



ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



EVENTO
ON-LINE

02 a 04
de dezembro 2020

APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS LEAN MANUFACTURING EM UMA LINHA DE EMBALAGEM DE LENTES OFTÁLMICAS

Matheus Elia Hage Rodrigues

Engenharia Mecânica - Universidade do Estado do Amazonas

Antonio Claudio Kieling

Engenharia Mecânica - Universidade do Estado do Amazonas

Resumo: Este trabalho apresenta um estudo de balanceamento de linha aplicado a uma linha de embalagem de lentes oftálmicas em uma empresa situada no Polo Industrial de Manaus (PIM). A análise consiste na utilização de ferramentas comuns na área de *lean manufacturing* que têm o objetivo de identificar desperdícios e oportunidades de melhoria. Todos os dados foram coletados presencialmente. Realizou-se uma análise de tempo de ciclo com 10 amostras de cada processo, os dados encontrados foram posteriormente aplicados em gráficos de gantt. Estudando as informações obtidas, identificou-se um possível ponto de melhoria com a junção de dois processos, otimizando operações e reduzindo o custo de produção. A aplicação da melhoria foi recomendada ao setor responsável e os resultados foram obtidos conforme o planejamento, resultando em 20% de redução de custos com mão de obra direta.

Palavras-chave: *Lean manufacturing*, Cronoanálise, Gantt.

Lean manufacturing tools application in an ophthalmic lens packaging line

Abstract: This work presents a study of line balancing applied to an ophthalmic lens packaging line in a company that is situated at Manaus Industrial Pole (PIM). The analysis was done using lean manufacturing common tools which have the goal of identifying wastes and improvement opportunities. All data was collected in loco. It was done a cycle time analysis with 10 samples of each process, the data found was used to create Gantt charts. By studying all information collected, an opportunity to merge two activities was noted, allowing the company to optimize its process and reduce production costs. The improvement application was recommended to the packaging area manager and results were obtained as planned. The company achieved a reduction of 20% with direct labor costs.

Keywords: Lean manufacturing, Chrono analysis, Gantt.

1. Introdução

O mercado industrial está em constante avanço e mudança. A demanda de produção aumenta a cada dia e exige das empresas um produto final com entrega rápida e qualidade assegurada. O atendimento às necessidades do cliente final frequentemente resulta em custos adicionais de produção, reduzindo a margem de lucro da empresa.

Com o objetivo de se manter competitiva em meio a um mercado cada vez mais exigente e disputado, as empresas passaram a procurar soluções que implicassem em redução de custo e melhoria da eficiência de produção.

A filosofia *lean* assume-se como uma revolução que tem o potencial de melhorar, efetivamente, a capacidade produtiva de qualquer empresa. Este conceito nasceu do resultado de uma aprendizagem prática e dinâmica dos processos produtivos originários dos setores têxteis e automobilísticos, que surgiu cimentado na ambição e nas contingências do mercado Japonês. *Lean manufacturing* contribui com um conjunto de medidas e ferramentas adotadas como resposta à enorme crise atual e a necessidade das empresas de todo e qualquer ramo de especificação se tornar competitiva ao mercado. Os conceitos inerentes à filosofia regem-se, basicamente, pela eliminação dos desperdícios existentes tendo como consequência direta o aumento da produtividade e da eficiência nas linhas produtivas.

O presente trabalho tem como objetivo realizar a análise de uma linha produtiva de lentes oftálmicas e, por meio da aplicação de técnicas do *lean manufacturing*, encontrar maneiras de otimizar processos, aumentando a produtividade e reduzindo custos de produção.

2. Referencial teórico

2.1 *Lean manufacturing*

Os desafios enfrentados pela Toyota durante sua crise foram desanimadores: o mercado interno era pequeno e demandava grande variedade de veículos; após a Segunda Guerra Mundial, a economia japonesa estava carente de capital; outras fábricas estabelecidas de automóveis tentavam se instalar no Japão. A partir daí, surgiu a necessidade de se criar um novo modelo gerencial, nascendo, assim, o Sistema Toyota de Produção - STP ou Manufatura Enxuta (*lean manufacturing*), estruturado por Taiichi Ohno, vice-presidente da Toyota (DENNIS, 2008).

