



**MARCOS FILIPE SILVA MACHADO**

**DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE *FLOW RACK* COMO ESTRATÉGIA DE OTIMIZAÇÃO DE ABASTECIMENTO DE LINHA**

**Lavras - MG**

**2023**

**MARCOS FILIPE SILVA MACHADO**

**DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE *FLOW RACK* COMO  
ESTRATÉGIA DE OTIMIZAÇÃO DE ABASTECIMENTO DE LINHA**

Concepção base apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Curso  
de Engenharia Mecânica, para a  
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Fábio Lúcio Santos

**ORIENTADOR**

**LAVRAS – MG**

**2023**

**MARCOS FILIPE SILVA MACHADO**

**DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE *FLOW RACK* COMO  
ESTRATÉGIA DE OTIMIZAÇÃO DE ABASTECIMENTO DE LINHA**

**DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF FLOW RACK AS A  
LINE SUPPLY OPTIMIZATION STRATEGY**

Concepção base apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Curso  
de Engenharia Mecânica, para a  
obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 06 de dezembro de 2023.

Dra. Joelma Rezende Durão Pereira UFLA

Dr. Henrique Leandro Silveira UFLA

Prof. Dr. Fábio Lúcio Santos

ORIENTADOR

**LAVRAS - MG**

**2023**

## AGRADECIMENTOS

É com imensa gratidão que inicio meus agradecimentos, reconhecendo a presença divina que guiou cada passo da minha trajetória acadêmica. A Deus, fonte inesgotável de sabedoria e força, agradeço por sustentar-me durante toda a jornada da minha faculdade e vida, iluminando meu caminho e proporcionando discernimento nas escolhas.

Em paralelo, minha família, meu pai Tarcísio, minha mãe Cristiane e meu irmão Gabriel, merece um agradecimento especial. Seu apoio incondicional e amor foram os pilares que sustentaram minha jornada. Cada conquista é reflexo da base sólida que vocês construíram, e sou imensamente grato por isso.

À minha companheira Beatriz, expresso minha eterna gratidão. Sua presença constante foi minha fonte de energia diária e o alicerce emocional que impulsionou meu sucesso. Seu apoio incansável e compreensão foram fundamentais para enfrentar os desafios acadêmicos e diários.

Minha jornada acadêmica foi marcada pela presença de amigos extraordinários. Agradeço a Alan, Arthur, Bernardo, Guilherme, Hugo, Luiz, Oscar, Paulo, Rafael e Vinícius por compartilharem risadas, desafios e conquistas. Suas amizades são tesouros que levo para toda a vida e sou extremamente grato por ter a amizade de vocês.

À empresa júnior Torque Jr, expresso minha gratidão pela enriquecedora experiência adquirida. Ao meu time de trabalho, FI, agradeço por todo o apoio, amizade, companheirismo e conhecimento compartilhado.

Por fim, meu sincero agradecimento ao Prof. Dr. Fábio, meu orientador, que me guiou com sabedoria e paciência ao longo do desenvolvimento do meu TCC.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para este capítulo da minha vida, expresso minha profunda gratidão. O conhecimento adquirido, as amizades cultivadas e o apoio recebido são tesouros que levarei sempre comigo. Que este seja apenas o início de muitas conquistas que compartilharemos juntos. Muito obrigado.

## RESUMO

O presente trabalho teve como propósito avaliar os efeitos da implementação de *flow racks* na linha de produção, concentrando-se no aprimoramento da eficiência operacional e segurança ocupacional. A análise detalhada das características dessas máquinas, particularmente modelos lineares com acionamento pneumático, destacou-se como uma solução potencial para otimizar o abastecimento da linha de produção. A análise de custos, que comparou os custos entre aquisição e construção interna, revelou que a opção de construção interna não apenas proporcionaria economia financeira, mas também ofereceria facilidades de manutenção a longo prazo. O planejamento e implementação do *flow rack* resultaram em aumentos significativos na produção e na segurança, validando a eficácia das mudanças implementadas. A conclusão ressalta os resultados positivos projeto, evidenciando melhoria no fluxo de caixas, aumento significativo na produtividade e redução nos tempos de parada. O comprometimento com a segurança, acompanhado pelos critérios e normas seguidas, sublinha a importância atribuída à saúde e segurança no local de trabalho.

**Palavras-chave:** otimização de linha de produção; *lean manufacturing*, WCM.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estrutura do <i>lean manufacturing</i> .....	12
<b>Figura 2.</b> Quadro <i>kanban</i> . .....	14
<b>Figura 3.</b> Exemplo de <i>poka-yoke</i> . .....	14
<b>Figura 4.</b> Pilares do WCM. ....	18
<b>Figura 5.</b> Exemplo de <i>flow rack</i> .....	20
<b>Figura 6.</b> Exemplo de <i>gravity flow rack</i> . .....	22
<b>Figura 7.</b> Exemplo de rolos motorizados. ....	23
<b>Figura 8.</b> Sistema semelhante ao conceito necessário para o estoque de caixas. ....	27
<b>Figura 9.</b> Elevador de caixas semelhante ao necessário no projeto. ....	27
<b>Figura 10.</b> Estrutura similar ao garçom e berço. ....	28
<b>Figura 11.</b> Projeto final do <i>flow rack</i> . ....	32

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	8
1.1	Objetivo geral .....	10
1.2	Objetivos específicos .....	10
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	11
2.1	<i>Lean manufacturing</i> .....	11
2.1.1	Contextualização e relevância da metodologia.....	11
2.1.2	Princípios chave do <i>lean manufacturing</i> .....	12
2.1.3	Ferramentas e técnicas comumente utilizadas .....	13
2.1.4	Desafios e para a implementação do <i>lean manufacturing</i> .....	15
2.2	WCM - <i>World Class Manufacturing</i> .....	16
2.2.1	Princípios e pilares do WCM.....	16
2.2.2	Implementação do WCM.....	18
2.2.3	Comparação entre <i>lean manufacturing</i> e WCM.....	19
2.3	<i>Flow rack</i> e <i>karakuri kaizen</i> .....	20
2.3.1	Contextualização e definição .....	20
2.3.2	Princípios e funcionamento .....	21
2.3.3	Diferentes tipos e aplicações .....	22
2.3.4	Vantagens do <i>flow rack</i> .....	23
2.3.5	Desafios e considerações na implementação .....	24
3.	MATERIAL E MÉTODOS .....	25
3.1	Requisitos do <i>flow rack</i> e sua implementação .....	25
3.2	Sistemas do <i>flow rack</i> .....	26
3.2.1	Estoque de caixas.....	26
3.2.2	Elevador.....	26
3.2.3	Estoque do meio de caixas.....	27
3.2.4	Dosador.....	27

3.2.5	Garçom .....	28
3.2.6	Berço.....	28
3.3	Método para análise de custos .....	29
3.4	Fluxograma metodológico do projeto e implementação.....	29
3.4.1	Estudo de materiais e especificações .....	29
3.4.2	Análise de custos .....	29
3.4.3	Escolha do método entre compra e projeto interno .....	29
3.4.4	Comparação de dados de produtividade .....	30
3.4.5	Avaliação com colaboradores.....	30
4.	RESULTADOS .....	31
4.1	Análise entre os custos de comprar ou construir um <i>flow rack</i> .....	31
4.2	Projeto e funcionalidades do <i>flow rack</i> .....	31
4.3	Planejamento da implementação do <i>flow rack</i> .....	32
4.4	Avaliação dos resultados pós- implementação .....	33
4.5	Identificação de desafios e medidas corretivas.....	33
5.	CONCLUSÃO.....	35
6.	REFERÊNCIAS .....	36



## 1. INTRODUÇÃO

Na era atual, onde a concorrência é cada vez mais acirrada e a exigência por eficiência e qualidade é constante, as indústrias enfrentam o desafio de otimizar os seus processos produtivos. Neste cenário, dois conceitos se destacaram como principais pilares do sucesso nas operações industriais: *lean manufacturing* e WCM (*World Class Manufacturing*).

O *lean manufacturing*, inspirado nas práticas da Toyota, é uma filosofia de gestão que busca eliminar desperdícios em todos os aspectos da produção. Esse desperdício vai desde o excesso de estoque e movimentos desnecessários até tempos de espera e defeitos de fabricação. O principal objetivo é produzir mais com menos recursos, reduzindo custos e aumentando a eficiência.

