apenas uma pode ser usada e outra cabeça para deposição de adesivo pode ser instalada para aplicações mistas de placas THT e SMD.
- Máquinas de montagem de velocidade muito alta: Estas máquinas de alto desempenho podem atingir um CPH que varia entre 20.000 a 60.000 variando o número de módulos que constituem a máquina e por consequência o número de cabeças. As cabeças destas máquinas operam nos eixos XY cada uma montando regiões diferentes da mesma PCI. Já existe uma máquina onde duas cabeças acessam simultaneamente a PCI para realizar o procedimento de montagem.

Para [35]; [36] realizaram um trabalho de pesquisa onde classificam os diferentes tipos de máquina de montagem de componentes SMD de acordo com as suas características tais como: entrega dupla, multi-estações, tipo roleta, multi-cabeças e *pick-and-place* sequencial. De acordo com essa classificação os métodos heurísticos são associados para melhor descrever o seu funcionamento e obter o ponto ótimo de operação [37].

[38] apresentam a estrutura da máquina de montagem de componentes SMD modular modelo GXH-3, produzida pelo

fabricante Hitachi. Devido a sua característica modular de multi cabeças e dois braços robóticos de montagem por módulo, a sua capacidade de montagem pode atingir 95.000 chips por hora [39];[40]. Outro fator que torna esta máquina atrativa quanto à qualidade e acuracidade de montagem é devido ao reconhecimento da imagem do componente depois do *pickup* (*gang-fly recognition*) de modo a visualizar todos os componentes de todas as cabeças de montagem faz com que a mesma seja amplamente aplicada no mercado. Entre todas as características a otimização realizada nos movimentos da cabeça de montagem e da sequência de montagem são aprimoradas com a adição da otimização da angulação dos componentes sem polaridade (ex: resistores, indutores e capacitores cerâmicos). O software de balanceamento de máquinas também incorpora o sistema com o objetivo de redução do tempo de setup.

## II.10.2 MATEMÁTICA APLICADA A PROBLEMAS DE COMBINAÇÃO EM MÁQUINAS SMD

A programação linear foi introduzida para representar por meios matemáticos os problemas reais. A programação linear tem como objetivo minimizar uma função linear sendo o domínio, ou seja, o espaço de busca definido por um poliedro [41], em outras palavras, as restrições são funções que limitam o espaço de soluções e descrevem um poliedro fechado e a função objetivo remonta o processo principal a ser estudado onde a maximização ou minimização de um critério descrito pela função objetivo se torna o alvo da pesquisa [42]. O método da eliminação Fourier-Motzkin introduzido no século XVIII, foi um dos primeiros a aplicar um algoritmo aplicando os conceitos da programação linear. Com o advento das indústrias, vários problemas surgiram e a programação linear foi empregada para resolvê-los.

Este campo é conhecido como pesquisa operacional e envolve problemas como o de fluxo de rede e problemas de multi-comodites. Existem casos onde a solução exige que o resultado pertença ao conjunto dos números inteiros. Para estes casos o problema de programação linear é transformado para adaptar-se a esta condição, onde as variáveis pertencem ao conjunto dos números inteiros e as restrições são modificadas para refletirem um espaço de soluções de números inteiros.

Quando temos variáveis inteiras e variáveis contínuas que definem o mesmo problema de otimização temos o que é conhecida como Programação Inteira Mista. Um algoritmo clássico proposto por [43] em seu trabalho intitulado “*An Automatic Method of Solving Discrete Programming Problems*” um limite inferior e um limite superior são determinados, onde tais limites definem o espaço de busca para realizar a otimização. Com efeito, esta delimitação faz com que qualquer solução fora do intervalo seja descartada e o algoritmo alcance a convergência em um tempo aproximadamente polinomial. Tal procedimento é aplicado a problemas clássicos de otimização como o do caixeiro viajante e o problema da mochila.

Assim como problemas que envolvem a pesquisa operacional, os problemas de combinação são os mais presentes no âmbito industrial e para descrevê-los a teoria de atribuição foi desenvolvida como forma de modelagem matemática. Como apresentado por [44], os problemas de atribuição podem ser generalizados como sendo a atribuição de  $n$  tarefas a  $m$  agentes e que seja garantido que apenas uma tarefa seja atribuída a um agente apenas e que todas as tarefas sejam atribuídas. O processo de atribuir uma tarefa  $n$  a um agente  $m$  gera certo custo denominado  $c$ . Os problemas de atribuição lidam com a questão de como atribuir  $n$  itens, por exemplo, tarefas a  $m$  máquinas ou trabalhadores da melhor maneira possível. Estes problemas



consistem de dois componentes: a atribuição que se apresenta na forma de uma estrutura combinatorial e a função objetivo que indica o melhor caminho. Um problema clássico do âmbito industrial que envolve a aplicação de uma variação do problema de atribuição é o problema da cadeia de fornecimento também conhecido como problema de transporte. Neste caso é aplicado o problema de atribuição quadrática, onde ao atribuir a tarefa  $n$  ao agente  $m$  deve ser considerada a distância entre os pares e o fluxo de demanda entre os mesmos.

Uma variação do problema de atribuição que tem como objetivo encontrar a menor distância é mais conhecido como problema do caminho mais curto. A estes casos podem ser aplicadas técnicas de fluxo de rede onde o problema pode ser representado através de um gráfico onde o fluxo mais curto encontrado representa a solução. Na pesquisa de [45] as diversas propriedades da representação gráfica do fluxo de rede são provadas e algumas propriedades foram demonstradas por [46]. Para que haja um caminho em um gráfico definido por um poliedro é necessário que todos vértices do poliedro sejam tomados em pares conectados por uma aresta. O teorema de [47] descreve as condições necessárias para que ocorra a máxima correspondência em gráficos delimitados pela forma geométrica de um poliedro.

