



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

EDNALDO MONTEIRO DOS SANTOS PEREIRA

**APLICAÇÃO PRÁTICA DA METODOLOGIA LEAN MANUFACTURING PARA
MELHORIA DE INDICADORES EM UMA LINHA DE FABRICAÇÃO DE
ENGRENAGENS**

Recife
2022

EDNALDO MONTEIRO DOS SANTOS PEREIRA

**APLICAÇÃO PRÁTICA DA METODOLOGIA LEAN MANUFACTURING PARA
MELHORIA DE INDICADORES EM UMA LINHA DE FABRICAÇÃO DE
ENGRENAGENS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade
Federal de Pernambuco como requisito
básico para obtenção do grau de bacharel
em engenharia mecânica.

Orientador:

Prof. Paternak de Souza Barros

Recife

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Pereira, Ednaldo Monteiro dos Santos.

Aplicação prática da metodologia lean manufacturing para melhoria de indicadores em uma linha de fabricação de engrenagens / Ednaldo Monteiro dos Santos Pereira. - Recife, 2022.

50 : il., tab.

Orientador(a): Paternak de Souza Barros

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Mecânica - Bacharelado, 2022.

1. Lean manufacturing. 2. Melhoria contínua. 3. Fabricação de engrenagens. 4. Programa 5S. 5. Kaizen. I. Barros, Paternak de Souza. (Orientação). II. Título.

670 CDD (22.ed.)

EDNALDO MONTEIRO DOS SANTOS PEREIRA

**APLICAÇÃO PRÁTICA DA METODOLOGIA LEAN MANUFACTURING PARA
MELHORIA DE INDICADORES EM UMA LINHA DE FABRICAÇÃO DE
ENGRENAGENS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade
Federal de Pernambuco como requisito
básico para obtenção do grau de bacharel
em engenharia mecânica.

Aprovado em: 03 de novembro de 2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr.
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr.
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a. Dr.^a.
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, em especial à minha mãe, Ednalva Monteiro, por estar sempre presente fazendo com que a vida fosse mais leve. Todo o exemplo que tive sobre responsabilidade e luta diária veio da senhora.

Agradeço à minha esposa Renata Albuquerque por todo o estímulo e apoio durante toda a minha trajetória no curso de engenharia mecânica. Sem você, não seria possível chegar ao fim dessa jornada.

Agradeço à empresa em que trabalho pela oportunidade de realização deste trabalho com grande impacto na minha formação profissional.

RESUMO

A fim de atender à grande demanda atual da população por produtos e serviços, empresas de vários ramos têm surgido por todo o mundo. Este fato gera um aumento na competitividade, impulsionando a busca por alternativas para atingir uma redução de custos com responsabilidade e segurança. Partindo deste preceito, o presente trabalho avalia uma indústria metalúrgica de fabricação de peças automotivas, localizada no município de Igarassu, visando a aumentar a produtividade de uma linha de fabricação engrenagens, minimizando as atividades que não agregam valor ao produto. Buscando realizar uma abordagem prática e objetiva do problema, foram aplicados conceitos e ferramentas da metodologia Lean Manufacturing por uma equipe multidisciplinar formada por diversos setores da empresa. Atividades como mapeamento do fluxo do processo, cálculo de *Takt time*, brainstorming e uso de ferramentas gráficas como fluxograma e gráfico de espaguete foram fundamentais para alcançar bons resultados. Após a execução de todas as tarefas elencadas pela equipe, foram alcançados resultados bastante expressivos, tais como a redução da área total ocupada pela linha e da distância percorrida durante a fabricação da engrenagem; redução de desperdícios e aumento da organização, limpeza, segurança e padronização de operações da linha através da aplicação do 5S; redução drástica do material em processamento; aumento da produtividade e consequente redução do custo por peça. Esses resultados atestam a eficácia da metodologia aplicada e reforçam a importância da implementação de uma cultura de melhoria contínua dentro de um ambiente empresarial, pois influenciam positivamente na saúde financeira da empresa e na qualidade final de seus produtos.

Palavras-chave: Lean manufacturing. Melhoria contínua. Fabricação de engrenagens. Programa 5S. Kaizen.

ABSTRACT

In order to meet the great current demand of the population for products and services, companies of various branches have emerged all over the world. This fact generates an increase in competitiveness, boosting the search for alternatives to achieve a cost reduction with responsibility and safety. Based on this precept, the present work evaluates a metallurgical industry for the manufacture of automotive parts, located in the municipality of Igarassu, aiming to increase the productivity of a gear manufacturing line, minimizing activities that do not add value to the product. Looking to carry out a practical and objective approach to the problem, concepts and tools of the Lean Manufacturing methodology were applied by a multidisciplinary team formed by different departments of the company. Activities such as process flow mapping, takt time calculation, brainstorming and use of graphic tools such as flowchart and spaghetti chart were fundamental to achieve good results. After the execution of all the tasks listed by the team, very expressive results were achieved, such as the reduction of the total area occupied by the line and the distance traveled during the manufacturing of the gear; waste reduction and increased organization, cleanliness, safety and standardization of line operations through the application of 5S; drastic reduction of material in processing; increase in productivity and consequent reduction in cost per part. These results attest to the effectiveness of the applied methodology and reinforce the importance of implementing a culture of continuous improvement within a business environment, as they positively influence the company's financial health and the final quality of its products.

Keywords: Lean manufacturing. Continuous improvement. Gear manufacturing. 5S program. Kaizen.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo contínuo	14
Figura 2 - Diagrama de espaguete genérico	17
Figura 3 - Mapa do fluxo de valor	21
Figura 4 - Ícones do fluxo de materiais	21
Figura 5 - Ícones do fluxo de informações	22
Figura 6 - Layout do setor	26
Figura 7 - Fluxo macro do processo atual da linha de produção de coroas de comando	27
Figura 8 - Estoque intermediário entre operações (WIP) da linha de produção de coroas de comando	31
Figura 9 - Brainstorming e Matriz de esforço x impacto	38
Figura 10 - Ações macro	41
Figura 11 - Fluxo macro do processo da linha de produção de coroas de comando após aplicação da metodologia lean manufacturing	42
Figura 12 - Work in process antes e depois da melhoria	42
Figura 13 - Área total ocupada pela linha antes e depois do kaizen	43
Figura 14 - Aplicação do 5S em organização e segurança	43
Figura 15 - Aplicação do 5S em organização e limpeza	44
Figura 16 - Aplicação do 5S em segurança	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estoque intermediário entre operações (WIP) da linha de produção de coroas de comando antes da melhoria

Tabela 2 – Ações macro

Tabela 3 – Ações específicas

Tabela 4 – Takt time da peça A

Tabela 5 – Tempos por operação da peça A trabalhando em 1 turno

Tabela 6 – Tempos por operação da peça A trabalhando em 2 turnos

Tabela 7 – Tempos por operação da peça A trabalhando em 3 turnos

Tabela 8 – Tempo de ciclo por operador

Tabela 9 – Quantidade ideal de operadores antes e depois da melhoria

Tabela 10 – Peças em processamento antes e depois da melhoria

Tabela 11 – Resumo dos resultados alcançados

RELAÇÃO DE SIGLAS E ABREVIATURAS

5S	5 Sentos
WIP	Work in Process
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
JIT	Just in Time
MFV	Mapa de Fluxo de Valor
MP	Matéria-Prima
PCP	Planejamento e Controle de Produção
COMAT	Controle de materiais
AK	Antes do kaizen
DK	Depois do kaizen
PA	Produto acabado
TCO	Tempo de ciclo por operador

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	OBJETIVO.....	9
1.1.1	Objetivo Geral.....	9
1.1.2	Objetivos Específicos:	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....	11
2.2	LEAN MANUFACTURING.....	12
2.3	PRINCÍPIOS DO LEAN	13
2.4	DESPERDÍCIOS	15
2.5	FERRAMENTAS DO LEAN.....	16
2.5.1	DIAGRAMA DE ESPAGUETE	16
2.5.2	PROGRAMA 5S	18
2.5.3	BRAINSTORMING	19
2.6	MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR.....	20
2.7	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3	METODOLOGIA	25
3.1	TREINAMENTO DA EQUIPE KAIZEN	25
3.2.1	Cálculo do takt time e análise de capacidade	29
3.3	IDENTIFICAÇÃO DOS DESPERDÍCIOS, BRAINSTORMING E CLASSIFICAÇÃO DE IDEIAS	30
3.4	APLICAÇÃO PRÁTICA DAS MELHORIAS	32
3.5	PADRONIZAÇÃO E ACOMPANHAMENTO	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1	FLUXO MACRO DO PROCESSO E LAYOUT	37
4.2	ESTOQUE INTERMEDIÁRIO ENTRE OPERAÇÕES.....	40
4.3	ÁREA TOTAL OCUPADA	41
4.4	REVISÃO DO PROGRAMA 5S	41
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

O valor de um produto ou serviço só pode ser definido pelo cliente final, e este produto ou serviço só é relevante quando atende às necessidades do cliente a um preço específico em um momento específico, de acordo com Womack e Jones (2004). Conforme mencionado por Costa e Henkin (2016), pode-se entender a concorrência schumpeteriana como sendo a disputa de mercado entre empresas rivais através da diferenciação de algum atributo ligado ao produto e, para tanto, as empresas adotam estratégias que propiciem vantagens competitivas sustentáveis e tragam maiores lucros.

Segundo essa perspectiva, é de grande importância a adoção de um sistema que busque a melhoria contínua em todos os aspectos de uma empresa, fomentando uma cultura de pensamento crítico em todos os colaboradores a fim de elevar cada vez mais a competitividade da empresa dentro do mercado (PRAJOGO; SOHAL, 2006).

Hayes et al (2008) define uma estratégia competitiva como “um conjunto de metas, políticas e restrições autoimpostas que descrevem como a organização planeja dirigir e desenvolver todos os recursos investidos na produção para melhor cumprir (e possivelmente redefinir) sua missão. No caso de uma organização de negócios, essa missão geralmente é expressa em termos de sobrevivência, rentabilidade e crescimento e é posta em prática na tentativa de diferenciar a empresa dos seus concorrentes”.

Através da análise de indicadores de produção e de auditorias internas de uma linha de fabricação de coroas de comando, colaboradores de uma indústria de fabricação de engrenagens para veículos de duas e quatro rodas, localizada no município de Igarassu – PE, reportaram a baixa produtividade e excesso de atividades que não agregam valor ao produto. A fim de entender o problema e buscar soluções viáveis, foi convocada uma equipe composta pelos setores de melhoria contínua, produção, manutenção, qualidade, engenharia industrial, engenharia, segurança e vendas para estudar as principais causas da improdutividade desta linha.

Para investigar o problema de forma eficiente, foram realizadas algumas atividades, como mapeamento macro (fluxo do processo), cálculo do ritmo de produção necessário para atender a demanda do cliente (*Takt time*) e visitas à linha

de produção e conversa com os operários. Após uma análise mais cuidadosa da situação, percebeu-se que a linha apresentava um número de peças em processamento (*Work in Process*) muito elevado, bem como excesso de inventário no local, falta de padronização entre os operadores, mais de um tipo de produto sendo fabricado na mesma linha, ociosidade de equipamentos e ausência de um fluxo contínuo da peça.

Diante de uma situação indesejada com uma linha de produção apresentando um custo de produção maior do que o custo planejado, fez-se necessária a aplicação de um método efetivo para criar um plano de ação que pudesse sanar essas deficiências e atingir um nível de excelência na produção de coroas de comando.

Para melhorar a situação de forma viável, buscando aproveitar os recursos já disponíveis na empresa e o mínimo custo, foram utilizados conceitos e ferramentas da metodologia *lean manufacturing* ou apenas *Lean*, que é baseada no sistema Toyota de produção e busca eliminar desperdícios para atingir uma produção enxuta (OHNO, 1997). A metodologia foi aplicada ao longo de uma semana com uma equipe de treze funcionários, designados para se dedicarem exclusivamente a esta atividade.