No setor de produtos da linha branca, a aplicação da manufatura enxuta pode levar a uma produção mais ágil e flexível. Isto significa que a empresa pode adaptar-se rapidamente às mudanças na procura do mercado, reduzindo o tempo do ciclo de produção e poupando recursos.

Da mesma forma, o *World Class Manufacturing* é um conceito que visa elevar as operações industriais a um padrão de excelência global. Envolve a implementação de boas práticas e metodologias que não apenas eliminam desperdícios, mas também promovem qualidade, segurança, eficiência e controle financeiro em todos os aspectos da produção.

No contexto de uma linha de produção, o WCM pode ser o estímulo para uma mudança completa na cultura da empresa. Ao buscar constantemente a melhoria e a excelência em todos os processos, as organizações podem atingir um nível de eficiência que as colocam na elite do seu setor.

Em um mercado globalizado onde as empresas competem não apenas com concorrentes locais, mas também com intervenientes internacionais, a aplicação eficaz do *lean manufacturing* e do WCM é essencial para a sobrevivência e o sucesso. Estas abordagens não só melhoram a eficiência operacional, mas também fortalecem a capacidade de adaptação às mudanças rápidas e imprevisíveis nas exigências do mercado.

Além disso, esses conceitos tem um impacto positivo na percepção dos clientes e parceiros de negócios. As empresas que demonstram compromisso com tais vieses são consideradas parceiras confiáveis e sustentáveis.

Buscando uma melhora na eficiência de produção, otimizar as linhas de produção em si é um desafio. Uma solução que se destaca nesse contexto é a utilização de *flow racks*, um sistema simples, eficiente e versátil que atua como alimentador de linha de produção.

O *flow rack* consiste em uma estrutura linear com trilhos e roletes, que é projetada para armazenar componentes, peças ou produtos em caixas e entregar os mesmos de forma segura e cadenciada para o operador da montagem. Essa simplicidade de design o torna uma escolha acessível e de simples construção.

Um dos benefícios mais óbvios de um *flow rack* linear é o aumento da velocidade de alimentação na linha de produção. A alimentação contínua de componentes elimina efetivamente esperas e gargalos, permitindo que a linha de produção mantenha um ritmo constante. Isto é particularmente benéfico em indústrias onde o *takt time*, tempo disponível para produzir cada unidade, é crítico.

Além da simplicidade, o *flow rack* linear apresenta baixos custos de implantação e manutenção. Na indústria, são frequentemente utilizados materiais como metalon, tubulares de alumínio e policarbonato, o que reduz os custos de aquisição. A facilidade de uso também significa custos mais baixos para treinamento de funcionários.

Com a utilização desses equipamentos, os operadores não precisam transportar componentes ao longo da linha de produção, reduzindo bastante o risco de lesões ergonômicas e evitando a movimentação de transportadores como rebocadores ou até mesmo empilhadeiras próximo ao posto de trabalho.

Além disso, outras medidas, como barreiras metálicas, cortinas de luz, o uso de policarbonato e adequações à NR12 podem ser incorporadas ao design do equipamento para proteger o operador de possíveis pontos de prensagem ou esmagamento.

No contexto de uma busca constante de eficiência e a segurança, *lean manufacturing* e o WCM estão emergindo como pilares essenciais, enquanto a introdução de *flow racks* também desempenha um papel fundamental na agilização do abastecimento e segurança nas linhas.

Este trabalho pretende explorar a intersecção destes três elementos e destacar como a implementação destas metodologias pode não só acelerar a produção, mas também fortalecer o compromisso com a segurança dos colaboradores e contribuir para um ambiente de trabalho mais produtivo e protegido.

## 1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar os impactos da implementação de um *flow rack* na linha de produção de uma indústria de eletrodomésticos da linha branca, com foco na melhoria da eficiência operacional e na segurança do posto de trabalho.

## 1.2 Objetivos específicos

Este trabalho conta também com os seguintes objetivos:

- Investigar as características e funcionalidades dos *flow racks*, especialmente os modelos lineares com acionamento elétrico e pneumático, como potenciais soluções para otimizar a alimentação da linha de produção;
- Realizar uma análise de custos para avaliar e comparar os custos associados ao projeto, compra e construção interna do *flow rack* com a compra da mesma máquina com um fornecedor;
- Projetar/comprar o *flow rack* e planejar sua implementação na linha de produção, considerando os requisitos técnicos, materiais e permissões necessárias;
- Avaliar os resultados pós-implantação, mensurando o aumento percentual na produção e na melhoria da segurança, bem como a satisfação dos colaboradores em relação às mudanças implementadas;
- Identificar eventuais desafios e obstáculos encontrados durante a implementação e propor medidas corretivas ou ajustes necessários;
- Comparar os resultados alcançados com as expectativas e metas estabelecidas no início do projeto, avaliando se o *flow rack* contribuiu efetivamente para a melhoria da eficiência e da segurança na linha de produção.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, inicialmente, é apresentado uma revisão dos principais conceitos e estudos relacionados ao *lean manufacturing*, WCM e à utilização de *flow racks/karakuris* como abastecedores de linha.

### 2.1 Lean manufacturing

*Lean manufacturing*, ou manufatura enxuta, é um sistema de manufatura inspirado no conceito japonês de kaizen, que tem como foco a melhoria contínua e a satisfação do cliente por meio da entrega eficiente de produtos e serviços. Baseia-se em cinco princípios fundamentais, desde a definição dos nossos valores até à procura da excelência. Conhecido pelo seu foco na eliminação de desperdícios e na otimização de investimentos, este modelo ganha cada vez mais importância num cenário global onde a concorrência supera os custos em múltiplas dimensões de produto (DE FELICE et al., 2019).

#### 2.1.1 Contextualização e relevância da metodologia

Segundo Worley (2006), a história da manufatura enxuta remonta aos primórdios da indústria automotiva, onde os artesãos, apesar de sua ampla gama de habilidades, enfrentavam ineficiências e altos custos na produção de veículos. Henry Ford introduziu uma abordagem inovadora ao dividir o processo de montagem em tarefas de curto prazo executadas repetidamente ao longo do dia. Na década de 1950, Eiji Toyoda e Taiichi Ohno combinaram o conhecimento dos artesãos com a padronização e eficiência da linha de montagem móvel e agregaram o conceito de trabalho em equipe para criar o Sistema Toyota de Produção (TPS). John Krafcik cunhou o termo “sistema de manufatura enxuta” em 1988, enquanto o termo “manufatura enxuta” foi popularizado por James P. Womack.

Frequentemente associada à redução de inventário, prazos de entrega mais curtos, alta qualidade, maior flexibilidade e satisfação do cliente, a produção enxuta é definida como a eliminação sistemática de desperdícios por todos os membros da organização em todas as fases do fluxo de valor. Este fluxo de valor inclui todas as atividades que contribuem para a transformação de matérias-primas em produtos acabados, incluindo design, recebimento de pedidos e produção física (WORLEY; DOOLEN, 2006).

Desperdício neste contexto é qualquer atividade não essencial que não agrega valor ao cliente. Apesar dos benefícios substanciais da produção enxuta, conforme mencionado anteriormente, a sua implementação pode ser desafiadora, seguindo uma certa estrutura como

mostra a Figura 1, exigindo a superação da resistência dos gestores e funcionários, bem como a gestão adequada das relações com fornecedores e clientes. Contudo, a manufatura enxuta tem sido amplamente adotada em diversos setores da indústria de transformação (WORLEY; DOOLEN, 2006).

**Figura 1.** Estrutura do *lean manufacturing*.



Fonte: Kitsune, 2014.

### 2.1.2 Princípios chave do *lean manufacturing*

De acordo com Rishi et al. (2018), a metodologia inclui cinco etapas caracterizadas por eventos de mudanças, como a identificação das causas raízes e a proposição de soluções por meio de melhoria contínua. Contudo, é fundamental ressaltar que a mera aplicação destes tópicos não garante a efetiva adoção do paradigma *lean*. A configuração da estrutura em questão leva em consideração a relevância do ambiente em que é implementado e é baseada em uma versão simplificada da metodologia *Six Sigma DMAIC*, que utiliza uma abordagem padrão baseada em dados em todas as fases para otimizar o sistema. As cinco etapas de mudanças são:

- Etapa 1: Definição do problema / coleta de dados;
- Etapa 2: Análise dos dados;
- Etapa 3: Identificação da causa raiz;
- Etapa 4: Implementação das soluções viáveis;
- Etapa 5: Controle das soluções.