Os algoritmos mais empregados para determinação de um fluxo de rede foram desenvolvidos por [48], [49] e [50]. Este algoritmo ficou conhecido como algoritmo de [48] e trata problemas onde existe a possibilidade das arestas apresentarem valores negativos. Para os casos onde o problema apresenta somente valores de arestas positivos o algoritmo de [51] é o mais indicado.

### III MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em três etapas:

- Baseado na observação do processo com elaboração de seu fluxo conforme a figura – 6.
- Coleta de dados através de formulário para registro das atividades e tempo conforme formulário.

A Análise dos dados está baseada nas informações presente nos registros gerados durante o estudo, e do tempo de ciclo de máquinas e produtos conforme formulário padrão da empresa.

As ferramentas utilizadas neste estudo são as do Seis Sigma focado no estudo das atividades internas e externas do setup com relação ao tempo de execução das mesmas bem como as restrições de cada uma representa no processo produtivo.

Para a realização do estudo foi muito importante o registrar de maneira simplificada as atividades realizadas no processo de *setup*, a identificação das atividades internas e externas e os tempos necessários para sua realização foram registradas conforme formulário. Através dos registros foi possível identificar os gargalos presentes nas atividades internas e entender porque elas eram realizadas de forma aleatória.

Identificar as atividades externas e o tempo necessário para sua realização. Tanto nas atividades internas como nas externas o fator principal foi ouvir os colaboradores sobre porque as executavam de forma aleatória.

### IV APLICAÇÃO DO FLUXO DO PROCESSO

A empresa do PIM está presente no Brasil desde 1986, a unidade brasileira obteve uma receita de US\$ 1,6 bilhão em 2006, sede para a América Latina, o Brasil é o país mais representativo

para a empresa na região, onde está presente desde 1978 e conta com operações no Panamá, Colômbia, Peru, Chile e Argentina. Reconhecida globalmente pelo desenvolvimento de produtos de alta tecnologia e design avançado, a uma empresa do PIM possui dois centros de Pesquisa & Desenvolvimento na América Latina. Com mais de 1.900 funcionários no Brasil, atua em diversos segmentos dos mercados de Telecomunicações, Tecnologia da Informação (TI) e Eletrônicos de Consumo (CE). Na área de Telecom, possui um portfólio completo de aparelhos celulares; em TI, são quatro categorias:

- Monitores (Tubo e LCD);
- Soluções de impressão (impressoras e multifuncionais);
- Discos rígidos (HDD);
- Discos ópticos (ODD).

A área de CE é dividida em Áudio & Vídeo e Linha Branca. Em Áudio & Vídeo, comercializa televisores (Tubo, Tubo Reduzido, Plasma, LCD, DLP), tocadores de música digital (MP3 Player), tocadores e gravadores de DVD, sistemas de Home Theater e filmadoras. A Linha Branca é composta por refrigeradores, lavadoras de roupa, aspiradores de pó e adegas climatizadas.

### IV.1 MAPEAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO

O processo de fabricação que foi analisado no estudo de caso está baseado em uma linha de montagem SMT utilizando uma *screen printer* DEK, uma *chipshooter* Fuji XP-143E, que realiza a montagem da placa mãe da TV e um forno de refusão BTU modelo VIP98. Inicialmente o processo todo leva em média 80 minutos nas atividades internas do setup e não havia um tempo estimado ou meta para a realização das atividades externas. O tempo médio do setup é o resultado da forma aleatória de execução do conjunto das atividades internas e externas resultando em perda de produção o que não é satisfatório ou esperado pela empresa.

O conceito de Nível de Sigma do processo nos fornece quantas vezes o desvio padrão está distante do centro do limite das especificações. Este conceito é aplicado quando as características de qualidade seguem a distribuição Normal, para tanto um processo com pouca variação, é o indicativo de nível de sigma maior.

A tabela 1 apresenta como é possível calcular o nível de Sigma de um processo no qual o tempo de setup atual é de 80 minutos com duas trocas por semana, o que representa 3.57 Sigma.

O nível de Sigma esperado é de 3.94, o que representa um tempo de 30 minutos com duas trocas de modelo por semana como são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Nível de Sigma Atual do Setup.

MUDANÇA DE MODELO POR SEMA	TEMPO DE SETUP EM MINUTOS		MINUTOS POR SEMANA	PPM	NIVEL DE SIGMA
2	META	30	8280	7246	3,94
	ANTES	80		19324	3,57
	DEPOIS				

Fonte: Autores, (2018),

Como nenhum estudo havia sido realizado, a maneira utilizada foi empírica e foi estabelecida de forma arbitrária, que as atividades do setup não fossem superior a trinta minutos considerando um processo com duas trocas por semana o que resultaria em um total de 60 minutos do tempo total disponível, contra os atuais 160 minutos, considerando 80 minutos em dois setups por semana como está demonstrado na tabela 1.

O mapeamento deste processo levou ao questionamento sobre a metodologia e sistemas de trabalho utilizados. A figura 6 proporciona uma visão geral de como as atividades eram realizadas sem ter como identificar claramente quais atividades eram realizadas como internas e quais poderiam ser efetuadas com externas, ou seja quais deveriam ser efetuadas somente após o termino do modelo que estava passando seguindo o plano de

produção e quais deveriam ser realizadas antes das máquinas pararem. O conceito de atividades internas e externas não estava claro aos colaboradores, portanto foi necessário realizar reuniões e palestras para que todos colaborassem com ideias e sugestões sobre quais atividades poderiam ser realizadas antes do setup das máquinas para troca de modelo ser realizado.

A figura - 6 ilustra a linha de montagem SMD composta *Screen printer* DEK está responsável pela qualidade e quantidade da pasta de solda que será o elo de ligação mecânica e elétrico entre os componentes eletrônicos e a placa de circuito impresso, em seguida uma *Chipshooter* Fuji XP-143E é a máquinas responsável pelo posicionamento dos componentes na placa e por fim o Forno de refusão BTU VIP98 de 7 zonas de aquecimento que é responsável pela soldagem dos componentes.

