



## **APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DO LEAN MANUFACTURING EM UM PROCESSO DE SMT: ESTUDO DE CASO**

**Iracyanne Retto Uhlmann**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientadores: Jandecy Cabral Leite

José Antonio da Silva Souza

Belém

Dezembro de 2015

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DO LEAN MANUFACTURING EM UM  
PROCESSO DE SMT: ESTUDO DE CASO**

Iracyanne Retto Uhlmann

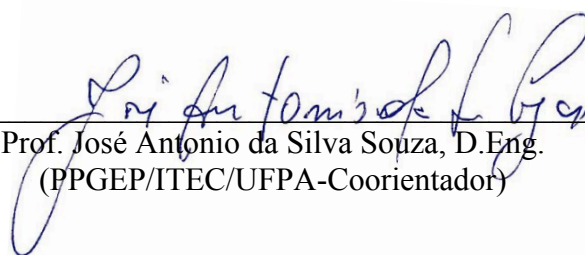
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

Examinada por:



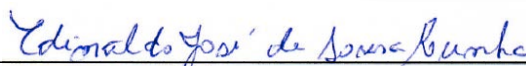
---

Prof. Jandecy Cabral Leite, Dr.  
(PPGEP/ITEC/UFPA-Orientador)



---

Prof. José Antonio da Silva Souza, D.Eng.  
(PPGEP/ITEC/UFPA-Coorientador)



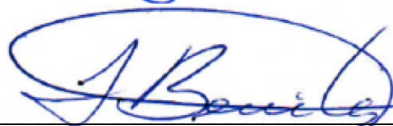
---

Prof. Edinaldo José de Sousa Cunha, D.Eng.  
(PPGEP/ITEC/UFPA-Membro)



---

Prof. Manoel Socorro Santos Azevedo, Dr.  
(DEC/UEA-Membro)



---

Prof. Israel Francisco Benítez Pina, Dr.  
(Universidade do Oriente/Cuba-Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

DEZEMBRO DE 2015

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

---

Uhlmann, Iracyanne Retto, 1975-  
Aplicação de ferramentas do lean manufacturing em um  
processo de SMT: Estudo de caso / Iracyanne Retto  
Uhlmann.- 2015.

Orientador: Jandecy Cabral Leite;  
Coorientador: José Antonio da Silva Souza.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade  
Federal do Pará. Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Processos, Belém, 2015.

1. Lean manufacturing 2. Processo de SMT 3. Engenharia  
de Produção I. Título

CDD.23.ed.661.337

---

*Ao Deus da Promessa que me permite, mais uma vez, testemunhar a sua fidelidade nos seus propósitos para comigo. Toda a honra e toda a glória à Ele. Mais do que este trabalho, eu dedico a minha vida a Deus: o que passou, o que virá, os meus desejos, os sonhos, a minha esperança, todos os planos e o meu coração...*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu pai Mário Corrêa Uhlmann (*in memorian*), por todo amor, esforço e trabalho dedicado à família no pouco tempo em que esteve conosco. Mesmo com poucos recursos financeiros, ainda lembro da alegria que os “sonhos de valsa” que ele nos trazia no fim da tarde nos proporcionavam. Saudades do que não pudemos viver juntos...

Minha maior gratidão para minha mãe Margareth Retto Uhlmann, minha fonte de inspiração, por ser uma verdadeira heroína, tendo conseguido ultrapassar todas as dificuldades na educação e criação das três das filhas, por ser a maior incentivadora e auxiliadora das minhas conquistas, por me amar e cuidar de mim. Quando eu crescer quero ser como ela...

Às minhas lindas irmãs Etyanne Uhlmann de Lima e Cristyanne Uhlmann da Costa e Silva, pois muitos dos meus sonhos se realizam nelas...

Aos meus sobrinhos Pedro Uhlmann de Lima, André Henrique Uhlmann da Costa e Silva e Filipe Hermon Uhlmann da Costa e Silva, lindos e gostosinhos, conviver com eles renova minha esperança de que o mundo pode ser melhor...

Aos meus colegas e amigos da turma de Mestrado, especialmente Luiz Eduardo Mateus dos Santos, Paulo César Corrêa Vieira e Sintia Maria Pinto Lisboa, com eles tudo ficou mais fácil e divertido. Eles são as uvas-passas do meu panetone.

À empresa estudada com todos os profissionais que nela trabalham, aos participantes dos eventos Lean, meu crescimento profissional é temperado pela troca de experiências e por meio dos desafios enfrentados com estes funcionários, principalmente Caio Marques de Sousa e Daniel de Souza Filizola, parceiros diretos nos meus primeiros passos no *Lean Manufacturing*.

Ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM) e à Universidade Federal do Pará (UFPA), por promoverem a criação deste curso, possibilitando minha caminhada na transformação dos meus sonhos em realidade. Ao meu orientador Prof. Dr. Jandecy Cabral Leite e ao meu coorientador Prof. Dr. José Antonio da Silva Souza por terem feito parte desse processo.

*Não há sabedoria alguma, nem discernimento algum, nem plano algum que possa opor-se ao Senhor.*

*Provérbios 21.30*

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGE/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M.Eng.)

## **APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DO LEAN MANUFACTURING EM UM PROCESSO DE SMT: ESTUDO DE CASO**

**Iracyanne Retto Uhlmann**

Dezembro/2015

Orientadores: Jandecy Cabral Leite

José Antonio da Silva Souza

Área de Concentração: Engenharia de Processos

Muitas organizações têm buscado aumentar sua competitividade reduzindo custos. Uma das estratégias mais adotadas atualmente para redução de desperdícios nos processos produtivos e, conseqüentemente, aumento do valor agregado, é aplicação do *Lean Production System* (LPS), também conhecido como manufatura enxuta. O objetivo desse estudo é mostrar os benefícios da aplicação de algumas ferramentas *lean* em um processo de *Surface Mount Technology* (SMT) em uma indústria eletroeletrônica do Polo Industrial de Manaus (PIM). A metodologia de estudo de caso foi usada, orientada pela ferramenta *Define, Measure, Analyze, Improve, Control* (DMAIC). Um comitê multifuncional foi organizado, o nível de maturidade *lean* foi determinado por meio de pesquisa/auditoria, o time construiu o *Value Stream Mapping* (VSM), o qual direcionou para programação dos eventos de Gerenciamento Visual (GV), Jidoka, Balanceamento de Linha, *Total Productive Maintenance* (TPM), *Single Minute Exchange of Die* (SMED) e Produção JIT (*Just-in-Time*). Após a realização dos eventos, além de diversos benefícios que estão descritos no decorrer dessa pesquisa, o resultado principal foi alcançado: aumento da maturidade *lean* no processo, de 25,20% (fase *stone*) para 81,80% (fase *gold*).

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M.Eng.)

**LEAN MANUFACTURING TOOLS APPLICATION IN A SMT PROCESS:  
CASE STUDY**

**Iracyanne Retto Uhlmann**

December/2015

Advisors: Jandecy Cabral Leite

José Antonio da Silva Souza

Research Area: Process Engineering

Many organizations have looked for increasing their competitiveness reducing costs. One of the most used strategies nowadays to reduce wastes in productive processes and, consequently, increase adds value is Lean Production System (LPS) application, also known as lean manufacturing. The objective of this study is show the benefits of some lean tools applications in a Surface Mount Technology (SMT) process in an eletro electronic industry at Manaus Industrial Pole (PIM). The case study methodology was used, oriented by Define, Measure, Analyze, Improve, and Control (DMAIC) tool. A multifunctional committee was organized, the lean maturity index was determined through a survey/audit, the team build the Value Stream Mapping (VSM), which drive for programming events of Visual Management (VM), Jidoka, Line Balance, Total Productive Maintenance (TPM), Single Minute Exchange of Die (SMED) and JIT (Just-in-Time) Production. After performing the events, besides several benefits that are written during this study, the main result was achieved: increase of process lean maturity index, from 25.20% (stone phase) to 81.80% (gold phase).



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 Identificação e justificativa da proposta de estudo .....	3
1.2 Objetivos .....	3
1.2.1 Objetivo geral .....	3
1.2.2 Objetivos específicos .....	3
1.3 Contribuição e relevância do estudo .....	3
1.4 Delimitação .....	4
1.5 Estrutura dos capítulos .....	5
<b>CAPÍTULO 2 - PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PLACAS</b> .....	6
2.1 Processo de montagem SMT .....	9
2.2 Processo de montagem THT .....	12
2.3 Inspeção e teste .....	14
2.3.1 Inspeção .....	14
2.3.2 Teste .....	15
<b>CAPÍTULO 3 - REVISÃO DA LITERATURA E ESTADO DA ARTE</b> .....	16
3.1 Manufatura enxuta ( <i>Lean manufacturing</i> ) .....	16
3.1.1 Os 7 Desperdícios .....	17
3.1.2 <i>Kaizen</i> .....	18
3.2 Gerenciamento Visual ( <i>Visual Management</i> ) .....	19
3.2.1 5S .....	20
3.3 <i>Jidoka</i> .....	21
3.3.1 <i>Poka-Yoke</i> .....	22
3.3.2 <i>Andon</i> .....	23
3.4 Balanceamento de linha .....	23
3.5 <i>Total Productive Maintenance</i> (TPM) .....	25
3.6 <i>Single Minute Exchange of Die</i> (SMED) .....	27
3.6.1 <i>Set up, changeover</i> , troca rápida de ferramentas (TRF) .....	27
3.6.2 <i>Single Minute Exchange of Die</i> (SMED) .....	28
3.7 Produção <i>just-in-time</i> (JIT) .....	29

<b>CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA APLICADA À PESQUISA</b> .....	30
4.1 Contextualização.....	30
4.2 Definição da equipe .....	31
4.3 Avaliação dos riscos .....	33
4.4 Plano de comunicação.....	34
4.5 Avaliação inicial do índice de maturidade <i>lean</i> .....	35
4.6 Mapeamento do fluxo de valor ( <i>Value stream mapping – VSM</i> ).....	37
4.7 Definição do cronograma de eventos <i>lean</i> .....	39
<b>CAPÍTULO 5 - APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO</b> .....	40
5.1 Evento gerenciamento visual (GV).....	40
5.1.1 DMAIC – Definir ( <i>Define</i> ).....	40
5.1.2 DMAIC – Medir ( <i>Measure</i> ).....	40
5.1.3 DMAIC – Analisar ( <i>Analyze</i> ).....	42
5.1.4 DMAIC – Melhorar ( <i>Improve</i> ).....	44
5.1.5 DMAIC – Controlar ( <i>Control</i> ) .....	44
5.2 Evento <i>jidoka</i> .....	47
5.2.1 DMAIC – Definir ( <i>Define</i> ).....	47
5.2.2 DMAIC – Medir ( <i>Measure</i> ).....	48
5.2.3 DMAIC – Analisar ( <i>Analyze</i> ).....	49
5.2.4 DMAIC – Melhorar ( <i>Improve</i> ).....	51
5.2.5 DMAIC – Controlar ( <i>Control</i> ) .....	52
5.3 Evento balanceamento de linha .....	53
5.3.1 DMAIC – Definir ( <i>Define</i> ).....	53
5.3.2 DMAIC – Medir ( <i>Measure</i> ) .....	53
5.3.3 DMAIC – Analisar ( <i>Analyze</i> ).....	54
5.3.4 DMAIC – Melhorar ( <i>Improve</i> ).....	55
5.3.5 DMAIC – Controlar ( <i>Control</i> ) .....	56
5.4 Evento TPM.....	56
5.4.1 DMAIC – Definir ( <i>Define</i> ).....	57
5.4.2 DMAIC – Medir ( <i>Measure</i> ) .....	57
5.4.3 DMAIC – Analisar ( <i>Analyze</i> ).....	58
5.4.4 DMAIC – Melhorar ( <i>Improve</i> ).....	59
5.4.5 DMAIC – Controlar ( <i>Control</i> ) .....	60

5.5 Evento SMED .....	61
5.5.1 DMAIC – Definir ( <i>Define</i> ).....	61
5.5.2 DMAIC – Medir ( <i>Measure</i> ) .....	61
5.5.3 DMAIC – Analisar ( <i>Analyze</i> ).....	63
5.5.4 DMAIC – Melhorar ( <i>Improve</i> ).....	65
5.5.5 DMAIC – Controlar ( <i>Control</i> ) .....	66
5.6 Evento produção JIT .....	69
5.6.1 DMAIC – Definir ( <i>Define</i> ).....	69
5.6.2 DMAIC – Medir ( <i>Measure</i> ) .....	69
5.6.3 DMAIC – Analisar ( <i>Analyze</i> ).....	70
5.6.4 DMAIC – Melhorar ( <i>Improve</i> ).....	70
5.6.5 DMAIC – Controlar ( <i>Control</i> ) .....	71
5.7 Avaliação final do índice de maturidade <i>lean</i> .....	72
<b>CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS</b>	
<b>PESQUISAS .....</b>	<b>74</b>
6.1 Conclusão.....	74
6.2 Recomendações para trabalhos futuros.....	76
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>78</b>
<b>APÊNDICE A – VSM Estado Atual .....</b>	<b>86</b>
<b>APÊNDICE B – VSM Estado Futuro .....</b>	<b>87</b>
<b>APÊNDICE C – Cronograma de realização das fases dos eventos.....</b>	<b>88</b>
<b>APÊNDICE D – Instrução para Manutenção Autônoma DEK.....</b>	<b>89</b>
<b>APÊNDICE E – Instrução Troca Modelos SMT – Modelo A para B .....</b>	<b>90</b>
<b>APÊNDICE F – Artigo Publicado.....</b>	<b>92</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b>	– Detalhe construtivo dos tipos de placas de circuito impresso.....	8
<b>Figura 2.2</b>	– Tipos de montagem em placas de circuito impresso.....	8
<b>Figura 2.3</b>	– Processo de montagem SMT.....	10
<b>Figura 2.4</b>	– Processo de deposição da pasta de solda. ....	10
<b>Figura 2.5</b>	– Perfil térmico do forno de refusão. ....	11
<b>Figura 2.6</b>	– Máquina de solda em onda.....	13
<b>Figura 2.7</b>	– Equipamentos que compõem uma típica linha de montagem THT. ....	14
<b>Figura 3.1</b>	– Modelo simplificado para o TPS. ....	17
<b>Figura 3.2</b>	– Pilares do TPM.....	26
<b>Figura 4.1</b>	– Comitê <i>lean six sigma</i> . ....	32
<b>Figura 4.2</b>	– Grupo de colaboradores reconhecidos por sua contribuição com o <i>lean</i> ....	32
<b>Figura 4.3</b>	– Pontuação índice de maturidade <i>lean</i> (inicial). ....	36
<b>Figura 4.4</b>	– Radar índice de maturidade <i>lean</i> (inicial). ....	37
<b>Figura 4.5</b>	– Time coletando informações para desenhar VSM. ....	38
<b>Figura 4.6</b>	– Time apresentando VSMs aos gerentes. ....	38
<b>Figura 5.1</b>	– <i>Kaizens</i> por Colaborador – por Linha (fase Medir). ....	41
<b>Figura 5.2</b>	– Desempenho Segurança + 5S (%) (fase Medir).....	42
<b>Figura 5.3</b>	– Tempo pra submeter <i>Kaizen</i> no Portal LSS (h) (fase Medir). ....	42
<b>Figura 5.4</b>	– Diagrama de <i>ishikawa</i> (GV). ....	43
<b>Figura 5.5</b>	– <i>Kaizens</i> por Colaborador – por Linha (fase Controlar).....	45
<b>Figura 5.6</b>	– Desempenho Segurança + 5S (%) (fase Controlar). ....	46
<b>Figura 5.7</b>	– Tempo pra submeter <i>Kaizen</i> no Portal LSS (h) (fase Controlar). ....	46
<b>Figura 5.8</b>	– Reclamação oficial recebida do cliente.....	47
<b>Figura 5.9</b>	– Defeitos no cliente externo (fase medir). ....	48
<b>Figura 5.10</b>	– Defeitos na origem (fase medir).....	48
<b>Figura 5.11</b>	– Defeitos no cliente interno (fase medir).....	49
<b>Figura 5.12</b>	– Reclamação oficial enviada ao fornecedor. ....	50
<b>Figura 5.13</b>	– Ação corretiva retirada da resposta oficial do fornecedor. ....	51
<b>Figura 5.14</b>	– Defeitos na origem (fase controlar). ....	52
<b>Figura 5.15</b>	– Defeitos no cliente interno (fase controlar).....	52
<b>Figura 5.16</b>	– Defeitos no cliente externo (fase controlar).....	52
<b>Figura 5.17</b>	– Balanceamento de processo SMT (fase Medir). ....	54
<b>Figura 5.18</b>	– Diagrama de <i>ishikawa</i> (balanceamento de linha). ....	54
<b>Figura 5.19</b>	– Balanceamento de processo SMT (fase controlar). ....	56
<b>Figura 5.20</b>	– Tempo de manutenção corretiva na DEK (fase medir).....	57
<b>Figura 5.21</b>	– Diagrama de <i>ishikawa</i> (TPM). ....	58
<b>Figura 5.22</b>	– Tempo de manutenção corretiva na DEK (fase controlar). ....	60
<b>Figura 5.23</b>	– Tempo parado durante <i>set up</i> (min) (fase medir).....	62
<b>Figura 5.24</b>	– Caixa de medianas de tempo parado durante <i>set up</i> (min) (fase medir). .	63
<b>Figura 5.25</b>	– Histograma de tempo parado durante <i>set up</i> (min) (fase medir).....	63
<b>Figura 5.26</b>	– Diagrama de <i>ishikawa</i> (SMED). ....	64

<b>Figura 5.27</b> – Tempo parado durante set up (min) (fase controlar).....	67
<b>Figura 5.28</b> – Caixa de medianas de tempo parado durante <i>set up</i> (min) (fase controlar).....	68
<b>Figura 5.29</b> – Histograma de tempo parado durante <i>set up</i> (min) (fase controlar). .....	68
<b>Figura 5.30</b> – Pontuação índice de maturidade <i>lean</i> (final).....	72
<b>Figura 5.31</b> – Radar índice de maturidade <i>lean</i> (final).....	73

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 4.1</b> – Visão geral do DMAIC.....	31
<b>Tabela 4.2</b> – Resumo de riscos e ações.....	33
<b>Tabela 4.3</b> – Formas de comunicação utilizadas. ....	34
<b>Tabela 5.1</b> – Análise do sistema de medição e base de desempenho (GV).....	41
<b>Tabela 5.2</b> – Resumo da análise (GV). ....	43
<b>Tabela 5.3</b> – Responsabilidades do processo (GV). ....	45
<b>Tabela 5.4</b> – CE Matrix ( <i>jidoka</i> ).....	49
<b>Tabela 5.5</b> – Resumo da análise (balanceamento de linha). ....	55
<b>Tabela 5.6</b> – Resumo das melhorias (balanceamento de linha). ....	55
<b>Tabela 5.7</b> – Análise do sistema de medição e base de desempenho (TPM). ....	57
<b>Tabela 5.8</b> – Resumo da análise (TPM).....	59
<b>Tabela 5.9</b> – Resumo das melhorias (TPM). ....	59
<b>Tabela 5.10</b> – Cronograma de manutenção autônoma nível 1.....	60
<b>Tabela 5.11</b> – Análise do sistema de medição e base de desempenho (SMED). ....	61
<b>Tabela 5.12</b> – Resumo da análise (SMED).....	64
<b>Tabela 5.13</b> – Resumo das melhorias (SMED). ....	65
<b>Tabela 5.14</b> – Comparação da distribuição de atividades de <i>set up</i> , antes e depois do SMED. ....	66
<b>Tabela 5.15</b> – Resumo da análise (JIT). ....	70
<b>Tabela 5.16</b> – Resumo das melhorias (JIT). ....	71

## NOMENCLATURA

<b>3P</b>	Processo de Preparação da Produção
<b>AOI</b>	<i>Automatic Optical Inspection</i> (inspeção ótica automática)
<b>CE Matrix</b>	<i>Cause &amp; Effect Matrix</i>
<b>CT</b>	<i>Cycle Time</i>
<b>DL</b>	<i>Direct Label</i> (operadores diretos)
<b>DMAIC</b>	<i>Measure, Analyze, Improve ou Innovate, Check ou Control</i>
<b>FIFO</b>	<i>First In, First Out</i> (primeiro que entra, primeiro que sai)
<b>GV</b>	Gerenciamento Visual
<b>HMLV</b>	<i>High-mix, Low-volume</i>
<b>ICT</b>	<i>In-circuit test</i> (teste de circuito)
<b>JIT</b>	<i>Just-in-Time</i>
<b>LPS</b>	<i>Lean Production System</i>
<b>MPS</b>	<i>Master Production Schedule</i>
<b>MVI</b>	<i>Manual Visual Inspection</i> (inspeção visual manual)
<b>NVA</b>	<i>Non Value Adding</i> (Valor Não Agregado)
<b>PCB</b>	<i>Printed Circuit Board</i>
<b>PCBA</b>	<i>Printed Circuit Board Assembly</i>
<b>PCI</b>	Placa de Circuito Impresso
<b>PIM</b>	Polo Industrial de Manaus
<b>Portal LSS</b>	Portal <i>Lean Six Sigma</i> – sistema onde os <i>kaizens</i> são registrados
<b>PTH</b>	<i>Pin Through Hole</i> (pino através do furo) ou <i>Plated Through Hole</i> (revestido através do furo)
<b>SMD</b>	<i>Surface Mount Device</i>
<b>SMED</b>	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
<b>SMT</b>	<i>Surface Mount Technology</i>
<b>TC</b>	Tempo de Ciclo
<b>THT</b>	<i>Through Hole Technology</i>
<b>TPM</b>	<i>Total Productive Maintenance</i>
<b>TPS</b>	<i>Toyota Production System</i>
<b>TRF</b>	Troca Rápida de Ferramentas
<b>VA</b>	<i>Value Adding</i> (Valor Agregado)
<b>VM</b>	<i>Visual Management</i>
<b>VSM</b>	<i>Value Stream Mapping</i>
<b>WIP</b>	<i>Work-in-Process</i>

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

O mundo contemporâneo tem pressa, por novas tecnologias, pelo desenvolvimento de processos robustos, que sejam competitivos, rápidos e com menos riscos de falhas. No ambiente de negócios atual, as empresas se deparam com condições de mudança como preocupações com requerimentos de qualidade mais exigentes, ciclo de vida de produtos curto, demandas para tempo de entregas menores e necessidade de reduzir os custos de manufatura continuamente (INTRA e ZAHN, 2014).

A implementação do *Lean Production System* (LPS) baseado no *Toyota Production System* (TPS) é uma das estratégias de sucesso disponíveis. LPS não somente ajuda a reduzir os desperdícios no processo produtivo, mas também possibilita que a empresa foque no valor ao cliente (DOMBROWSKI *et al.*, 2009).

Muitas organizações tem definido a implementação do *Lean Six Sigma* como uma das suas diretrizes. “O Lean Six Sigma surgiu da união de duas abordagens de gestão conhecidas como *Lean Production*, desenvolvida com base no TPS, e o *Six Sigma* desenvolvido pela empresa Motorola” (JUNIOR e CALARGE, 2013).

Segundo ANTUNES (2008) “O método de construção do Sistema Toyota de Produção não está completamente formalizado nos livros”. Mas vamos usar a informação do SHINGO (1996) o qual descreve o objetivo desse sistema: “É um sistema que visa eliminação total das perdas [...] é 80% eliminação das perdas, 15% um sistema de produção e apenas 5% o *kanban*”. “Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, da Toyota japonesa, foram os pioneiros no conceito da produção enxuta” (WOMACK *et al.*, 2004).

De acordo com POWELL *et al.* (2014) a produção enxuta pode ser descrita como uma filosofia e um conjunto de ferramentas e técnicas que tem como objetivo identificar e eliminar todos os desperdícios em operações de manufatura. [...]. *Lean* pode ser pensado como um caminho alternativo de organização de produção em massa. Dessa forma, define-se *Lean* como um termo dado a uma família de metodologias relacionadas que visam simplificar os processos de produção.

“O *Six Sigma* teve início na década de 1980 na Motorola, mas ganhou notoriedade em 1996 quando a General Electric por meio de seu CEO Jack Welch anunciou um



resultado de 1,5 bilhão de dólares de redução de custo por meio deste programa” (JUNIOR e CALARGE, 2013).

A junção de duas abordagens diferentes, *lean* e *six sigma*, é bem apropriada, pois é comum encontramos em vários processos produtivos, a aplicação de ferramentas do *lean* (Jidoka, SMED, TPM, etc.), orientadas pelo uso de ferramentas do *six sigma* (A3 e DMAIC).

Não existe uma receita pronta para transformar produção em massa em produção enxuta, principalmente porque as empresas têm estruturas organizacionais, regras, processos, procedimentos e, principalmente, culturas diferentes umas das outras. Veja o que diz Shingo (1996) sobre a implementação do Sistema Toyota de Produção: “O Sistema Toyota de Produção levou 20 anos para chegar onde está hoje. Obviamente, as plantas que desejam aprender o sistema não precisarão dos mesmos 20 anos. O ponto crítico – e o que requer mais tempo para adquirir consistência – é o claro entendimento do tema e o empenho necessário para levar a cabo as reformas por parte da alta gerência. Mais importante de tudo é garantir a compreensão e consentimento de todos na planta, especialmente do pessoal do chão de fábrica. De fato, esse é o elemento-chave que irá determinar o sucesso ou o fracasso final”.

A aplicação de *kaizen* que literalmente significa “melhoria contínua” tem ajudado há décadas, a estabelecer a Toyota como uma referência para eficiência industrial (AUDENINO, 2012). A cultura *Kaizen* é o olho *Kaizen* e refere-se a capacidade de voltar atrás em todas as atividades, observar os processos atuais e a habilidade de propor soluções para os problemas. (ABDULMOUTI, 2015). Para incentivar a aplicação de *kaizens*, é comum a utilização de eventos *kaizens*, os quais utilizam um grupo de pessoas para melhorar os processos mais rapidamente. Para realizar um Evento *Kaizen* de sucesso são necessários objetivos claros, processo de equipe, foco no tempo de duração, criatividade antes de se gastar dinheiro, utilizar os recursos disponíveis e visar resultados imediatos, tendo em vista que as atividades ocorrem com período determinado e com alta expectativa de resultados (ALMEIDA *et al.*, 2011).

Os colaboradores do chão de fábrica são o aspecto chave na implementação de eventos de *kaizen*. É crucial identificar as pessoas chaves que irão participar dos eventos *kaizen*. É essencial que os dados sejam coletados dos especialistas corretos, os quais são parte do processo *kaizen*. O time de produção deve ser assistido na coleta precisa dos dados pois eles conhecem e são os donos do processo (NHLABATHI e KHOLOPANE, 2013).

## **1.1 Identificação e justificativa da proposta de estudo**

Muitas organizações e profissionais tem encarado o *Lean Manufacturing* como modismo, até tem aplicado uma ou outra ferramenta porque o corpo gerencial decidiu sobre essa filosofia, muitos gestores e colaboradores ainda não acreditam nos benefícios e vantagens da implantação do TPS, sendo resistentes à mudança. Porém algumas empresas orientais já experiementaram e comprovaram que esta transformação nos sistemas de produção em massa é responsável pelo aumento da qualidade, produtividade, competitividade e, conseqüentemente, pelo aumento da lucratividade.

O tema é justificado como validação prática de que a aplicação de diversas ferramentas da manufatura enxuta podem aumentar um nível de maturidade *lean* em fábricas ocidentais, tornando a empresa mais competitiva. Contagiando positivamente todos os membros do time, independente da área de atuação, do gênero, de idade, do tempo de prestação de serviço na empresa ou do grau de instrução.

Esta pesquisa busca responder a problemática: O *Lean Manufacturing* pode tornar um processo de SMT de uma indústria eletroeletrônica de produção em massa mais competitiva? De que forma?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Aplicar ferramentas do *Lean Manufacturing* em um processo de SMT para tornar a empresa mais competitiva e impactar culturalmente seus colaboradores.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Selecionar o processo para aplicação do Estudo de Caso;
- Conceituar ferramentas do *Lean Manufacturing*;
- Traçar plano de aplicação dos eventos TPS necessários para melhoria do processo;
- Empregar as ferramentas de *Lean Manufacturing* para melhorar o processo;
- Evidenciar benefícios, vantagens e impactos financeiros alcançados com a implementação do *Lean Manufacturing*.

## **1.3 Contribuição e relevância do estudo**

A contribuição é atestada por todas as vantagens competitivas que a realização de eventos *lean* proporciona às empresas onde essas práticas são aplicadas. A busca de

melhoria contínua por redução de desperdícios e aumento de valor agregado, possibilita manufatura de produtos com mais qualidade, menores custos e entregas de acordo com necessidade de demanda do cliente, devido a flexibilização dos seus processos. Também há benefícios culturais e morais, o time torna-se mais capacitado, tendo todos o mesmo nível de interesse em promover mudanças que tornem o processo mais enxuto, são funcionários diferenciados das demais organizações que ainda não têm aplicação de ferramentas da filosofia *lean*. O conhecimento e a aplicação do TPS promove transformação na empresa e nas pessoas.

A relevância desse estudo é comprovada pelos resultados que demonstram que o uso de ferramentas *lean* também traz ganhos para SMT, sendo possível sua aplicação para qualquer produto que utilize esse tipo de processo. Outra evidência é o fato de que após a conclusão desse estudo, a fábrica estendeu a mesma metodologia para os processos de inserção manual. Além disso, a comunidade demonstrou interesse, instituições com cursos de *Lean Six Sigma* souberam dos resultados, tendo a empresa aberto as portas para visitação de alunos de pós-graduação de cursos de MBA.

