

Aplicação da integração *Lean Six Sigma* para melhoria da produtividade em uma linha de montagem

Application of Lean Six Sigma integration for productivity improvement in an assembly line

Larissa Barbosa Taquetti * – larissataquetti@gmail.com
Simone Geitenes Colombo * – simonegeitenes@gmail.com
Rosane Malacarne * – rosane_malacarne@hotmail.com
Marcelo Gechele Cleto * – mgcleto@ufpr.br
Robson Seleme * – robsonseleme@hotmail.com

*Universidade Federal do Paraná – (UFPR), Curitiba, PR

Article History:

Submitted: 2016 - 10 - 17

Revised: 2017 - 02 - 14

Accepted: 2017 - 02 - 15

Resumo: A combinação *Lean Six Sigma* (LSS) ocasiona o aumento da eficiência produtiva por meio da melhoria da qualidade dos produtos, redução de custos e aumento da satisfação dos clientes. Desta forma, este trabalho objetiva apresentar a integração LSS por meio da aplicação dos princípios e ferramentas de ambas as abordagens a fim de alcançar o aumento da produtividade em linha de montagem de produtos eletrônicos. A condução do trabalho seguiu a metodologia para gestão de projetos de melhoria DMAIC. Os resultados da aplicação LSS revelaram que a integração é benéfica para o alcance de melhorias. A produtividade diária por operador, indicador utilizado, atingiu um aumento de 35%, no entanto, ainda há melhorias identificadas sobre o mesmo. Além disso, observaram-se outros resultados relacionados à redução de estoque e sucata, ganhos financeiros, de organização e *lead time*. Verificou-se que a combinação dos métodos utilizados na abordagem *Six Sigma* tem grande relevância dentro da filosofia *lean*. Enquanto os princípios *lean* contribuem com a eliminação de operações que não agregam valor, as ferramentas *Six Sigma* colaboram com processos mais estáveis para a manufatura enxuta.

Palavras-chave: *Lean Thinking*; *Six Sigma*; LSS; Integração; Produtividade

Abstract: Combining Lean Six Sigma (LSS) leads to increased production efficiency through improved product quality, reduced costs and increased customer satisfaction. Thus, this study aims to present the LSS integration through the application of the principles and approaches of both tools in order to achieve higher productivity in assembly line of electronic products. The conduct of the work followed the methodology for management DMAIC improvement projects. The results of LSS application have revealed that the integration is beneficial for achieving improved. The daily productivity per operator indicator used, achieved a 35% increase, however, there are still improvements identified thereon. In addition, there were other results related to the reduction of inventory and scrap, financial gains, organization and lead time. It has been found that the combination of the methods used in Six Sigma approach has great relevance in the lean philosophy. While lean principles contribute

to the elimination of operations that do not add value, Six Sigma tools work with more stable processes for lean manufacturing.

Keywords: Lean Thinking; Six Sigma; LSS; Integration; Productivity

1. Introdução

A crescente concorrência no mundo corporativo e o ciclo de vida dos produtos cada vez menor exigem que as organizações cumpram suas atividades com maior êxito do que as outras que atuam no mesmo mercado. Desta forma, a melhoria da eficiência operacional, desde a produção até a distribuição dos produtos, têm sido um dos principais assuntos buscados e discutidos por grande parte das organizações. Para Chaurasia, Garg e Agarwal (2016), a mudança nos processos de fabricação tradicionais para processos *Lean Six Sigma* (LSS) implica em resultados positivos para as empresas em relação à geração de receitas, satisfação do cliente e do empregado, aumento da produtividade, redução de resíduos e concepção de um produto de qualidade a baixo custo.

A abordagem LSS, resultante da integração entre o *Lean Manufacturing* e o *Six Sigma*, constitui uma estratégia mais abrangente e eficaz que cada uma das partes adota individualmente (Sanders e Karr, 2015). Enquanto o *Lean Manufacturing* busca a melhoria de processos racionalizando seu fluxo, eliminando desperdícios e enfatizando ganhos em rapidez e eficiência, o *Six Sigma* ocasiona a redução da variação em processos para se ter menos defeitos e, assim, focaliza ganhos em qualidade. Embora proponham abordagens distintas, estas metodologias são compatíveis por ambas estarem orientadas à melhoria contínua, aos clientes e por promoverem a visão por processos a fim de contribuir para a redução de custos (Silva *et al.*, 2011; Albliwi *et al.*, 2014).

Neste contexto, este trabalho objetiva apresentar a integração LSS por meio da aplicação dos princípios e ferramentas de ambas as abordagens a fim de alcançar o aumento da produtividade em uma linha de montagem de produtos eletrônicos.

Inicialmente, o trabalho apresenta um referencial teórico sobre a integração LSS. Posteriormente, é estabelecida a metodologia utilizada na pesquisa e, na sequência, é apresentada a análise da aplicação, bem como as conclusões do estudo.

2. *Lean Production*

O conceito de *Lean Production* surgiu no Japão após a Segunda Guerra Mundial criado por Eiji Toyoda e Taiichi Ohno da Toyota japonesa, com o objetivo de vencer o desafio em cortar custos e, ao mesmo tempo, produzir pequenas quantidades de muitos tipos de carros (Womack, Jones e Roos, 2004). A definição do sistema *Lean Production* é dada por Ohno (1997) como “a eliminação de desperdícios e elementos desnecessários a fim de reduzir custos; a ideia básica é produzir apenas o necessário, no momento necessário e na quantidade requerida”.

Segundo Ohno (1997) os princípios do sistema *lean* são dois, o princípio do não-custo e a lógica das perdas. A primeira parte da ideia em que o poder de escolha dos consumidores passa a determinar o preço de venda, sendo assim, a lucratividade é definida como a diferença entre o preço de venda e o custo de fabricação (Ghinato, 1996). Já o segundo é baseado na percepção de que perda é qualquer atividade que não contribui para as operações, tais como espera, acumulação de peças semiprocessadas, recarregamentos, passagem de materiais de mão em mão, entre outros (Shingo, 1996).

Para identificar e reduzir os desperdícios Ohno (1997) considera sete tipos de perdas: superprodução, espera, transporte, superprocessamento, movimentação, produtos defeituosos e estoque. Ao alinhar as atividades que criam valor eliminando desperdícios, o fluxo de valor avança uniforme e rapidamente de acordo com a requisição do cliente e não segundo o produtor.