Durante esta semana, a situação foi analisada com ferramentas comuns, como fluxograma e gráfico de espaguete, além da realização de brainstormings e classificação de ideias, objetivando traçar planos de ação imediatos e a longo prazo para alcançar níveis aceitáveis de produção e reduzir ao máximo o custo de fabricação por peça.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Atingir o nível mínimo de desperdícios na linha de fabricação de coroas de comando, melhorando alguns indicadores críticos que impactam diretamente no custo do setor.

1.1.2 Objetivos Específicos:

- a) Melhorar a produtividade em 30%;
- b) Reduzir o número de peças em processamento (WIP) em no mínimo 20%;
- c) Reduzir a área total ocupada pela linha em 20%;
- d) Aplicar ações baseadas no programa 5S, buscando uma melhora de 30% na pontuação obtida em auditoria interna;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico serão tratados os conceitos teóricos e ferramentas básicas que formam o alicerce de conhecimento necessário para um bom desenvolvimento do trabalho.

2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO

De acordo com Moreira (2012), sistema de produção é o conjunto de atividades e operações (envolvendo elementos físicos ou informacionais) que, em uma operação harmônica, resulta em um bem físico ou um serviço prestado. Segundo Slack (2018), operações são processos compostos por um conjunto de recursos de *input* (entradas) que são usados para transformar algo ou se transformam em *outputs* (saídas) de serviços ou produtos. Embora todas as operações se adequem a este modelo geral, elas diferem na natureza de seus *inputs* e *outputs* específicos.

A administração da produção é importante em todos os tipos de organização. Administração da produção é a atividade de gerenciar recursos que criam e entregam serviços e produtos. Esta atividade usa máquinas, conhecimento, pessoas, recursos próprios ou de parceiros e experiência dos funcionários para eficientemente montar (ou produzir, mudar, vender, mover, curar, molda etc.) produtos (ou serviços ou ideias) que satisfaçam as demandas do cliente (SLACK, 2018).

De acordo com Shingo (1996), para realizar melhorias significativas no processo de produção, deve-se distinguir o fluxo de produto (processo) do fluxo de trabalho (operação) e analisá-los separadamente. Operações são constituídas de uma coleção de processos. Slack (2018) explica que os processos são arranjos de recursos e atividades para transformar *inputs* e *outputs* que satisfazem as necessidades (internas ou externas) de um cliente. Estes processos são “blocos de construção” que se interconectam para formar uma rede.

Slack (2018) classifica os processos de produção de acordo com quatro aspectos importantes, conhecidos como 4V: volume do *output*, variedade do *output*, variação na demanda do *output* e visibilidade que os clientes possuem da produção de seu *output*. De forma simplificada, um alto volume, baixa variedade, baixa variação e baixo contato com o cliente representam baixos custos de processamento. Por outro

lado, baixo volume, alta variedade, alta variação e alto contato com o cliente geram custos elevados para a operação.

2.2 LEAN MANUFACTURING

Segundo Dennis (2008), após visitar a fábrica da Ford em Detroit no ano de 1950, Eiji Toyoda notou a grande diferença de produção entre a Toyota (que, em treze anos de trabalho havia fabricado apenas 2.685 veículos) e a Ford (que na época fabricava 7.000 veículos por dia). Naquela época, a Toyota teve que encarar alguns desafios assustadores, pois o mercado interno era pequeno e demandava grande variedade de veículos (caminhões, carros de luxo, carros populares etc.); a economia japonesa pós-guerra estava necessitada de investimentos externos que eram impossíveis de conseguir naquele contexto; indústrias automotivas bem-sucedidas tentavam se estabelecer no Japão. Dada a grande necessidade de mudança, o vice-presidente da Toyota, Taiichi Ohno implantou o Sistema Toyota de Produção (ou produção enxuta) e resolveu esses problemas ao longo de trinta anos.

O *lean manufacturing*, ou simplesmente *lean*, é uma metodologia de produção que provê uma maneira de especificar o valor, alinhar as ações de criação de valor na melhor sequência, conduzir essas atividades sem interrupção e executá-las de forma cada vez mais eficaz. O *lean* é enxuto porque fornece uma maneira de fazer mais e mais com cada vez menos - menos esforço humano, menos equipamento, menos tempo e menos espaço - enquanto vem cada vez mais perto de fornecer aos clientes exatamente o que eles desejam (WOMACK; JONES, 2004).

Esta metodologia vem sendo aplicada constantemente ao longo dos anos em diversos trabalhos. Weidig (2019) aplicou o *lean* em uma indústria mecânica com o intuito de identificar áreas e processos com maior incidência de desperdícios durante a fabricação de peças. Através deste trabalho, obteve resultados satisfatórios como desenvolvimento de novas rotas para produtos com tempo excessivo de fabricação, aumento de capacidade da caldeiraria e redução do tempo de transporte de peças entre galpões.

Hilsdorf et. al. (2019) aplicou as ferramentas do *lean* para realizar um estudo em uma indústria de remanufatura, que é caracterizada pela complexidade e especificidade que a diferenciam da manufatura tradicional, exigindo diferentes

estratégias de gerenciamento. Hilsdorf obteve resultados que mostram a contribuição positiva do *lean* na produtividade da remanufatura, devendo sua aplicação ser adaptada às características próprias do processo.

Faria (2016) buscou uma redução de desperdícios em uma construtora de pequeno porte usando a metodologia *lean*. De acordo com o autor, empresas de construção civil têm várias formas de desperdícios por possuírem muitas atividades manuais, o que impacta de forma considerável nos custos e prazos dos serviços. O autor relata que obteve resultados muito positivos, atestando a efetividade da produção enxuta no setor da construção civil.

2.3 PRINCÍPIOS DO LEAN

De acordo com Womack e Jones (2004), para o uso adequado da manufatura enxuta devem ser considerados seus cinco princípios fundamentais: identificação do valor, o fluxo do valor, fluxo contínuo, produção puxada e busca pela perfeição. Tais conceitos são explicados abaixo.

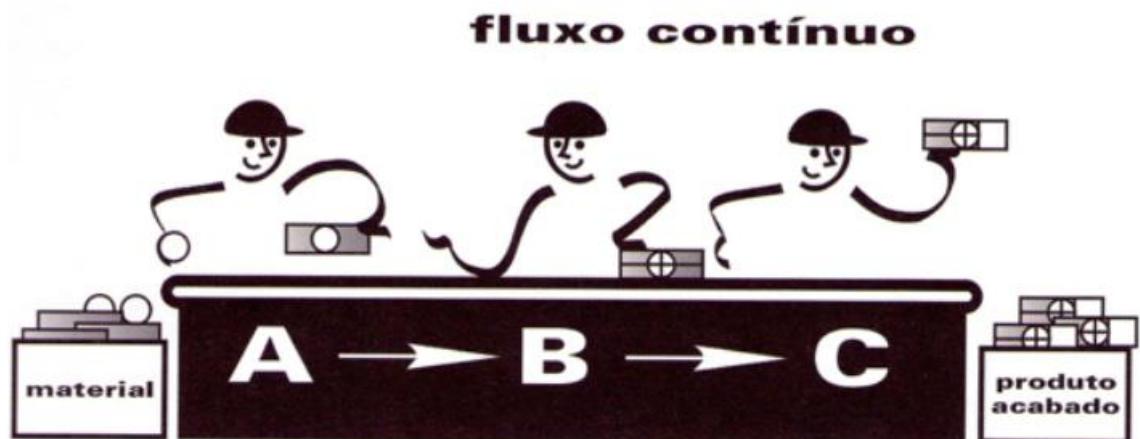
Identificação do valor: para o uso preciso da manufatura enxuta, deve-se partir da identificação do valor, de maneira que o valor do produto seja definido não pela empresa, mas pelo cliente final, sendo utilizados requisitos que atendam às necessidades do cliente, a um preço específico dentro de um prazo adequado (Lean Institute Brasil, 2015). De acordo com Faria (2016), produtos que possuam atributos incompatíveis com as necessidades do cliente representam uma oportunidade de identificação de desperdícios, servindo de orientação à aplicação aos demais princípios.

Fluxo do valor: Jones e Womack (1992) definem fluxo de valor como o conjunto de todas as ações específicas necessárias para trazer um produto específico através de três tarefas críticas de gestão: resolução de problemas, desde o conceito e detalhamento do projeto de engenharia até o lançamento da produção; o gerenciamento de informações, desde o recebimento dos pedidos até o planejamento detalhado do cronograma de atendimento; a transformação física, desde a matéria-prima até o produto acabado nas mãos do cliente. Segundo Lean Institute Brasil (2015), o fluxo de valor é uma avaliação da cadeia produtiva onde os processos são separados em três tipos: processos que agregam valor, processos que não agregam

valor, mas que são importantes para manutenção da qualidade e dos processos e os que não agregam valor, devendo ser descartados.

Fluxo contínuo: ao usar-se o fluxo contínuo nas operações, de acordo com Jones e Womack (1992), estas podem ser realizadas de forma mais eficiente e precisa. Conforme relatado por Braga (2008), a contribuição do fluxo contínuo se dá na redução do tempo total de processo (*lead time*) dos produtos, reordenando o ambiente para a implementação de um ambiente favorável através da ordenação do fluxo. Ainda sobre este tema, o autor discorre que suas características incluem a movimentação ordenada e contínua de peças, com a determinação de um tempo mínimo de espera entre cada etapa e minimizando a distância de deslocamento de peças e pessoas. Barbosa & Lima (2008), elencam algumas vantagens para a linha de produção que utiliza o fluxo contínuo, como redução do WIP (*Work in process*), minimização do tempo de movimentação, identificação de problemas e resolução precoce, redução de área na unidade de trabalho, redução de movimentação de pessoas e menor frustração dos operadores.

Figura 1 - Fluxo contínuo



Fonte: Rother & Shook (2003)

Produção puxada: a produção puxada é uma estratégia que consiste em produzir apenas o necessário e quando for necessário. De acordo com Jones e Womack (1992), produção puxada significa que um processo não deve produzir um bem ou serviço sem que o cliente de um processo posterior solicite.

Busca pela perfeição: este princípio estabelece uma cultura de melhoria contínua que acarreta um aumento constante do nível de excelência de aspectos importantes de um processo, como qualidade, produtividade, segurança etc. Segundo Shingo (1996), nenhum sistema é perfeito e sempre haverá desperdícios a serem controlados e melhorias a serem implementadas a fim de se aproximar cada vez mais da perfeição. Para realizar a busca contínua pela perfeição, são comumente usadas pelas empresas ferramentas como Kaizen, ciclo PDCA etc. (WOMACK; JONES, 2004).

2.4 DESPERDÍCIOS

O termo *muda* do japonês, ou desperdício, foi definido por Womack e Jones (2004) como qualquer atividade humana que utiliza recursos, mas não cria nenhum valor. De acordo com Ohno (1997), o Sistema Toyota de Produção faz uso de ferramentas estratégicas que visam alcançar um alinhamento da produção, a eliminação de desperdícios ou transformar desperdícios em valor.

Werkema (2012) afirma que o *lean* em sua essência busca reduzir a ocorrência dos sete tipos de desperdício. Estes desperdícios ou perdas foram identificados por Ohno (1997): perdas por superprodução, perdas por espera, perdas por transporte, perdas por processo, perdas por fabricação de produtos defeituosos, perdas por estoque, perdas no movimento. As definições do autor para as sete perdas são abordadas a seguir:

- a) Perda por superprodução é definida como a produção de quantidades acima das necessidades ou antes do momento necessário. Esta perda gera produtos fabricados que ficarão estocados aguardando serem consumidos ou processados nas etapas seguintes.
- b) Perdas por espera se dão em momentos em que não está acontecendo nenhum processamento, inspeção ou transporte. Estas perdas podem ser relacionadas ao operador, quando o mesmo fica aguardando a finalização de um processo; ao processo, que acontece quando existe falta ou atraso da matéria prima a ser processada; ao lote, quando há material aguardando a finalização do processamento subsequente para seguir o fluxo.
- c) Perdas por transporte são movimentações de material que geram custos, mas não agregam nenhum valor ao produto. Com um estudo e elaboração de um

arranjo físico adequado, deve-se buscar eliminar totalmente ou reduzir ao máximo este tipo de perda.