### 2.1.3 Ferramentas e técnicas comumente utilizadas

Como abordagem para otimizar e melhorar a produção, o *lean* utiliza uma série de ferramentas e técnicas para alcançar seus princípios fundamentais. Este tópico discutirá algumas das ferramentas e técnicas mais comuns utilizadas no *lean*, destacando sua aplicação e importância na busca pela eficiência operacional (UKEY; DESHMUKH; ARORA, 2022).

#### ***Kaizen:***

É um conceito japonês que significa “melhoria contínua”. Em suma, Kaizen envolve a busca contínua pela melhoria de processos, produtos e práticas para aumentar a eficiência, a qualidade e a produtividade. É uma filosofia que promove mudanças graduais e constantes na busca pela perfeição. Kaizen é amplamente utilizado em empresas e organizações para promover a melhoria contínua em todas as áreas e níveis da organização (GOMES; LOPES; DE CARVALHO, 2013).

#### **5S:**

É uma metodologia japonesa que visa organizar e padronizar o ambiente de trabalho. Resumidamente, o 5S consiste em cinco etapas: Seiri (classificação), Seiton (ordem), Seiso (limpeza), Seiketsu (padronização) e Shitsuke (autodisciplina). Essas etapas são utilizadas para melhorar a eficiência, segurança e qualidade no local de trabalho e promover um ambiente organizado, limpo e produtivo. É uma abordagem amplamente utilizada para apoiar a melhoria contínua dos processos e da cultura organizacional (GOMES; LOPES; DE CARVALHO, 2013).

#### ***Kanban:***

É um sistema de gestão visual originado no Japão que serve para controlar e otimizar o fluxo de trabalho em processos produtivos e operacionais. Resumindo, o kanban utiliza cartões, conforme a Figura 2, sinais ou indicadores visuais para acompanhar o progresso das tarefas, controlar o inventário e garantir a produção just-in-time, evitar o excesso de inventário e identificar gargalos no processo. É amplamente utilizado para melhorar a eficiência, qualidade e comunicação no ambiente de trabalho (GOMES; LOPES; DE CARVALHO, 2013).

**Figura 2.** Quadro *kanban*.

Backlog	To-do (4)	Doing (2)	Done
I J	E	C	A
K L	F	D	B
M N	G		
O P	H		

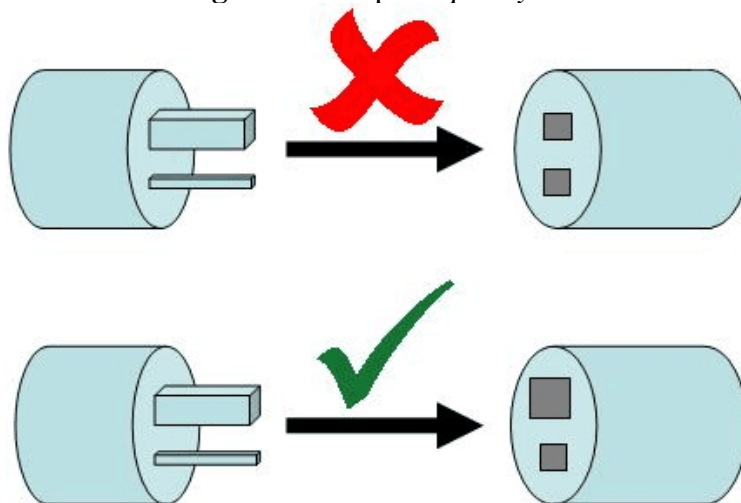
Fonte: Powell, 2018.

***Poka-Yoke:***

É um conceito de prevenção de erros que se originou no TPS. Resumindo, poka-yoke refere-se à criação de dispositivos ou métodos que evitam erros humanos e defeitos nos processos de fabricação, sendo ilustrado na Figura 3 um exemplo bem comum dessa ferramenta. Estas medidas visam garantir que as etapas processuais sejam executadas corretamente, dificultando ou impossibilitando erros.

O objetivo é melhorar a qualidade, reduzir desperdícios e aumentar a eficiência, minimizando a ocorrência de erros humanos na produção. O poka-yoke pode incluir dispositivos de controle, dicas visuais, feedback instantâneo ou outras soluções que evitem a ocorrência de erros ou os identifiquem imediatamente para correção (KUMAR et al., 2021).

**Figura 3.** Exemplo de *poka-yoke*.



Fonte: Coutinho, 2021.

### ***Value Stream Mapping (Mapeamento do Fluxo de Valor):***

É uma técnica usada para analisar e visualizar os fluxos de processos em uma organização. Ele ajuda a identificar ineficiências, desperdícios e gargalos em um sistema, permitindo melhorias na produtividade, qualidade e eficiência. Por meio de diagramas e representações visuais, o VSM auxilia a entender como os produtos ou serviços são produzidos e entregues, possibilitando a otimização de cada etapa do processo e a entrega de maior valor aos clientes. Essa técnica é uma parte essencial da filosofia *lean* e é amplamente utilizada para promover a melhoria contínua em organizações (BERTHOLEY et al., 2009).

### ***Jidoka:***

É um conceito da filosofia *lean* e do TPS que se traduz como “autonomia” ou “automação com toque humano”. Resumindo, *jidoka* refere-se à capacidade das máquinas e dos processos de produção detectarem automaticamente problemas ou defeitos e interromperem a produção para evitar a criação de produtos defeituosos. Isto permite que os operadores intervenham, resolvam o problema e garantam a qualidade do produto, agilizem a produção e reduzam o desperdício (UHLMANN et al., 2020).

### ***Andon:***

É um termo do TPS que se refere a um sistema de sinalização visual usado em ambientes de fabricação. Ele é uma forma de comunicação visual que permite aos operadores de máquinas ou trabalhadores da linha de produção solicitar assistência ou levantar questões. Quando ocorre um problema, como uma máquina defeituosa ou peças faltantes, os operadores podem acionar um dispositivo *andon*, como uma luz ou um sinalizador, para alertar o pessoal de manutenção ou os supervisores. Isto permite uma resposta rápida à resolução de problemas, minimizando o tempo de inatividade e mantendo a eficiência da produção.

Além disso, o sistema *andon* também é utilizado para monitorar o desempenho da linha de produção, fornecendo informações visuais em tempo real sobre o status da produção (FERNANDEZ, 2023).

#### **2.1.4 Desafios e para a implementação do *lean manufacturing***

A implementação da manufatura enxuta, embora traga benefícios significativos, enfrenta desafios que podem afetar o seu sucesso. Os desafios incluem a resistência dos funcionários à mudança, a falta de compromisso da gestão de topo, a implementação superficial,



a gestão da mudança ineficaz, as expectativas irrealistas, a falta de medição e avaliação e uma cultura organizacional inconsistente com os princípios *lean*.

Superar estes desafios requer comunicação eficaz, compromisso da gestão de topo, uma compreensão profunda dos princípios *lean*, uma estratégia de gestão da mudança, expectativas realistas, métricas claras e uma cultura alinhada.

A implementação bem-sucedida do *lean* requer uma abordagem cuidadosa, flexibilidade e compromisso de longo prazo com foco na superação desses obstáculos através de estratégias eficazes (YADAV et al., 2017).

## **2.2 WCM - World Class Manufacturing**

Segundo Petrillo et al. (2019), o WCM tem origem associada à Fiat, empresa automobilística italiana. Na década de 1980, a Fiat enfrentou desafios significativos relacionados à eficiência operacional e à qualidade de seus produtos. Buscando soluções para esses desafios, a Fiat começou a desenvolver um sistema de gestão com foco na eliminação de desperdícios, na melhoria contínua e no envolvimento dos colaboradores. A partir desse esforço, o WCM começou a tomar forma como um conjunto de princípios e práticas.

O WCM foi influenciado por diversas filosofias e abordagens de gestão, incluindo *just-in-time* (JIT), manutenção produtiva total (TPM), qualidade total e o TPS. A aplicação de métodos de eliminação de desperdícios, a procura pela eficiência e o apoio à melhoria contínua foram os principais pilares no desenvolvimento do WCM.

Marcos significativos incluem a certificação WCM, que reconhece o domínio das práticas WCM dentro de uma organização, e a expansão do WCM fora da Fiat para diversas outras empresas (PETRILLO et al., 2019).