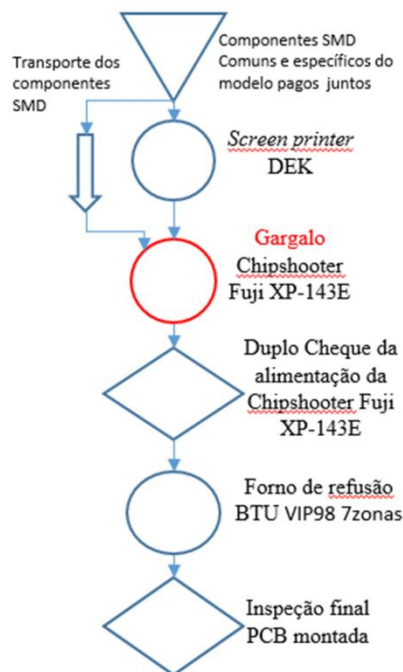


Figura 6: Fluxo do processo de produção SMD.  
Fonte: Autores, (2018).

Após o levantamento deste fluxo foi possível analisar através do diagrama de causa e efeito (*ISHIKAWA*), apresentar a seguir algumas das possíveis causas na demora da troca de

modelo (*setup*). O plano de ação foi baseado nesta análise conforme mostra a figura 7.

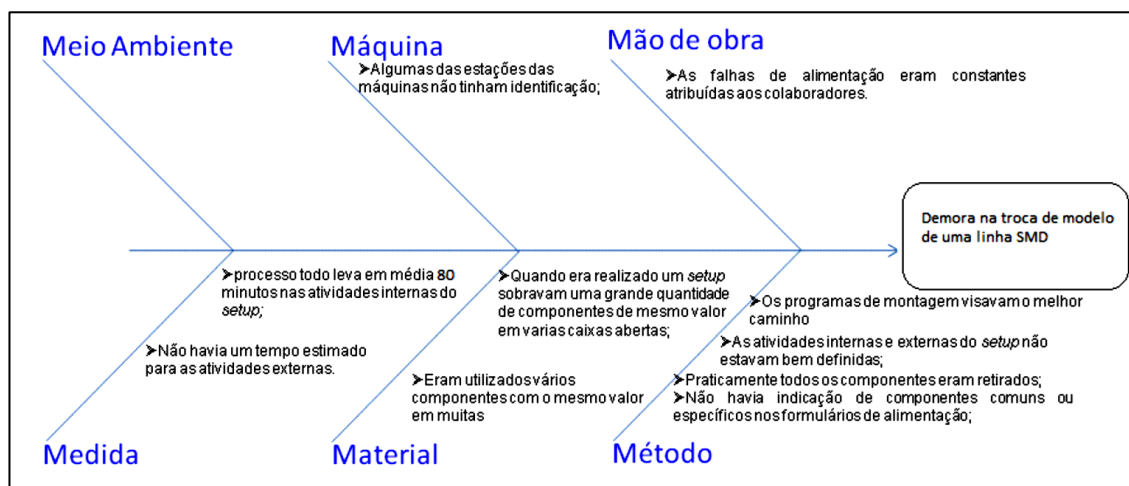


Figura 7: Diagrama 6M.  
Fonte: Autores, (2018).

## IV.2 ITENS DO DIAGRAMA 6M

## 1. Método

- a) Os programas de montagem visavam o melhor caminho para posicionar os componentes;
- b) As atividades internas e externas do setup não estavam bem definidas;
- c) Praticamente todos os componentes eram retirados;
- d) Não havia indicação de componentes comuns ou específicos nos formulários de alimentação;

## 2. Máquina

- a) Algumas das estações da máquina não tinham identificação das estações;

## 3. Material

- a) Quando era realizado um setup sobrava uma grande quantidade de componentes de mesmo valor em várias caixas abertas;

- b) Eram utilizados vários componentes com o mesmo valor em muitas estações;

## 4. Mão de Obra

- a) As falhas de alimentação eram constantes atribuídas aos colaboradores.

## 5. Medida

- a) Inicialmente o processo todo leva em média 80 minutos nas atividades internas do setup;
- b) Não havia um tempo estimado para as atividades externas, após o levantamento de dados o tempo ficou em média 107 minutos.

O resultado da análise dos dados foi utilizado para refazer a lista de alimentação e alimentar um aplicativo específico que gera a programação de máquinas de inserção automática SMD a tabela 2 apresenta os dados dos tempos de setup e nível de sigma.

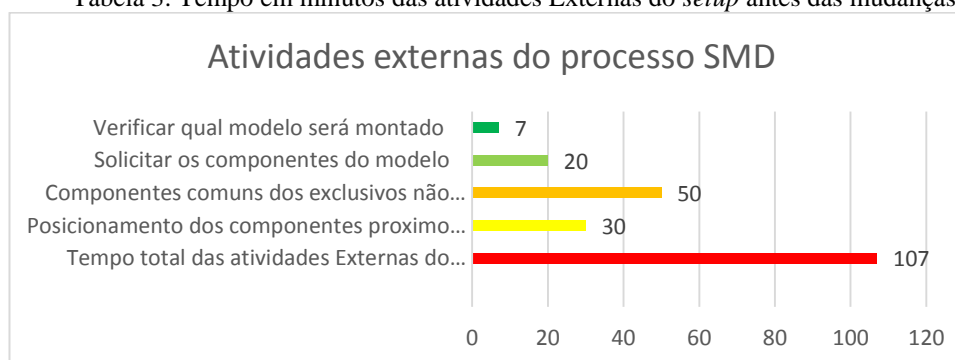
Tabela 2: Nível de sigma do processo SMD

Modelo	Máquina	Meta	NÍVEL DE SIGMA ESPERADO	Tempo de setup minutos	NÍVEL DE SIGMA ATUAL
A	Printer	30	3,97	35	3,89
	chipsoohter	30		46	3,79
	Reflow Oven	25	4,01	25	4,01
B	Printer	30	3,97	35	3,89
	chipsoohter	30		80	3,57
	Reflow Oven	25	4,01	25	4,01
C	Printer	30	3,97	35	3,89
	chipsoohter	30		44	3,80
	Reflow Oven	25	4,01	25	3,89

Fonte: Autores, (2018).