- d) Perdas por processamento são geradas em atividades realizadas pela máquina ou pelo homem que não afetam em nada a capacidade do produto de atender às suas especificações. Essas atividades elevam o custo de operação e não agregam valor ao produto.
- e) Perdas por produtos defeituosos são geradas quando um produto não satisfaz algum requisito de qualidade. A produção de produtos defeituosos representa o desperdício do material e de todas as atividades que foram realizadas na fabricação deste produto.
- f) Perdas por estoque são custos gerados pelo armazenamento de matéria-prima, material em processo ou produto acabado, que podem ser elevados acarretando perda de espaço físico e necessidade de manutenção.
- g) Perdas por movimento consistem em movimentos desnecessários realizados por operadores e que não geram nenhum valor ao produto.

2.5 FERRAMENTAS DO LEAN

Existem várias ferramentas que podem ser usadas para assegurar eficiência e eficácia na aplicação da metodologia *lean*. Dentre todas, serão abordadas as ferramentas mais utilizadas ou que representaram grande impacto na execução deste trabalho.

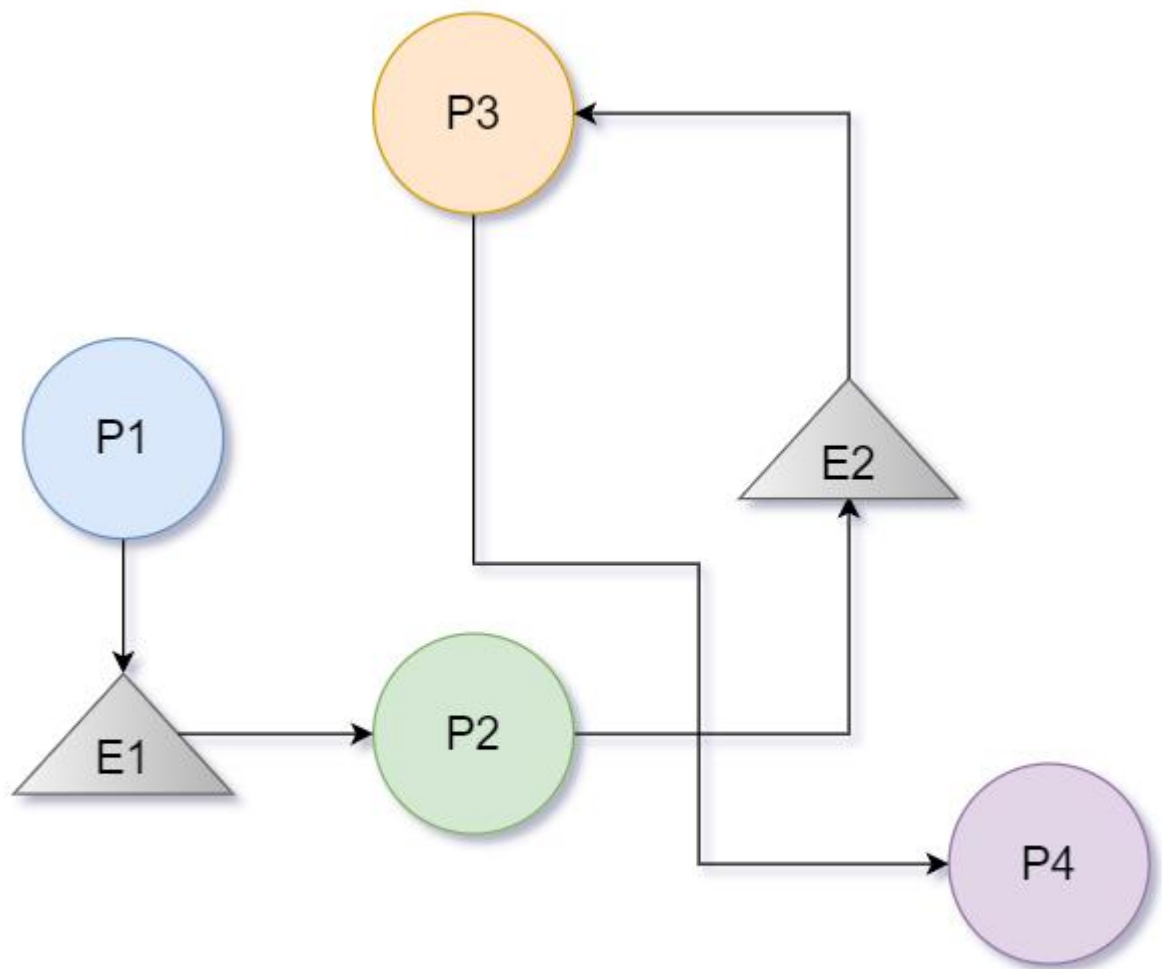
2.5.1 DIAGRAMA DE ESPAGUETE

Segundo Tapping e Shuker (2010) o diagrama de espaguete é a representação do caminho percorrido pelo funcionário e/ou material em um arranjo específico, servindo como uma ferramenta capaz de facilitar a identificação e quantificação de desperdícios de movimentação e transporte. De acordo com Tanco et al. (2013), a detecção de oportunidades de redução de movimentos desnecessários é favorecida quando os caminhos de transporte são traçados em um diagrama.

De acordo com Freitas (2013), pode-se usar o diagrama de espaguete como uma ferramenta lean para auxiliar na definição de um layout ideal partindo das observações de distâncias percorridas durante a realização de uma determinada atividade ou processo. Esta ferramenta consiste em um diagrama que representa de

forma visual a movimentação de materiais, informações e pessoas ao longo de um fluxo. Através dessa ilustração, identifica-se se o trajeto percorrido é de fato imprescindível para a confecção do produto ou para a realização de alguma operação em uma célula de trabalho (LEXICO LEAN, 2003).

Figura 2 - Diagrama de espaguete genérico com fluxo cruzado e presença de estoques intermediários (WIP)



P = Processo
E = Estoque entre processos

Fonte: o autor, 2022

O primeiro passo para traçar um diagrama de espaguete é entender a estrutura atual da unidade de trabalho em estudo. Deve-se fazer um esboço da planta da linha

de fabricação identificando máquinas, operadores, corredores e estoques de materiais. A forma como esses componentes estão distribuídos tem impacto direto na eficiência e desempenho da linha de fabricação (SILVA; RENTES, 2012).

Em seguida, utilizando uma planta baixa da região em estudo contendo a representação do maquinário, funcionários, materiais etc., deve-se traçar a trajetória do material em processamento ao longo da unidade de produção. Utilizando este diagrama como base, faz-se uma análise crítica da situação atual a fim de identificar possíveis desperdícios. Com base no diagrama elaborado, deve-se propor as melhorias cabíveis para aumentar a eficiência do processo (SILVA; RENTES, 2012).

Visando facilitar o processo de aplicação da ferramenta, pode-se seguir alguns dos passos descritos por Freitas (2013) para uma construção eficaz do diagrama de espaguete:

- a) Definir quais componentes serão observados no fluxo do processo (material, operadores, dispositivos etc.)
- b) Desenhar um layout da área em estudo e traçar linhas para representar as trajetórias percorridas
- c) Identificar possíveis desperdícios de movimentação e transporte inerentes aos processos realizados para transformação do produto. Expressar os desperdícios encontrados em forma de números: tempo gasto, distância percorrida, estoque desnecessário etc.
- d) Levantar todas as paradas que ocorrem durante o processo
- e) Detectar as oportunidades de melhorias e elaborar um plano de implementação

Conforme declarado por Gastineau (2009), o diagrama de espaguete evidencia desperdícios de transporte e movimentação presentes no fluxo do processo, possibilitando a concretização de um ambiente de produção mais eficiente e enxuto através da eliminação de tais desperdícios.

2.5.2 PROGRAMA 5S

O 5S é uma ferramenta muito utilizada no sistema *lean* e é baseado nos cinco sentidos: Seiri – senso de utilização, Seiton – senso de ordenação, Seisou – senso de limpeza, Seiketsu – senso de saúde e Shitsuke – senso de autodisciplina. O desperdício de materiais, de tempo e de espaço podem ser reduzidos ou eliminados

com aplicação do 5S, além de gerar maior conforto e redução do índice de acidentes para o trabalhador (ESTEVES, 2014).

O programa 5S consiste em separar o que é necessário, o que poderá vir a ser necessário e descartar o que é desnecessário. Cada objeto deve pertencer a um lugar adequado, de forma que se possa encontrá-lo facilmente; o ambiente de trabalho deve estar sempre limpo e objetos de alta importância devem ser encontrados facilmente; o ambiente deve apresentar o menor risco de acidentes possível; boas práticas de trabalho devem ser definidas e padronizadas, criando-se a autodisciplina (ESTEVES, 2014).

2.5.3 BRAINSTORMING

Esta técnica foi criada por Osborn (1957) com o objetivo de garantir que a equipe pudesse expor suas ideias de forma, sem qualquer forma de bloqueio ou constrangimento. Segundo Rozenfeld et. al. (2006), a realização de um *brainstorming* se dá através de uma reunião em que um problema é apresentado e todos devem colaborar com ideias para buscar a solução. Ao final do processo, todas as ideias são discutidas e classificadas segundo critérios pré-estabelecidos, como por exemplo, impacto e dificuldade e implementação.

Conforme mencionado por Osborn (1957), quatro princípios devem ser seguidos para uso eficaz do *brainstorming*: ausência de críticas – críticas são uma forma de bloqueio de ideias e mitigam seu surgimento espontâneo; liberdade de pensamento – todas as ideias devem ser aceitas, independentemente do julgamento inicial de sua efetividade; quantidade – alcançar o maior número de ideias possível aumenta as chances de encontrar a solução; combinação de ideias – a ideia de um colaborador pode inspirar uma nova ideia em um colega.

O uso recorrente da técnica de *brainstorming* pode gerar vários ganhos para a organização, como aumento das chances de resolução do problema, melhoria da relação entre os colaboradores, estímulo da criatividade da equipe com um baixo custo (ROZENFELD et al., 2006).

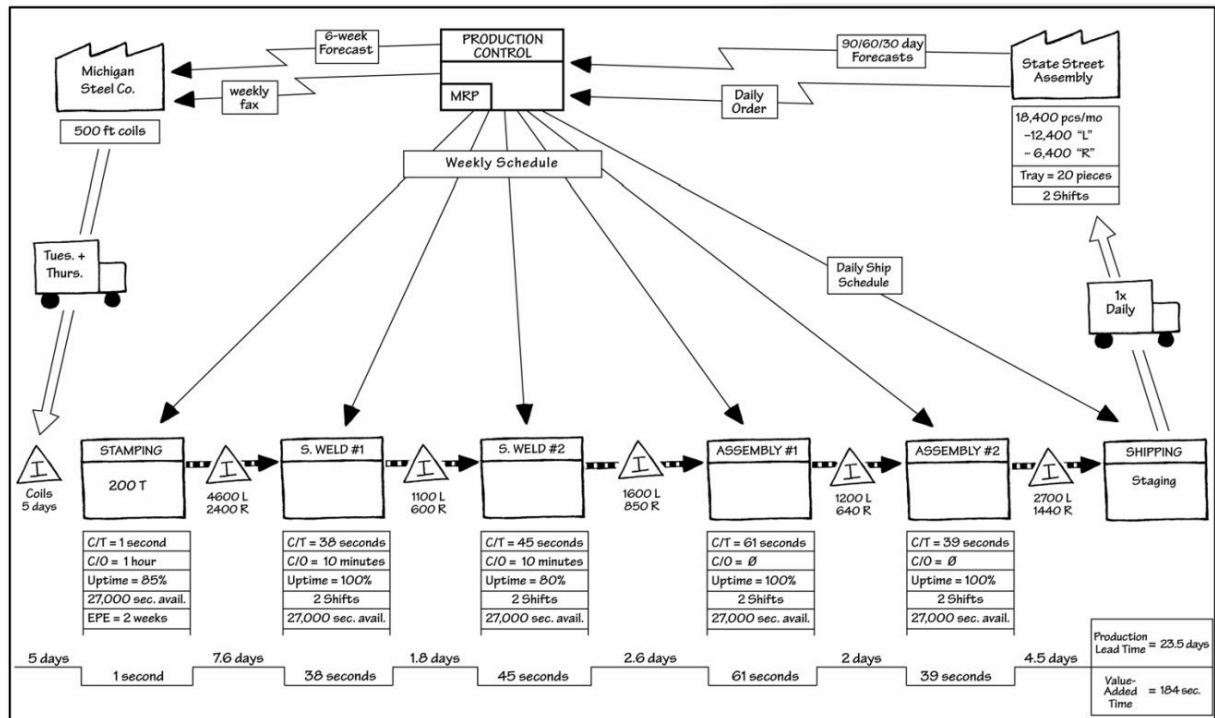
2.6 MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR

O fluxo de valor é o conjunto de ações (agregando valor ou não) necessárias para transformar a matéria-prima em produto e entregá-lo nas mãos do consumidor, podendo ser consideradas todas as operações internas da empresa, desde a entrada da matéria-prima até a entrega do produto final para o cliente (ROTHER e SHOOK, 2003).