## **1.4 Delimitação**

Esta pesquisa foi aplicada em uma empresa multinacional fabricante de produtos eletroeletrônicos no setor industrial de serviços de manufatura, a qual disponibiliza para seus clientes um completo leque de serviços, incluindo os de elaboração de projetos, gerenciamento de materiais, fabricação, execução de testes, montagem de sistemas e pronto atendimento de seus pedidos, oferecendo para cada um, soluções sob medida com a melhor qualidade possível.

Sua filial, no PIM, desenvolve as atividades de montagem de conjuntos e subconjuntos para *set top box*, câmeras fotográficas, placas de TV LED e leitoras para cartão de crédito. Adota o modelo de Unidade de Negócio, sendo que cada unidade fornece pessoal dedicado e recursos focados nas necessidades individuais de cada cliente e de suas linhas de produção, desta forma, tanto os maiores quanto os menores clientes são tratados com a mesma dedicação, como se tivessem uma mini-fábrica dentro da empresa.

Escolheu-se a unidade de negócio que produz placas de *set top box*, mais especificamente o processo de SMT, composto de cinco linhas de montagem. A maioria dos eventos foi aplicado inicialmente na linha onde a placa de maior volume era produzida, com replicação imediata para as demais linhas.

## 1.5 Estrutura dos capítulos

O **presente capítulo** apresenta a introdução de tudo que foi discutido na pesquisa, contextualizando o assunto com base em publicações anteriores, fazendo a identificação e justificativa da proposta de estudo, listando os objetivos geral e específicos pretendidos, além de descrever sua contribuição e relevância para a sociedade.

No **Capítulo 2** é apresentado o processo de fabricação de placas. A pretensão é situar o leitor sobre os aspectos relacionados ao ambiente onde o estudo foi realizado. Sendo possível construir parâmetros de avaliação da aplicação de ferramentas *lean* em comparação com outros processos.

No **Capítulo 3** tem-se uma abordagem bibliográfica. Apresenta-se a revisão da literatura e o estado da arte dos eventos TPS que foram aplicados no estudo, sendo esse embasamento teórico o responsável por dar o direcionamento dos aspectos relevantes que foram considerados no planejamento e realização de cada evento *kaizen*.

O **Capítulo 4** apresenta a metodologia utilizada na pesquisa, fazendo uma rápida contextualização sobre o ambiente. A aplicação do uso do estudo de caso foi direcionada pela ferramenta *six sigma* DMAIC. A forma como o estudo foi construído é mostrada nesse capítulo.

O **Capítulo 5** apresenta o estudo de caso propriamente dito. Todas as fases do DMAIC para cada evento *kaizen* realizado são descritas, iniciando com a definição do problema, passando pela medição dos indicadores, pelas análises de causa, implementação das melhorias e os resultados obtidos, medidos e controlados após as ações tomadas.

Finalmente o **Capítulo 6** apresenta as conclusões e recomendações para as futuras pesquisas.

No final desse trabalho também podem ser encontradas as referências bibliográficas e apêndices.

## CAPÍTULO 2

### PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PLACAS

Neste capítulo será apresentado o processo de fabricação de placas de circuito impresso montadas, buscando situar o leitor sobre o ambiente onde o estudo foi realizado.

Antes de iniciar a descrição do processo, é importante entender alguns conceitos:

- Placa de Circuito Impresso (PCI) ou *Printed Circuit Board* (PCB): Segundo RABACK E SISCHMAN (2001) são placas de suporte não condutor (geralmente plásticos como fenolite ou epóxi), com espessura entre 1,5 e 2,0 mm, contendo trilhas de material condutor (geralmente cobre) na sua superfície. Cada placa tem definida, conforme seu projeto, as posições onde os componentes eletrônicos, tais como resistores, capacitores, diodos, transistores ou circuitos integrados deverão ser montados para que ela execute a sua função específica no sistema;
- *Printed Circuit Board Assembly* (PCBA): Placa de circuito impresso montada com todos os componentes que constituem o produto. A manufatura de uma PCBA envolve a seleção de componentes, o *layout* da placa e os processos de fabricação, montagem e teste (DORO, 2004);
- *Top side* da placa: Lado superior da placa de circuito impresso;
- *Bottom side* da placa: Lado inferior da placa de circuito impresso;
- *Surface Mount Device* (SMD): São pequenos componentes montados na superfície da placa de circuito impresso. De acordo com SPROVIERI (2006) a possibilidade de redução das dimensões dos componentes é uma característica extremamente importante numa indústria onde os produtos fabricados diminuem de tamanho e aumentam continuamente suas capacidades, em períodos cada vez menores;
- Componentes *Pin Through Hole* (PTH): são componentes montados por meio de furos guia existentes na placa de circuito impresso. Este, geralmente, é um processo manual (BISSOLI, 2006).

De acordo com FARLOW (2005) a tendência das empresas de montagem de PCB é de se aproximarem cada vez mais da estrutura de produção *High-mix, Low-volume*

(HMLV), ou seja, produzir grande variedade de produtos em pequenas quantidades. Esta tendência pode ser explicada pela demanda altamente volátil, assim como o curto ciclo de vida dos produtos.

Após o conhecimento dos conceitos descritos anteriormente, podemos seguir com uma breve descrição dos tipos de montagem de placas. De acordo com FUNDAÇÃO CERTI (2008):

A tecnologia de montagem de componentes eletrônicos em placa de circuito impresso a ser utilizada depende da complexidade do projeto da placa eletrônica e da tecnologia dos componentes.

A evolução da tecnologia dos componentes no tempo não significa exclusão das tecnologias mais antigas e adoção integral das mais recentes. Todas as tecnologias são utilizadas e sua aplicação depende do custo benefício relacionado a cada uma. Os equipamentos utilizados no processo produtivo são de alto valor agregado e o ambiente do processo deve ser enclausurado e controlado (temperatura, umidade, poeira, vibração etc.).

Dentre as tecnologias de componentes apresentadas, há dois processos distintos de montagem de componentes eletrônicos principais. O primeiro está relacionado à montagem de componentes SMD, de tecnologia SMT, onde o processo é automatizado devido ao diminuto tamanho dos componentes eletrônicos. O segundo está relacionado à montagem de componentes PTH, de tecnologia THT, conhecido como processo convencional, pois neste processo é bastante comum a manipulação manual durante a montagem dos componentes PTH na PCB.

Além disso, o tipo de processo a ser adotado depende do tipo de PCB definida em projeto, que pode ser de face simples, dupla face ou multicamadas (*multilayers*).

Segundo FUSE (2015) as placas de circuito impresso mais comumente empregadas são:

- Face simples: Possuem trilhas condutivas sobre um lado da placa. Neste tipo de placa os componentes TH são inseridos do lado oposto das trilhas e os componentes SMT são inseridos do mesmo lado das trilhas.
- Dupla face: Possuem trilhas condutivas sobre dois lados da placa. Elas podem ser consideradas como a junção de duas placas de face simples, desta forma, a densidade de componentes aumenta significativamente. A face de cima e a face de baixo da placa podem ser conectadas por um furo metalizado (vias de

contato). A metalização destes furos é feita por um processo de revestimento, por esta razão estes furos são chamados de PTH.

- Multicamadas: Possuem várias camadas de trilhas, sendo duas localizadas na superfície da placa. As trilhas internas são construídas num processo de laminação que encaixa as trilhas sobre as camadas. As placas multicamadas são usadas geralmente onde o layout da placa é muito complexo.

A Figura 2.1 ilustra o detalhe construtivo dos diferentes tipos de placas de circuito impresso:

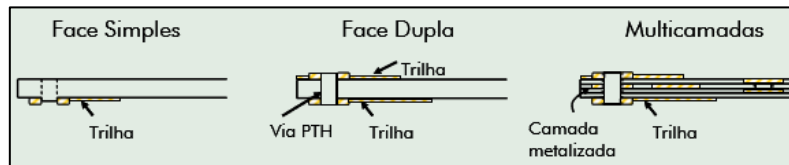


Figura 2.1 – Detalhe construtivo dos tipos de placas de circuito impresso.

Fonte: DORO (2004).

Os três tipos de placas de circuito impresso mencionados podem ser usados no processo de montagem, onde são soldados os diversos tipos de componentes SMT e PTH. A Figura 2.2 mostra os possíveis tipos de montagem de uma placa de circuito impresso.

Ilustração da Montagem	Descrição da Montagem
	Montagem de componentes PTH em placa face simples
	Montagem de componentes SMD em placa face simples
	Montagem de componentes SMD <i>Bottom</i> e PTH <i>Top</i> em placa face simples
	Montagem de componentes SMD <i>Top</i> e <i>Bottom</i> em placa dupla face ou multicamada
	Montagem de componentes PTH <i>Top</i> e SMD <i>Top</i> em placa dupla face ou multicamada
	Montagem de componentes PTH <i>Top</i> e SMD <i>Top</i> e <i>Bottom</i> em placa dupla face ou multicamada

Figura 2.2 – Tipos de montagem em placas de circuito impresso.

Fonte: FUNDAÇÃO CERTI (2008).

Deste modo, uma placa de circuito impresso pode ser manufaturada de diversas formas. Entretanto, é de grande importância que o projeto de uma placa de circuito impresso leve em consideração o processo de fabricação e montagem, a fim de que ações preventivas sejam tomadas, como por exemplo: minimizar as etapas de fabricação e montagem, evitar operações manuais, escolher componentes menos propensos a gerar defeitos de montagem, criar partes padrões.

## **2.1 Processo de montagem SMT**

A tecnologia conhecida como SMT é aplicada por meio de máquinas com precisão em alto grau e automatizada, cujo gerenciamento se faz por meio de softwares que informam a sequência de montagem, o tipo e a posição de cada componente a ser posicionado sobre as PCBs. 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).

LEE (2002) considera que uma das grandes vantagens do SMT é a possibilidade de soldagem de terminais na placa no mesmo lado em que o componente seja posicionado, evitando os furos passantes, além de promover a redução dimensional dos encapsulamentos e nas distâncias entre terminais.

Segundo OLIVEIRA (2012) a montagem em superfície possui duas tecnologias de montagem. A montagem utilizando adesivo, na qual a placa de circuito impresso precisará passar em equipamento de solda em onda, e o processo usando pasta de solda onde o componente já é soldado através do derretimento da solda no forno de refusão conforme demonstra a Figura 2.3.

Na montagem SMT por refusão, a primeira etapa a ser feita é a deposição da pasta de solda sobre as ilhas, localizadas na superfície da placa. O material que compõem a pasta de solda é constituído por um pó metálico e uma combinação de materiais (resina, ativadores, aditivos reológicos e solventes) chamado de fluxo de solda ou “sistema de veículo” (BAUER e LATHROP, 1998).





Figura 2.3 – Processo de montagem SMT.

Fonte: OLIVEIRA (2012).

De acordo com DORO (2004):

A deposição da pasta de solda é feita normalmente por um processo de impressão serigráfica. Neste processo, conforme mostra a Figura 2.4, um rodo pressiona e espalha a pasta de solda sobre uma tela metálica vazada (estêncil), permitindo a passagem da pasta somente sobre as ilhas da placa.

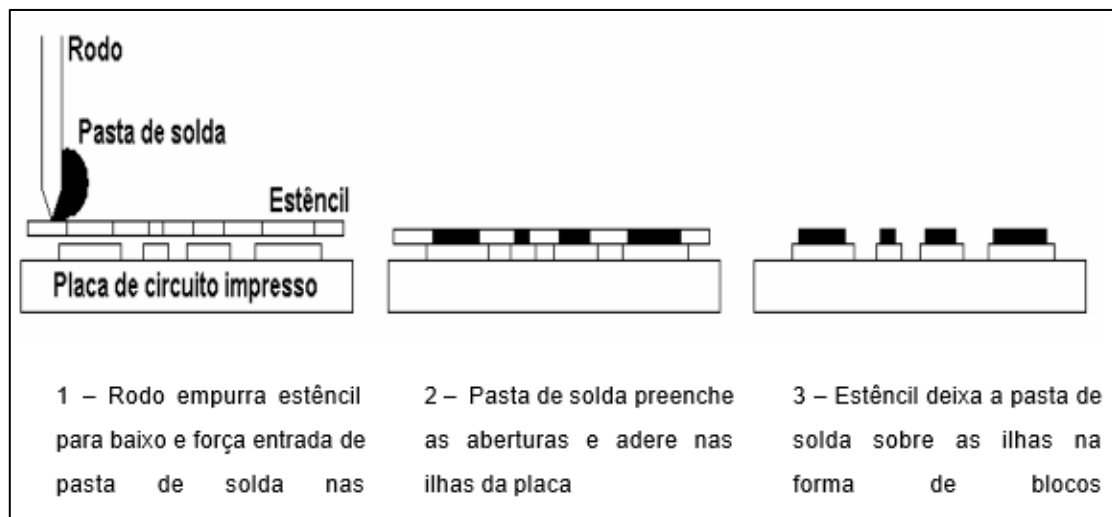


Figura 2.4 – Processo de deposição da pasta de solda.

Fonte: WOODGATE (1996).

A próxima etapa consiste na inserção de componentes sobre a pasta de solda aplicada, esta operação é executada através das máquinas de inserção automática.

Existem basicamente duas topologias de máquinas de inserção de componentes: a *Turret Head* (cabecote revólver) e a *Pick & Place* (apanhar e inserir). As máquinas *Turret Head* foram projetadas para inserirem pequenos componentes em alta velocidade, enquanto que as máquinas *Pick & Place* inserem componentes maiores, tais como *fine pitches* e *Ball Grid Array*, com uma maior exatidão na inserção.

Conforme descrito por OLIVEIRA (2012), a última etapa a ser realizada é a soldagem entre o componente e a placa, através do processo de refusão da pasta de solda. Normalmente esta etapa é realizada em um forno que aquece a placa por convecção forçada, denominado de forno de refusão. Uma esteira rolante possibilita que a placa avance através do forno. O forno possui zonas com temperaturas diferenciadas ao longo do caminho percorrido pela placa.

A refusão da pasta de solda acontece através do “perfil térmico” do forno, ou seja, a curva da temperatura da placa em função do tempo (Figura 2.5). Este perfil é formado de quatro fases distintas:

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

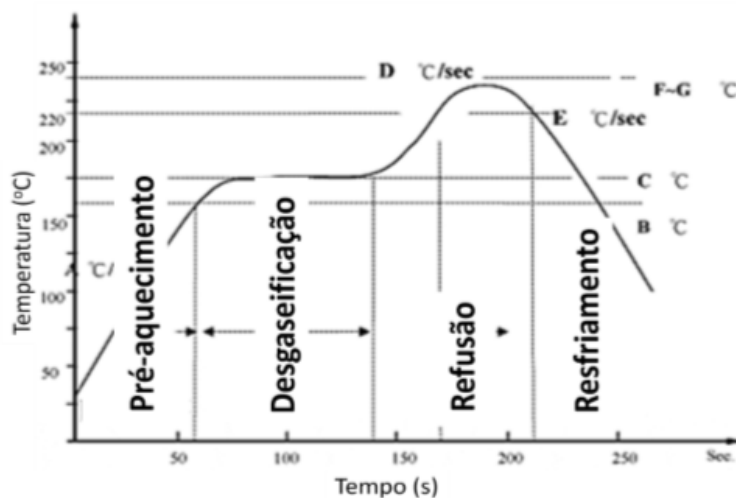


Figura 2.5 – Perfil térmico do forno de refusão.

Fonte: OLIVEIRA (2012).

## 2.2 Processo de montagem THT

Segundo FUSE (2015) na montagem através de furos (PTH), criada por volta de 1940, os componentes possuem terminais salientes e longos, e as placas possuem furos eletricamente conectados às trilhas de metal. Sistemas dessa natureza são fáceis para construir, testar e trabalhar, entretanto, em projetos muito complexos, o hardware é fisicamente grande e poderá ser eletricamente ruidoso para aplicações em média e alta frequência.

Para MORAES (2006) apesar do grande avanço tecnológico com o surgimento dos componentes SMDs, os designers de placas de circuito impressos não conseguiram se desfazer dos componentes PTHs, isso porque esses componentes conferem resistência mecânica tornando mais duradoura a vida útil do produto. Tendo isso em vista, técnicas de montagem através de furos são geralmente reservadas para componentes mais volumosos tais como capacitores eletrolíticos, conectores de diversos tamanhos, ou semicondutores em encapsulamentos maiores.

Este tipo de montagem consiste basicamente de duas atividades fundamentais: inserção dos componentes e soldagem dos componentes.

No processo de inserção, os componentes podem ser inseridos automaticamente ou manualmente nos furos da placa. A inserção automática é executada por máquinas, que são alimentadas por fitas contendo componentes PTH. Os componentes são apanhados da alimentação, moldados e inseridos automaticamente nos furos da placa. Para a máquina poder se referenciar é necessário que a placa possua “furos guias”, estes furos são posicionados normalmente próximo aos cantos da placa. Entretanto, estas máquinas são capazes de inserir automaticamente somente os componentes PTH dos tipos axiais, radiais e CIs (DIP), sendo que os demais tipos de componentes devem ser inseridos manualmente (BRINDLEY, 1990).

O processo de inserção manual inicia-se com a pré-formagem dos componentes, etapa em que os componentes são cortados, dobrados e separados. Logo em seguida, é feita a inserção dos componentes na placa. A inserção manual é muito propensa a erros, portanto é recomendável utilizar máquinas de inserção semiautomática que orientam a posição e o sentido da montagem (BRINDLEY, 1990).

Após todos os componentes serem inseridos na placa é executada a soldagem através da máquina de solda por onda. Neste processo a placa é transportada em uma esteira, passando tangencialmente em algumas cubas e por uma zona de pré-aquecimento.

A soldagem por onda existe há, pelo menos, 50 anos e recebeu uma série extensa de aprimoramentos, mas a essência é a mesma. De acordo com TODD e ALLEN (1994) existem muitos tipos de máquinas de solda por onda, entretanto, os componentes básicos e os princípios destas máquinas são os mesmos. Uma máquina de solda por onda padrão consiste de três partes: fluxagem, pré-aquecimento e soldagem (Figura 2.6).

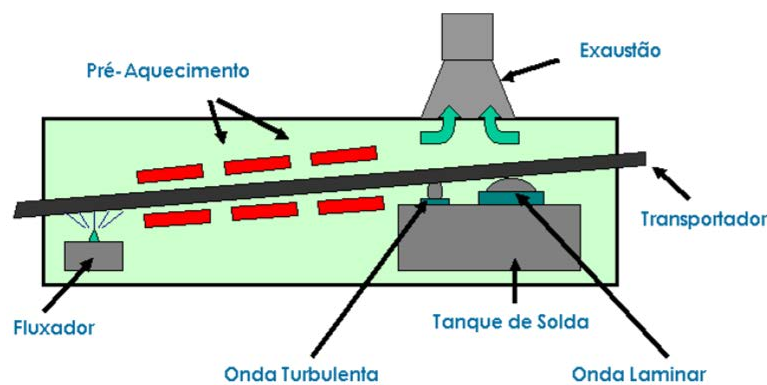


Figura 2.6 – Máquina de solda em onda.

Fonte: TODD e ALLEN (1994).

Na primeira etapa, a placa é banhada em uma cuba contendo fluxo (compostos químicos formados por solvente e ativadores, tendo como padrão álcool isopropílico e resina baseada em colofonia, produto natural obtido de várias espécies de pinos) (YOST *et al.*, 1993), cuja função é remover o óxido presente nas superfícies a serem soldadas e protegê-las da re-oxidação. Em seguida, a placa passa por uma zona de pré-aquecimento, a fim de evitar um choque térmico do componente e ativar o fluxo. Finalmente, a placa passa tangencialmente pela cuba contendo a liga de solda fundida. A liga fundida adere aos terminais dos componentes e aos furos, formando liga nas interfaces, e preenche os furos com o material que irá solidificar-se. Deste modo, promoverá a soldagem do componente. Contudo, um correto ajuste da máquina de solda requer um alto grau de conhecimento em química de superfície, metalurgia e mecânica dos fluidos. Desta forma, a probabilidade de gerar juntas defeituosas neste processo é muito alta (WOODGATE, 1996).

A Figura 2.7 ilustra o fluxo de montagem de uma PCI no processo THT.

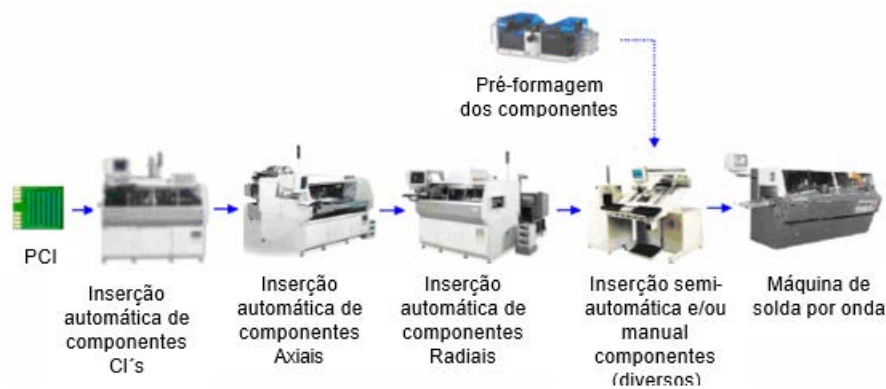


Figura 2.7 – Equipamentos que compõem uma típica linha de montagem THT.

Fonte: DORO (2004)

## 2.3 Inspeção e teste

De acordo com DORO (2004), as inspeções e os testes são usados na linha de produção para verificar se a placa de circuito impresso está conforme as especificações desejadas. As características das principais técnicas de inspeção e teste utilizadas no processo de montagem de placas de circuito impresso serão descritas a seguir.

### 2.3.1 Inspeção

O principal propósito da inspeção é determinar se o produto está conforme as especificações. Contudo, existem outros propósitos para a inspeção, sendo os mais importantes: distinguir lotes bons de lotes ruins, distinguir indivíduos de produto bons de indivíduos ruins, determinar se o processo está variando, determinar se o processo está dentro dos limites de especificação, avaliar a capacidade do processo, avaliar a eficiência dos inspetores da qualidade, avaliar um instrumento de medição. As principais técnicas de inspeção usadas no processo de montagem de placas de circuito impresso são: inspeção visual manual, inspeção óptica automática e inspeção raio-X.

- Inspeção visual manual (MVI) ou inspeção humana: As ferramentas que auxiliam na inspeção visual manual variam de uma simples lente de aumento até um microscópio de projeção, sendo que, para uma inspeção geral, um aumento de três a dez vezes é suficiente. Uma boa iluminação é necessária para realçar a junta de solda. Por fim, o equipamento deve ser capaz de variar seu ângulo de visão para uma melhor inspeção das juntas de solda;
- Inspeção óptica automática (AOI): Esta técnica utiliza um sistema de coleta de imagem conectado em um computador para adquirir automaticamente uma

imagem, gravá-la, e então, executar algum tipo de processamento, a fim de fazer uma avaliação em relação a um critério pré-definido;

- Inspeção de raio-X: O uso industrial do raio-X para testes não destrutivos é baseado no princípio de absorção da penetração da radiação. Durante a inspeção, a radiação emitida da fonte passa através da placa de circuito, sendo parcialmente absorvida pelo detector (materiais de diferentes espessuras e densidades irão absorver radiação em diferentes quantidades). O detector por sua vez direciona a imagem, através de um espelho, para uma câmara de vídeo, onde a imagem é digitalizada e enviada ao processador de imagem, a fim de mostrar, ampliar e analisar a imagem. Estas máquinas possuem sistemas de inspeção automático e manual, com tecnologia de visualização de imagem na forma 2D e 3D.

### 2.3.2 Teste

Os testes são necessários para identificar os defeitos na placa de circuito impresso não detectados pela inspeção, evitando assim que um produto não conforme seja entregue ao cliente. Na fabricação de placas de circuito impresso, os testes diferem da inspeção primeiramente pelo fato de utilizarem métodos elétricos no lugar de métodos ópticos. Outra grande diferença é que os testes são utilizados após o processo de montagem ser concluído.

Os principais tipos de testes elétricos em placas de circuito impresso são: testes de circuito e testes funcionais.

- Teste de circuito ou *in-circuit test* (ICT): O ICT é uma técnica usada para verificar o comportamento dos componentes soldados na placa de circuito impresso através da transmissão de sinais de teste. O sistema tradicional utiliza uma “cama-de-pinos” para acessar simultaneamente múltiplos pontos por baixo da placa de circuito impresso;
- Teste funcional: O teste funcional, considerado a primeira geração de testes automáticos, pode ser usado para eliminar os defeitos de montagem e projeto, pois verifica o comportamento dinâmico do circuito. Empregado sempre no final da linha, o teste funcional determina se a placa de circuito impresso montada passou ou falhou. Tipicamente a interface entre o sistema e a placa sob teste é feita através de conectores, onde é simulado o ambiente elétrico final em que a placa será usada.

## CAPÍTULO 3

### REVISÃO DA LITERATURA E ESTADO DA ARTE

Neste capítulo apresentamos a revisão bibliográfica de cada ferramenta do *Lean Manufacturing* que foi aplicada ao estudo, sendo esse embasamento teórico considerado no planejamento das atividades de cada evento *kaizen*.

#### 3.1 Manufatura enxuta (*Lean manufacturing*)

Originário da *Toyota Motor Corporation*, *lean* 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).

De acordo com RADNOR *et al.* (2011) embora conceitualmente simples, não é fácil definir *lean*. O núcleo da filosofia é melhorar continuamente o processo por meio da remoção de valores não agregados ou desperdícios (japonês: *muda*). Porém, o foco somente sobre desperdício restringe o escopo de *lean*, dado que *muda* (desperdício) é somente um dos três conceitos interrelacionados. *Mura* está relacionado a desnivelamento e defende uma demanda estável que resulte em menos variação e em processos mais eficientes e padronizados. *Muri* refere-se à tensão excessiva e argumenta a favor de boas condições de trabalho para prevenir lesões e tensão sobre o trabalhador, o que é um claro fator na redução de absenteísmo. Então, colocando esses três elementos juntos, tem-se a seguinte definição: *lean* é uma prática de gerenciamento baseada na filosofia de processos de melhoria contínua, seja pelo aumento do valor ao cliente ou pela redução de atividades de valor não agregado (*muda*), variações no processo (*mura*) e condições de trabalho inadequadas (*muri*).

Muitas empresas tem buscado entender e aplicar os conceitos de *Lean Manufacturing*, mas muitas implementações ficam aquém das expectativas de longo prazo. Empresas alcançam resultados significativos no primeiro ano do *lean* [...] mas as melhorias estagnam mais cedo ou mais tarde. A razão da estagnação pode ser o foco único sobre a redução dos desperdícios e seus métodos. [...]. O Processo de Melhoria Contínua [...] surge a partir de uma cultura de melhoria (DOMBROWSKI e MIELKE, 2014).

A fim de ilustrar melhor os fundamentos do *lean*, algumas ferramentas foram organizadas em um esquema chamado “A casa do TPS”, conforme mostrado na Figura 3.1.

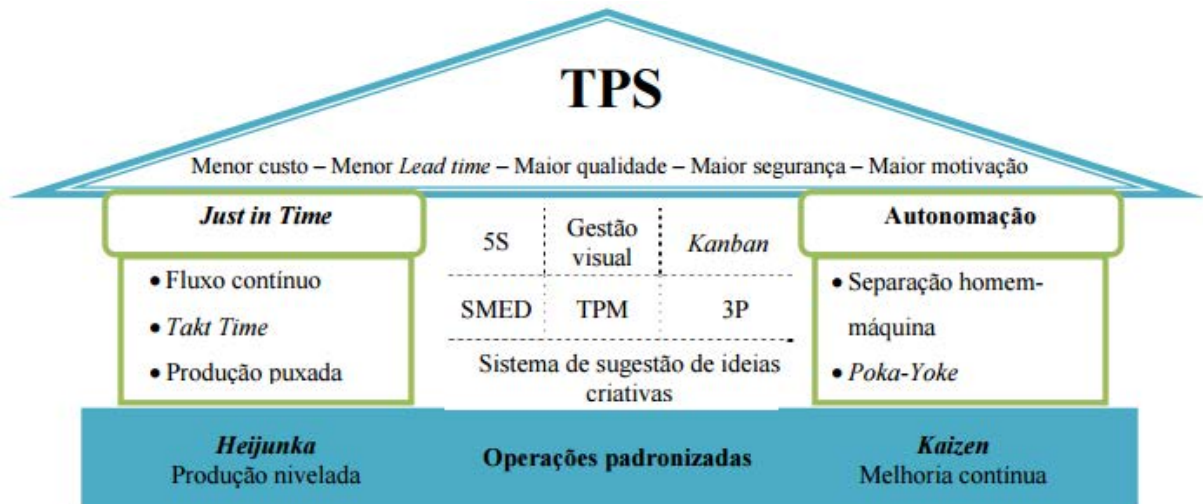


Figura 3.1 – Modelo simplificado para o TPS.

Fonte: GONÇALVES (2009).