Sendo assim, o *Lean Thinking* pode ser considerado uma filosofia e estratégia de gestão que se preocupa em criar valor para o cliente eliminando as atividades que não agregam valor ou dificultam o funcionamento do sistema. Para atingir esse propósito, deve-se envolver principalmente o nível estratégico da empresa para disseminação da cultura *lean* até o nível operacional.

Womack e Jones (2004) tratam o pensamento enxuto como uma maneira de produzir mais com cada vez menos recursos, sejam eles físicos, humanos ou financeiros, oferecendo aos clientes exatamente o que eles desejam. Esses autores apresentam os cinco princípios básicos que podem ser usados como uma estrutura para uma organização implementar a metodologia *lean*, sendo estes: valor, fluxo de valor, fluxo contínuo, produção puxada e perfeição.

- ✓ *Valor*: Especificar o valor com precisão é o ponto de partida para o pensamento *lean*. O valor é definido apenas pelo cliente final. No entanto, é a organização que deve identificar o que gera esse valor para o cliente. Determinado o valor e definido o produto, o próximo passo é precisar o custo-alvo baseado nos recursos necessários para fabricar o produto com as características específicas;
- ✓ *Fluxo de valor*: O fluxo de valor ou cadeia de valor é o caminho percorrido desde o início da produção até a entrega ao cliente final. Cada etapa envolvida no processo é mapeada seguindo a premissa de que as atividades que não podem ser medidas não podem ser gerenciadas e as que não são precisamente identificadas, não podem ser analisadas e melhoradas. Com o mapeamento do fluxo de valor é possível identificar e eliminar as atividades que contém desperdício através das técnicas para eliminação dos desperdícios;
- ✓ *Fluxo contínuo*: A partir da análise e mapeamento do fluxo de valor, é necessário fazer com que as atividades que geram valor possam fluir pelo processo sem interrupções. A melhor maneira de fazer os produtos fluírem é colocá-los em fluxo contínuo sempre que possível, reorganizando a sequência e os equipamentos para que não aja espera e estoque entre as atividades;
- ✓ *Produção puxada*: A produção puxada tem o objetivo de diminuir o *lead time* para o consumidor. Implementar o sistema puxado significa produzir um bem ou serviço apenas quando for feita a solicitação pelo cliente e não empurrar o produto para o consumidor;
- ✓ *Perfeição*: Quando os quatro princípios são seguidos claramente, isto é, a organização declara o valor com precisão, mapeia o fluxo de valor de forma com que os produtos fluam de forma contínua ou quando os clientes puxam esses produtos, é possível alcançar a perfeição dos processos por meio da eliminação de perdas e desperdícios. É preciso buscar sempre a melhoria contínua para atingir essa perfeição. Para a mentalidade enxuta, o impulso mais importante para a perfeição é manter a transparência entre todos os envolvidos no sistema para que seja mais fácil identificar as formas de criar valor.

A aplicação dos princípios da mentalidade enxuta permite que as organizações alcancem o sucesso e eficácia em suas atividades. Embora iniciada em indústrias transformadoras, o conceito *lean* também pode ser implantado em diversas áreas organizacionais (Locher, 2013).

3. *Six Sigma*

O *Six Sigma* foi desenvolvido inicialmente na Motorola, na década de 80, a partir de conceitos e métodos propostos por Bill Smith. Utilizando consolidadas ferramentas de qualidade e novos conceitos de gestão, o objetivo do programa era fabricar produtos com qualidade superior e preços menores do que seus concorrentes. Com o *Six Sigma*, a Motorola tornou-se conhecida como líder de qualidade e de lucros (Pyzdek e Keller, 2010).

Desde então, esta filosofia vem se consolidando como uma abordagem extensiva que possibilita às empresas promoverem melhorias de seus desempenhos e aumentar seus potenciais competitivos, por meio de um enfoque estratégico de gerenciamento e da aplicação de técnicas estatísticas e não estatísticas de forma rigorosa, e da utilização de um método sistematizado com a integração de conceitos científicos para avaliar e otimizar os processos (Jacobs *et al.*, 2015).

Santos e Martins (2008) também consideram que em relação à visão geral do Seis Sigma, duas abordagens podem ser identificadas mais claramente na literatura: a abordagem estatística e a abordagem estratégica. Para os autores, o *Six Sigma* deve ser compreendido como um programa a partir da integração entre os objetivos estratégicos e operacionais.

Para Caulcutt (2001), a filosofia *Six Sigma* é uma estratégia de mudanças utilizadas pela gerência, em qualquer setor, para analisar e reduzir a variabilidade dos processos produtivos e qualificar a interação de estratégias de negócios distintas, além de focar a melhoria dos resultados do planejamento estratégico das organizações. Desta forma, a implantação do programa nas organizações visa, de maneira estruturada, incrementar a qualidade por meio da melhoria contínua dos processos envolvidos na produção de um bem ou de um serviço, levando em consideração todos os aspectos importantes de um negócio (Pfeifer *et al.*, 2004).

Ao iniciar um programa de qualidade dentro da organização, fatores críticos de sucesso (FCS) devem ser considerados para que se atinja a excelência operacional e os desafios inerentes da adoção de uma nova abordagem sejam superados. Julien e Holmshaw (2012) e Wang e Chen (2014) identificam como principal FCS para implantação bem sucedida de projetos *Six Sigma*, o envolvimento da alta direção desde a fase de concepção dos processos de gestão até o acompanhamento individual dos projetos a um nível operacional. Para isso, um plano de comunicação é importante para acompanhar e mostrar aos funcionários

como a metodologia é desenvolvida, como ela está relacionada às suas atividades e quais as vantagens adquiridas.

O programa *Six Sigma* utiliza uma série de métodos estatísticos e treinamentos dos líderes técnicos, também conhecido como *Belts*, para que estes tenham um elevado nível de conhecimento da aplicação e conduzam a implantação e utilização do modelo.