Braga (2021) explica que o mapeamento do fluxo de valor é o processo de traçar todas as atividades que ocorrem ao longo do percurso do produto. É uma representação visual do fluxo de valor do produto sobre a qual serão feitos questionamentos a fim de encontrar desperdícios e pontos de melhorias, buscando-se a idealização de um mapa futuro (como os materiais e informações deveriam fluir). O objetivo ao usar essa ferramenta é a implementação de um fluxo contínuo, desde a obtenção da matéria-prima até a entrega ao cliente.

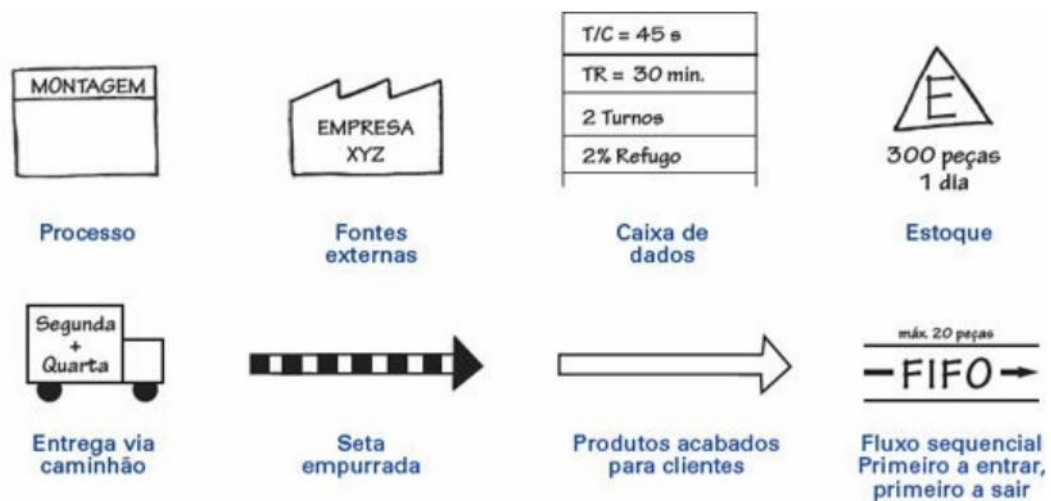
Para aplicar as melhorias necessárias em um fluxo de valor, é necessário desenhar previamente o mapa do estado atual. O mapeamento do estado atual deve ser feito observando-se todos os processos envolvidos no fluxo de valor e, para isso, deve-se usar símbolos e ícones padronizados, ou criar símbolos próprios, desde que todas as pessoas envolvidas sejam instruídas a respeito do significado de cada símbolo. Deve-se iniciar a elaboração do mapa de fluxo de valor representando o fluxo interno da empresa, em seguida podendo-se expandir a representação do mapa para abarcar o fluxo de valor externo a sua planta (ROTHER e SHOOK, 2003).

Figura 3 - Mapa do fluxo de valor



Fonte: Rother e Shook (1998).

Figura 4 - Ícones do fluxo de materiais



Fonte: Rother e Shook (2003).

Figura 5 - Ícones do fluxo de informações



Fonte: Rother e Shook (2003).

De acordo com Rother e Shook (2003):

“O objetivo de mapear o fluxo de valor é destacar as fontes de desperdício e eliminá-las através da implementação de um fluxo de valor em um “estado futuro” que pode se tornar uma realidade em um curto período de tempo. A meta é construir uma cadeia de produção onde os processos individuais sejam articulados aos seus clientes ou por meio de fluxo contínuo ou puxada e cada processo se aproxime o máximo possível de produzir apenas o que os clientes precisam e quando precisam” (ROTHER e SHOOK, 2003, p.70).

Oliveira (2021) destaca que, após a aplicação de cada melhoria representada no mapa do fluxo de valor futuro, este mesmo mapa se torna o mapa de fluxo de valor atual, sobre o qual devem ser realizados os novos estudos em busca de novas melhorias, elaborando-se assim um novo mapa de fluxo de valor futuro, o que caracteriza a melhoria contínua e a busca pela perfeição.

2.7 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A metodologia lean é bastante difundida nos mais diversos ramos da indústria e proporciona bons resultados financeiros e gerenciais para as organizações. Pode-

se observar a aplicação desta metodologia através de vários trabalhos publicados recentemente no Brasil, o que atesta sua eficácia em diferentes contextos.

Azevedo (2017) apresentou a implementação da metodologia lean no setor produtivo de uma empresa de fabricação de estruturas metálicas localizada em Minas Gerais. Ao longo do projeto, foram aplicadas algumas ferramentas, como brainstorming, gráfico de pareto, 5W1H e diagrama de Ishikawa. A autora relata uma redução significativa dos desperdícios no processo produtivo e a economia de 73% do custo total anual, liberando recursos para reinvestimento na empresa.

No trabalho de Poltronieri e Sanomia (2018), foram utilizados conceitos e ferramentas do lean para estudo de possíveis melhorias e redução de desperdícios em uma fábrica de móveis para laboratórios que, em seu processo produtivo, engloba as áreas de metalurgia, marmoraria, plásticos e marcenaria. Através da aplicação da ferramenta de gestão à vista e conceitos de PCP, foi levantada uma base de dados onde identificou-se vários pontos de melhorias para o processo. Apesar de os autores descreverem possíveis melhorias significativas, a implementação das ações demandava uma mudança na cultura organizacional e não foi possível pôr em prática tais melhorias. Contudo, a aplicação do lean auxiliou no levantamento de várias informações que ficaram disponíveis para uso posterior por parte da organização.

No ramo siderúrgico, pode-se mencionar o trabalho desenvolvido por Moutinho (2021) na empresa Soluções em aço Usiminas, localizada na cidade de Santa Luzia (MG), com o intuito de diminuir ou eliminar desperdícios nos processos da companhia. Através da aplicação da troca rápida de ferramenta e do trabalho padronizado, a autora relata que foi possível reduzir o tempo de *setup* da operação de Slitter (processo de corte longitudinal em chapas) em 58,7%, o que gerou um aumento na produtividade da máquina e, conseqüentemente, um ganho mensal de R\$25.414,00 mensais para a empresa. Além disso, após a aplicação das ferramentas do lean na operação de Slitter, foram levantadas mais oportunidades de melhorias em outros setores e equipamentos da empresa. Foi constatada também uma melhora em aspectos como limpeza, organização e segurança da área. Tal melhora é atribuída pela autora à implantação do 5S.

No ramo alimentício, Oliveira (2021) buscou a melhoria no processo de produção de casquinhas de sorvete aplicando a metodologia lean manufacturing para redução de desperdícios. O autor fez uso da ferramenta Mapa de Fluxo de Valor para

identificar os desperdícios presentes ao longo do processo e seus efeitos sobre o tempo total de processo (*lead time*) do produto. Através da determinação do ritmo de produção necessário para atender a demanda (*takt time*) do processo, foi identificado o gargalo, onde deveriam ser implementadas as ações de melhoria. A implementação das ferramentas 5S e Troca Rápida de Ferramenta resultaram em uma redução de 52,5% no tempo de parada de máquina e elevaram a capacidade produtiva em 5%. Adicionalmente, o autor relata um aumento da satisfação dos colaboradores após a implementação do lean.

Pode-se observar através dos trabalhos supracitados que, apesar de ter sido desenvolvida após a segunda guerra mundial e ser difundida na década de 90, a metodologia lean manufacturing continua sendo amplamente utilizada e gerando ótimos resultados em diferentes áreas da economia.

3 METODOLOGIA

A empresa na qual foi desenvolvido este trabalho possui uma forte cultura de melhoria contínua baseada na metodologia lean manufacturing. Algumas das atividades presentes na rotina da empresa são as auditorias internas, que têm por objetivo observar os principais indicadores dos setores e identificar possíveis pontos de melhoria a serem implementados. Com base nos resultados dessas auditorias, é elaborado um cronograma anual pelo setor de melhoria contínua indicando quais setores serão alvo da aplicação da metodologia lean, bem como o período em que as atividades ocorrerão em cada setor, e apresentado à diretoria da empresa para aprovação. Seguindo este cronograma, é realizado um estudo aprofundado dos problemas apresentados pelo setor durante uma semana. Após o levantamento dessas informações, é montada uma equipe estratégica que vai dedicar-se integralmente às atividades de melhoria do setor em estudo por cinco dias seguidos.

Neste trabalho, o setor apontado para ser objeto de estudo e alvo da aplicação prática das ferramentas de melhoria foi a linha de fabricação de coroas de comando para motocicletas. Esta linha vinha apresentando grandes problemas operacionais, prejudicando de forma sistemática os resultados da empresa. Os principais pontos levantados para estudo foram os seguintes: baixa produtividade, falta padronização de trabalho entre os operadores, excesso de inventário, mais de um tipo de produto sendo fabricado na mesma linha, equipamentos ociosos e excesso de atividades que não agregam valor. De posse dos dados do setor levantados em auditoria, foi montada a equipe do projeto de melhoria (*kaizen*), formada por treze membros de diversos setores, como qualidade, manutenção, engenharia, produção, COMAT e vendas.

3.1 TREINAMENTO DA EQUIPE KAIZEN

No primeiro dia da semana kaizen, foi realizado um treinamento com a equipe para repassar os principais conceitos do lean manufacturing. Neste treinamento, foram abordadas sua história e sua filosofia, além de seus princípios e ferramentas. O treinamento foi realizado pelo gerente de melhoria contínua com o apoio do supervisor da linha de fabricação de coroa de comando.

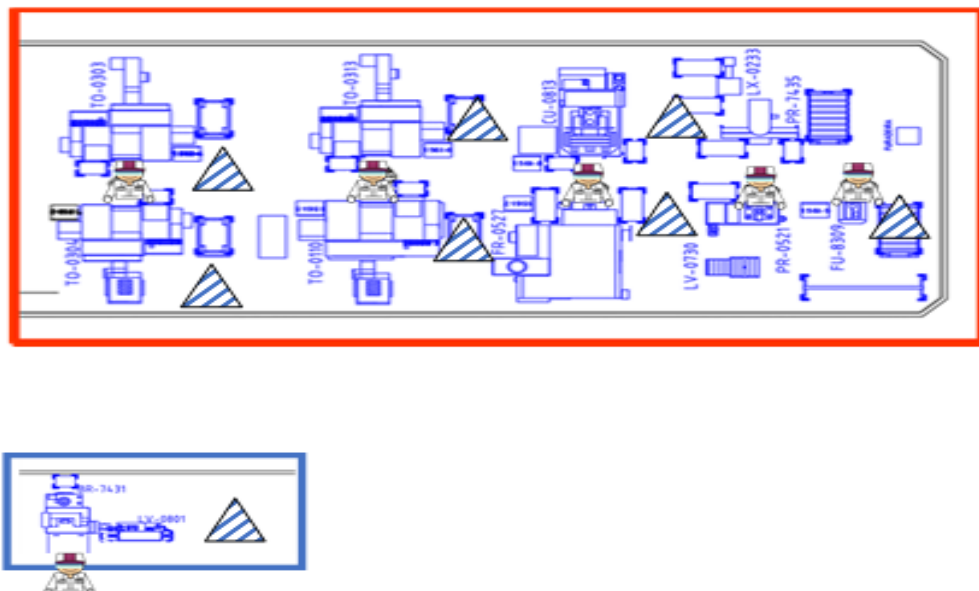
O intuito desta atividade foi garantir que os funcionários presentes na equipe tivessem um bom entendimento da importância de todas as atividades que seriam desenvolvidas para alcançar um bom resultado final na linha de fabricação de coroas

de comando. Além disso, o treinamento enfatizou que não basta aplicar as ferramentas de forma pontual, mas é necessário buscar garantir a continuidade da aplicação dos conceitos do lean, bem como espalhar os conhecimentos adquiridos para todos os colegas colaboradores, de forma que as atitudes e decisões dentro da empresa tenham a filosofia e os princípios dessa metodologia como fundamento.