### 3.1.1 Os Sete Desperdícios

Como descrito anteriormente o TPS baseia-se em três fundamentos principais, *muda*, *muri* e *mura*, porém o princípio básico é o foco na eliminação de desperdícios, sendo necessário detalhar quais seriam estes desperdícios. Qualquer processo produtivo é composto por atividades que agregam valor (transformação do produto e necessárias sob o ponto de vista do cliente) e atividades que não agregam valor (desperdícios). Um processo enxuto é um processo composto de atividades que agregam valor com a busca contínua da redução dos desperdícios. Veja como SLACK *et al.* (2009) conceitua os tipos de desperdícios:

- Superprodução: Produzir mais do que é imediatamente necessário para o próximo processo na produção é a maior das fontes de desperdício, de acordo com a Toyota;
- Tempo de espera: Eficiência de máquina e eficiência de mão-de-obra são duas medidas comuns, que são largamente utilizadas para avaliar os tempos de espera de máquinas e mão-de-obra, respectivamente. Menos óbvio é o montante de tempo de espera de materiais, disfarçado pelos operadores,



ocupados em produzir estoque em processo, que não é necessário naquele momento;

- Transporte: A movimentação de materiais dentro da fábrica, assim como a dupla ou tripla movimentação do estoque em processo, não agrega valor. Mudanças no arranjo físico que aproxima os estágios do processo, aprimoramento dos métodos de transporte e na organização do local de trabalho, podem reduzir desperdícios;
- Processo: No próprio processo, pode haver fontes de desperdício. Algumas operações existem apenas em função do projeto ruim de componentes ou manutenção ruim, podendo, portanto, ser eliminadas;
- Estoque: Todo o estoque deve tornar-se um alvo para eliminação. Entretanto, somente podem-se reduzir estoques pela eliminação de suas causas;
- Movimentação: Um operador pode parecer ocupado, mas algumas vezes nenhum valor está sendo agregado pelo trabalho. A simplificação do trabalho é uma rica fonte de redução de desperdício de movimentação;
- Produtos defeituosos: O desperdício de qualidade é normalmente bastante significativo em operações. Os custos totais da qualidade são muito maiores do que tradicionalmente têm sido considerados, sendo, portanto, mais importante atacar as causas de tais custos.

Não basta apenas conhecer conceitualmente os tipos de desperdícios, é preciso ter prática na identificação. Quando uma pessoa inicia seu estudo no *Lean Manufacturing*, ela também muda sua maneira de ver os processos, ela aprende a enxergar... Após visualizar os desperdícios é necessário definir e realizar melhorias para eliminá-los ou reduzi-los, fazendo isso continuamente teremos processos com maior valor agregado.

### **3.1.2 Kaizen**

De acordo com ABDULMOUTI (2015) *kaizen* refere-se à filosofia ou práticas de melhorias contínuas em processos de manufatura, engenharia e gestão de negócios. As melhorias são geralmente realizadas com pouco ou nenhum custo e sem técnicas sofisticadas.

*Kaizen* não é um método pra reduzir custos, é um método pra prover melhorias nas saídas e resultados, mas frequentemente por meio da padronização, melhorias financeiras são um produto desse processo (IANNETTONI *et al.*, 2011).

Muitas organizações promovem eventos *kaizen* com o intuito de incentivar seus colaboradores a melhorar continuamente seus processos. Segundo GLOVER *et al.* (2011) eventos *kaizen* tem sido amplamente usados para produzir mudanças positivas nos resultados dos negócios e nos recursos humanos.

Um evento *kaizen* é um projeto de melhoria focado e estruturado, usando um time multifuncional dedicado para melhorar uma área alvo de trabalho, com metas específicas em um curto espaço de tempo (FARRIS *et al.*, 2008). Segundo MELNYK *et al.* (1998) esses eventos ocorrem entre três e cinco dias. Suporte da liderança é essencial para o sucesso (GERSHENGORN *et al.*, 2014). Os líderes proverão todo o apoio e recursos necessários ao time, para que as melhorias sejam realizadas.

Ao selecionar uma equipe de *kaizen* é importante identificar todos os *stakeholders*. Os *stakeholders* são todos os grupos afetados pelo processo que será melhorado. Embora seja tentador formar uma simples "aliança dos que concordam", é igualmente importante ter pessoas resistentes potenciais envolvidas no processo. Tais indivíduos podem servir como "advogados do diabo" para apontar potenciais falhas na metodologia. A presença de *coaching* em eventos *kaizen* é importante, especialmente nos primeiros eventos e sempre nos de maior escala (KNECHTGES e DECKER, 2014).

### **3.2 Gerenciamento Visual (*Visual Management*)**

A gestão visual nas empresas tornou-se uma ferramenta essencial para melhorias de processos, deixando as condições normais e anormais visíveis para o padrão ser facilmente seguido.

De acordo com LEAN INSTITUTE BRASIL (2003) Gerenciamento Visual é colocação em local fácil de ver de todas as ferramentas, peças, atividades de produção e indicadores de desempenho do sistema de produção, de modo que a situação do sistema possa ser entendida rapidamente por todos os envolvidos.

Segundo CARNEIRO (2011) no Sistema de Produção Enxuta, é vital que cada processo seja atendido sempre que solicitado, evitando assim que toda a cadeia produtiva seja interrompida de forma inesperada. Para atingir com sucesso aos prazos de atendimento sem ser prejudicada com a redução dos estoques, a Toyota desenvolveu um sistema de gerenciamento pelos olhos, onde tudo que está acontecendo no setor produtivo é facilmente percebido por todos os funcionários.

Segundo JONES (2011) “aprender a enxergar” é o passo inicial para “aprender a agir”. A gestão visual ajuda a eliminar algumas causas de grandes problemas

ocasionados pela falta de comunicação e falta de ferramentas visuais, como o esquecimento de informações, má interpretação, má compreensão, e a perda de vista do que realmente importa.

As mudanças físicas que vêm com a execução de ferramentas *lean* de compreensão básica e fácil são o primeiro fator de sucesso para implementação do TPS. O objetivo de iniciar com atividades como VSM, 5S e Gerenciamento Visual melhoram a estação de trabalho e sua ergonomia, o que traz benefícios direto aos trabalhadores. Como resultado, as pessoas tornam-se mais engajadas com a iniciativa e ajudam a disseminá-la para outras áreas da planta. O segundo fator de sucesso é a padronização do trabalho e, especificamente, o fato disto ser feito pelos próprios colaboradores com a ajuda e suporte dos demais departamentos, sendo o objetivo aumentar o sentimento de propriedade, acompanhamento e melhoria contínua, ou seja, aumentar o comprometimento (MARTÍNEZ-JURADO *et al.*, 2014).

VISWANATH (2014) explica alguns exemplos de gerenciamento visual utilizados:

- Quadro de tarefas para acompanhamento diário: contem três colunas: aberto, em progresso e feito. Cartões de tarefas são fixados no início e são movidos diariamente durante a reunião de acompanhamento. Isso ilustra claramente o progresso do time;
- Gráficos *burndown* (contagem regressiva): faz uma representação das horas remanescentes para conclusão de cada atividade. São afixados nos quadros de tarefas e atualizados diariamente;
- *Cockpit* do projeto: é uma representação visual do *status* de todo o projeto como requisitos, defeitos, papéis e responsabilidades. Qualquer um que passar caminhando poderá ter um status completo do projeto em um único olhar.

As ferramentas visuais conscientizam, fortalecem e habilitam todos os funcionários para serem os donos do processo e torná-lo cada vez melhor. Os controles visuais são o melhor caminho para padronizar melhorias provenientes de *kaizen* auxiliados da ferramenta 5S.

### **3.2.1 5S**

O entendimento e uso do programa 5S é um princípio de regras básico para redução de desperdícios, sendo parte integrante do gerenciamento visual da fábrica. Veja como SLACK *et al.* (2009) conceitua os 5 sentidos:

- Separe (*Seiri*). Elimine o que não é necessário e mantenha o que é necessário;
- Organize (*Seiton*). Posicione as coisas de tal forma que sejam facilmente alcançadas sempre que necessário;
- Limpe (*Seiso*). Mantenha tudo limpo e arrumado; nenhum lixo ou sujeira na área de trabalho;
- Padronize (*Seiketsu*). Mantenha sempre a ordem e a limpeza – arrumação perpétua;
- Sustente (*Shitsuke*). Desenvolva o compromisso e o orgulho em manter padrões.

Os 5Ss podem ser pensados como um simples faxina para organizar áreas de trabalho que enfatizem ordem visual, organização, limpeza e padronização. Isso ajuda a reduzir todos os tipos de desperdícios relacionados à incerteza, à espera, à busca por informações relevantes e assim por diante. Ao eliminar o que não é necessário e ao deixar tudo claro e previsível, a desordem é reduzida, os itens necessários estão sempre nos mesmos lugares e o trabalho é mais fácil e mais rápido.

### **3.3 Jidoka**

Sakichi Toyoda, fundador da Toyota, industrial nascido em 1867, construiu máquinas de tecelagem. A desvantagem de qualquer máquina que funciona por si mesma quando ligada é que ela não para quando uma situação anormal ocorre, o que leva à acumulação de peças com defeitos. Durante o último século com o desenvolvimento industrial, a fim de eliminar o risco de produzir produtos defeituosos em massa devido ao aumento da sua própria produção, Sakichi inventou o conceito de "*Jidoka*", o qual significa "automação com espírito humano", sendo traduzido como autoativação. Taiichi Ohno disse: "O *Jidoka* dá inteligência para a máquina." (AUDENINO, 2012).

*Jidoka* é a capacidade das linhas de produção serem paradas, eventualmente, quando os problemas ocorrerem, como mal funcionamento do equipamento, problemas de qualidade ou de trabalho atrasado, quer seja por máquinas que têm a capacidade de detectar anormalidades ou pelos funcionários. Visa prevenir produção de quaisquer produtos defeituosos por parar a linha se houver um caso de irregularidade, então somente produtos sem defeitos são enviados para o processo seguinte. Por isso, a qualidade deve ser construída em cada processo dos produtos, e não há necessidade de

dedicar operadores apenas para monitorar as máquinas (economia de mão de obra) (ABDULMOUTI, 2015).

Os passos básicos de *jidoka* são: (1) detectar o problema, (2) parar o processo, (3) restaurar o processo para a função adequada, (4) investigar a causa raiz do problema, e (5) instalar contramedidas. Cada trabalhador da Toyota tem o poder de parar a linha de montagem. De um modo geral, parar linha de montagem é muito caro e é normalmente evitado. Inicialmente, as linhas onde os trabalhadores podem parar o processo apresentam menor produção. Como paradas levam para resolução de problemas, com o passar do tempo a linha terá menos interrupções e melhor qualidade em comparação com uma linha em que os trabalhadores não têm o poder de criar paralisações (GROUT e TOUSSAINT, 2010).

### **3.3.1 Poka-Yoke**

Ainda nesse contexto de *jidoka*, é muito apropriado falarmos sobre *poka-yoke*. A linha entre *poka-yoke* e *jidoka* é larga e cinza. Uma variedade de opiniões sobre esses termos poderia levar alguém a pensar que *poka-yoke* é um subconjunto do *jidoka*, ou vice-versa. *Jidoka* e *poka-yoke* estão relacionados com parar o processo. *Jidoka* para a linha, a fim de resolver os problemas. *Poka-yoke* interrompe o processo, a fim de restaurar o processo aos seus parâmetros de funcionamento apropriados, ou para remover as causas de defeitos. *Poka-Yoke* pode ser uma das medidas tomadas em resposta a problemas que surgiram com o *jidoka* (GROUT e TOUSSAINT, 2010).

*Poka-yoke* é uma gíria japonesa mais freqüentemente traduzida como "à prova de erros". *Poka* significa erros involuntários. *Yoke* é uma forma de *yokeru*, que significa evitar (SHINGO, 1986).

TSUDA (1993) criou uma tipologia alternativa para "à prova de erros" que foi dividida nas seguintes categorias: prevenção de erros, detecção de erros, prevenção da influência de erros, e à prova de erros no ambiente de trabalho. Prevenção de erro é a forma mais forte de à prova de erros, ela evita a ocorrência de erros. Detecção de erros é apenas um alerta aos trabalhadores sobre um erro já ocorrido. Prevenir a influência de erros significa mitigar o impacto dos erros já ocorridos. Prevenção de erros no ambiente de trabalho significa reduzir a desordem, confusão e ambigüidade onde o trabalho é feito.

### 3.3.2 *Andon*

*Andon* é um indicador visual de parada de linha, informando a localização e a natureza da situação problemática em um passar de olhos (OHNO, 1988). Esse conceito foi, inicialmente, criado pelos japoneses para *jidoka* (SUBRAMANIAM, 2009). *Andons* são usados pela Toyota e foram rapidamente adotados por muitas empresas de manufatura japonesas e americanas (LI e BLUMENFELD, 2006).

*Andons* podem ser utilizados para controlar a qualidade da produção e melhorar os processos de detecção de defeitos. Usam um alarme para alertar os trabalhadores quando há uma alteração no status. Quando um alarme é ativado, ele diretamente indica um problema em uma linha de produção particular. Um funcionário pode parar a linha de produção e chamar por ajuda para ajustar a máquina ou consertar um defeito de qualidade (LI e BLUMENFELD, 2006).

## 3.4 Balanceamento de linha

O balanceamento de linha de montagem foi proposto pela primeira vez já em 1961 (HELGESON, 1961). Significa o nivelamento ou distribuição de operações de trabalho para estações de trabalho e carga de trabalho em todas as atividades ao longo da linha de produção de tal forma que esta distribuição seja ótima e remova gargalos (ZUPAN e HERAKOVIC, 2015). Faz-se necessário adicionar aqui alguns conceitos que contribuem para o entendimento do balanceamento de linha:

- Fluxo de manufatura: O princípio do fluxo de manufatura é produzir um item de cada vez, a uma taxa igual ao tempo de ciclo, a implementação bem sucedida do fluxo de fabricação consiste de operador multi-função, tempo de ciclo padronizado e o equipamento / máquina deve ser padrão menos caro e amigável ao usuário, dentre outras coisas (SUNDAR *et al.*, 2014);
- Sistema empurrado e sistema puxado: Em muitas empresas o processo de montagem é direcionado pelo sistema “empurrado”, baseado na previsão de demanda. Neste caso, os produtos são finalizados e enviados para a próxima estação de trabalho ou no caso da estação final são empurrados para o armazém de produtos acabados. No sistema “puxado”, o movimento de trabalho é baseado nos requerimentos do próximo posto de trabalho. Cada estação de trabalho subsequente puxa (demanda) a saída da estação anterior quando necessário. A próxima estação determina quando e quanta saída é

requisitada. A saída da estação final é puxada pela demanda do cliente ou pelo MPS (*Master Production Schedule*) (ZUPAN e HERAKOVIC, 2015);

- Tempo de ciclo (*Cycle Time* – CT): O CT de uma uma linha de montagem é pré-determinado por uma taxa de produção pretendida de forma que a quantidade desejada do produto final seja produzida dentro de um determinado período de tempo (GRZECHCA, 2011). De acordo com o LEAN INSTITUTE BRASIL (2003) é a frequência com que uma peça ou produto é completado por um processo, conforme cronometrado por observação;
  - Tempo de ciclo da máquina: O tempo que uma máquina leva para completar todas as operações em uma peça (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2003);
  - Tempo de ciclo do operador: Tempo que um operador leva para completar todas as tarefas de um trabalho em uma estação antes de repeti-las, conforme cronometrado por observação (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2003);
- *Lead time* de produção (tempo total de ciclo do produto): segundo LEAN INSTITUTE BRASIL (2003) é o tempo requerido para um produto se movimentar por todas as etapas de um processo, do início ao fim;

$$\text{Tempo total de ciclo do produto} = \sum \text{Tempos de ciclo} \quad (3.1)$$

- *Takt time*: O tempo *takt* foi usado pela primeira vez como ferramenta de gerenciamento de produção na indústria aeronáutica alemã na década de 1930 (*takt* é um termo alemão que se refere a um intervalo preciso de tempo como por exemplo, na regência de uma orquestra). Era o intervalo em que uma aeronave era transportada à estação de produção seguinte (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2003). Refere-se à frequência com que uma peça ou componente deve ser produzido para atender a demanda dos clientes. Depende da demanda de produção mensal (SUNDAR *et al.*, 2014). RAHANI e MUHAMMAD (2012) sugerem que essa medição é importante devido aos custos e fatores de ineficiência de uma produção acima da demanda, o que inclui armazenamento e recuperação de produtos acabados, compras

prematuras de matérias-primas, gastos prematuros sobre os salários, o custo de oportunidades perdidas para produzir outros produtos e os custos de capital para o excesso de capacidade;

$$Takt\ time = \frac{Tempo\ disponível\ total}{Demanda} \quad (3.2)$$

- Processo gargalo: é identificado por determinar o CT máximo da linha de produção. A capacidade máxima da linha é definida pelo CT do posto do gargalo. Se  $CT\ gargalo < takt\ time$ , então a demanda dos clientes será atendida, se  $CT\ gargalo > takt\ time$ , então as demandas dos clientes não serão atendidas (SUNDAR *et al.*, 2014);

$$Capacidade\ máxima\ da\ linha = \frac{Tempo\ disponível}{CT\ gargalo} \quad (3.3)$$

- Quantidade de recursos: é a quantidade de recursos necessários para executar as atividades do processo.

$$Quantidade\ de\ recursos = \frac{\sum\ Tempos\ de\ ciclo\ individuais}{Takt\ time} \quad (3.4)$$

### **3.5 Total Productive Maintenance (TPM)**

TPM é um sistema de manutenção e reparo de produção no qual todo o pessoal de todas as equipes participam. Esse sistema é constituído geralmente por manutenção de equipamentos, manutenção preventiva, melhoria de manutenção e manutenção posterior (LI e LIU, 2010). De acordo com NHLABATHI e KHOLOPANE (2013) TPM aborda o conceito de que a produtividade pode ser melhorada se os trabalhadores realizam inspeções diárias, lubrificação, troca de peças, reparação, resolução de problemas, *checks* de acuracidade e assim por diante em seu próprio equipamento. A finalidade é alcançar a meta de "manter seu próprio equipamento em boas condições por si mesmo" então as máquinas são mantidas em boa condição operacional para a produzir. Ele direciona a manutenção planejada, assim como a manutenção autônoma, as quais determinam os requerimentos de manutenção das máquinas em seu contexto



operacional. O objetivo de qualquer programa de TPM é melhorar a produtividade e a qualidade com a moral do funcionário aumentada e a satisfação no trabalho.

AHUJA e KHAMBA (2008), resumiu os oito pilares para o sucesso da implementação do TPM como mostrado na Figura 3.2.

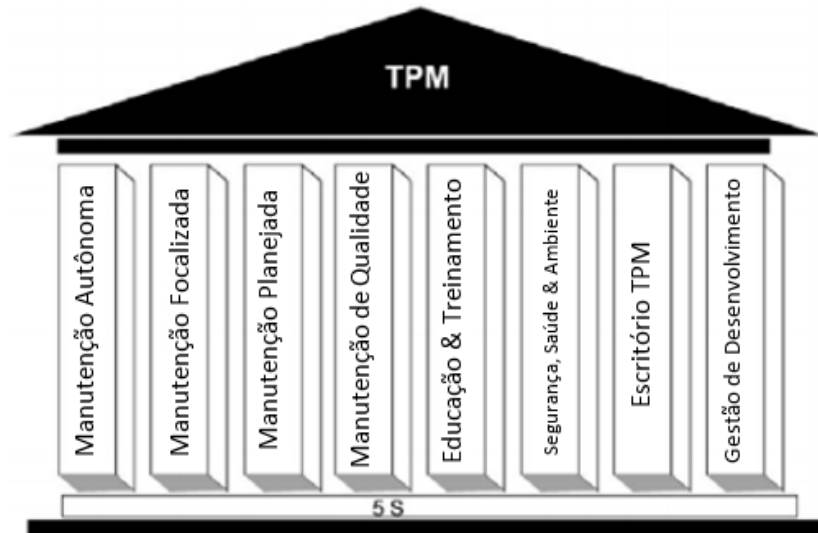


Figura 3.2 – Pilares do TPM.

Fonte: AHUJA e KHAMBA (2008).

Um resumo das definições de SINGH *et al.* (2013) sobre alguns pilares é apresentado a seguir:

- Manutenção Autônoma: Este pilar é baseado no conceito de que se os operadores cuidarem de pequenas tarefas de manutenção isso liberará os funcionários especializados em manutenção para se concentrarem em atividades de maior valor agregado e reparos técnicas;
- Manutenção Planejada: Tem a finalidade de ter máquinas e equipamentos sem problemas, sem qualquer quebra e produzindo produtos com nível de qualidade total que satisfaça o cliente;
- Manutenção de Qualidade: É voltada para a satisfação do cliente através da entrega de produtos de mais alta qualidade. Por meio de foco em melhorias para eliminação de defeitos depois da identificação dos parâmetros das máquinas que afetam a qualidade do produto;
- Educação & Treinamento: A melhoria contínua só é possível através da melhoria contínua de conhecimentos e habilidades das pessoas em todos os diferentes níveis;

- Segurança, Saúde & Ambiente: O objetivo deste pilar é criar um ambiente de trabalho seguro que não seja danificado pelo processo ou procedimentos. A importância extrema da segurança é dada para o gerente da planta – o departamento de segurança cuida das funções relacionadas com a segurança;
- Escritório TPM: São usados para melhorar a produtividade e a eficiência das funções administrativas. Isso inclui análise de processos e procedimentos que podem ser automatizados.

### **3.6 *Single Minute Exchange of Die (SMED)***

Uso compartilhado de linhas SMT para produção de vários modelos é uma prática que visa utilização máxima da capacidade das máquinas, flexibilização para atendimento ao cliente, sendo o tempo gasto com o *set up* crítico nesse processo (UHLMANN *et al.*, 2015).

Há três razões principais para que as iniciativas de redução de *set up* sejam apropriadas para qualquer empresa: aumentar a flexibilidade por conduzir mais *changeovers* e reduzir o tamanho dos lotes; aumentar a capacidade nos gargalos com o intuito de maximizar a disponibilidade da linha para a produção; e minimizar o custo, pois os custos de produção são relacionados à eficiência do equipamento (GOUBERGEN e LANDEGHEM, 2002).

Não basta apenas manter as máquinas em funcionamento, temos que produzir as quantidades necessárias conforme os prazos solicitados pelo cliente. Segundo DEIF e ELMARAGHY (2014) balancear uma demanda em planejamento de produção com produtos variados é um aspecto do desafio de gerenciamento de variedade.

#### **3.6.1 *Set up, changeover, troca rápida de ferramentas (TRF)***

A metodologia TRF foi implantada em 1950, pela primeira vez, em uma indústria japonesa propondo aumento da eficiência. As melhorias implantadas levaram à redução do tempo de troca.

SEIDEL (2003) define *set up* como uma ação de troca e ajuste de ferramentais e dispositivos de um equipamento ou máquina que esteja produzindo um modelo de peça qualquer e passa a produzir um modelo distinto.

Para SHINGO (2000) a TRF possibilita uma resposta rápida às variações da demanda, criando condições próprias para redução do tempo de atravessamento (*lead*

*time*). E SINGH e KHANDUJA (2010) afirmam que uma das formas para o aumento da eficiência no processo produtivo é obtida por meio da redução do *set up* das máquinas.

### **3.6.2 *Single Minute Exchange of Die (SMED)***

A teoria de SMED dispõe de um conjunto de técnicas que possibilitam operações de *set up* em equipamentos com tempo abaixo de dez minutos (SHINGO, 1985).

No primeiro estágio realiza-se o mapeamento do processo, no qual o objetivo é ter a visão global de todas as atividades de *set up* inclusas no processo de troca de matrizes. Neste estágio é realizado o levantamento de dados sobre o procedimento de *set up* atual, através de entrevistas com os operadores das máquinas e supervisores de linha, então as operações de *set up* são decompostas em uma série de ações e os tempos padrões de cada operação são determinados (ALMOMANI *et al.*, 2013).

Para o segundo estágio do SMED as atividades de troca de modelo são separadas em *set up* interno e externo. O *set up* interno caracteriza-se pelas atividades executadas enquanto a máquina está desligada, por sua vez o *set up* externo inclui as atividades que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento. Shingo recomenda utilizar três diferentes ferramentas: *Check list* (lista de todos os recursos essenciais); Checagem de funções (mostra a disponibilidade e condição de todas as ferramentas necessárias para o *set up*); Preparação de ferramentas e componentes previamente ao início das tarefas de *set up*.

No terceiro estágio, as atividades de *set up* interno são convertidas em atividades externas, a melhoria nesta fase pode ser realizada modificando-se os equipamentos, preparando previamente as condições operacionais e descartando algumas configurações.

No último estágio, todos os aspectos de operação de *set up* são simplificados. A melhoria do *set up* externo inclui atividades que auxiliam o trabalhador a executar tarefas do *set up* de maneira mais adequada, como é o caso de eliminar as perdas associadas a procura, modificação e substituição de materiais e ferramentas. A melhoria do *set up* interno pode ser introduzida com a execução de mais de um *set up* por vez, quando possível, investindo em suportes funcionais para fixação rápida, utilizando controles remotos e finalmente eliminando as necessidades de ajustes (KARASU *et al.*, 2014; ALMOMANI *et al.*, 2013).

### 3.7 Produção *just-in-time* (JIT)

Pesquisas em vários artigos indicam que 60% dos desperdícios no sistema de produção são devido à estoque. Esses estoques são classificados em matérias-primas, *work-in-process* (WIP) e produtos acabados. Aumentos de matérias-primas, WIP ou produtos acabados levam a uma menor rotatividade de estoque. Superprodução de produtos além do plano estabelecido fazem os estoques de produtos acabados esperarem muito tempo no armazém ou talvez que nunca sejam vendidos. A redução de estoque melhora os níveis de qualidade, taxas de defeitos, taxa de entrega, prazo de entrega e satisfação do cliente (SUNDAR *et al.*, 2014). DEMETE *et al.* (2011) sugeriu que o WIP é controlado através da implementação de linha celular, montagem em linha dedicada ou fabricação dos produtos seguindo pedidos do cliente, reduzindo o estoque de produto acabado, isso significa que os produtos vão para os clientes sem demoras além da esperada.

*Buffer* ou pulmão são produtos mantidos normalmente na parte final do fluxo de valor em uma planta ou processo, para proteger o cliente em caso de aumento repentino da demanda no curto prazo, que exceda a capacidade de produção (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2003). *Buffer* viola o sistema *lean*, mas na prática *buffer* de segurança é necessário para o caso de flutuações no sistema (SUNDAR *et al.*, 2014).

Segundo LEAN INSTITUTE BRASIL (2003) JIT é o sistema de produção que produz e entrega somente o necessário, quando necessário e na quantidade necessária. O JIT é formado por três elementos operacionais: o sistema puxado, o *takt time* e o fluxo contínuo. Tem por objetivo a total eliminação dos desperdícios para atingir a melhor qualidade possível, o custo mais baixo possível, o menor tempo de produção e o menor *lead time* de entrega. A ideia de JIT é creditada a Kiichiro Toyota, fundador da *Toyota Motor Corporation*, durante os anos de 1930.

Dentro de sistemas JIT tradicionais, onde os componentes são ordenados em uma base *just-in-time*, os benefícios são ganhos sob a forma de baixo estoque, eliminação de desperdícios, melhoria da qualidade e melhoria em toda a eficiência organizacional (NAYAB, 2010).

## CAPÍTULO 4

### METODOLOGIA APLICADA À PESQUISA

Neste capítulo a metodologia utilizada para preparação e realização dos eventos *lean* é descrita. O estudo de caso foi orientado pela ferramenta DMAIC.

#### 4.1 Contextualização

Havia uma orientação *top-down* do time corporativo para implantação do *Lean Six Sigma* na empresa, o trabalho já havia começado, porém há passos lentos, os funcionários não tinham “comprado” a ideia, sendo essa mesma dificuldade apresentada nas demais fábricas de outras localidades. Segundo CAMPANINI *et al.* (2013): “A melhoria contínua é promovida e somente tem seu sucesso garantido com a participação ativa do nível operacional, pois as melhorias são efetivas quando implantadas no chão de fábrica”.

De acordo com YIN (2014): “O estudo de caso é a estratégia escolhida ao se examinarem acontecimentos contemporâneos, mas quando não se podem manipular comportamentos relevantes, [...] acrescenta duas fontes de evidências [...]: observação direta dos acontecimentos que estão sendo estudados e entrevistas das pessoas neles envolvidas”.

Esse trabalho foi construído pela observação direta dos acontecimentos e entrevistas com os operadores de produção, além da coleta de dados de indicadores usados para medir o nível de envolvimento dos funcionários com o *lean*. Usamos o método do estudo de caso com dados quantitativos, orientado pelo uso da ferramenta DMAIC.

A abordagem DMAIC do *Six Sigma* é uma ferramenta que funciona como um filtro para passar de um problema complexo com variáveis não controladas para uma situação onde a qualidade é controlada. Este método segue cinco passos necessários para obter resultados confiáveis, chamado pela sigla DMAIC para: Definir, Medir, Analisar, Melhorar ou Inovar e Controlar ou Checar (AYADI YOUSOUF *et al.*, 2014). A Tabela 4.1 apresenta o resumo:

Tabela 4.1– Visão Geral do DMAIC.

D	Definir os objetivos da atividade de melhoria e incorporá-los em um Termo de Abertura do Projeto. Obter patrocínio e reunir a equipe.
M	Medir o sistema existente. Estabelecer indicadores válidos e confiáveis para ajudar a monitorar o progresso em direção aos objetivos definidos na etapa anterior.
A	Analisar o sistema para identificar formas de eliminar a lacuna entre o desempenho atual do sistema ou processo e o objetivo desejado.
I	Melhorar o sistema. Seja criativo para encontrar novas maneiras de fazer com que as coisas fiquem melhores, mais baratas ou mais rápidas.
C	Controlar o novo sistema. Institucionalize o sistema melhorado através da modificação dos sistemas de recompensa e incentivo, procedimentos, instruções de operação e outros sistemas de gerenciamento.