A formação de equipes apresenta um diferencial em relação a outras abordagens (Coronado e Antony, 2002). Nesta, os treinamentos dos especialistas são divididos por área e grau de conhecimento. A ideia principal e as características de cada profissional estão relacionadas a seguir:

- ✓ *Sponsor*: responsável por promover e definir as diretrizes para a implementação do Seis Sigma, garantindo que estejam alinhadas com o planejamento estratégico da empresa;
- ✓ *Champion*: pessoas com um nível elevado de conhecimento, comprometidas com a empresa, que conhecem e compreendem todo o funcionamento da organização.
- ✓ *Master Black Belts*: profissionais com o maior conhecimento técnico e organizacional que lideram o programa.
- ✓ *Black Belts*: profissionais que lideram as equipes na condução dos projetos e possuem conhecimentos em ferramentas técnicas, matemáticas e estatísticas. Possuem um perfil de liderança, iniciativa e aptidão para trabalho em equipe;
- ✓ *Green Belts*: profissionais que participam das equipes dos especialistas *Black Belts*, envolvidos desde o início até o fim do processo e são aptos a formar e facilitar equipes nos setores;
- ✓ *White/Yellow Belts*: profissionais que atuam no nível operacional da empresa, são treinados nos fundamentos do *Six Sigma* e auxiliam na disseminação das informações sobre ferramenta e processos.

De acordo com Werkema (2012), o sucesso de programas de qualidade como o *Six Sigma* está sujeito a existência de pessoas com o perfil adequado e que serão transformados em especialistas no método e nas ferramentas do *Six Sigma*.

Para efetivar o programa nas organizações, além de especialistas treinados, é necessária a adoção de uma metodologia consistente que auxilie na implantação e nos

processos de melhoria contínua. A aplicação de uma metodologia sistematizada para o *Six Sigma* confirma o valor do método científico como uma forma eficiente de eliminar a causa raiz dos problemas, de modo a garantir a obtenção de resultados concretos.

Para a implantação do *Six Sigma*, o enfoque metodológico trata da utilização de métodos estatísticos aplicados numa sequência metodológica estruturada de acordo com metodologias auxiliares (Coronado, 2008). As metodologias mais comumente utilizadas na solução de problemas gerenciais são DMAIC, DFSS, DMADV e DMEDI.

DMAIC: composto por cinco etapas, a saber, Definir (*Define*), Medir (*Measure*), Analisar (*Analyze*), Melhorar (*Improve*) e Controlar (*Control*), consiste em uma ferramenta gerencial utilizada para melhorar processos de negócios existentes. Nesta metodologia, são definidos os objetivos de melhoria do processo de acordo com as estratégias da empresa e a demanda dos clientes. Os processos são então mapeados e medidos de acordo com os dados coletados no processo. Os dados coletados são submetidos a uma verificação com o intuito de realizar uma comparação com as metas objetivadas. Melhorias e controles nos processos são realizados para garantir melhor desempenho das organizações.

- ✓ *DFSS*: é uma metodologia que visa manter a qualidade em projetos de novos produtos. O modelo pode ser aplicado em processos produtivos ou na execução de serviços que precisam ser elaborados de tal forma que já iniciem suas atividades apresentando um nível *Six Sigma* de desempenho. O *Design for Six Sigma* (Projetando para *Six Sigma*) traz ferramentas que podem reduzir custos e melhorar a qualidade, mas a principal finalidade é agregar valor ao produto por meio de inovações e da busca do atendimento das reais necessidades dos clientes.
- ✓ *DMADV*: essa metodologia auxilia na análise de solução de problemas e aumenta a eficiência com a melhoria da capacidade do projeto em transformar informações em conhecimento. Das siglas Definir (*Define*), Medir (*Measure*), Analisar (*Analyze*), Desenhar (*Design*) e Verificar (*Verify*), busca definir os objetivos de melhoria dos processos consistentes com a demanda do cliente e o planejamento estratégico das organizações, fazendo a medição da qualidade do produto e da eficiência do processo produtivo e avaliando riscos.
- ✓ *DMEDI*: metodologia utilizada para aplicação em processos que não são pré-existentes, na criação dos processos. A DMEDI, Definir (*Define*), Medir (*Measure*),

Explorar (*Explore*), Desenvolver (*Develop*) e Implementar (*Implement*) é voltada para o desenvolvimento e implantação de novos projetos.

Vale ressaltar que para alcançar os objetivos almejados, é necessário o comprometimento da gerência com a metodologia escolhida e a existência de um ambiente adequado para a resolução de problemas, bem como para o desenvolvimento de produtos, serviços ou processos.

4. Integração *Lean Six Sigma*

Segundo Werkema (2012) as empresas podem e devem usufruir dos pontos fortes da integração LSS. De acordo com Sanders e Karr (2015), *Lean Production* e *Six Sigma* se complementam formando uma metodologia de melhoria de processo sinérgico e amplo. Conforme Navarro e Cleto (2014), o *Six Sigma* oferece suporte ao *Lean Production* enquanto este não possui uma metodologia estruturada para solução de problemas. Além do mais, as ferramentas estatísticas auxiliam no trabalho com a variabilidade, tornando os processos mais estáveis e confiáveis. O *Six Sigma*, por sua vez, não foca na melhoria da velocidade dos processos, redução do *lead time* e eliminação dos desperdícios, os quais são aspectos do *Lean Production*.

Antony (2010) lista semelhanças e divergências entre os dois modelos. O Tabela 1 apresenta os principais aspectos:

Tabela 1 – Semelhanças e divergências entre *Lean Production* e *Six Sigma*

Semelhanças	Divergências
Processos centrais na organização	<i>Six Sigma</i> requer treinamento mais intensivo comparado ao <i>Lean Production</i>
Aplicáveis não somente em atividades manufatureiras	<i>Six Sigma</i> exige maiores investimentos comparado ao <i>Lean Production</i>
Suporte da gestão é essencial	<i>Lean Production</i> tem foco na redução de desperdícios enquanto o <i>Six Sigma</i> na redução da variabilidade
Tem foco no cliente	<i>Lean Production</i> visa otimizar o fluxo entre os processos enquanto o <i>Six Sigma</i> busca aumentar a capacidade
São formados por equipes multifuncionais	<i>Lean Production</i> não apresenta uma metodologia sistemática para implantação
As ferramentas são complementares entre si	<i>Six Sigma</i> apresenta denominações específicas conforme capacitação da equipe

Fonte: Adaptado de Antony (2010)

Sendo assim, a integração LSS usufrui dos pontos fortes de dois modelos de melhoria contínua que são fortemente consolidadas na teoria e na prática. Esta união permite que os conceitos e práticas sejam implementados para que se alcance a satisfação dos clientes e a prosperidade da organização. Neste trabalho, a metodologia utilizada para a solução do

problema será o DMAIC, uma vez que a mesma integra um “conjunto ordenado de etapas” (Cleto; Quinteiro, 2011) onde indicadores são adotados e culminados em benefícios.