O caminho atual (*Path*) está baseado no uso de componentes de mesmo valor em várias estações, o que requer uma grande quantidade de itens, desta forma o tempo necessário para realizar uma troca de modelo com uma equipe de dois colaboradores era superior a 80 minutos nas atividades internas, o modelo selecionado para a realização do estudo de caso foi o B. A

tabela 2, contém os tempos de setup esperado e atual para três modelos de maior volume de produção no departamento de inserção automática. O modelo foi o escolhido como foco do estudo mantendo o mesmo processo de produção em utilizando uma máquina de inserção automática Chipsoohter.

Tabela 3: Tempo em minutos das atividades Externas do *setup* antes das mudanças.

Fonte: Autores, (2018).

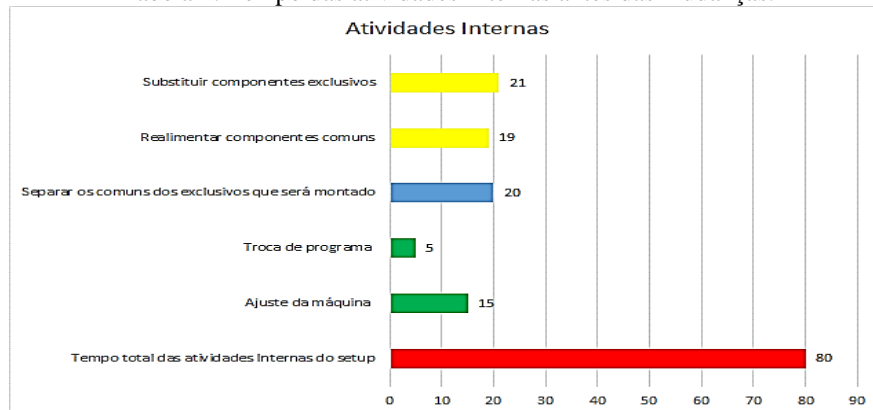
O levantamento das atividades externas mostrou que a média do tempo total de todas as atividades é de aproximadamente 214 minutos considerando duas trocas por semana. Com base nos registros do formulário de produção, foi possível verificar quais as atividades eram efetuadas antes da parada das máquinas efetivamente para poder realizar a troca de

componentes de um modelo para outro. O mapeamento tornou evidente que muitas atividades externas eram realizadas no momento em que somente deveriam ser executadas as atividades internas o que resultava em um aumento do tempo de setup como apresenta a tabela 3. A atividade de verificar qual o modelo seria montado e quais as condições do programa que seria utilizado era

um caso típico de inversão de atividades. O levantamento das atividades internas mostra que a média do tempo total é de 80 minutos, em função das atividades serem executadas de forma aleatória quando o mais adequado seria a utilização de uma lista

de verificações, para evitar o desencontro de informações e conflitos desnecessários, a tabela 4 apresenta o Tempo em minutos das atividades Internas do *setup*.

Tabela 4: Tempo das atividades Internas antes das mudanças.



Fonte: Autores, (2018).

### IV.3 O PLANO DE AÇÃO PARA REDUZIR O TEMPO DE SETUP

Uma vez que a situação foi analisada utilizando-se a ferramenta de Diagrama de Causa e Efeito (*Ishikawa*) foi desenvolvido o plano de ação para eliminar as causas da demora no *setup*. O planejamento permite considerar todas as tarefas a serem executadas. Para realizar as mudanças necessárias para que o problema seja eliminado ou atenuado, para que desta forma possa ser monitorado e controlado de maneira que o desperdício seja reduzido.

Para [10] “A série ISO 9000 formas um conjunto de padrões e procedimentos”. A organização deve promover a competência, conscientização e treinamento de seus colaboradores, desta maneira as grandes transformações podem ocorrer no processo produtivo. [1] afirma ainda que “Liderança é a característica que se espera do gerente, chefe ou supervisor e que deve ser demonstrada na condução do processo produtivo”. O papel do líder é de informar e influenciar de forma a conduzir todas as etapas planejadas. Cada colaborador deve estar

plenamente consciente sobre suas responsabilidades para que o planejamento feito tenha o efeito desejado. A condução das pessoas para vencer barreiras com as quais elas convivem no ambiente de trabalho diariamente requer habilidade e bom relacionamento [14].

A forma como o ser humano estabelece a comunicação é um processo complexo, emitir uma mensagem para outra pessoa e desta maneira levá-la a agir coerentemente com a mensagem, pode parecer algo muito simples, entretanto é um processo que pode sofrer influência de vários fatores que desta maneira nele interferem [14].

As atividades de aprendizagem e instrução de colaboradores requer um comportamento relacionado de forma íntima com as ações que devem provocar uma reação em cadeia de sinergia em torno do pensamento em comum que é mudar uma situação de não conformidade, por meio de palestra e reuniões como ilustra a figura 8.



Figura 8: Reunião sobre o Plano de Ação.

Fonte: Autores, (2018).