Fonte: Adaptado de PYZDEK e KELLER (2011).

## 4.2 Definição da equipe

Além das técnicas, ferramentas e processos estabelecidos pela Toyota, se desejar-se alcançar o mesmo nível de eficiência operacional, tem que se concentrar na cultura corporativa, treinamento de funcionários, e estilo de gerenciamento participativo dedicado baseado na confiança em em consideração dos colaboradores. Como resultado, o gerente naturalmente deixa espaço para iniciativas de sua equipe e recebe de volta um forte envolvimento do time (AUDENINO, 2012).

Seria impossível desenvolver um projeto como este sem o envolvimento de pessoas, gente é o principal recurso para aplicação de qualquer uma das ferramentas aqui apresentadas. Desse modo, para facilitar a condução de todos os eventos, foi montado um comitê com representantes de todos os departamentos, ilustrado na Figura 4.1. Essa equipe participou de todas as etapas e, a maioria deles liderou algum evento, de acordo com o grau de conhecimento de determinados processos pela relação com sua área de atuação.

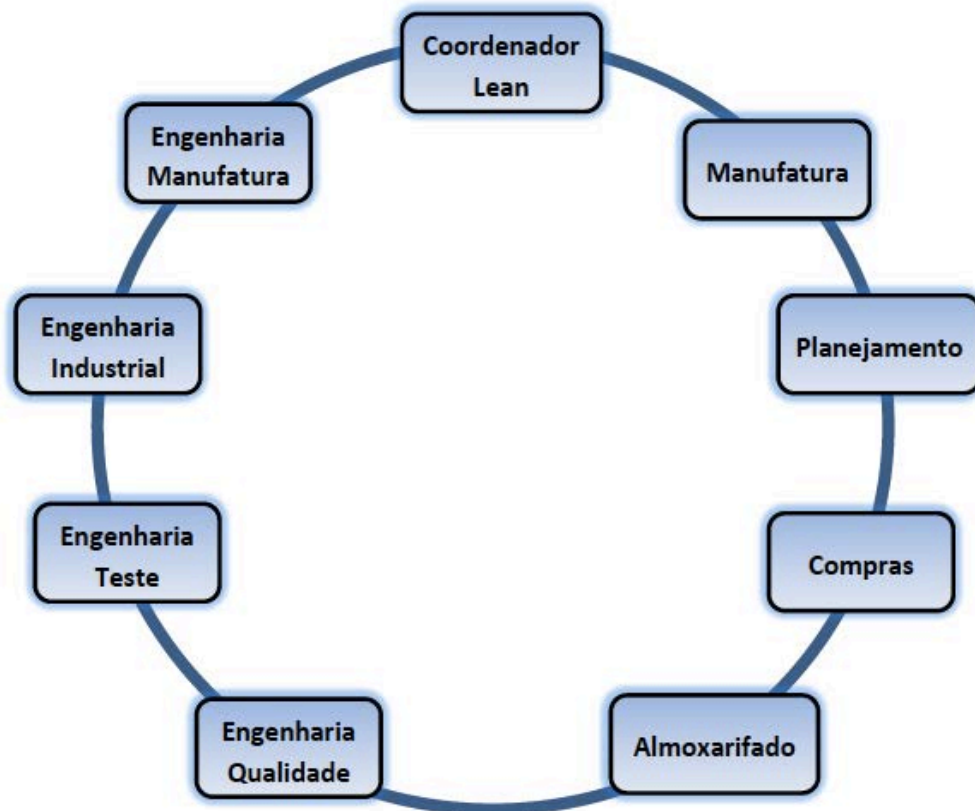


Figura 4.1 – Comitê *lean six sigma*.

A participação dos funcionários diretos das linhas: operadores, testadores, inspetores, revisores, alimentadores, técnicos e líderes, foi fundamental para o resultado positivo e a manutenção das melhorias realizadas em cada etapa. O envolvimento de todos fez com que estes sentissem-se responsáveis pelas melhorias, motivando-os no compromisso de manter as boas práticas iniciadas durante os eventos. Eles foram reconhecidos em cada evento, por meio de certificado de participação. A Figura 4.2 ilustra um desses momentos.



Figura 4.2 – Grupo de colaboradores reconhecidos por sua contribuição com o *lean*.

### 4.3 Avaliação dos riscos

A gestão de risco pode ser definida como o processo de correr riscos calculados, reduz a probabilidade de que uma perda irá ocorrer e minimiza a escala da perda se ela ocorrer (CHURCHILL, 2001). O objetivo principal do processo de gerenciamento de risco é reduzir o efeito do risco sobre os objetivos do projeto e, assim, melhorar a tomada de decisão (ISSA, 2013). Ele inclui tanto a prevenção de possíveis problemas, como a detecção precoce de problemas reais quando eles ocorrem (CHURCHILL, 2001).

A gestão de riscos é importante quando ocorrem mudanças estruturais e organizacionais, como a implantação da metodologia *lean* (GODINHO FILHO e FERNANDES, 2004). Ao implantar a metodologia *lean*, as empresas devem estar cientes e preparadas para os riscos associados (SCHERER e RIBEIRO, 2013).

Faz parte de qualquer planejamento robusto, a avaliação de riscos e tomada de ações para mitigar ou evitar contra-tempos que impeçam a execução do plano. O desafio é prever ocorrências de fatos que podem prejudicar o sucesso do estudo ou até mesmo atrasar a programação.

O comitê *lean* reuniu-se e, por meio de *brainstorming*, relacionou vários riscos que poderiam impedir o sucesso do projeto. A Tabela 4.2 apresenta uma síntese de tudo o que foi discutido pelo comitê.

Tabela 4.2 – Resumo de riscos e ações.

Risco	Ação
Não cumprir o cronograma.	1) Definir prazo para cada atividade; 2) Compartilhar cronograma com o time;
Falta de comprometimento do comitê.	Treinar, <i>coach</i> , comunicar, escalar.
1) Falta de interesse dos colaboradores diretos; 2) Dificuldade de envolver os colaboradores de todos os turnos; 3) Uso de operadores temporários. Absentismo.	1) Treinar, <i>coach</i> nos líderes de produção; 2) Planejar eventos no horário comercial, não programar produção na linha neste período; 3) Não usar operadores temporários nessa linha; 4) Reconhecer a participação dos funcionários.
Mudança de <i>layout</i> da produção.	Refazer evento de gerenciamento visual.
Coordenador de <i>lean</i> sair da empresa.	Gerente <i>lean</i> assume o programa.
Mudança no quadro de líderes de produção.	1) Treinar, <i>coach</i> nos líderes de produção; 2) Evitar mudança de líderes até que todos os eventos sejam aplicados.
Falta de recurso financeiro.	Planejamento do orçamento.



## 4.4 Plano de comunicação

KOTTER (1995) considera a comunicação como um elemento chave para a renovação do sucesso organizacional. Em seu modelo de transformação organizacional, os líderes devem usar todos os veículos possíveis para se comunicar, por exemplo, visão, estratégia e resultados. TRACEY e FLINCHBAUGH (2006) também enfatizam a relevância da comunicação organizacional na conversão *lean*.

Como time, o comitê reuniu-se para definir como fazer a comunicação com todos as partes interessadas e também quais as mensagens seriam transmitidas. Por meio de *brainstorming* várias ideias foram apresentadas. A Tabela 4.3 apresenta algumas formas de comunicação:

Tabela 4.3 – Formas de comunicação utilizadas.

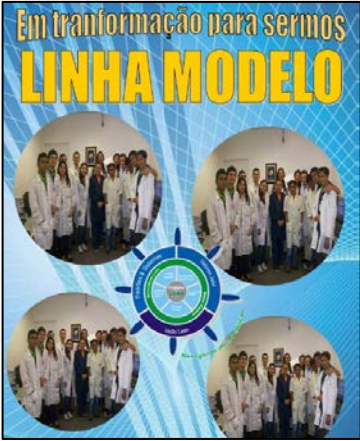
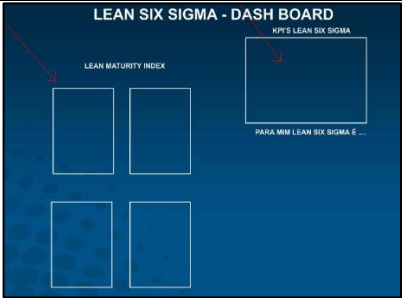


Meio de Comunicação	Motivo	Evidência
Banner	Utilizado para identificação da linha onde a maioria das ferramentas foram aplicadas, chamada linha modelo.	
Quadro <i>lean</i>	Este quadro foi usado para contar a história de transformação da linha. Eram afixados informativos com as atividades desenvolvidas em cada fase e a tendência de evolução das métricas.	
Crachá conceitos <i>lean</i>	Cada colaborador envolvido com este projeto recebeu um informativo com conceitos sobre os 7 desperdícios, 5S e os 10 paradigmas, no mesmo formato do crachá, para ser usado em conjunto com este.	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p><b>7 DESPERDÍCIOS</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. TRANSPORTE: Movimento desnecessário de material.</li> <li>2. ESTOQUE: Estoques maiores que a demanda para um sistema puxado controlado.</li> <li>3. MOVIMENTAÇÃO: Movimento desnecessário do operador.</li> <li>4. ESPERA: Espera de matéria-prima ou peças do posto anterior.</li> <li>5. SUPER PRODUÇÃO: Produzir além das necessidades do próximo processo. Por forma de desperdício.</li> <li>6. SUPER PROCESSAMENTO: Fazer ou excesso de informação.</li> <li>7. DEFeitos: Insucesso, retrabalho e refugo.</li> </ol> <p><b>PROGRAMA SEGURANÇA+5S</b></p> <p><b>SENDO SEGURANÇA:</b> Segurança em 2º lugar.</p> <p><b>SENDO UTILIZAÇÃO:</b> Utilizar somente o que for necessário.</p> <p><b>SENDO ORGANIZAÇÃO:</b> Manter os postos sempre organizados.</p> <p><b>SENDO LIMPEZA:</b> Limpeza é dever de todos.</p> <p><b>SENDO PADRONIZAÇÃO:</b> Cada coisa no seu lugar.</p> <p><b>SENDO DISCIPLINA:</b> Seguir normas e procedimentos.</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p><b>10 PARADIGMAS</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Foco de longo prazo e com propósito.</li> <li>2. Padrões viabilizam a melhoria contínua.</li> <li>3. Deixe os problemas visíveis.</li> <li>4. Pare e conserte o problema.</li> <li>5. Planeje com calma e aja rapidamente.</li> <li>6. Pessoas são ativos da empresa.</li> <li>7. O líder é o professor.</li> <li>8. Veja você mesmo na fábrica (GEMBA).</li> <li>9. Por quê? Por quê? Por quê? Por quê? Por quê?</li> <li>10. Todos resolvem o problema.</li> </ol>  </div> </div>

Tabela 4.4 – Continuação.

<p>Totem conceitos <i>lean</i></p>	<p>Este totem foi usado por todas as linhas da fábrica, sempre que havia alguma parada de produção, programada ou não, os líderes puxavam esse totem para realizar mini-eventos de gerenciamento visual. Nele estavam disponíveis as informações:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Kaizen</i>: O que é? O que não é.;</li> <li>– Os 7 desperdícios;</li> <li>– Segurança + 5S;</li> <li>– Como preencher e registrar <i>kaizens</i>.</li> </ul>	
--	--	--

#### 4.5 Avaliação inicial do índice de maturidade *lean*

A avaliação do projeto *lean* é importante para auxiliar decisões gerenciais, motivando assim o desenvolvimento de diferentes ferramentas. Há vários tipos de métodos utilizados para avaliação do nível *lean*, tais como: auditorias baseadas em categorias, *benchmarking*, análise factorial e questionário. Tais métodos avaliam o grau *lean* da empresa, baseados em práticas e características específicas dessa metodologia (SCHERER e RIBEIRO, 2013).

A necessidade de avaliação *lean* é evidente, sendo uma consequência da divergência entre os autores na identificação da produção *lean* que conduzem para confusão no nível teórico e questões problemáticas no nível prático. Então, cada organização que desejar implementar a produção *lean* deve selecionar ferramentas, conceitos, e técnicas que satisfaça sua necessidade (PETTERSEN, 2009).

A corporação da empresa estudada disponibilizou um formulário próprio para avaliação do índice de maturidade *lean*. Este documento é um *check-list* para avaliação de quatorze tópicos, que contribuem diretamente para processos enxutos, sendo eles: Apoio da gestão; Cultura; 5S; VSM; Redução do tempo de *set up*; Manutenção produtiva total; Sistema puxado; Produção/fluxo de informações; Planta / *layout* das instalações; Trabalho padronizado; *Lean Design*; Suporte da contabilidade para o *lean*; Cadeia de fornecimento e Melhoria continua.

Cada um desses tópicos possui um peso diferenciado e 5 níveis de atendimento. O time deve escolher um desses níveis como sendo o mais adequado para descrever a maturidade do processo em análise, sendo 0 (zero) a ausência total de cumprimento do item e, 5 (cinco) atendimento completo a todos os requisitos.

O nível de maturidade de cada tópico é colocado na planilha disponibilizada pela corporação e o percentual de maturidade geral é calculado. De acordo com o valor atingido, determina-se o grau de maturidade em uma das fases abaixo:

- 0% a 35%: Fase *stone* (pedra)
- 36% a 60%: Fase *bronze* (bronze)
- 61% a 80%: Fase *silver* (prata)
- 81% a 90%: Fase *gold* (ouro)
- 91% a 100%: Fase *platinum* (platina)

A corporação da empresa estudada define como modelo em *lean manufacturing* os processos que atingem acima de 81% de atendimento aos requisitos de índice de maturidade, ou seja, processos na fase ouro.

O comitê reuniu-se para avaliar cada um dos cinco níveis de cada um dos quatorze tópicos do índice de maturidade *lean*. Então, mediante discussão e consenso de todo o time, a primeira avaliação do processo estabeleceu o índice de maturidade em 25,20%, fase *stone* (pedra). Os detalhes são mostrados na Figura 4.3 e na Figura 4.4.

Inputs		Output		Key	
Category	Inputs	Weighted Score			
Line/Area Evaluated:	SMT 01	25,20%		Stone	0 to 35%
Month:	2			Stone	36% to 60%
Year:				Stone	61% to 80%
				Stone	81% to 90%
				Stone	91% to 100%
Lean Index Scores		Average	Weighted Rating	Adjusted	Historical
					Month Line Score
Management Support	0,00	8%	0,00		25,20%
Culture	0,00	8%	0,00		
5S	1,00	7%	0,14		
Value Stream Mapping	0,00	7%	0,00		
Setup Reduction	3,00	7%	0,42		
Total Productive Maintenance	1,00	7%	0,14		
Pull Systems	1,00	7%	0,14		
Production/Information Flow	2,00	7%	0,28		
Plant / Facility Layout	2,00	7%	0,28		
Standard Work	2,00	7%	0,28		
Lean Product and Process Design	0,00	7%	0,00		
Accounting Support for Lean	2,00	7%	0,28		
Supply Chain	1,00	7%	0,14		
Continuous Improvement	3,00	7%	0,42		
					Factory Average
					January
					February
					March
					April
					May
					June
					July
					August
					September
					October
					November
					December

Figura 4.3 – Pontuação índice de maturidade *lean* (inicial).

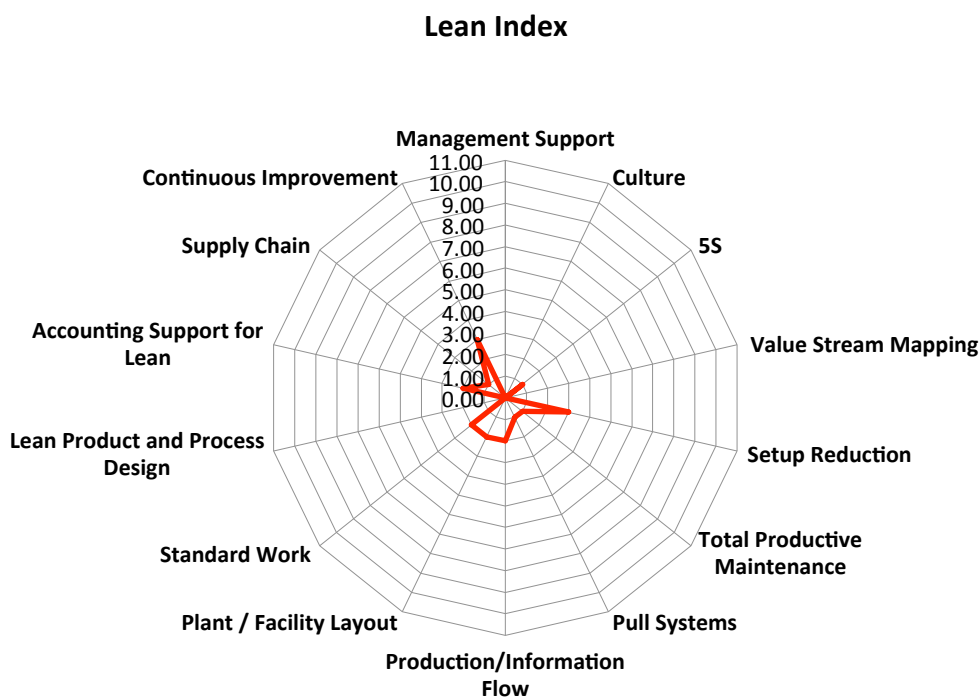


Figura 4.4 – Radar índice de maturidade *lean* (inicial).

#### 4.6 Mapeamento do fluxo de valor (*Value stream mapping – VSM*)

A filosofia do VSM é baseada em uma representação gráfica de uma cadeia de fluxo de valor porta-a-porta dentro de uma companhia, em outras palavras do recebimento da demanda do cliente passando por toda a logística e processos de transformação até a entrega do produto final. O método VSM divide todo o processo em dois grupos: valor agregado (VA) e valor não agregado (NVA). A saída do VSM é um gráfico representativo do fluxo de valor de toda a empresa, em que é possível perceber quantos por cento do tempo é de valor agregado. Ele mesmo direciona sobre ideias para tomada de decisões sobre melhorias no processo. Também pode ser usado como uma ferramenta de visualização do estado futuro (ROHAC e JANUSKA, 2015).

O time reuniu-se para mapear o fluxo de valor, com o objetivo de avaliar o valor agregado no processo atual e desenhar o processo futuro, definindo quais eventos *lean* seriam aplicados para reduzir os desperdícios, os quais não agregam valor ao processo.

Foram dois dias de avaliação, no primeiro dia, o time recebeu treinamento sobre os conceitos de VSM e foi para o *gemba* coletar os dados, tempos de ciclo (TC), quantidade de operadores (*Direct Label – DL*) e quantidades de estoques, além dos resultados das métricas, conforme ilustrado na Figura 4.5.



Figura 4.5 – Time coletando informações para desenhar VSM.

No segundo dia, os VSMS atual e futuro foram desenhados e o resultado apresentado ao Gerente da Célula e ao Gerente do Negócio, mostrado na Figura 4.6.



Figura 4.6 – Time apresentando VSMS aos gerentes.

Para o desenho do VSM atual, mostrado no apêndice A, as informações apresentadas foram as mesmas coletadas no processo por meio de observação. Já para o desenho do VSM futuro, mostrado no apêndice B, o time estimou algumas melhorias, especialmente na redução dos estoques de placas e nos resultados das métricas. Tais melhorias seriam obtidas por meio dos eventos de Gerenciamento Visual, Jidoka, TPM, SMED e Produção JIT.

## **4.7 Definição do cronograma de eventos *lean***

Com a decisão de melhorar o nível de maturidade *lean*, após a definição dos membros do comitê, da avaliação dos riscos, da estruturação do plano de comunicação, da avaliação do nível de maturidade *lean* inicial e do desenho do VSM atual e futuro, o time reuniu-se definir o cronograma de implementação de cada um dos eventos *lean* necessários para chegar ao estado futuro do VSM e, especialmente para atingir a fase ouro do nível de maturidade *lean*. O cronograma está ilustrado no apêndice C. Nota-se que alguns eventos foram planejados para serem realizados quase que concomitantemente, isso foi possível porque ao lado do coordenador geral deste projeto, também foi escolhido um membro do time, de acordo com a especialidade da sua área, para auxiliar na liderança do evento.

## CAPÍTULO 5

### APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Este capítulo descreve todas as ferramentas *lean* aplicadas durante o estudo de caso. As fases DMAIC foram usadas para melhor organizar as informações de cada evento.

#### 5.1 Evento gerenciamento visual (GV)

Este evento foi liderado pelo supervisor de manufatura. O evento Gerenciamento Visual é o primeiro a ser aplicado, pela facilidade de impactar visualmente o ambiente e também por contagiar rapidamente os envolvidos na multiplicação de melhorias contínuas (*kaizens*), tanto que todas as linhas, mesmo sem ter um evento específico, produziram resultados. É o início da grande transformação cultural que se estabelece com todos os demais eventos.

##### 5.1.1 DMAIC – Definir (*Define*)

Por meio de entrevistas e observação, foram verificados os seguintes problemas/oportunidades: poucos operadores envolvidos na cultura *lean*, ausência de processo para encorajar os operadores a submeterem *kaizens*, ausência de metodologia para ensinar os operadores de produção, ausência de sistema para pré-avaliar os *kaizens* antes de serem submetidos ao Portal *Lean Six*, baixo desempenho na métrica Segurança + 5S, operadores ociosos quando há parada de linha, somente líderes submetem *kaizen* para os operadores e desperdício de tempo para submeter *kaizen* no Portal LSS.

##### 5.1.2 DMAIC – Medir (*Measure*)

Foram definidos três parâmetros de qualidade para serem avaliados neste evento: otimização do uso dos recursos humanos, disseminação da cultura *lean* por meio da criação de *kaizens* e melhoria do desempenho de segurança + 5S. Esses parâmetros são mensuráveis, a fim de que seja possível estabelecer metas tangíveis que possam ser monitoradas e terem seus resultados comparados antes e depois da aplicação das melhorias realizadas para eliminação ou mitigação das causas.

A Tabela 5.1 apresenta um resumo sobre as bases de medição usadas no projeto, informando como os dados foram coletados, as metas traçadas e os riscos identificados para cada parâmetro de qualidade definido.

Tabela 5.1 – Análise do sistema de medição e base de desempenho (GV).

Parâmetros de Qualidade	Coleta de Dados	Análise de Dados		
		Parâmetros	Meta	Riscos Identificados
<b>Otimização do uso dos recursos humanos:</b> - Uso do tempo ocioso para <i>kaizen</i> ; - Redução do tempo para submissão de <i>kaizen</i> no portal LSS.	- Por observação nas linhas de produção; - Por comentários em reuniões.	<b>Tempo para submeter <i>kaizen</i> no Portal LSS (h)</b> = Quantidade de <i>kaizen</i> submetidos x 10 minutos 10 minutos >> tempo para interpretar a escrita manual das ideias dos criadores dos <i>kaizens</i> e registrar no portal LSS.	- Operadores trabalhando em melhorias; - Operadores não desperdiçarem tempo para escrever <i>kaizen</i> ; - Reduzir tempo de submissão de <i>kaizen</i> no Portal LSS.	Desperdícios: superprocessamento, tempo gasto no entendimento das escritas manuais e interpretação das ideias dos operadores.
<b>Disseminar a cultura <i>lean</i>, criando <i>kaizens</i>.</b>	Portal LSS	<b><i>Kaizen</i> por funcionário</b> = $\Sigma kaizen$ submetidos pelas linhas de SMT/Quantidade de funcionários das linhas de SMT por mês.	1 <i>kaizen</i> por funcionário das linhas de SMT	Metas alcançadas, mas cultura <i>lean</i> não disseminada apropriadamente.
<b>Melhorar o desempenho de Segurança + 5S</b>	Resultado das auditorias de Segurança + 5S	<b>Desempenho de Segurança + 5S (%)</b> = Linhas são auditadas pelo time de Segurança + 5S usando um <i>check list</i> e depois o resultado é publicado como um <i>ranking</i> .	$\geq 90\%$	Sem evidências dos conceitos básicos de <i>lean</i> (5S e gerenciamento visual).

Métrica *kaizens* por colaborador – por linha: Na Figura 5.1 nota-se que em julho somente duas linhas (Jarí e Juruá) já tinham alcançado a meta de 1 *kaizen* por colaborador.

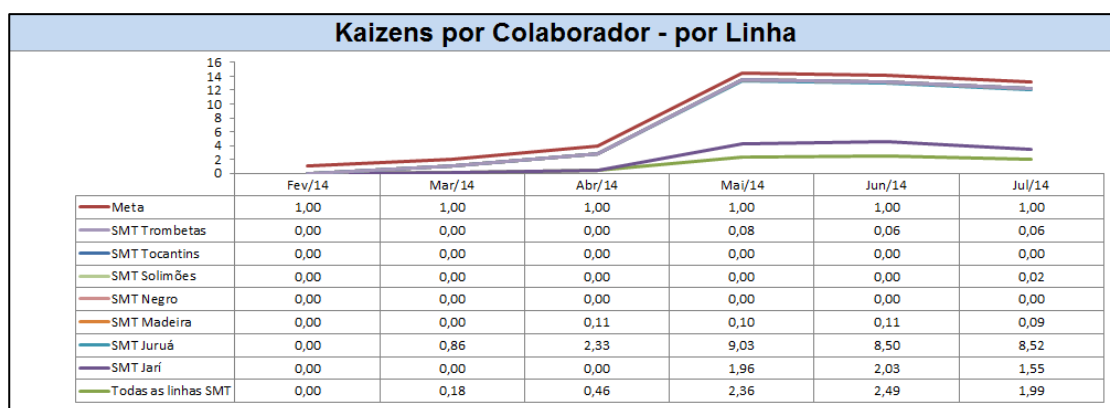


Figura 5.1 – *Kaizens* por Colaborador – por Linha (fase Medir).



Métrica desempenho Segurança + 5S: O desempenho do programa de Segurança + 5S é medido pelas auditorias nas linhas de produção, quando cada um dos sensores é avaliado e pontuado. Na Figura 5.2 nota-se que a partir de maio houve significativa redução no desempenho deste indicador, sendo que em junho todas as linhas ficaram abaixo da meta.

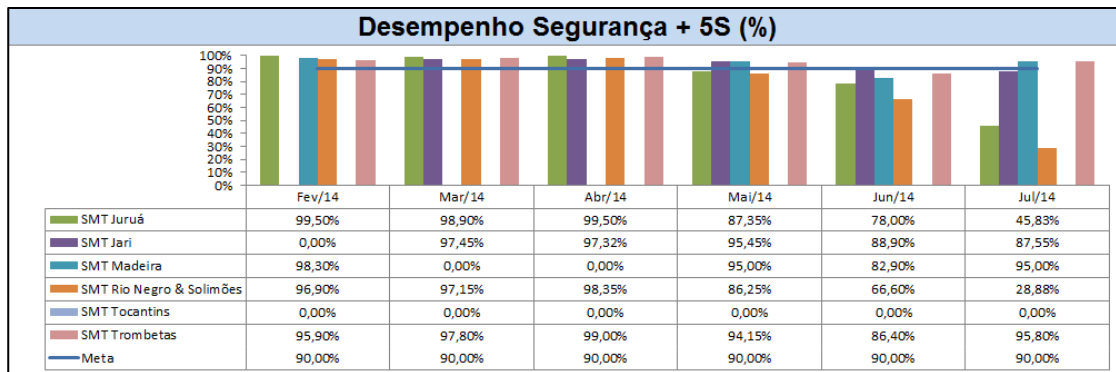


Figura 5.2 – Desempenho Segurança + 5S (%) (fase Medir).

Métrica tempo para submeter *kaizen* no Portal LSS (h): Os *kaizens* realizados pelos colaboradores são registrados em formulário pelos líderes das linhas e entregues aos responsáveis que vão copiar as informações para submissão no Portal LSS, gasta-se cerca de 10 minutos para cada *kaizen*. Se a quantidade de *kaizen* aumenta, o trabalho manual para submissão destes no Portal LSS também aumenta, como mostra a Figura 5.3.

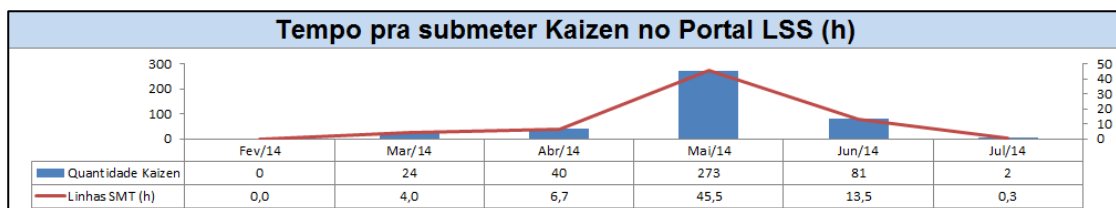


Figura 5.3 – Tempo pra submeter *Kaizen* no Portal LSS (h) (fase Medir).

### 5.1.3 DMAIC – Analisar (*Analyze*)

Para analisar possíveis causas do baixo desempenho nos indicadores utilizados na medição, o time desenhou o diagrama de *Ishikawa*, mostrado na Figura 5.4, levantando doze causas potenciais, das quais, após *brainstorming*, três (destacadas) foram relevantes.