5. Metodologia

Esta seção aborda os métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho. A aplicação da integração *Lean Six Sigma* foi realizada conforme etapas descritas na metodologia DMAIC.

Neste contexto, um dos autores assumiu a posição de observador participante (Prodanov e Freitas, 2013), sendo que o mesmo desempenhou a função de Especialista *lean* externo à empresa. A coleta de informações foi realizada utilizando técnicas de pesquisa descritas por Lakatos e Marconi (2009) tais como documentos, observação direta e participante e entrevistas. A aplicação do método contemplou um período de seis meses com encontros quinzenais da equipe envolvida. A análise estatística dos dados foi elaborada por meio dos *softwares Microsoft Excel® e Matlab®*.

A pesquisa foi aplicada em uma empresa localizada em Curitiba-PR, neste trabalho denominada Empresa Alfa. Trata-se de uma multinacional de origem japonesa que já adotava princípios *Lean Production* em suas operações. A metodologia DMAIC foi utilizada com o objetivo de aumentar a produtividade da linha de montagem do produto, aqui denominado Produto X. No entanto, por não haver conhecimento teórico e prático a respeito da abordagem *Six Sigma*, foi necessária a apresentação dos conceitos aos gestores da área em questão explicando os detalhes e etapas do método, assim como a previsão de duração de cada fase a fim de que todos pudessem perceber os benefícios da integração das abordagens e o objetivo principal de cada um dos cinco passos.

6. Aplicação e Resultados da Integração LSS na Empresa Alfa

Esta seção apresenta o projeto LSS desenvolvido da Empresa Alfa. A seguir são mostradas as ações e os resultados tomados pela equipe que participou do projeto em relação a cada fase da metodologia DMAIC.

6.1. Definição

A primeira etapa do projeto LSS aplicado na linha de montagem do Produto X é a definição, cujo propósito está apresentado na Figura 1.

1. Definição	Definir problema;
	Definir meta;
	Definir equipe;
	Definir indicador;
	Identificar perdas resultantes do problema;
	Identificar ganhos potenciais do projeto;
	Definir restrições;
	Definir cronograma.

Figura 1 – Demanda da primeira fase: definição

A linha de montagem do produto X dispõe de sete células de produção, aqui denominadas células A, B, C, D, E, F e G. São doze operadores por turno, sendo dois turnos de sete h/dia em cinco dias úteis por semana. Após observações em campo, por meio do *gemba*, verificou-se a oportunidade de melhoria na produtividade e uma consequente redução do *lead time* de entrega desses produtos. Além do mais, por se tratar de itens com base tecnológica, identifica-se a redução gradativa desses materiais no mercado e a inserção de novos componentes conforme avanço da tecnologia, características inerentes das empresas deste setor. Desta forma, diminuir o tempo de entrega do Produto X se torna vantajoso e benéfico à Empresa Alfa. Posteriormente, um SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*) foi preparado para melhor compreensão do processo de montagem pelos membros da equipe.

Definidos o problema e objetivo do trabalho, a meta proposta foi delimitada pela alta direção da empresa conforme seu planejamento estratégico. A previsão de duração e o cronograma do projeto foram discutidos em conjunto com a gerência. A equipe do projeto LSS era composta pelo *Champion*, cujo cargo na Empresa Alfa era de gerente industrial, o engenheiro de produção e o supervisor de produção da linha e o especialista *lean*. Sendo assim, determinou-se como propósito da pesquisa aumentar a produtividade da linha de montagem do Produto X em 50% em um período de seis meses. Este intervalo de tempo está de acordo com estudo de Cleto e Quinteiro (2011), que sugerem um período de 6 a 12 meses para execução do projeto, visto seu porte, engajamento da organização e recursos alocados para este fim.

O indicador utilizado para medir o histórico e avaliar o resultado do projeto foi a produtividade diária por operador, calculado por meio da soma de todas as unidades produzidas no dia dividido pelo número de operadores do mesmo dia. Os dados históricos

foram coletados diretamente do ERP (*Enterprise Resource Planning*) da Empresa Alfa. A Figura 2 apresenta a performance do indicador durante um período de três meses.

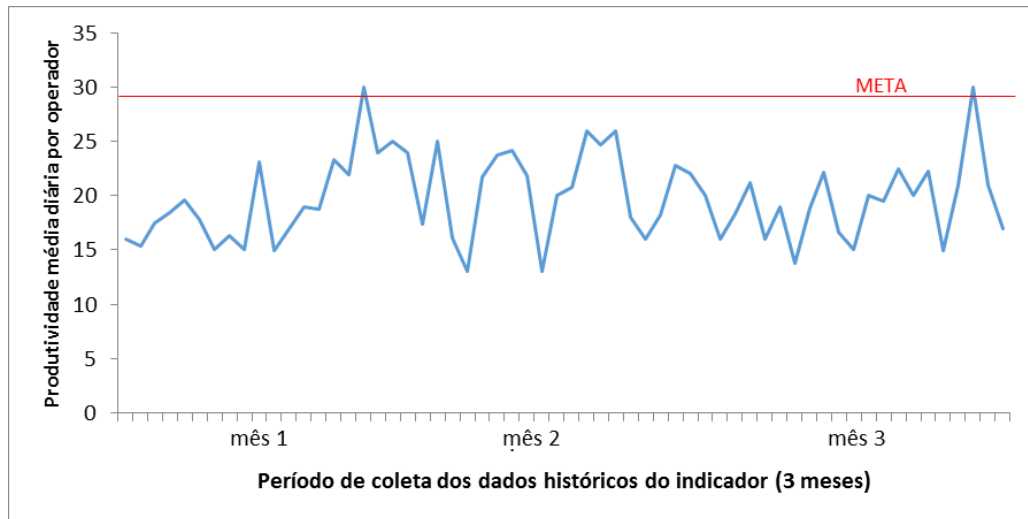


Figura 2 – Histórico da produtividade média diária por operador

De acordo com a Figura 2, a produtividade média diária por operador segue uma distribuição normal com média de 19 peças e desvio padrão igual a 4. A meta é alcançar a média diária de 29 peças. Este aumento provoca ao final do projeto a média diária de 696 peças. Assim, por meio de melhorias na utilização de recursos possibilita-se a redução do *lead time* de entrega. Além disso, as 10 peças que seriam produzidas a mais por operador por dia podem ser convertidas em um retorno financeiro mais rápido com a inclusão da média de 240 peças por dia. Também são observados ganhos referentes à redução de estoque, ergonomia e organização do setor. No entanto, restrições foram determinadas em relação ao desenvolvimento do projeto e investimentos financeiros altos no setor se apresentaram limitados.