#### IV.3.1 ANTES DE INICIAR A REUNIÃO

Preparar a agenda com os tópicos que serão abordados;  
Todas as informações necessárias para cada tópico devem estar disponíveis;

O foco da reunião deve ser mantido, não é adequado participar de reuniões, que não precisem de sua presença ou contribuição;

Determine o resultado a ser obtido com a reunião;

Uma única reunião não irá resolver todos os problemas da organização;

Somente tópicos que podem trazer resultados devem fazer parte da agenda.

#### IV.3.2 DURANTE A REUNIÃO

Manter o foco da reunião é prioritário;

A agenda dever seguida, não é bom acrescentar nenhum novo tópico;

Respeite o tempo dos presentes, iniciar e terminar na hora combinada;

Assegurar a participação de todos possibilitando que expressem sua opinião sobre os tópicos abordados;

Comece a reunião na hora marcada, e termine dentro do tempo acordado com ou sem a presença de todos os convocados.

#### IV.3.4. APÓS A REUNIÃO

Planejar os próximos passos e execute os que foram planejados, usar todos os recursos disponíveis para informar os resultados de forma a manter os colaboradores atualizados sobre o andamento dos próximos passos. O quadro 1 apresenta o plano de ação de forma rápida as atividades a serem executadas, quem deve realizar o trabalho, porque deve ser executado, como ou qual o método deverá ser utilizado e onde ser realizada cada atividade planejada.

Quadro 1: Plano de Ação.

O QUÊ	QUEM	QUANDO	ONDE	PORQUE	COMO
Padronizar a quantidade de componentes comuns de mesmo valor	Programador	Janeiro a março 2018	Inserção automática (SMD)	O objetivo é reduzir a quantidade componentes	Fazer novos programas da máquina de inserção SMD
Separar componentes comuns de exclusivos					
Trocar somente os componentes exclusivos	Programador	Janeiro à Março 2018	Inserção automática (SMD)	O objetivo manter componentes comuns.	Refazer as listas de alimentação separando os componentes comuns, dos componentes exclusivos
Manter componentes comuns durante o <i>setup</i>					
Separa as atividades internas e externas do <i>setup</i> .	Líder de Processo	Janeiro a março 2018	Inserção automática (SMD)	Objetivando antecipar requisição de materiais	Desenvolvendo procedimento para o <i>setup</i>
Identificar as estações das máquinas				Evitar erros de alimentação	Renovar as etiquetas das estações
Realizar reuniões da qualidade para reduzir as falhas de alimentação					As lista de alimentação devem ser atualizadas
Reduzir tempo de <i>setup</i> para 30 minutos				Melhorar o desempenho proporcionando maior produtividade	Treinar equipe de operadores para realizar <i>setup</i>

Fonte: Autores, (2018).

#### IV.4.1 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS

O caminho que determina a sequência de montagem é chamado (*Path*) foi otimizado para estabelecer as estações de componentes comuns entre os modelos e também os componentes exclusivos. A meta é reduzir o tempo gasto na troca de modelo para 30 minutos nas atividades internas do *setup* com uma equipe de quatro colaboradores. O método de programação da Chipshooter Fuji XP-143E tem um grande número de procedimentos e depende de vários fatores, na lista abaixo estão os de maior impacto no processo.

#### IV.4.2 FAZER NOVOS PROGRAMAS

- O movimento das cabeças posicionadoras deve ser linear não deve ficar indo e vindo, apenas se mover em um único sentido até concluir a montagem da placa de circuito impresso;
- A sequência de alimentação do material nas estações, deve seguir sempre que possível a mesma sequência de montagem da placa que tenha o menor percurso;
- A sequência de inserção deve conciliar o melhor entre os itens a e b para obtém-se e deve ter a menor distância possível entre dois pontos de inserção e também o menor deslocamento;

- A quantidade total de componentes a ser montada mais o tempo de carregamento é igual ao Tempo de ciclo da máquina;
- Deslocamentos do caminho de montagem de até 25 mm entre duas posições na sequência de montagem não afetam o Tempo padrão do fabricante;
- O deslocamento maior interfere negativamente aumentando o Ciclo de Trabalho total;
- Diferenças entre distancias maiores e menores entre deslocamentos da mesa x-y-z entre as posições de inserção, explicam porque modelos semelhantes com mesma quantidade de componentes e na mesma máquina, apresenta tempo de montagem com ciclo de trabalho diferente;
- O ciclo de trabalho de algum deles passou e ser maior que o tempo padrão do fabricante devido a deslocamentos maiores que o permitido pela tolerância da máquina que de 25 mm.
- A melhor sequência de montagem deve ser, a primeira posição de inserção usar a primeira estação de alimentação, a segunda posição de inserção usar a segunda estação de alimentação e assim por diante, sendo que entre um ponto de inserção e outro deve procurar a menor distancia para se aproximar do tempo padrão. Depois de equacionar todos os dados acima, então é possível determinar o tempo de montagem de uma placa.

## IV.4.3 REFAZER AS LISTAS DE ALIMENTAÇÃO

Esta etapa do trabalho é parte primordial, contempla e padroniza toda uma sequência de atividades desde a requisição de materiais, sendo a base para alimentação das máquinas e ajuste de programas no processo produtivo. Os técnicos programadores estão constantemente verificando informações provenientes da engenharia de projetos na matriz, sobre mudanças de componentes ou novos modelos de placas de circuito impresso (PCI). Estas mudanças são acompanhadas de documentação da engenharia.

## IV.4.4 TREINAMENTO DA EQUIPE DE SETUP

A equipe responsável pelo setup é formada por dois operadores e um alimentador, o líder e o técnico de máquinas devem ser acionados caso ocorra alguma situação fora do padrão. Após a divisão das tarefas internas e externas do setup foi estabelecido um novo procedimento para trabalho, resultando no treinamento da equipe de operadores.

Um fato interessante sobre o treinamento de colaboradores saber como está distribuída a educação básica do colaborador da indústria no Brasil conforme mostra a figura 9.