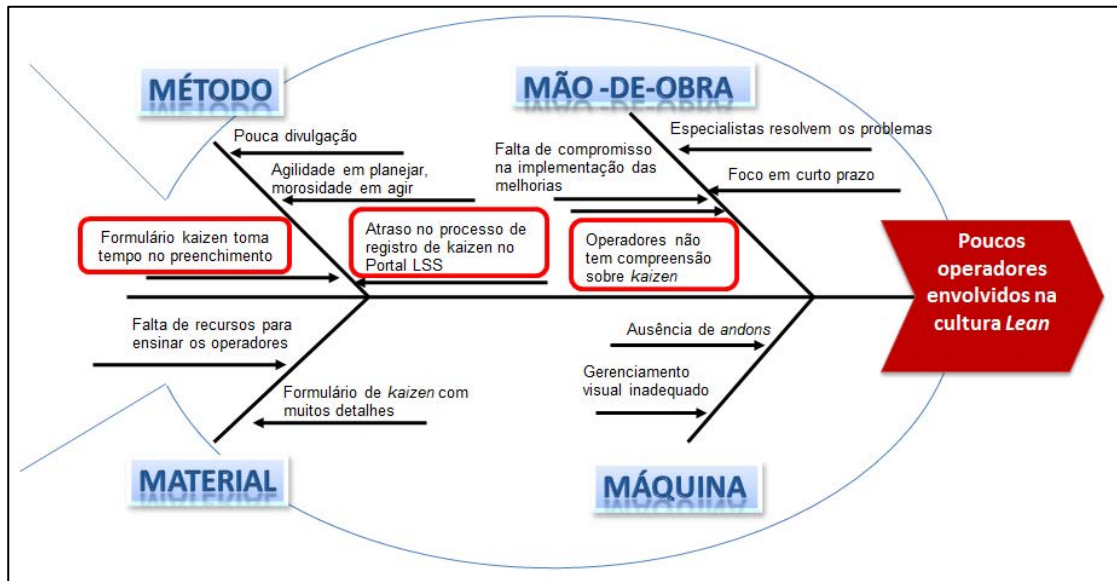


Figura 5.4 – Diagrama de *ishikawa* (GV).

Para cada causa relevante foi dimensionada sua contribuição para o problema e a validação para confirmação e possíveis soluções. A Tabela 5.2 apresenta esse resumo:

Tabela 5.2 – Resumo da análise (GV).

Causa Raiz	Contribuição da causa para o problema	Como a causa foi validada	Ação	Onde	Quem
Formulário <i>kaizen</i> toma tempo no preenchimento	Operadores dependem de câmera fotográfica e computador para preencher o formulário.	Formulário Kaizen Blitz disponível no portal LSS.	Criar formulário <i>kaizen</i> simples.	Microsoft Office Excel	Caio Iracyanne
			Validar o uso do novo formulário de <i>kaizen</i> .	Chão de Fábrica	Daniel Iracyanne
Operadores não tem compreensão sobre <i>kaizen</i>	Operadores dependem do líder de produção para "traduzir" suas ações de melhoria.	Operadores descrevem como <i>kaizen</i> muitas ações que não são <i>kaizens</i> (reparo, substituição, etc.).	Desenvolver Totem de Treinamento para ensinamentos rápidos.	Fornecedor externo	Caio Iracyanne
Atraso no processo de registro de <i>kaizen</i> no portal LSS	Desperdício de tempo entendendo copiando as informações dos formulários.	Análise dos tempos e métodos.	Desenvolver um Sistema para Gerenciamento de <i>Kaizen</i> .	Visual Studio ASP.NET	Nadyson

#### 5.1.4 DMAIC – Melhorar (*Improve*)

- Desenvolvimento do formulário de *kaizen* simplificado: Para facilitar o registro dos *kaizens* pelos operadores de produção, o formulário oficial foi ajustado.
- Desenvolvimento do totem de treinamento: Contendo informações básicas para treinamentos no chão de fábrica. Cada vez que a linha para, este tempo é aproveitado para conscientização dos operadores. Os assuntos abordados são: *Kaizen*: O que é? O que não é?; os 7 Desperdícios; Segurança + 5S e como preencher e registrar o *kaizen*.
- Desenvolvimento do sistema de gerenciamento de *kaizen* (GK): A fim de reduzir o tempo de registro dos *kaizens* e permitir que as melhorias fossem submetidas por qualquer colaborador, foi desenvolvida uma aplicação no Visual Studio ASP.NET. O escopo desse sistema foi feito de acordo com as necessidades informadas pelos funcionários interessados, sendo os objetivos: prover um formulário automático com fluxo eletrônico de aprovação por software; melhorar a eficiência do fluxo de *kaizen*; rastrear os *kaizens* submetidos e gerar relatórios com a quantidade de *kaizens* registrados por colaboradores e por linhas. Este sistema é composto pelas seguintes telas de acesso para os usuários: tela com formulário para novo *kaizen*; tela de avaliação do *kaizen* (aprovação ou rejeição) e tela de consulta.
- Realização de eventos para incentivar submissão de *kaizens*: A fim de disseminar a cultura lean e alcançar a meta de 1 *kaizen* por colaborador nas linhas de SMT, colocou-se em prática as ferramentas desenvolvidas: treinamento no chão de fábrica com totem e o uso do formulário *kaizen* simplificado.
- Programa de reconhecimento: A linha que registra a maior quantidade de *kaizen* do trimestre e o colaborador que realiza a maior quantidade de melhorias no mês tem sua foto destacada no mural *lean* e recebe um certificado como reconhecimento por sua contribuição.

#### 5.1.5 DMAIC – Controlar (*Control*)

No intuito de garantir que as melhorias se sustentem ao longo do tempo, foi feito um resumo com as responsabilidades do processo, o qual pode ser visto na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Responsabilidades do processo (GV).

Sistema de Medição ou Processo	Responsável	Frequência	Ação
Realizar mini-eventos: Gerenciamento Visual & Segurança + 5S	Time de <i>lean</i> e líderes de produção	- Conforme programação do planejamento de produção - Quando a linha parar	Uso do totem de treinamento para ensinar os operadores e guiá-los na implementação e registro de suas melhorias
Criar novos <i>kaizens</i>	Todos os colaboradores	De acordo com suas ideias e criatividade	Submeter o <i>kaizen</i> no sistema GK
Avaliar novos <i>kaizens</i> (aprovar ou rejeitar)	Time de <i>lean</i>	Quando um novo <i>kaizen</i> for registrado	Aprovar ou rejeitar o <i>kaizen</i> no sistema GK
Submeter novos <i>kaizens</i> no Portal LSS	Time de <i>lean</i>	Quando aprovar novo <i>kaizen</i>	Submeter os <i>kaizens</i> aprovados no Portal LSS
Acompanhar métrica <i>kaizen</i> por funcionário por linha	Time de <i>lean</i>	Mensal	Baixar os dados do Portal LSS
Reconhecimento por quantidade de <i>kaizen</i> aprovado: melhor linha e melhor funcionário	Time de <i>lean</i>	Trimestral	Baixar os dados do sistema GK

Mediu-se os resultados alcançados após a implementação das melhorias:

Métrica *kaizens* por colaborador – por linha: Na Figura 5.5 observa-se que todas as linhas de SMT ultrapassaram a meta de 1 *kaizen* por colaborador.

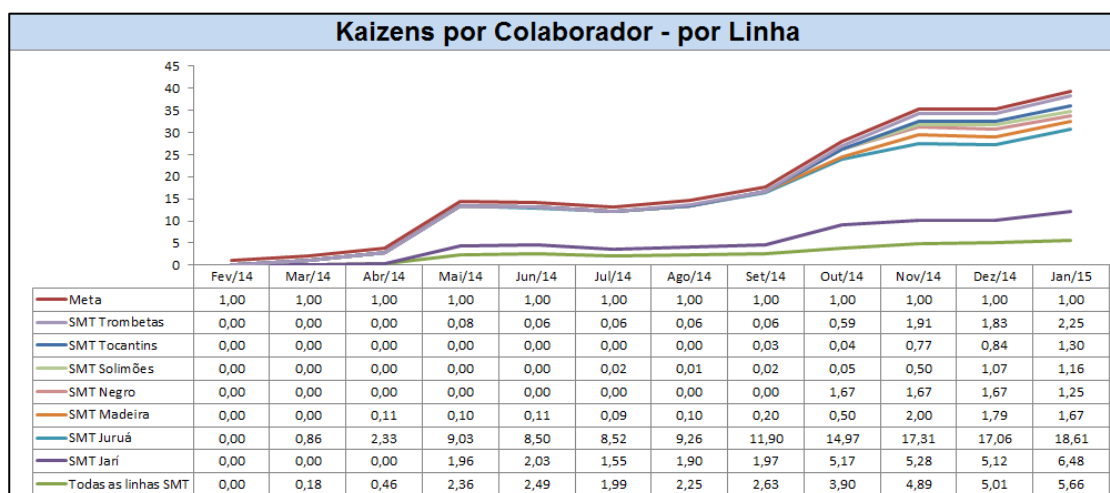


Figura 5.5 – *Kaizens* por Colaborador – por Linha (fase Controlar).

Métrica desempenho Segurança + 5S: A partir de agosto é visualizado o aumento do desempenho dessa métrica, sendo que todas as linhas ultrapassaram a meta em setembro, incluindo a nova linha de SMT Tocantins, como mostra a Figura 5.6.

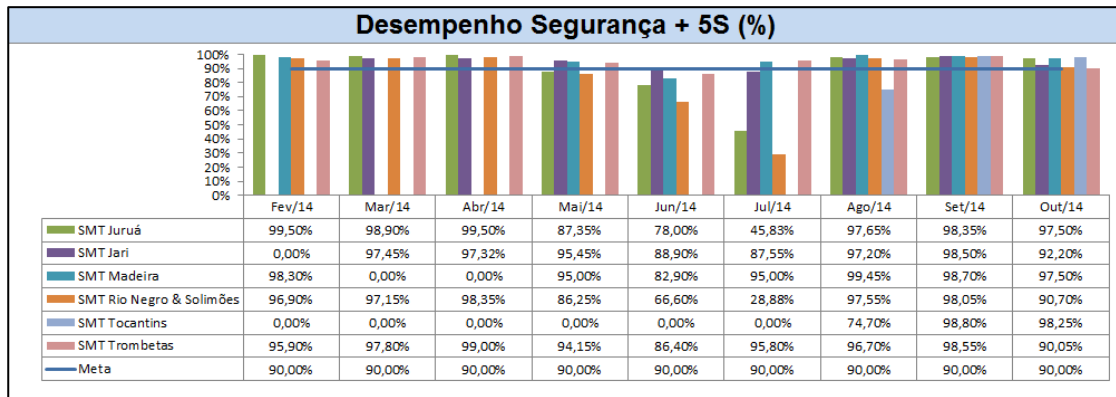


Figura 5.6 – Desempenho Segurança + 5S (%) (fase Controlar).

Métrica tempo para submeter *kaizen* no Portal LSS (h): Durante os testes de desenvolvimento do sistema GK, percebeu-se que o tempo para submeter os *kaizens* aprovados no Portal LSS reduziu para dois minutos. Com o objetivo de comparar a redução do trabalho manual deste processo, a seguinte fórmula foi considerada: “Tempo para submeter *kaizen* no Portal LSS (h) = quantidade de *kaizen* submetido x 2 minutos” (a partir de agosto). Na Figura 5.7, nota-se que mesmo aumentando a quantidade de *kaizens* submetidos, o tempo desperdiçado para registrá-los no Portal LSS não aumenta na mesma proporção, ou seja, mais *kaizen*, com menos trabalho manual.

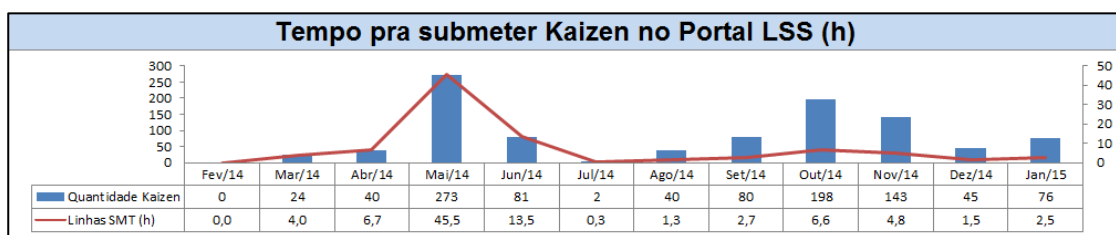


Figura 5.7 – Tempo pra submeter *Kaizen* no Portal LSS (h) (fase Controlar).

**Reconhecimento e impactos no valor da organização:** Sem dúvida nenhuma, o maior valor atingido neste projeto foi o impacto moral nos operadores de produção, pois estes sentiram que suas ideias foram ouvidas e reconhecidas, sentiram-se parte do time. Além disto, temos:

- Cultura lean foi disseminada: operadores querem trabalhar em um ambiente lean;

- Conversão do tempo ocioso da linha parada em tempo para melhorias;
- Todas as linhas ultrapassaram a meta de 1 kaizen por colaborador;
- Todas as linhas ultrapassaram a meta de 90% no desempenho de segurança + 5S;
- Redução do trabalho manual nos registros dos kaizens aprovados no Portal LSS de 10 minutos para 2 minutos;
- Ganho financeiro anual: \$ 7.283,68.

## 5.2 Evento *jidoka*

O evento *Jidoka* foi liderado pelo Engenheiro de Qualidade. Todos os membros foram desafiados a encontrar solução para eliminar um defeito epidêmico ocorrido no cliente. Essa necessidade foi o fundamento para a realização desse evento, onde a construção da qualidade foi aplicada tornando o processo autossuficiente na detecção, e as ações corretivas foram implementadas, eliminando a causa raiz.

### 5.2.1 DMAIC – Definir (*Define*)

O Comitê *Lean* foi chamado pela gerência da célula para ajudar a resolver um problema epidêmico que estava deixando o cliente insatisfeito, produtos sem vídeo causado por problema de coplanaridade no componente HDMI, posição SK9600 (Figura 5.8). O desafio de meta lançado ao time: zero defeito em todos os processos da empresa e no cliente, tendo como consequência satisfação do cliente e economia com reparos.

8D	Customer Logo	<input checked="" type="checkbox"/> QUALITY <input type="checkbox"/> DELIVERY <input type="checkbox"/> PRODUCTION <input type="checkbox"/> SUPPORT	<b>COMPLAINT</b>	Number (Número): xxxxxx	
		Date (Data): xx/xx/xxxx			
TO BE COMPLETED BY THE COMPLAINTER (Completa-se pelo reclamante)	<b>GENERAL INFORMATION (INFORMAÇÕES GERAIS)</b>				
	STEP 1	FROM (De): xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	TO (Para): xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	SUPPLIER (Fornecedor): xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	
		Part Number (Código do Item):	Item Description (Nome do Produto):	Where Used (Onde Usado):	
		Invoice Number (Número do Documento):	Manufacturing Date (Data de Fabricação):	About ANC (Referente ANC): -	
		Quantity used (Quantidade usada):	Rejected quantity (Quantidade rejeitada):	PPM found (encontrado)	
		1. Description of fault (Descrição da falha)    2. Difficulty caused (Dificuldade causada)    3. Remarks, suggestions, etc (Observações, sugestões, etc.)			
		ON THE QQC STATION WAS EVIDENCED 1 PRODUCT WITH THE FAILURE NO AUDIO AND VIDEED IN HDMI.		EVIDENCE	
		Traceability-xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx			
		Remark: Component SK9600 without solder.			
		Involved Cost (Custo Envolvido):			

Figura 5.8 – Reclamação oficial recebida do cliente.  
Fonte: Cliente da empresa estudada (2015).

### 5.2.2 DMAIC – Medir (*Measure*)

Nesta fase o time coletou e consolidou os dados de defeitos de coplanaridade no HDMI, em todas as fases do processo (SMT, inserção manual e cliente final) a fim de obter a informação necessária pra confirmar o defeito e comparar entre os diversos pontos de medição onde o problema estava ocorrendo. Era necessário investigar se havia algum filtro de detecção falhando.

Conforme ilustrado na Figura 5.9, o impacto desse defeito no cliente começou na semana 07. A empresa recebeu uma reclamação formal sobre o alto índice de produtos sem vídeo.



Figura 5.9 – Defeitos no cliente externo (fase medir).

Como ação de contenção imediata, após a reclamação, a linha de SMT orientou os operadores responsáveis pela inspeção visual a darem foco na procura de defeitos de coplanaridade do componente SK9600, esta ação aumentou a detecção na linha de SMT a partir da semana 08 (Figura 5.10) e reduziu os impactos na linha de inserção manual (Figura 5.11) e, mitigou o sintoma no cliente final (Figura 5.9), porém foi só uma disposição, o problema ainda continuava a ocorrer.

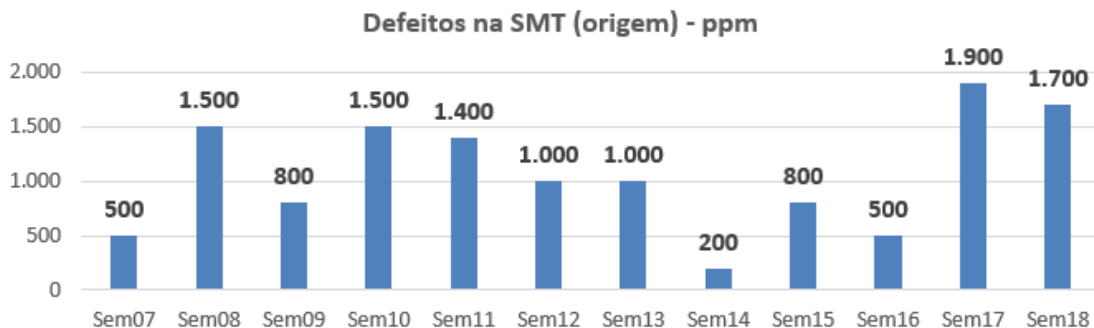


Figura 5.10 – Defeitos na origem (fase medir).

Na semana 09 o time de engenharia de teste adicionou teste funcional, por amostragem, para detectar o problema na saída da linha de inserção manual (cliente interno) a fim de evitar que o defeito chegasse até o cliente externo. A informação é mostrada na Figura 5.11:

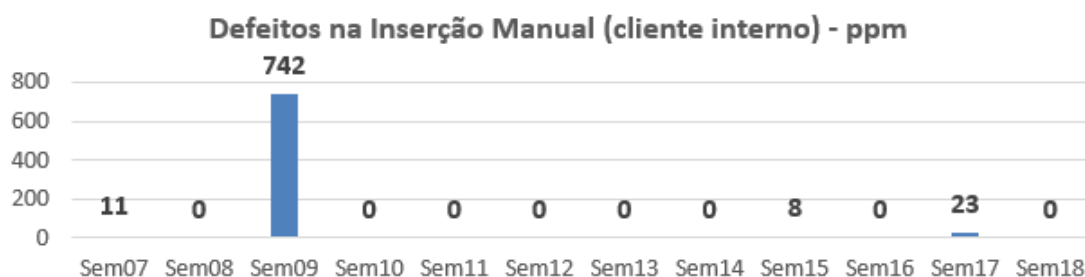


Figura 5.11 – Defeitos no cliente interno (fase medir).

### 5.2.3 DMAIC – Analisar (*Analyze*)

Neste evento era necessário dar respostas rápidas ao cliente. Então o time multifuncional reuniu-se e por meio de *brainstorming* listou doze possíveis causas para o problema. Com ajuda da ferramenta *CE Matrix* cada membro (nomeados de A a G) pontuou (escala de 1 a 9, sendo 1 menos significativo e 9 mais significativo) o quanto acreditava que determinada causa possível era de fato a causa real para o problema de produtos sem vídeo no cliente. Multiplicando a pontuação de todos os membros, o item “componente com terminal desalinhado” apresentou o maior resultado, conforme apresentado na Tabela 5.4. Dessa forma, o time concluiu que componente HDMI com coplanaridade era a causa raiz do defeito.

Tabela 5.4 – CE Matrix (*jidoka*).

Causas Possíveis	A	B	C	D	E	F	G	Resultado
Falha no feeder	1	0	0	0	0	9	0	0
Etiqueta de rastreabilidade mal posicionada	3	1	0	0	0	1	1	0
Inspeção visual não detecta 100% das falhas	0	3	0	0	0	0	3	0
Reuso do material que foi rejeitado pela máquina	3	1	1	0	3	1	1	0
Feeder não calibrado	1	1	0	0	0	3	1	0
Nozzle quebrado	3	1	0	0	0	9	1	0
Falha na transferência do componente	1	0	0	0	0	9	0	0
Pasta de solda deslocada	1	1	1	0	1	9	1	0
Solda insuficiente	3	1	1	0	1	9	1	0
Componente com terminal desalinhado	9	9	9	9	9	9	9	4.782.969
Material com dimensões fora do especificado	1	0	0	0	0	1	0	0
Fita do carretel com adesivo em excesso	1	0	0	0	0	3	0	0



A fim de validar sua conclusão e tomar ações definitivas para eliminar a causa raiz do problema, o time inspecionou visualmente por amostragem o componente ainda dentro do casulo do carretel e encontrou amostras com defeito. Foi enviado um relatório com reclamação formal ao fornecedor (Figura 5.12):

SUPPLIER CORRECT ACTION REPORT			
Reference #:	XXXXXXX		
Date:	XXXXXXX		
Type:	Response Required		
Occurrence:	First Time		
Responsibility:	Supplier		
<b>CONTACT FROM CUSTOMER</b>		<b>CONTACT FROM</b>	<b>Supplier Name</b>
XXXXXXXXXX			XXXXXXXX
SQE Team			
Phone#	XXXXXXXXXXXX	Phone#	XXXXXXXXXXXX
Email#	XXXXXXXXXXXX	Email#	XXXXXXXXXXXX
SUPPLIER COMPONENT			
Customer Part #:	XXXXXXXXXXXX	Supplier Part #:	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Description:	SMD HDMI CONNECTOR	INVOICE:	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Model:	XXXX		
PPM:	30000	QTY:	3
PROBLEM DESCRIPTION:			
<b>Bent terminal</b>			

Figura 5.12 – Reclamação oficial enviada ao fornecedor.

Fonte: Empresa estudada (2015).

## 5.2.4 DMAIC – Melhorar (*Improve*)

Ações imediatas para melhorias imediatas:

- Semana 08: orientação aos operadores de inspeção visual da linha de SMT (origem) a darem foco 100% na procura de defeitos de coplanaridade do componente SK9600;
- Semana 09: inclusão de teste funcional, por amostragem, na linha de inserção manual (cliente interno), para detecção do sintoma sem vídeo;
- Semana 10: inclusão de AOI para inspeção ótica automática na linha de SMT (origem).

Ação de melhoria definitiva: o fornecedor dectou que a causa raiz do problema, estava no processo de armazenamento do componente no casulo do carretel. Então, como forma de corrigir definitivamente o problema ele fez alteração nas dimensões internas do casulo usado. A Figura 5.13 mostra a a ação corretiva retirada da resposta oficial do fornecedor:

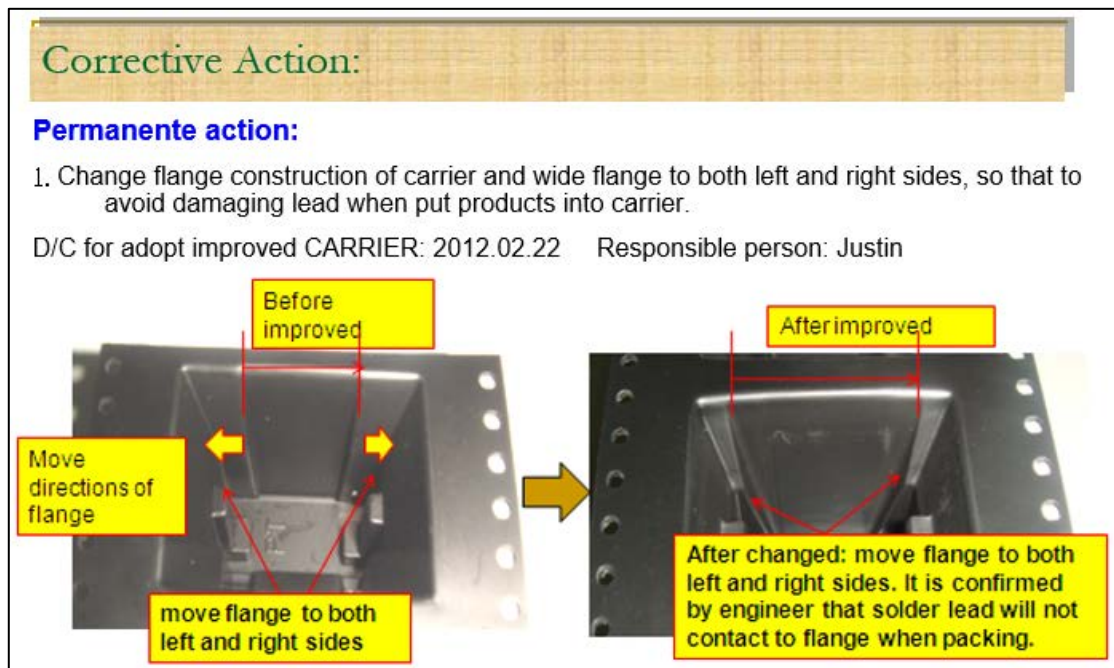


Figura 5.13 – Ação corretiva retirada da resposta oficial do fornecedor.

Fonte: Fornecedor da empresa estudada (2015).

Os lotes corrigidos começaram a ser usados na linha a partir da semana 23.

### 5.2.5 DMAIC – Controlar (Control)

A partir da semana 23, o problema foi eliminado definitivamente em toda a cadeia, ou seja, na fase SMT – origem (Figura 5.14), na fase de inserção manual – cliente interno (Figura 5.15) e na fase de montagem do produto acabado – cliente externo (Figura 5.16).

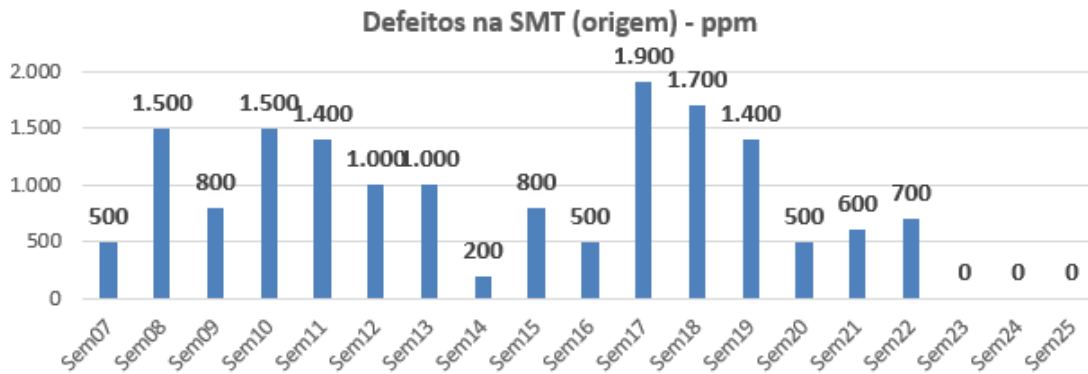


Figura 5.14 – Defeitos na origem (fase controlar).

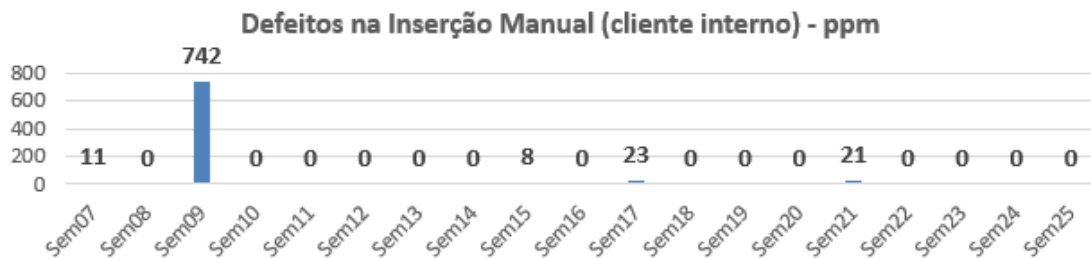


Figura 5.15 – Defeitos no cliente interno (fase controlar).

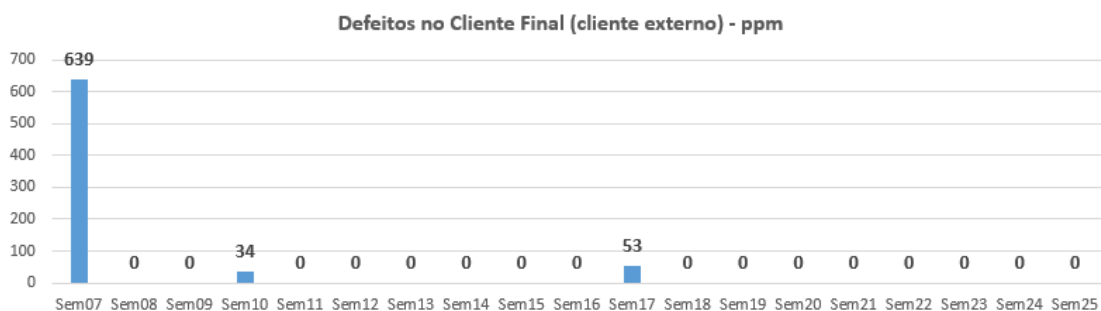


Figura 5.16 – Defeitos no cliente externo (fase controlar).

A fim de manter o processo sob controle, todas as documentações FMEA, *Control Plan* e Instruções de Trabalho foram atualizadas.

**Reconhecimento e impactos no valor da organização:** O maior valor atingido neste evento foi a satisfação do cliente. Além disto, temos:

- Mais uma ferramenta *lean* foi disseminada;
- Zero defeito causado por problema de coplanaridade do HDMI;
- Impacto moral nos funcionários;
- Ganho financeiro anual: \$ 5.352.