6.2. Medição

A segunda etapa do projeto LSS, denominada medição, tem o objetivo de coletar mais informações a fim de se medir os processos com maior detalhamento e determinar o foco do problema. A demanda desta fase está apresentada na Figura 3.

	Estratificar problema;
	Medir processos;
2. Medição	Identificar oportunidades de melhoria;
	Identificar focos do problema;
	Definir metas específicas para cada foco;

Figura 3 – Demanda da segunda fase: medição

O problema da baixa produtividade da linha de montagem do Produto X foi estratificado pelas sete células do processo. A estratificação por processo foi realizada porque se constatou que alguns deles apresentavam tempo de ciclo (TC) superior aos demais, podendo ser considerados os gargalos do processo. Por não haver dados históricos relacionados ao TC, esses dados foram coletados através da cronometragem de cada célula do processo. O valor considerado foi resultado de uma média com 20 amostras do Produto X em cada posto de trabalho. O Mapa do Fluxo de Valor (MFV) desenvolvido para estudar a condição do processo pode ser visto na Figura 4.

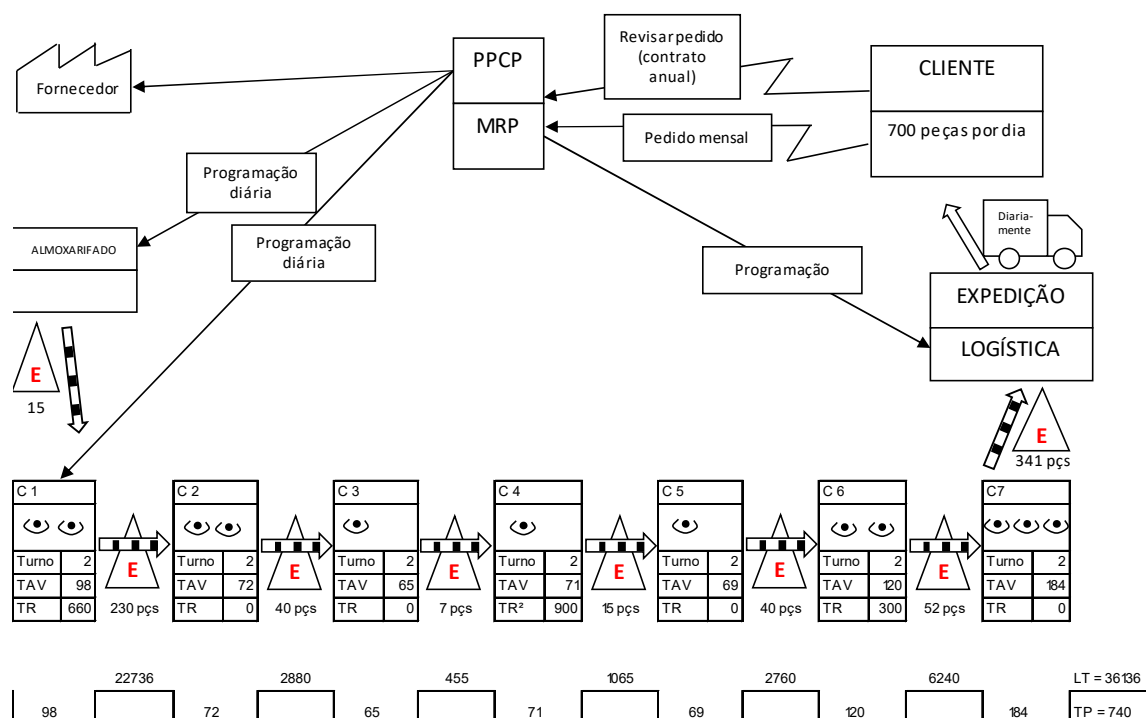


Figura 4 – Mapa do fluxo de valor

De acordo com o MFV, as células A, F e G são as que apresentam maior TC, além de estarem acima do *takt time* do processo que é de 78 segundos. Dessa forma, as três células foram consideradas os focos do problema da baixa produtividade na linha de montagem.

A definição das metas para cada foco do projeto foi definida pelo *takt time* do processo mais uma folga de 10% neste valor. Sendo assim, as metas específicas para as células A, F e G foram determinadas conforme Figura 5.

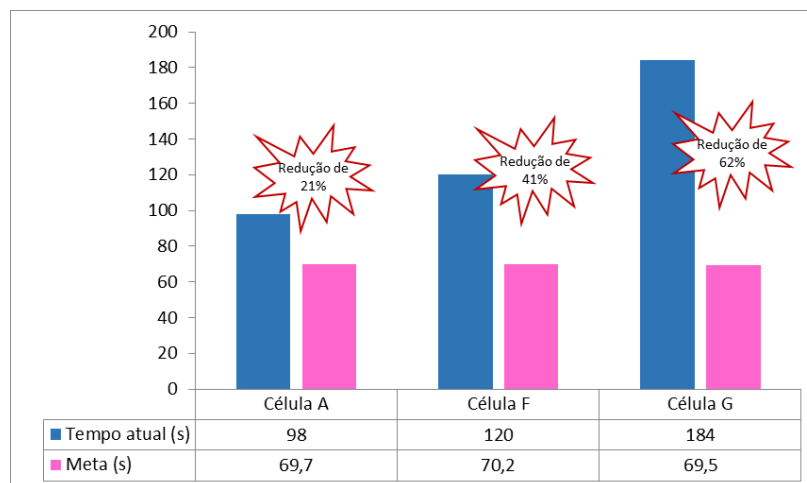


Figura 5 – Metas específicas por célula

As metas específicas estipuladas são suficientes para ultrapassar a meta geral do projeto LSS, pois o objetivo de aumentar a produtividade diária para 29 peças por operador é alcançado.

