

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

Yago Ronan Messias

Redução do desperdício na logística interna: Uma aplicação de Lean em uma empresa de  
automação industrial.

FLORIANÓPOLIS

2023

Yago Ronan Messias

Redução do desperdício na logística interna: Uma aplicação de Lean em uma empresa de automação industrial.

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia de Produção Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador(a): Prof.(a) Ricardo Villarroel Davalos, Dr.(a)

FLORIANÓPOLIS

2023

Messias, Yago Ronan

Redução do desperdício na logística interna: Uma aplicação de Lean em uma empresa de automação industrial. / Yago Ronan Messias ; orientador, Ricardo Villarroel Dávalos, 2023.

98 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Produção Mecânica, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Mecânica. 2. Logística Interna. 3. Sistema de Transporte. 4. Lean Manufacturing. 5. Desperdícios. I. Dávalos, Ricardo Villarroel. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Produção Mecânica. III. Título.

Yago Ronan Messias

Redução do desperdício na logística interna: Uma aplicação de Lean em uma empresa de automação industrial.

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Mecânico e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia de Produção Mecânica.

Florianópolis, 26 de junho de 2023.

---

Coordenação do Curso

**Banca examinadora**

---

Prof.(a) Ricardo Villarroel Davalos, Dr.  
Orientador(a)

Prof.(a) Glauco Garcia Martins Pereira da Silva, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Matheus Cardoso Pires, Dr.(a)  
WEG Group



## AGRADECIMENTOS

Dedico esse trabalho à dedicação que minha família teve em me garantir o suporte necessário durante o período da graduação. Foram longos anos, em que cresci como pessoa, amadureci e me sinto preparado para os próximos desafios que estão por vir.

Agradeço aos meus amigos Jânio Grosskopf e Giancarlo Chelone, pelo período de estudos, desenvolvimento e loucuras durante a graduação.

Dedico não só esse trabalho, mas também, muitas das minhas conquistas ao longo da graduação, para a minha eterna amiga Ana Carolini, presente que a UFSC que deu e companhia que atravessou comigo os melhores e os piores momentos da graduação.

Agradeço a todos os amigos que eu obriguei a ler esse trabalho, na busca por melhorias e pontos que eu pudesse aprimorar. Obrigado Livia!

Agradeço também aos professores, em especial aqueles que acreditaram no meu potencial e hoje, se tornaram grandes amigos que quero levar para minha vida. Prof. Davalos, meu orientador, que por muitas vezes me auxiliou também durante a graduação e me permitiu experienciar a monitoria.

Agradeço também a WEG, empresa na qual tive a oportunidade de realizar meu estágio supervisionado final e hoje, sou colaborador.





## RESUMO

O abastecimento das linhas de produção e o transporte eficiente de produtos são pontos primordiais para a garantia do fluxo produtivo puxado. O *Lean Manufacturing* apresenta ferramentas e métodos para melhorar a logística interna nas empresas, sendo uma delas, a utilização de bordos de linha e comboios de transporte para redução do desperdício produtivo, vindo da movimentação desnecessária dos operadores. Este trabalho apresenta na forma de estudo de caso, uma proposta de procedimento para alocação e dimensionamento de materiais ao bordo de uma linha produtiva de cartões eletrônicos. O trabalho propõe a utilização de um conjunto de ferramentas do *Lean Manufacturing*, voltadas à criação de fluxo puxado, como sistema *kanban* e *mizusumashi* para o abastecimento, sistemas de acompanhamento por gestão visual e elaboração do Plano para cada peça – PFEP (*Plan for Every Part*) como forma de apoiar a elaboração da roteirização de comboios de transporte e alocação de materiais em um bordo de linha e por consequência, reduzir os desperdícios relacionados ao transporte e movimentação de materiais. Para isso, foi necessário analisar de maneira crítica a atual logística interna da empresa, com o objetivo de identificar o método o qual era utilizado para dimensionar o abastecimento às linhas de produção e assim, propor melhorias, considerando a implantação futura de uma nova linha de produção e alternativas de layout para a fábrica. Para atingir o objetivo, foram mapeadas as movimentações de material e ferramentas ao longo da fábrica para a determinação das rotas do comboio logístico, bem como a utilização de dados históricos a respeito do consumo dos produtos fabricados. O trabalho foi resultado de um projeto com quatro meses e duração e como resultados, obteve-se um aumento na capacidade de produção com a adição de novas máquinas, porém com uma redução no número de movimentações desnecessárias dos operadores, a simplificação dos fluxos logísticos.

**Palavras-chave:** Logística Interna; *Kanban*; *Mizusumashi*; Plano para cada peça.



## ABSTRACT

The supply of production lines and efficient product transportation are crucial points for ensuring a smooth pull production flow. *Lean Manufacturing* presents tools and methods to improve internal logistics in companies, one of which is the use of line-side racks and transport trains to reduce production waste resulting from unnecessary operator movements. This work presents a case study proposing a procedure for the allocation and sizing of materials to the line-side rack of an electronic card production line. The study suggests the use of a set of *Lean Manufacturing* tools focused on creating a pull flow, such as kanban system and *mizusumashi* for replenishment, visual management tracking systems, and the Plan for Every Part (PFEP) to support the development of transport train routing and material allocation on a line-side rack. To achieve this, a critical analysis of the company's current internal logistics was necessary to identify the method used for sizing the supply to the production lines and propose improvements considering the future implementation of a new production line and layout alternatives for the factory. Material and tool movements throughout the factory were mapped to determine the logistic train routes, along with the use of historical data on product consumption. As a result, there was an increase in production capacity with the addition of new machines, accompanied by a reduction in unnecessary operator movements and simplification of logistic flows.

**Keywords:** *Kanban; Lean Manufacturing; Just-in-Time.*

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. PRINCÍPIOS DO LEAN THINKING	26
FIGURA 2. 7 TIPOS DE DESPERDÍCIOS LEAN	27
FIGURA 3. MODELO GERAL DE ELIMINAÇÃO DE MUDA	28
FIGURA 4. EXEMPLO DE QUADRO INTERATIVO PARA GESTÃO VISUAL	30
FIGURA 5. CASA TPS	31
FIGURA 6. <i>KAIZEN</i> DE FLUXO X <i>KAIZEN</i> DE PROCESSO	32
FIGURA 7. APLICAÇÃO FIRST IN, FIRST OUT	34
FIGURA 8. BORDO DE LINHA FLOW RACK.	35
FIGURA 9. <i>MIZUSUMASHI</i> OU COMBOIO LOGÍSTICO	36
FIGURA 10. INTERFACE DO BORDO DE LINHA E OPERAÇÃO DO <i>MIZUSUMASHI</i> .	37
FIGURA 11. EXEMPLO DE LAYOUT POSICIONAL	40
FIGURA 12. EXEMPLO DE LAYOUT POR PROCESSO	41
FIGURA 13. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	48
FIGURA 14. COMPOSIÇÃO DE UM DRIVE ELETRÔNICO	51
FIGURA 15. COMPONENTE PTH X COMPONENTE SMD	52
FIGURA 16. FLUXOGRAMA ORGANIZACIONAL - MONTAGEM DE CARTÕES ELETRÔNICOS	54
FIGURA 17. QUADRO DE NIVELAMENTO PARA AS LISTAS DE MATERIAIS	55
FIGURA 18. COMPONENTE PRÉ-FORMADO E NÃO PRÉ-FORMADO.	56
FIGURA 19. GIGA DE TESTE	57
FIGURA 20. CONFIGURAÇÃO DO ESPAÇO FÍSICO - TESTE FUNCIONAL	58
FIGURA 21. OPERAÇÃO DA CÉLULA DE TESTE FUNCIONAL	59
FIGURA 22. LINHA DE MONTAGEM SMD	60
FIGURA 23. MOVIMENTAÇÃO DO MATERIAL APÓS MONTAGEM SMD	61
FIGURA 24. MOVIMENTAÇÕES NA MONTAGEM PTH	62
FIGURA 25. MAPEAMENTO DOS PONTOS DE ATIVIDADE - MONTAGEM PTH	63
FIGURA 26. SEQUÊNCIA DE PROCESSOS NA MONTAGEM PTH	64
FIGURA 27. POSTO DE INSERÇÃO DE COMPONENTES PTH	67
FIGURA 28. DISTRIBUIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E MÁQUINAS – LF6	68
FIGURA 29. LAYOUT PROPOSTO PARA A LF6 - VISTA SUPERIOR	68
FIGURA 30. PROCEDIMENTO PARA DIMENSIONAMENTO DO KANBAN	69
FIGURA 31. PROCEDIMENTO ADOTADO - SEGUNDA ETAPA	71
FIGURA 32. CURVA ABC EXEMPLIFICADA	72
FIGURA 33. OPÇÕES DE CAIXAS – BORDO DE LINHA	74

FIGURA 34. BORDO DE LINHA EM FLOW RACK	75
FIGURA 35. BORDO DE LINHA - LF6	76
FIGURA 36. INFORMAÇÕES LISTADAS NO PFEP	77
FIGURA 37. ETIQUETA KANBAN	77
FIGURA 38. PONTOS DE INTERAÇÃO DO COMBOIO LOGÍSTICO	80
FIGURA 39. ZONA DE MOVIMENTAÇÃO - CORREDORES	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
FIGURA 40. ROTA DE AVALIAÇÃO Nº 1	85
FIGURA 41. ROTA DE AVALIAÇÃO Nº 2	86
FIGURA 42. DIAGRAMA DE ESPAGUETE – FLUXO SEM <i>MIZUSUMASHI</i>	88
FIGURA 43. DIAGRAMA DE ESPAGUETE – FLUXO COM <i>MIZUSUMASHI</i>	89
FIGURA 44. ABASTECIMENTO – CÉLULA DE TESTE FUNCIONAL	91
FIGURA 45. VAGÃO DO COMBOIO LOGÍSTICO	92
FIGURA 46. IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE PARADA DO COMBOIO LOGÍSTICO	92
FIGURA 47. CONTENTOR DE COMPONENTES ETIQUETADO – LF6	93
FIGURA 48. ETIQUETAS UTILIZADAS NAS LINHAS DE PRODUÇÃO (EXCETO LF6).	94

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. APLICAÇÕES DOS TIPOS DE MODELO DE ROTEIRIZAÇÃO, ENCONTRADOS NA LITERATURA.	38
TABELA 2. AGRUPAMENTO DE INFORMAÇÕES PARA O PFEP	43
TABELA 3. CLASSIFICAÇÃO DA RELEVÂNCIA DOS DESPERDÍCIOS NOS PROCESSOS DE MONTAGEM PTH	65
TABELA 4. DEMANDA X EFEITO DA FERRAMENTA LEAN.	66
TABELA 5. DIMENSÕES DAS CAIXAS DO BORDO DE LINHA	74
TABELA 6. TABELA DE-PARA - ATIVIDADES PTH	79
TABELA 7. DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE INTERFACE DO COMBOIO LOGÍSTICO	80
TABELA 8. NÚMERO DE PARADAS POR CORREDOR	84
TABELA 9. TOMADA DE TEMPOS - PERCURSO TOTAL EM VAZIO	87
TABELA 10. TOMADA DE TEMPOS - ATIVIDADES	87

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. CLASSIFICAÇÃO ABC - CONSUMO MENSAL

73

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

LIM - Linha Integrada de Manufatura  
PFEP - Plan for Every Part  
FIFO - First In, First Out  
LIFO - Last In, First Out  
AOI - Automatic Optical Inspection  
SPI - Solder Paste Inspection  
CPC - Célula de Preparação de Componentes  
ERP - Enterprise Resource Planning  
WSFM - WEG Shop Floor Management  
PCI - Placa de Circuito Impresso  
LF - Linha Flexível  
LR - Linha Rápida  
MPT - Montagem Pós Teradyne  
PCP - Planejamento e Controle da Produção  
JIT - Just in Time  
SMD - Surfaced Mounted Device  
PTH - Pin Through Hole

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO:</b> .....	<b>20</b>
1.1.	PROBLEMA DE PESQUISA: .....	21
1.2.	OBJETIVOS: .....	22
1.3.	JUSTIFICATIVA: .....	22
1.4.	ESTRUTURA DO TCC: .....	23
<b>2.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA:</b> .....	<b>25</b>
2.1.	<i>LEAN MANUFACTURING</i> ..... <b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>	
2.2.	OS 7 DESPERDÍCIOS DO <i>LEAN MANUFACTURING</i> : .....	26
2.3.	FERRAMENTAS DA PRODUÇÃO ENXUTA: .....	28
2.3.1.	GESTÃO VISUAL: .....	29
2.3.2.	JUST-IN-TIME: .....	30
2.3.3.	<i>KAIZEN</i> : ..... <b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>	
2.3.4.	BORDO DE LINHA: .....	33
2.3.5.	<i>MIZUSUMASHI</i> : .....	35
2.4.	LAYOUT FABRIL OU ARRANJO FÍSICO: .....	39
2.4.1.	ARRANJO DE POSIÇÃO FIXA: .....	39
2.4.2.	ARRANJO OU LAYOUT FUNCIONAL: .....	40
2.4.3.	LAYOUT POR PRODUTO: .....	41
2.4.4.	LAYOUT CELULAR: .....	42
2.5.	PFEP - PLANO PARA CADA PEÇA: .....	42
<b>2.6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS:</b> .....	<b>45</b>
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA APLICADA:</b> .....	<b>47</b>
3.1.	MÉTODO DE PESQUISA: .....	47
3.2.	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO: .....	48
3.3.	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO: .....	49
<b>4.</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO:</b> .....	<b>51</b>
4.1.	DESCRIÇÃO DA EMPRESA: A WEG AUTOMAÇÃO .....	51
4.2.	COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS .....	52
4.3.	DESCRIÇÃO OPERACIONAL DA EMPRESA: .....	53
4.3.1.	ÁREAS DA EMPRESA: .....	54
4.3.2.	CENTRAL DE IMPRESSÕES .....	55

4.3.3.	CÉLULA DE PREPARAÇÃO DE COMPONENTES.....	56
4.3.4.	CÉLULA DE TESTE FUNCIONAL .....	57
4.4.	ZONAS OPERACIONAIS.....	59
4.4.1.	MONTAGEM SMD .....	59
4.4.2.	MONTAGEM PTH .....	61
4.5.	LAYOUT DA LINHAS DE MONTAGEM PTH.....	63
4.6.	DIMENSIONAMENTO DE <i>KANBANS</i> .....	69
4.7.	CÁLCULO DA QUANTIDADE DE CAIXAS .....	74
4.8.	ELABORAÇÃO DO PLANO PARA CADA PEÇA.....	76
4.9.	ROTAS DE ABASTECIMENTO DAS LINHAS .....	78
4.10.	CÁLCULO DO TEMPO DE CICLO DAS ROTAS.....	87
4.11.	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	88
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>95</b>
5.1.	CONCLUSÕES .....	95
6.2.	TRABALHOS FUTUROS .....	96
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>97</b>



## 1. INTRODUÇÃO:

Em um mercado cada vez mais competitivo e globalizado, a flexibilidade torna-se fator indispensável na busca pela geração de valor ao cliente. A partir de um processo produtivo flexível, é possível atravessar períodos de mudanças e fornecer para a empresa a capacidade de responder de forma mais rápida às variações do mercado. Na visão do *Lean*, o planejamento das linhas de produção deve ser guiado pela premissa de manter baixos níveis de estoque e eliminar os desperdícios que acabam por não agregar valor ao produto final. O pensamento *Lean Manufacturing* acaba por auxiliar na busca pela flexibilidade no processo produtivo, ora que para alcançar um processo de produção flexível, é importante ter em mente a necessidade de simplificar processos, diminuir desperdícios e capacitar pessoas.

Atualmente, a empresa WEG vem ano após ano adotando novas práticas de melhoria e automação de processos, a fim de se manter como destaque na produção global de equipamentos eletromecânicos. Em 2021, a empresa recebeu o prêmio global do *Kaizen* Institute na categoria “excelência em produtividade”, com destaque pelo desenvolvimento e implantação de uma Linha Integrada de Manufatura (LIM). Tendo o *Lean Manufacturing* como filosofia direcionadora, a empresa busca desenhar seus processos sob uma ótica enxuta e integrada, utilizando em conjunto diversas ferramentas de gestão para atingir uma maior eficiência (KAIZEN INSTITUTE, 2021).

Entende-se a logística interna como um aspecto fundamental da gestão empresarial que envolve o planejamento, execução e controle do fluxo de bens, informações e pessoas dentro de uma empresa. Ter uma boa distribuição de recursos, ferramentas e pessoas dentro da empresa é crucial para uma logística de excelência, assim, de maneira direta, o alinhamento da logística interna é uma etapa importante após alterações de layout na empresa. (SALAVERRY, 2014)

É possível comparar a logística interna ao sistema cardiovascular de um organismo. Temos as artérias (rotas de abastecimento) fornecendo nutrientes (materiais e componentes necessários) e veias - retirando impurezas (recipientes e contentores vazios), de forma a manter as células do corpo (bordos de linha) saudáveis e providas do que precisam e quando preciso disso. As artérias e veias deste sistema (rotas de abastecimento) também são utilizadas para transferir sinais das células (tomadas de produção) para o sistema nervoso (departamento de controle de produção) com o nível de demanda de nutrientes (materiais e componentes no fluxo). (ELBERT, 2012)

Assim, uma finalidade da Logística Interna está em organizar e manter um sistema de gestão e abastecimento para as diversas peças, componentes, conjuntos e outros materiais que são utilizados na linha de produção. O desafio é encontrar a resposta para a seguinte questão:

Como desenhar um sistema logístico, o qual enxuto ao máximo, consiga garantir o fluxo mais efetivo de materiais dentro da fábrica?

Com a disseminação do *Lean Manufacturing* como a maneira de se “pensar enxuto”, ferramentas de gestão foram desenvolvidas ao longo das últimas décadas, voltadas a facilitar a implantação de um modelo de produção puxado, onde o valor “flui ao longo do processo” e permite que as atividades que não agregam valor ao produto sejam identificadas e reduzidas. (MAIA *et al*, 2011)

Com isso, propõe-se reduzir o número de transportes e movimentações desnecessárias, duas clássicas atividades que não adicionam valor ao processo, por meio da implementação de um sistema logístico para transporte de materiais numa fábrica de cartões eletrônicos e a organização das estantes de materiais.

#### 1.1. PROBLEMA DE PESQUISA:

O desafio de realizar a ampliação do espaço fabril sem deixar de atender a necessidade do mercado em que a empresa está inserida, põe à prova a flexibilidade dos processos operacionais e gerenciais de qualquer empresa. Assim, no trabalho apresentado, foi planejada a aquisição de uma nova linha de produção e, em meio a esse cenário, a revisão da logística interna foi imprescindível.

Como citado anteriormente, o planejamento da logística interna de uma empresa gira em torno da seguinte questão: Como desenhar um sistema logístico, o qual enxuto ao máximo, consiga garantir o fluxo mais efetivo de materiais dentro da fábrica?

O planejamento da logística interna, dimensionamento de linha de produção e níveis de estoque não são problemas recentes. Kadarusman e Nadvi (2012) destacam a complexidade no abastecimento eficiente de células de montagem de produtos eletroeletrônicos, em função da variação do ritmo dos operadores quando as células de trabalho apresentam pouca robotização.

Porém, ao considerar processos com um maior grau de automação, Çigal e Saygili (2022) demonstram que a aplicação de ferramentas de base estatística como o Lean Six Sigma, apresentam resultados positivos no controle de processos, reduzindo custos de produção a partir da redução do número de defeitos de montagem, ao mesmo tempo que reduziu o impacto ambiental ao diminuir a necessidade de reprocesso de placas eletrônicas e sucata.

Em sua obra “Melhoria Contínua nas Organizações”, Carvalho (2021) cita que as particularidades de cada atividade produtiva, aliado ao modelo de negócio adotado pela empresa, faz com que não exista um sistema logístico padrão, adaptável a todas as organizações. Entretanto, o que se possui são *frameworks* e ferramentas que podem apoiar o planejamento das

operações. Segundo Carvalho, a maioria dos gestores estão mais abertos a comprar uma solução ou uma ferramenta do que a gastar tempo em entender conceitos, princípios, modelos e teorias.

Por outro lado, surge o questionamento: Poderiam essas ferramentas serem aplicadas ao mapeamento de desperdícios ao longo de todo o fluxo produtivo de uma empresa? Além disso, quando utilizadas em conjunto, seriam elas concorrentes em relação aos recursos necessários e resultados esperados?

Essas foram questões motivadoras para esse trabalho, que busca dissociar-se tão somente da abordagem teórica, mas sim, aproximando de um cenário industrial real, procurando responder essas questões a partir do resultado observado no dia a dia da empresa.

## 1.2. OBJETIVOS:

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a redução dos desperdícios de fábrica a partir da aplicação de ferramentas do *Lean Manufacturing* no planejamento da logística interna e dimensionamento do espaço físico e recursos de uma linha de produção de cartões eletrônicos de uma empresa.

Como objetivos específicos definem-se:

- Identificar e eliminar desperdícios associados ao processo de abastecimento das linhas de produção;
- Desenvolver propostas para uma melhor utilização do espaço físico dos postos de trabalho, considerando a redução dos desperdícios;
- Desenvolver um modelo lógico para alocação de material ao bordo de linha e abastecimento de supermercado *Kanban* para a nova linha de produção;
- Realizar uma análise ABC das várias famílias de cartões eletrônicos para selecionar os materiais a serem alocados ao bordo de linha;
- Propor e implementar melhorias relacionadas a gestão visual no chão de fábrica;
- Redefinir o fluxo logístico e rotas de abastecimento, considerando implantação de comboio logístico e a instalação de novas máquinas e equipamentos.

## 1.3. JUSTIFICATIVA:

A decisão de expansão de uma planta industrial deve sempre estar embasada em um plano tático (SLACK *et al.*, 2002). Segundo Slack *et al.* (2002), o projeto do novo layout deve levar em conta e atender os objetivos estratégicos da empresa, como o aumento da capacidade produtiva ou o lançamento de um novo produto ao mercado.

No planejamento estratégico da WEG para o ciclo 2021-2026 consta a aspiração corporativa de crescimento contínuo e sustentável, visando taxas de crescimento históricas com disciplina em relação a alocação de capital.

Em seu trabalho, Oliveira (2015) aponta o conjunto de ferramentas do *Lean Manufacturing* como método para redução de problemas, agregando valor ao negócio das organizações.

A expansão da fábrica, por si só, atende ao anseio corporativo de aumentar sua capacidade produtiva. Entretanto, alcançar um crescimento contínuo, sustentável e austero em relação a alocação de capital se torna mais fácil no momento em que se tem um planejamento, métodos e ferramentas definidas.

Braga (2020) destaca a importância em dimensionar adequadamente os níveis de estoque em supermercados *kanban*. O sistema *kanban* tem um papel predominante na melhoria da programação e controle de produção, diminuindo os níveis de estoque e melhorando o nível de serviço, assim, as quantidades de *kanbans* afetam diretamente o nível de serviço da empresa, o fluxo do processo produtivo, a utilização do espaço físico para armazenamento, custos com manutenção de estoque e flexibilização no atendimento à demanda (PIPLANI e ANG, 2017).

Dessa forma, se justifica o estudo de caso, como uma forma de apresentar e documentar boas práticas e resultados do *Lean Manufacturing*, quando aplicados em um ambiente industrial, relacionado com o planejamento de linhas de produção e dimensionamento de estoque.

#### 1.4. ESTRUTURA DO TCC:

A estrutura do trabalho conta com 6 capítulos, apresentando a seguinte organização: O primeiro capítulo apresenta o problema, objetivos, justificativa e a estrutura do TCC. O Capítulo 2 é constituído da fundamentação teórica, onde são resgatados na literatura, os principais temas que envolvem o trabalho. A fundamentação teórica teve por objetivo visitar a história do *Lean Manufacturing* e a abordagem a respeito dos 7 desperdícios do *Lean Manufacturing*.

Em seguida, são apresentados pontos de vistas de diversos autores a respeito de ferramentas da produção enxuta como Sistemas de Gestão Visual, *Just-in-Time* e *Mizusumashi*. Ainda no Capítulo 2, é resgatado brevemente a teoria a respeito dos tipos de Layout Fabril. Por fim, é abordado a respeito do PFEP - *Plan for Every Part* (Plano para cada peça), ferramenta da produção enxuta que permite uma gestão facilitada dos materiais a serem transportados.