### **2.2.1 Princípios e pilares do WCM**

Segundo Brown et al. (2007), os princípios fundamentais que norteiam essa metodologia, bem como os pilares que a sustentam, são:

#### **SAF - Safety (Segurança)**

A segurança é o pilar mais fundamental. Envolve a criação de um ambiente de trabalho seguro e a promoção de práticas seguras em toda a organização para prevenir acidentes e lesões.

### **CD - *Cost Deployment* (Custo)**

Este pilar concentra-se na gestão eficiente dos custos de produção, identificação de oportunidades de redução de custos e alocação de recursos de maneira eficaz para melhorar a rentabilidade.

### **FI - *Focus Improvement* (Foco na Melhoria)**

O foco na melhoria contínua é essencial para o WCM. Envolve a cultura de identificar e resolver problemas, otimizar processos e buscar constantemente maneiras de aprimorar o processo como um todo.

### **AM - *Autonomous Maintenance* (Manutenção Autônoma)**

Este pilar incentiva os operadores a assumirem a responsabilidade pela manutenção básica de suas máquinas e equipamentos, contribuindo para a prevenção de avarias.

### **WO - *Workplace Organization* (Organização do Local de Trabalho)**

Trata da organização eficaz do ambiente de trabalho para melhorar a eficiência, a segurança e a qualidade. Isso inclui a metodologia 5S (classificação, organização, limpeza, padronização e autodisciplina).

### **PM - *Professional Maintenance* (Manutenção Profissional)**

Este pilar concentra-se na manutenção especializada e profissional das máquinas e equipamentos para garantir que eles operem de maneira eficiente e confiável.

### **QC - *Quality Control* (Controle de Qualidade)**

O controle de qualidade é fundamental para garantir que os produtos atendam ou excedam os padrões de qualidade especificados, reduzindo a variação e defeitos.

### **LCS - *Logistics* (Logística)**

Envolve a otimização da gestão da cadeia de suprimentos, a entrega just-in-time e a gestão eficiente de materiais e produtos acabados.

### **EPM/EEM - *Early Product/Equipment Management* (Gestão Antecipada de Produto/Equipamento)**

Este pilar concentra-se em considerar a manufaturabilidade e a manutenção desde as fases iniciais de design e desenvolvimento de produtos e equipamentos.

### **PD - People Development (Desenvolvimento de Pessoas)**

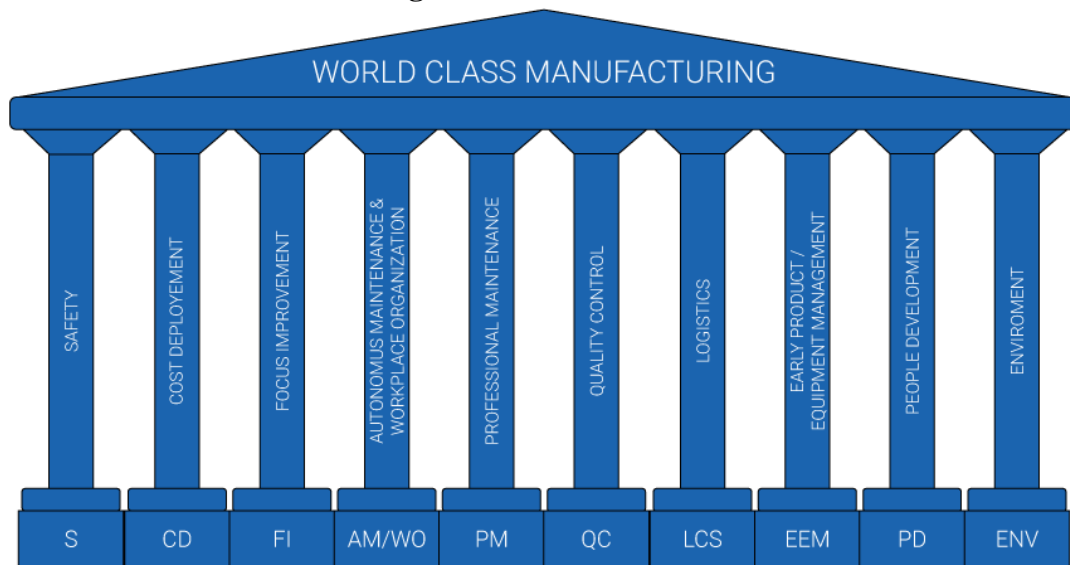
Investe no desenvolvimento e capacitação dos funcionários para garantir que eles adquiram as habilidades e o conhecimento necessários para apoiar a excelência na fabricação.

### **ENV - Environment (Meio Ambiente)**

Embora não seja um pilar tradicional do WCM, a sustentabilidade e a consideração ambiental são cada vez mais importantes. As empresas estão incorporando práticas de fabricação ecologicamente corretas para minimizar o impacto ambiental.

Esses pilares, conforme ilustrado na Figura 4, servem como diretrizes para melhorar a eficiência, qualidade e segurança nas operações de fabricação e para criar uma cultura de melhoria contínua em toda a organização. A implementação bem-sucedida desses pilares pode levar a uma produção de classe mundial e um ambiente de trabalho mais eficaz.

**Figura 4.** Pilares do WCM.



Fonte: Adaptado de Petrillo, 2019.

### **2.2.2 Implementação do WCM**

A implementação do WCM é um processo complexo que requer estratégias cuidadosamente planejadas e a superação de desafios específicos, como o comprometimento da alta administração; avaliação e treinamento; definição de objetivos e metas; implementação de pilares e práticas do WCM; monitoramento e medição de desempenho; envolvimento dos funcionários, entre outras (EID, 2009).

### 2.2.3 Comparação entre *lean manufacturing* e WCM

*Lean manufacturing* e o WCM são duas abordagens que visam melhorar a eficácia e eficiência das operações em uma organização. Ambos partilham semelhanças notáveis, mas também têm diferenças fundamentais na sua abordagem e âmbito. A seguir, são apresentadas as semelhanças e diferenças, segundo Lacerda et al. (2020).

#### **Semelhanças:**

1. Eliminação de desperdícios: Tanto a manufatura enxuta quanto o WCM têm como objetivo principal a eliminação de desperdícios nos processos produtivos. Isto inclui a redução de excesso de estoque, movimentos desnecessários, tempos de espera, entre outros.

2. Melhoria contínua: Ambas as abordagens valorizam a ideia de melhoria contínua. Apoiam a identificação e correção contínua de problemas e a busca de formas de otimizar gradativamente os processos.

3. Manufatura Enxuta: Ambos os sistemas se concentram em alcançar uma manufatura mais enxuta, o que significa tentar produzir mais com menos recursos, economizando tempo, dinheiro e materiais sempre que possível.

#### **Diferenças:**

1. Escopo: A principal diferença entre *lean manufacturing* e WCM é o escopo. Embora o *lean* se concentre principalmente na melhoria da produção, o WCM é uma abordagem mais ampla que abrange diversas áreas, incluindo qualidade, manutenção, logística, segurança e até mesmo o desenvolvimento dos funcionários. O WCM busca a excelência em todas as áreas da organização.

2. Abordagem de manutenção: o WCM inclui um foco significativo na manutenção preventiva e preditiva para garantir que os equipamentos e máquinas estejam sempre em ótimas condições de operação. Isso ajuda a minimizar o tempo de inatividade não planejado e aumenta a eficiência geral da produção. Enquanto o *lean manufacturing* trata da manutenção, o WCM leva esta abordagem a um nível mais abrangente.

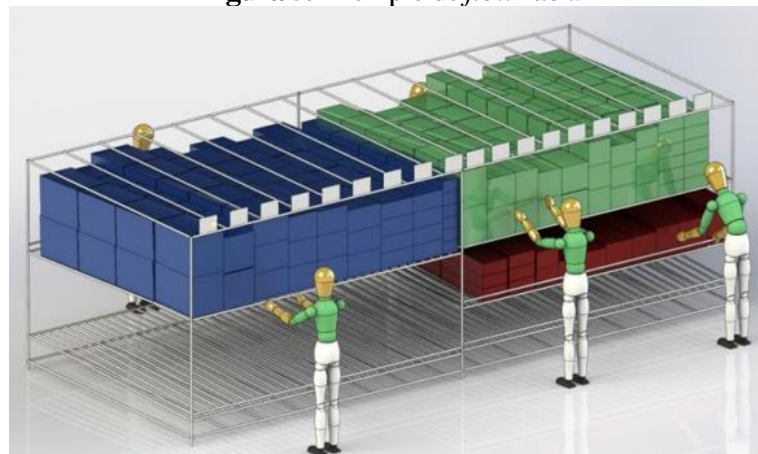
3. Logística e Qualidade: O WCM dá especial atenção à gestão da qualidade e otimização da logística para entregar produtos de alta qualidade no momento certo. Embora o *lean manufacturing* também tenha em conta estes aspectos, o WCM aprofunda o seu foco nestas áreas.