6.3. Análise

A terceira etapa do projeto LSS corresponde à análise das informações acerca do problema, visto que o mesmo já está identificado e medido. Dessa forma, determinam-se as causas fundamentais que influenciam o problema. A Figura 6 ilustra as ações requeridas nesta fase.

3. Análise	Mapear processos;
	Identificar parâmetros controláveis e ruídos;
	Identificar causas potenciais que impactam no problema;
	Priorizar causas potenciais;
	Comprovar causas potenciais;
	Implementar melhorias identificadas por meio de <i>kaizens</i> rápidos.

Figura 6 – Demanda da terceira fase: análise

Por meio de Mapas de Processos, os processos das células A, F e G foram desdobrados observando-se os resultados, os parâmetros controláveis e os ruídos de cada um deles. Em seguida, para o levantamento das causas potenciais que mais interferem na baixa produtividade do Produto X foi realizado um *brainstorming* entre a equipe do projeto e os operadores de cada célula foco do problema. Foram identificadas um total de 28 causas distribuídas entre as três células. Para a priorização dessas causas, utilizou-se a Matriz GUT (Gravidade x Urgência x Tendência) e as informações coletadas no *brainstorming* a fim de se detectar quais apresentam maior correlação com o problema. O critério adotado na matriz foi

a seleção das causas que apresentassem pontuação maior do que 100, sendo 210 a pontuação máxima para cada item. Desse modo, das 28 causas potenciais levantadas, 15 delas foram priorizadas.

A fim de se comprovar a relevância das causas priorizadas para uma possível redução do *lead time* do processo e, conseqüentemente, o aumento da produtividade na linha de montagem, evidências de cada item foram coletadas no *gemba* utilizando-se técnicas que envolvem a observação direta, revisão de manuais de equipamentos e de procedimentos operacionais padrão, análise dos 5 porquês, GBO (Gráfico de Balanceamento de Operadores), diagrama de *Ishikawa* e estudo de tempos e métodos. Está análise comprovou a influência das 15 causas priorizadas.

Ao longo desta etapa, melhorias desenvolvidas a partir de *kaizens* rápidos já puderam ser implementadas na linha de montagem por meio da metodologia PDCA (*Plan, Do, Check, Action*), enquanto outras apresentaram necessidade de recursos maiores para aprovação.

6.4. Implementação de melhorias

Na penúltima etapa do projeto LSS são propostas soluções para eliminação das causas fundamentais identificadas na etapa anterior. Uma síntese das atividades desta quarta fase é visualizada na Figura 7.

4. Implementação de melhorias	Identificar soluções para as causas fundamentais;
	Priorizar soluções;
	Verificar a necessidade de testes e, se necessário, testar soluções;
	Desenvolver plano de ação para implementação da solução em larga escala;
	Efetuar as ações;
	Verificar alcance das metas específicas.

Figura 7 – Demanda da quarta fase: implementação de melhorias

Em levantamento realizado pelos membros da equipe do projeto, identificou-se 38 possíveis soluções que envolvem as três células foco do projeto. Estas foram priorizadas por meio de uma reunião formalizada que contou com a presença dos operadores e gestores da área. Foram então priorizadas 17 soluções. Uma Análise de Riscos foi efetuada, entretanto, nenhuma delas apresentou riscos ou se mostraram impossíveis de serem implementadas. Da mesma forma, não houve a necessidade de testes antes de executar as ações.

Para implementar as 17 soluções, foi elaborado um plano de ação utilizando o método 5W2H. Por meio desta ferramenta são identificadas as atividades a serem realizadas, os responsáveis pela execução, o prazo, o local, o motivo, o investimento financeiro da ação e como ela deverá ser feita.

Ao fim do tempo previsto para a quarta fase do projeto LSS, embora nem todas as ações tenham sido implementadas, atingiu-se uma melhoria significativa nas células objeto de estudo, conforme apresentada na Figura 8.

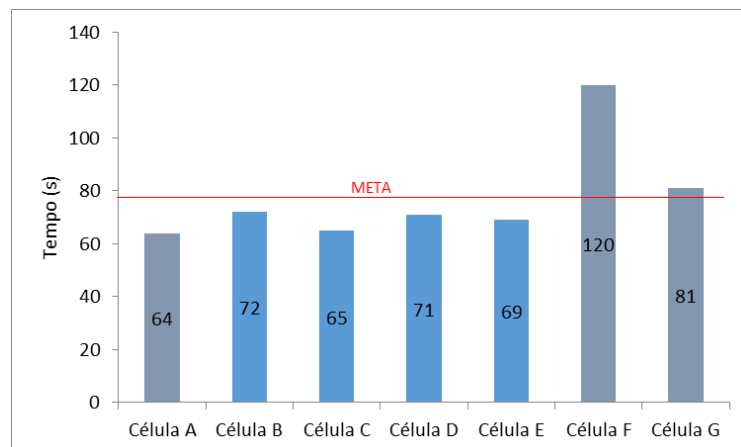


Figura 8 – Tempo de produção por peça em cada célula

A meta específica da célula A foi alcançada com uma performance maior do que 10%. O tempo de processamento estabelecido para o alcance da meta foi de 78s e o tempo atual dessa célula é de 64s. Entretanto, as metas específicas das células F e G não foram atingidas.

6.5. Controle

A última fase do projeto LSS tem o objetivo de monitorar os resultados das soluções implantadas e manter o processo otimizado para que as melhorias sejam mantidas e não retrocedam. A Figura 9 apresenta a demanda de atividades desta fase.

5. Controle	Verificar alcance da meta global;
	Analisar retorno financeiro do projeto;
	Definir padrões para manutenção do resultado;
	Treinar as pessoas envolvidas para cumprimentos dos padrões;
	Definir quais e como serão monitoradas as variáveis do processo;
	Definir ferramenta para acompanhamento do processo.
	Registrar conclusões do projetos e lições aprendidas.