No capítulo 3, é abordado o método de pesquisa do trabalho, os procedimentos metodológicos desenvolvidos, bem como as principais limitações do trabalho.

Já no capítulo 4, é realizada a caracterização do trabalho como estudo de caso, apresentando inicialmente uma descrição breve da empresa, das principais fontes para coleta de dados e ferramentas de tratamento dos mesmos. Em seguida, é apresentado o detalhamento operacional da empresa e suas áreas, bem como a aplicação das ferramentas do *Lean Manufacturing* ao planejamento do layout da linha de produção, à elaboração do modelo para dimensionamento do *kanban* de linha e na definição das rotas de abastecimento das linhas de produção.

No mesmo capítulo é apresentado a análise dos resultados e das melhorias implementadas, resgatando os principais resultados obtidos e os efeitos ao longo dos postos de trabalho da fábrica.

Por fim, o capítulo 5 apresenta as considerações finais, dividido em conclusões a respeito do trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA:

Este capítulo tem por objetivo, respaldar teoricamente os assuntos que foram abordados ao longo do trabalho. Inicialmente, são apresentados conteúdos relacionados ao histórico e definição ampla do *Lean Manufacturing*, seguido de um aprofundamento na teoria a respeito de ferramentas e conceitos aplicados do Lean, como *Just in Time* (JIT), *Kaizen*, Sistemas de Gestão Visual, Sistema *Kanban*, entre outros.

### 2.1. LEAN MANUFACTURING

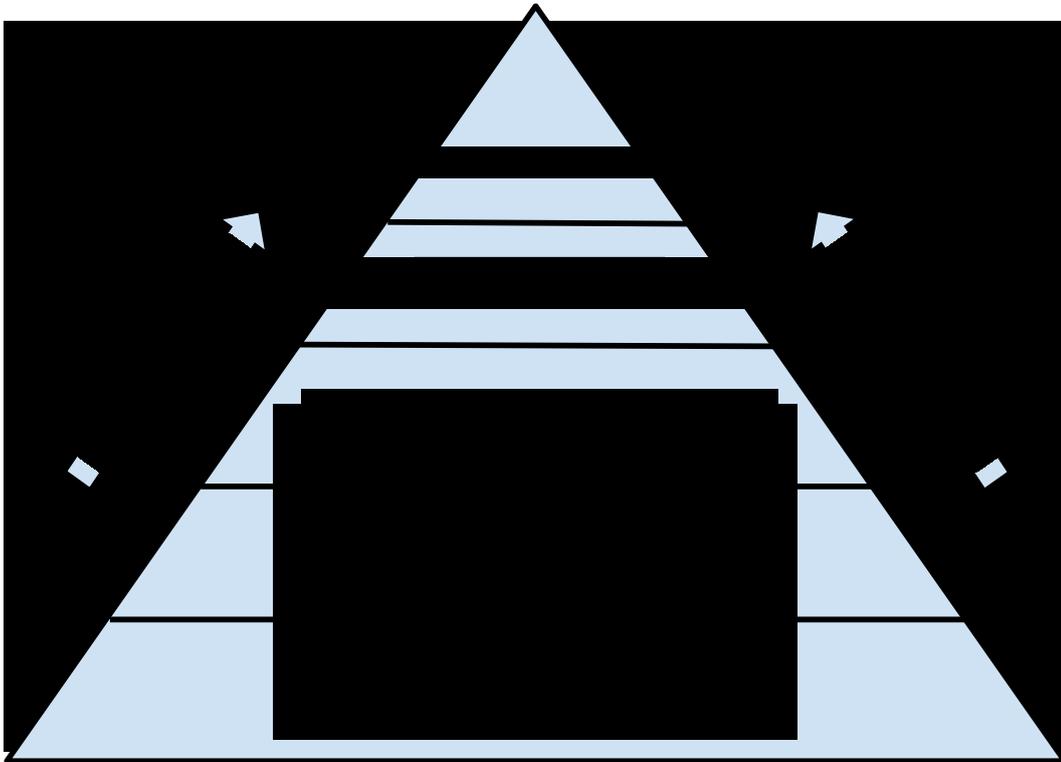
Embora referenciado inicialmente no livro “*The Machine that Changed the World*” de Womack, Jones e Roos (1990), o conceito do *Lean Manufacturing* surgiu no período pós segunda guerra, onde a empresa oriental Toyota torna-se pioneira e revolucionária a maneira como se pensava a produção. O país japonês, ora devastado pela II Guerra Mundial, teve muitas de suas fábricas destruídas. A demanda do mercado do país oriental não justificava a produção de bens em larga escala, devido ao fato de ser um mercado pequeno e bastante fragmentado. A partir de todas essas dificuldades, entre outras, Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, sabendo que a produção em massa não funcionaria no Japão, criaram um sistema que seria chamado futuramente de Sistema de Produção Toyota, e posteriormente de Produção Enxuta ou *Lean Manufacturing*. (Womack, 1996)

O *Lean Manufacturing* é comumente encarado como uma filosofia que tem por objetivo, a eliminação dos desperdícios, o aumento da produtividade e aumento da eficiência. Em contraponto, Pereira (2008) afirma que a melhor forma de conceituar o Lean seria como tudo o que envolve o ato de respeitar as pessoas ao mesmo tempo em que se busca a eliminação dos três M's - *muri*, *mura* e *muda* – três palavras japonesas que significam sobrecarga, disparidade e desperdício, respectivamente.

Com o tempo, o *Lean Manufacturing*, ou *Lean Production*, passa a ser visto como uma forma enxuta de se pensar a produção, passando a ser chamado de “*Lean Thinking*” por alguns autores. Womack (1996) aponta em seu trabalho, cinco princípios norteadores do *Lean Thinking*:

- Identificação do valor percebido pelo cliente;
- Mapeamento da cadeia de valor;
- Criação de fluxo do valor;
- Estabelecimento da produção puxada;
- Perseguir o estado de perfeição.

Figura 1. Princípios do Lean Thinking



Fonte: Adaptado de Womack, 1996.

Com uma filosofia de fácil compreensão, eliminar todos os processos que não agregam valor ao produto final, a implantação do *Lean Manufacturing*, no entanto, é mais complexa, pois atinge todas as áreas da empresa, principalmente a produção, fazendo com que muitas organizações passem por grandes dificuldades no processo (PAVANI, 2020).

Pavani (2020) descreve o valor percebido pelo cliente como tudo o que agregaria valor no produto ou serviço sob a ótica do cliente e coloca como primordial, identificar como o valor flui ao longo de toda a cadeia. Tudo aquilo que fosse considerado sem valor, é o “desperdício” ou “muda” da empresa e pode ser eliminado para que o foco esteja apenas no que importa.

## 2.2. OS 7 DESPERDÍCIOS DO *LEAN MANUFACTURING*:

Taiichi Ohno descreveu três obstáculos principais que podem influenciar negativamente os processos de trabalho de uma empresa: *Muda* (atividades com perda/desperdício), *Muri* (sobrecarga) e *Mura* (variação). Com base em suas observações, Ohno categorizou os 7 tipos

de desperdícios (*7 Mudas*), que mais tarde se tornaram os “8 desperdícios” e se tornaram uma prática popular para a redução de custos e a otimização de recursos. Os 7 desperdícios são: Superprodução, espera, transporte, processamento desnecessário, estoques, movimentação e defeitos (Pereira, 2008).

- Superprodução: produzir mais do que o necessário, gerando excesso de estoque e aumentando o tempo de ciclo.
- Espera: tempo ocioso das pessoas ou máquinas na produção, resultando em aumento do tempo de ciclo.
- Transporte: movimentação desnecessária de materiais e produtos, aumentando o risco de danos e atrasos na produção.
- Processamento desnecessário: realização de etapas desnecessárias no processo produtivo, gerando custos e atrasos.
- Estoques: estoques excessivos de matéria-prima, produtos em processo ou produtos acabados, gerando custos de armazenamento e riscos de obsolescência.
- Movimentação excessiva: deslocamento desnecessário de pessoas e equipamentos, aumentando o tempo de ciclo e o risco de danos.
- Defeitos: produtos ou serviços com defeitos ou falhas, gerando custos de retrabalho, perda de tempo e insatisfação do cliente.

Figura 2. 7 tipos de desperdícios lean

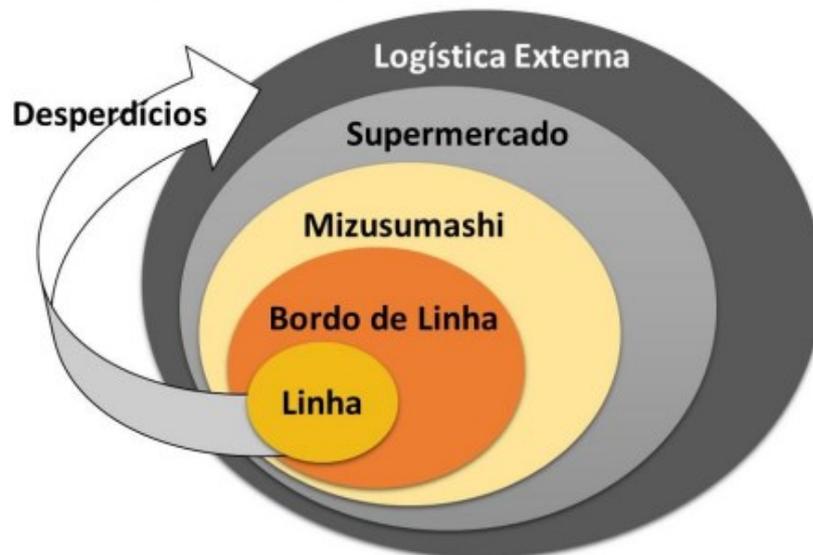


Fonte: Lean Institute, 2021

O oitavo desperdício é citado por Liker (2004) como o desperdício por não aproveitamento da criatividade dos operadores. Liker afirma que a utilização de operadores com capacidades acima do necessário em tarefas de baixa complexidade é vista como a causa deste desperdício, uma vez que a tarefa pode ser realizada por alguém menos treinado.

No planejamento da logística interna busca-se retirar os desperdícios do centro do processo, jogando-os para etapas mais iniciais da cadeia até sua eliminação por completo (BRACHT *et al*, 2011). Os desperdícios deve ser eliminados sob a perspectiva do cliente, em direção ao elo mais externo, iniciando na célula de produção em si, então para o bordo de linha, zona onde os materiais são abastecidos, em seguida para as rotas realizadas pelo *mizusumashi*, posteriormente para o almoxarifado de materiais e por fim para a logística externa e fornecedores (COIMBRA, 2013).

Figura 3. Modelo geral de eliminação de MUDA



Fonte: Adaptado de Coimbra (2013).

No que se refere, em especial, aos desperdícios por transporte e movimentação, layouts mal planejados podem ser uma das causas deste tipo de ineficiência (RODRIGUES, 2017).

### 2.3. FERRAMENTAS DA PRODUÇÃO ENXUTA

Ao longo do tempo, metodologias e ferramentas foram elaboradas para apoiar a implantação do lean production em empresas. Ainda que os benefícios do *Lean Production* sejam bastante conhecidos, muitas empresas ainda não o implementam (MAIA *et al*, 2011).

É possível apontar algumas razões para esta não implementação: as empresas não conhecem este modelo organizacional; não sabem como o implementar; não entendem os princípios Lean; não tem apoio da alta gestão; desconhecem os benefícios trazidos por este modelo ou não sabem como os quantificar ou consideram haver elevados custos de investimento (MAIA *et al*, 2011).

Em seu trabalho, Maia *et al* (2011) apresentam uma revisão crítica da literatura a respeito de metodologias para implantação do *lean production*. Em sua maioria, as metodologias apresentadas utilizam da aplicação de ferramentas da produção enxuta para alcançar a eliminação de desperdícios.

### 2.3.1. GESTÃO VISUAL

Em seu livro “*Gemba Kaizen: estratégias e técnicas do Kaizen no piso de fábrica*”, IMAI (1996) aponta como chave para o sucesso do *Kaizen* no chão de fábrica (também chamado de *gemba*), a habilidade do gestor em identificar quais são os problemas que acometem a produção. Logo, a gestão visual é um conceito que busca tornar as informações e processos de uma empresa mais acessíveis e compreensíveis visualmente diretamente no *gemba*. De forma geral, sistemas de gestão visual são baseados em quadros, painéis, gráficos e outras representações visuais, que permitem uma visão clara e rápida do estado atual dos processos e do desempenho da equipe.

Em seu trabalho, Alvarez e Antunes Jr. (2001, p.72) afirmam:

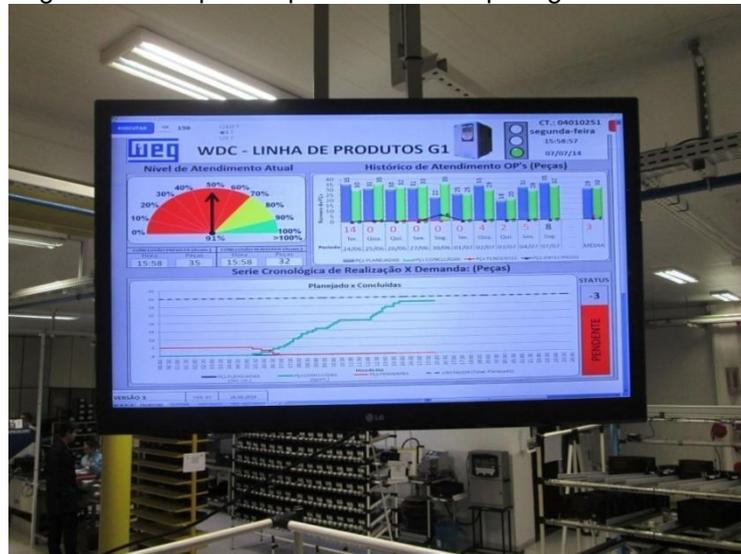
“[...]A lógica de gestão visual objetiva a ampliação da capacidade de tratamento de informações no chão-de-fábrica e a redução do tempo de feedback para as ações de controle dentro do sistema; o controle é aproximado ou, até mesmo, integrado à execução”

O uso de uma comunicação visual eficiente ajuda os trabalhadores a eliminar desperdícios significativos nas suas tarefas diárias (OLIVEIRA, 2015). Uma vez que é fornecido ao operador, informações de acompanhamento do processo, pode ele observar e identificar problemas de forma mais clara e repassar aos responsáveis. Sendo assim, um sistema de gestão visual permite às equipes identificar problemas, melhorar a comunicação, aumentar a eficiência e a produtividade (ALVAREZ *et al*, 2001).

Além disso, um sistema de gestão visual facilita o compartilhamento e monitoramento de indicadores de desempenho e a tomada de decisão baseada em dados, tornando a empresa

mais ágil e eficaz (IMAI, 1996). A Figura 4 mostra um exemplo de uma abordagem visual para os indicadores de uma linha de produtos industriais.

Figura 4. Exemplo de quadro interativo para gestão visual



Fonte: WEG, 2022

A visualização das informações e indicadores diretamente no chão de fábrica, como mostra na Figura 4, aumenta também o senso de responsabilidade dos colaboradores, a partir da fixação de indicadores de desempenho e produtividade torna os problemas e resultados visíveis, uma vez que o reflexo das suas ações passa a ser observável nos indicadores a eles mostrados (RODRIGUES, 2017).

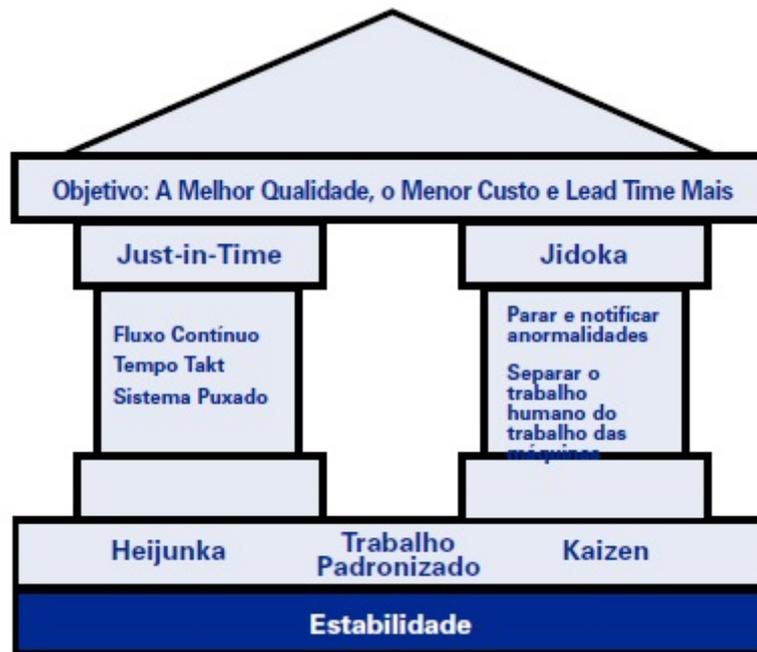
### 2.3.2. *JUST-IN-TIME*

O *Just-in-Time* (JIT) é responsável por buscar a precisão da cadeia de produção, encaixando as operações e as execuções de acordo com o nível de demanda (ALVAREZ *et al*, 2001).

Uma das principais características do JIT é a produção puxada, em que a produção é iniciada apenas quando há uma demanda real do cliente. Isso contrasta com a produção empurrada, em que a produção é baseada em previsões de demanda e os produtos são empurrados para o próximo estágio de produção, independentemente da demanda real. A produção puxada é essencial para evitar a superprodução e o acúmulo de estoques desnecessários (KADARUSMAN *et al*, 2013).

O Just-in-Time, como conceito mais amplo, é um dos pilares do TPS. A casa TPS é uma forma ilustrada utilizada para representar o sistema Toyota de produção e suas bases (LEAN INSTITUTE, 2021).

Figura 5. Casa TPS



Fonte: Lean Institute, 2021

A casa TPS é composta por elementos como o objetivo (satisfação do cliente), a estabilidade (a base sólida), o fluxo contínuo, (trabalho contínuo sem interrupções desnecessárias), o *Takt Time* (ritmo de produção sincronizado com a demanda), o sistema puxado (nível de estoque mínimo necessário), o *Jidoka* (sistema de parar a produção automaticamente em caso de anormalidades) e a melhoria contínua (a chaminé, que simboliza a busca constante por aprimoramento) (LIKER, 2006). Esses elementos trabalham juntos para criar uma produção eficiente, com foco na qualidade, fluxo contínuo, sincronização com a demanda do cliente e melhoria constante.

O conceito JIT parte da premissa que existe um fluxo contínuo onde os recursos materiais só chegam ao posto de trabalho no momento que são necessários e na quantidade necessária (LIKER, 2006).

De acordo com Liker (2006), o processo de nivelar o volume de produção e o *mix* de produtos está definido no *heijunka*, uma das bases da Casa TPS. Segundo Alvarez e Antunes Jr (2001), a ideia de um fluxo produtivo contínuo e nivelado está diretamente atrelada com a necessidade de tempos e ritmo do processo definidos e controlados. Assim, o *takt time* ou tempo

*takt* determina o ritmo de produção necessário para atender a demanda do mercado. Matematicamente, resulta da razão entre o tempo disponível para a produção e o número de unidades a serem produzidas.

Kadarusman e Nadvi (2013) propõem a obtenção da demanda de produção por meio de análise de mercado, considerando não só indicadores setoriais relacionados com o mercado em que a empresa está inserida, mas também, a evolução da cadeia de suprimentos e sua complexidade.

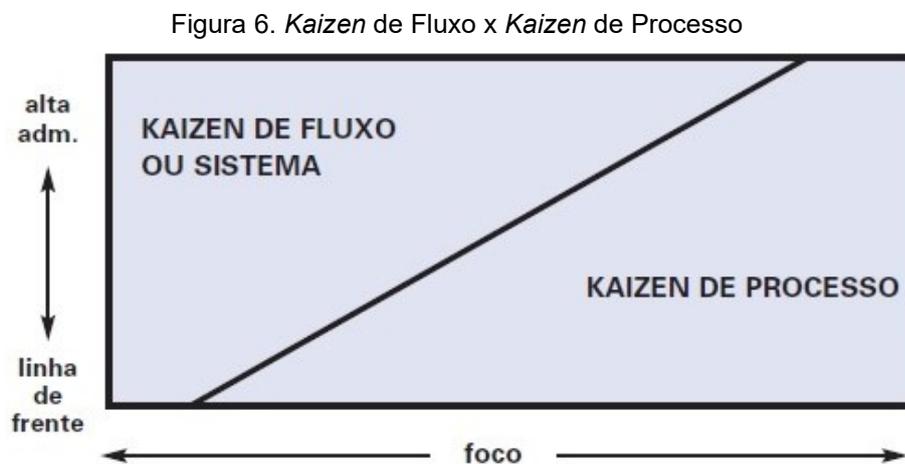
Em várias plantas industriais, o *takt-time*, o *Work in Process* (WIP) e os jobs futuros (*queue*) são visualmente indicados pelo supervisor da área em painéis ou quadros (IMAI, 1996).

Para alcançar esse objetivo de fluxo contínuo e uma cadência de produção coerente com a demanda do mercado, utiliza-se de uma série de ferramentas e técnicas que ajudam a nivelar a produção, reduzir a espera do operador e aumentar a eficiência do processo produtivo, são essas respectivamente: o Sistema *Kanban*, Bordo de Linha e o *Kaizen*

### 2.3.3. KAIZEN

A palavra *Kaizen* pode ser traduzida de forma literal do japonês como “mudar para melhor” e para o *Lean Manufacturing*, reflete a busca pela melhoria contínua no processo e no sistema como um todo (IMAI, 1988). De acordo com Bessant *et al* (1994), a melhoria contínua deve ser vista como um processo focado na inovação incremental e contínua, movida por pequenos passos ao invés de grandes mudanças.

É possível observar dois níveis de *Kaizen*: *Kaizen* de fluxo e *Kaizen* de processo. (WOMACK, 1996).



Fonte.: *Kaizen* Institute, 2022

A diferença entre o *Kaizen* de Fluxo e o *Kaizen* de Processo está no escopo da melhoria. O *Kaizen* de Fluxo aborda a melhoria do fluxo de valor em todo o sistema ou cadeia de valor, enquanto o *Kaizen* de Processo concentra-se na melhoria de um processo específico dentro desse sistema (WOMACK, 1996). Ambos os tipos de *Kaizen* são complementares e podem ser aplicados em conjunto para impulsionar melhorias contínuas em uma organização.

Em seu livro “*Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo*”, Maasaki Imai (1988) descreve a essência do *Kaizen* da seguinte forma:

“A essência do *Kaizen* é simples e direta: *Kaizen* significa melhoramento. Mais ainda, *Kaizen* significa melhoramento contínuo, envolvendo todos, inclusive gerentes e operários. A filosofia do *Kaizen* afirma que o nosso modo de vida – seja no trabalho, na sociedade ou em casa – merece ser constantemente melhorado.”

Alguns autores relacionam de maneira direta o *Kaizen* com programas de qualidade total como, por exemplo, o Programa 5S. Siqueira *et al* (2005), afirmam ser possível incorporar a ideia de melhoria contínua no dia a dia do colaborador, indo além do escopo da empresa. Para os autores, a melhoria se aplica ao desempenho dos processos, à satisfação dos colaboradores e clientes, à qualidade de vida na empresa, à ordenação do ambiente de trabalho, à segurança pessoal e à vontade de querer sempre melhorar.