A busca por redução de custos e desperdícios em um processo industrial aumenta exponencialmente a cada ano. O *lean manufacturing* visa reduzir os desperdícios do processo produtivo, melhorando assim a qualidade, reduzindo tempo e custo de produção (FERREIRA, 2018).

Traduzido como manufatura enxuta, o *lean manufacturing* utiliza várias ferramentas: análise de gargalos, 5S, Kaizen, PDCA, entre outros, com o mesmo objetivo de potencializar o processo produtivo por meio de redução de atividades que não geram valor agregado.

2.2 Kaizen

Traduzido como melhoria contínua, a metodologia *Kaizen* tem como objetivo o aprimoramento constante do processo produtivo. A filosofia *kaizen* assume que o jeito de viver deve focar em esforços para melhoria contínua em geral, seja na vida pessoal ou profissional. Dessa maneira, a melhoria contínua contribuiu fortemente para o sucesso competitivo existente atualmente no Japão (IMAI, 1997).

Os resultados obtidos através da aplicação do *Kaizen* são extremamente significantes por mais pequena que pareça ser a mudança. Além de ser uma alternativa de baixo risco, pois, pode-se voltar ao estado passado sem altos custos (IMAI, 1997).

O *Kaizen* tem sido chamado de “a filosofia mais poderosa da administração” por possuir ferramentas que envolvem todos dentro da empresa, em busca de melhoria dos negócios. Traduz-se *Kaizen* como Kai = melhoria / Zen = contínua, onde não significa somente fazer melhor as coisas, mas procurar também conquistar resultados específicos como eliminação de desperdício, de tempo, dinheiro, material e esforço; elevando a qualidade de produtos, serviços, relacionamentos, conduta pessoal e desenvolvimento de empregados, reduzindo os custos de projeto, fabricação, estoque e distribuição; transformando o atendimento ao cliente em um processo natural e interminável (MASAAKI, 2005).

2.3 Value stream mapping

Uma das maneiras de se analisar um processo produtivo em busca de desperdícios é utilizar a ferramenta conhecida como *VSM* – *value stream mapping* (mapa de fluxo de valor) a qual é definida como um mapa que demonstra o fluxo de material e informação, ajudando na identificação de perdas no processo.

VSM é uma ferramenta de fácil aplicação e compreensão que permite a representação de diversos fluxos de materiais e informações (Figura 1). O objetivo desta ferramenta é identificar e eliminar desperdícios em uma fábrica ou linha de produção de maneira a servir o cliente com a maior qualidade possível (ROTHER; SHOOK, 1999).

Figura 1 – Exemplo básico de mapa de fluxo de valor



2.4 Balanceamento de linha

Para que uma linha de produção seja eficiente e organizada, ela precisa estar balanceada. O balanceamento de linha é definido como sendo o nivelamento da carga de trabalho ao longo do fluxo de valor para remover gargalos e excesso de capacidade (KUMAR, 2013). O objetivo do balanceamento de linha é empregar com eficiência os recursos disponíveis para a produção (HAZIR; DOLGUI, 2014).

Uma alternativa é avaliada levando-se em conta quanto tempo livre, ocioso, ela gera. Para iniciar-se um balanceamento é necessário definir os limites técnicos da capacidade de produção, bem como o tempo do ciclo que é disponível em cada posto de trabalho de uma linha de produção (SIVASANKARAN; SHAHABUDEEN, 2014).

2.5 Tempo de ciclo

O tempo de ciclo é o intervalo, geralmente em segundos, necessários para a produção de um material ou peça. O tempo de ciclo é geralmente medido tomando-se um ponto de partida como referência e iniciando-se a contagem em um cronômetro, quando o processo produtivo retorna a esse ponto de referência, para-se o cronômetro e define-se o tempo de ciclo. A quantidade de amostras necessárias varia de acordo com cada processo produtivo, sendo utilizado como regra geral um mínimo de 10 medidas de tempo.

O tempo de ciclo é o tempo transcorrido entre a saída de uma peça e a saída da peça seguinte, em segundos (ROTHER; SHOOK, 1999).