### **5.3 Evento balanceamento de linha**

O evento balanceamento de linha foi liderado pelos membros do comitê que representavam a Engenharia Industrial, foram dois dias de evento com participação de todos os operadores da produção de todos os turnos. Eles receberam treinamento com dinâmicas de grupo para fixação dos conceitos e foram ativos nas sugestões de melhorias para rebalancear o processo.

#### **5.3.1 DMAIC – Definir (*Define*)**

Por meio da crometragem de tempos realizada pela Engenharia Industrial, verificou-se desbalanceamento dos tempos de ciclo no processo de SMT, notando-se também que havia mais módulos de NXT do que o necessário. Por isso, estabeleceu-se como meta, rebalancear o processo, remover dois módulos de NXT, reduzir um operador por turno por meio de melhoria na distribuição das atividades do posto de inspeção/embalagem.

#### **5.3.2 DMAIC – Medir (*Measure*)**

O ciclo de tempo dos módulos NXT foram coletados no próprio sistema Fuji Flexa das máquinas, os demais tempos (*loader*, *printer* ou DEK e inspeção) foram cronometrados durante o evento VSM pelo comitê.

Na Figura 5.17 nota-se que os tempos de ciclo dos módulos NXT estão muito abaixo do *takt time*, o que já sugere que é possível fazer retirada de alguns módulos. Também percebe-se tempo ocioso na operação da *loader*, onde vemos oportunidade de redistribuir as atividades desse posto com a operação da DEK, possibilitando a redução de um operador (*loader*) por turno. É importante destacar que o baixo tempo do módulo NXT21 deve-se ao fato deste ser usado unicamente para montagem de componentes em bandeja, tendo um módulo de MTU acoplado, não sendo possível retirá-lo e fazer balanceamento com outros módulos.

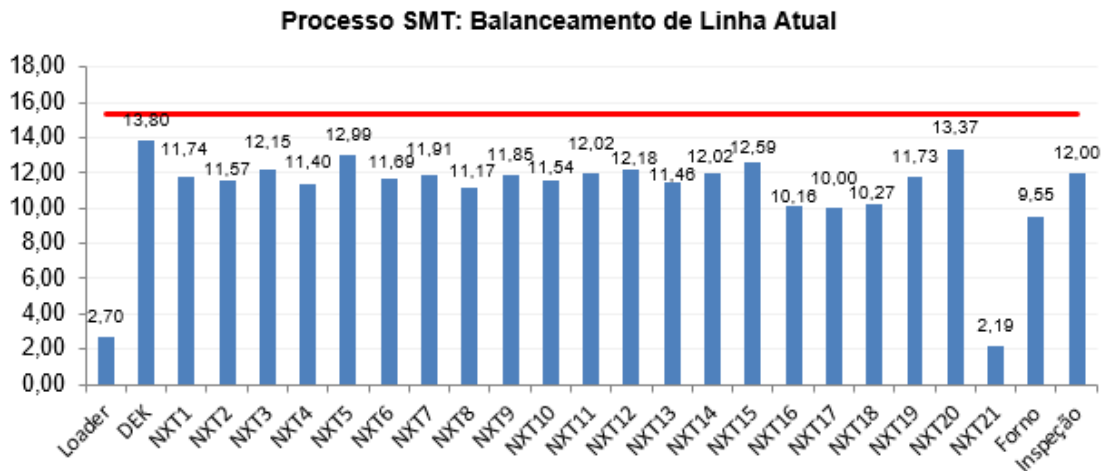


Figura 5.17 – Balanceamento de processo SMT (fase Medir).

### 5.3.3 DMAIC – Analisar (*Analyze*)

A fim de levantar as possíveis causas do mau balanceamento do estado atual, durante o evento o time utilizou o diagrama de *ishikawa*, mostrado na Figura 5.18. As três causas potenciais mais relevantes estão destacadas em vermelho.

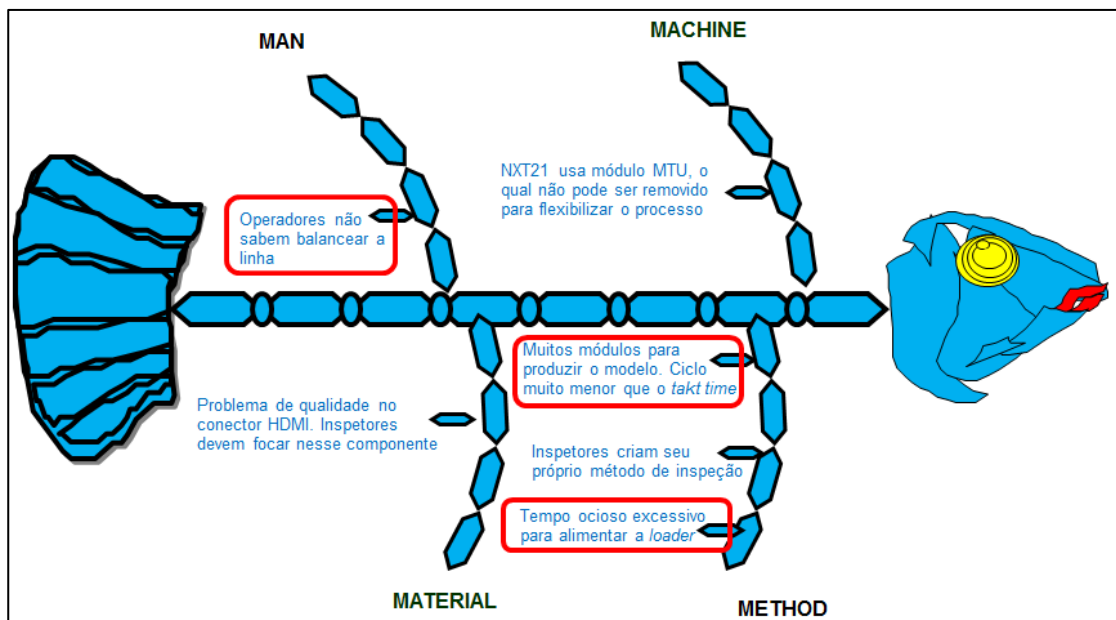


Figura 5.18 – Diagrama de *ishikawa* (balanceamento de linha).

Para cada uma das causas potenciais, avaliou-se sua contribuição e fez-se sua validação. A Tabela 5.5 apresenta o resumo da análise.

Tabela 5.5 – Resumo da análise (balanceamento de linha).

<b>Causa Raiz</b>	<b>Contribuição da Causa para o Problema</b>	<b>Como esta causa foi validade</b>
Operadores não sabem balancear a linha.	Ausência do envolvimento dos operadores nas atividades de balanceamento de linha.	Todos os balanceamentos de linha anteriores foram executados pela Engenharia, sem envolvimento da produção.
Muitos módulos para produzir o modelo. Ciclo muito menor que o <i>takt time</i> .	Programas são desenvolvidos para utilizar a quantidade total de módulos NXT disponíveis.	VSM atual. Estudo de tempo pelas engenharias industrial e de manufatura indicam ser possível reduzir dois módulos NXT.
Tempo ocioso excessivo para alimentar a <i>loader</i> .	Tempo de ciclo dessa atividade não está alinhado ao <i>takt time</i> .	VSM atual.

### 5.3.4 DMAIC – Melhorar (*Improve*)

Então, para cada causa, o time sugeriu melhorias, as quais foram implementadas. A Tabela 5.6 apresenta um resumo.

Tabela 5.6 – Resumo das melhorias (balanceamento de linha).

<b>Causa Raiz</b>	<b>Solução</b>	<b>Piloto / Simulação de Resultados</b>
Operadores não sabem balancear a linha.	Evento Balanceamento de Linha: - Treinamento balanceamento de linha; - Treinamento técnico básico sobre DEK, NXT e forno.	
Muitos módulos para produzir o modelo. Ciclo muito menor que o <i>takt time</i> .	Remoção de dois módulos NXT.	
Tempo ocioso excessivo para alimentar a <i>loader</i> .	Rebalancear as atividades dos operadores da <i>loader</i> e DEK. Reduzir um operador.	

### 5.3.5 DMAIC – Controlar (*Control*)

Com a implementação das melhorias proposta para o rebalanceamento do processo, novos tempos foram tomados e podem ser verificados na Figura 5.19.

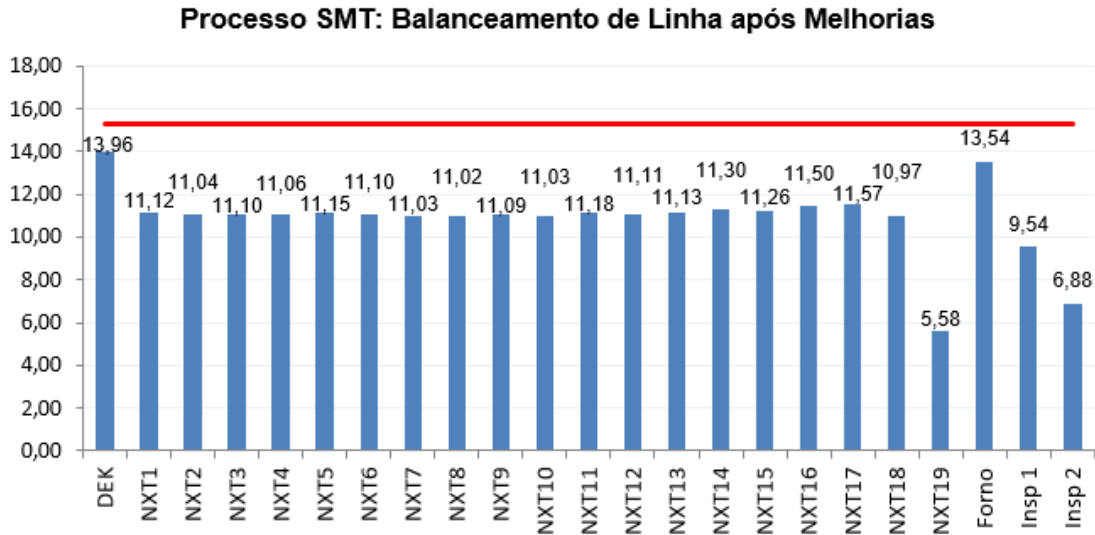


Figura 5.19 – Balanceamento de processo SMT (fase controlar).

#### **Resultados, reconhecimento e impactos no valor da organização:**

- Mais uma ferramenta lean foi disseminada;
- Operadores participaram ativamente com sugestões para o rebalanceamento do processo onde estão inseridos;
- Dois módulos NXTs removidos;
- Redução de quatro operadores, um por turno;
- Capacidade (260 por hora) e *takt time* (15,31s) mantidos;
- Redução do tempo total de processamento de 274,05s para 249,76s;
- Ganho financeiro anual: \$ 129.672.
  - Remoção de dois módulos NXT: \$122.872;
  - Redução de quatro operadores: \$6.800.

### 5.4 Evento TPM

Este evento foi liderado pela área de Engenharia de Manufatura em conjunto com a área de Manutenção. Os operadores da máquina *printer* DEK, foram treinados para realização de manutenções autônomas simples diárias, as quais possibilitaram a redução dos tempos de parada do processo causados por manutenções corretivas na DEK.

### 5.4.1 DMAIC – Definir (*Define*)

Por meio do acompanhamento da métrica de *downtime* (parada de linha) e de todos os comentários apresentados durante as reuniões diárias de produção. O comitê *lean manufacturing* optou por realizar o evento *Total Productive Maintenance* (TPM) na máquina *printer* DEK do processo SMT. O objetivo definido foi a redução da média dos tempos gastos com manutenções corretivas na DEK de 84 minutos para 20 minutos por meio de ações para solucionar os problemas da falta de manutenção preventiva diária, da falta de funcionários com conhecimento sobre manutenção autônoma diária e, especialmente, da falta de envolvimento dos operadores de máquina sobre qualquer ação relacionada a manutenção.

### 5.4.2 DMAIC – Medir (*Measure*)

A Tabela 5.7 apresenta os parâmetros usados para mensurar os dados analisados nesse estudo.

Tabela 5.7 – Análise do sistema de medição e base de desempenho (TPM).

Parâmetros de Qualidade	Coleta de Dados	Análise de Dados		
		Parâmetros	Meta	Riscos Identificados
Reduzir o tempo gasto em manutenções corretivas na DEK	Sistema de Apontamento de Produção	<b>Parada de linha para manutenção corretiva na DEK (min)</b> = Tempo em minutos de máquina parada para realização de manutenção corretiva na DEK.	Tempo de manutenção corretiva na DEK $\leq$ 20 min	Desperdícios: tempo de espera.

A Figura 5.20 ilustra o tempo gasto com manutenção corretiva realizada na DEK entre as semanas 23 e 28.

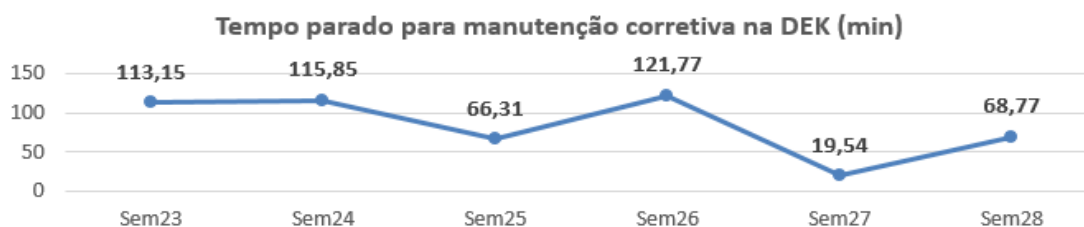


Figura 5.20 – Tempo de manutenção corretiva na DEK (fase medir).

Com base nos dados da Figura 5.20 e seguindo as orientações de SAMOHYL (2009), tem-se:



$$\text{Máximo} = 121,77 \text{ minutos}$$

$$\text{Média} = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 84,23 \text{ minutos} \quad (5.1)$$

$$\text{Mediana} = 90,96 \text{ minutos}$$

$$\text{Mínimo} = 19,54 \text{ minutos}$$

$$\text{Amplitude total} = \text{máximo} - \text{mínimo} = 102,23 \text{ minutos} \quad (5.2)$$

$$\text{Desviopadrão} = S_x = \sqrt{S_{x^2}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (5.3)$$

$$= 39,98 \text{ minutos}$$

### 5.4.3 DMAIC – Analisar (*Analyze*)

A fim de determinar as causas raízes potenciais para o tempo gasto com manutenção corretiva na máquina DEK, o time fez uso do *ishikawa* e determinou 3 causas principais dentre todas as listadas, conforme ilustrado na Figura 5.21.

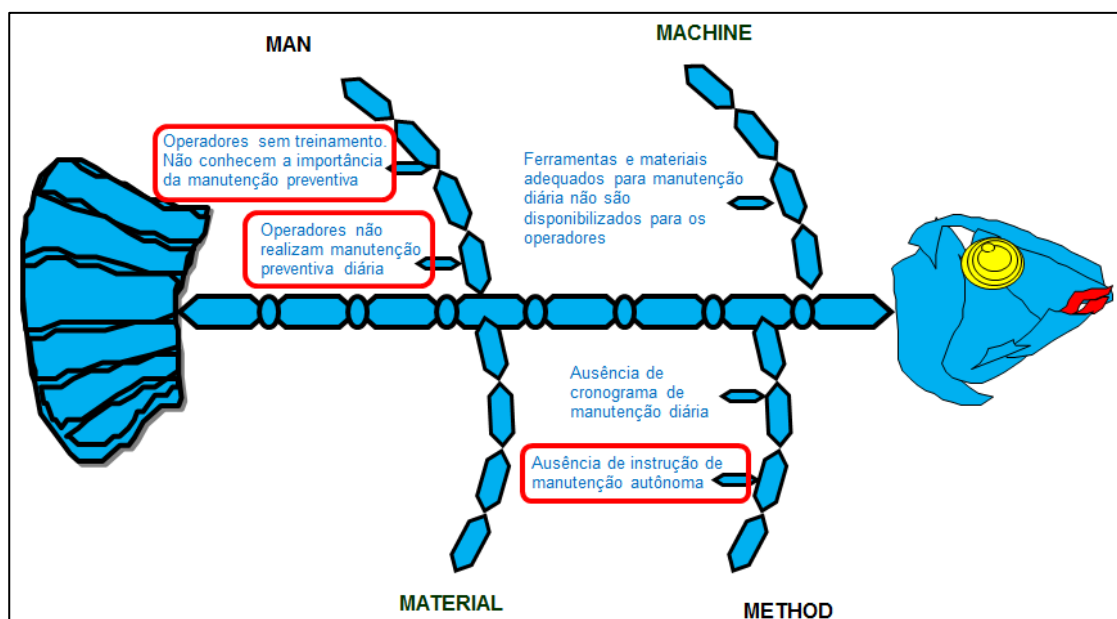


Figura 5.21 – Diagrama de *ishikawa* (TPM).

O time também analisou a contribuição de cada uma das causas potenciais escolhidas, A Tabela 5.8 apresenta o resumo dessa etapa.

Tabela 5.8 – Resumo da análise (TPM).

Causa raiz	Contribuição da causa para o problema	Como esta causa foi validada
Operadores não realizam manutenção preventiva diária	Tempo de parada de máquina para realização de manutenção corretiva.	Sistema de Apontamento de Produção
Operadores sem treinamento. Não conhecem a importância da manutenção preventiva	Falta de habilidade em solucionar problemas simples. Necessidade de acionar equipe de manutenção para qualquer dificuldade.	Sistema de Apontamento de Produção
Ausência de instrução de manutenção autônoma	Operadores não tem um guia para manutenções preventivas.	Sistema de Controle de Documentos

#### 5.4.4 DMAIC – Melhorar (*Improve*)

Para cada causa listada na fase *Analyze* o time tomou ações para realização das melhorias, conforme apresentado na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Resumo das melhorias (TPM).


Causa Raiz	Solução	Piloto / Simulação de Resultados
Operadores não realizam manutenção preventiva diária	Cronograma de manutenção diária, apresentado na Tabela 5.10.	Execução de manutenção preventiva em todos os dias trabalhados.
Operadores sem treinamento. Não conhecem a importância da manutenção preventiva	Evento <i>kaizen</i> : TPM <ul style="list-style-type: none"> <li>– Visão geral TPM</li> <li>– Manutenção Autônoma</li> <li>– Indicadores de desempenho</li> <li>– <i>Gemba</i>: <i>Kaizens</i> com foco em TPM</li> <li>– <i>Gemba</i>: Verificar aplicação dos requerimentos</li> <li>– <i>Gemba</i>: Praticar o plano piloto</li> </ul>	
Ausência de instrução de manutenção autônoma	Criação da instrução de manutenção preventiva autônoma, mostrada no apêndice D.	Manutenção preventiva é executada de acordo com instrução

Tabela 5.10 – Cronograma de Manutenção Autônoma Nível 1.

Cronograma de Manutenção Autônoma Nível 1						
SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
1º Turno			1º Turno			-
	2ª Turno			2ª Turno		-
		3º Turno			3º Turno	-
Instruções						
Não haverá manutenção no Domingo; Após o Domingo o ciclo de manutenções prossegue com a turma que estava agendada.						

#### 5.4.5 DMAIC – Controlar (*Control*)

Após a implementação das melhorias, a partir da semana 29, fez-se o acompanhamento dos resultados durante treze semanas. Pode-se observar visualmente na Figura 5.22 que houve considerável redução no tempo gasto com manutenção corretiva na DEK.



Figura 5.22 – Tempo de manutenção corretiva na DEK (fase controlar).

Com base nos dados da Figura 5.22, especificamente a partir da semana 29, e seguindo as orientações de SAMOHYL (2009), temos:

$$\text{Máximo} = 88,54 \text{ minutos}; \quad \text{Média} = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 19,27 \text{ minutos}$$

$$\text{Mediana} = 8 \text{ minutos}; \quad \text{Mínimo} = 17,00 \text{ minutos};$$

$$\text{Amplitude total} = \text{máximo} - \text{mínimo} = 86,69 \text{ minutos};$$

$$\text{Desviopadrão} = S_x = \sqrt{S_{x^2}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 28,17 \text{ minutos}.$$

#### Resultados, reconhecimento e impactos no valor da organização:

- Cultura *lean* e conceitos TPM foram disseminados. Operadores entendem a importância da manutenção preventiva e sabem como executá-la diariamente;

- Média de tempo gasto com manutenção corretiva da DEK foi reduzido de 84,23 para 19,27 minutos;
- Instrução de manutenção preventiva diária na DEK foi criada;
- Ganho financeiro anual: \$ 33.928.

## 5.5 Evento SMED

Este evento foi liderado pelo Planejamento. Mostrou na prática que é possível realizar *set up* de modelos em processos SMT com tempos de um dígito. Isso foi alcançado com o empenho de todo o time, tanto em entender cada uma das operações realizadas durante as trocas de modelos como na execução prática de cada *set up*. O estudo deste evento foi publicado em artigo, conforme evidenciado no apêndice F.

### 5.5.1 DMAIC – Definir (*Define*)

Por meio de análise de dados e entrevistas com os interessados no processo (líderes, operadores e time de suporte), foram verificados os seguintes problemas/oportunidades: alto tempo de parada de máquinas para realização de *setups* e colaboradores sem conhecimento/experiência na ferramenta SMED. Dessa forma definiu-se o objetivo de demonstrar que é possível aplicar SMED em processos de SMT, sendo a meta reduzir a média de tempo de *setup* em 50%, de 31,48 minutos para 16 minutos em três semanas, buscando trocas de modelo em tempos de um dígito, ou seja, menores que 9,99 minutos.

### 5.5.2 DMAIC – Medir (*Measure*)

A Tabela 5.11 apresenta um resumo do parâmetro de qualidade analisado, as bases de medição usadas no projeto, como coletar os dados, a meta e os riscos.

Tabela 5.11 – Análise do sistema de medição e base de desempenho (SMED).

Parâmetros de Qualidade	Coleta de Dados	Análise de Dados		
		Parâmetros	Meta	Riscos Identificados
Reduzir o tempo entre trocas de modelo	Sistema de Apontamento de Produção	<b>Parada de linha durante <i>set up</i> (min)</b> = Tempo em minutos entre a última peça produzida do modelo anterior e a primeira peça produzida do próximo modelo.	Tempo <i>deset up</i> ≤ 9,99 min	Desperdícios: tempo de espera, movimentação

A Figura 5.23 mostra os minutos gastos nos últimos 21 *set ups* realizados.

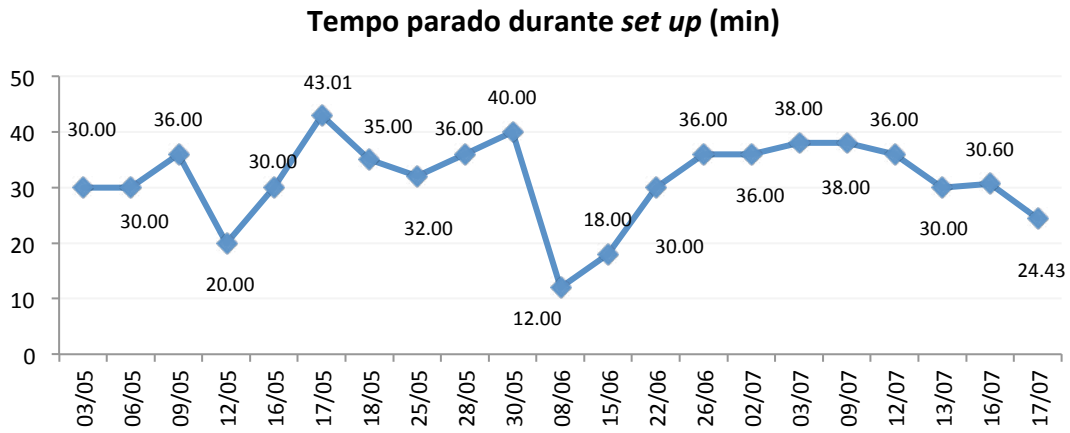


Figura 5.23 – Tempo parado durante *set up* (min) (fase medir).

Com base nos dados da Figura 5.23 e seguindo as orientações de SAMOBYL (2009), tem-se:

$$\text{Máximo} = 43,01 \text{ minutos}$$

$$\text{Quartil superior} = \frac{(36,00 + 36,00)}{2} = 36 \text{ minutos} \quad (5.4)$$

$$\text{Média} = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 31,48 \text{ minutos}$$

$$\text{Mediana} = 32 \text{ minutos}$$

$$\text{Quartil inferior} = \frac{(30,00 + 30,00)}{2} = 30 \text{ minutos} \quad (5.5)$$

$$\text{Mínimo} = 12,00 \text{ minutos}$$

$$\text{Amplitude total} = \text{máximo} - \text{mínimo} = 31,01 \text{ minutos}$$

$$\text{Desvio padrão} = S_x = \sqrt{S_{x^2}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 7,62 \text{ minutos}$$

Para melhor visualização, os dados foram organizados no gráfico de caixa de medianas, mostrado na Figura 5.24. Onde notamos três pontos (asteriscos) abaixo da caixa que estão fora das medianas, os quais merecem investigação.

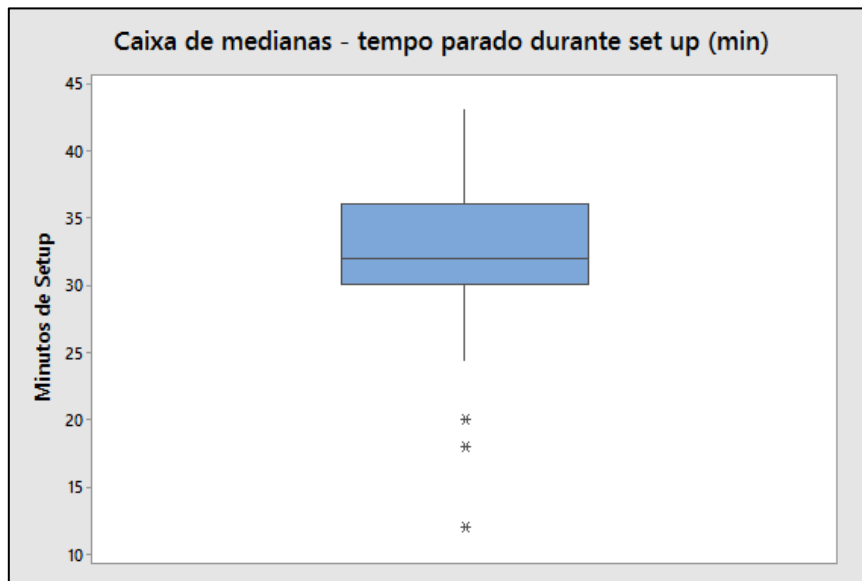


Figura 5.24 – Caixa de medianas de tempo parado durante *set up* (min) (fase medir).

Na Figura 5.25 podemos ver os mesmos dados em histograma, mostrando visualmente que a maioria dos tempos de *set up* concentrou-se entre 25 e 40 minutos.

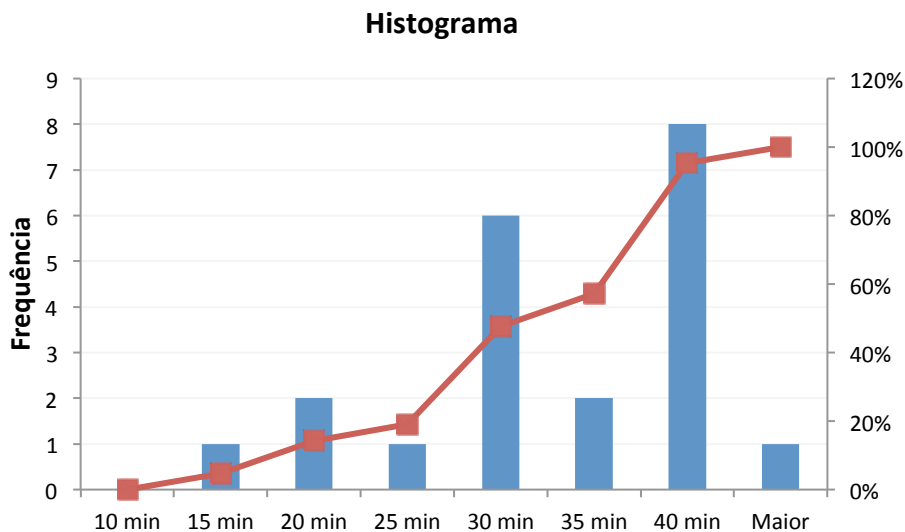


Figura 5.25 – Histograma de tempo parado durante *set up* (min) (fase medir).

### 5.5.3 DMAIC – Analisar (*Analyze*)

Para analisar possíveis causas do baixo desempenho nos indicadores utilizados em nossa medição, desenhou-se o diagrama de *Ishikawa*, mostrado na Figura 5.26, levantando treze causas potenciais, das quais, após *brainstorming*, quatro (destacadas) foram relevantes.