#### 2.3.4. BORDO DE LINHA

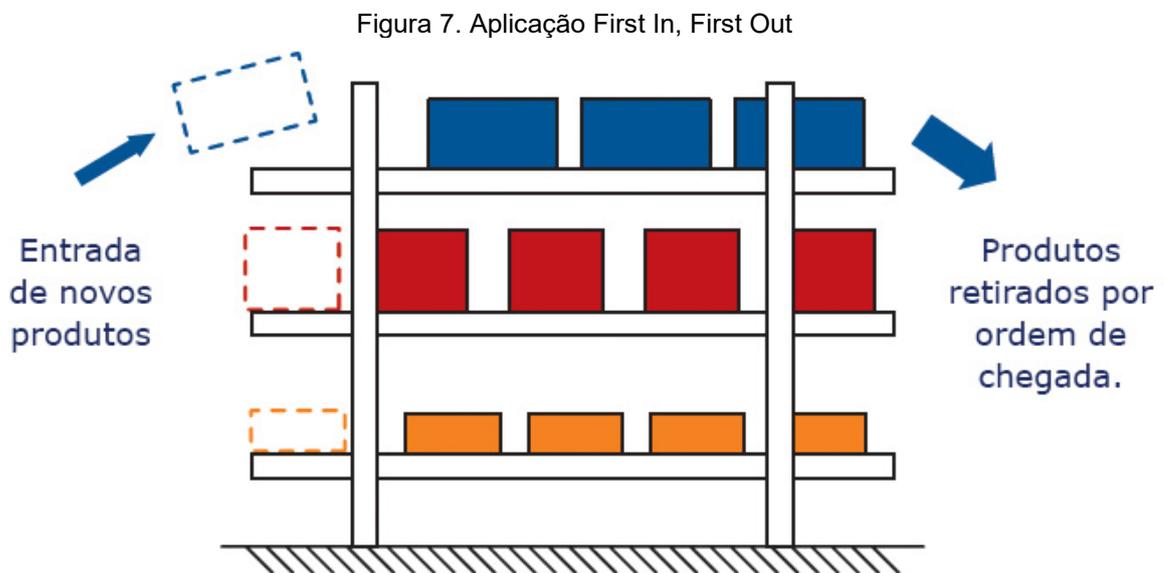
O bordo de linha, do inglês *Line Edge*, refere-se ao local físico, próximo à linha de produção, onde ficam dispostos todos os materiais necessários para a execução da tarefa determinada (AZEVEDO, 2022). A utilização do bordo de linha visa aumentar a eficiência, eliminando movimentações desnecessárias ao operador, resultando em um menor número de paradas de linha, um fluxo mais contínuo e uma produção mais enxuta.

O bordo de linha é amplamente utilizado em processos produtivos industriais, como na produção de automóveis, eletrônicos e alimentos, entre outros, e é uma das ferramentas mais importantes da filosofia *Lean Manufacturing* (COIMBRA, 2013).

Um dos objetivos é minimizar os movimentos de *picking*, bem como os movimentos dos operadores na linha e durante o abastecimento, sendo fundamental assegurar que o operador de linha não desperdice tempo à espera ou com a procura do material. Desta forma, o material para cada operação deve ser posicionado de modo a reduzir as distâncias entre o operador e as ferramentas e materiais necessários (CERQUEIRA, 2013).

De acordo com Gonçalves (2013), o planejamento do abastecimento do bordo de linha deve ser realizado seguindo alguma lógica, que permita programar os tempos e frequência de abastecimento, acompanhar o consumo dos materiais e sinalizar o momento de reabastecimento. Em seu trabalho, Ferreira (2016) propõe a utilização da lógica FIFO para abastecimento do bordo de linha em uma fundição.

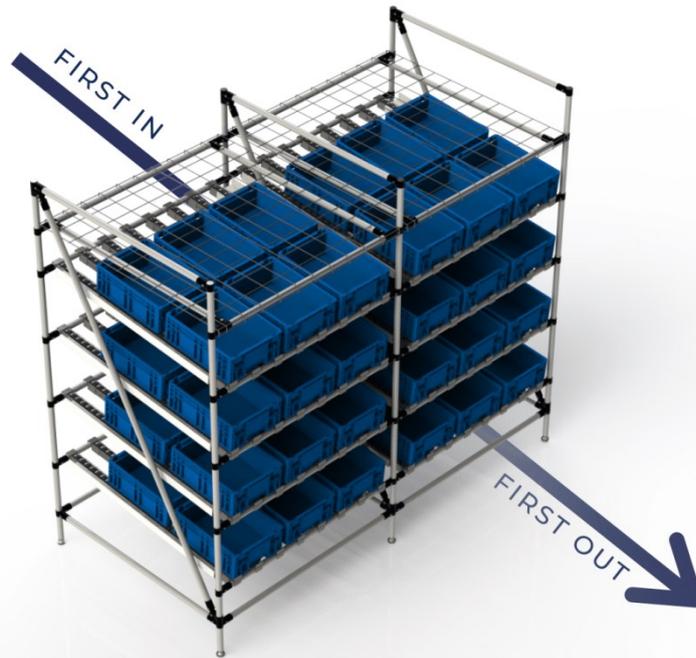
FIFO é uma sigla que significa "*First In, First Out*", que em português pode ser traduzida como "Primeiro a Entrar, Primeiro a Sair". É um princípio de organização e gestão de estoques, onde os itens ou produtos que entraram primeiro no estoque são os primeiros a serem vendidos ou utilizados, garantindo uma ordem sequencial de saída dos itens em relação à sua entrada (COIMBRA, 2013).



Fonte: DEINFO, 2021

A lógica FIFO define que os materiais devem ser consumidos de acordo com a ordem de chegada no bordo de linha (FERREIRA, 2016). Para que isso seja possível, é interessante que os bordos de linha apresentem uma configuração de *Flow Rack*, a qual permite abastecimento pelo lado contrário àquele em que o operador faz o *picking* do material, como ilustrado na Figura 8.

Figura 8. Bordo de linha Flow Rack.



Fonte: StandardFlex, 2023.

O *flow rack* é projetado para promover o uso do FIFO, uma vez que os produtos ou materiais são colocados na posição mais próxima do ponto de retirada e são deslocados automaticamente para a posição de saída à medida que novos itens são adicionados à estrutura (STANDARDFLEX, 2023), com isso garante que os itens mais antigos sejam retirados primeiro, evitando a obsolescência ou deterioração dos produtos e garantindo uma gestão eficiente do estoque de acordo com o princípio do FIFO.

Outro fator que passa a se tornar relevante é a dimensão das caixas utilizadas no bordo de linha, isso porque é importante considerar o espaço disponível no bordo de linha, bem como a capacidade de manuseio das caixas por parte dos operadores (ROCHA, 2012).

O abastecimento do bordo de linha é de responsabilidade da logística interna, sendo necessário abastecer com os materiais certos e as quantidades certas, nos tempos definidos e na localização estipulada (COIMBRA, 2013). Para essa atividade, Coimbra (2013), Ferreira (2016) e Rodrigues (2017) sugerem a implantação de um comboio logístico, destinado exclusivamente ao abastecimento dos bordos de linha, chamado “*Mizusumashi*”.

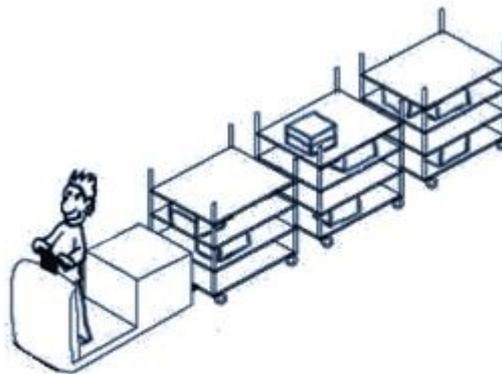
### 2.3.5. MIZUSUMASHI

Para atingir o objetivo de reduzir um dos 7 mudas, o desperdício por movimentação, é interessante que o operador tenha disponível os materiais e ferramentas necessários, sem que

seja necessário que ele se movimente para buscar. Dessa forma, um dos elos da logística interna, utilizado para realizar o abastecimento das linhas de produção é o *Mizusumashi*.

De acordo com Coimbra (2013), o termo *Mizusumashi* é utilizado para se referir ao comboio logístico que assegura o abastecimento de componentes nas linhas de montagem, simplificando e aumentando a eficiência e flexibilidade de transportes de peças para locais onde serão utilizadas. O *mizusumashi*, também chamado de comboio logístico é formado por um veículo motorizado, carrinhos com engates e dirigido por um operador treinado, como ilustra a Figura 9.

Figura 9. *Mizusumashi* ou Comboio Logístico



Fonte: StandardFlex, 2023.

Soares (2014), ao elaborar um método de implantação de sistema de abastecimento enxuto para montagem de eletrodomésticos, afirma que em processos de manufatura, ou seja, transformação da matéria-prima, pelo menos um dos três elementos básicos de produção (homem, máquina ou material) deve movimentar-se. Na maioria dos processos industriais, o material é o elemento que se movimenta.

Sem a utilização do *mizusumashi*, a movimentação do material fica sob responsabilidade do operador, fazendo com que seja mais difícil alcançar a criação de um fluxo contínuo, isso porque paradas de linha se tornam mais frequentes para reabastecimento e transporte de materiais. A implementação do *mizusumashi* assegura que as linhas tenham componentes para trabalhar e que a produção se concentre apenas nas atividades que agregam valor ao produto final (RODRIGUES, 2017).

Segundo Soares (2014), tem-se o bordo de linha como a interface entre a linha de produção e o *mizusumashi* como ilustrado na Figura 10. Por meio de sinais lógicos adaptados da teoria do sistema *kanban*, como por exemplo a presença de um contentor vazio no bordo de linha, o *Mizusumashi* é sinalizado sobre a necessidade de abastecimento do bordo, gerando um sistema puxado.



Fonte: 4Lean.net, 2020

Ao desenvolver um modelo de simulação para analisar o comportamento do transporte de produtos em uma indústria de semicondutores, Azevedo (2022) afirma que cabe à logística interna, definir a roteirização do comboio logístico, considerando as atividades a serem realizadas, o tempo de abastecimento e o *takt-time* da produção.

A rota de abastecimento deve considerar elementos importantes como percurso e trajeto a ser percorrido, horários de partida fixos e frequentes, paradas somente em pontos pré-estabelecidos e quantidades de entregas definidas (ROTHER *et al.*, 2002).

São três, os tipos de rota de abastecimento para comboio logístico (SOARES, 2014):

- Rota de tempo fixo e quantidade variável: O *mizusumashi* realiza uma sequência de etapas padronizadas pelo tempo. O tempo para a rota é fixo, e a quantidade de material vai variar conforme o consumo do período anterior;
- Rota de quantidade fixa (*trigger*) e tempos variáveis: O *mizusumashi* responde a um sinal luminoso ou sonoro indicando a necessidade. A quantidade é fixa e o tempo para a entrega depende da necessidade;
- Operação mista: Quando um tipo não serve para todas as situações, pode-se usar no mesmo ambiente os dois tipos em pontos diferentes. Quando a meta é mover com maior

frequência, usa-se tempo fixo. Quando os intervalos são pouco frequentes, com peças muito pesadas ou volumosas, a movimentação com quantidades fixas pode ser melhor.

Ao revisitar a literatura e trabalhos relacionados, é possível encontrar aplicações dos 3 tipos de rotas de abastecimento em diversas situações e atividades distintas. A Tabela 1 apresenta alguns dos trabalhos encontrados:

Tabela 1. Aplicações dos tipos de modelo de roteirização, encontrados na literatura.

Rota de tempo fixo e quantidade variável	Rota de quantidade fixa e tempos variáveis	Operação mista
Simulação de abastecimento por <i>mizusumashi</i> em uma indústria de semicondutores. (TEIXEIRA, 2022)	Implantação de rotas de abastecimento de peças de reposição automotivas por <i>mizusumashi</i> . (FERREIRA, 2016)	Implantação de trens logísticos em linhas de montagem de motores elétricos. (PARIS, 2017)
Definição de rotas logísticas internas no processo produtivo de uma empresa do ramo automóvel. (LIMA, 2021)		Desenho das rotas de abastecimento e <i>picking</i> por <i>mizusumashi</i> em uma indústria de fundição. (RODRIGUES, 2017)

Fonte: Adaptado de Rother *et al*, 2002.

Um dos fatores chave de sucesso para a implantação do sistema de abastecimento por *mizusumashi* está relacionado com o layout da fábrica.

Para a implementação do comboio logístico seja bem-sucedida, é crucial a normalização do trabalho do *mizusumashi*, partindo de 4 definições iniciais (COIMBRA, 2013):

- Definição do desenho da rota do percurso no Layout
- Definição do tempo de ciclo da rota de abastecimento
- Definição das atividades a realizar ao longo da rota de abastecimento
- Definição dos tempos das atividades.

De acordo com Coimbra (2013), para a definição da rota devem ser cumpridos os seguintes requisitos:

1. Listar as atividades que serão realizadas ao longo da rota de abastecimento;
2. Realizar estudos relativamente ao tempo que demora a realizar cada atividade;
3. Desenhar uma rota circular;
4. Identificar quais as paradas existentes durante a rota de abastecimento;
5. Construção de um comboio apropriado para a rota, tipo e peso do material a ser transportado;

6. Realizar uma viagem de teste com o comboio vazio;
7. Operadores aptos para realizar as atividades de abastecimento;
8. Construção da instrução de trabalho final e normalização dos processos;
9. Treino dos operadores até que a normalização dos processos se torne uma rotina.

Ferreira (2016) conclui em seu trabalho que, embora bem embasado teoricamente, em muitos casos é necessária uma reestruturação do layout fabril para ser possível a implantação do comboio logístico.

## 2.4. LAYOUT FABRIL OU ARRANJO FÍSICO

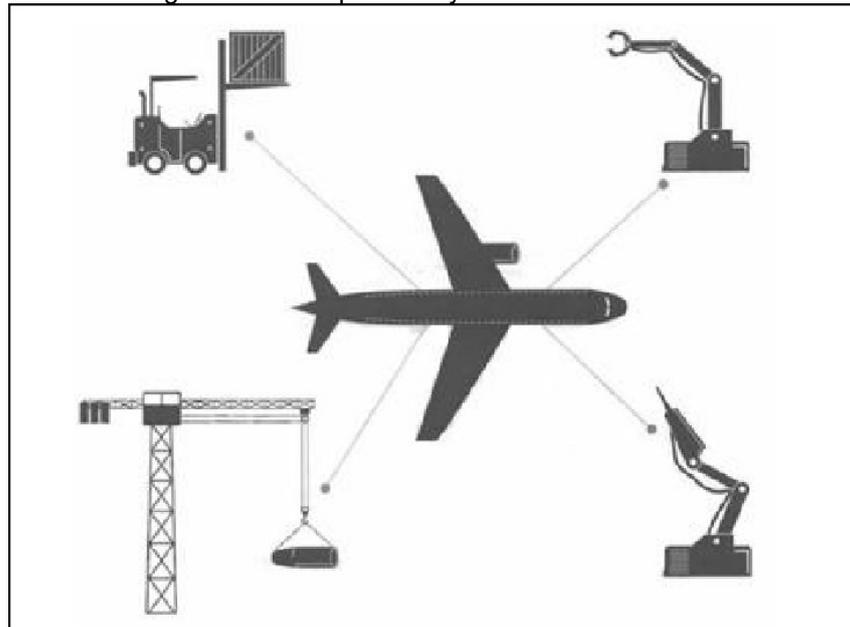
Ao descrever o projeto de fábrica, Neumann e Scalice (2015) afirmam que o arranjo físico de uma empresa pode tornar uma linha de produção enxuta, fazendo com que nela haja uma otimização de tempo e espaço, redução nos custos de movimentação interna de materiais, permitindo assim uma diminuição no valor final do produto, uma vez que movimentações internas raramente acrescentam qualidade percebida ao produto.

Slack *et al* (2002), definem arranjo físico de uma operação produtiva como a preocupação com a localização física dos recursos de transformação, ou seja, na decisão do layout fabril encontra-se a decisão sobre onde colocar todas as instalações, equipamentos, máquinas e outros recursos da produção. Os arranjos físicos apresentam distinção a depender da forma como os recursos produtivos estão posicionados, sendo eles os principais: Arranjo de posição fixa, Arranjo ou Layout Funcional, Layout por produto e Layout Celular.

### 2.4.1. ARRANJO DE POSIÇÃO FIXA

O arranjo de posição fixa é uma técnica de produção em que o produto é estacionário (muitas vezes construído no local em que ele será utilizado), sem precisar ser movido para outras estações de trabalho (SLACK *et al*, 2002). Essa abordagem é frequentemente utilizada em setores como construção civil, fabricação de navios e produção de aeronaves como ilustrado na Figura 11.

Figura 11. Exemplo de Layout Posicional



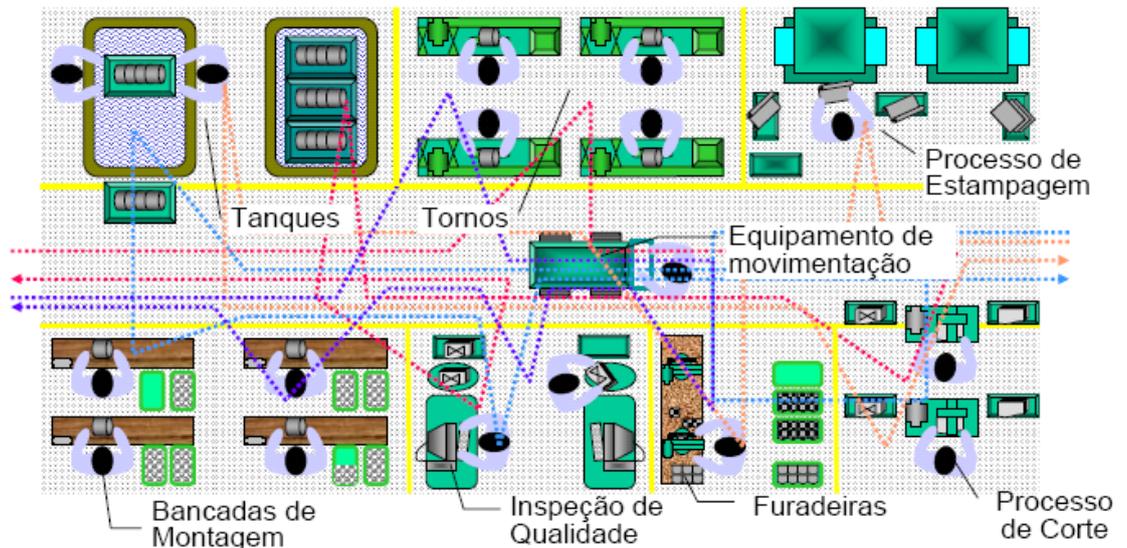
Fonte.: EDisciplinas USP, 2020.

O arranjo de posição fixa pode ser uma estratégia eficaz para reduzir custos e tempo de produção, pois permite que as equipes de trabalho trabalhem simultaneamente no mesmo projeto, evitando a necessidade de transporte do produto e reduzindo o risco de danos durante o processo. No entanto, essa técnica requer um planejamento cuidadoso e uma coordenação eficaz entre as equipes envolvidas para garantir o sucesso do projeto.

#### 2.4.2. ARRANJO OU LAYOUT FUNCIONAL:

O layout funcional é uma técnica de produção em que as máquinas, ferramentas e equipamentos são agrupados de acordo com sua função específica, formando uma área de trabalho dedicada a cada tipo de atividade. Também conhecido como arranjo por processo, esse tipo de layout é frequentemente utilizado em indústrias que produzem diferentes tipos de produtos ou serviços, permitindo que as equipes de trabalho possam se concentrar em suas atividades específicas (D'AGOSTINI *et al*, 2014). A Figura 12 ilustra um exemplo de layout funcional aplicado a uma linha de montagem e manufatura.

Figura 12. Exemplo de Layout por Processo



Fonte: EDisciplinas USP, 2020

O layout funcional pode proporcionar maior eficiência e produtividade, pois permite que os trabalhadores se especializem em uma atividade específica, aumentando a qualidade. No entanto, ele pode gerar alguns problemas, como a necessidade de movimentação de materiais e produtos semiacabados entre as diferentes áreas de trabalho, o que pode aumentar o tempo e o custo do processo produtivo.

#### 2.4.3. LAYOUT POR PRODUTO

O layout por produto é uma técnica de produção em que as máquinas, ferramentas e equipamentos são organizados em uma sequência específica de acordo com a produção de um determinado produto. (D'AGOSTINI *et al*, 2014)

Cada estação de trabalho é projetada para executar uma tarefa específica e o produto em si é movido ao longo do processo produtivo de uma estação para outra. Esse tipo de layout é bastante utilizado em indústrias que produzem grandes quantidades de um único produto ou de produtos muito similares, permitindo que o processo produtivo seja altamente especializado e eficiente.

O layout por produto pode gerar maior eficiência e produtividade, pois elimina a necessidade de movimentação de materiais e produtos entre as diferentes áreas de trabalho. No entanto, ele pode gerar problemas caso haja a necessidade de produzir diferentes tipos de produtos na mesma linha de produção, o que pode demandar uma reorganização do layout. (SLACK *et al*, 2002)

#### 2.4.4. LAYOUT CELULAR

O layout celular é uma técnica de produção que organiza as máquinas, ferramentas e equipamentos em células de produção que são dedicadas a produzir uma determinada família de produtos. De acordo com Slack *et al* (2002), cada célula de produção pode ser projetada para executar um conjunto específico de operações e composta por um pequeno grupo de trabalhadores.

Ao comparar diferentes alternativas de layout para uma indústria de autopeças, Dalmas (2004) destaca a superioridade do layout celular no que se refere a flexibilidade produtiva. A teoria por trás do layout celular baseia-se nos princípios do sistema de produção enxuta, que tem como objetivo eliminar desperdícios e aumentar a eficiência da produção. A abordagem celular é semelhante ao conceito de "manufatura em ilhas" desenvolvido pela Toyota na década de 1950, que consistia em agrupar as máquinas e equipamentos em estações de trabalho dedicadas a produzir um conjunto específico de produtos.

Segundo Dalmas, o layout celular pode ser aplicado em diferentes setores da indústria, desde a produção de peças automotivas até a fabricação de produtos eletrônicos. No entanto, a implementação do layout celular exige um planejamento cuidadoso e uma análise detalhada do processo produtivo, a fim de determinar as famílias de produtos que podem ser produzidas em cada célula e suas características.

#### 2.5. PFEP - PLANO PARA CADA PEÇA:

O plano para cada peça (PFEP - *Plan For Every Part*) é uma técnica fundamental para a produção enxuta. É uma ferramenta que visa eliminar desperdícios, aumentar a eficiência do processo produtivo e melhorar a qualidade do produto final por meio da gestão das informações a respeito dos materiais (ELBERT, 2012).

O plano para cada peça ajuda a garantir que cada peça seja produzida de acordo com as especificações, reduzindo a necessidade de retrabalho e minimizando os erros (NAZARENO, 2003). Além disso, o plano para cada peça pode ser usado para otimizar a sequência de produção, identificando os gargalos e as oportunidades de melhoria no processo.

Apesar de pouco abordado na literatura, o plano para cada peça surgiu junto ao conceito de produção enxuta. Conrad e Rooks (2010) abordam o PFEP em seu trabalho como o conjunto de diversos atributos do componente. Informações que antes estavam diluídas entre os departamentos, encontram-se agora agrupadas permitindo a criação de um plano detalhando cada aspecto do componente sob a ótica de toda a cadeia produtiva.

De maneira prática, o plano para cada peça permite ao planejador obter uma visão mais clara da demanda de materiais e maior compreensão das características dos produtos.

As informações contidas no plano são de livre escolha do planejador e variam em função da atividade da empresa. De acordo com Elbert (2012), alguns exemplos de informações que podem ser adicionadas ao PFEP são: código da peça, modelo, cor, dimensões, quantidade por embalagem, tipo de embalagem, nome do fornecedor, etc.

A Tabela 2 abaixo apresenta o agrupamento de informações para PFEP, proposto por Salaverri (2014).

Tabela 2. Agrupamento de informações para o PFEP

<b>Informação sobre a peça</b>	
Part Number	Número utilizado para identificar a peça
Part Number do Cliente	Número utilizado pelo cliente para identificar a peça
Descrição da peça	Texto breve de descrição da peça.
Nome da peça	Nome da peça
Modelo / Cor	Modelo ou Cor (quando aplicável)
Modelo de aquisição	Fabricação interna, fabricação externa, empréstimo...
<b>Informação sobre o recipiente</b>	
Tipo de Recipiente	Descrição do tipo de recipiente. Caixa, embalagem, pallet...
Quantidade padrão na embalagem	Quantidade padrão por pacote (quando aplicável)
Quantidade por recipiente	Quantidade padrão por recipiente
Instruções do recipiente	O Recipiente é retornável? reciclável? Pode ser descartado?
Peso do recipiente vazio	Peso do recipiente vazio.
Peso unitário da peça	Peso de uma unidade do material.