2.6 Gráfico de gantt

O que se conhece por gráfico de Gantt, ou diagrama de Gantt (*Gantt chart*, em inglês) foi outrora conhecido como Harmonograma de Karol Adamiecki. Adamiecki foi um economista, engenheiro e estudioso da gestão polonês (WEAVER, 2012).

A figura 2 mostra um exemplo do harmonograma de Adamiecki. O tempo, retratado na coluna esquerda, e as atividades nas colunas restantes, ocupando seus respectivos tempos de trabalho.

Figura 2 – Harmonograma de Adamiecki

Tempo	De	-	-	-	A-1	B-1	...
	Para	A-2	B-2, C	D-2	A-3	E-1	...
	Atividade	A-1 (4)	B-1 (4)	D-1 (4)	A-2 (4)	B-2 (3)	...
1		■	■	■			
2							
3							
4		■	■				
5					■	■	
6							
7							
8					■		
9							
10							
11							
12							
13							
14							

FONTE: WEAVER (2012)

O Harmonograma de Karol Adamiecki data de 1896, porém, com publicação tardia de 1931 (35 anos após a sua criação) e por conta do atraso acabou sendo conhecido como gráfico de Gantt por conta da utilização da ferramenta pelo engenheiro mecânico Henry Gantt a partir de 1910 (WEAVER, 2012), apesar de o gráfico de Gantt original possuir uma informação adicional sobre o trabalho realizado, além do trabalho que foi projetado (CLARK, 1923). Henry Gantt foi um importante estudioso de gestão, cujo trabalho estava relacionado à fábricas e oficinas mecânicas com foco em otimização da produção em grande escala (WEAVER, 2012).

Apesar de pertencer já ao senso comum, uma descrição do gráfico de barras pode esclarecer a posterior descrição sobre o gráfico de Gantt. Os gráficos de barras são essencialmente um gráfico estilizado, aonde os dados na forma de um ponto inicial ou final formando uma linha ou uma barra são plotados entre eixos de abcissa e ordenada (WEAVER, 2012). Para o caso do gráfico de Gantt, um dos eixos (abcissa ou ordenada) traz a descrição das tarefas e o outro traz a quantidade de tempo.

3. Metodologia

A proposta deste estudo de caso é analisar a aplicação das ferramentas de manufatura enxuta em uma linha produtiva com o objetivo de serem identificados os desperdícios existentes e assim otimizar o processo produtivo. Um estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e contexto não estão claramente definidos (YIN, 2015).

O estudo foi realizado em uma linha de embalagem de lentes oftálmicas de policarbonato situada em uma fábrica no Polo Industrial de Manaus. Na análise e tratamento dos dados, métodos quantitativos e qualitativos foram utilizados. Observações diretas, bem como folhas de anotações e planilhas eletrônicas foram utilizadas como técnica de coleta de dados primários.