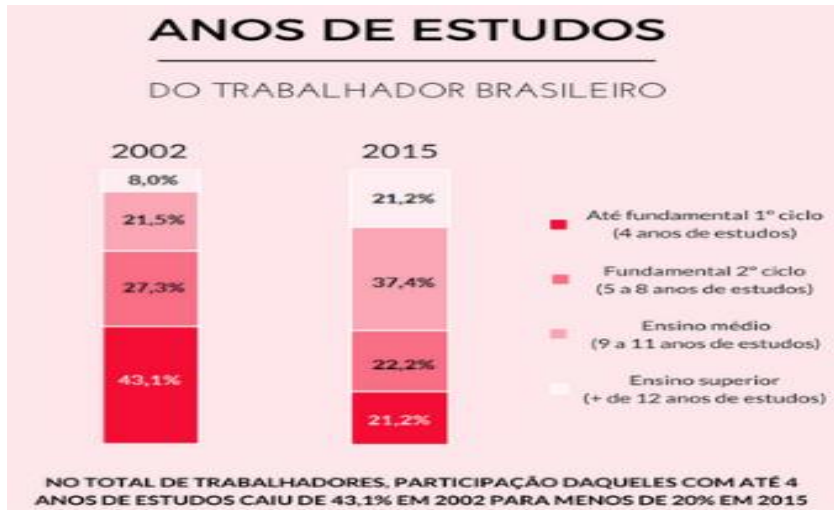


Figura 9: Anos de estudo do trabalhador Brasileiro.

Fonte: PNAD - IBGE, (2015).

Atividades externas do setup devem ser executadas com três horas de antecedência. Os passos do procedimento a ser seguido:

- Verificar qual modelo será montado no plano de produção;
- Solicitar os componentes comuns e exclusivos;

- Identificar o programa adequado para o modelo entrará em produção;
- Separação dos componentes exclusivos do modelo que será montado;
- Posicionar os componentes próximos da máquina onde serão alimentados.



Figura 10: Separação antecipada dos componentes

Fonte; Autores, (2018).

- Atividades internas do setup devem ser executadas quando o equipamento termina o modelo atual e deve ser executada de forma sequencial e padronizada. No momento em que termina o modelo programado é iniciada a sequência de atividades internas e cada

colaborador verifica seu plano de produção para certificar-se do modelo que irá iniciar, considera-se que aqui começam as atividades internas descritas abaixo.

- Carregamento do programa na máquina;

- b) Verificação da qualidade e integridade do programa.
- c) Retirar os componentes exclusivos do modelo que está encerrando a produção;
- d) Alimentar os componentes exclusivos do modelo que vai iniciar a produção;

A figura 11 ilustra o ajuste do programa da máquina e verificação da primeira placa conforme o padrão estabelecido:

- a) Ajuste da máquina onde será iniciada a produção;
- b) Verificar a primeira placa de acordo com o padrão.



Figura 11: Carregamento do programa e ajustes na máquina  
Fonte: Autores, (2018).

A figura 12: ilustra a substituição dos componentes exclusivos e a realimentação dos componentes comuns o que tornou o procedimento de setup mais rápido de ser realizado, possibilitando um ganho de tempo nesta operação. Pois ficou

evidente que haviam operações que externas que eram realizadas somente quando as máquinas eram paradas e se iniciava a troca de modelo.



Figura 12: Substituir somente componentes exclusivos.  
Fonte: Autores, (2018).

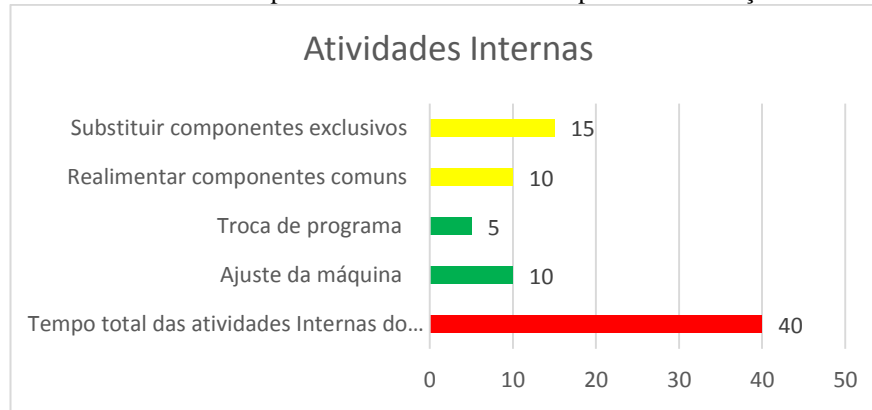
#### IV.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 5 mostra o resultado das ações tomadas para o com o objetivo reduzir o tempo de setup. Pode ser observado de que a atividade de separar os itens exclusivos foi transferido das atividades internas e passou a ser realizada antes. O tempo de setup só com esta atividade diminuiu cerca de 20 minutos o que foi adotado para outros modelos. Com o treinamento dos

colaboradores foi possível também desenvolver outras atividades no processo produtivo.

Um fato observado com relação às atividades externas é que não foi possível reduzir o tempo utilizado, o que ocorreu de fato foi um aumento em razão de transferência das atividades internas que foram deslocadas para a etapa de preparação do setup reduzindo as atividades internas apresentadas na tabela 5.

Tabela 5: Tempo das atividades Internas depois das mudanças.