Em resumo, o *lean* e o WCM compartilham semelhanças em termos de eliminação de desperdícios, melhoria contínua e manufatura enxuta. No entanto, o WCM é uma abordagem mais abrangente que abrange múltiplas áreas, promove uma cultura organizacional de melhoria contínua e enfatiza a importância da manutenção, logística e qualidade em todos os aspectos das operações.

### 2.3 *Flow rack e karakuri kaizen*

A gestão eficaz de estoques e a otimização dos fluxos de produção são aspectos críticos para a eficiência operacional e o sucesso das organizações em um ambiente de negócios altamente competitivo. Um elemento chave que desempenha um papel vital neste contexto é o sistema de armazenamento conhecido como *flow rack* ou *karakuri kaizen*, segundo o exemplo da Figura 5. Este tópico introdutório visa apresentar informações para uma melhor compreensão desses dois sistemas, destacando suas definições, aplicabilidade e importância para o processo (ALMEIDA et al., 2019).

**Figura 5.** Exemplo de *flow rack*.



Fonte: Almeida et al., 2019.

#### 2.3.1 Contextualização e definição

Um *flow rack*, também conhecido como sistema de armazenamento por gravidade ou sistema de prateleiras contínuas, é um sistema de armazenamento projetado para otimizar a movimentação de produtos em um armazém ou ambiente de fabricação. Difere de outros sistemas de armazenamento estático, como prateleiras fixas, por utilizar o princípio da gravidade para permitir a movimentação controlada e suave dos produtos armazenados. Este sistema caracteriza-se pela sua inclinação, que permite que os itens deslizem suavemente do ponto de carga ao ponto de descarga, onde os operadores podem acessá-los facilmente (SARI; SAYGIN; GHOUALI, 2005).

Segundo Anggrahini et al. (2020), o termo "*karakuri*" refere-se ao uso de dispositivos mecânicos em oposição a dispositivos elétricos, pneumáticos ou hidráulicos. Originária das bonecas mecânicas japonesas chamadas "Karakuri Ningyo" dos séculos XVII a XIX, um exemplo notável é a boneca que carrega chá. Ele está segurando uma bandeja sobre a qual está colocada uma tigela de chá. O peso da tigela força a boneca a mover as pernas por meio de uma mola helicoidal. Após retirar a tigela, a boneca retorna à sua posição original. Os mecanismos *karakuri* usam componentes simples, como alavancas, cames, hastes, molas, engrenagens e manivelas.

A implementação do *karakuri* faz parte de uma abordagem de manufatura enxuta que visa minimizar desperdícios como transporte, estoque, transferência, espera, processamento excessivo, produção excessiva e defeitos. Embora equipamentos elétricos e computadores ofereçam vantagens, *karakuri* é mais econômico e mais fácil de manter. No entanto, sua capacidade é limitada devido à sua simplicidade, tornando-a uma ferramenta secundária frequentemente utilizada para manuseio de materiais em operações de fabricação (ALMEIDA et al., 2019).

### **2.3.2 Princípios e funcionamento**

*Flow rack* e *karakuri kaizen* são duas abordagens que desempenham um papel vital na melhoria da eficiência e produtividade em ambientes de produção. Um *flow rack* é um sistema de fluxo e armazenamento de materiais projetado para permitir o transporte eficiente de componentes ou produtos de um local para outro em uma linha de montagem. É construído com prateleiras inclinadas e é comumente utilizado no sistema "kanban" para garantir fluxo contínuo e reduzir estoques desnecessários. Este sistema permite que os itens deslizem suavemente até o ponto de uso, promovendo organização, visibilidade e minimizando desperdícios (SARI; SAYGIN; GHOUALI, 2005).

*Karakuri kaizen*, por outro lado, envolve a incorporação de mecanismos simples e criativos nos processos de fabricação para automatizar tarefas de manuseio de materiais, economizando tempo e energia dos operadores. Isto envolve o uso de contrapesos, molas e alavancas para criar sistemas autônomos de manuseio de materiais. *Karakuri kaizen* é uma abordagem de melhoria contínua que visa eliminar tarefas manuais desnecessárias, reduzir a fadiga do operador e aumentar a eficiência (ANGGRAHINI et al., 2020).

Ambos os conceitos, *flow rack* e *karakuri kaizen*, estão alinhados aos princípios da manufatura enxuta e buscam otimizar a produção, reduzir desperdícios e melhorar a qualidade, tornando-se assim elementos valiosos na busca pela excelência fabril.

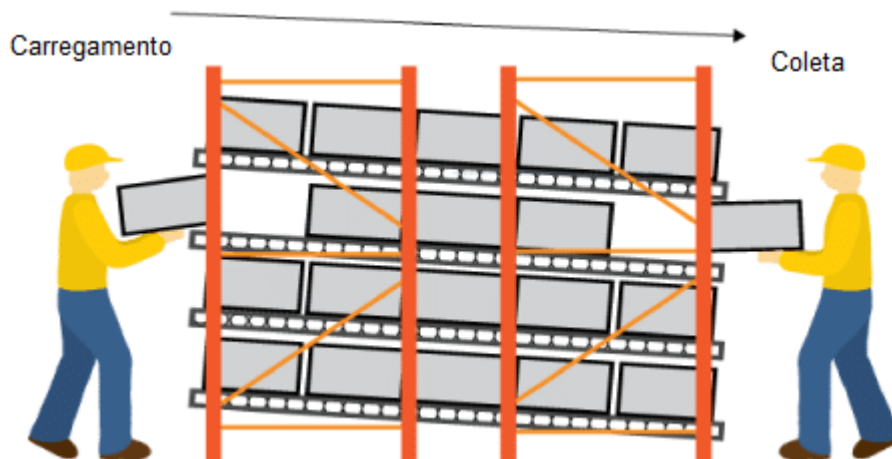
### 2.3.3 Diferentes tipos e aplicações

A variedade de tipos de *flow racks* e *karakuris* e suas aplicações específicas em diversas indústrias é um aspecto fundamental a considerar ao explorar um sistema de armazenamento de fluxo. Neste tópico, serão discutidos os diferentes tipos de *flow rack*, conforme destacado por Shah et al. (2016), enfatizando o *gravity flow rack* e o *dynamic flow rack*.

#### ***Gravity Flow Rack***

Este é o tipo mais comum de *flow rack*, projetado para permitir que os produtos se movam de forma autônoma devido à inclinação das prateleiras, como é possível perceber na Figura 6. Os produtos se movem por forças gravitacionais sem a necessidade de energia externa. Isto promove o fluxo contínuo e é particularmente útil em operações de preparação de pedidos onde é necessária uma troca frequente de itens.

**Figura 6.** Exemplo de *gravity flow rack*.



Fonte: Jacqueline, 2016.

#### ***Dynamic Flow Rack***

*Dynamic flow rack* usa rolos ou trilhos motorizados, conforme a Figura 7, para mover produtos de maneira controlada. Este tipo é altamente flexível, pois o controle de velocidade e fluxo pode ser ajustado de acordo com as necessidades da operação. É particularmente adequado para produtos sensíveis e permite um controle de fluxo mais preciso.

A versatilidade do *flow rack* em termos de tipos e aplicações torna-o uma solução atrativa em vários contextos industriais. Sua capacidade de suportar fluxo contínuo e acesso direto ao produto contribui para a eficiência operacional e otimização de espaço, tornando-o uma escolha valiosa em fabricação, logística e distribuição.

**Figura 7.** Exemplo de rolos motorizados.



Fonte: Ohra, 2019.

#### **2.3.4 Vantagens do *flow rack***

Segundo Almeida et al. (2019), a implementação de sistemas *flow rack* oferece às organizações uma série de benefícios significativos em termos de otimização de fluxos de produção, gestão de inventários e eficiência operacional.

Um dos principais benefícios da utilização dos sistemas *flow rack* é a redução substancial de desperdícios em diversas áreas de operações, incluindo a redução do excesso de estoque, a eliminação de desperdícios de transporte e manuseio e a redução de mão de obra desnecessária.

O uso de *flow racks* ajuda a otimizar a eficiência nas operações de fabricação de diversas maneiras: fluxo contínuo de materiais, tempos de ciclo mais curtos e maior precisão e qualidade.