Peso do recipiente cheio	Peso do recipiente completo.
Dimensões do recipiente	Altura, largura e profundidade do recipiente.
<b>Informações sobre o pedido</b>	
Frequência de pedido	Frequência com que o material é solicitado ao fornecedor
Lead Time de entrega	Tempo previsto de entrega
Transportador	Nome da empresa responsável pelo transporte
Processo de inspeção	O material necessita inspeção no momento do recebimento?
<b>Informações sobre o fabricante</b>	
Nome do Fabricante	Nome do fabricante do material
Endereço do Fabricante	Endereço do fabricante, País de origem.
<b>Informações de Custo</b>	
Categoria de Custo	Categoria de custo a qual o material pertence (quando aplicável)
Custo médio por unidade	Custo unitário do material

Fonte: Adaptado de Salaverry (2014)

Conrad e Rooks (2010) apontam cinco situações em que o uso do PFEP como ferramenta de gestão pode ser utilizado:

- **Introdução de um novo produto:** Ao lançar um novo produto, o PFEP pode ajudar a garantir que as peças corretas estejam disponíveis no momento certo e em quantidades adequadas. Isso permite planejar e gerenciar o estoque de forma eficaz, reduzindo o risco de atrasos ou escassez durante o processo de produção.

- Gestão de cadeias de suprimentos complexas: Se sua cadeia de suprimentos envolver vários fornecedores, subcontratados ou locais de produção, o PFEP pode fornecer uma abordagem estruturada para gerenciar a complexa rede de peças e componentes. Ajuda a coordenar o fluxo de materiais, minimizando interrupções e otimizando os níveis de estoque.
- Variabilidade na demanda ou nos prazos de entrega: O PFEP pode ser útil ao lidar com padrões de demanda incertos ou prazos de entrega variáveis dos fornecedores. Ao analisar dados históricos e considerar fatores como volatilidade da demanda e desempenho dos fornecedores, você pode estabelecer níveis apropriados de estoque de segurança e pontos de reposição para cada peça, garantindo um fluxo de suprimentos contínuo.
- Iniciativas de fabricação enxuta: O PFEP está alinhado com os princípios da fabricação enxuta, ao se concentrar na redução de desperdícios, melhoria da eficiência e otimização do estoque. Ajuda a identificar oportunidades de padronização, consolidação ou eliminação de peças, resultando em economia de custos e operações simplificadas.
- Esforços de melhoria contínua: O PFEP é um processo contínuo que requer revisão e otimização regular. Ele fornece uma estrutura para analisar dados, identificar gargalos e implementar melhorias na cadeia de suprimentos. Ao refinar continuamente o PFEP, é possível adaptar-se às condições de mercado em mudança e aprimorar o desempenho geral.

O PFEP por si só não é uma atividade que agrega valor diretamente ao produto, porém é um instrumento crucial para que o valor seja agregado na linha de produção na qualidade correta, no momento correto e no local correto (HARRIS *et al*, 2004).

Para implementar o plano para cada peça na produção enxuta, é importante adotar uma abordagem colaborativa entre as equipes de engenharia, produção e controle de qualidade. Isso envolve a criação de um conjunto detalhado de instruções para cada peça, incluindo as dimensões, tolerâncias, materiais, processos de produção e controles de qualidade necessários para garantir a qualidade do produto final (ELBERT, 2012).

## 2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPITULO

Diante do exposto na fundamentação deste trabalho, é possível perceber a relevância do tema, bem como a aplicabilidade em diversas áreas. A redução do desperdício de movimentação é um objetivo almejado na maioria das iniciativas de implementação da cultura lean nas empresas. Como visto no trabalho de Soares (2014), em situações que o modelo de abastecimento não se encontra alinhado com a demanda da linha de produção, ocorrem situações de falta de material no momento da montagem ou estoque desnecessário no bordo de linha, ambas situações que não são desejadas segundo o *Lean Manufacturing*.

Por esse motivo, a implementação do transporte por comboio logístico, de maneira isolada, sem levar em consideração o arranjo fabril, a padronização dos processos e a sincronização das atividades, não é recomendada, como mostrado por Ferreira (2016). É importante que as informações estejam claras ao operador do *mizusumashi*, principalmente com relação aos pontos de abastecimento, *picking*, rotas, bem como os pontos de entrada de material e saída de caixas vazias.

Comumente, o planejamento das rotas pode ser apoiado por métodos de simulação, como foi apresentado por Rodrigues (2017). A vantagem da utilização de métodos de simulação está na possibilidade de simular diferentes cenários de tempos de ciclos de abastecimento. Entretanto, a escolha das variáveis do modelo de simulação vem a se tornar um fator importante. Uma alternativa para a escolha das variáveis é a utilização do Plano para Cada Peça como banco de dados mestre para os materiais utilizados, como mostrado por Pawlewski (2018) e Salaverry (2014).

Em suma, os trabalhos e autores citados apontam que a abordagem conjunta de ferramentas, advindas da produção enxuta, garantem resultados positivos, facilitam de forma mútua a implementação e melhoram a logística interna das empresas.

### 3. METODOLOGIA APLICADA:

O presente trabalho está classificado na área da ABEPRO de Logística, dentro de Gestão de Operações. Neste capítulo será organizado de maneira a descrever o tipo de pesquisa realizada. Será descrito o método de pesquisa e suas etapas. Após tal detalhamento, serão informados os instrumentos de pesquisa utilizados, e por fim os procedimentos de coleta, análise de dados e elaboração dos modelos logísticos propostos.

#### 3.1. MÉTODO DE PESQUISA:

O método de pesquisa adotado foi a caracterização do problema a partir de um estudo de caso. A essência de um estudo de caso está no fato de ser uma estratégia para pesquisa empírica empregada para a investigação de um fenômeno contemporâneo, em seu contexto real. (YIN, 2015). Já Hartley (1994), afirma que a abordagem de estudo de caso não é um método propriamente dito, mas uma estratégia de pesquisa.

Segundo Yin (2015), o estudo de caso pode ser tratado como importante estratégia metodológica para a pesquisa, pois permite ao investigador um aprofundamento em relação ao fenômeno. O autor ainda cita 3 características, que segundo ele, identificam um estudo de caso completo:

- Quanto aos limites do estudo: o estudo de caso completo é aquele em que os limites, isto é, a distinção entre o fenômeno estudado e seu contexto, são definidos.
- Quanto ao método de coleta de evidências: um estudo de caso completo deve demonstrar de modo convincente que o investigador se empenhou exaustivamente, na coleta de evidências relevantes.
- Quanto ao tempo e aos recursos necessários: um estudo de caso exige do investigador um bom cronograma e previsão das etapas de execução, para evitar falta de tempo e recursos.

Além das características citadas, é necessário que o estudo de caso esteja sustentado por um referencial teórico, que orienta as questões e proposições do estudo, reúne uma gama de informações obtidas por meio de diversas técnicas de levantamento de dados e evidências (MARTINS, 2008).

Dessa forma, a fim de atender aos requisitos de um estudo de caso, o procedimento metodológico deste trabalho foi elaborado, dividindo o método de pesquisa nas seguintes etapas: Seleção do caso, Definição dos objetivos de pesquisa, Revisão da literatura, Coleta de

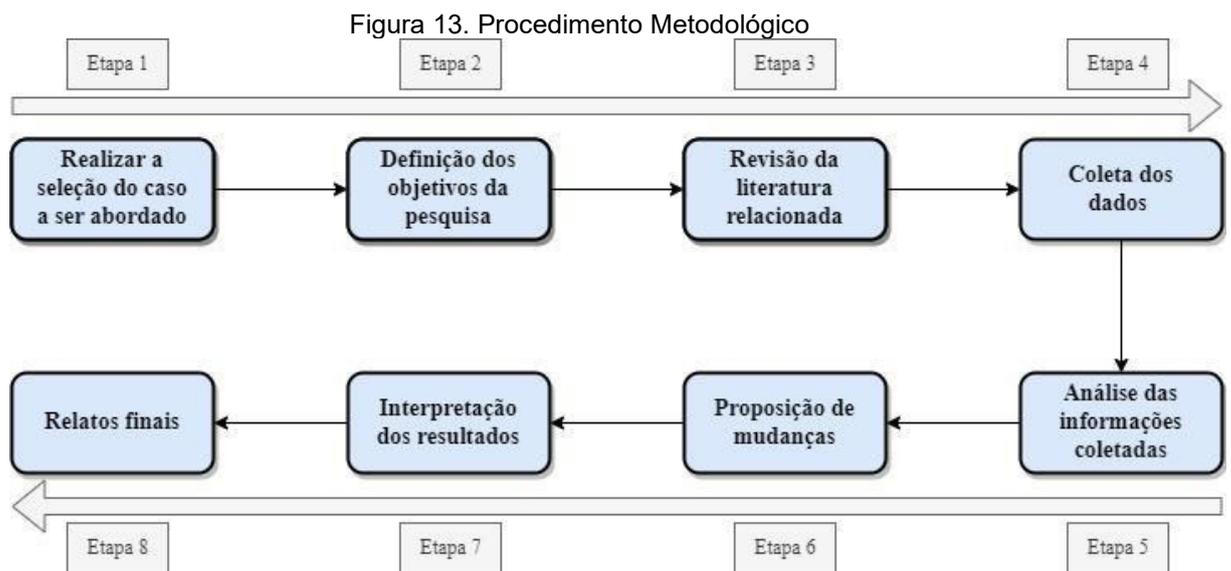
dados e informações, Análise das informações, Proposição de mudanças, Interpretação dos resultados e Relato dos resultados.

Sob o ponto de vista prático, o trabalho pode também ser enquadrado como pesquisa ação, dada a participação prática do autor ao longo de todas as etapas do projeto. De maneira geral, ao contribuir com a implementação das práticas de *lean manufacturing*, o autor do trabalho se torna ator no desenvolvimento do trabalho.

Além disso, a etapa de levantamento das ferramentas e revisão da literatura, contou também com avaliação de outros estudos de caso, similares ao caso da WEG Automação.

### 3.2. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO:

As 8 etapas do procedimento metodológico são ilustradas na Figura 13 e descritas abaixo:



Fonte: Elaborado pelo autor

- **Etapa 1 - Seleção do caso a ser abordado:** A partir do problema de pesquisa, é selecionado um caso concreto para utilizar este como ferramenta de pesquisa. No caso específico do trabalho, optou-se pela empresa WEG devido ao vínculo do autor com a empresa e o acesso aos dados e informações.

- **Etapa 2 - Definição dos objetivos da pesquisa:** Nessa etapa, são traçados os objetivos do trabalho, onde na situação de um estudo de caso, busca descrever a relação entre uma abordagem teórica e um cenário real. Neste caso, a redução dos desperdícios de fábrica foi definido como escopo do projeto e a pesquisa direcionada para alcançar esse objetivo.

- Etapa 3 - Revisão da literatura relacionada: Etapa necessária para fundamentar, com base na literatura relacionada, os principais assuntos que serão tema do trabalho: Redução de Desperdícios, *Lean Manufacturing* e *Mizusumashi*
- Etapa 4 - Coleta de dados: Nessa etapa, realiza-se a apresentação e coleta dos dados de pesquisa. A escolha dos dados a serem coletados deve estar alinhada com os objetivos da pesquisa. Os dados coletados foram: Número de movimentações ao longo do processo, distância entre postos de trabalho, tempo de consumo médio dos componentes, entre outras informações a partir do fluxo logístico da fábrica.
- Etapa 5 - Análise das informações coletadas: Etapa de análise dos dados e informações obtidas. Nessa etapa, é importante avaliar entre as informações obtidas, o que é realmente relevante para a pesquisa e o alcance dos objetivos. Nessa etapa, coube ao autor do trabalho a interpretação dos dados levantados em fábrica, principalmente no que se refere às informações de layout, distância percorrida, número de vagões, restrição quanto ao número de vagões, etc.
- Etapa 6 - Proposição de mudanças: Proposição de mudanças e melhorias a partir das informações levantadas e observações na fábrica.
- Etapa 7 - Interpretação dos resultados: Etapa de análise dos resultados obtidos, ou seja, os efeitos das mudanças propostas. Pode ser feita de maneira concreta, por meio da implantação do que foi proposto ou por meio de métodos de simulação.
- Etapa 8 - Relatos finais: Etapa de conclusões a respeito do trabalho.

Nas etapas 1, 2 e 3, o papel do autor no trabalho se concentrou na seleção do caso e qualificação da revisão de literatura. Já na etapa 4, foi destinada à observação e levantamento dos dados. Na etapa 5 e 6, coube ao grupo de trabalho a quantificação das informações anteriormente observadas e a proposição conjunta de mudanças para a fábrica, concluindo na Etapa 7 e 8 com a observação e avaliação dos resultados.

### 3.3. DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Por se tratar de um estudo de caso, houve a necessidade de adaptação de alguns dados sensíveis da empresa e interpretação de conceitos levantados na literatura sob um viés empresarial. Simplificações a respeito do *mix* de produtos e serviços e especificações técnicas, bem como informações a respeito da estrutura de custos e dados financeiros da empresa foram resumidos de maneira a respeitar a política de privacidade.

Na avaliação dos fluxos logísticos, foi realizado o recorte sob a perspectiva da WEG Automação, desconsiderando as interações *intercompany*, que são as transações e interações logísticas entre divisões diferentes da WEG.

Na etapa de revisão da literatura relacionada, pode-se considerar como fator limitador a baixa quantidade de publicações e textos acadêmicos brasileiros a respeito de tópicos específicos tratados durante o trabalho, o que acabou por direcionar parte do embasamento teórico deste trabalho para publicações da escola americana e portuguesa. Com exceção da literatura clássica a respeito do *Lean Manufacturing*, publicações e trabalhos mais recentes foram possíveis encontrar ao procurar por palavras chaves como “Plan for Every Part”, “*Mizusumashi* Routing”, “Internal Logistic” e “Visual Control”.

#### 4. CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO:

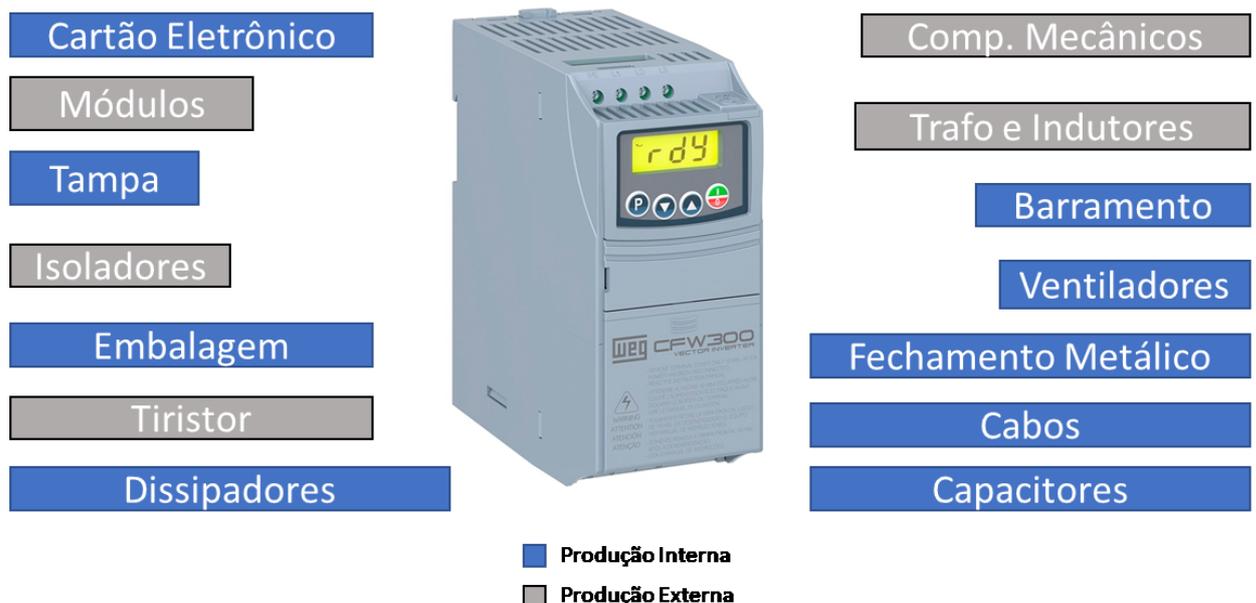
##### 4.1. DESCRIÇÃO DA EMPRESA: A WEG AUTOMAÇÃO

A WEG é uma empresa multinacional de equipamentos eletrônicos, atuando principalmente no setor de bens de capital. Fundada em 1961, ela produz equipamentos eletroeletrônicos industriais, equipamentos para geração e transmissão de energia, motores para uso doméstico, além de tintas e vernizes. Segundo os resultados da empresa no 4T22, a maior parte da produção da empresa é voltada para o mercado externo, que corresponde a 58% das vendas. Já o mercado interno brasileiro corresponde a 42% dos negócios.

A complexidade dos fluxos logísticos na operação da WEG aumenta, uma vez que a empresa se diferencia por possuir um processo bastante vertical. Em seus produtos, a empresa busca controlar o processo de ponta a ponta. Essa abordagem apresenta vantagens e desvantagens frente aos concorrentes. Uma das desvantagens é a necessidade de controle e acompanhamento preciso da capacidade de produção nas diversas etapas de transformação do produto.

A WEG Automação é a divisão de negócio da WEG Group, responsável pela fabricação, desenvolvimento e montagem de drives para os diversos produtos e sistemas oferecidos pelo grupo em suas outras linhas de negócio. A figura 14 apresenta a composição de um drive eletrônico na WEG e a classificação dos componentes entre produção interna e externa.

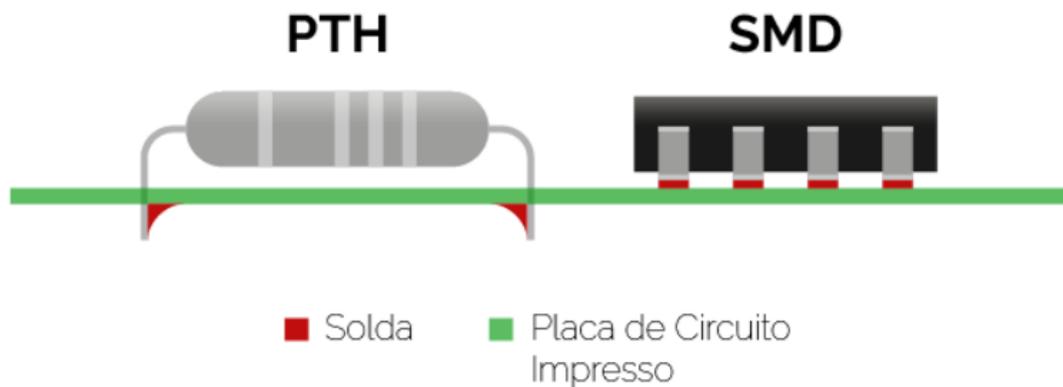
Figura 14. Composição de um drive eletrônico



Fonte: Adaptado de WEG, 2022.

Os cartões eletrônicos são responsáveis por controlar o comando eletrônico do produto. Constituem de uma placa de circuito interno, montada com componentes microeletrônicos como capacitores, varistores, termistores, diodos, entre outros e o processo produtivo gira em torno de dois macroprocessos de manufatura: SMD - *Surface Mounted Device* - e PTH - *Pin Through Hole*. A Figura 15 ilustra a diferença entre o componente montado por SMD e PTH.

Figura 15. Componente PTH x Componente SMD



Fonte: Falcon Eletrônica, 2023

É importante ressaltar que a montagem PTH e SMD não são processos excludentes, ou seja, PCI's podem apresentar componentes montados por SMD e também por PTH, a depender da aplicação e especificações do produto em que a placa será embarcada.

A empresa possui atualmente 5 linhas de montagem SMD e 5 linhas de montagem PTH, produzindo aproximadamente 40 mil drives por mês e 130 mil cartões eletrônicos. Prevendo um aumento na demanda, principalmente dos cartões eletrônicos relacionados com mobilidade elétrica, a empresa viu a necessidade de aumentar sua capacidade produtiva a partir da instalação de uma nova linha de produção SMD e PTH.

O planejamento das novas linhas de produção foi conduzido ao longo de três meses por uma equipe de trabalho multidisciplinar que buscou identificar as principais deficiências no processo atual e otimizar as atividades por meio de ferramentas da produção enxuta.

#### 4.2. COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

A coleta e tratamento dos dados são etapas fundamentais em qualquer pesquisa científica (YIN, 2015). A qualidade dos resultados obtidos está diretamente relacionada com a

qualidade dos dados coletados e a forma como são tratados. Por isso, é importante dedicar especial atenção a essas etapas, desde o planejamento até a análise dos dados.

Neste capítulo, serão apresentados os métodos utilizados para a coleta dos dados e as técnicas de tratamento e análise adotadas para a obtenção dos resultados. Além disso, serão descritas as principais fontes de dados utilizadas na pesquisa e os procedimentos adotados para garantir a validade e confiabilidade dos resultados obtidos, fornecendo informações fundamentais para a compreensão do trabalho.

A coleta de dados foi realizada por meio do sistema ERP da empresa e do sistema de acompanhamento de fábrica. O SAP ERP (*Enterprise Resource Planning*) é o sistema de gestão empresarial utilizado pela WEG, que integra e automatiza diversas áreas da organização. Por meio dele, a empresa é capaz de gerenciar finanças, recursos humanos, cadeia de suprimentos, vendas, produção, entre outras áreas.

Com o SAP ERP, as empresas têm acesso a módulos funcionais que automatizam processos e permitem o compartilhamento de informações entre departamentos. Isso oferece uma visão em tempo real das atividades de negócios, facilitando tomadas de decisões estratégicas.

Já o WSFM - *WEG Shop Floor Management* - é o sistema de acompanhamento do chão de fábrica utilizado pela empresa, que permite extrair os dados históricos sobre os postos de trabalho da fábrica. Com isso, o método para coleta de dados se dividiu em dois momentos: Análise dos dados históricos de uma das linhas de produção da empresa, e posteriormente, análise *in loco*, com o objetivo de mapear o estado presente e compreender os parâmetros automáticos do WSFM para facilitar a compreensão dos dados históricos do sistema.

Tanto a série histórica, quanto a avaliação do estado atual, tiveram como foco o levantamento das seguintes informações:

- Tempo disponível de produção [s];
- Tempo de atravessamento dos produtos [s];
- Tempo de setup de máquina [min];

O tratamento dos dados coletados, em especial os dados históricos, foram resgatados para um horizonte entre um a três anos, com periodicidade variável, a depender da análise.