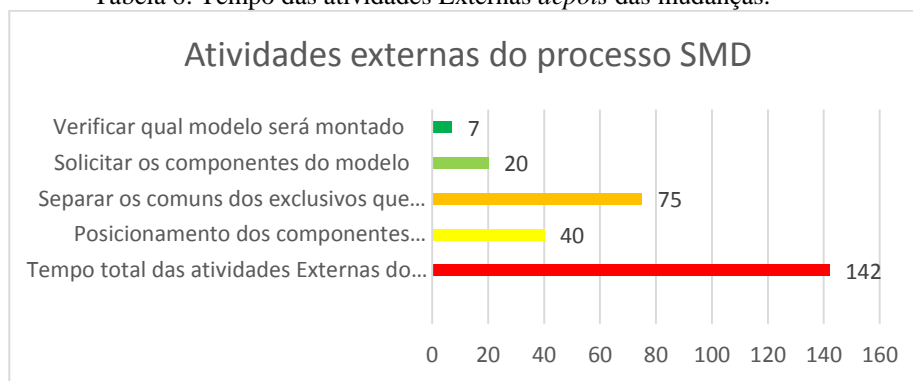


Fonte: Autores, (2018).

A redução no tempo das atividades internas no setup foi em torno de 40 minutos. Tornando o processo produtivo flexível. As possibilidades de erros na alimentação das máquinas foram

minimizadas, pois o número de componentes para serem retirados e alimentados é menor como são apresentados na tabela 6.

Tabela 6: Tempo das atividades Externas depois das mudanças.



Fonte: Autores, (2018).

Tabela 7 apresenta o nível de sigma do processo indicando o quanto o processo foi melhorado de 3.57 sigma para 3.84 sigma o que ainda está longe de atingir a meta de 30 minutos. O tempo em minutos semanais está considerando 23

horas por dia, 6 dias por semana que transformado é de 8280 minutos disponíveis para produção, 1 hora foi retirada como sendo perdas por outros motivos não estudados no experimento.

Tabela 7. Nível de Sigma Setup

MUDANÇA DE MODELO POR SEMA	TEMPO DE SETUP EM MINUTOS		MINUTOS POR SEMANA	PPM	NIVEL DE SIGMA
2	META	30	8280	7246	3,94
	ANTES	80		19324	3,57
	DEPOIS	40		9662	3,84

Fonte: Autores, (2018).

## V CONCLUSÕES

O objetivo do artigo foi reduzir o tempo de setup no processo operacional de uma linha de inserção automática de televisor, foram identificados os fatores que ocasionavam a demora na realização do *setup*. Os processos foram registrados em formulário desenvolvido unicamente para este estudo e depois analisados, as atividades foram divididas em:

- Externas, todas as operações que devem ser preparadas com antecedência, devem ser efetuadas antes de parar as máquinas, com base no plano de produção;

- Internas, todas as operações que devem ser realizadas com o equipamento já parado para efetuar o setup.

Este procedimento facilitou tanto no registro como na análise dos dados coletados possibilitando o balanceamento das atividades internas e externas por meio da transferência de atividades executadas no momento de máquina parada, para antes de iniciar a troca de modelo. Padronizar as atividades no processo SMD para alimentação de máquinas, separando os itens comuns de exclusivos por modelo, tornando possível em função de refazer os programas das máquinas. Este processo buscou reduzir a quantidade de componentes a serem trocados a cada setup, pois os



operadores passaram a trabalhar com uma lista de alimentação indicando quais os componentes deveriam ficar e quais deveriam ser substituídos. A principal meta que era reduzir o tempo de setup para o modelo definido como crítico, antes do estudo era em média 80 minutos foi reduzido para 40 minutos após implementar as ações corretivas no processo.

## VI AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Ensino FUCAPI, A Coordenação do Curso de Graduação de Engenharia de Produção pelo apoio à pesquisa.