O espaço de armazenamento é um recurso valioso em qualquer operação. Os sistemas *flow rack* otimizam eficazmente a utilização do espaço: maximizam a capacidade de armazenamento, melhor utilização vertical e reduzem as áreas de armazenamento.

A implementação de sistemas *flow rack* oferece benefícios significativos contribuindo para a redução de desperdícios, aumento da eficiência produtiva e otimização do espaço de armazém. Estes benefícios não só conduzem a poupanças de custos, mas também permitem às



organizações satisfazer as exigências do mercado de forma mais rápida e eficiente, melhorando a competitividade e o desempenho global.

### **2.3.5 Desafios e considerações na implementação**

Segundo Anggrahini et al. (2020), a implementação bem-sucedida de sistemas *flow rack* não ocorre sem desafios e considerações importantes. Neste tópico, serão destacados os desafios comuns que as organizações enfrentam ao implementar *flow racks*, incluindo a necessidade de layout e design adequados, bem como considerações críticas relacionadas à segurança e ergonomia ao usar esses sistemas.

Desafios comuns de implementação: configuração e design inadequados, sistemas de substituição eficazes, equilíbrio de fluxos.

Aspectos de segurança e ergonomia: segurança no manuseio do produto, ergonomia do trabalhador, treinamento do operador e manutenção regular.

Identificar e abordar adequadamente estes desafios, juntamente com a atenção às considerações de segurança e ergonômicas, é fundamental para garantir a implementação eficaz e a utilização segura dos sistemas *flow rack* em ambientes de produção e armazenamento (ANGGRAHINI et al., 2020).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Esse capítulo consiste em apresentar os principais requisitos, sistemas e componentes utilizados na implementação do *flow rack* linear e na metodologia empregada para coletar as informações pré e pós projeto. O presente projeto foi realizado em uma empresa sediada no interior de São Paulo caracterizada pela produção de eletrodomésticos da linha branca, no segundo semestre do ano de 2023.

#### 3.1 Requisitos do *flow rack* e sua implementação

O desenvolvimento de um *flow rack* eficiente e adequado às necessidades da operação requer uma consideração cuidadosa de uma série de requisitos básicos. Entre os principais requisitos, a segurança do sistema é uma prioridade indiscutível. Ele deve ser projetado para eliminar quaisquer movimentos críticos ou perigosos nas proximidades dos funcionários, podendo incluir a instalação de barreiras ou dispositivos de segurança para garantir que nenhuma peça ou carga represente um risco para a integridade dos colaboradores.

A necessidade de um sistema de acionamento pneumático é um ponto importante, principalmente quando o *flow rack* é longo. Sistemas pneumáticos são utilizados para elevar a altura das caixas, permitindo que as caixas se movam por gravidade ao longo dos trilhos, contribuindo para uma logística interna eficiente e reduzindo a necessidade de energia adicional para movimentar as caixas pelo sistema. Além disso, a altura controlada na qual a caixa chega para o colaborador ajuda a evitar acidentes e lesões, evitando riscos ergonômicos e seguindo a NR17 que explana todas as normas de movimentações ergonômicas e o guideline interno da companhia.

O ponto de vista financeiro também é decisivo, gerando a necessidade de uma seleção cuidadosa de materiais e componentes que proporcionarão um bom desempenho com um preço acessível, maximizando o retorno do investimento e principalmente, utilizando os materiais rotineiros que o time de produção e construção já está ambientado.

Outro requisito importante é o comprimento do *flow rack*, que liga a linha de produção à rua logística. Essa dimensão precisa manter a padronização em toda a linha e garantir que os produtos se movam de forma consistente e eficiente, sem obstruções ou interrupções.

Outro fator determinante é a capacidade do *flow rack*, representada pelo bordo da linha. Ele deve ser capaz de suportar um determinado número de caixas e garantir o abastecimento

ininterrupto da linha de produção a partir da logística interna do setor. Isso evita paradas e gargalos de produção, contribuindo para a eficiência do processo.

Também como requisito, todas as atividades realizadas pelos colaboradores devem estar de acordo com a política ergonômica da empresa, que visa minimizar lesões e acidentes de trabalho. O projeto do equipamento deve levar em consideração a altura e o alcance do colaborador, bem como a disposição dos produtos no sistema para garantir que as tarefas sejam executadas com segurança e sem esforço físico elevado, seguindo assim o *guideline* interno de ergonomia.

### **3.2 Sistemas do *flow rack***

O próprio *flow rack* possui dois sentidos de movimentação da caixa. Inicialmente, a caixa que contém as peças a serem montadas neste local de trabalho é colocada em uma altura elevada sobre o equipamento, para que a força da gravidade atue e transporte a caixa para o próximo sistema. Devido ao tamanho da caixa e ao comprimento do *flow rack*, será necessária a inserção de um elevador durante a alimentação, a fim de elevar a caixa a uma altura para que a mesma ganhe novamente energia potencial gravitacional e desça. A seguir, o *flow rack* será separado por sistemas para uma melhor explicação teórica.

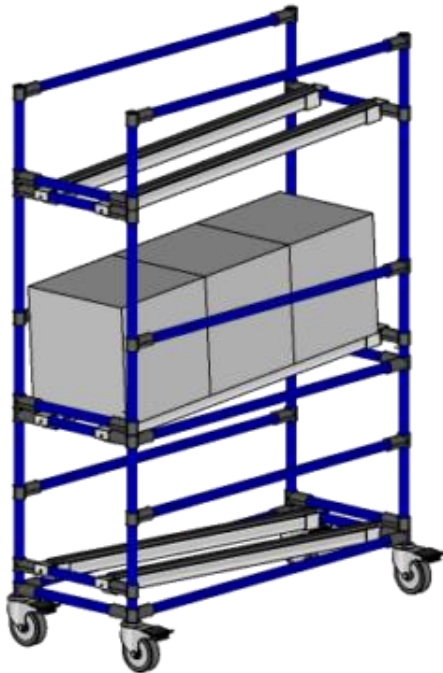
#### **3.2.1 Estoque de caixas**

O estoque de caixas as armazenam em um nível superior da máquina, enquanto a secção inferior gere caixas vazias à espera de serem trocadas. A estrutura desse sistema é feita de metalon pela sua resistência e estabilidade. Trilhos roletados são escolhidos para guiar as caixas com precisão e suavidade, permitindo que elas se movam por gravidade, conforme a Figura 8. A escolha de materiais robustos visa garantir a durabilidade e confiabilidade do sistema.

#### **3.2.2 Elevador**

O elevador tem a função de elevar o nível das caixas cheias e manter uma altura propensa para que as mesmas alcancem a altura necessária do sistema seguinte, conforme é possível se basear pela Figura 9. Para suportar esta função, a estrutura é feita em metalon, o que proporciona a resistência e estabilidade necessárias. Eixos, *pillow blocks* e rolamentos suportam as cargas, levantamento e controlando as caixas. Além disso, dois cilindros pneumáticos são utilizados para realizar o movimento vertical do sistema. Trilhos e cantoneiras são usados para guiar e limitar as caixas durante todo o processo.

**Figura 8.** Sistema semelhante ao conceito necessário para o estoque de caixas.



Fonte: Flexpipe, 2021.

**Figura 9.** Elevador de caixas semelhante ao necessário no projeto.



Fonte: Box Lift, 2019.

### 3.2.3 Estoque do meio de caixas

Esse sistema se comporta de forma semelhante ao primeiro estoque, armazenando e transferindo caixas cheias para o sistema seguinte na parte superior e direcionando as caixas vazias para o estoque na parte inferior. A utilização de tubos de aço inoxidável para a construção deste sistema resulta em sua leveza, fácil manutenção, mobilidade e baixo custo, sendo um sistema também semelhante à Figura 8. Para garantir a correta orientação das caixas nos trilhos, também são utilizadas cantoneiras como já visto anteriormente.

Neste e em todos os sistemas anteriores, suas laterais são revestidas com policarbonato, visando aumentar a segurança da linha de produção e evitar que qualquer sujeira entre em contato com as peças a serem montadas.

### 3.2.4 Dosador

Tem a função de controlar o fluxo de caixas e permitir que apenas uma seja colocada no garçom por vez. Para apoiar esta função, o dosador é feito de chapas de aço dobradas que proporcionam estabilidade e controle preciso. A escolha de um cilindro pneumático permite um controle do sistema alinhado com todo o restante da máquina.

