

JOÃO PEDRO MARINS BRAGA

ANÁLISE E PROJETO DE MODIFICAÇÃO DE LAYOUT, ORIENTADO PARA A
PRODUÇÃO ENXUTA

JOÃO PEDRO MARINS BRAGA

ANÁLISE E PROJETO DE MODIFICAÇÃO DE LAYOUT, ORIENTADO PARA A
PRODUÇÃO ENXUTA

Trabalho de Graduação apresentado ao
Conselho de Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica da Faculdade de
Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade Estadual
Paulista, como parte dos requisitos para
obtenção do diploma de Graduação em
Engenharia Mecânica.

Orientador (a): Prof. Dr. Messias Borges

Guaratinguetá - SP

2016

B813a	Braga, João Pedro Marins Análise e projeto de modificação de layout, orientado para a produção enxuta / João Pedro Marins Braga – Guaratinguetá, 2016. 51 f : il. Bibliografia: f. 49-51 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016. Orientador: Prof. Dr. Messias Borges Silva 1. Produção enxuta 2. Layout 3. Controle de produção I. Título CDU 658.5
-------	---

JOÃO PEDRO MARINS BRAGA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Messias Borges Silva
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva
UNESP-FEG


Prof. Msc. Fábio Francisco da Silva
UNESP-FEG

DADOS CURRICULARES

JOÃO PEDRO MARINS BRAGA

NASCIMENTO 07.06.1991 – São José dos Campos / SP

FILIAÇÃO Messias Aparecido Braga
Silvia Regina Dias Braga

2010/2016 Curso de Graduação
Engenharia Mecânica - Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho" - Campus de Guaratinguetá

de modo especial, à Messias, Silvia, Maria,
José Benedito e Antônia, pelo apoio dedicado nos
momentos mais difíceis desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, *Prof. Dr. Messias Borges Silva*, pela atenção e dedicação em guiar-me nesta tarefa, contribuindo substancialmente para a realização deste trabalho.

Ao *Engº Henrique Barbosa*, pela orientação profissional e pela amizade desenvolvida em dois anos de trabalho conjunto, quando me ensinou a verdadeira essência e significado da palavra liderança.

A *Léia Miranda*, pelo essencial apoio, companheirismo e confiança em mim depositada em um dos períodos mais difíceis e ao mesmo tempo felizes de minha caminhada.

Aos amigos *Daniel Magalhães, Rodrigo Verginelli, Renan Reis e Alexis Coutinho*, pelo companheirismo durante os anos que moramos no apartamento 34.

A Leandro Chaves, pelas experiências em vida, pelas risadas compartilhadas e pelos momentos que vivenciamos na república Atecubanos.

Aos colegas *Daniel Muller, Diego Damião e Lício Ramos*, pelo apoio, pelas orientações e sobretudo pela amizade desenvolvida em dois anos de trabalho conjunto.

Ao *Prof. Dr. Marcelo Sampaio*, que foi mais do que um professor, mas um amigo sempre disposto a dar suporte aos alunos nos momentos de dificuldade.

Finalmente, agradeço a Deus e todas as pessoas que participaram direta ou indiretamente de minha vida acadêmica, me transmitindo conhecimento e experiências que são o maior bem que possuo.

"Rezo a Deus não pedindo cargas mais leves, e sim ombros mais fortes. E tenho repetido que no que depender de mim, me recuso a ser infeliz. As coisas vão dar certo. Vai ter amor, vai ter fé, vai ter paz – se não tiver, a gente inventa. "

(Caio Fernando Abreu)

RESUMO

A produção enxuta é uma filosofia de gestão procedente do sistema Toyota de produção, que visa entregar o máximo de valor em termos produtivos com o mínimo de recursos utilizados. Para tanto, tal filosofia tem como objetivo, analisar e reduzir desperdícios, guiando sua análise por meio da observação dos sete principais desperdícios presentes no setor industrial, sendo eles: super-produção, tempo de espera, transporte, excesso de processamento, inventário, movimentação e defeitos.