## VII REFERENCIAS

- [1] Ribeiro, Antônio de Lima. Teorias da administração. Editora Saraiva, 2016.
- [2] Tófoli, Eduardo Teraoka. Teorias da Administração I Administração. 2015.
- [3] Zuchetti, Marcelo. Execução de estrutura de concreto com elementos pré-fabricados: proposta de método para organização dos processos visando redução no tempo de ciclo. 2013.
- [4] Leal, Fabiano. Um diagnóstico do processo de atendimento a clientes em uma agência bancária através de mapeamento do processo e simulação computacional. Itajubá: UFI, 2003.
- [5] Cândido, Antônio Pereira et al. Proposta de modelo de diagnóstico institucional. 1999.
- [6] Schultz, Erich Domingues. Aplicação dos conceitos Lean no uso de um método de solução de problemas. Trabalho de Conclusão de curso. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Engenharia de Produção. Universidade de São Paulo (USP). 2012.
- [7] Rocha, Ana Beatriz Rodrigues Barreto et al. Lean Office–escritório enxuto: um estudo de caso em uma empresa alemã. 2015.
- [8] Santi, Sandro Nasser de et al. Sistemática para combater perdas no processo produtivo de indústrias de pequeno porte de confecção. 2013.
- [9] Cleto, Marcelo Gechele; QUINTEIRO, Leandro. Gestão de projetos através do DMAIC: um estudo de caso na indústria automotiva. Revista Produção Online, v. 11, n. 1, p. 210-239, 2011.
- [10] Slack, N.; Chambers, S.; Johnston, R. Administração da produção. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- [11] Carvalho, Débora Regina; CATAPAN, Dariane Cristina; DA CRUZ, Jusimar Alves. Proposta para redução do desperdício de chapas de aço em uma empresa do ramo metalúrgico/Proposal to reduce the waste of steel sheets in a metallurgical company. Brazilian Journal of Development, v. 4, n. 1, p. 2-30, 2018.
- [12] Aguiar, Dimas Campos de; Salomon, Valério AP. Avaliação da prevenção de falhas em processos utilizando métodos de tomada de decisão. Produção, p. 502-519, 2007.
- [13] Chiavenato, Idalberto. Comportamento organizacional: a dinâmica do sucesso das organizações. Editora Manole, 2005.
- [14] Ribeiro, Antônio de Lima. Teorias da administração. Editora Saraiva, 2017.
- [15] Hobsbawm, Eric. A era dos impérios: 1875-1914. Editora Paz e Terra, 2015.
- [16] Timothy Dwight, V.; Presidente, Yale. Monthly Archives for Março 2013. Arquivo, 2013.
- [17] Kotler, Philip. Administração de marketing. 2012.
- [18] Ribeiro, Fabiana Micheli; De Souza Brasil, Angela. Tempos Modernos Na Atualidade: Estudo De Tempos E Movimentos E A Realidade. 2016.
- [19] Lermen, Fernando Henrique et al. TEORIA DA ADMINISTRAÇÃO CIENTÍFICA. 2013.
- [20] Amorim, Henrique Jose Domiciano et al. Teoria social e reducionismo analítico: para uma crítica ao debate sobre a centralidade do trabalho. 2001.
- [21] de Taylor, A. Obra. Arrumando o Chão-de-fábrica. Introdução a Teoria Geral da Administração Compact, p. 41, 2004.
- [22] Chiavelli, Henrique Gabriel Rovigatti; Pizo, Carlos Antônio. Estudo Detempos E Métodos No Setor De Espumação De Uma Empresa De Colchões Magnéticos. Trabalhos de Conclusão de Curso do DEP, v. 10, n. 1, 2014.
- [23] Oliveira, Ricardo Rezende de; Araújo, Riberto de Barros. Otimizando os processos logísticos pela implantação do otif com lean Seis Sigma. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração, v. 5, n. 4, p. 235, 2009.
- [24] Andrade, Rui; Amboni, Nério. TGA–Teoria Geral da Administração. Elsevier Brasil, 2017.
- [25] dos Santos, Alessandro Luís. Cronometragem na produção de calçados. SESI SENAI Editora, 2018.
- [26] Almeida, Rui Miguel Quental de. Lean Manufacturing: melhorar o desempenho de linhas de produção. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro. 2010.
- [27] Livi, Bruno Jasiewicz. Estrutura convencional de concreto armado: planejamento da execução visando redução no tempo de ciclo. 2014.
- [28] Gontijo, Arimar Colen; Maia, Claudia Santos Castro. Tomada de decisão, do modelo racional ao comportamental: uma síntese teórica. Caderno de Pesquisas em Administração, v. 11, n. 4, p. 13-30, 2004.
- [29] Werkema, Maria Cristina Catarino. **Criando a Cultura Seis Sigma**. 1. ed. Belo Horizonte: Werkema, 2010.
- [30] Spiegel, Murray. **Teoria e Problemas de Probabilidade e Estatística**. 2. ed. – Porto Alegre: Goodman, 2004.

- [31] Vieira, Sônia. Introdução à bioestatística. Elsevier Brasil, 2015.
- [32] Mororó, Bruno Oliveira. Modelagem sistêmica do processo de melhoria contínua de processos industriais utilizando o método seis sigma e redes de Petri. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- [33] da Cunha, Sonia Baptista; Carvajal, Santiago. Estatística Básica-a Arte de Trabalhar com Dados. Elsevier Brasil, 2009.
- [34] Vieira, Sonia. **Estatística para a Qualidade**. Elsevier Brasil, 2017.
- [35] Ayob, M., Kendall, G., A triple objective function with a Chebychev dynamic pick-and-place point specification approach to optimise the surface mount placement machine. *European Journal of Operational Research* 164, 609–62 (2005).
- [36] K.P. Ellis, F.J. Vites, J.E. Kobza, Optimizing the performance of a surface mount placement machine, *IEEE Transactions on Electronic Packaging Manufacturing* 24 (3) (2001) 160–170.
- [37] Y. Crama, J. van de Klundert, F.C.R. Spieksma, Production planning problems in printed circuit board assembly, *Discrete Applied Mathematics* 123 (1–3) (2002) 339–361.
- [38] Fukushima M. and Pang, J.S. Complementarity constraint qualifications and simplified b-stationary conditions for mathematical programs with equilibrium constraints, *Computational Optimization and Applications* 13, pp. 111–136 (1999).
- [39] ABADIE, J. (1967). On the Kuhn-Tucker theorem, Non-linear programming. A course.
- [40] Facchinei, F., Jiang, H., & Qi, L. (1999). A smoothing method for mathematical programs with equilibrium constraints. *Mathematical programming*, 85(1), 107-134.
- [41] Monticeli, A. R. Título: Um estudo sobre equações lineares. Março, 2010. 123 páginas. Dissertação - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 25 de março de 2010.
- [42] ANTON, H.; RORRES, C.; Álgebra Linear com aplicações. 10ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- [43] Land A. H, Doig A. G. An Automatic Method of Solving Discrete Programming Problems. *Econometrica*, Vol. 28, No. 3. pp. 497-520. Jul, 1960.
- [44] SENNE, Edson Luiz França. **Primeiro Curso de Programação em C–3a edição**. Florianópolis: Visual Books, 2006.
- [45] Birkhoff, Garrett. "Tres observaciones sobre el algebra lineal", *Univ. Nac. Tucumán. Revista A*. **5**: 147–151, (1946).
- [46] Balinski, M. L., A. Russakoff., On the assignment polytope, *SIAM Rev.* 16, 516-525, (1974).
- [47] Hall, Philip., "On Representatives of Subsets", *J. London Math. Soc.* 10 (1): 26–30 (1935).
- [48] Bellman, Richard. "On a routing problem". *Quarterly of Applied Mathematics* 16: 87–90 (1958).
- [49] Ford Jr., Lester R. *Network Flow Theory*. Paper P-923. Santa Monica, California: RAND Corporation (1956).
- [50] Moore, Edward F. The shortest path through a maze. *Proc. Internat. Sympos. Switching Theory 1957, Part II*. Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Press. pp. 285–292 (1959).
- [51] Dijkstra, E. W. "A note on two problems in connexion with graphs". *Numerische Mathematik* 1: pp. 269–271, (1959).