#### 4.3. DESCRIÇÃO OPERACIONAL DA EMPRESA:

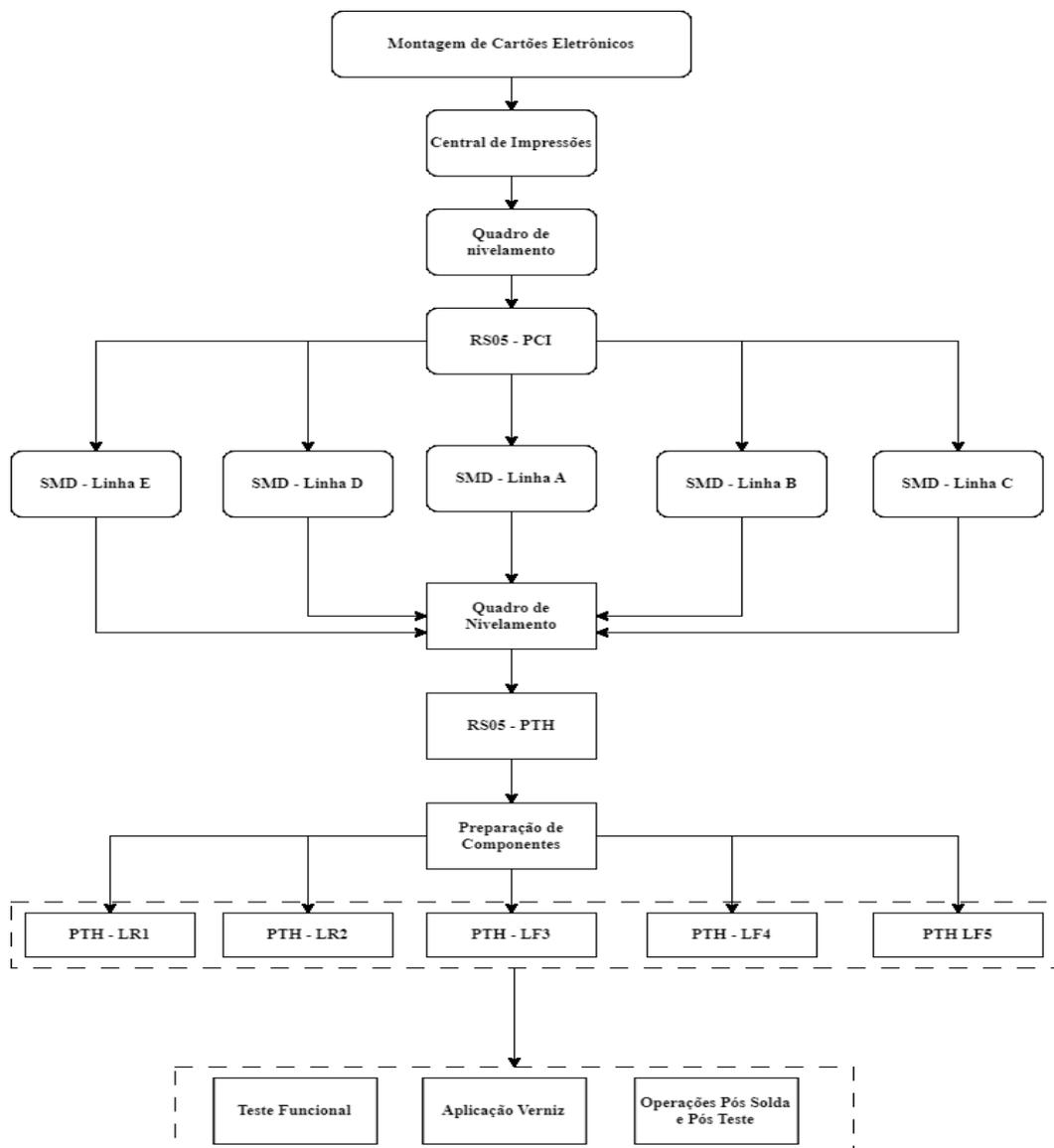
A descrição detalhada da operação da empresa é necessária para a definição da logística de transporte a ser definida. Os próximos tópicos têm por objetivo apresentar as principais áreas e divisões da empresa.

#### 4.3.1. ÁREAS DA EMPRESA:

A operação da fábrica de drives da WEG é dividida em duas grandes áreas: Montagem de Cartões Eletrônicos e Montagem de Produtos. A montagem de cartões eletrônicos, objeto foco deste trabalho, conta com 7 principais divisões de trabalho. As divisões foram planejadas de acordo com a afinidade dos processos e tarefas realizadas. Para os autores Neumann e Scalice (2015), o agrupamento de atividades de acordo com a afinidade dos processos facilita a organização do trabalho, diminuindo a variedade de ferramentas e máquinas necessárias no posto de trabalho.

A Figura 16 descreve o fluxograma atual da área de montagem de cartões eletrônicos.

Figura 16. Fluxograma Organizacional - Montagem de Cartões Eletrônicos



Fonte: Elaborado pelo autor

Entre as áreas apresentadas na Figura 16, além das áreas de montagem SMD e PTH, destaca-se a Central de Impressões, a Preparação de Componentes e a Célula de Teste Funcional.

#### 4.3.2. CENTRAL DE IMPRESSÕES

A central de impressões é a divisão responsável pela impressão das etiquetas direcionadoras e listas de *picking* das ordens de produção. Essa divisão pode ser considerada também como o ponto inicial do fluxo de informações para a fábrica.

As listas de *picking* contém o roteiro das atividades de montagem do cartão eletrônico. A informação sobre a liberação de montagem de um cartão é feita pela equipe de PCP e enviada para a central de impressões, utilizando um sistema RPA. Logo após, as etiquetas e as listas de materiais são colocadas em um *Heijunka Box* - quadro de nivelamento, conforme mostrado na Figura 17.

Figura 17. *Heijunka Box* - Quadro de nivelamento para as listas de materiais



Fonte: Obtida pelo autor.

As listas são alocadas no quadro de nivelamento pelo operador da central de impressões e seguem uma lógica FIFO - *First In, First out* a fim de balancear a carga entre as linhas de

montagem SMD. Após o nivelamento, as listas são enviadas para outra caixa de nivelamento para que seja realizada a separação do material SMD que será utilizado na ordem.

Em resumo, a central de impressões recebe um grande fluxo de informações e realiza o primeiro nivelamento das listas de *picking*. Existe necessidade de movimentação de materiais, no momento em que a lista, após o nivelamento, deve seguir para a separação.

#### 4.3.3. CÉLULA DE PREPARAÇÃO DE COMPONENTES

A Célula de Preparação de Componentes - CPC - é responsável pela preparação prévia dos componentes PTH utilizados na montagem dos cartões. Na etapa de preparação prévia é realizada a pré-forma e agrupamento de componentes. Essa etapa antecede a etapa de inserção na placa de circuito interno - PCI.

Pré-forma de componentes eletrônicos é o termo utilizado na indústria eletrônica para se referir a um componente eletrônico semiacabado, que ainda precisa passar por processos de fabricação antes de se tornar um componente eletrônico completo.

A Figura 18 mostra um componente em sua forma pré-formada, a esquerda, e não pré-formada, a direita.

Figura 18. Componente pré-formado e não pré-formado.



Fonte: Imagem obtida pelo autor, 2023.

Na CPC, todas as pré-formas são realizadas por meio de máquinas que necessitam de um setup específico, a depender do componente que será pré-formado. O setup consiste na troca do gabarito, ajuste do passo da máquina e ajuste da velocidade de corte.

Ao observar o posto de trabalho, é visto que os operadores produzem os componentes pré-formados em dois momentos: Para atender as linhas de montagem no momento em que surge uma ordem de produção e para estoque, buscando prever os componentes que são mais utilizados. Entretanto, por não seguir uma lógica puxada, os componentes pré-formados são produzidos em excesso, podendo isso ser considerado um desperdício por superprodução.

#### 4.3.4. CÉLULA DE TESTE FUNCIONAL

A célula de teste funcional é o posto de trabalho responsável por testar os cartões eletrônicos após a montagem dos componentes PTH. O teste funcional é necessário para garantir a integridade funcional de todos os componentes inseridos.

Para o teste dos cartões, são utilizadas gigas de teste (Figura 19) e cada família de cartão exige uma giga específica para realização do teste.

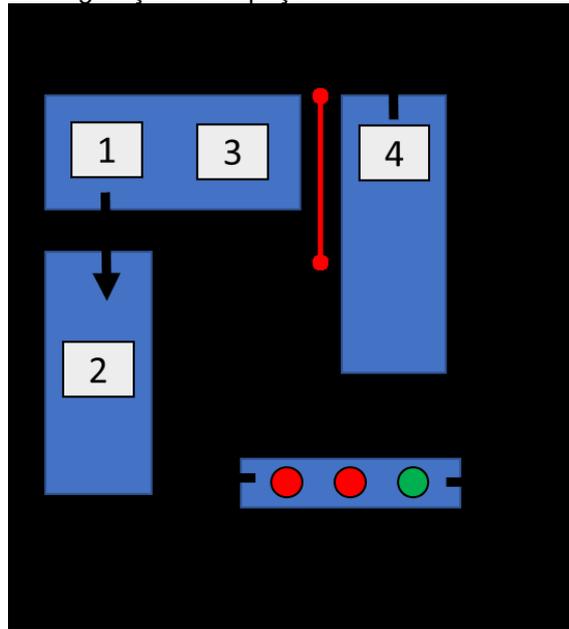
Figura 19. Giga de teste



Fonte: WEG, 2023.

Cada giga possui aproximadamente 11 kg e por esse motivo, o transporte e a movimentação dessa ferramenta passa a ser um fator a ser considerado no planejamento do espaço físico do posto de trabalho. O esquema da configuração do espaço físico da célula de teste funcional é mostrado na Figura 20 abaixo:

Figura 20. Configuração do espaço físico - Teste Funcional



Fonte: Elaborado pelo autor.

O posto de trabalho conta com um operador dedicado, o qual utiliza uma giga de teste para realizar o teste do cartão eletrônico na bancada (Nº 2 – Figura 20). Ao finalizar, o operador retira a giga de teste, colocando-a em outra bancada, localizada na interface do corredor (Nº 4 – Figura 20), onde deve ser recolhida por outro operador externo e levada para a guarda. Para reduzir o desperdício por espera, as próximas gigas de teste a serem utilizadas são entregues pelo operador externo e colocadas em bancadas de espera (Nº 1 e 3 – Figura 20). A Figura 21 apresenta a operação da célula de teste funcional:

Figura 21. Operação da Célula de Teste Funcional



Fonte: WEG, 2023

O principal desperdício que ocorre na célula de teste funcional está relacionado com a espera por parte do operador, acontecendo nos momentos em que o tempo de testagem é menor do que o tempo de reabastecimento das próximas gigas de teste, evidenciando um desbalanceamento entre a operação de abastecimento da ferramenta de trabalho e a operação.

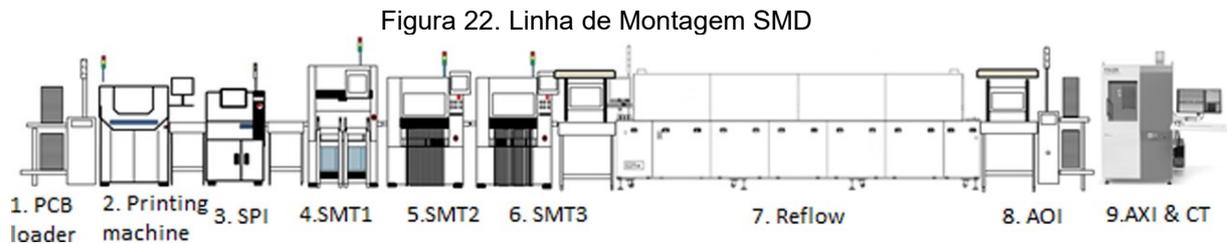
#### 4.4. ZONAS OPERACIONAIS

Para fins de estudo, consideramos zonas operacionais os postos de montagem em que há agregação de valor ao produto por meio da inserção de componentes. Na área de montagem de cartões eletrônicos, seriam zonas operacionais: Montagem SMD e Montagem PTH.

##### 4.4.1. MONTAGEM SMD

A montagem SMD é o primeiro processo em que há agregação de valor ao produto. Nesse processo, os componentes eletrônicos são inseridos na Placa de Circuito Impresso - PCI - por meio de um processo chamado *Pick and Place*. O processo de montagem por SMD não requer a perfuração da placa eletrônica, porque, nesse caso, os componentes são montados usando ferramentas mais avançadas e equipamentos. No SMD, os componentes são soldados à superfície da placa, sem a necessidade de furos.

A WEG possui atualmente 5 linhas de SMD e em cada uma são utilizadas 6 principais máquinas: Loader, Printer, Solder Paste Inspection - SPI, Inserora, Forno de Refusão, e Automatic Optical Inspection - AOI. A Figura 22 apresenta um exemplo de linha de montagem SMD padrão.

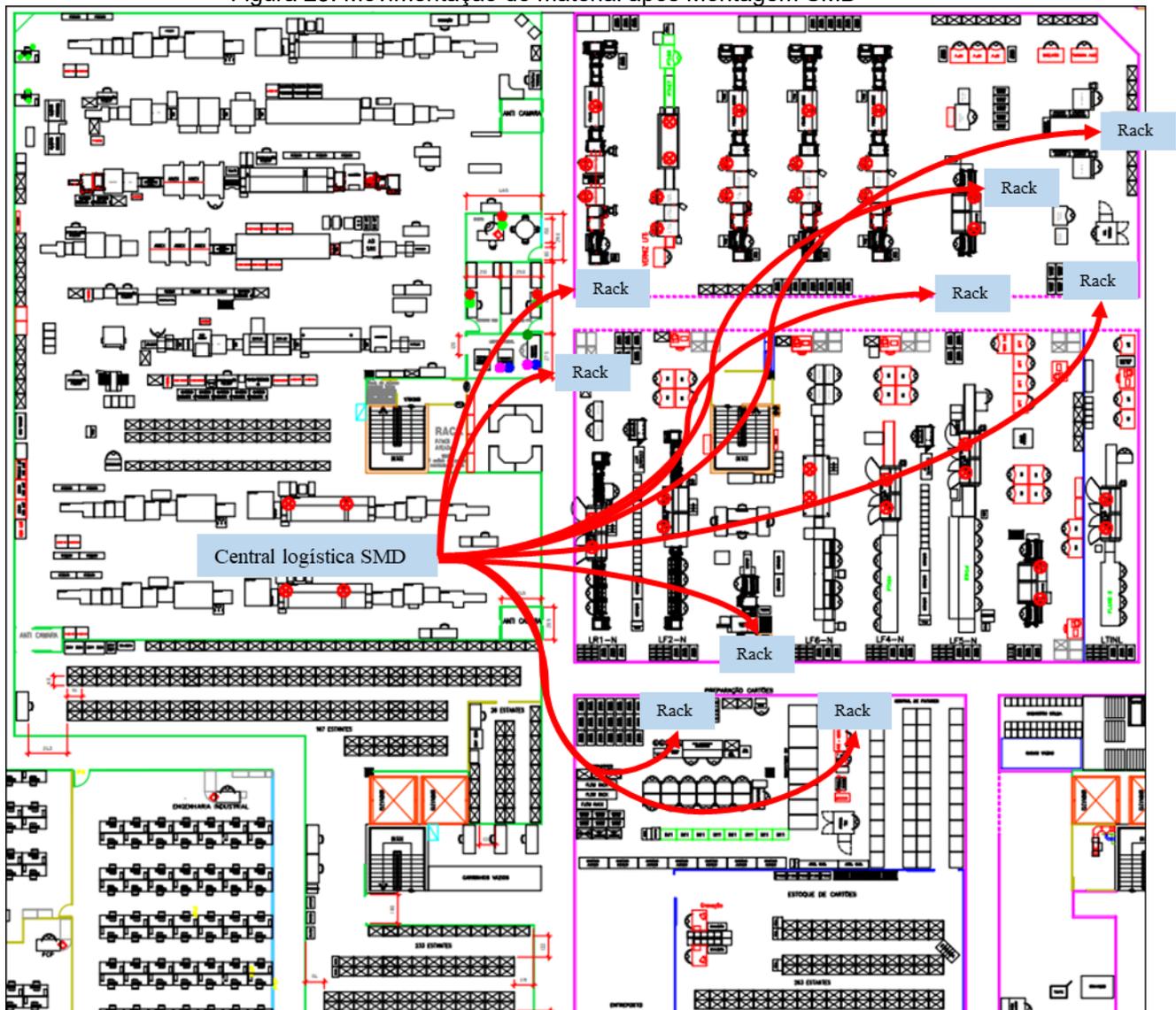


Fonte: Fuji, 2022

A montagem SMD é mais rápida e mais precisa, no entanto, por requerer equipamentos e habilidades especializadas, se torna mais cara do que a montagem PTH para lotes pequenos, porém a baixa variabilidade no tempo de atravessamento é uma vantagem em relação à montagem PTH. Por contar com um alto nível de automação na montagem SMD, o ritmo de produção é bastante controlado, entretanto a dificuldade no controle do tempo de setup das máquinas gera desperdício por espera entre processos.

Após a montagem SMD, os cartões eletrônicos são transportados para a área de montagem PTH, como mostra a Figura 23. O transporte dos cartões é realizado em magazines especiais e realizados por um operador externo. O objetivo está em concentrar as movimentações somente em um operador, evitando desperdício por movimentação na área de real agregação de valor: a linha de produção.

Figura 23. Movimentação do material após Montagem SMD



Fonte: WEG, 2023.

#### 4.4.2. MONTAGEM PTH

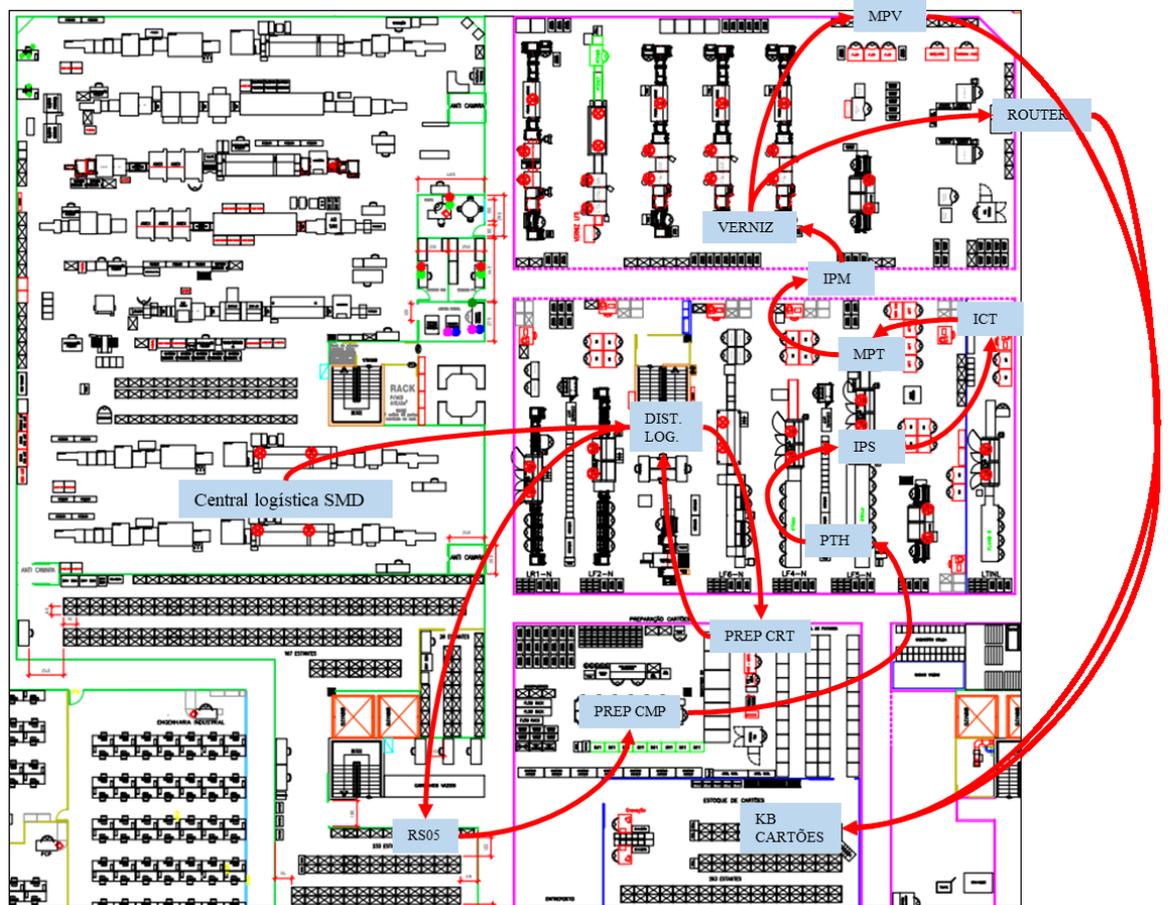
A Montagem PHT envolve a perfuração de furos muito pequenos nas PCI's, onde os terminais dos componentes são inseridos e depois soldados.

Atualmente, a montagem PTH é considerada tecnologicamente inferior quando comparada ao SMD, mas segue sendo amplamente utilizada, especialmente em aplicações que o orçamento é um fator crucial. Porém, algumas das desvantagens da montagem PTH incluem maior tempo de produção, problemas com soldagem, menor confiabilidade e é um processo mais suscetível a erro humano.

Na WEG, a montagem PTH contempla um complexo fluxo logístico envolvendo transporte de materiais, informação, ferramentas e insumos entre os mais de 7 postos de

trabalho. A partir da extração do roteiro de todos os cartões eletrônicos, traçou-se todas as possíveis movimentações, mostradas na Figura 24.

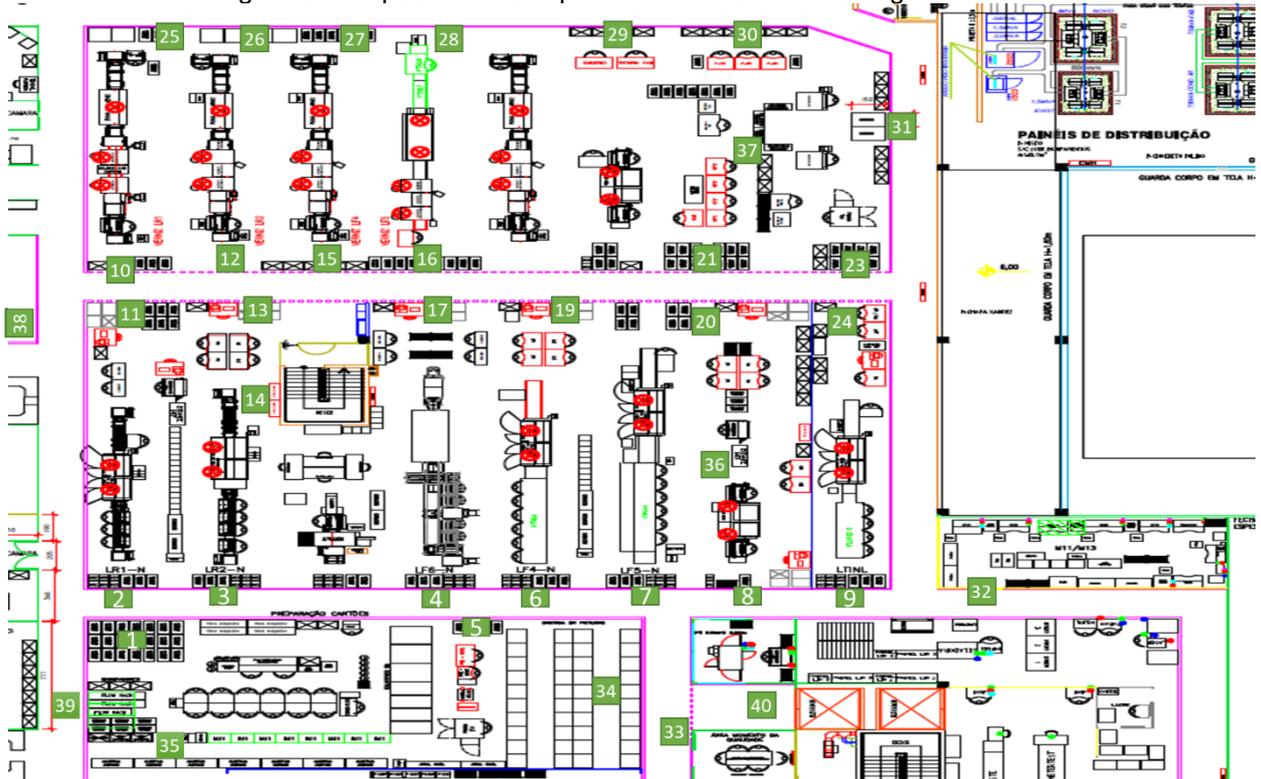
Figura 24. Movimentações na montagem PTH



Fonte: WEG, 2023

Além das movimentações, também foi extraído todas as atividades e tarefas realizadas na área de montagem PTH. A Figura 25 apresenta no layout os pontos de atividades.

Figura 25. Mapeamento dos pontos de atividade - Montagem PTH



Fonte: WEG, 2023.

No total, foram mapeados 40 pontos de atividades e com o objetivo de reduzir o número de movimentações desnecessárias de material ao longo do processo, o layout das linhas de montagem passou a ser analisado, considerando o estado atual (5 linhas em operação) e planejando o estado futuro (6 linhas em operação).

#### 4.5. LAYOUT DA LINHAS DE MONTAGEM PTH

Atualmente a empresa possui 5 linhas de montagem PTH: Linhas Rápidas 1 e 2 - LR1 e LR2; Linhas Flexíveis 4 e 5 - LF4 e LF5 e Linha Tin Lead - LF3. As linhas rápidas possuem como característica a fabricação de cartões de alto volume e baixa complexidade. Já as linhas flexíveis, atendem a fabricação de cartões de maior complexidade e maior tempo de atravessamento.