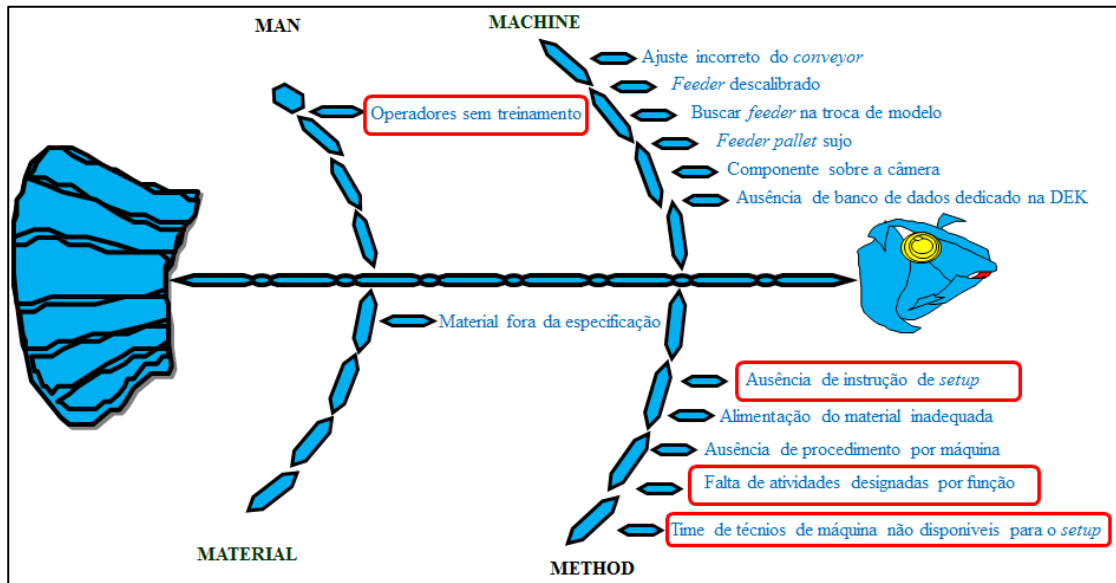


Figura 5.26 – Diagrama de *ishikawa* (SMED).

Para cada causa relevante foi dimensionada uma contribuição para o problema, também a validação para confirmar a causa e possíveis soluções. A Tabela 5.12 apresenta esse resumo.

Tabela 5.12 – Resumo da análise (SMED).

Causa Raiz	Contribuição da causa para o problema	Como a causa foi validada
Operadores sem treinamento.	Falta de habilidade para realizar o <i>set up</i> . Perda de tempo durante o <i>set up</i> .	Observação do método atual do <i>set up</i> .
Falta de atividades designadas por função.	Falta de envolvimento do time na execução das atividades, poucos operadores ocupados enquanto os demais ficavam ociosos. Perda de tempo.	Observação do método atual do <i>set up</i> .
Ausência de instrução de <i>set up</i> .	Atividades executadas sem orientação e sem ordem estabelecida.	Não há documentos publicados no sistema.
Time de técnicos de máquina não disponíveis para o <i>set up</i> .	No momento do <i>set up</i> , necessidade do líder de produção procurar um técnico de máquina para validar o conveyor do forno e, caso necessário, realizar qualquer outro suporte.	Observação do método atual do <i>set up</i> . Não é mandatória a presença do técnico de máquina.

#### 5.5.4 DMAIC – Melhorar (*Improve*)

Para cada uma das causas levantadas pelo time, foi desenvolvida uma solução. A Tabela 5.13 apresenta o resumo das melhorias implementadas:

Tabela 5.13 – Resumo das melhorias (SMED).

<b>Causa Raiz</b>	<b>Solução</b>	<b>Piloto / Simulação de Resultados</b>
Operadores sem treinamento.	Evento: SMED - Treinamento SMED - <i>Gemba</i> : Análise do processo de <i>set up</i> atual - <i>Gemba</i> : Proposta de instrução de <i>set up</i>	Evento realizado com supervisor, líderes, operadores de produção e representantes da área de suporte de máquina.
Falta de atividades designadas por função.	Envolver todo o time durante o processo de troca de modelo, designar atividades na instrução de <i>set up</i> .	Novo método de <i>set up</i> . Todos os membros da linha trabalhando juntos.
Ausência de instrução de <i>set up</i> .	Criação de instrução de <i>set up</i> .	Novo método de <i>set up</i> . Atividades estão registradas na Instrução de <i>Set up</i> .
Time de técnicos de máquina não disponíveis para o <i>set up</i> .	Solicitar presença de um técnico de máquina para acompanhamento do <i>set up</i> .	Técnico de máquina está presente durante todo o tempo de realização do <i>set up</i> .

A Tabela 5.14 apresenta uma síntese comparando a distribuição das atividades executadas no *set up* antes e depois do SMED, podemos observar que as tarefas foram divididas entre todos os membros que trabalham no processo (um líder, um operador DEK, dois operadores NXT, um operador de *loader*, um operador da sala de programa, um revisor e um alimentador) de forma que várias operações pudessem ser executadas concomitantemente, reduzindo consideravelmente o desperdício de espera.



Tabela 5.14 – Comparação da distribuição de atividades de *set up*, antes e depois do SMED.

Atividades	Método Anterior			Método Após Redistribuição das Atividades							
	Oper. DEK	Oper. 1 NXT	Oper. 2 NXT	Oper. Loader	Oper. DEK	Oper. 1 NXT	Oper. 2 NXT	Líder	Oper. Sala Progr.	Revisor	Alimentador
Ajustar <i>conveyors</i>	X			X							
Ajustar DEK	X				X						
Limpar de <i>feeder pallet</i>	N/A										X
Retirar Material NXT		X				X					
Alimentar NXT			X				X				
Ajustar Forno	X							X			
Ajustar <i>shuttle conveyor</i> antes do forno			X					X			
Ajustar <i>shuttle conveyor</i> depois do forno		X								X	
Transporte de carrinho com material		X	X						X		
Retirar rejeitos da NXT		X	X		X						
Troca do material da MTU		X				X					
Carregar programa na MTU		X					X				

### 5.5.5 DMAIC – Controlar (*Control*)

Após a implementação das melhorias seguiu-se três semanas de acompanhamento. A Figura 5.27 mostra os minutos gastos nos *set ups* realizados nessa fase.

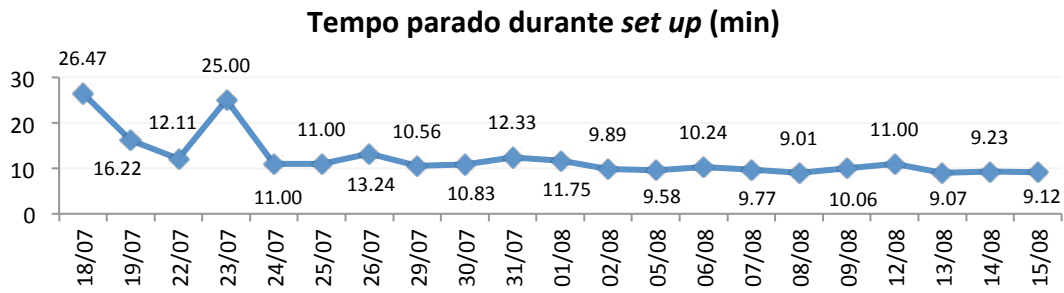


Figura 5.27 – Tempo parado durante set up (min) (fase controlar).

Com base nos dados da Figura 5.27 e seguindo as orientações de SAMOHYL (2009), tem-se:

*Máximo = 26,47 minutos*

$$\text{Quartil superior} = \frac{(12,33 + 12,11)}{2} = 12,22 \text{ minutos}$$

$$\text{Média} = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 12,22 \text{ minutos}$$

*Mediana = 10,83 minutos*

$$\text{Quartil inferior} = \frac{(9,77 + 9,58)}{2} = 9,68 \text{ minutos}$$

*Mínimo = 9,01 minutos*

*Amplitude total = máximo – mínimo = 17,46 minutos*

$$\text{Desvio padrão} = S_x = \sqrt{S_x^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 5,15 \text{ minutos}$$

Para melhor visualização, os dados foram organizados no gráfico de caixa de medianas, mostrado na Figura 5.28. Evidenciou-se pontos (asteriscos) fora da caixa, os quais ocorreram logo no início dessa fase, com a prática do novo método de *set up* o processo tornou-se estável.

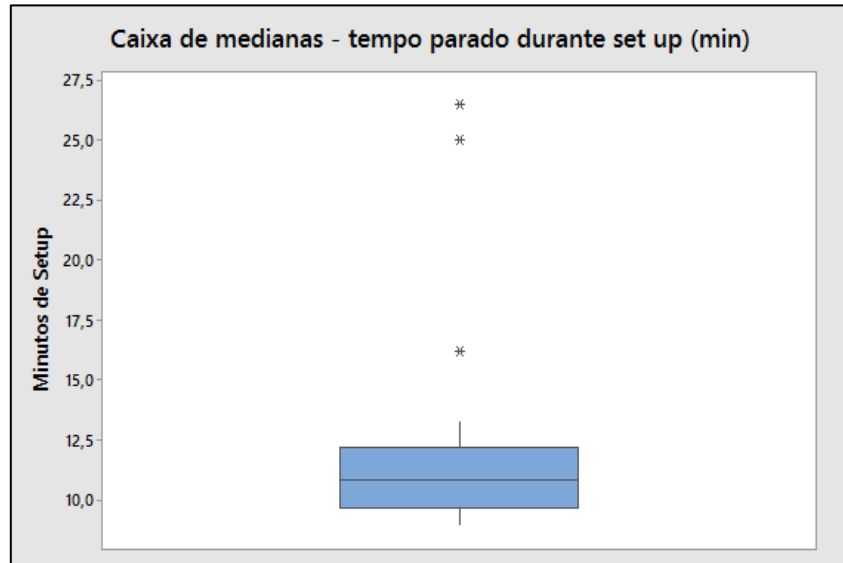


Figura 5.28 – Caixa de medianas de tempo parado durante *set up* (min) (fase controlar).

Na Figura 5.29 podemos ver os mesmos dados em histograma, mostrando visualmente que a maioria dos tempos de *set up* não ultrapassou 15 minutos, sendo que houve seis trocas de modelos com tempo inferior a 10 minutos.

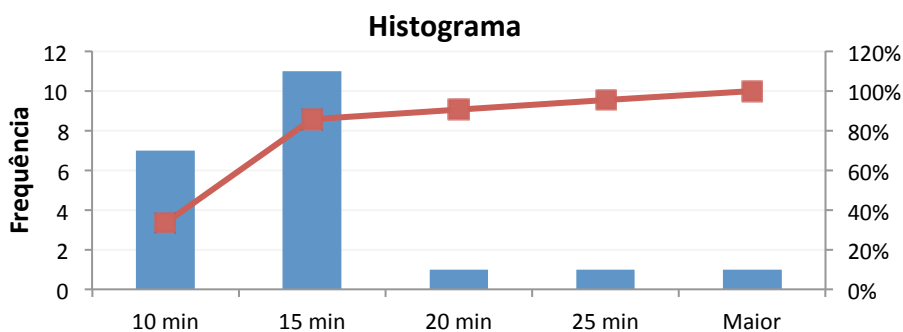


Figura 5.29 – Histograma de tempo parado durante *set up* (min) (fase controlar).

No intuito de garantir que as melhorias se sustentem ao longo do tempo e para padronizar o novo método de *set up*, evitando que as novas práticas criadas fosse esquecidas, o time registrou como executar cada uma das fases em uma Instrução para Troca de Modelo, a qual pode ser vista no apêndice E.

#### **Resultados, reconhecimento e impactos no valor da organização:**

- Mais uma ferramenta *lean* foi disseminada;
- Média de tempo parado por *set up* foi reduzida de 31,48 para 12,26 minutos;

- Tempos de *set up* de um dígito foi alcançado: 9,01 minutos;
- Ganho financeiro anual: \$ 37.785,60.

## 5.6 Evento produção JIT

O evento JIT foi coordenado pelo Planejamento. Todos os membros do time foram desafiados a estabelecer uma metodologia de produzir somente o que era necessário para atender ao cliente, na hora acordada.

### 5.6.1 DMAIC – Definir (*Define*)

O time optou por limitar o escopo desse evento na área de buffer na parte final do processo de SMT, ou seja, no pulmão de placas prontas para serem enviadas ao processo de inserção manual (cliente interno). O problema encontrado foi a falta de controle de *buffer*, não havia controle de FIFO, desperdício de superprodução e estoque, risco de qualidade do produto tanto pelo tempo de armazenamento, quanto pelo risco de se descobrir um defeito depois de excesso de quantidade produzida. Esse foi o primeiro evento onde não havia uma meta quantitativa, mas sim, o objetivo de definir uma sistemática para controlar o nível de *buffer* adequado para produzir somente o necessário no tempo necessário para evitar excesso de estoque e impactos ao cliente.

### 5.6.2 DMAIC – Medir (*Measure*)

A fase medir desse evento foi diferente da fase medir dos eventos anteriores. Não havia métrica de medição para controle de estoque, não havia indicadores pré-definidos. Dessa forma, o parâmetro utilizado foi a fotografia das quantidades de estoque retiradas em dois momentos:

- Nível de *buffer* medido no VSM: 1.250 placas
- Nível de *buffer* medido no *gemba* do evento JIT: 5.853 placas

Conforme a ferramenta VSM, podemos converter as quantidades de estoque em tempo, multiplicando essa quantidade pelo *takt time* da linha (15,31s), dessa forma, temos:

- Nível de *buffer* medido no VSM: 1.250 placas = 5,32h
- Nível de *buffer* medido no *gemba* do evento JIT: 5.853 placas = 24,89h

Podemos dizer que a quantidade de placas na área de *buffer* permitia que o processo estudado parasse durante quase 25 horas e ainda assim seu cliente interno, a inserção manual, não seria afetado com essa parada.

O principal problema aqui é que a fábrica não tinha parâmetros pra definir se esses valores encontrados eram “muito” ou “pouco” estoque para atendimento ao cliente.

### 5.6.3 DMAIC – Analisar (*Analyze*)

Nesse evento a análise do problema foi feita exclusivamente por meio das observações capturadas durante o *gemba* no processo e *brainstorming* de todos os membros envolvidos, para avaliar quais causas contribuíam para a falta de controle do *buffer*. O resumo da análise está apresentado na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 – Resumo da análise (JIT).

Causa Raiz	Contribuição da causa para o problema	Como a causa foi validada
Planejamento não controla a quantidade <i>buffer</i> necessária.	Devido a falta de limites máximo e mínimo de estoque no final da SMT. A produção não sabe quando deve parar o processo para evitar o excesso.	Ausência de informação por todos os envolvidos.
Líderes e controlador de <i>buffer</i> sem treinamento.	Falta de conhecimento sobre a necessidade de controlar o volume produzido.	Ausência de informação por todos os envolvidos.
Falta de gerenciamento visual para limitar a quantidade máxima de produção.	Ainda que a quantidade do <i>buffer</i> fosse estabelecida, sem o gerenciamento visual seria difícil controlar o nível de produção.	Não há área de <i>buffer</i> definida. Não há controles visuais.

### 5.6.4 DMAIC – Melhorar (*Improve*)

A ação principal que iria dar direcionamento para realização de ações nas outras duas causas, era a necessidade de determinar qual o nível de *buffer* adequado para manter um fluxo contínuo de um sistema puxado, evitando superprodução e impactos no cliente.

O time de planejamento coletou informações para calcular o *buffer* na fase SMT.


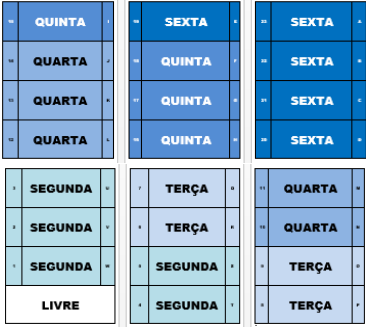
- Capacidade de produção diária SMT (processo estudado): 260 placas/hora;
- Capacidade de produção diária Inserção Manual (cliente interno): 450 placas/hora;
- Turnos trabalhados na SMT: 4 turnos (domingo a domingo);
- Turnos trabalhados na Inserção Manual: 2 turnos (segunda a sexta);
- Quantidade de placas por magazine (SMT): 23 placas;
- Quantidade de magazines por paletes (SMT): 18 magazines;
- Quantidade de placas por paleta (SMT): 414 placas.

Diante destes dados, podemos tirar algumas conclusões:

- Cliente Inserção Manual consome 73% mais placas do a SMT é capaz de produzir;
- Horários de trabalho na inserção manual e SMT são diferentes;
- Há necessidade de manter um nível de *buffer* controlado para atender ao cliente.

Além da necessidade de calcular o nível de *buffer* adequado, para cada uma das causas levantadas foi desenvolvida uma solução. A Tabela 5.16 apresenta o resumo.

Tabela 5.16 – Resumo das melhorias (JIT).

Causa Raiz	Solução	Piloto / Simulação de Resultados
Planejamento não controla a quantidade <i>buffer</i> .	Com base na demanda do cliente final (externo) e da inserção manual (cliente interno), calcular a quantidade adequada de <i>buffer</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Segunda: 9.522 placas (23 paletes)</li> <li>– Terça: 7.452 placas (18 paletes)</li> <li>– Quarta: 5.796 placas (14 paletes)</li> <li>– Quinta: 3.726 placas (9 paletes)</li> <li>– Sexta: 2.070 placas (5 paletes)</li> </ul>
Líderes e controlador de <i>buffer</i> sem treinamento.	Evento: JIT - Treinamento JIT - <i>Gemba</i> : Observação e análise dos volumes de produtos na área de <i>buffer</i>	
Falta de gerenciamento visual para limitar a quantidade máxima de produção.	Com base no volume de <i>buffer</i> calculado, delimitar as áreas de forma que a identificação do limite máximo seja de fácil visualização e entendimento. Então fez-se uma demarcação para alocação de paletes de acordo com o dia da semana.	

### 5.6.5 DMAIC – Controlar (*Control*)

O gerenciamento visual feito por meio de demarcações no chão e placas indicativas do dia da semana que deveriam estar com estoque, permitiu que o controle de estoque fosse entendido por todos os funcionários envolvidos nesse processo. Assim quando o nível de *buffer* atingia o máximo permitido, a linha parava e aguardava o sistema puxar a necessidade de voltar a produzir. O *buffer* máximo variava de acordo com o dia da semana, conforme apresentado abaixo:

- Segunda: 9.522 placas (23 paletes)
- Terça: 7.452 placas (18 paletes)
- Quarta: 5.796 placas (14 paletes)
- Quinta: 3.726 placas (9 paletes)
- Sexta: 2.070 placas (5 paletes)

**Resultados, reconhecimento e impactos no valor da organização:**

- Mais uma ferramenta *lean* foi disseminada;
- Nível de estoque (*buffer*) controlado;
- Fluxo contínuo de sistema puxado definido.

**5.7 Avaliação final do índice de maturidade *lean***

Depois da realização de todos os eventos *kaizen* planejados, considerando a aplicação de diversas ferramentas *do TPS*, o time reuniu-se para avaliar novamente o índice de maturidade *lean*. O resultado é mostrado nas Figura 5.30 e 5.31.

Inputs		Output		Key		
Category	Inputs	Weighted Score				
Line/Area Evaluated:	SMT 01	81,80%		Stone 0 to 35%		
Month:	12			Bronze 36% to 60%		
Year:			Gold	Silver 61% to 80%		
				Gold 81% to 90%		
				Platinum 91% to 100%		
Lean Index Scores		Weighted Rating Adjusted		Historical		
	Average			Month	Line Score	Factory Average
Management Support	5,00	8%	0,80	January	25,20%	
Culture	5,00	8%	0,80	February	29,60%	
5S	5,00	7%	0,70	March	29,60%	
Value Stream Mapping	5,00	7%	0,70	April	31,20%	
Setup Reduction	5,00	7%	0,70	May	41,40%	
Total Productive Maintenance	4,00	7%	0,56	June	41,40%	
Pull Systems	3,00	7%	0,42	July	45,50%	
Production/Information Flow	4,00	7%	0,56	August	50,60%	
Plant / Facility Layout	4,00	7%	0,56	September	62,00%	
Standard Work	5,00	7%	0,70	October	67,60%	
Lean Product and Process Design	1,00	7%	0,14	November	69,00%	
Accounting Support for Lean	5,00	7%	0,70	December	80,40%	
Supply Chain	1,00	7%	0,14			
Continuous Improvement	5,00	7%	0,70			

Figura 5.30 – Pontuação índice de maturidade *lean* (final).

## Lean Index

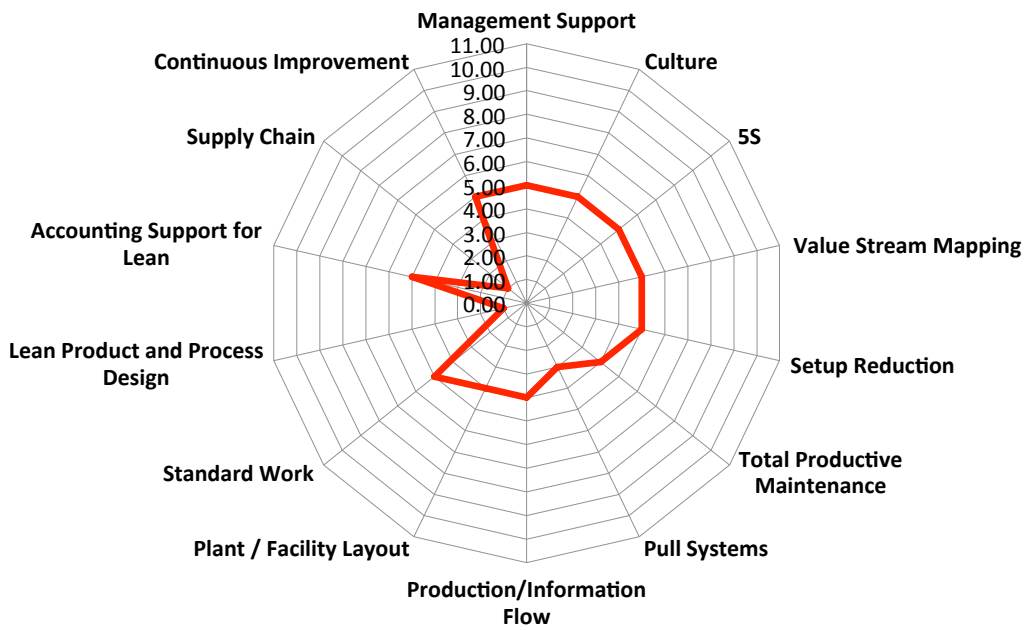


Figura 5.31 – Radar índice de maturidade *lean* (final).

Embora alguns itens não estejam no nível máximo de pontuação, a linha atingiu um nível de maturidade elevado, 81,80%, cumprindo a meta estabelecida pela empresa de no mínimo 81% para chegar a fase ouro.



## CAPÍTULO 6

# CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

### 6.1 Conclusão

Esta pesquisa demonstrou que a aplicação do lean manufacturing em um processo de SMT de uma empresa do ramo eletroeletrônico de produção em massa pode torná-la mais competitiva, além de impactar culturalmente seus colaboradores. Os benefícios não alcançaram somente a organização, mas também cada indivíduo que participou da pesquisa, sendo que os outros processos que não faziam parte do estudo também obtiveram vantagens devido ao interesse em copiar as boas práticas que estavam sendo aplicadas.

A estratégia adotada inicialmente, mostrou-se adequada para o propósito do estudo: selecionar o processo para aplicação do Estudo de Caso, conceituar ferramentas do *Lean Manufacturing*, traçar plano de aplicação dos eventos TPS necessários para melhoria do processo, empregar as ferramentas de *Lean Manufacturing* para melhorar o processo, evidenciar benefícios, vantagens e impactos financeiros alcançados com a implementação do *Lean Manufacturing*.

A metodologia utilizada, estudo de caso orientado pela ferramenta DMAIC, mostrou-se eficiente para o direcionamento da pesquisa. A equipe multifuncional escolhida contribuiu grandemente com conhecimento e experiência, cada um conforme sua área de atuação. Cada membro ensinou, mas o aprendizado foi muito maior. A avaliação inicial dos riscos serviu para que o grupo entendesse a importância do trabalho que estava sendo desenvolvido e a preocupação de todos em tomar ações que reduzissem ou impedissem qualquer possibilidade de interrupção ou fracasso do projeto. O plano de comunicação foi a base para que todos os *stakeholders* pudessem estar alinhados com a mesma informação, dessa forma, cada operador, cada colaborador responsável pelo suporte ao processo produtivo, os gerentes das diversas áreas e também o cliente podiam entender facilmente como o projeto estava sendo conduzido, os resultados parciais e os próximos passos. A avaliação inicial do índice de maturidade *lean* possibilitou o entendimento sobre a situação do processo antes do início da aplicação das ferramentas, um processo com pouca maturidade (25,20%), na fase pedra,

que precisava ser lapidado para se tornar pedra preciosa (ouro). Também o mapeamento do fluxo de valor (VSM) deu a noção exata dos pontos de desperdícios que precisavam ser eliminados ou reduzidos para que o processo aumentasse seu valor agregado, foi por meio dessa ferramenta que foi possível decidir quais as ferramentas mais adequadas para aumentar o nível de maturidade *lean* do processo. Por fim, depois da equipe definida, riscos avaliados, plano de comunicação traçado, nível de maturidade *lean* medido e VSM desenhado, foi possível estabelecer um cronograma de realização de eventos *lean* para aplicação de cada uma das ferramentas.

Gerenciamento Visual (GV) foi o primeiro evento, sendo coordenado pela equipe de manufatura. O maior ganho desse projeto foi o impacto moral nos operadores de produção, sentiram-se parte do time, foi nesse evento que ganhamos o apoio dos operadores de chão de fábrica. Além disto, os tempos ociosos de linha parada foram convertidos para tempo de melhorias, todas as linhas ultrapassaram a meta de 1 *kaizen* por colaborador, também todas as linhas ultrapassaram a meta de 90% no desempenho de segurança + 5S e a redução do trabalho manual nos registros dos *kaizens* aprovados no Portal LSS de 10 minutos para 2 minutos. Ganho financeiro anual: \$ 7.283,68.

Jidoka foi o segundo evento, sendo coordenado pelo Engenheiro de Qualidade. O maior ganho neste evento foi a satisfação do cliente, o processo foi capacitado de modo a conseguir atingir e manter zero defeito causado por problema de coplanaridade do HDMI, tendo isso sido causa de orgulho para todos os funcionários responsáveis por essa conquista. Ganho financeiro anual: \$ 5.352.

Balanceamento de linha foi o terceiro evento, sendo coordenado pelo Engenheiro Industrial. Pela primeira vez, na empresa estudada, os operadores foram ouvidos no processo de balanceamento de linha, entendendo inclusive a necessidade de redução da quantidade de operadores da linha. Dois módulos NXTs removidos, redução de quatro operadores (um por turno), capacidade (260 por hora) e *takt time* (15,31s) mantidos, e redução do tempo total de processamento de 274,05s para 249,76s. Ganho financeiro anual: \$ 129.672.

TPM foi o quarto evento aplicado. Conduzido pelo Engenheiro de Manufatura com apoio do Supervisor de Manutenção de Máquinas. Nesse evento mais um pioneirismo, a partir da aplicação dessa ferramenta, os operadores obtiveram a atribuição de execução da manutenção preventiva autônoma, sendo responsáveis pela execução diária. Além da média de tempo gasto com manutenção corretiva da DEK ter

sido reduzida de 84,23 para 19,27 minutos, também a instrução de manutenção preventiva diária na DEK foi criada. Ganho financeiro anual: \$ 33.928.

SMED foi o quinto evento aplicado. Tendo sido conduzido pelo Planejador, porém os grandes contribuidores para o resultado positivo desse evento foram os operadores de máquina, eles queriam mais do que qualquer outro participante, mostrar que era possível atingir tempos de um dígito em *set up* de SMT, e conseguiram. Houve redução do tempo médio de *set up* em mais de 50%, de 31,48 minutos para 12,26 minutos, atingindo tempos de 9,01 minutos. Ganho financeiro anual: \$ 37.785,60.

JIT foi o sexto e último evento aplicado. Também conduzido pelo Planejador. Esse foi o único evento que não possuía uma meta tangível, devido a falta de parâmetros de medição claros. O objetivo principal era estabelecer o nível de *buffer* de produto adequado para evitar desperdícios de superprodução e impactos de parada no cliente por falta de produto do processo SMT. O nível de estoque máximo foi calculado conforme a necessidade do cliente, sofrendo variações de acordo com o dia da semana. Fluxo contínuo de sistema puxado definido.

Diante de tudo que foi apresentado ao longo do estudo e, resumidamente, nesse capítulo, podemos dizer que a pesquisa alcançou o êxito esperado. O nível de maturidade *lean* após a aplicação de todos os eventos, atingiu 81,80%, chegando a fase ouro. O ganho financeiro anual, somando todos os resultados, atingiu \$ 214.021,28, evidenciando que a aplicação do *lean manufacturing* tornou a empresa mais competitiva e impactou positivamente os funcionários.