Há uma crescente necessidade das empresas para se manterem competitivas no mercado, dessa forma otimizar os processos produtivos constituem uma alternativa para redução de custos, em especial otimizar a disposição de máquinas e o fluxo de produtos e pessoas. A otimização do layout traz resultados expressivos na redução de gastos com a produção com um baixo investimento.

Esse trabalho tem como objetivo demonstrar a análise de layout de uma empresa do ramo vidreiro, a proposta de modificação e sua implementação demonstrando os ganhos provenientes da mudança.

PALAVRAS-CHAVE: Mudança de layout. Produção enxuta. Redução de desperdícios.

ABSTRACT

Lean manufacturing is a management philosophy derived from Toyota Production System, which aims to deliver the maximum value in terms of production using minimum resources.

Therefore, this philosophy has as objectives, to analyze and reduce waste, conducting analyses through the observation of the seven main waste of the industrial sector, being themselves: overproduction, waiting, transport, over-processing, inventory, motion and defects.

An increasing need of the companies to keep the competitiveness in the market. In this way, the optimization of the production process, constitutes an alternative to cost reduce, especially to optimize the arrangement of the machines and the flow of materials and workers. The layout optimization brings expressive results in the reduction of production spent with a lower investment.

The goal of this paper is to show the layout analysis of a company of the glass industry, the changing proposal and the implementation showing the earnings that arise from the changes.

KEYWORDS: Layout change. Lean manufacturing. Layout analysis. Waste reduce.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Participação dos principais produtores no mercado automobilístico dos E.U.A.....	21
Figura 2 – Princípios do 5S.....	27
Figura 3 – Metodologia para análise de layout.....	35
Figura 4 – Mapeamento do fluxo de valor do layout obsoleto	36
Figura 5 – Diagrama de espaguete do layout obsoleto	37
Figura 6 – Representação das ações para implementação do layout	39
Figura 7 – Mapeamento do fluxo de valor da proposta de alteração de layout	40
Figura 8 – Diagrama de espaguete da proposta de alteração de layout	41
Figura 9 – Processo de fabricação do vidro simplificado	42
Figura 10 – Operações necessária de acordo com o layout obsoleto.....	44
Figura 11 – Operações necessárias de acordo com a modificação do layout	45
Figura 12 – Delimitação do fluxo de trabalhadores	45
Figura 13 – Delimitação de passarelas destinadas ao fluxo de pessoas.....	46
Figura 14 – Ilha de operações acima da linha de produção	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Instalações de empresas automobilísticas japonesas na América do Norte	
.....	21

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplo de matriz Produto x Processo	31
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EUA	Estados Unidos da América
FIFO	<i>First In First Out</i>
GM	<i>General Motors</i>
IMVP	<i>International Motor Vehicle Program</i>
LM	<i>Lean Manufacturing</i>
LT	<i>Lead Time</i>
MFV	Mapeamento do Fluxo de Valor
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
PIV	Programa Internacional de Veículos
STP	Sistema Toyota de Produção
TRF	Troca Rápida de Ferramenta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. OBJETIVO DA PESQUISA	16
1.2. METODOLOGIA DE PESQUISA	16
1.3. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA.....	17
2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS SOBRE MANUFATURA ENXUTA	18
2.1. O QUE É MANUFATURA ENXUTA?.....	18
2.2. HISTÓRICO DA MANUFATURA ENXUTA.....	19
2.3. FERRAMENTAS DA MANUFATURA ENXUTA.....	25
2.3.1. 5S.....	25
2.3.2. TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTA	27
2.3.3. SEPARAÇÃO DE TRABALHADOR E MÁQUINA	28
2.3.4. OTIMIZAÇÃO DE LAYOUT	30
2.3.5 SINCRONIZAÇÃO DO FLUXO DE PRODUÇÃO.....	33
2.3.6 GESTÃO VISUAL	34
3. ANÁLISE DO LAYOUT OBSOLETO.....	34
3.1. MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR DO LAYOUT OBSOLETO ..	35
3.2. DIAGRAMA DE ESPAGUETE DO LAYOUT OBSOLETO.....	36
3.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE REALIZADA	38
4. APLICAÇÃO DO LM NO PROJETO DE MODIFICAÇÃO.....	38
4.1. MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR DO FUTURO LAYOUT.....	39
4.2. DIAGRAMA DE ESPAGUETE DO FUTURO LAYOUT.....	40
5. IMPLEMENTAÇÃO E ACOMPANHAMENTO	42
5.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	42
5.1.1 PROCESSOS ENVOLVIDOS NA MUDANÇA DO LAYOUT.....	43