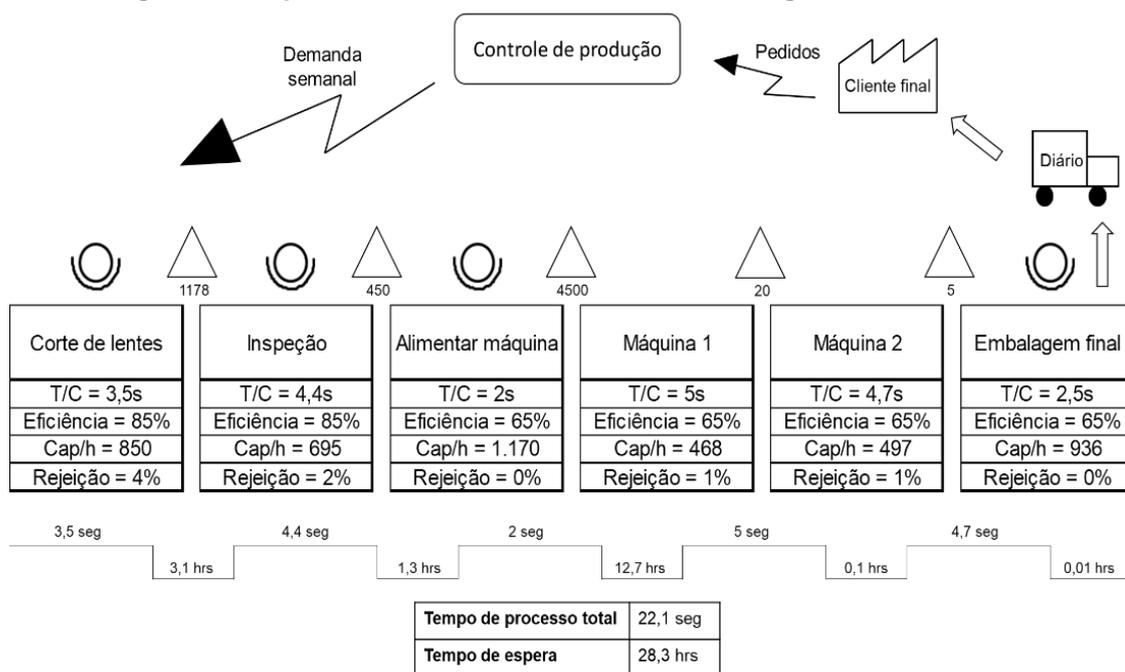
O primeiro passo foi entender a situação atual a partir da elaboração do *value stream mapping*, ou seja, mapa de fluxo de valor. Mapeando a situação atual do processo, é possível identificar desperdícios como: super processamento, estoque, movimentação excessiva, espera, entre outros.

Para uma análise mais profunda em busca de possíveis otimizações de operação e eliminação de desperdícios, elaborou-se o gráfico de gantt para cada uma das atividades manuais realizadas por operadores.

4. Resultados e discussões

A Figura 3 mostra o mapa de fluxo de valor atual da linha de produção. É possível observar que existem 6 etapas de operação de lentes, sendo que 4 são realizadas por operadores e 2 por máquinas.

Figura 3 – Mapa de fluxo de valor da linha de embalagem de lentes



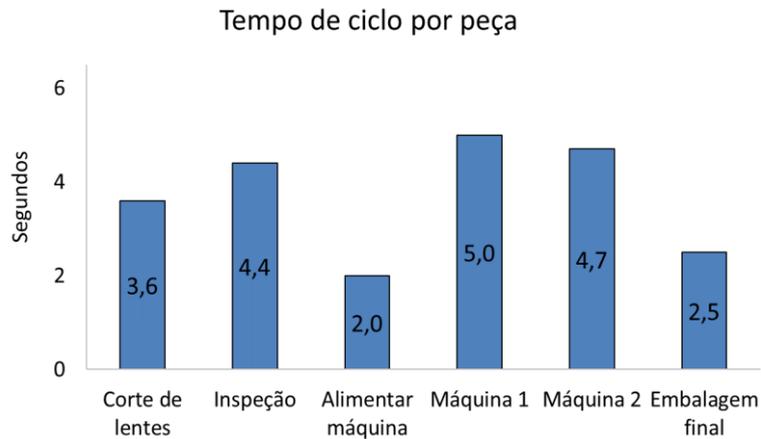
FONTE: AUTORES (2020)

Analisando o mapa de fluxo de valor da situação atual representado pela figura 3, é possível identificar que a linha de embalagem de lentes é composta por 6 processos sendo que, 4 destes, possuem operadores. O processo gargalo da linha é o “máquina 1” com um tempo de ciclo de 5s com uma eficiência de produção de 65% e rejeição de peças de 1%. A capacidade de produção por hora da linha é definida com base no processo gargalo, com os dados apresentados, a linha de produção apresenta uma capacidade de 468 lentes/hora.

É possível observar também que o processo “alimentar máquina” possui supercapacidade por conta de seu baixo tempo de ciclo, apenas 2s. Por conta disso, tem-se um superprocessamento e criação de estoque desnecessário pois o processo seguinte é o gargalo da linha como mencionado anteriormente. Esses desperdícios fazem com que a linha de produção não trabalhe em sua completa eficiência e prejudica o balanceamento de linha, mas também nos mostram oportunidades de melhorias que precisam ser aplicadas.