## **6.2 Recomendações para trabalhos futuros**

Como recomendações para trabalhos futuros que seguirão a mesma linha de raciocínio empregada nesse estudo, ficam as seguintes sugestões:

- Aplicação dessa mesma metodologia para outros tipos de processos. No caso de fabricação de placas é possível estender essa pesquisa para o processo de montagem THT e para montagem na inserção manual. Podendo também ser aplicado para processo de montagem de bem final. Mas, nada impede, de aplicar o mesmo método para outros tipos de indústrias (metalurgia, injeção plástica e outros) ou outras áreas completamente diferentes (hospitais, escolas, serviço público, etc.);

- Em relação ao evento JIT, também é possível aumentar a abrangência, envolvendo o inventário de matérias-primas (estoques, podendo inclusive incluir o inventário do fornecedor) e WIP.
- Nesse estudo, a ferramenta DMAIC foi escolhida para orientar a realização de cada evento, mas existem muitas outras ferramentas que também podem ser utilizadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULMOUTI, H., 2015, “The Role of Kaizen (Continuous Improvement) in Improving Companies’ Performance: A Case Study”, **Proceedings of the 2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management**, Dubai, UAE, 3-5 March.
- AHUJA, I. P. S., KHAMBA, J. S., 2008, “Total productive maintenance: literature review and directions”, **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 25, n. 7, pp. 709-756.
- ALMEIDA, M. R., BELO, J. N. A., SILVA. B. C., 2011, “Evento Kaizen: Estudo de caso em uma metalúrgica brasileira”, **XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, Belo Horizonte, Brasil, 04-07 Outubro.
- ALMOMANI, M. A., ALADEEMY, M., ABDELHADI, A., *et al.*, 2013, “A proposed approach for setup time reduction through integrating conventional SMED method with multiple criteria decision-making techniques”, **Computers & Industrial Engineering**. v. 66, issue 2, pp. 461–469.
- ANTUNES, Junico, 2008, **Sistemas de produção: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta**. Porto Alegre, Bookman.
- AUDENINO, Alain, 2012, “Kaizen and Lean Management Autonomy and Self-Orientation, Potentiality and Reality ...”, **Communications, Computing and Control Applications (CCCA), IEEE Conference publications**, pp. 1-6.
- AYADI, Y., RACHID C., ION V., 2014, “Contribution To The Optimization Of Strategy Of Maintenance By Lean Six Sigma”, **Physics Procedia**, v. 55, pp. 512–518.
- BAUER, B., LATHROP, R., 1998, **An Introduction to Solder Materials**, Published in SMT, March. Disponível em: <<http://www.smtnet.com/library/files/upload/Introduction-Solder-Materials.pdf>>. Acesso em: 03 de outubro de 15.
- BISSOLI, P. R. L., 2006, **Proposta de metodologia para aplicação do conceito de manufatura enxuta em uma empresa do ramo eletroeletrônico**, M. Sc., Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara D’Oeste. Disponível em: <<https://www.unimep.br/phpg/bibdig/pdfs/2006/LCHJBKWTWLIP.pdf>>. Acesso em: 03 de outubro de 2015.

- BRINDLEY, K. N., 1990, **Electronics Assembly Handbook**, Oxford: Heinemann Professional Publishing Ltd.
- CAMPANINI, H. C., ALMEIDA, M. R., SILVEIRA, R. R., CAMPOS, M. C., 2013, “Manufatura enxuta para melhoria contínua da eficiência empresarial: uma aplicação da troca rápida de ferramentas e kanban em uma empresa fabricante de eletrodomésticos”, **XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, Salvador, Brasil, 08-11 Outubro.
- CARNEIRO, F. L., 2011, “O sistema de produção enxuta e sua implantação na Volkswagen do Brasil”. Disponível em: <[http://www.ogerente.com.br/prod/artigos/producao-artigos-enxuta\\_VW.htm](http://www.ogerente.com.br/prod/artigos/producao-artigos-enxuta_VW.htm)>. Acesso em: 18 de outubro de 2015.
- CHURCHILL, C., COSTER, D., 2001, **Microfinance Risk Management Handbook**, Emily Pickrell and Calvin Miller.
- DEIF, A. M., ELMARAGHY, H., 2014, “Impact of dynamic capacity policies on WIP level in mix leveling lean environment”, **Procedia CIRP**, v. 17, pp. 404–409.
- DEMETE K., MATYUSZ Z., 2011, “The impact of lean practices on inventory turnover”, **International Journal of Production Economics**, v. 133, pp. 154-163.
- DOMBROWSKI, U., GROLLMANN, T., ZAHN, T., 2009, “Roadmap for the implementation of a Lean Production System”, **Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)**, v. 12, pp. 1120-1125.
- DOMBROWSKI, U., MIELKE T., 2014, “Lean Leadership – 15 Rules for a sustainable Lean Implementation”, **Procedia CIRP**, v. 17, pp. 565-570.
- DORO, M. M., 2004, **Sistemática para implantação da garantia da qualidade em empresas montadoras de placas de circuito impresso**, M. Sc., Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/87460/207492.pdf>>. Acesso em: 03 de outubro de 2015.
- FARRIS, J. A., AKEN, E. M. V., DOOLEN, T. L., *et al.*, 2008, “Learning from less successful Kaizen events: a case study”, **Engineering Management Journal**, v. 20, pp. 10–20.
- FARLOW, D., 2005, “Efficient Line Changeover”, **SMT Magazine**, v. 19, n. 3, pp. 44-45, março.

- FUNDAÇÃO CERTI, 2008, **Estudo para implantação de unidades fabris - Fábrica de montagem de placas eletrônicas**, Caderno com Conceito Fabril Final, Florianópolis, Novembro.
- FUSE TTN Training Material, 1999, **Printed circuit board and surface mount design**, version 7, June. Disponível em: <<http://www.fuse-network.com/fuse/training/pcb/pcb.pdf>>. Acesso em: 03 de outubro de 2015.
- GERSHENGORN H. B., KOCHER R., FACTOR P., 2014, “Management strategies to effect change in intensive care units: lessons from the world of business. Part II. Quality-improvement strategies”, **Ann Am Thorac Soc**, v. 11, pp. 444-453.
- GLOVER, W. J., FARRIS, J. A., AKEN, E. M. V., *et al.*, 2011, “Critical success factors for the sustainability of Kaizen event human resource outcomes: An empirical study”, **International Journal of Production Economics**, v. 132, issue 2, pp. 197–213.
- GODINHO FILHO, M., FERNANDES, F. C. F., 2004, “Manufatura Enxuta: uma revisão que classifica e analisa os trabalhos apontando perspectivas de pesquisas futuras”, **Gestão & Produção**, v. 11, n. 1, pp. 1-19.
- GONÇALVES, W. K. F., 2009, **Utilização de Técnicas Lean e Just in Time na Gestão de Empreendimentos e Obras**, M. Sc., Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal. Disponível em: <<http://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395138970511/Dissertação.pdf>>. Acesso em: 12 de outubro de 2015.
- GOUBERGEN, D.V., LANDEGHEM, H.V., 2002, “Rules for integrating fast changeover capabilities into new equipment design”, **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, v. 18, pp. 205-214.
- GROUT, J. R., TOUSSAINT, J. S., 2010, “Mistake-proofing healthcare: Why stopping processes may be a good start”, **Business Horizons**, v. 53, issue 2, pp. 149-156.
- GRZECHCA, W., 2011, **Final Results of Assembly Line Balancing Problem**, Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/assembly-line-theoryand-practice/final-results-of-assembly-line-balancing-problem>>. Acesso em: 18 de outubro de 2015.
- HELGESON, W. B., Birnie, D. P., 1961, “Assembly line balancing using the ranked positional weighting technique”, **Journal of Industrial Engineering**, v.12, pp. 394-398.

- HOLWEG, M., 2007, “The genealogy of lean production”, **Journal of Operations Management**, v. 25, pp. 420-437.
- IANNETTONI M. D., LYNCH, W. R., PAREKH, K. R., *et al.*, 2011, “Kaizen Method for Esophagectomy Patients: Improved Quality Control, Outcomes, and Decreased Costs”, **The Annals Thoracic Surgery**, v. 91, issue 4, pp. 1011-1018.
- INTRA, C., ZAHN, T., 2014, “Transformation-Waves – A Brick for a Powerful and Holistic Continuous Improvement Process of a Lean Production System”, **Procedia CIRP**, v. 17, pp. 582-587.
- ISSA, U. H., 2013, “Implementation of lean construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time”, **Alexandria Engineering Journal**, v. 52, issue 4, pp. 697-704.
- JONES, D., 2011, **Gerenciamento Visual**. Disponível em: <<http://kaizen-lean-logistics.blogspot.com.br/2011/06/gerenciamento-visual.html>>. Acesso em 08 de junho de 2014.
- JUNIOR, M. L., CALARGE, F. A., 2013, “A abordagem do lean six sigma no desenvolvimento de fornecedores: uma análise no setor de eletrodomésticos”, **XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, Salvador, Brasil, 08-11 Outubro.
- KARASU, M. K., CAKMAKCI, M., CAKIROGLU, M. B, *et al.*, 2013, “Improvement of changeover times via Taguchi empowered SMED/case study on injection molding production”, **Measurement**, v. 47, pp. 741–748.
- KNECHTGES P., DECKER M. C., 2014, “Application of Kaizen Methodology to Foster Departmental Engagement in Quality Improvement”, **J Am Coll Radiol**, v. 11, pp. 1126-1130.
- KOTTER, J.P., 1995, “Leading change”, **Harvard Business Review**, v.73, pp. 59–67.
- LEAN INSTITUTE BRASIL, 2003, **Léxico Lean: Glossário Ilustrado para praticantes do Pensamento Lean**, Versão 1.0, São Paulo.
- LEE, N. C., 2002, **Reflow Soldering Process and Troubleshooting: SMT, BGA, CSP and Flip Chip Technologies**, Newnes.
- LI, J., BLUMENFELD, D., 2006, “Implement an Andon”, **Industrial Engineer**: v. 38, pp. 52-53.
- LI, Y., LIU, S., 2010, “Application of TPM in Site Continuous Improvement”, **E-Business and E-Government (ICEE)**, pp. 2661-2663.



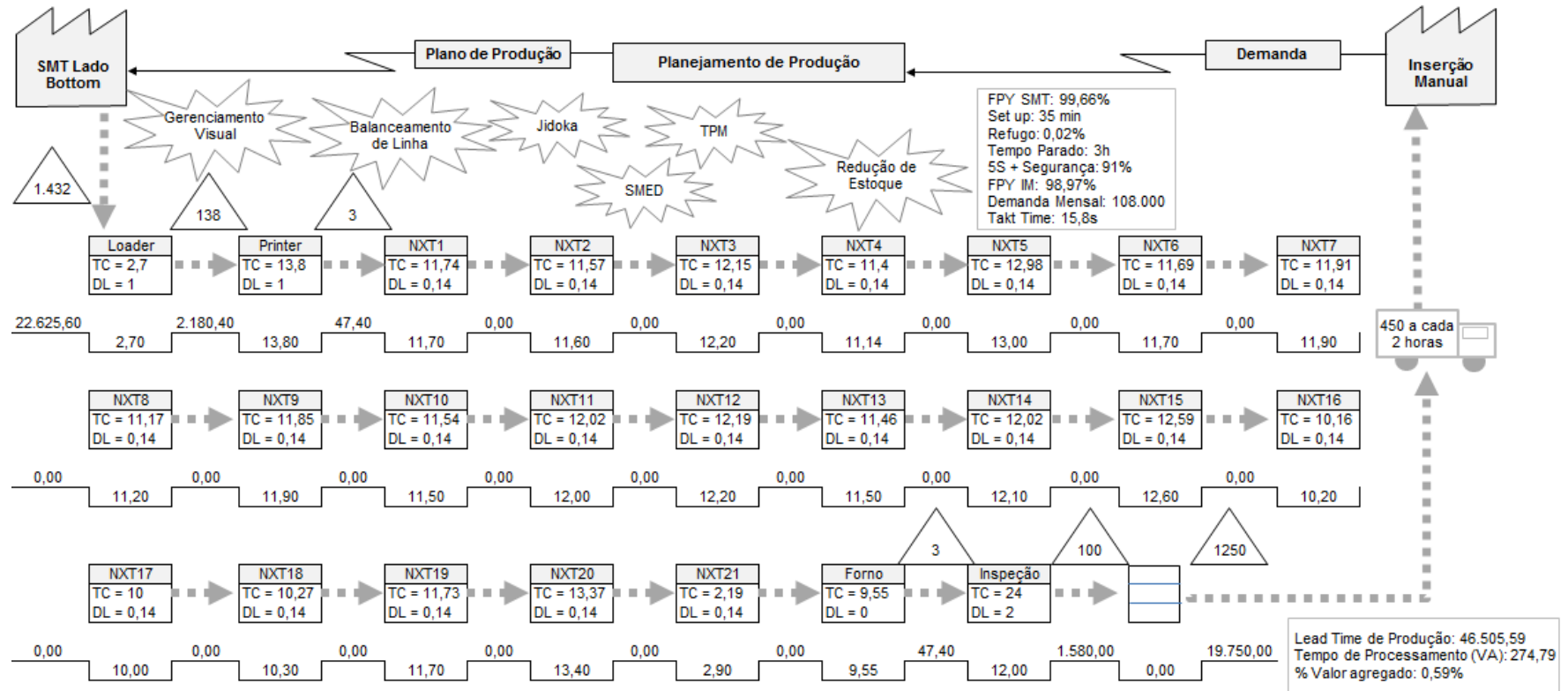
- LIDAK, G., REBELATO, G.M., 2005, **Controle de Qualidade e a Redução do Tempo de Set up em Linhas de Montagem SMT**, M. Sc., Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba. Disponível em: [http://www.biblioteca.pucpr.br/tede/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=434](http://www.biblioteca.pucpr.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=434)>. Acesso em: 03 de outubro de 2015.
- MARTÍNEZ-JURADO, P. J., MOYANO-FUENTES, J., JEREZ-GÓMEZ, P., 2014, “Human resource management in Lean Production adoption and implementation processes: Success factors in the aeronautics industry”, **Business Research Quarterly**, v. 17, pp. 47-68.
- MELNYK, S. A., CALANTONE, R. J., MONTABON, F. L., *et al.*, 1998, “Short-term action in pursuit of long-term improvements: Introducing Kaizen events”, **Production and Inventory Management Journal**, v. 39, pp. 69–76.
- MORAES, André Luis, 2006, **Otimização do processo produtivo de montagem de placas SMT**, Monografia, Faculdade de Jaguariúna.
- Nayab, N., 2010, **Why should you use JIT?**. Disponível em: <<http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/or/jit.html>>. Acesso em: 18 de outubro de 2015.
- NHLABATHI, G. S., KHOLOPANE, P., 2013, “Using Manufacturing Kaizen to Improve a Manufacturing Process”. **Proceedings of PICMET '13: Technology Management for Emerging Technologies, IEEE Conference publications**, pp. 1680-1687.
- OHNO, T., 1988, **Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production**. United States of America, Productivity Press.
- OLIVEIRA, Edson Farias, 2012, **Otimização do tempo de teste funcional de placa de circuito impresso montada para computador pessoal**, M. Sc., Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil.
- PETTERSEN, J., 2009, “Defining lean production: some conceptual and practical issues”, **The TQM Journal**, v.21, pp. 127-142.
- POWELL D., STRANDHAGEN J. O., STRANDHAGEN I., *et al.*, 2014, “A New Set of Principles for Pursuing the Lean Ideal in Engineer-to-Order Manufacturers”, **Procedia CIRP**, v. 17, pp. 571-576.
- PYZDEK, T.; KELLER P. A., 2014, **The Six Sigma Handbook Revised and Expanded – A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels**. 4th. ed., New York, McGraw-Hill.

- RABAK, C. S., SICHMAN, J. S., 2001, “Otimização do Processo de Inserção Automática de Componentes Eletrônicos empregando a Técnica de Times Assíncronos”. **Pesquisa Operacional**, v. 21, pp. 39-59.
- RADNOR, Z. J., HOLWEG, M., WARING, J., 2011, “Lean in healthcare: The unfilled promise?”, **Social Science & Medicine**, v. 74, pp. 364-371.
- RAHANI, A. R., MUHAMMAD A., 2012, “Production Flow Analysis through Value Stream Mapping: A Lean Manufacturing Process Case Study”, **Procedia Engineering**, v. 41, pp. 1727 – 1734.
- ROHAC, T., JANUSKA, M., 2015, “Value Stream Mapping Demonstration on Real Case Study”, **Procedia Engineering**, v. 100, pp. 520-529.
- SAMOHYL, R. W., 2009, **Controle estatístico da qualidade**, Rio de Janeiro, Elsevier.
- SCHERER, J. O. S. O., RIBEIRO, J. L. D., 2013, “Proposição de um modelo para análise dos fatores de risco em projetos de implantação da metodologia lean”, **Gest. Prod., São Carlos**, v. 20, n. 3, pp. 537-553.
- SEIDEL, A., 2003, **No sentido da implementação de um programa de troca rápida de ferramentas (TRF): um estudo de caso de uma empresa fornecedora de componentes para montadoras da indústria automotiva nacional**, M.Sc., Universidade do Vale dos Sinos, São Leopoldo, Brasil.
- SHINGO, Shigeo, 1985, **A Revolution in Manufacturing: The SMED System**, Cambridge, Productivity Press.
- SHINGO, Shigeo, 1986, **Zero quality control: Source inspection and the poka-yoke system**, Cambridge, Productivity Press.
- SHINGO, Shigeo, 1996, **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**, 2a ed, Porto Alegre, Bookman.
- SHINGO, Shigeo, 2000, **Sistema de Troca Rápida de Ferramenta. Uma revolução nos sistemas produtivos**, Porto Alegre, Editora Bookman.
- SINGH, B. J., KHANDUJA, D., 2010, “SMED: for quick changeovers in foundry SMEs”, **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 59, n. 1, pp. 98-116.
- SINGH R., GOHIL A. M., SHAH D. B., DESAI S., 2013, “Total Productive Maintenance (TPM) Implementation in a Machine Shop: A Case Study”, **Procedia Engineering**, v. 51, pp. 592-599.
- SLACK, N., CHAMBERS, S., JOHNSTON, R., **Administração da Produção**, 3. ed. São Paulo, Atlas.

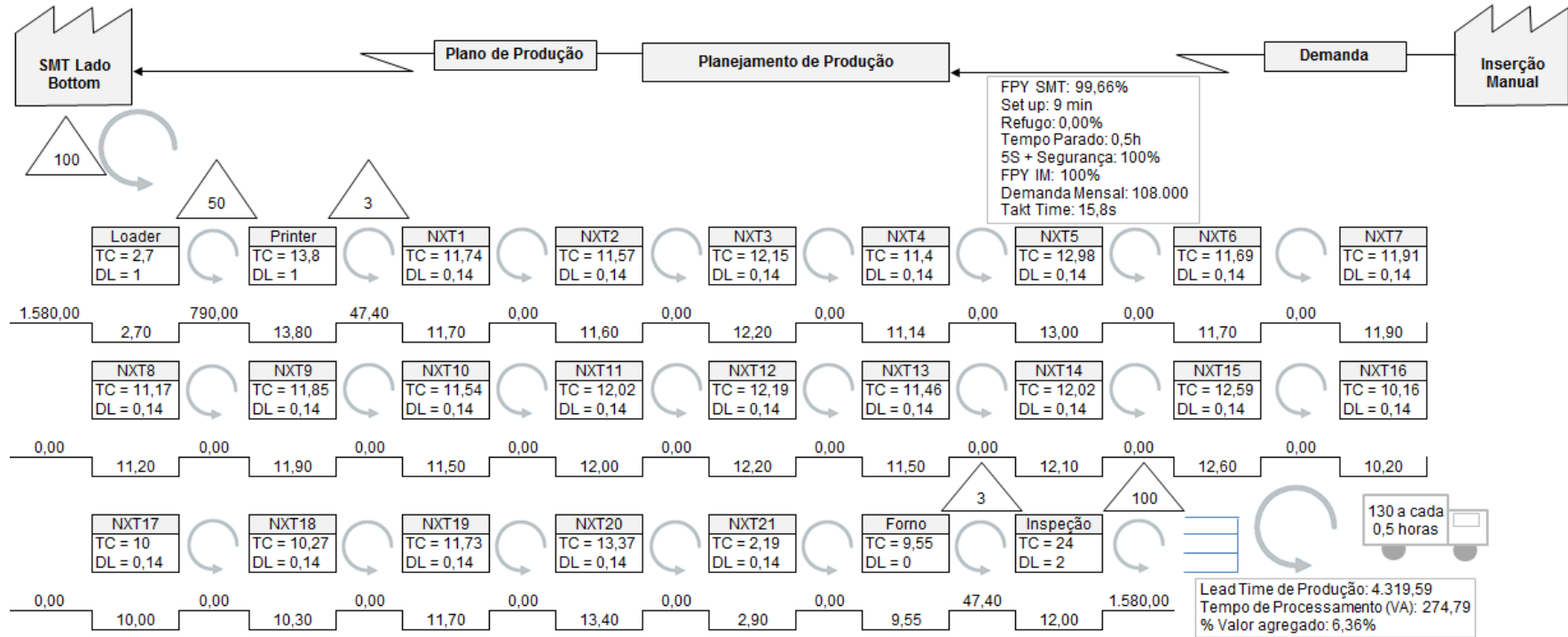
- SPROVIERI, John, 2006, “01005s and Lead-Free Solder”, **Assembly Magazine**, May.
- SUBRAMANIAM, S. K., HUSSIN, S. H., SINGH, R. S. S., *et al.*, 2009, “Production monitoring system for monitoring the industrial shop floor performance”, **International Journal os System Applications**, v. 3, pp. 28-35.
- SUNDAR, R., BALAJI, A. N., SATHEESHKUMAR, R. M., 2014, “A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques”, **Procedia Engineering**, v. 97, pp. 1875-1885.
- TODD, Robert H., ALLEN, Dell K., 1994, **Manufacturing Processes Reference Guide**, New York: Industrial Press Inc
- TRACEY, M.W., FLINCHBAUGH, J.W., 2006, “How human resource departments can help lean transformation”, **Target**, v. 22, pp. 5–10.
- TSUDA, Y., 1993, “Implications of foolproofing in the manufacturing process”, In: **W. Kuo (Ed.), Quality through engineering design**, pp. 79-95, New York.
- UHLMANN, I. R., LEITE, J. C., SOUZA, J. A. S., 2015, “Aplicação de SMED em um processo SMT: Estudo de caso”, **Revista Sodebras**, v. 10, n. 119, pp. 69-74.
- VISWANATH , U., 2014, “LeanTransformation: How Lean helped to achieve Quality, Cost and Schedule”, **9th International Conference on Global Software Engineering**, India.
- WOMACK, J. P., JONES, D. T., ROOS, D., 2004, **A máquina que mudou o Mundo: baseado no estudo do Massachusetts Instituteof Technology sobre o futuro do automóvel**, Nova ed. Rev. e atual, Rio de Janeiro, Elsevier.
- WOODGATE, R. W., 1996, **The Handbook of Machine Soldering: SMT and TH**, 3 ed., New York, John Wiley & Sons Inc.
- YIN, Robert K., 2014, **Estudo de caso. Planejamento e métodos**. 5. Ed, Porto Alegre, Bookman.
- YOST, F.G., HOSKING, F.M., FREAR, D.R., 1993, **The Mechanics of Solder Alloy: Wetting & Spreading**, New York, Van Nostrand Reinhold.
- ZUPAN, H., HERAKOVIC, N., 2015, “Production line balancing with discrete event simulation: A case study”, **FAC-PapersOnLine**, v. 48, issue 3, pp. 2305-2311.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – VSM Estado Atual








## APÊNDICE B – VSM Estado Futuro



## APÊNDICE C – Cronograma de realização das fases dos eventos

Eventos	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
<b>Gerenciamento Visual</b>			<i>Define</i>								
		<i>Measure</i>									
				<i>Analyze</i>							
						<i>Improve</i>					
									<i>Control</i>		
<b>Jidoka</b>		<i>Define</i>									
		<i>Measure</i>									
		<i>Analyze</i>									
			<i>Improve</i>								
						<i>Control</i>					
<b>Balanceamento de Linha</b>			<i>Define</i>								
			<i>Measure</i>								
			<i>Analyze</i>								
				<i>Improve</i>							
						<i>Control</i>					
<b>TPM</b>					<i>Define</i>						
					<i>Measure</i>						
					<i>Analyze</i>						
						<i>Improve</i>					
							<i>Control</i>				
<b>SMED</b>					<i>Define</i>						
					<i>Measure</i>						
						<i>Analyze</i>					
						<i>Improve</i>					
							<i>Control</i>				
<b>Produção Just-in-Time</b>											<i>Define</i>
											<i>Measure</i>
											<i>Analyze</i>
											<i>Improve</i>
											<i>Control</i>

## APÊNDICE D – Instrução para Manutenção Autônoma DEK

<b>Equipamento:</b> Máquina Impressora de Pasta de Solda					
<b>Ferramentas:</b> espátula, pano de limpeza, álcool.					
<b>Nº</b>	<b>Local</b>	<b>Condição Padrão</b>	<b>Descrição detalhada da atividade</b>	<b>Tempo</b>	<b>Ilustração</b>
1	DEK (interno)	Isento de poeiras ou resíduos	Remover qualquer resíduo da área superior da mesa da DEK.	47”	
2	DEK (externo)	Isento de poeiras ou resíduos	Remover qualquer resíduo da superfície externa da máquina e limpe.	4’	
3	DEK (interno)	Isento de poeiras ou resíduos	Inspeccione os trilhos de rolamentos: a. Conveyors b. Trilho do dispensador de pasta c. Limpeza dos covers do squeegee head.	01’03”	
4	DEK (interno)	Isento de poeiras ou resíduos	Limpar os sensores de entrada e saída.	21”	
5	DEK (interno)	Isento de poeiras ou resíduos	Limpeza da lâmina do board clamp	41”	



## APÊNDICE E – Instrução Troca Modelos SMT – Modelo A para B

INSTRUÇÃO PARA TROCA DE MODELO DAS LINHAS SMT - MODELO A PARA B					
Linha: SMT Produtos: A,B		Elaborado por: - Aprovado por: -		Nº do Documento:	Revisão: Data:
N <sup>a</sup>	Quem	Posto	Atividade	Ferramentas	Como Fazer
1	Operador Nascimento	Loade r	Aj. <i>Conveyors</i> 1. Entrada DEK 2. Saída DEK 3. <i>Rack Buffer</i> 4. <i>Shuttle</i>	Manivela e Placa Padrão	1 - Pegar a Manivela e Placa Padrão. 2 - Ajustar o <i>conveyor</i> de acordo com a placa.
2	Operador Nascimento	NXT	Eliminação de erros nos módulos NXT	N/A	1- Identificar o <i>feeder</i> com erro. 2 – Eliminar erros pedindo suporte se precisar.
3	Operador DEK	DEK	<i>Set up</i> DEK	- Luvas - Carrinho de ferramentas - Folha <i>set up</i> - Inst. de Trab.	1 - Seguir o <i>Visual Aid</i> / Instrução de Trabalho. Obs. Não é necessário retirar pinos e <i>Squeege</i> p/ <i>set up</i> A para B.
4	Operador DEK	NXT	Retirada do Rejeito	Caixa de Marfinite	1 - Acionar o Botão de Emergência. 2 - Retirar o rejeito da caixa. 3 - Acionar os <i>feeders</i> . 4 - <i>Start</i> na máquina. Fazer troca de <i>noozzle</i> do módulo 20.
5	Operador NXT - 1	NXT	Carregar o programa	- Folha <i>set up</i> - Computador com sistema de programas	1 - Pegar a folha de <i>set up</i> . 2 - Utilizar o computador para entrar no sistema de programas. 3 - Conferir o programa a ser carregado na máquina com o modelo na folha de <i>set up</i> .
6	Operador NXT - 1	NXT	Retirada do Material	- Carro <i>Feeder</i> - Tesoura	1- Retirar os <i>feeders</i> da máquina. 2- Carregar o programa.
7	Operador NXT - 1	MTU	Troca do Material	- Bandejas de Material - Ímãs	1- Retirar a bandeja com material (modeloA). 2- Realimentar com novo material (modeloB). 3- Posicionar os ímãs. 4- <i>Setar</i> as bandejas.
8	Operador NXT - 2	NXT	Alimentação de Máquina	- Carro de Material	1- Retirar o material do carro. 2- Alimentar conforme <i>slot</i> mostrado no progr.
9	Troca – peça	NXT	Limpeza do <i>Feeder Pallet</i>	Pincel	1 - Pegar o pincel e limpar a base do <i>feeder pallet</i> mód.1 ao mód 20. 2 - <i>Setar</i> o programa já carregado na máquina.
10	Líder	Linha	Solicitar presença do técnico	N/A	1 - Informar o <i>set up</i> o técnico 10 minutos antes do início para presença mandatória em toda a execução do <i>set up</i> .

11	<b>Líder</b>	Forno	<i>Set up</i> Forno	- Placa Padrão - Manivela - Folha de <i>set up</i>	1 - Trocar o programa. 2 – Aj. <i>conveyor</i> de entrada c/ a placa padrão. 3 – Aj. <i>oconveyor</i> do forno c/ a placa padrão. 4 - Acionar o técnico para validação. 5 - Verificar as zonas e velocidade do <i>conveyor</i> de acordo com a Folha de <i>set up</i> .
12	<b>Líder</b>	<i>Conveyor Shuttle</i> e	Ajuste dos <i>Conveyors</i>	- Placa Padrão - Manivela	1 - Ajustar os <i>conveyors</i> com a placa padrão. 2 - Fazer o teste da placa nos <i>conveyors</i> .
13	<b>Revisor - 1</b>	<i>Conveyor Pós Forno</i>	Ajuste dos <i>Conveyors</i>	- Placa Padrão - Manivela	1 - Ajustar os <i>conveyors</i> de acordo com a placa padrão. 2 - Fazer o teste da placa nos <i>conveyors</i> .
14	<b>Suporte da Sala Prog.</b>	Sup <i>set up</i> NXT	Manuseio dos carros <i>set up</i>	- Carro de <i>Feeder</i>	1 – Movimentação dos carrinhos para retirada do material e alimentação do novo modelo.

## APÊNDICE F – Artigo Publicado

UHLMANN, I. R., LEITE, J. C., SOUZA, J. A. S., 2015, “Aplicação de SMED em um processo SMT: Estudo de caso”, **Revista Sodebras**, v. 10, n. 119, pp. 69-74. Disponível em: <<http://www.sodebras.com.br/edicoes/N119.pdf>>. Acesso em: 06 de novembro de 2015.