Figura 9 – Demanda da quinta fase: controle

Os resultados obtidos após a implementação das ações prioritizadas mostram que a meta global não foi alcançada até a data limite definida no cronograma do projeto. Isso pode ter ocorrido em função de algumas atividades do plano de ação que não puderam ser implantadas devido às prioridades apresentadas pela gerência no decorrer do período. A produtividade diária por operador se estabeleceu em torno de 26 peças. A Figura 10 demonstra a evolução do indicador ao longo das cinco fases do projeto. Os três primeiros meses identificados no histórico estão presentes na primeira etapa “definição”.

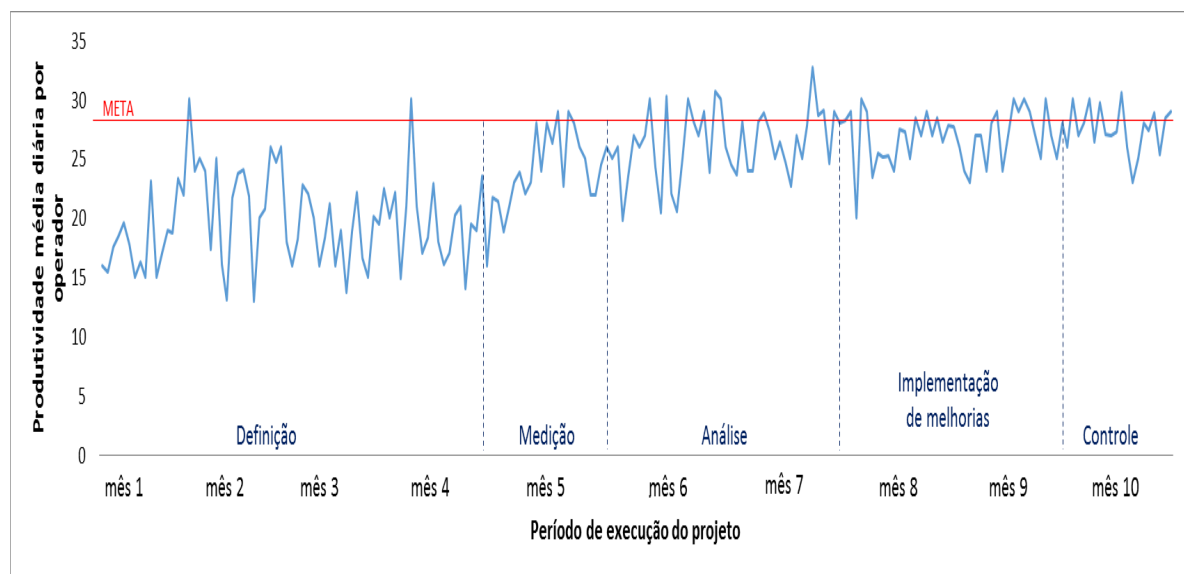


Figura 10 – Evolução da produtividade diária por operador

Por meio do *Boxplot*, avaliaram-se a variabilidade e simetria da distribuição dos dados durante o período de análise e execução do projeto. A Figura 11 apresenta este resultado fazendo uma comparação entre três fases, sendo elas: os três primeiros meses analisados no histórico (1), os três meses seguintes, correspondentes às etapas de definição, medição e análise (2) e os três meses finais do projeto, equivalentes às etapas de implementação de melhorias e controle (3).

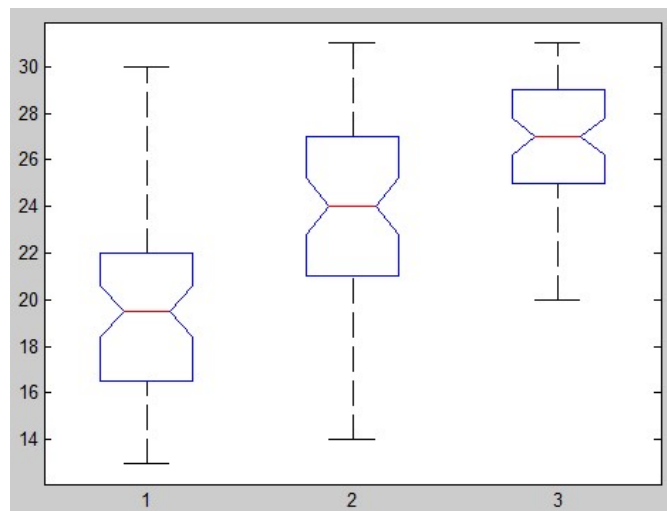


Figura 11 – Comparativo do indicador por meio do *Boxplot*

Observa-se que depois da aplicação dos conceitos e ferramentas da integração LSS o indicador se apresentou dentro ou próximos da meta proposta. Além disso, nota-se uma menor dispersão entre os dados, uma vez que a diferença entre o primeiro e terceiro quartil, assim como os limites inferiores e superiores têm valores mais aproximados. A comparação das fases 1, 2 e 3 também mostram a evolução crescente da mediana ao decorrer do tempo.

O retorno financeiro do projeto pode ser medido quanto ao número de peças a mais produzidas por dia e por operador. Considerando o valor de 10 unidades monetárias por peça, o aumento de 7 peças trouxe um retorno financeiro de 70 unidades monetárias por operador.

Para a manutenção desse resultado foram criados 12 documentos dos quais sete correspondem a Procedimentos Operacionais Padrões (POPs) para cada um dos processos da linha de montagem do Produto X e os outros 5 complementam os mesmos por meio de Padrões Técnicos de Processo (PTP). Para o cumprimento dos parâmetros, todos os operadores foram treinados conforme mudanças realizadas nas operações.

A variável monitorada continuará sendo a produtividade diária por operador na linha de montagem. Este acompanhamento é realizado pelo líder por meio de uma planilha *Excel*® onde é anotado o número de peças produzidas por hora em cada célula de produção. Para os resultados fora de controle, desenvolveu-se um OCAP (*Out of Control Action Plan*) para que a causa de o indicador não ter atingido a meta seja identificada e ações específicas sejam tomadas.