3.2 MAPEAMENTO MACRO DO FLUXO DO PROCESSO

Para iniciar o mapeamento macro do fluxo do processo, foram levantadas todas as operações realizadas no setor de coroas de comando. A obtenção dessa informação foi feita de forma simples e direta, através de uma visita da equipe ao setor com uma apresentação do fluxo de operações feita pelo supervisor da área, que também é integrante da equipe. Nesta visita, foi possível acompanhar pessoalmente o caminho percorrido pelo material ao longo do setor, desde a sua entrada na primeira operação, até sua saída na última etapa. Nesse processo, foi identificado um WIP elevado entre as operações. Esses estoques intermediários são indicados por triângulos na representação do layout da linha na Figura 6.

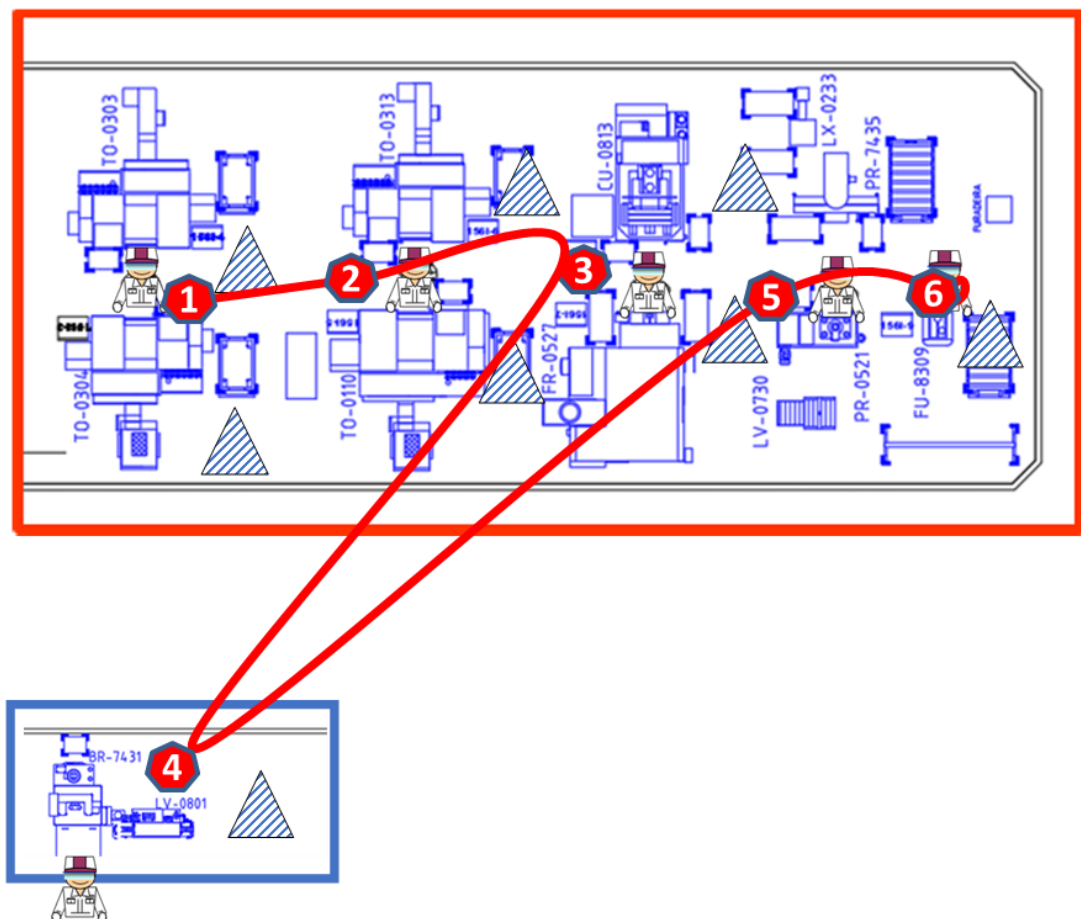
Figura 6 - Layout do setor



Fonte: o autor, 2022

Depois de possibilitar que o fluxo do material dentro do setor fosse de conhecimento geral da equipe, foi elaborado um diagrama de spaghetti pelo membro do setor de engenharia industrial para levantar os principais problemas de fluxo cruzado no setor. Pode-se observar na Figura 7 que as peças passam por um fluxo confuso com necessidade de realizar uma operação externa, gerando desperdícios por transporte e estoque intermediário, aumentando o tempo total de processo (*lead time*) da peça.

Figura 7 - Fluxo macro do processo atual da linha de produção de coroas de comando



Fonte: o autor, 2022

Munida dessas informações, a equipe aplicou ferramentas do lean para propor uma alteração do layout que garantisse um fluxo contínuo do material. Durante a visita ao setor, foi contabilizado o estoque intermediário de peças em processamento entre as operações para definição de metas de redução desse indicador. Além disso, foi

observado como se dava o uso dos equipamentos ao longo do processo para identificar uma possível ociosidade ao longo do fluxo.

Tabela 1 - Estoque intermediário entre operações (WIP) da linha de produção de coroas de comando antes da melhoria

Operação	Peças em processamento
Tornear 1	903
Tornear 2	186
Fresar	4.546
Brochar	2.633
Lavar	150
Marcar	1.400
Escarear	209
Peças não conforme	0
Total	10.027

Fonte: o autor, 2022

Após entender o funcionamento do setor, foi feita uma análise crítica para apontar os desperdícios presentes no fluxo, os quais são definidos na metodologia lean. Entre os desperdícios conhecidos, a equipe se empenhou em evidenciar prioritariamente os seguintes: perdas por espera, pois foi identificado um alto índice de estoque intermediário entre as operações, além de um índice de ociosidade de equipamentos considerável; perdas por transporte, visto que o layout do setor apresentava um fluxo cruzado, gerando uma necessidade de transporte entre os processos e ocupando uma grande área do chão de fábrica; perdas por estoque, dado o acúmulo de peças em carrinhos que ocupavam espaço dentro do setor; perdas por movimento, observadas quando um operador precisa estocar muitas peças antes de ser iniciada a próxima operação. Algumas causas típicas de desperdício estão listadas abaixo:

- a) Layout (distância);
- b) Longos tempos de preparação (setup);
- c) Processos incapazes;
- d) Manutenção deficiente;
- e) Métodos de trabalho deficientes;
- f) Falta de treinamento;
- g) Falta de colaboração;
- h) Práticas inadequadas de supervisão;
- i) Medidas de desempenho inconsistentes;
- j) Planejamento, Programação e Controle da produção ineficazes;
- k) Local de trabalho desorganizado;
- l) Qualidade/confiabilidade dos fornecedores;
- m) Outras

Baseado na documentação elaborada por auditorias periódicas dos 5S em todos os setores da fábrica, notou-se uma baixa pontuação da linha de coroa de comando nos meses passados. Portanto, ao fim da análise realizada na visita, foram revisados o primeiro S (segregar e descartar) e o segundo S (organizar e identificar).

Para complementar o conhecimento geral da condição em que a linha se encontrava, alguns documentos foram apresentados para a equipe kaizen pelo supervisor da área. Tais documentos incluíam dados e informações de alta relevância para a equipe, como registros de tempos de ciclo de operação, tempo disponível para produção, paradas planejadas e histórico de produtividade e demanda. Com base nesses dados, foi possível calcular o ritmo de produção necessário para atender a demanda (*Takt time*) e realizar a análise de capacidade da linha.

3.2.1 CÁLCULO DO TAKT TIME E ANÁLISE DE CAPACIDADE

O membro da equipe Kaizen que faz parte do setor de vendas apresentou a demanda atual e futura do cliente para os produtos que são fabricados na linha de fabricação de coroas de comando. Com essa informação, foi possível estimar uma demanda diária de peças que devem ser produzidas na linha. Este dado é necessário para o cálculo do takt time e posterior análise da capacidade da linha.

Durante o terceiro dia do projeto, dois membros foram designados para determinar os tempos de ciclos de cada operação realizada na linha. Para tal, foram consultadas as folhas de observação dos tempos, que são preenchidas rotineiramente pelos operadores, bem como foi observado o método utilizado pelos operadores para realizar tais medições. O tempo de ciclo inicia-se quando o operador posiciona uma peça no equipamento para realizar a operação e é finalizado quando o operador realiza novamente esse posicionamento para uma nova peça. A fim de identificar desperdícios durante o ciclo de operação, foi avaliado o tempo de ciclo que agregava valor ao produto e o tempo que não agregava valor ao produto. Esta avaliação foi utilizada pela equipe para classificar os desperdícios encontrados e propor melhorias para reduzir ou eliminar tais desperdícios.

Para iniciar o estudo a respeito das condições de eficiência que a linha estava operando, foram levantados os tempos de paradas planejadas e o tempo total de cada turno de trabalho. Com esses dados, é possível calcular o tempo disponível da máquina para produção trabalhando com um, dois ou três turnos de trabalho. O tempo útil para produção é igual ao total de horas disponíveis para produção, menos o tempo total de paradas programadas. De posse dos dados de demanda do cliente e do tempo útil para produção, pode-se calcular o takt time da seguinte forma:

$$Takt\ Time = \frac{Demanda\ diária}{Tempo\ útil\ para\ produção}$$

Esta informação foi utilizada para buscar uma otimização da operação da linha e atingir a produtividade adequada, reduzindo ociosidade e/ou saturação do setor.

3.3 IDENTIFICAÇÃO DOS DESPERDÍCIOS, BRAINSTORMING E CLASSIFICAÇÃO DE IDEIAS

No terceiro dia da semana de aplicação do projeto, foi realizada uma reunião em que os integrantes da equipe foram instruídos a respeito dos tipos de desperdícios definidos no lean e como identificá-los. Após este treinamento, foram realizadas várias visitas na área para que os integrantes buscassem identificar os desperdícios e oportunidades de aplicação do 5S, melhorias de segurança e ergonomia e melhorias de processo.

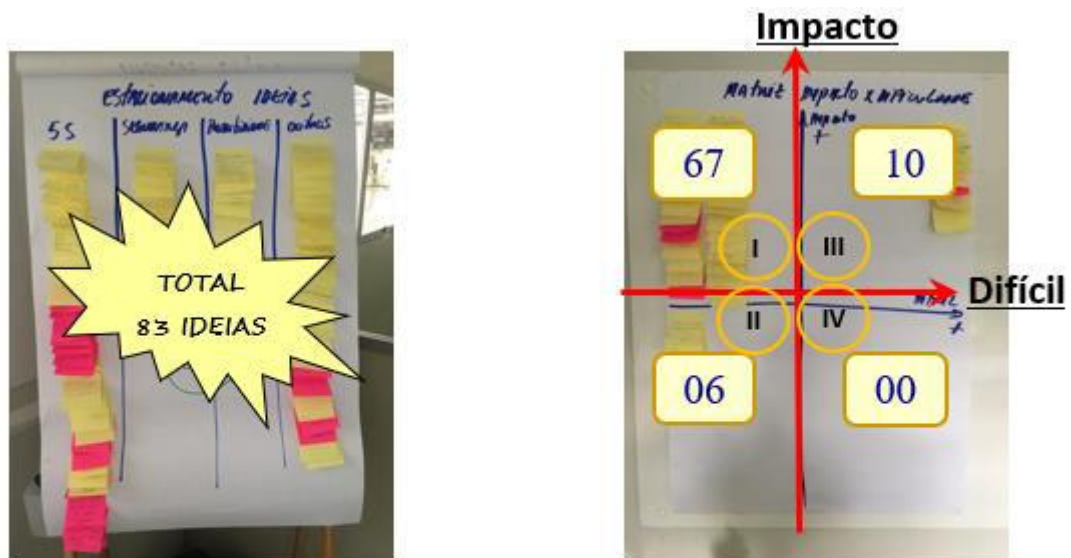
Nesta etapa, foi solicitado que os integrantes levassem papel e caneta durante a visita e tomassem nota de todo e qualquer aspecto que considerassem desperdício ou atividade que não agrega valor. Para isso, os integrantes tiraram dúvidas com o

supervisor da área e conversaram com os colaboradores diretamente envolvidos nas atividades cotidianas de produção da linha, além de usarem seu próprio conhecimento e experiência.