Em relação ao layout, as linhas são bastante semelhantes, sendo que todas elas utilizam as mesmas máquinas e equipamentos.

O arranjo atualmente adotado pela empresa é o arranjo funcional, distribuído por processo. Como consequência da classificação das linhas em Linhas Rápidas - LR e Linhas Flexíveis - LF, os cartões montados em cada uma das linhas apresentam roteiros de operação similares, fazendo com que a escolha por um arranjo funcional permitisse uma menor ociosidade nos postos de trabalho.

Entretanto, para a nova linha de montagem que será adquirida, o objetivo da empresa é reduzir a quantidade de desperdícios e paradas de linhas durante a produção. Para isso, foi fundamental entender a sequência dos processos que acontecem na linha de montagem e avaliar individualmente as alternativas de melhoria. A sequência de processos na montagem PTH segue a sequência apresentada na Figura 26 abaixo.



Fonte: Autor. 2023

Para a definição do layout da nova linha de montagem PTH, foram realizadas diversas reuniões do grupo de trabalho, com o objetivo de mapear quais os principais desperdícios encontrados em cada um dos processos da Montagem PTH e como esses se relacionam com o layout adotado.

Após analisar cada um dos processos, foram elencados os principais desperdícios, sob o ponto de vista da produção enxuta e utilizou-se de uma classificação numérica crescente (variando entre 0 a 3) para ranquear a relevância de cada um dos 7 desperdícios do *Lean Manufacturing* em cada um dos seis processos da Montagem PTH. Esse trabalho foi realizado por a partir de brainstorming com a equipe do projeto. Nesta etapa do trabalho, o autor esteve presente na elaboração das rotas de movimentação e avaliação das restrições de espaço físico.

Tabela 3. Classificação da relevância dos desperdícios nos processos de montagem PTH

	Superprodução	Espera	Transporte	Processamento desnecessário	Estoques	Movimentação Excessiva	Retrabalho
<b>Inserção</b>	0	3	1	0	0	2	3
<b>Solda Onda</b>	0	3	1	0	2	0	0
<b>Pós Solda</b>	0	0	3	3	3	2	0
<b>Teste</b>	0	2	3	0	0	1	0
<b>Verniz</b>	0	2	3	0	1	1	0
<b>MPT</b>	0	3	3	0	3	2	1

Fonte: Elaborado pelo Autor

De maneira geral, a equipe de trabalho destacou a falta de um sistema lógico para transporte dos materiais como um dos principais motivos de atrasos nas entregas dos processos, assim como a espera por componentes e por atividades predecessoras, expondo assim uma deficiência no balanceamento das operações realizadas.

Outra análise realizada pelo grupo de trabalho, simultaneamente a classificação da relevância dos desperdícios, foi a avaliação do problema identificado e o efeito esperado da aplicação de ferramentas da produção enxuta. Os dados obtidos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Demanda x Efeito da ferramenta *lean*.

	<i>Mizusumashi</i>		Sistema de Gestão Visual		<i>Kanban</i> de Linha	
	Demanda	Efeito	Demanda	Efeito	Demanda	Efeito
<b>Inserção PTH</b>	Os materiais demoram para chegar ao bordo de linha	-	Montagem incorreta dos materiais devido ao erro dos operadores	Identificação visual por cores nos contentores	-	Modelo para alocação de material ao bordo
<b>Solda Onda</b>	Pallets de solda demoram a ser transportados	-	Métricas do indicador de desempenho da máquina não estão claras para o operador	Acompanhamento dos indicadores por meio de painel eletrônico	-	-
<b>Pós Solda</b>	Os materiais demoram para seguir para o próximo posto de trabalho	Transporte rebocado dos cartões para o posto seguinte	-	Indicação visual no posto de trabalho do local de entrada e saída de material	Materiais ficam muito tempo no bordo de linha sem utilização	Modelo para alocação de material ao bordo
<b>Teste</b>	Ferramentas utilizadas no posto de trabalho são pesadas	Transporte rebocado da ferramenta de teste	-	Indicação visual no posto de trabalho do local de entrada e saída do material	-	-
<b>Verniz</b>	Transporte das caixas não é feito de forma rápida	Transporte rebocado das caixas para os cartões	-	Indicação no posto de trabalho do local destino do cartão finalizado	-	-
<b>MPT</b>	-	-	-	Indicação visual do endereçamento dos materiais na estante de guarda	Materiais ficam muito tempo no bordo de linha sem utilização	Modelo para alocação de material ao bordo

Fonte: Elaborado pelo autor.

É esperado que com a implementação do transporte de materiais por comboio logístico, os materiais que possam ser rebocados cheguem mais rápido ao posto de trabalho. Já com a aplicação de ferramentas visuais, espera-se que haja uma redução no número de montagens incorretas de componentes. Por fim, com a elaboração de um modelo lógico para alocação dos materiais ao bordo de linha, espera-se reduzir o desperdício proveniente dos estoques intermediários que são gerados em alguns postos de trabalho.

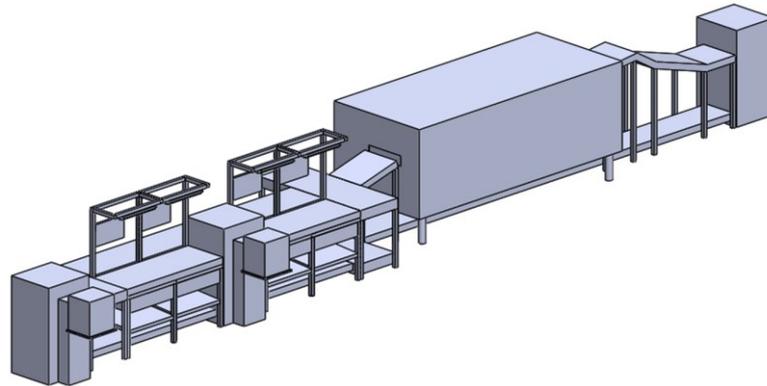
Entre os processos de montagem PTH, aquele que acaba se tornando mais relevante é a Inserção (esquemático na Figura 27), pois é com base nos tempos do posto de trabalho de inserção que as ordens são planejadas pelo PCP e também é o posto de trabalho que apresenta o maior número de operadores e o menor grau de automação.



Os principais desperdícios encontrados no posto de trabalho de inserção estão relacionados com espera, devido a diferença no ritmo de trabalho dos operadores e retrabalho, devido a montagem incorreta dos componentes na PCI. Por conta disso, ficou definido que o layout da nova linha de montagem deve permitir uma fácil visualização da identificação dos materiais e deve ser considerado também a instalação de buffers intermediários entre os postos de trabalho.

Para atender a essa proposta, a distribuição das máquinas, mostrada na Figura 28, e equipamentos adotados diferenciam-se do que já é adotado pela empresa em outras linhas de montagem, em especial por possuir um buffer intermediário, sistema de retorno de pallets de solda e painel para visualização da documentação eletrônica do cartão.

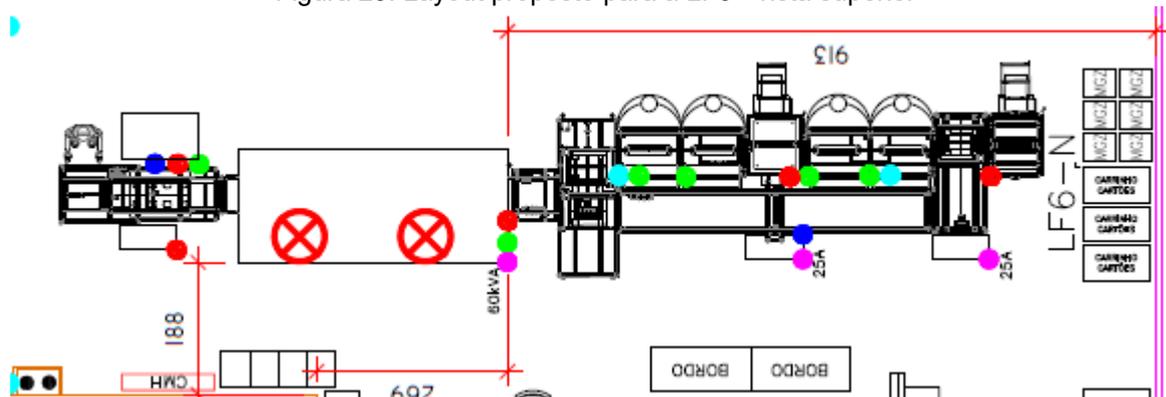
Figura 28. Distribuição dos equipamentos e máquinas – LF6



Fonte: WEG, 2023.

Considerando essas necessidades pautadas, a proposta de layout, mostrada na Figura 29, foi definida para a nova linha de montagem.

Figura 29. Layout proposto para a LF6 - vista superior



Fonte: WEG, 2023.

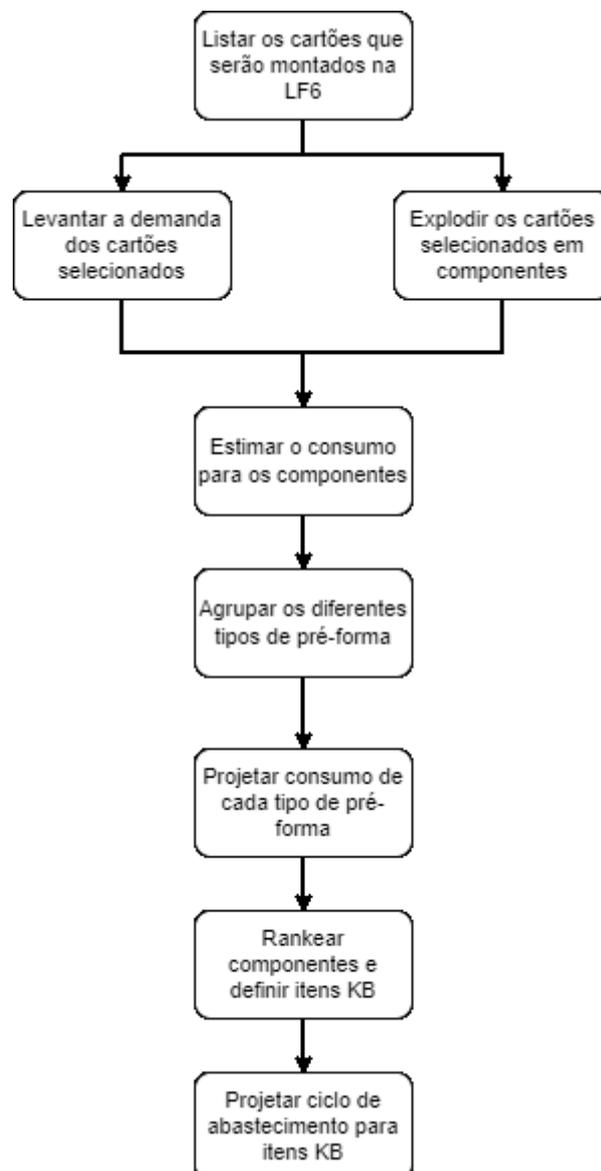
Como etapa necessária ao planejamento do posto de trabalho, na Figura 29 também estão representados os pontos de energia elétrica, sistema de exaustão e arrefecimento da onda. Também foi previsto no layout a área para bordo de linha e estantes para materiais.

No que se refere ao abastecimento de componentes para a montagem, foram traçadas duas estratégias: Estratégia de abastecimento por sistema *Kanban*, onde os materiais são mantidos no supermercado segundo um nível de segurança controlado e em seguida transferidos ao bordo de linha, e o reabastecimento é realizado de maneira puxada e abastecimento por entregas programadas, chamado de *Junjo* por autores do lean.

#### 4.6. DIMENSIONAMENTO DE *KANBANS*

Para fins do estudo, considerou-se como *Kanban* os contentores de materiais que deverão ser abastecidos com componentes e alocados ao bordo de linha próximo ao posto de montagem. Geralmente, os *kanbans* são dimensionados de forma determinística e seus ajustes são intuitivos e empíricos. As dispersões naturais do processo, em muitos casos, não são consideradas, o que pode gerar falha no dimensionamento. No estudo de caso apresentado, desenvolveu-se um procedimento lógico, descrito na Figura 30, para dimensionar o *kanban* da nova linha de produção.

Figura 30. Procedimento para dimensionamento do Kanban



Fonte: Elaborado pelo autor

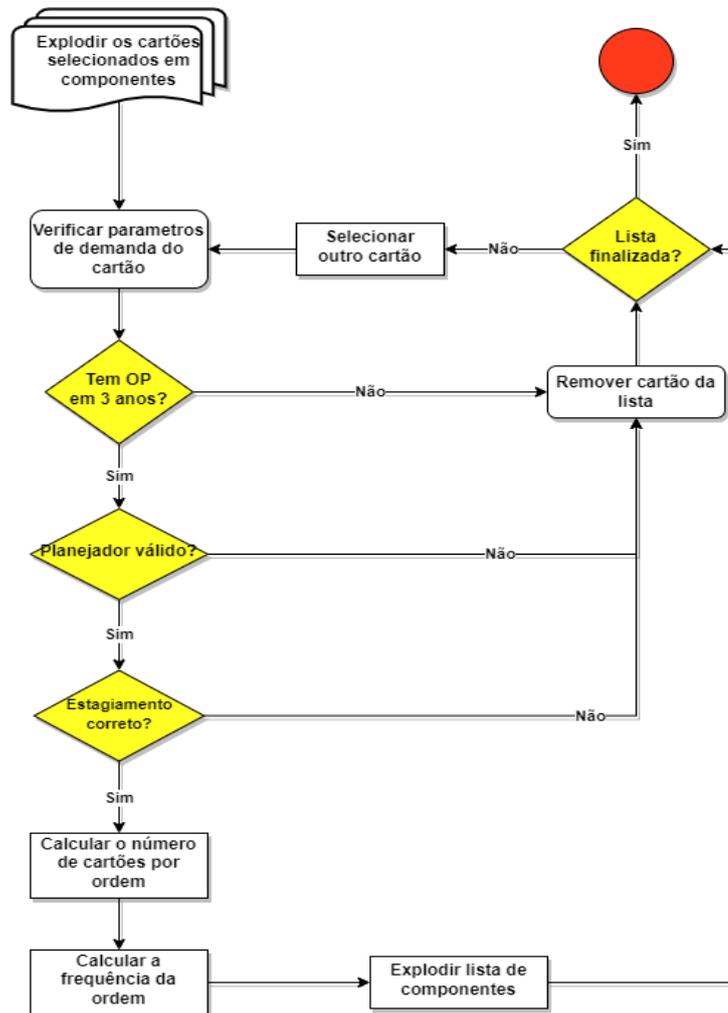
O primeiro passo necessário para dimensionamento do *kanban* foi a definição de quais cartões seriam montados na nova linha. Para isso, foram assumidas as seguintes premissas:

- Serão selecionados somente cartões cujo estanho de montagem seja *Lead Free*;
- Serão selecionados somente cartões cujo plano de montagem seja de até 4 postos de inserção PTH;
- Não serão montados cartões cujo planejamento esteja em fase de *Phase-out*;
- Serão selecionados somente cartões que também possuam montagem SMD.

O portfólio de cartões da empresa conta com 4717 modelos diferentes, agrupados em 745 famílias. Com base nas premissas definidas, foram selecionados 211 cartões para montagem na nova linha de produção, representando, aproximadamente, 4% do total de cartões.

Na segunda etapa, foi realizada inicialmente a avaliação da demanda dos cartões selecionados. A informação foi obtida através do SAP (*t-code: COOIS*), que permite listar as ordens de produção liberadas em um determinado horizonte de tempo. Para que a análise seja significativa, o horizonte de tempo selecionado foi de 36 meses, a fim de obter um maior número de registros das ordens de produção. O diagrama apresentado na Figura 31 descreve o procedimento adotado na segunda etapa.

Figura 31. Procedimento adotado - Segunda Etapa

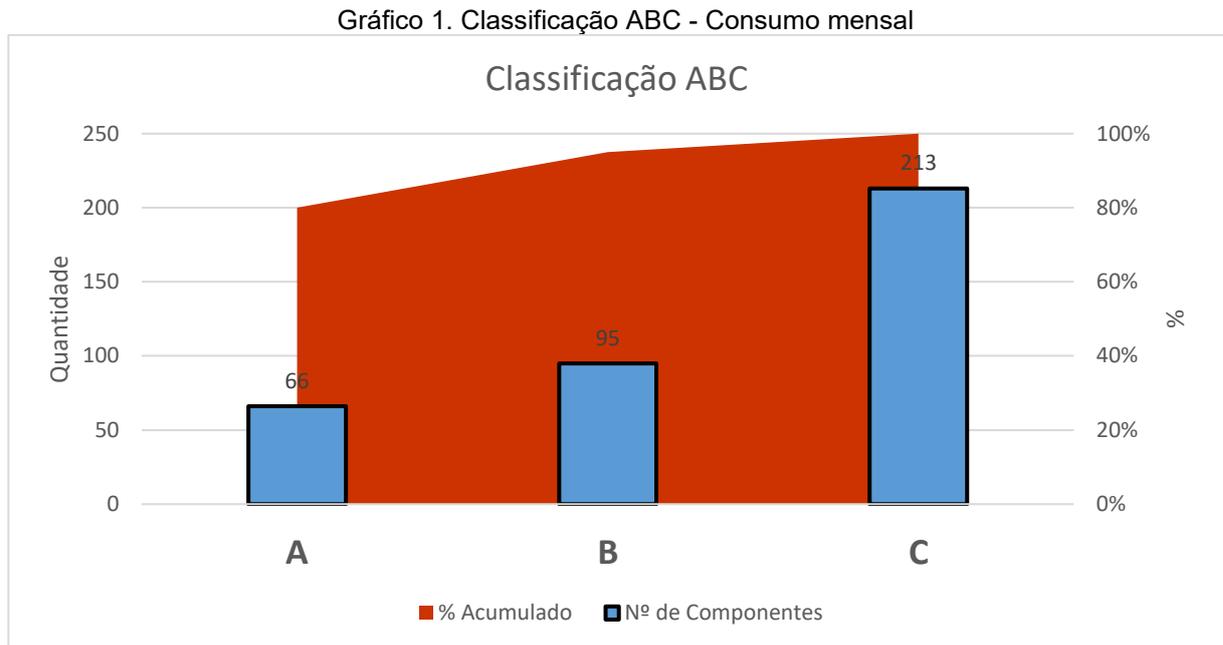


Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta etapa, a lista dos cartões selecionados foi explodida em uma lista de componentes, que por fim, serão os itens que serão alocados ao bordo de linha. A estratificação dos componentes é obtida através do SAP (*t-code: ZTPP180*), operação essa que permite listar todos os componentes de um determinado produto. Como resultado, foram obtidos um total de 1566 componentes.

A terceira etapa se resume em relacionar as informações obtidas na etapa anterior para obter uma expectativa do consumo de cada componente. O produto entre a quantidade de componente por cartão e a demanda média do cartão resulta em uma aproximação para o consumo do componente em um dado horizonte de tempo. Eximiu-se nessa etapa a realização de uma previsão de demanda mais criteriosa, uma vez que o resultado será utilizado apenas para selecionar os componentes que serão alocados ao bordo de linha.





Fonte: WEG, 2023.

Ao utilizar a Curva ABC para o ranqueamento, os itens da categoria A recebem maior prioridade, seja em termos de alocação de recursos, tomada de decisões ou planejamento estratégico. Isso ocorre porque esses itens têm um impacto maior nos resultados ou metas estabelecidas. A aplicação da Curva ABC como método de ranqueamento oferece benefícios, como:

- Foco nos itens mais importantes: O ranqueamento por Curva ABC permite concentrar recursos e esforços nos itens de maior impacto, garantindo uma gestão mais eficiente.
- Identificação de oportunidades de melhoria: Ao identificar os itens de menor importância, é possível direcionar esforços para melhorias ou eliminação desses itens, liberando recursos para áreas mais estratégicas.
- Melhoria no planejamento e controle: Com a classificação dos itens por importância, o planejamento e o controle podem ser ajustados para garantir o atendimento adequado aos itens prioritários.

Como resultado do ranqueamento, obteve-se 66 itens, classificados como “A”. A partir da seleção dos componentes, o próximo passo exige que a quantidade de caixas seja calculada.

#### 4.7. CÁLCULO DA QUANTIDADE DE CAIXAS

A quantidade de caixas alocadas ao bordo de linha foi modelada a partir da principal restrição envolvida: espaço físico e dimensões do bordo. Em sua maioria, os componentes montados nos cartões eletrônicos apresentam dimensões pequenas, entretanto, existem componentes, os quais para serem alocados em quantidade suficiente para atender ao ciclo de abastecimento, devem ser colocados em caixas maiores. Além disso, as caixas a serem utilizadas apresentam o requisito de possuir proteção anti estática, a fim de evitar possíveis danos aos componentes.

Ao observar as opções disponíveis no mercado, foram levantadas três opções, distintas em dimensões, material e propriedades: BIN N° 2, CN 2158 e CN 1518.



Fonte: Elaborado pelo Autor

As dimensões de cada uma das opções de caixa são apresentadas na Tabela 5.

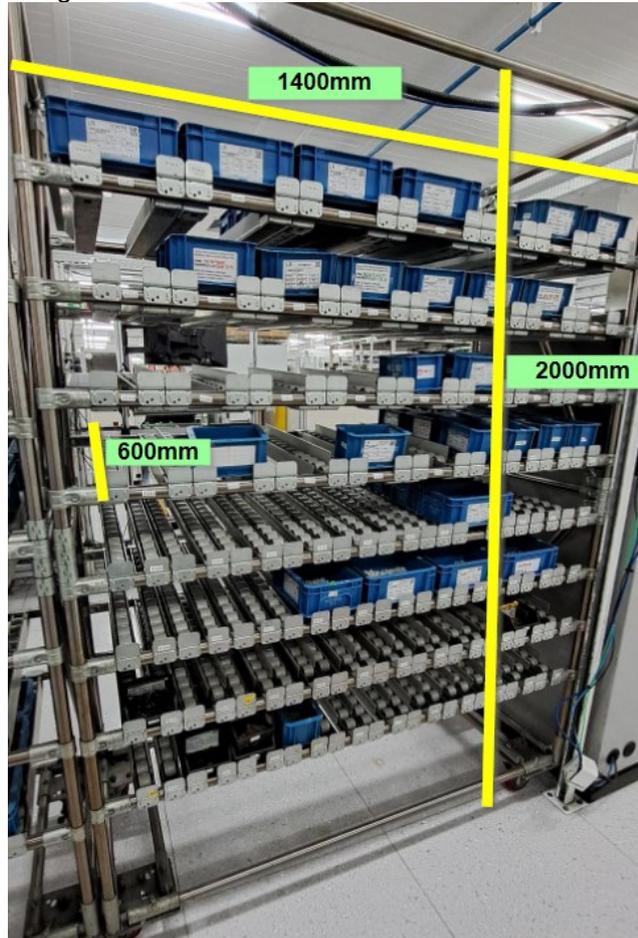
Tabela 5. Dimensões das caixas do bordo de linha

Caixa	Altura [mm]	Largura [mm]	Profundidade [mm]
1518	72	90	140
2158	70	135	195
BIN N° 2	70	100	140

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o modelo do bordo de linha a ser utilizado, foi adotado a opção do bordo Flow Rack, por permitir um abastecimento pela parte de trás, fazendo com que os materiais sejam consumidos segundo a lógica FIFO. As dimensões do bordo de linha são conhecidas e mostradas na Figura 34.

Figura 34. Bordo de Linha em Flow Rack



Fonte: Imagem obtida pelo autor.

O problema de alocação de contêineres é visto na literatura e pode ser modelado como um problema clássico envolvendo otimização, entretanto, uma vez que a equipe planejadora possui conhecimento prévio dos componentes e da real frequência de utilização pela fábrica, optou-se por uma abordagem simplificada, que atenda as seguintes premissas:

- É necessário no mínimo dois níveis com caixas de maior volume para atender aos componentes grandes;
- Deve-se adotar a alternativa que ofereça o maior número de endereços disponíveis, para que seja possível alocar um maior número de componentes distintos;
- Os componentes com maior consumo devem ficar em níveis de altura média, respeitando aspectos ergonômicos;
- Todos os endereços devem conter no mínimo, 3 caixas;

A partir disso, determinou-se a distribuição para o bordo de linha, como mostra a Figura 35.