O projeto LSS aplicado na linha de montagem do Produto X, em termos de duração das etapas e sua consecução, encerrou-se conforme cronograma inicial. Analisando-se seus

dados, verifica-se que os métodos e conceitos utilizados possibilitaram um aumento de 35% na produtividade diária do produto. A justificativa para a não obtenção dos 50% pode ser dada pela não execução planos de ação apresentados pela equipe. Sendo assim, recomenda-se a continuidade do trabalho com a realização dessas atividades, assim como as que não puderam ser priorizadas no momento do desenvolvimento deste projeto. Além do mais, este trabalho pode servir como uma referência para o desenvolvimento de novos projetos, identificando novas oportunidades e tornando a busca pela melhoria contínua imprescindível dentro da organização.

Além do resultado esperado em relação ao objetivo do projeto, outros benefícios puderam ser observados na linha. O *layout* industrial possibilitou que os operadores realizassem suas atividades de forma mais ordenada e organizada. Da mesma forma, os estoques intermediários foram reduzidos e a quantidade de sucata diminuiu 2%.

7. Conclusão

Após a aplicação das etapas propostas pelo método DMAIC, os resultados atingidos no presente estudo permitiram a identificação das causas potenciais que mais interferiam na baixa produtividade e a proposição de soluções para resolução do problema, bem como as melhorias propiciadas pelo projeto.

O estudo prático da integração LSS mostrou que os conceitos, ferramentas e métodos de ambas as abordagens quanto mais estruturados, realizam mudanças vigorosas nos processos. A metodologia oferece uma combinação eficaz para as organizações que desejam acelerar seus processos mantendo-os sob controle e reduzindo custos gerais.

É válido ressaltar que a empresa objeto de pesquisa já adotava princípios *Lean Production* em suas operações, no entanto, não possuía conhecimento a respeito da abordagem *Six Sigma*. Desta forma, o envolvimento da alta direção foi essencial para a absorção e disseminação da nova metodologia por todo o setor, uma vez que o projeto LSS só seria possível por meio de formação adequada. Também observou-se que uma comunicação regular e clara é fundamental para remover obstáculos e uma equipe multifuncional possibilita que a geração de ideias seja realizada de forma sistemática e científica com resultados proveitosos.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se explorar outras ferramentas das duas abordagens, *Lean Production* e *Six Sigma*, com o objetivo de se obter maiores benefícios

e aprendizados. Embora estes modelos tenham sua aplicação majoritariamente em ambientes manufatureiros, sugere-se utilizá-los também em outros setores organizacionais.

REFERÊNCIAS

- Albliwi, S., Antony, J., Lim, S. A. H., & Wiele, T. V. D. (2014). Critical failure factors of Lean Six Sigma: a systematic literature review. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 31(9): 1012-1030.
- Antony, J. (2010). Some perspectives from leading academics and practitioners. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 59(8): 757-768.
- Caulcutt, R. (2001). Why is Six Sigma so successful? *Journal of Applied Statistics*, 28(3-4): 301-306.
- Chaurasia, B., Garg, D., & Agarwal, A. (2016). Framework to improve performance through implementing Lean Six Sigma strategies to oil exporting countries during recession or depression. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 65(3): 422-432.
- Cleto, M. G., & Quinteiro, L. (2011). Gestão de Projetos através do DMAIC: um estudo de caso na indústria automotiva. *Revista Produção Online*, 11(1): 210-239.
- Ghinato, P. (1996). Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente just in time. Caxias do Sul: EducS.
- Coronado, R. B., & Antony, J. (2002). Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations. *The TQM magazine*, 14(2): 92-99.
- Jacobs, B. W., Swink, M., & Linderman, K. (2015). Performance effects of early and late Six Sigma adoptions. *Journal of Operations Management*, 36: 244-257.
- Julien, D., & Holmshaw, P. (2012). Six Sigma in a low volume and complex environment. *International Journal of Lean Six Sigma*, 3(1): 28-44.
- Lakatos, E. M., & Marconi, M. A. (2009). *Fundamentos de metodologia científica*. São Paulo: Atlas, 6ª Ed.
- Locher, D. (2013). Criando um Fluxo Lean nos Processos de Escritório e de Serviços. *Lean Institute Brasil*. Disponível em: <http://www.lean.org.br/artigos/226/criando-um-fluxo-lean-nos-processos-de-escritorio-e-de-servicos.aspx>.
- Navarro, C. I. M., & Cleto, M. G. (2014). The ITLS model - Integration of Theory of Constraints, Lean Manufacturing and Six Sigma: A case study to best practice of operations at a Value Chain of Multinational in Brazil. *Systems Engineering Research Conference*, Canadá, 311-320.
- Ohno, T. (1997). *O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala*. Tradução de SCHUMACHER. C. Porto Alegre: Bookman.
- Pfeifer, T., Reissiger, W., & Canales, C. (2004). Integrating six sigma with quality management systems. *The TQM Magazine*, 16(4): 241-249.
- Prodanov, C. C., & Freitas, E. C. de. (2013). *Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da pesquisa e do Trabalho Acadêmico*. Novo Hamburgo: Feevale.
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2010). *The Six Sigma Handbook: a complete guide for green belts. Black belts, and managers at all levels*. McGraw-Hill Companies.
- Sanders, J. H., & Karr, T. (2015). Improving ED specimen TAT using Lean Six Sigma. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 28(5): 428-440.
- Santos, A. B., & Martins, M. F. (2015). Modelo de referência para estruturar o Seis Sigma nas organizações. *Revista Gestão & Produção*, 15(1): 43-56.
- Shingo, S. (1996). *O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção*. Porto Alegre: Artmed.
- Silva, I. B. da, Miyake, D. I., Batocchio, A. & Agostinho, O. L. (2011). Integrando a promoção das metodologias Lean Manufacturing e Six Sigma na busca de produtividade e qualidade numa empresa fabricante de autopeças. *Revista Gestão & Produção*, 18(4): 687-704.

Wang, F.-K., & Chen, K.-S. (2014). Evaluating Management Consultants for Six Sigma Projects. *Arabian Journal of Science and Engineering*, 39(3): 2371-2379.

Werkema, C. (2012). *Criando a cultura lean seis sigma*. Brasil: Elsevier.

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2004). *A máquina que mudou o mundo: baseado no estudo do Massachusetts Institute of Technology sobre o futuro do automóvel*. Rio de Janeiro: Campus.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2006). *A Mentalidade Enxuta nas Empresas – Lean Thinking*. Rio de Janeiro: Campus.



This journal is licenced under a [Creative Commons License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/). [Creative Commons - Atribuição-CompartilhaIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).