### 3.2.5 Garçom

O garçom é responsável por movimentar o berço horizontalmente, direcionando-o para a posição correta para que o funcionário alcance a caixa cheia e devolva a caixa vazia para a posição adequada. Sua construção também é em metalon, o que oferece resistência e estabilidade. São utilizados dois cilindros pneumáticos, um para movimentação vertical do berço e outro para sua própria movimentação horizontal. Guias lineares com seus patins, rolamentos e eixos são utilizados para garantir movimento linear e controlado, minimizando atrito, vibração e limitando a movimentação do berço, como é possível identificar na Figura 10.

### 3.2.6 Berço

O berço é o local onde a caixa fica armazenada enquanto se desloca próximo ao colaborador. Para garantir um movimento suave e firme, o berço também é construído com metalon. Trilhos roletados, cantoneiras e rolamentos são utilizados para guiar as caixas e limitar seu movimento sobre os trilhos, permitindo alguns ajustes no projeto da máquina.

A sua movimentação vertical é orientada pelo cilindro vertical presente no garçom, enquanto sua movimentação horizontal segue o mesmo. Para a sua angulação, o centro de massa é deslocado no sentido do colaborador e a regulação desse ângulo é feita pela limitação de um rolamento simples presente na extremidade inferior direita do berço, juntamente com uma cantoneira presente também na estrutura externa desse conjunto.

**Figura 10.** Estrutura similar ao garçom e berço.



Fonte: Famak, 2018.

### **3.3 Método para análise de custos**

A avaliação da análise de custos visa analisar de maneira completa os custos associados à aquisição do *flow rack* por meio de fornecedores externos, em contraste com a alternativa de realizar a construção interna da máquina.

Para a avaliação dos custos vinculados à obtenção do *flow rack* de fornecedores externos, cotações serão abertas, detalhando com precisão as especificações técnicas dos dispositivos desejados. Adicionalmente, serão identificadas as empresas a serem contatadas, levando em consideração o histórico de desempenho, capacidade em atender as exigências do projeto e o prazo para a entrega.

No que diz respeito à avaliação dos custos associados à construção interna do *flow rack*, será feito um levantamento de preços dos componentes necessários com base em dados obtidos a partir da última construção realizada. Este levantamento irá incluir não apenas o custo material, mas também uma estimativa das horas de engenharia do projeto e as horas de construção pela equipe especializada.

O método que apresentar inicialmente, o prazo de entrega viável juntamente com o menor custo, será escolhido.

### **3.4 Fluxograma metodológico do projeto e implementação**

#### **3.4.1 Estudo de materiais e especificações**

- Realização de um levantamento abrangente sobre os materiais, componentes e especificações necessárias para o projeto do *flow rack*;
- Análise das características que atendam aos requisitos ergonômicos, de segurança e eficiência operacional.

#### **3.4.2 Análise de custos**

- Realização uma avaliação entre os custos de compra com fornecedor e a construção interna, considerando a melhor viabilidade.

#### **3.4.3 Escolha do método entre compra e projeto interno**

Se a opção for pela compra com fornecedor:

- Alinhamento com outras áreas e a linha de produção para garantir integração eficiente;
- Início do processo de instalação da máquina conforme especificações.

Se a escolha for pela construção interna:

- Início do projeto via Autodesk Inventor, considerando requisitos técnicos e materiais;
- Desenvolvimento do projeto conforme especificações definidas; execução de simulações no próprio software de desenho para conferir todas as movimentações presentes e em paralelo, alinhamentos com outras áreas e a linha de produção em questão;
- Execução da construção interna;
- Instalação da máquina conforme especificações.

#### **3.4.4 Comparação de dados de produtividade**

- Coleta de dados de produtividade antes e depois da implementação do *flow rack*;
- Análise comparativa para avaliar o impacto nas operações e eficiência da linha de produção.

#### **3.4.5 Avaliação com colaboradores**

- Análise da percepção dos funcionários sobre as mudanças no sistema de alimentação da linha.

## 4. RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados e as discussões necessárias para explicar o motivo de cada resultado e as decisões tomadas durante toda a execução do projeto. É importante destacar que não foi encontrado nenhum estudo que tenha realizado uma análise sobre a implementação do equipamento em questão como meio de abastecimento para a linha de produção.

### 4.1 Análise entre os custos de comprar ou construir um *flow rack*

A análise de custos desempenhou o papel central na escolha entre a aquisição do *flow rack* de um fornecedor ou sua construção interna, tendo em vista que a segunda opção se mostrou aproximadamente 63% mais barata, considerando toda a parte mecânica e pneumática, incluindo painéis e laudos de segurança. A avaliação considerou não apenas os custos iniciais, mas também os benefícios esperados, como possíveis melhorias e redução de custos operacionais. A construção interna oferece economias a curto prazo, além de proporcionar maior controle sobre o processo e permitir a personalização do *flow rack* de acordo com as necessidades da linha de produção.

Adicionalmente, a manutenção se mostra de forma mais eficiente e econômica, uma vez que a equipe de engenharia e manutenção pode lidar prontamente com quaisquer problemas ou ajustes necessários no *flow rack*, reduzindo o tempo de inatividade e seus custos, tendo em vista que conhecerão cada detalhe e especificidade da máquina.

### 4.2 Projeto e funcionalidades do *flow rack*

A Figura 11 apresenta o projeto final do *flow rack*, após a realização de todas as simulações mecânicas de movimento da máquina. Ele também se adequa às necessidades logísticas e ergonômicas impostas pela NR17 e pelo *guideline* interno.

O estoque de caixas mostrou-se robusto e capaz de suportar a demanda de bordo de linha necessária. Com sua concepção estrutural e escolha de materiais, houve uma confiabilidade maior para que o sistema se portasse de forma eficiente e segura, idem para o estoque do meio de caixas.

O elevador, componente essencial para garantir a movimentação das caixas conforme a atuação da força gravitacional, foi projetado de maneira simples, atendendo as necessidades



operacionais e permitindo diversas adaptações caso fosse necessário durante a implementação do *flow rack*.

O dosador, além de cumprir sua função principal de garantir a inserção controlada de uma única caixa no garçom, mostrou-se expansível para outras máquinas na fábrica, promovendo uma abordagem sistêmica e eficiente.

O garçom e o berço, sistemas responsáveis pela movimentação horizontal do berço e pelo alojamento seguro das caixas próximo aos colaboradores respectivamente, mostraram-se simples, seguros e de fácil construção e manutenção.

**Figura 11.** Projeto final do *flow rack*.



Fonte: Do autor (2023).

### **4.3 Planejamento da implementação do *flow rack***

O pilar de WO, *Workplace Organization*, desempenhou um papel fundamental na implementação do *flow rack* na linha operacional. Foram criadas ordens de trabalho detalhadas para cada fase de movimentação, estabelecendo os suportes necessários, cronogramas de trabalho e responsabilidades das equipes multifuncionais envolvidas, além da utilização de algumas ferramentas como o 5S, kanban e andon.

O pilar de LCS também desempenhou um papel fundamental, controlando toda a questão de movimentação do *flow rack* e das máquinas e componentes da linha que seriam impactados com a instalação da máquina.

#### **4.4 Avaliação dos resultados pós- implementação**

Após a implementação do sistema de flow rack, o pilar de SAF constatou a eliminação dos riscos altos de segurança relacionados ao abastecimento de linha. As medidas preventivas, como dispositivos de segurança, seguimento de normas regulamentadoras, considerações ergonômicas e treinamentos regulares, foram eficazes na promoção de um ambiente de trabalho mais seguro, refletindo o comprometimento com a segurança ocupacional e o bem-estar dos colaboradores.

Após a implementação dos flow racks, a equipe de montagem realizou uma coleta de dados ao longo de três semanas. Os resultados revelaram um aumento significativo na média de produção, atingindo aproximadamente 23% e observando o restante das perdas em tópicos não abordados no projeto, como atividades que não agregam valor e falhas em instalações.

Segundo o *team leader* da área, desde a implementação dos flow racks, eficiência operacional foi otimizada, sem atrasos de entrega de peças e a organização do espaço de trabalho renovou a área.

#### **4.5 Identificação de desafios e medidas corretivas**

Durante a fase de projeto mecânico, um dos principais desafios encontrados foi a complexidade do sistema. O *flow rack* envolve uma variedade de componentes, desde estruturas metálicas até sistemas pneumáticos e de movimentação. A coordenação e a integração desses elementos demandaram um planejamento meticuloso. Para superar esse desafio, foram adotadas simulações mecânicas no próprio software de desenho, permitindo a real percepção de movimento da máquina e conversas com o time, buscando *insights* e ideias para contornar problemas.