Figura 35. Bordo de Linha - LF6

	CN 2158		CN 2158		CN 2158		CN 1518	CN 2158		CN 2158		CN 2158	
	CN 1518												
	CN 1518												
	CN 1518												
	CN 2158		CN 2158		CN 2158		CN 1518	CN 2158		CN 2158		CN 2158	
	CN 2158		CN 2158		CN 2158		CN 1518	CN 2158		CN 2158		CN 2158	
	CN 1518												

Fonte: Elaborado pelo autor

A distribuição adotada para o bordo de linha resultou em 86 endereços, totalizando 18 caixas CN 2158 e 68 caixas CN 1518. Essa configuração permite a alocação de todos os componentes classificados com “A”, reduzindo a necessidade de requisição de material ao almoxarifado. As situações em que o componente não está alocado ao bordo de linha e deve ser abastecido no posto de trabalho serão realizadas por abastecimento *Junjo*. Sob uma ótica de redução de movimentações e transporte, é interessante que o máximo de componentes sejam *kanban*, reduzindo a movimentação de materiais.

#### 4.8. ELABORAÇÃO DO PLANO PARA CADA PEÇA

Com o objetivo de agrupar as informações a respeito dos componentes, adquirir um nível maior de controle sob os materiais, localizar rapidamente qualquer componente e reduzir a taxa de defeitos e o atraso na entrega de pedidos, foi realizada a elaboração da *PFEP - Plan for Every Part*.

Assim como é visto em outros trabalhos, a maneira clássica de elaborar e apresentar o PFEP se dá por meio de uma planilha eletrônica e a sua implementação envolve o conhecimento completo dos materiais utilizados durante a produção. Dessa forma, a etapa inicial da elaboração preconiza a modelagem de uma planilha que reúna as diferentes características de cada material.

Embora existam propostas de quais informações devam constar no PFEP, como visto no trabalho de Salaverry (2014), a escolha das informações a serem apresentadas no PFEP são de livre determinação da empresa. No caso da WEG, a captura dos dados foi realizada por meio do ERP utilizado pela empresa, por meio do WMS - Sistema de Gerenciamento de Armazém e por levantamento *in loco* na fábrica. Dessa forma, foram elencados três grupos de informações, as quais são necessárias para a rápida identificação dos componentes na indústria eletrônica: Descrição, Localização e Inventário.

Figura 36. Informações listadas no PFEP

Descrição	Localização	Inventário
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Código Chave</li> <li>• Texto breve do material</li> <li>• Família</li> <li>• Código Pré-forma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estante</li> <li>• Posição</li> <li>• Depósito de Produção</li> <li>• Linha</li> <li>• Tipo de Caixa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo mensal</li> <li>• Quantidade por Caixa</li> <li>• Classificação ABC</li> <li>• Planejador</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

A utilização do PFEP tem o potencial de trazer uma série de vantagens adicionais para a empresa, tais como a capacidade de identificar e priorizar a montagem dos produtos, melhorar a gestão dos níveis de estoque, tanto de matéria-prima quanto de produtos acabados, resultando em uma melhoria geral na organização da produção e no fluxo de movimentação.

No entanto, para garantir que as informações sejam sempre precisas, atualizadas e, portanto, confiáveis, é crucial estabelecer um processo eficiente de gerenciamento de dados. Isso envolve a identificação dos responsáveis pelos dados e dos processos associados a eles, a fim de controlar as adições, modificações e exclusões dos dados, além de realizar auditorias periódicas para verificar sua integridade.

A partir das informações do PFEP, foram geradas as etiquetas de identificação para os contentores do *kanban*. A identificação por meio de etiquetas é citada por Imai (1996) e Soares (2014) como requisito crucial para um sistema de endereçamento. Abaixo, a Figura 37 apresenta o modelo de etiqueta utilizado na WEG.

Figura 37. Etiqueta Kanban

O modelo da etiqueta Kanban é dividido em seções para identificação de material e localização. No topo, há campos para 'LINHA' e 'MATERIAL', além de uma descrição do material e um código de barras. Abaixo, há um campo para o número '123456789'. A seção de localização contém campos para 'ESTANTE', 'POSICÃO', 'CAIXA', 'PRÉ-FORMA', 'QTD PÇ SICX', 'PESO', 'DEPÓSITO' e 'END. DEPÓSITO', todos com exemplos de preenchimento alfabético.

Fonte: WEG, 2023.

Para um rápido acesso às informações contidas no PFEP, foi adicionado às etiquetas um sistema de codificação, fornecendo aos operadores informações precisas sobre o ponto de

reabastecimento, quantidades, tipo de contentor, entre outros elementos importantes dos componentes.

#### 4.9. ROTAS DE ABASTECIMENTO DAS LINHAS

Para a definição das rotas de abastecimento, a equipe de trabalho partiu da definição de dois grupos de abastecimento: abastecimento de matéria prima e abastecimento de ferramentas. Foi levado em consideração fatores relacionados ao layout da fábrica e também, restrições com relação à capacidade do veículo transportador. É conhecido que o vagão apresenta restrições com relação ao peso e dimensões dos materiais transportados. O limite de peso adotado foi de 33 kg por vagão, podendo o rebocador carregar até 4 vagões.

Por apresentar características diferentes e estarem localizados em ambientes separados, optou-se por dividir a elaboração das rotas de abastecimento entre rotas de abastecimento para montagem SMD e rotas de abastecimento para montagem PTH.

Para montagem PTH, notou-se a necessidade de identificar nas atividades mapeadas (Figura 25), quais delas estariam relacionadas com abastecimento da linha, os postos de trabalho envolvidos e os principais fluxos de transporte no processo de produção da nova linha planejada. Para isso, foi utilizada uma Tabela “De - Para”, relacionando o posto de trabalho inicial e o destino final para as atividades que apresentam movimentação entre postos de trabalho.

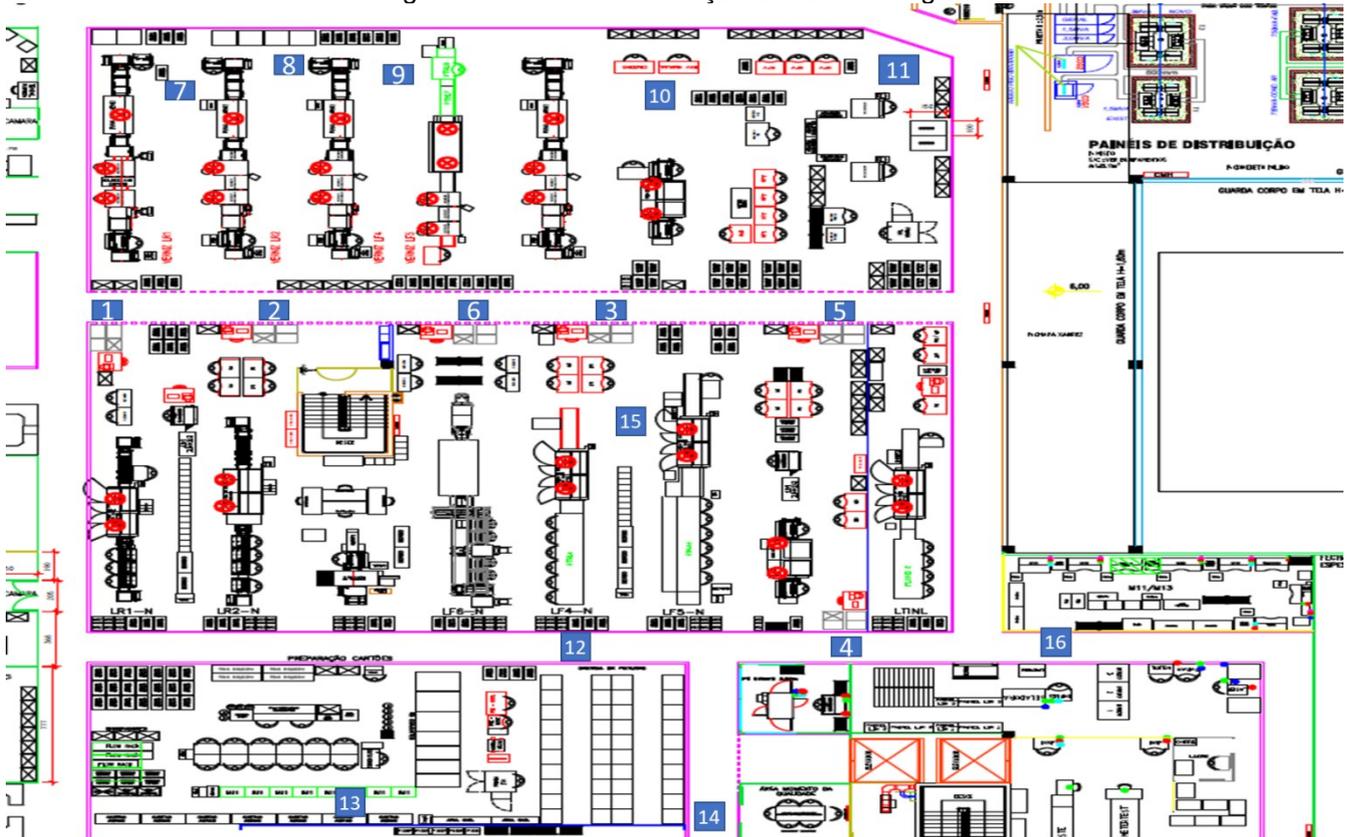
Tabela 6. Tabela De-Para - Atividades PTH

<b>De</b>	<b>Para</b>	<b>Atividade</b>	<b>Pode ser rebocado?</b>
Almoxarifado	Preparação de Componentes	Transporte do carrinho com materiais separados	Não
Preparação de Componentes	Linha de produção - Inserção	Transporte do carrinho com os materiais separados e pré formados	Não
Armário de Testes	Posto de Trabalho - Testes	Transporte dos equipamentos de teste	Sim
Almoxarifado de Cartões	Posto de Trabalho - Verniz	Transporte das caixas para armazenamento dos cartões	Sim
Posto de Trabalho - Verniz	Almoxarifado de Cartões	Transporte dos cartões finalizados	Sim
Posto de Trabalho - Reprocesso	Almoxarifado de Cartões	Transporte de cartões reprocessados	Sim

Fonte: WEG, 2023.

Considerando somente as atividades que possam ser rebocadas, foram identificados no layout da fábrica os possíveis pontos de interface entre o operador do comboio logístico e a linha de produção. A Figura 38, aponta no layout da fábrica os pontos de interação do comboio logístico.

Figura 38. Pontos de interação do comboio logístico



Fonte.: WEG, 2023.

Os pontos identificados são onde acontecem as atividades de abastecimento de ferramentas e recolhimento de cartões acabados, ou seja, entrega de ferramentas e as atividades de *picking*, que são aquelas que retiram material finalizado do posto de trabalho. A Tabela 7, descreve cada um dos pontos apresentados anteriormente, apontando com qual linha cada um deles se relaciona:

Tabela 7. Descrição dos pontos de interface do comboio logístico

Ponto	Descrição	Pertence a qual linha de montagem?
1	Abastecimento / <i>Picking</i> da ferramenta de teste do cartão	LR1
2	Abastecimento / <i>Picking</i> da ferramenta de teste do cartão	LR2
3	Abastecimento / <i>Picking</i> da ferramenta de teste do cartão	LF4
4	Abastecimento / <i>Picking</i> da ferramenta de teste do cartão	LF5

5	Abastecimento / <i>Picking</i> da ferramenta de teste do cartão	LF3
6	Abastecimento / <i>Picking</i> da ferramenta de teste do cartão	LF6
7	Entrega de caixas para cartões prontos / Recolhimento de caixas com cartões prontos	LR1
8	Entrega de caixas para cartões prontos / Recolhimento de caixas com cartões prontos	LR2
9	Entrega de caixas para cartões prontos / Recolhimento de caixas com cartões prontos	LF6
10	Entrega de caixas para cartões prontos / Recolhimento de caixas com cartões prontos	Todas
11	Entrega de caixas para cartões prontos / Recolhimento de caixas com cartões prontos	Todas
12	Guarda das ferramentas de teste do cartão	Todas
13	Guarda da sobra dos materiais	Todas
14	Guarda das caixas para transporte dos cartões	Todas
15	Armário para cartões a serem reprocessados	LF4 ; LF5
16	Entrada dos cartões a serem reprocessados / Saída de cartões reprocessados	LF4 ; LF5

Fonte: Elaborado pelo autor

Importante notar que ao seleccionar apenas as atividades que possam ser rebocadas, ficou sob responsabilidade do *mizusumashi* o transporte de ferramentas, caixas e cartões finalizados, excluindo assim atividades de abastecimento de matéria prima.

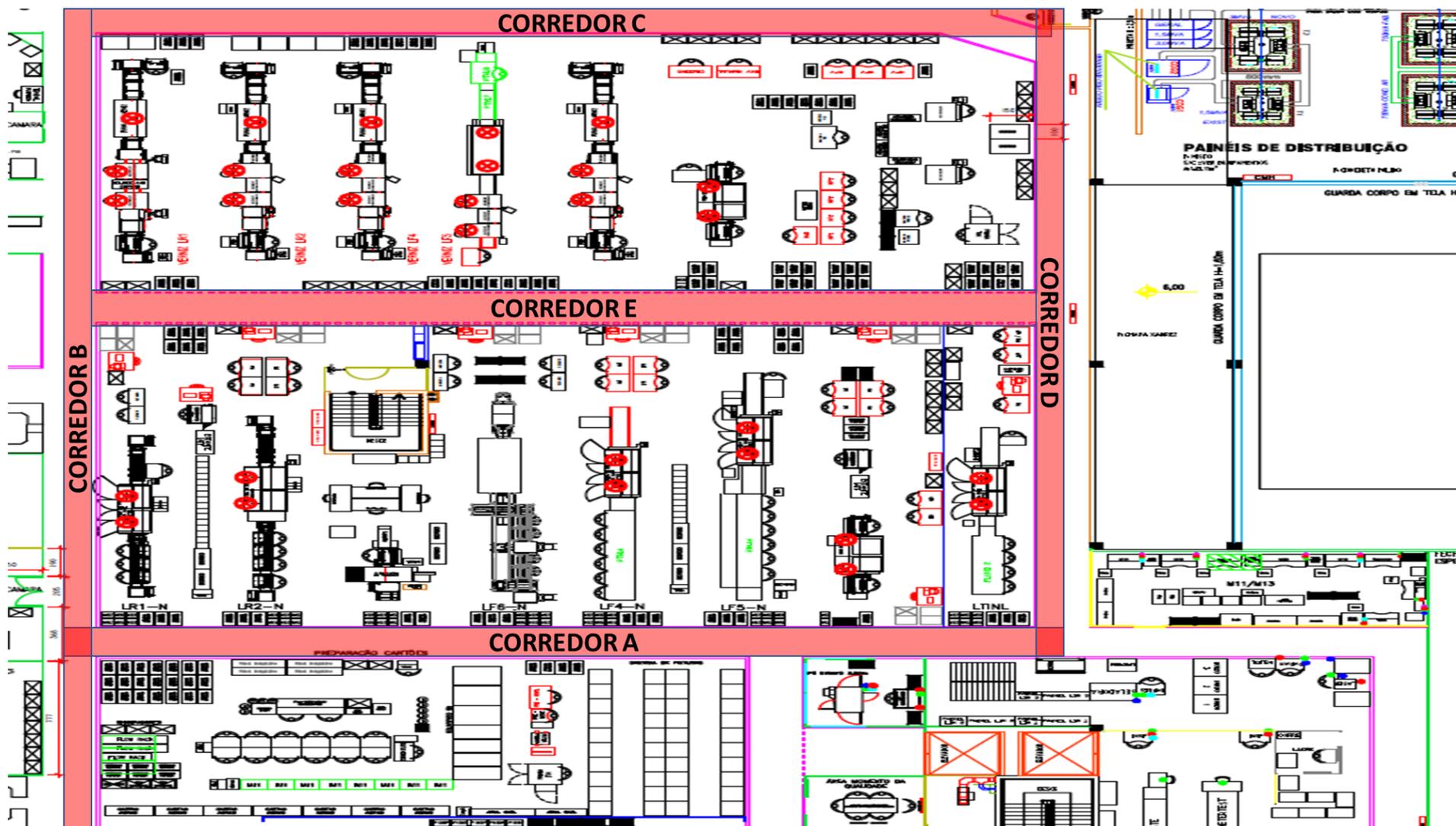
A decisão de excluir as atividades de abastecimento de matéria prima se deu por não ser possível realizar a atualização estrutural necessária em todos os vagões e carrinhos de transporte para que fosse possível rebocar.

Nessa situação, cabe a um operador externo realizar o abastecimento das linhas de forma manual. Esse caso também é mostrado por Azevedo (2022), em que o transporte para pequenas distâncias é realizado por meio de um operador a pé e não coube ao escopo do trabalho a elaboração de rotas para essa movimentação.

Por fim, para traçar as rotas do comboio logístico, optou-se primeiramente por restringir a área de movimentação aos corredores, considerando os mesmos como zona de interface entre o *mizusumashi* e a linha de montagem. Como visto no trabalho de Rodrigues (2017), ao restringir a movimentação do comboio logístico aos corredores, é possível reduzir a movimentação em áreas mais internas da linha de montagem, melhorando assim o fluxo de materiais.

Considerando o layout apresentado na Figura 38, dividiu-se a zona de movimentação em 5 corredores principais, como mostrado na Figura 39.

Figura 39. Zona de Movimentação - Corredores



Dividindo a área de movimentação em corredores principais, foram identificados cinco corredores principais, por onde o comboio logístico deve atravessar. Em cada corredor, o número de paradas a serem realizadas pelo comboio logístico foi definido segundo os pontos de interface que foram apresentados na Figura 38.

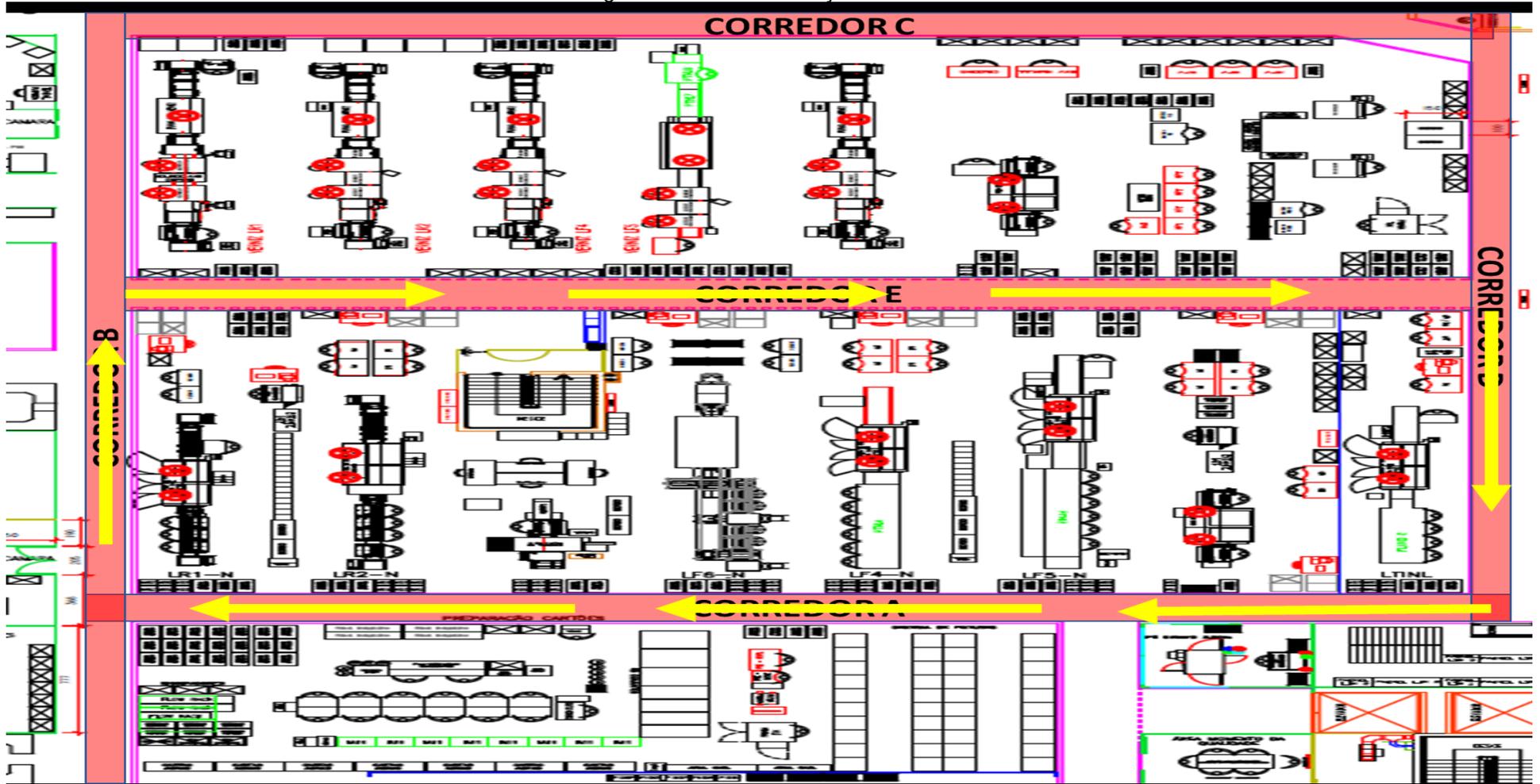
Tabela 8. Número de paradas por corredor

<b>Corredor</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Número de Paradas</b>
<b>A</b>	38	3
<b>B</b>	59	2
<b>C</b>	38	5
<b>D</b>	51	2
<b>E</b>	38	5

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em consonância com a sequência apresentada por Coimbra (2013) para a elaboração das rotas de abastecimento, como próximo passo foram traçadas rotas circulares para avaliação do percurso e a realização de viagens testes, a fim de avaliar a existência de impedimentos físicos na rota desenhada e obter uma estimativa da duração do percurso a ser realizado pelo *mizusumashi*.

Figura 40. Rota de Avaliação N° 1



Fonte: WEG, 2023



#### 4.10. CÁLCULO DO TEMPO DE CICLO DAS ROTAS

O tempo de ciclo de um *mizusumashi* é o tempo necessário para um operador completar uma volta completa em sua rota de movimentação de materiais. Para calcular o tempo de ciclo de um *mizusumashi*, é necessário medir o tempo que um operador leva para completar uma volta completa em sua rota de movimentação de materiais. Esse tempo inclui o tempo gasto carregando e descarregando materiais, bem como o tempo gasto viajando entre as diferentes áreas de produção.

Para cada uma das rotas de avaliação, foram feitas 10 tomadas de tempo, considerando viagens em vazio, para estimar o tempo de percurso total em vazio.

Tabela 9. Tomada de tempos - Percurso total em vazio

	Trajeto	Tomada de Tempos (s)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rota Nº 1	ABEDA		110								
Rota Nº 2	ADEBCDA				163						

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao mesmo tempo, para todos os pontos de interação listados na Figura 38, foram realizadas 10 tomadas de tempo para estimar o tempo de atividade em cada parada.

Tabela 10. Tomada de tempos - Atividades

Pontos	Descrição rápida	Tomadas de Tempo (s)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max
1	Abastecer Giga											
2	Abastecer Giga											
3	Abastecer Giga											
4	Abastecer Giga											
5	Abastecer Giga											
6	Abastecer Giga											
7	Abastecer Caixa / Retirar Cartão											
8	Abastecer Caixa / Retirar Cartão											
9	Abastecer Caixa / Retirar Cartão											
10	Abastecer Caixa / Retirar Cartão											
11	Abastecer Caixa / Retirar Cartão											
12	Devolver Giga											
13	Devolver Material											
14	Devolver Caixa											
15	Retirar Cartão											
16	Devolver Cartão											

Fonte: Elaborado pelo autor

Os pontos 13, 14, 15 e 16 apresentam variação ínfima no tempo de atividade, podendo assim, serem considerados constantes. Isso acontece por conta da simplicidade da atividade executada.

Dessa forma, a estimativa para o tempo de ciclo das rotas é alcançada a partir da soma entre o maior tempo total de percurso em vazio e o maior tempo das atividades que são realizadas no trajeto.