Depois da visita para identificação de desperdícios, tendo todos os participantes feito suas observações sobre esse aspecto, foi realizada uma reunião de brainstorming para reunir-se o maior número de ideias possível para reduzir ou eliminar tais desperdícios. Nesta atividade, os participantes receberam “*post its*” para anotarem as sugestões de melhoria, além de discuti-las em grupo.

Ao fim desta atividade, as ideias foram encaminhadas para o coordenador de melhoria contínua para classificação. As ideias foram agrupadas em uma matriz de impacto para separá-las em quatro categorias da seguinte forma: alto impacto e fácil implementação, baixo impacto e fácil implementação, alto impacto e difícil implementação, baixo impacto e difícil implementação, conforme Figura 8.

Figura 8 - Brainstorming e Matriz de esforço x impacto



- I. Implementar ideias na semana Kaizen
- II. Implementar ideias na semana Kaizen se houver recurso
- III. Implementar ideias no Kaizen 30 dias
- IV. Encaminhar ideias para Coordenador de Melhoria Contínua

Fonte: o autor, 2022

3.4 APLICAÇÃO PRÁTICA DAS MELHORIAS

Após várias visitas na área e algumas reuniões, a equipe havia adquirido bastante conhecimento prático acerca dos problemas a serem resolvidos no setor em estudo do projeto. Nesta etapa, seguindo a matriz de impacto elaborada com as ideias levantadas durante o brainstorming, foram definidas as atividades a serem realizadas para obter o resultado esperado. Tais atividades foram delegadas de acordo com a competência e/ou experiência de cada participante, podendo ser solicitado o apoio de outro membro da equipe caso fosse necessário.

As atividades de melhoria desempenhadas nessa etapa incluíram aplicação das ferramentas de 5S, manutenção de equipamentos danificados, mudança de layout do setor, revisão de documentações importantes e implementação de quadros de gestão à vista.

Tabela 2 - Ações macro

#	Ação	Quem
1	Segregar / Descartar (ação “1S”)	Lider de produção
2	Organizar (ação “2S”)	Operador
3	Ações de segurança	Operador
4	Correção em dispositivo do torno	Técnico de manutenção
5	Melhorias de layout	Processista
6	Correção de dispositivos de medição	Inspetor de qualidade

Fonte: o autor, 2022

Abaixo uma lista das principais oportunidades de melhoria identificadas pela equipe:

- a) Fluxo cruzado nas operações;
- b) Utilização de caixas para estoque entre as operações;
- c) Melhorias de segurança;
- d) Melhorias utilizando os princípios do programa 5S

As melhorias implementadas utilizaram o mínimo de recurso possível, de modo que o projeto trouxesse o melhor retorno para a empresa. Para as atividades de alto impacto e difícil implementação, foi elaborado um plano de Kaizen 30 dias. Esse plano foi acompanhado pelo coordenador de melhoria contínua junto com os membros designados para cada atividade.

Tabela 3 - Ações específicas

#	Ação	Quem
1	Elaborar Folha de Operação Padrão	Lider de produção
2	Treinamento Operacional	Supervisor de produção
3	Pintura da esteira do torno	Programador de PCP
4	Aquisição de armário KANBAN	Operador
5	Mudança da mangueira de ar	Técnico de manutenção
6	Desmembrar instrumento de medição	Inspetor de qualidade
7	MOVIPAT dos equipamentos para novo Centro de custo	Processista
8	Alteração roteiro SAP	Processista

Fonte: o autor, 2022

3.5 PADRONIZAÇÃO E ACOMPANHAMENTO

Uma das responsabilidades de cada membro da equipe é espalhar a filosofia lean para os outros colaboradores, a fim de manter as melhorias já implementadas e possibilitar o surgimento de novas ideias vindas de cada indivíduo envolvido no processo produtivo, pois somente assim a companhia poderá prosperar com o trabalho de melhoria contínua. Desta forma, após a aplicação das melhorias, os novos procedimentos foram padronizados em forma de documentos e/ou treinamentos para os colaboradores envolvidos diretamente no setor. Também, após trinta dias de acompanhamento dos indicadores com as melhorias implementadas, os resultados do setor em consequência da aplicação das ferramentas do lean foram apresentados para cada operador, visando motivar e inspirar cada pessoa a sugerir novos aprimoramentos e a manter as mudanças já aplicadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na fase de estudos do setor, foram encontrados diversos problemas que ocasionaram um mau desempenho nos principais indicadores da linha, o que prejudica a competitividade da empresa perante o mercado, elevando os custos de produção. Essas disfunções foram detectadas através de análise de documentos e dados, visitas in locu na área e conversas com os envolvidos nas atividades diárias do setor.

A condição da linha antes da aplicação da metodologia lean apresentava baixa produtividade, falta de trabalho padronizado entre os operadores, excesso de inventário, mais de um tipo de produto sendo fabricado na mesma linha, ociosidade de equipamentos, excesso de atividades que não agregam valor e fluxo cruzado de produtos. Neste capítulo, será detalhada a aplicação de cada ferramenta usada para identificar os problemas e estudar suas causas, definir as ações necessárias e implementar as melhorias na prática.

4.1 ESTUDO DE CAPACIDADE

Para o estudo de capacidade, inicialmente foi calculado o takt time para as peças que são fabricadas na linha. A linha estudada neste projeto conta com treze máquinas que são utilizadas para fabricar nove peças diferentes. Essas peças não passam exatamente pelos mesmos processos, o que causa um fluxo cruzado quando peças diferentes estão sendo manufaturadas no mesmo momento.

Das nove peças que são fabricadas nessa linha, uma tem uma demanda de produção de 1.783 peças por dia, enquanto a demanda das outras oito peças somadas é de 838 peças por dia. Para facilitar o entendimento, a peça de maior demanda será chamada de “Peça A” e o grupo de oito peças com menor demanda será chamado de “Grupo de peças B”. Desta forma, são definidas as demandas das peças conforme abaixo:

$$\text{Demanda diária da Peça A} = 1783 \text{ peças/dia}$$

$$\text{Demanda diária do Grupo de peças B} = 838 \text{ peças/dia}$$

Visto que a demanda da peça A é consideravelmente maior do que a demanda das demais peças, serão apresentados os dados somente para a peça A, porém ressalta-se que os conceitos do lean foram aplicados igualmente para todas as peças.

Para calcular o takt time, é necessário saber qual é o tempo disponível diariamente para fabricação. O tempo líquido disponível em um turno é de 6,00 horas, em dois turnos é 11,91 horas e em três turnos é de 16,98 horas. Considerando o volume da peça A apresentado anteriormente, foi elaborada a tabela 4 para cálculo do takt time nas três situações.

Tabela 4 – Takt time da peça A

	1 turno	2 turnos	3 turnos
Tempo líquido disponível em horas	6,00	11,91	16,98
Demanda diária	1.783	1.783	1.783
Takt time	12,1	24,0	34,3

Fonte: o autor, 2022

Os tempos de ciclo de cada operação realizada na peça A foram cronometrados para avaliação da capacidade produtiva da linha. As tabelas 5, 6 e 7 abaixo demonstram esses tempos e a taxa de ocupação das máquinas considerando operação em 1 turno, 2 turnos ou 3 turnos.

Tabela 5 – Tempos por operação da peça A trabalhando em 1 turno

Operação	Quantidade de máquinas	Tempo de ciclo por máquina	Takt time	Taxa de ocupação da máquina
Tornear 1	1	18s	12,1	149%
Tornear 2	1	22s	12,1	182%
Fresar	1	6s	12,1	50%
Lavar	1	3s	12,1	25%
Marcar	1	10s	12,1	83%
Escarear	1	7s	12,1	58%

Fonte: o autor, 2022

Tabela 6 – Tempos por operação da peça A trabalhando em 2 turnos

Operação	Quantidade de máquinas	Tempo de ciclo por máquina	Takt time	Taxa de ocupação da máquina
Tornear 1	1	18s	24,0	75%
Tornear 2	1	22s	24,0	92%
Fresar	1	6s	24,0	25%
Lavar	1	3s	24,0	13%
Marcar	1	10s	24,0	42%
Escarear	1	7s	24,0	29%

Fonte: o autor, 2022

Tabela 7 – Tempos por operação da peça A trabalhando em 3 turnos

Operação	Quantidade de máquinas	Tempo de ciclo por máquina	Takt time	Taxa de ocupação da máquina
Tornear 1	1	18s	12,1	52%
Tornear 2	1	22s	12,1	64%
Fresar	1	6s	12,1	17%
Lavar	1	3s	12,1	9%
Marcar	1	10s	12,1	29%
Escarear	1	7s	12,1	20%

Fonte: o autor, 2022

A partir da tabela 5, nota-se que não é possível atender a demanda do cliente operando em 1 turno, pois a capacidade dos dois tornos usados nas operações tornear 1 e tornear 2 seriam excedidas. A tabela 6 não apresenta falta de capacidade em nenhuma operação e demonstra que é possível atender a demanda operando a linha em 2 turnos. Por fim, infere-se que não é necessário operar em 3 turnos, pois a tabela 7 mostra uma grande ociosidade na linha de forma geral.

4.2 FLUXO MACRO DO PROCESSO, LAYOUT E PRODUTIVIDADE

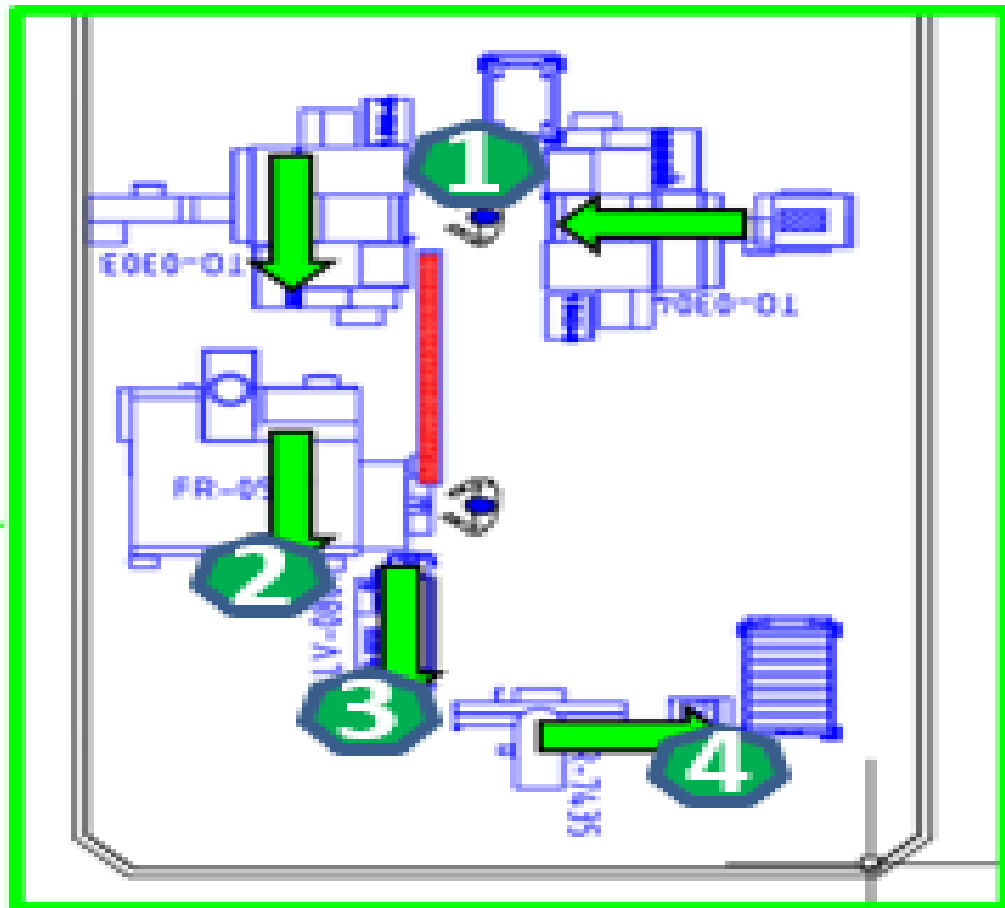
Antes de chegar ao setor de fabricação de coroas de comando, a matéria prima passa por dois processos: cortar barra e forjar. Sendo assim, a matéria prima da linha de coroas de comando são peças forjadas que passarão pelos processos de usinagem no setor em estudo. Portanto, para este trabalho foi considerado o fluxo apenas dos processos que ocorrem dentro da linha de usinagem das coroas de comando. O layout atual da linha foi apresentado à equipe pelo setor de engenharia industrial, destacando-se os principais problemas encontrados. Estes problemas são o fluxo cruzado, que dificulta o gerenciamento das peças e eleva o estoque intermediário, a grande área ocupada pelo setor e a grande distância percorrida.