A etapa de construção também trouxe desafios. A aquisição dos materiais no tempo hábil e os ajustes minuciosos garantiram a perfeita construção dos sistemas. Além disso, garantir a conformidade com as normas regulamentadoras de segurança foi uma preocupação constante. Para abordar essas questões, medidas corretivas incluíram a realização de *gembas* com o time de segurança semanalmente, além de inspeções regulares e a capacitação da equipe de construção em práticas de segurança.

A instalação do *flow rack* na linha de produção apresentou desafios relacionados ao transporte, alinhamento da máquina na linha, necessidade de instalação fora do horário de produção e mais alguns ajustes mecânicos para a movimentação correta do berço sobre o

produto. Medidas corretivas incluíram a criação de um plano detalhado de instalação, que envolveu a definição de datas e horários ideais para minimizar o impacto na produção. Também foram realizados testes de desempenho e segurança antes da implementação total, garantindo que o *flow rack* atendesse às expectativas.

## 5. CONCLUSÃO

Em síntese, o avanço da implementação da metodologia juntamente com suas ferramentas e máquinas alcançou com êxito seus objetivos, apresentando claras mudanças positivas na linha de produção incluindo segurança, eficiência operacional e padronização. A movimentação por gravidade das caixas facilitou a entrega dos componentes na linha de produção, contribuindo para um fluxo contínuo e eficaz.

A introdução do *flow rack* provou ser altamente bem-sucedida na otimização da linha de produção. As melhorias tangíveis incluem a racionalização da movimentação de caixas, um aumento notável na produtividade e uma redução significativa nos tempos de parada por falta de peças. Essas realizações são um testemunho do êxito na busca por um ambiente de produção mais ágil, eficaz e previsível.

A investigação das características necessárias do *flow rack* forneceu uma base sólida para o projeto destes sistemas como soluções ideais para otimizar a alimentação da linha de produção. A análise de custos revelou que a construção interna do *flow rack* era a escolha mais vantajosa, levando a economias financeiras e facilidades futuras de manutenção.

O planejamento e a implementação do *flow rack* demonstrou aumentos percentuais significativos na produção e melhorias notáveis na segurança no local de trabalho, validando a eficácia das mudanças implementadas, juntamente com a satisfação dos colaboradores.

A implementação do *flow rack* foi acompanhada de medidas ergonômicas e de segurança rigorosas, o que resultou em um ambiente de trabalho mais seguro e confortável para os colaboradores. Lesões e acidentes relacionados à manipulação de caixas foram significativamente reduzidos, demonstrando o compromisso com a saúde e segurança na companhia.

## 6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. DAS N. et al. Modelagem e simulação de uma proposta de estoque flow rack para otimizar o layout do armazém de medicamentos e reduzir os desperdícios. **Revista Produção Online**, v. 19, n. 3, p. 952–980, 16 set. 2019.

ANGGRAHINI, D.; PRASETYAWAN, Y.; INDRIYANI DIARTIWI, S. Increasing Production Efficiency using Karakuri Principle (A Case Study in Small and Medium Enterprise). **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 852, n. 1, p. 012117, 1 jul. 2020.

BERTHOLEY, F. et al. Méthodes d'amélioration organisationnelle appliquées aux activités des établissements de transfusion sanguine (ETS): Lean manufacturing, VSM, 5S. **Transfusion Clinique et Biologique**, v. 16, n. 2, p. 93–100, maio 2009.

BOX LIFT. **Box Lift | S Shape Platform Lifts | Platform Elevators |Tote Lift**. Disponível em: <<https://www.nerak-uk.com/product/s-shape-platform-elevator/>>. Acesso em: 7 dez. 2023.

BROWN, S.; SQUIRE, B.; BLACKMON, K. The contribution of manufacturing strategy involvement and alignment to world-class manufacturing performance. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 27, n. 3, p. 282–302, 6 mar. 2007.

COUTINHO, T. **Poka Yoke? Saiba os benefícios e como aplicar na sua empresa**. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/o-que-e-poka-yoke>>. Acesso em: 29 out. 2023.

DE FELICE, F. et al. Previous Studies and Differences Between Lean Management and World Class Manufacturing. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 18, n. 06, p. 1941–1966, nov. 2019.

EID, R. Factors affecting the success of world class manufacturing implementation in less developed countries: The case of Egypt. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 20, n. 7, p. 989–1008, 4 set. 2009.

FAMAK. **Flowrack karakuri**. Disponível em: <<http://famak.com.br/application/flowrack-karakuri-2/>>. Acesso em: 7 dez. 2023.

FERNANDEZ, J. A. B. Application of Lean Manufacturing Tools (5S, Andon and Standard Time) to Increase Productivity in the Production Area of a Metalworking Company. 2023.

FLEXPIPE. **Modular Flow Racks - Custom Gravity Racks**. Flexpipe, 2021. Disponível em: <[https://www.flexpipeinc.com/us\\_en/structure/flowrack/](https://www.flexpipeinc.com/us_en/structure/flowrack/)>. Acesso em: 7 dez. 2023

GOMES, D. F.; LOPES, M. P.; DE CARVALHO, C. V. Serious Games for Lean Manufacturing: The 5S Game. **IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologias del Aprendizaje**, v. 8, n. 4, p. 191–196, nov. 2013.

JACQUELINE. **Gravity Flow Racks 101: Everything You Should Know | REB**. **REB Storage Systems International**, 20 abr. 2016. Disponível em: <<https://rebstorage.com/articles-white-papers/gravity-flow-rack-right-operation/>>. Acesso em: 6 dez. 2023

KITSUNE. **Princípios Mais Importantes Sistema Toyota de Produção (TPS)**. Disponível em: <<https://kitsuneassessoriaetreinamento.wordpress.com/2015/03/23/principios-mais-importantes-sistema-toyota-de-producao-tps/>>. Acesso em: 29 out. 2023.

KUMAR, R. et al. Influence and Application of Poka-Yoke Technique in Automobile Manufacturing System. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 1136, n. 1, p. 012028, 1 jun. 2021.

LACERDA, A. P. D. S. et al. Comparativo Entre as Metodologias Lean Manufacturing, Seis Sigma E WCM. **IDAAM - Área de Exatas e Tecnológicas**, p. 10, 29 jun. 2020.

OHRA. **Dynamic racking systems | Flow racking | OHRA**. Disponível em: <<https://www.ohra.net/products/dynamic-racking-systems/>>. Acesso em: 6 dez. 2023.

PETRILLO, A.; DE FELICE, F.; ZOMPARELLI, F. Performance measurement for world-class manufacturing: a model for the Italian automotive industry. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 30, n. 7–8, p. 908–935, 19 maio 2019.

POWELL, D. J. Kanban for Lean Production in High Mix, Low Volume Environments. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p. 140–143, 2018.

RISHI, J. P. et al. Implementing the Lean Framework in a Small & Medium & Enterprise (SME) – Acase Study in Printing Press. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 376, p. 012126, jun. 2018.

SARI, Z.; SAYGIN, C.; GHOUALI, N. Travel-time models for flow-rack automated storage and retrieval systems. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 25, n. 9–10, p. 979–987, maio 2005.

SHAH, S. N. R. et al. State-of-the-art review on the design and performance of steel pallet rack connections. **Engineering Failure Analysis**, v. 66, p. 240–258, ago. 2016.

UHLMANN, I. R. et al. Aplicação do Jidoka em um processo SMT: estudo de caso. **Exacta**, v. 18, n. 3, p. 459–474, 10 jul. 2020.

UKEY, P.; DESHMUKH, A.; ARORA, A. IMPLEMENTATION OF LEAN TOOLS IN APPAREL INDUSTRY FOR IMPROVING PRODUCTIVITY. **Proceedings on Engineering Sciences**, v. 3, n. 2, p. 247–252, 14 maio 2022.

WORLEY, J. M.; DOOLEN, T. L. The role of communication and management support in a lean manufacturing implementation. **Management Decision**, v. 44, n. 2, p. 228–245, 1 fev. 2006.

YADAV, O. P. et al. Lean Implementation and Organizational Transformation: A Literature Review. **Engineering Management Journal**, v. 29, n. 1, p. 2–16, 2 jan. 2017.