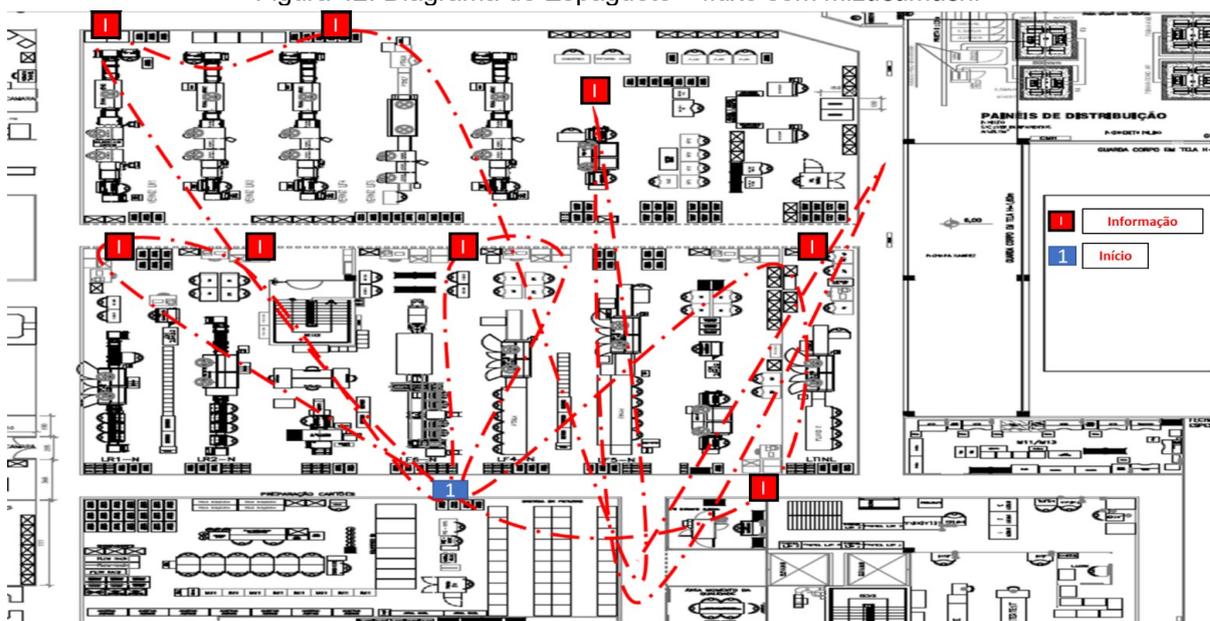
Como resultado, obteve-se a estimativa de 9 e 14 minutos, para a Rota Nº 1 e Nº 2 respectivamente. Esse tempo representa uma aproximação conservadora do tempo de duração, uma vez que é calculada com base no maior tempo cronometrado.

Uma vez estimado, o tempo de ciclo pode ser utilizado para elaborar um cronograma de viagens, permitindo a criação de uma rotina programada que ajuda a balancear o fluxo de materiais na fábrica, reduzir o tempo de espera por ferramentas e atrasos diversos entre as diferentes áreas de produção.

#### 4.11. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos são evidenciados a partir da comparação do fluxo logístico da fábrica antes e depois da implementação do comboio logístico e das melhorias em relação à gestão visual. As movimentações de materiais e transporte de ferramentas, antes desordenadas (como mostra a Figura 42) e realizadas de acordo com a necessidade imediata do operador na linha, passaram a ser realizadas de forma programada, reduzindo o número de percursos desnecessários e externalizando o desperdício por movimentação e transporte. A Figura 42 apresenta um diagrama de espaguete para o fluxo de movimentações sem a implementação do *mizusumashi*.

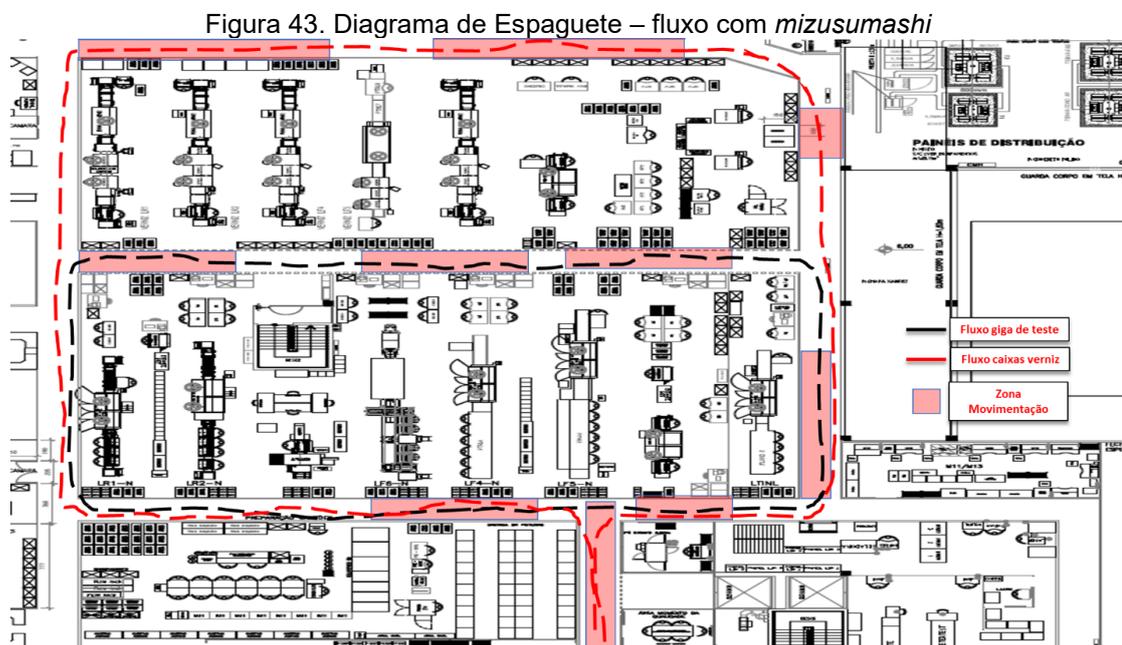
Figura 42. Diagrama de Espaguete – fluxo sem *mizusumashi*



Fonte: Elaborado pelo autor

Os pontos representados em vermelho mostram os pontos onde era necessário ao operador externo recolher a informação sobre a necessidade do posto de trabalho para, em seguida, abastecer conforme solicitação. O trajeto era realizado pelo operador a pé e o percurso era realizado em aproximadamente 30 minutos.

A partir da implantação do *mizusumashi* e também da nova linha de produção LF6, embora com um maior número de paradas, o fluxo de movimentações foi simplificado. A Figura 43 mostra o diagrama de espaguete para o fluxo de movimentações com a implementação do *mizusumashi*.



Fonte: Elaborado pelo autor

A escolha do diagrama de espaguete para comparação dos cenários se deu devido a necessidade de uma avaliação qualitativa, uma vez que a nova linha de produção ainda se encontra em fase de testes e parâmetros quantitativos ainda estão sendo avaliados, fazendo com que a rota proposta para o comboio logístico apresente variação no tempo de ciclo. A Tabela 11 traz os resultados obtidos, sumarizados de acordo com as medidas implementadas.

Tabela 11.: Quadro de Resultados – Por ferramenta aplicada

Medida	Resultado Preliminar
Implementação do Mizusumashi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simplificação do fluxo logístico da fábrica</li> <li>• Maior capacidade de abastecimento programado.</li> <li>• Redução da espera por ferramentas em vários postos de trabalho.</li> </ul>
Dimensionamento do Kanban	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução na frequência de abastecimento da linha de montagem.</li> <li>• Redução no tempo de setup em postos de trabalho relacionados a preparação dos componentes.</li> </ul>
Padronização das Informações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhora da acuracidade do operador na linha de montagem.</li> <li>• Facilitação do treinamento de novos operadores, permitindo a normatização da função.</li> </ul>

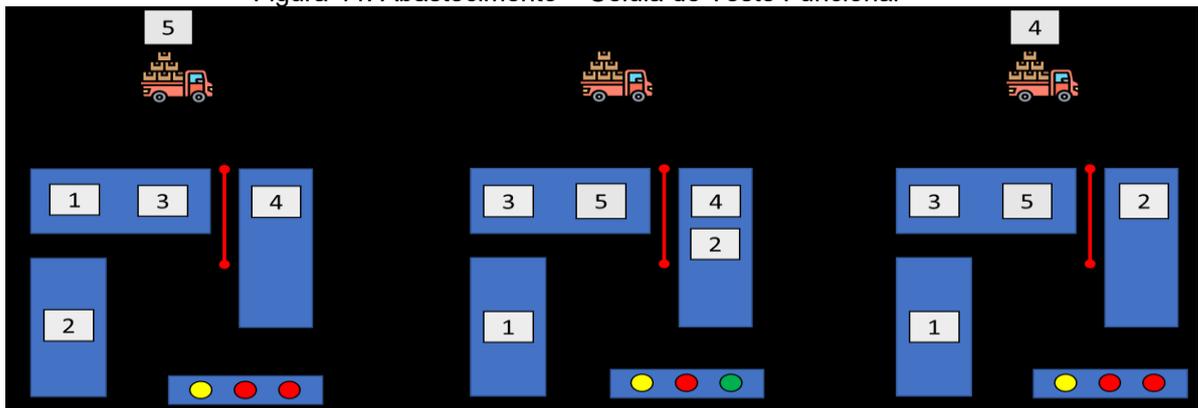
Fonte: Elaborado pelo autor

Com a implementação do comboio logístico, foi criado na fábrica o conceito de zona de movimentação, que representa o espaço onde deve o *mizusumashi* deve parar e realizar as atividades de abastecimento. Devido às limitações do rebocador, não foi possível agrupar todas as atividades em uma só rota, sendo necessário dividir em duas rotas, agrupando as atividades de cada uma delas de acordo com a similaridade do processo e do material a ser transportado.

Essas mudanças resultaram em um tempo de ciclo de , aproximadamente, 24 minutos, uma redução de 6 minutos quando comparado com o estado anterior que possuía apenas 5 linhas de produção.

A implementação do *mizusumashi* também apresentou efeitos positivos na célula de teste funcional. O percurso antes realizado pelo operador a pé para transportar as gigas de teste conforme necessidade, pode ser melhorado, criando uma lógica programada em que a cada ciclo do comboio logístico, as gigas que precisam ser devolvidas (ilustradas como “4” na figura 44) possam ser levadas e aquelas que serão utilizadas (ilustradas como “5” na figura 44) sejam abastecidas.

Figura 44. Abastecimento – Célula de Teste Funcional



Fonte: Elaborado pelo autor

O método de abastecimento apresentado na Figura 44 é citado por Ferreira (2016) como Método de Revisão Incessante, onde o reabastecimento e a verificação da necessidade ocorrem simultaneamente.

Essa mudança no sistema de abastecimento trouxe como impacto:

- Diminuição da movimentação do operador da célula de teste funcional;
- Melhoria em relação a ergonomia do posto de trabalho;
- Redução do tempo de espera pela ferramenta de trabalho do operador;

Todas essas mudanças foram fortemente apoiadas pelas medidas de gestão visual, também implementadas na fábrica. Em relação a gestão visual, foram realizadas ações para garantir que o comboio logístico opere de maneira padronizada. Identificações sobre posição de entrada e saída das caixas, como é visto na Figura 45, foram colocadas no vagão, padronizando a atividade de abastecimento e recolhimento das caixas.

Figura 45. Vagão do comboio logístico



Fonte: Imagem obtida pelo autor

Em relação aos pontos de parada, foi identificado no chão de fábrica os pontos de parada do comboio logístico, conforme mostrado na Figura 46. Essa medida teve como resultado uma melhor interpretação, por parte do operador, do local de parada do comboio logístico dentro da zona de movimentação.

Figura 46. Identificação dos pontos de parada do comboio logístico



Fonte: Imagem obtida pelo autor

Quanto ao bordo de linha, utilizando o modelo de alocação descrito no item 4.6 e 4.7, resultou em uma melhoria na célula de preparação dos componentes. Ao abastecer o bordo de linha com os materiais que proporcionalmente são os mais utilizados, reduziram-se a frequência de abastecimento e o número de setups de máquina para a preparação dos componentes.

A utilização do PFEP como banco de informações para a geração das etiquetas de identificação dos contentores no bordo de linha gerou uma maior facilidade dos operadores no processo de inserção PTH. A disponibilização das informações sobre o componente diretamente na etiqueta, como mostrado na Figura 47, apresentou uma melhora na acuracidade na linha de montagem, evitando defeitos por montagem incorreta.

Figura 47. Contentor de componentes etiquetado – LF6



Fonte: Imagem obtida pelo autor.

Comparando o novo modelo de etiqueta, mostrado na Figura 37 e Figura 47, com as etiquetas utilizadas nas outras linhas de produção, mostradas na Figura 48, nota-se a adição de informações importantes como quantidade de material por caixa e endereço no bordo de linha.

Figura 48. Etiquetas utilizadas nas linhas de produção (exceto LF6).



Fonte: WEG, 2023

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse capítulo traz as últimas considerações do trabalho, divididas em duas seções: Conclusão e Trabalhos futuros.

### 5.1. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo a aplicação de ferramentas do *Lean Manufacturing* no planejamento da logística interna da fábrica de cartões eletrônicos da WEG Automação. O objetivo foi determinado a partir da necessidade de revisão da logística interna da empresa em função da ampliação da capacidade de produção com a aquisição de uma nova linha de produção.

O mapeamento dos desperdícios no estado atual para, a partir disso, planejar a implantação de uma nova linha de produção foi a estratégia adotada pela WEG Automação. Uma vez identificado o excesso de movimentação e transporte como principal desperdício, a equipe de trabalho enxergou algumas ferramentas do lean manufacturing como uma forma de simplificar o fluxo logístico.

As abordagens e ferramentas do *Lean Manufacturing* já eram vistas em outras plantas da WEG, fazendo com que as alternativas em lean adotadas já fossem vistas como alternativas iniciais para o trabalho.

Entre os objetivos específicos traçados, pode-se concluir que a identificação dos desperdícios associados ao processo de abastecimento da linha de produção permitiu uma maior assertividade na definição das atividades do *mizusumashi* e contribuiu para garantir que o resultado desejado (a eliminação dos desperdícios associados ao processo) fosse alcançado e percebido pela fábrica.

Outro fator que por sua vez foi crítico para alcançar o resultado positivo na implementação do *mizusumashi* foi a adoção de melhorias relacionadas à gestão visual. A revisão das informações contidas nas etiquetas, a demarcação dos pontos de parada do comboio logístico, entre outras ações, foram essenciais e permitiram também um maior engajamento entre os operadores na fábrica e o grupo de trabalho.

Pode-se verificar também que postos de trabalho como Teste Funcional e Preparação de Componentes apresentaram redução dos desperdícios, principalmente aqueles relacionados a movimentação e espera.

Quanto ao bordo da nova linha, o modelo desenvolvido para alocação dos materiais também contribuiu para a redução de movimentações desnecessárias, uma vez que o resultado

do procedimento conseguiu alocar os componentes que são mais utilizados, evitando um maior número de abastecimentos.

A revisão da etiqueta de endereçamento foi uma medida adotada para a nova linha de produção LF6 que por sua vez foi replicada para as outras 5 linhas de produção, visto que a padronização das identificações é um objetivo a ser alcançado em relação a gestão visual.

De maneira geral, em relação ao fluxo logístico percebe-se que embora tenha sido adicionado uma nova linha de produção, uma simplificação das movimentações pode ser vista quando comparados os diagramas de espaguete nos dois estados, atual e proposto.

## 6.2. TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se como trabalhos futuros a revisão das rotas do *mizusumashi*, com o objetivo de incorporar outras atividades que por hora, não foram adicionadas. A replicação deste trabalho, com maior enfoque na área de montagem SMD também segue como recomendação futura, visto que por restrições de infraestrutura, por hora ainda não é possível implementar transporte por comboio logístico na área de montagem SMD.

Também relacionado a área de montagem SMD, para a eliminação dos desperdícios, recomenda-se como trabalho futuro a aplicação do SMED - Single Minute Exchange of Die - outra ferramenta do *Lean Manufacturing*. Os resultados deste trabalho futuro podem ser vistos como um complemento ao atual estudo, no que tange a compreensão do resultado de várias ferramentas do *Lean Manufacturing* usadas em conjunto.

Outra recomendação possível é a elaboração de uma proposta de padronização das atividades do *mizusumashi* manual, dado que é improvável que todas as atividades de movimentação que acontecem no interior da linha de montagem sejam eliminadas.

Por fim, outra abordagem interessante que poderia ser realizada seria a simulação do fluxo de movimentações a partir de softwares como o Anylogic. Essa abordagem permitiria a definição de diversos cenários de layout e compreensão do impacto de possíveis mudanças.

## 6. REFERÊNCIAS

ALVAREZ, R. R; ANTUNES JR. J. A. V; “Takt-Time: Conceitos e Contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção.” G&P - Gestão e Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.

AZEVEDO, B. F. T. “Simulação de sistemas automatizados de transporte interno de materiais: Estudo de caso na indústria de semicondutores”. Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologias. Universidade de Coimbra, 2022.

BRAGA, Washington Luis Moreira. “Projeto de parâmetros robustos para modelagem e otimização de sistemas *kanban*: uma abordagem baseada em experimentos simulados”. 2020.

BRACHT, U.; HACKENBERG, W; BIERWIRTH, T. “A monitoring approach for the operative.” CKD Logistics, 101(3), 122–127, 2011.

BESSANT, J.; CAFFYN, S.; GILBERT, J.; HARDING, R. “According–Rediscovering continuous improvement. Technovation.” Vol.14, p.17-29, 1994.

CONRAD, Tim; ROOKS, Robyn; 2010. “Turbo Flow: Using Plan For Every Part (PFEP) to turbo charge your Supply Chain”

COIMBRA, E. “*Kaizen* in Logistics and Supply Chains.” 1ª ed, 2013, ISBN: 9780071811057.

CERQUEIRA, B. de Sousa Barros; “*Kaizen* na indústria têxtil-Uma abordagem ao aumento de produtividade e redução de desperdício.” Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013, UP, Porto, Portugal.

DALMAS, Volnei. “AVALIAÇÃO DE UM LAYOUT CELULAR IMPLEMENTADO: UM ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS.” Dissertação de Mestrado - UFRGS, Porto Alegre, 2004.

DIAS, B. S; COSTA, K. N; FEITOSA, M. E; PAULA, N. K. T; “O uso da simulação de eventos discretos para otimização do fluxo de rebocadores em um armazém.”. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2019.

D’AGOSTINI, M.; SARTOR, R. S.; TISOTT, P. B.; TONDOLO, V. A. G.; CAMARGO, M. E. “Escolha do arranjo físico de produção: o caso da Metalices Indústria Metalmeccânica.” Revista ALCANCE Eletrônica ISSN: 1983-716X. v. 21; n. 02 Abr./Jun.-2014.

E. Çığal and M. S. Saygılı , "Using Lean Six Sigma for Sustainability in Inbound Logistics: An Application in The Automotive Industry", International Journal of Environment and Geoinformatics, vol. 9, no. 2, pp. 108-119, Jun. 2022, doi:10.30897/ijegeo.975066

ELBERT, Mike; 2012. “Lean Production for the Small Company”. CRC Press, International Standard Book Number-13: 978-1-4398-7780-7.

FERREIRA, J. P. P. M. “*Mizusumashi* - Abastecimento de *Spare Parts* nas linhas de produção”. Dissertação de mestrado, Universidade do Minho, 2016.

IMAI, Masaaki, *Gemba Kaizen: Estratégias e Técnicas do Kaizen no Piso de Fábrica*, 1ed. São Paulo:Imam, 1996

HARRIS, R; HARRIS, C; WILSON, E. “Fazendo fluir os materiais.” 1ª ed. São Paulo: Lean Institute Brasil, Maio 2004. 98 p.

HARTLEY, Jean F. "Estudo de Caso em Pesquisa Organizacional." CASSEL, C. e (1994).

IMAI, Masaaki. *Kaizen: A Estratégia para o sucesso competitivo*. São Paulo: Imam, 1988.

CARVALHO, José Diniz. “Melhoria contínua nas organizações”. 2021, Editora Lidel, 1ª ed. Lisboa.

KRAJEWSKI, L; RETZMAN, L; MALHOTA, M. *Administração de produção e operações*: 8ª ed. São Paulo/SP: Pearson education, 2008.

KADARUSMAN, Y; NADVI, K. “Competitiveness and Technological Upgrading in Global Value Chains: Evidence from the Indonesian Electronics and Garment Sectors” *European Planning Studies*, 2013. DOI: 10.1080/09654313.2013.733850

LIKER, J. K. “The Toyota Way: 14 Management Principles From the World’s Greatest Manufacturer”, McGraw-Hill, NY, 2004.

LIKER, J. K. “The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development” *ScientificFigure*, 2006. Disponível em [https://www.researchgate.net/figure/The-Toyota-Production-System-House\\_fig1\\_200552295](https://www.researchgate.net/figure/The-Toyota-Production-System-House_fig1_200552295)

MAIA, L. C; ALVES, C. A; LEÃO, C. P; “Metodologias para implementar lean production: Uma revisão crítica da literatura.” Universidade do Minho, 2011.

MARTINS, G. A. “Estudo de caso: uma reflexão sobre a aplicabilidade em pesquisas no Brasil.” *Revista de Contabilidade e Organizações*, v. 2, n. 2, p. 9-18, jan./abr., 2008.

NEUMANN, C; SCALICE, R. K. *Projeto de fábrica e layout*. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

NAZARENO, R.R. “Desenvolvimento e aplicação de um método para implementação de sistemas de produção enxuta.” São Carlos, 2003, 154 p

OLIVEIRA, J. M. “Ferramentas do *Lean Manufacturing* como diferencial na redução de custos em estoques e na eliminação de desperdícios.” XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 23 e 14 de agosto de 2015.

PAWLEWSKI, P. “Using PFEP for simulation modeling of production systems.” 28th International Conference of Flexible Automation and Intelligent Manufacturing - FAIM, Columbus, 2018.

PAVANI, I.S. “Dificuldades ao implantar o sistema *Lean Manufacturing* na produção”, Encontro de Gestão e Tecnologia: Desafios da inovação na nova economia e na sociedade do conhecimento - São Paulo, Brasil, 2020.

PIPLANI, R.; ANG, A. W. H. “Performance comparison of multiple product *kanban* control systems.” *International Journal of Production Research*, 2017.

PEREIRA, RON. “Guide to *Lean Manufacturing*” *Lean Six Sigma Academy*, e-book, 2008.

ROTHER, M.; HARRIS, H. Criando fluxo contínuo: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002.

RODRIGUES, Ana Luísa Pereira. “Desenho e Simulação de um Comboio Logístico numa Fundação”. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial, Universidade do Porto, 2017.

ROCHA, R. E. P. S; “Análise e Dimensionamento de Sistemas para Abastecimento a Linhas de Montagem”. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão, 2012.

SALAVERRY, P. B. “Proposta de metodologia para implantação de plano para cada peça e introdução do sistema de abastecimento por kits.”. PPGEP, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

SLACK, N., CHAMBERS, S., & JOHNSTON, R. “Administração da Produção ” São Paulo: Atlas, 2ª ed, 2002.

SILVA, F. D. F. “A melhoria contínua numa indústria de fabrico de colchões. Estudo da otimização do Layout nos setores da Logística Interna.”. Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, 2021.

SIQUEIRA, J; VIEIRA, E. P; “O Sistema de Custos como Instrumento de Apoio ao Processo Decisório: Um Estudo em Indústrias do Setor Metal-Mecânico da Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.” Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento, Gestão e Cidadania -

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Rio Grande do Sul, 2005.

SOARES, JONAS ADRIANO; “MÉTODO DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO ENXUTO PARA A MONTAGEM DE ELETRODOMÉSTICOS: UM ESTUDO DE CASO”. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

Womack, J. P; Jones, D. T; Roos, Daniel; “The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production”. Harper Perennial (1990), ISBN 0060974176, ISBN 978-0060974176

Womack, James P. “Lean Thinking : Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation.” New York, NY :Simon & Schuster, 1996.

YIN, Robert K. “Estudo de Caso: Planejamento e métodos.” Editora Bookman, 4ª ed, 2015.