O layout anterior à aplicação das ferramentas do lean tinha 249m² de área ocupada e 224m de distância percorrida pelas peças, com utilização de seis postos de trabalho. Além disso, não havia um fluxo contínuo do produto, gerando alguns desperdícios como transporte e estocagem de peças ao longo dos processos. Conforme mencionado no tópico anterior, além dos problemas já citados, esta é uma linha mista, que é utilizada para produzir diferentes tipos de peças, gerando fluxo cruzado, aumento dos estoques intermediários e dificuldade na padronização e linearização do fluxo de processos.

As engrenagens forjadas são estocadas e transportadas para o setor de usinagem. Ao chegar na linha de usinagem, passam pelas seguintes operações definidas pelo departamento de engenharia de processos: torneamento 1, torneamento 2, fresamento, brochamento, lavagem, marcação e escareamento de furos.

Com o auxílio do departamento de engenharia industrial, foi desenhado um novo layout que possibilitasse um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, como equipamentos, operadores e espaço físico. Nessa perspectiva e com base na taxa de ocupação da linha de fabricação em estudo e de outras linhas da fábrica, foi definido que a peça A permaneceria sendo produzidos nessa linha, enquanto outros modelos seriam transferidos para outras linhas. Esta ação permitiu uma reorganização das máquinas de forma alcançarmos o fluxo contínuo no setor em estudo sem causar nenhum prejuízo para as demais linhas da fábrica. Pode-se observar na Figura 9 o novo layout da linha.

Figura 9 - Fluxo macro do processo da linha de produção de coroas de comando após aplicação da metodologia lean manufacturing



Fonte: o autor, 2022

Para melhorar a eficiência e produtividade da linha, foi aplicado o conceito de tempo de ciclo por operador, ou TCO. O tempo de ciclo por operador é o tempo necessário para que um operador consiga concluir a realização de determinado ciclo de operações. Este conceito é importante para definir-se a quantidade ideal de operadores trabalhando em uma linha integrada para redução de desperdícios e de ociosidade, bem como para garantir que a demanda do cliente será atendida. A quantidade ideal de operadores é definida como o somatório dos TCOs dividido pelo takt time da peça. Após a reorganização dos equipamentos de acordo com o novo layout proposto, o tempo necessário para um operador concluir o ciclo de operações reduziu consideravelmente, pois foram reduzidos os tempos de transporte, movimentação e os estoques intermediários. Na tabela abaixo está o detalhamento do TCO calculado para a linha de usinagem de coroas de comando antes e depois da aplicação da melhoria no layout.

Tabela 8 – Tempo de ciclo por operador

Operação	TCO antes da melhoria	TCO depois da melhoria
Tornear 1	16	13
Tornear 2	17	11
Fresar	5	2
Lavar	7	6
Marcar	9	7
Escarear	6	5
Total	60	44

Fonte: o autor, 2022

No caso deste trabalho, sabemos que a linha deve operar em 2 turnos com um takt time de 24 segundos. Com essa informação, podemos calcular a quantidade ideal de operadores trabalhando na linha antes e depois da aplicação da melhoria de layout, conforme tabela 9.

Tabela 9 – Quantidade ideal de operadores antes e depois da melhoria

	TCO antes da melhoria	TCO depois da melhoria
Σ TCO (Segundos)	60	44
Takt time	24	24
Quantidade ideal de operadores por turno	2,50	1,83
Quantidade ideal de operadores por dia	5	4

Fonte: o autor, 2022

Como resultado da mudança na disposição das máquinas, foi possível a disponibilização de um operador para realizar outras atividades e a produtividade (peças por dia por operador) aumentou de 258 peças para 374 peças.

4.3 ESTOQUE INTERMEDIÁRIO ENTRE OPERAÇÕES

Devido ao fluxo cruzado da linha, era necessário estocar peças em carrinhos de transporte para enviar um lote para a próxima operação. Essa prática trazia mais desperdícios entre as operações com atividades desnecessárias, como movimentos para armazenar e retirar as peças dos carrinhos, além de gerar ociosidade para máquinas e operadores. A fim de reduzir este problema, além de implementar o fluxo contínuo através da modificação do arranjo das máquinas, foi desenvolvida uma metodologia de enviar e receber apenas uma peça por vez em cada estágio de transformação através de esteiras. Os resultados alcançados com esse procedimento foram a diminuição do estoque de peças em processamento, ganho de produtividade, maior atenção às máquinas para evitar parada do processo por falta de material e/ou manutenção. Antes da semana Lean, havia um montante de 10.027 peças dentro do setor. Após a padronização do fluxo, esse número reduziu para 2386 peças, o que representa uma redução de 76,2%.

Tabela 10 – Peças em processamento antes e depois da melhoria

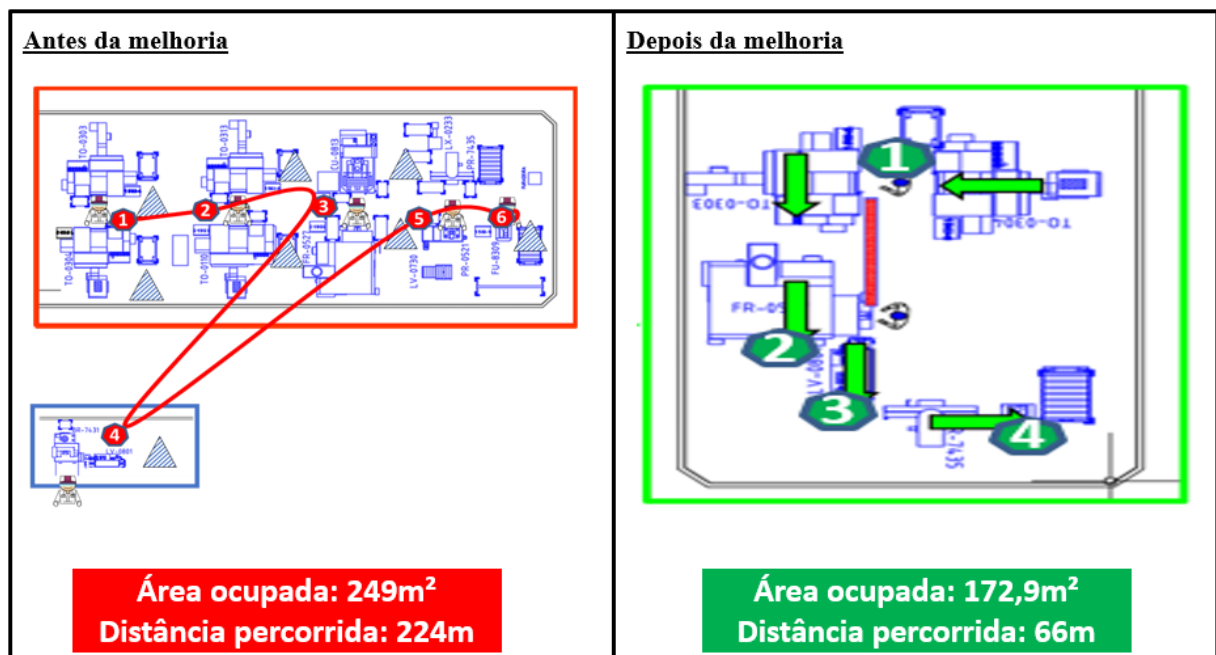
Operação	Estoque intermediário antes da melhoria	Estoque intermediário depois da melhoria
Tornear 1	903	4
Tornear 2	186	632
Fresar	4.546	310
Brochar	2.633	900
Lavar	150	20
Marcar	1.400	500
Escarear	209	20
Peças não conforme	0	0
Total	10.027	2.386

Fonte: o autor, 2022

4.4 ÁREA TOTAL OCUPADA

Depois de mudar o layout da linha e transferir a brunidora para próximo das demais máquinas do setor de fabricação de coroas de comando, houve um ganho expressivo de espaço livre na área fabril, possibilitando a implementação de novos negócios sem necessidade de expansão do chão de fábrica.

Figura 10 - Área total ocupada pela linha antes e depois do kaizen



Fonte: o autor, 2022

4.4 REVISÃO DO PROGRAMA 5S

O setor em questão estava com uma baixa pontuação nas auditorias internas do programa 5S da empresa. Sendo assim, um dos pontos objetivados neste trabalho foi melhorar essa pontuação e padronizar as ações que devem ser adotadas na rotina de trabalho, de forma a manter um alto padrão nesta avaliação. Com base nas observações dos participantes e nas ideias discutidas em equipe levantadas em brainstorming, foram realizadas algumas mudanças significativas no setor. As imagens abaixo demonstram algumas das melhorias implementadas, as quais elevaram os padrões de limpeza, organização e segurança.

Figura 11 - Aplicação do 5S em organização e segurança

<u>Oportunidade:</u> Vazamento de água pelo radiador, contido por um recipiente plástico.	<u>Medidas Tomadas:</u> - Correção do vazamento; - Eliminação do recipiente.	<u>Resultados:</u> - Conforto visual do setor; - Aplicação de conceitos 5S.
<u>Antes Kaizen</u> 	<u>Depois Kaizen</u> 	

Fonte: o autor, 2022

Existia um vazamento de água no radiador do equipamento que podia causar acidentes no setor. Foi feito o reparo da falha e o recipiente foi retirado do local, contribuindo para a organização do setor.

Figura 12 - Aplicação do 5S em organização e limpeza

<u>Oportunidade:</u> - Equipamento muito sujo, impossibilitando o uso correto. - Proteção danificada.	<u>Medidas Tomadas:</u> - Limpeza da área; - Troca da proteção.	<u>Resultados:</u> - Melhoria na condição de trabalho; - Aplicação de conceitos 5S.
<u>Antes Kaizen</u> 	<u>Depois Kaizen</u> 	

Fonte: o autor, 2022

A sujeira encontrada no equipamento dificultava a visualização da parte interna e não permitia o uso adequado. Nesse caso, a aplicação do 5S contribuiu com a limpeza do setor.

Figura 13 - Aplicação do 5S em segurança

<u>Oportunidade:</u> • Botoeira quebrada, ocasionando mal funcionamento e risco a segurança do operador.	<u>Medidas Tomadas:</u> • Limpeza geral da bancada; • Troca do componente danificado.	<u>Resultados:</u> • Melhoria na condição de trabalho; • Aplicação de conceitos 5S.
<u>Antes Kaizen</u> 		<u>Depois Kaizen</u> 

Fonte: o autor, 2022

Foi realizado o reparo da botoeira de um equipamento, resultando em um aumento de segurança para o operador e possibilitando seu uso correto.