Com base nos dados coletados, criou-se um gráfico mostrando o tempo de ciclo de cada atividade para melhor entendimento. Dez amostras de tempo de ciclo foram medidas em cada processo, o valor final considerado é a média dessas amostras, ilustrado na Figura 4.

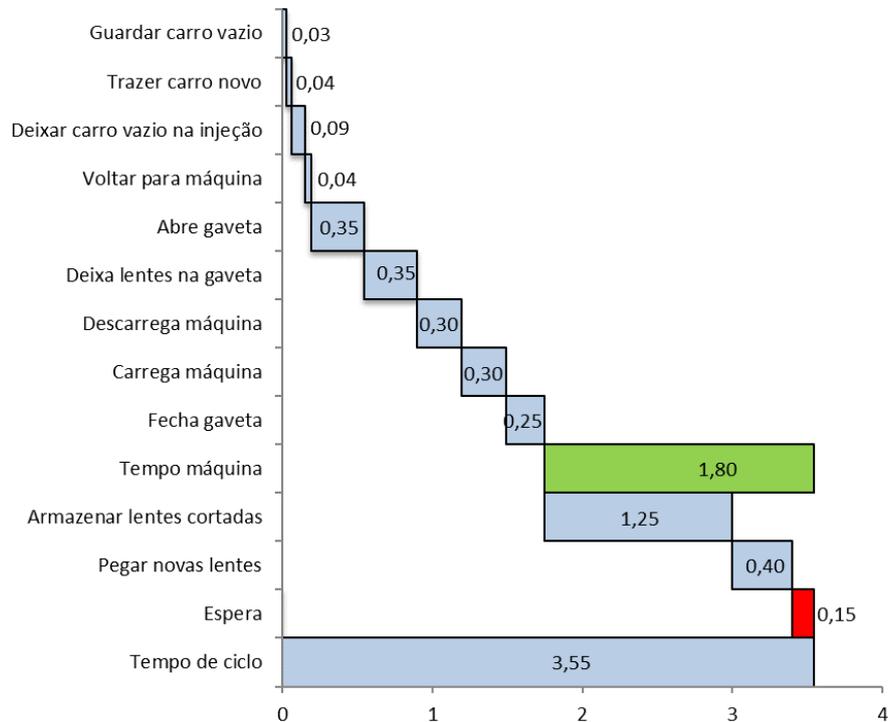
Figura 4 – Gráfico de tempo de ciclo dos processos



Fonte: AUTORES (2020)

Observa-se que o processo “alimentar máquina” é o mais rápido de todos com 2,0 s/ciclo, com uma diferença significativa em relação ao gargalo da linha que é o processo “máquina 1” com 5,0 s/ciclo. Com o objetivo de estratificar as operações em micro atividades para analisar possíveis melhorias com otimização e junção de processos, foram elaborados os gráficos de gantt de cada atividade conforme ilustrado nas figuras 5, 6, 7 e 8.

Figura 5 – Gráfico de gantt - Corte de lentes

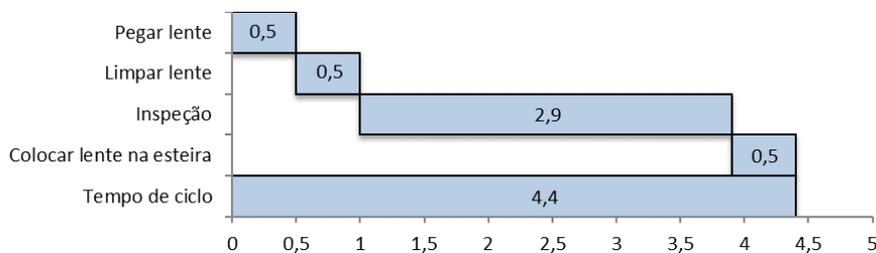


Fonte: AUTORES (2020)

O processo de corte de lentes representado pela figura 5 é o primeiro processo da linha de produção. Baseia-se em pegar o par de lentes que está armazenado em um carro e alimentá-lo adequadamente

dentro da máquina de corte. A máquina de corte tem a função de separar o par de lentes cortando o canal de injeção plástica, resultando assim em 2 unidades individuais de lentes. É possível observar um leve tempo de espera do operador até que a máquina termine seu processo.