Figura 14 - Aplicação do 5S em organização e segurança

<u>Oportunidade:</u> • Painel elétrico aberto, oferecendo risco ao operador.	<u>Medidas Tomadas:</u> • <u>Re-organização</u> dos cabos; • Correção da tranca da porta.	<u>Resultados:</u> • Melhoria do processo; • Evita exposição ao risco; • Melhoria na condição de trabalho do operador.
<u>Antes Kaizen</u> 		<u>Depois Kaizen</u> 

Fonte: o autor, 2022

Neste equipamento existiam fiações elétricas expostas em um ambiente com risco de acidentes. Buscando melhorar a organização e a segurança, foi realizado o reparo do equipamento de forma a evitar que a situação retorne ao que era antes.

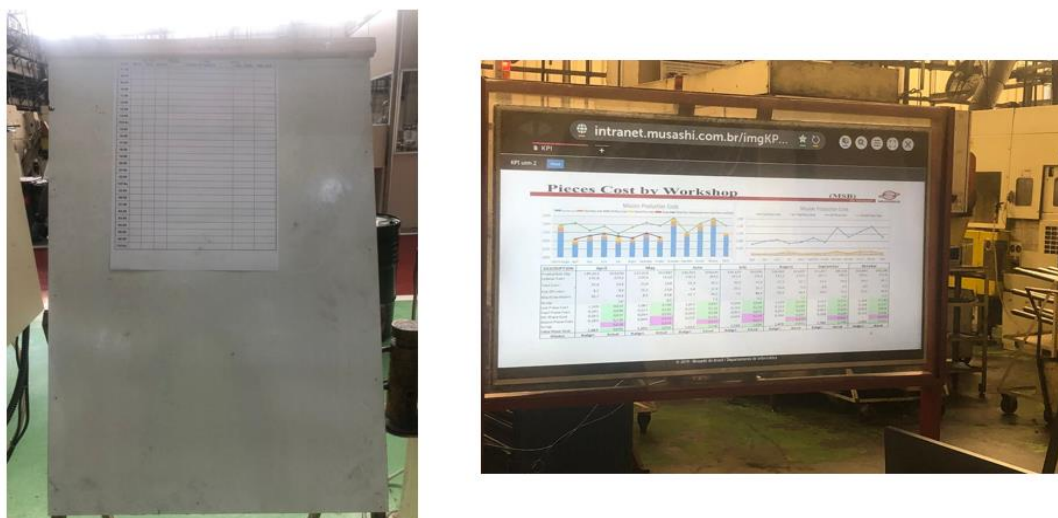
Figura 15 - Material disponibilizado para reforma e reaproveitamento após aplicação do 5S



Fonte: o autor, 2022

Na rotina da fábrica, muitas vezes é necessário confeccionar novos itens de armazenamento ou transporte para auxiliar na produção, como armários e carrinhos. Este trabalho disponibilizou alguns desses itens para posterior reforma e reutilização, liberando mais espaço e aumentando a organização do setor em estudo.

Figura 16 - Aplicação do 5S em padronização, descartando controle por papel e adotando gestão à vista através de painel digital



Fonte: o autor, 2022

O controle de informações pertinentes aos processos do setor estava sendo feito de forma precária através do uso de papel e de um quadro, o que gera esforço para os colaboradores e eleva o custo do setor. Esse sistema foi alterado com a implementação de uma tela que integra dados através de softwares e disponibiliza a informação com fácil visualização para todos os trabalhadores do setor.

Tabela 11 - Resumo dos resultados alcançados

Indicador	Antes da melhoria	Objetivo	Depois da melhoria	Resultado	
Operadores	5	--	4	20%	↓
Produção diária	2.323	--	2.621	13%	↑
Produtividade (peças/operador/dia)	258	30% ↑	374	45%	↑
Estoque intermediário	10.027	20% ↓	2.386	76%	↓
Área ocupada	249m ²	20% ↓	172,9m ²	31%	↓
Pontuação 5S	18	30% ↑	70	289%	↑

Fonte: o autor, 2022

Analisando os dados da tabela 11, nota-se uma grande evolução do setor de usinagem de coroas de comando em termos de produtividade, organização, segurança e redução de desperdícios. É notável a mudança gerada no setor após a aplicação das ferramentas do 5S em termos de limpeza, organização e segurança. Os colaboradores da área relataram que tais mudanças trouxeram mais motivação e satisfação para trabalhar, bem como um senso de responsabilidade para manutenção das melhorias implementadas no ambiente de trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia lean foi implementada nesta empresa no ano de 2018 buscando alcançar vários objetivos, como redução de custos, aumento de competitividade e de capacidade de conseguir mais negócios, melhorar a qualidade de vida dos colaboradores no trabalho, entre outros. Desde sua implementação, essa filosofia faz parte da empresa na forma de “semanas kaizen”, auditorias internas, na busca constante da melhoria contínua e no acompanhamento das melhorias já implementadas.

Após o estabelecimento do Lean na fábrica até o momento em que este trabalho foi concluído, mais de cem colaboradores da empresa já tiveram a oportunidade de participar da semana kaizen. Este fato mostra o comprometimento da empresa em difundir a filosofia de melhoria contínua entre todos os funcionários, mudando sua forma de pensar e preparando as próximas gerações para um futuro mais sustentável no mundo corporativo, reduzindo ao máximo todos os desperdícios.

Além dos resultados práticos alcançados, a mudança de atitude e a consciência coletiva com relação aos pontos chave destacados pelo Lean são facilmente observadas pelas pessoas envolvidas no processo. Tais fatos comprovam a eficácia da metodologia e possibilitam vislumbrar novas aplicações nas mais diversas áreas da empresa, impulsionando a companhia em direção a um nível de excelência.

Entre os resultados atingidos na linha de coroa de comando, pode-se destacar o ganho de 45,1% em produtividade e a redução em 30,6% da área ocupada pelo setor, além da disponibilização de recursos para a fábrica. Esses ganhos representam um aumento de capacidade produtiva da empresa e da área disponível no chão de fábrica, facilitando a aquisição de novos negócios e reduzindo a necessidade de novos investimentos.

Como trabalho futuro, será feito um estudo para implementação de um projeto que objetiva revisar todos os trabalhos de aplicação da metodologia lean na companhia. Com essa prática, será possível verificar se está havendo continuidade e consistência nas melhorias que foram implementadas, bem como contribuir com mais melhorias para os setores. Será definida uma periodicidade dessa atividade em forma de auditoria, evitando que haja retrocessos e permanecendo na busca pela perfeição.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, Calliana Samuelle Barroso. Implantação da metodologia Lean manufacturing no setor produtivo de uma empresa de fabricação de estruturas metálicas em João Monlevade. Trabalho de conclusão de curso. Graduação, Engenharia de produção, Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais, p. 1 2017.
- BARBOSA, C.; LIMA, A. Aplicação do Fluxo contínuo no processo de produção de estacas pré moldadas para fundação. XXVIII ENEGEP, Rio de Janeiro, 2008.
- BRAGA, R. Os desafios para estabelecer um fluxo contínuo numa linha de produção: caso sa industria automobilística. Dissertação Mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil., Florianópolis, 2008.
- COSTA, R. M. da; HENKIN, H. Estratégias competitivas e desempenho da indústria automobilística no Brasil. Economia e Sociedade, Campinas, SP, 2016.
- DENNIS, P. Produção lean simplificada. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- ESTEVES, Wagner Luiz. A APLICAÇÃO DO LEAN MANUFACTURING NAS INDÚSTRIAS. CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, [S. I.], p. 1-12, 9 out. 2014.
- FARIA, Luik de. Redução de desperdícios utilizando os conceitos lean em uma construtora de pequeno porte. 2016. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.
- FREITAS, E. B. Diagrama de Espaguete. Engenharia de Produção, v 5, 2013. Disponível em: http://engenhariadeproducaoindustrial.blogspot.com.br/2013/03/diagrama-de-espaguetespaghetti_10.html. Acesso em: agosto, 2022.
- GASTINEAU, D. A.; DIETZ A. B.; PADLEY, D. J. Human Cell Therapy Laboratory: Improvement Project. EUA: Mayo Clinic, 2009.
- HAYES, Robert; PISANO, Gary; UPTON, David; WHEELWRIGHT, Steven. Produção, Estratégia e Tecnologia: Em Busca da Competitividade. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- HILSDORF, W. C.; Lopes, A.P.V.B.V.; Cittatini, C.; Ghisini, J. S.. Aplicação de ferramentas do lean manufacturing: estudo de caso em uma indústria de remanufatura. REVISTA PRODUÇÃO ONLINE, v. 17, n. 2, p. 640-667, 2019
- LEXICO LEAN. Glossário Ilustrado para praticantes do Pensamento Lean. 4 ed. Lean Enterprise Institute, 2003.
- MAZZOCATO, P. et al. Lean thinking in healthcare: a realist review of the literature. Qual. Saf. Health Care. v. 19, p. 376-382, 2010.

MOREIRA, D. A.. Administração da Produção e Operações (Vol. 2). São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MOUTINHO, P. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS CEPEAD/CAD IMPLANTAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN MANUFACTURING NA SOLUÇÕES EM AÇO USIMINAS S.A BELO HORIZONTE 2021.

OHNO, T. O Sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala. Porto Alegre:Bookman, 1997.

OLIVEIRA, Raphaell Iury Assis de. Aplicação do Lean Manufacturing como ferramenta de otimização de processo em uma indústria alimentícia. 2021. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

OSBORN, Alex. Applied imagination: Principles and procedures of creative problem solving (2nd Revised Edition). NewYork: Charles Scribner's Sons,1957.

POLTRONIERI, Charles R.; SANOMIA, Patrícia E. Implantação Da Metodologia Lean Manufacturing Em Uma Fábrica De Móveis Para Laboratório Do Centro-Leste Paulista. 2018. 94 f. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2018.

PRAJOGO, D.; SOHAL, A. S. The integration of TQM and technology/R&D management in determining quality and innovation performance.Omega, v. 34, p.296-312, 2006.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. Aprendendo a Enxergar: Mapeando o Fluxo de Valor para Agregar Valor e Eliminar o Desperdício. Lean Institute Brasil, São Paulo, 2003.

ROTHER, M.; SHOOK, J. Learning to See - Value Stream Mapping to Add Value andEliminate Muda, The Lean Enterprise Institute, MA, USA, 1998.

ROZENFELD, H; AMARAL, D.C.; ALLIPRANDINI, D.H.; FORCELLINI, F.; TOLEDO, J.C.; SCALICE, R. SILVA, S.L.. Gestão de desenvolvimento de produto: uma referência para a melhoria do processo.São Paulo: Saraiva, 2006.

SALTON, G.; LUIS, J. ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE FLUXO CONTÍNUO NO PROCESSO DE MONTAGEM DE CHASSI NUMA INDÚSTRIA DE SEMIRREBOQUES. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_226_316_29533.pdf>. Acesso em: julho, 2022.

SILVA, A. L.; RENTES, A. F. Um modelo de projeto de layout para ambientes job shop com alta variedade de peças baseado nos conceitos da produção enxuta. Gest. Prod., São Carlos, v. 19, n. 3, p. 531-541, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v19n3/07.pdf>>. Acesso em: agosto, 2022.

SHINGO, S. Sistema Toyota de produção: do ponto-de-vista de engenharia de produção. Porto Alegre: Bookmann, 1996.

1. SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHONSTON, R. Administração da produção. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2018.

TANCO, M. et al. Applying lean techniques to nougat fabrication: a seasonal case study. Int. J. Adv. Manuf. Technol., London, v. 68, p. 1639-1654, 2013. Disponível em: file:///C:/Users/Samira/Downloads/s00170-013-4960-7(2)%20(2).pdf. Acesso em: agosto, 2022.

TAPPING, D.; SHUKER, T. Lean Office: Gerenciamento do fluxo de valor para áreas administrativas – 8 passos para planejar, mapear e sustentar melhorias Lean nas áreas administrativas. 1a. ed. São Paulo: Leopardo, 2010.

WEIDIG, Guilherme Passos. Aplicação da metodologia Lean Manufacturing em uma indústria mecânica. 2019. 62 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2019.

WERKEMA, Cristina. Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. & ROOS, D. A máquina que mudou o mundo. Campus. 5a Edição. Rio de Janeiro, 1992.