Figura 6 – Gráfico de *gantt* - Inspeção



Fonte: AUTORES (2020)

O processo de inspeção vem logo após o corte de lentes. O posto de trabalho é composto por uma bancada e uma lâmpada utilizada especificamente para detecção de defeitos superficiais nas lentes. Qualquer risco, arranhado, lasca ou quebra na lente a torna rejeitada e então a mesma é devidamente descartada. Os operadores responsáveis pela inspeção recebem treinamentos mensalmente com o objetivo de garantir a boa qualidade do produto final.

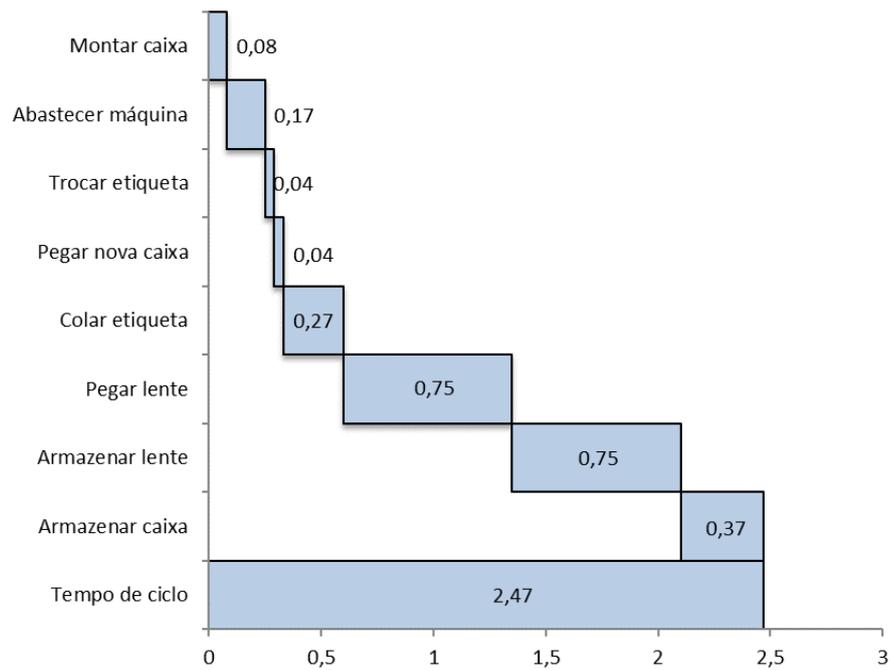
Figura 7 – Gráfico de *gantt* - Alimentar máquina



Fonte: AUTORES (2020)

Antes da máquina 1, temos o posto “alimentar máquina” representado pela figura 7. Nesse posto, o operador é responsável apenas por pegar a lente da bandeja e colocá-la na esteira de entrada da máquina 1. O fato deste processo ser o mais rápido da linha nos proporciona uma possível oportunidade de otimização de atividades que consiste na junção de operações de 2 operadores em somente 1, observando a obrigação de não ultrapassar o gargalo da linha que é 5s/ciclo.

Figura 8 – Gráfico de gantt - Embalagem final



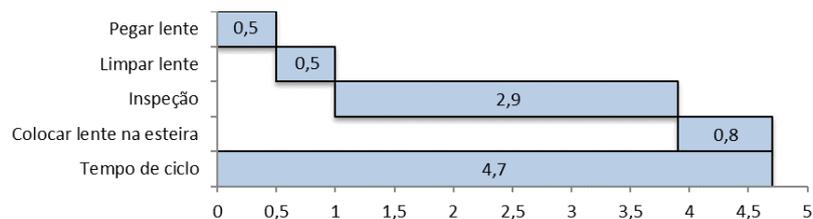
Fonte: AUTORES (2020)

O último processo da linha de produção é a embalagem final, a operação consiste em retirar a lente embalada da máquina e colocá-la dentro de uma caixa maior. Então, imprime-se uma etiqueta contendo informações como: tamanho do lote, referência do lote e data de produção. A etiqueta é colada na caixa e a caixa é armazenada em um pallet para posterior carregamento no caminhão de transporte.

Analisando o gráfico de Gantt dos processos, notou-se uma possível oportunidade de otimização de operações. A otimização de operações acontece quando, através de análises e estudos de tempos de processamento, comprova-se a possibilidade de juntar dois ou mais processos que são realizados por colaboradores distintos em somente um processo com apenas um colaborador sem que o tempo de ciclo final ultrapasse o gargalo da linha.

Um novo gráfico de Gantt foi elaborado simulando a junção das atividades dos processos “Inspeção” e “Alimentar máquina” como mostra a figura 9.

Figura 9 – Gráfico de gantt - Inspeção + alimentar máquina



Fonte: AUTORES (2020)

Verifica-se que mesmo com a junção das duas atividades não houve alteração no tempo de ciclo final, ficando o mesmo abaixo do tempo gargalo de 5s/ciclo da “máquina 1”. Dessa maneira, é possível reduzir um colaborador por turno de produção, diminuindo os custos para empresa e, por consequência, aumentando seu lucro anual.

A Tabela 1 demonstra o comparativo de custo com colaboradores antes e depois da implementação da melhoria relatada nesse projeto, observa-se uma redução de 20% no custo de mão de obra direta.

Tabela 1 – Comparativo de custo com mão de obra direta

Item	Antes	Depois
Operadores no processo	20	16
Custo/ano	R\$240.000,00	R\$192.000,00

Fonte: AUTORES (2020)

5. Conclusão

Este trabalho foi elaborado com o objetivo de analisar uma linha de produção e identificar desperdícios e oportunidades de melhoria. Com a aplicação de ferramentas de manufatura enxuta foi possível entender claramente a situação atual do processo e propor um estado futuro onde é possível otimizar colaboradores e reduzir o custo de produção. A coleta de tempos de ciclo e elaboração do gráfico de gantt foram essenciais para a identificação das oportunidades, proporcionando uma evolução em termos de balanceamento de linha desse processo produtivo.

O mercado industrial está cada vez mais competitivo e os profissionais das indústrias precisam executar melhorias diariamente a fim de reduzir os custos de processo e aumentar o lucro da empresa para que a mesma consiga evoluir constantemente.

Os objetivos de analisar e melhorar a linha de embalagem de lentes utilizando ferramentas de manufatura enxuta foi alcançado com sucesso. O estudo apresentou uma oportunidade de redução de custos com mão de obra direta de 20%. A proposta foi recomendada para o time de supervisão da produção e a melhoria foi implementada.

Recomenda-se realizar uma nova análise após a implementação da melhoria a fim de concretizar os resultados esperados bem como detectar outros possíveis pontos de melhoria. Uma linha de produção precisa ser constantemente melhorada para que se mantenha eficiente e altamente produtiva.

Referências

CLARK, Wallace. **The Gantt Chart Working Tool of Management**. 1ª ed. Nova Iorque: Ronald Press: 1923.

DENNIS, P. **Produção lean simplificada: Um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

FERREIRA, R. **Sistemas Lean**. 1ª ed. Belo Horizonte: Poisson, 2018. Vol. 1.

HAZIR, O.; DOLGUI, A. Robust assembly line balancing: state of the art and new research perspectives. New York: **Nova Science Publishers**, 2014. p. 211-223.

KUMAR, D. M. Assembly line balancing: a review of developments and trends in approach to industrial application. **Global Journal of Research in Engineering**, Pennsylvania, v. 13, n. 2, p. 29-50, 2013.

MASAAKI, I. **Kaizen: A Estratégia para o Sucesso Competitivo**. 6 ed. São Paulo, 2005.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to see: value stream mapping to ass value and eliminate**. Cambridge, MA: Lean Enterprise Institute, 1999.

SIVASANKARAN, P.; SHAHABUDEEN, P. Literature review of assembly line balancing problems. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 73, p. 1665-1694, 2014.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

WEAVER, Patrick. **Henry L. Gantt, 1861 – 1919. A Retrospective View of His Work**. PMWorld Journal. Melbourne: 2012. Disponível em: . Acesso em 06/10/2020.