5.2. IMPLEMENTAÇÃO DO LAYOUT UTILIZANDO A FILOSOFIA LM.....	44
5.2.1 REVISÃO DOS PROCESSOS ENVOLVIDOS COM A MODIFICAÇÃO DO LAYOUT	44
5.2.2 CRIAÇÃO DE DELIMITAÇÕES PARA O NOVO ESPAÇO DE TRABALHO	45
5.3. RESULTADOS FINAIS	47
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
6.1. VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS DA PESQUISA.....	48
6.2. CONTRIBUIÇÕES	48
REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

O cenário industrial ao longo dos anos, está vivenciando um aumento expressivo de forte concorrência, tal concorrência, culmina em uma tendência para que produtos sejam cada vez mais baratos sem prejudicar sua qualidade. Dessa forma origina-se uma pressão para que diariamente, organizações adotem a cultura de melhoria continua, reduzam os desperdícios na produção e invistam em pessoas com habilidades para tanto (GONÇALES FILHO et al., 2016).

Segundo estudos do *Lean Institute* Brasil, o Brasil é um dos países que despende do maior número de horas extras para a finalização de suas tarefas relacionadas à produção industrial, fato intrínseco às quantidades de estoques excessivas, e desperdícios na movimentação e na armazenagem industrial. (NEUENFELDT JÚNIOR; SILUK; NARA, 2015)

Buscando a competitividade diante do cenário de livre comercio instaurado, o planejamento, implementação e controle do fluxo dos materiais se torna um ponto fundamental na sistematização do fluxo produtivo, afim de viabilizar a redução do tempo disponibilizado à manufatura e outros desperdícios observados (BARBOSA; MUSETTI, 2011). Levando em consideração que o planejamento do arranjo físico é extremamente importante para que se estabeleça um layout eficiente, e que qualquer mudança no arranjo existente representa um alto investimento, considerando a inflexibilidade física de realocação de equipamentos e o investimento na concepção de um novo layout, o arranjo físico é um importante aspecto industrial, impactando na produtividade, desempenho fabril, no uso eficiente da mão de obra, espaço utilizado e por fim no custo final do produto (SILVA; RENTES, 2012).

Logo, levando em consideração a importância da análise e projeto de um layout no setor industrial, a seguir será apresentada a metodologia aplicada numa análise pratica e a implementação de uma reestruturação de arranjo físico afim de obter um fluxo eficiente e viável em uma empresa do ramo vidreiro.

1.1. OBJETIVO DA PESQUISA

O escopo desta pesquisa basicamente consiste em demonstrar e quantificar os ganhos provenientes das modificações no layout industrial de uma empresa do ramo vidreiro, tomando como base comparações analíticas entre o layout obsoleto e o atual.

Para complementar o estudo, objetivos específicos são propostos:

- Descrever todo processo de análise do layout, tomando como base a cultura da manufatura enxuta e suas vertentes.
- Apresentar com base em artigos acadêmicos, todas ferramentas utilizadas e provenientes da cultura *lean manufacturing*, afim de demonstrar o uso prático das mesmas na dinâmica da rotina industrial.
- Apresentar os pontos de desperdício observados no arranjo físico obsoleto, levando em consideração o mapeamento do fluxo de valor e o diagrama de espaguete do processo.
- Demonstrar os ganhos provenientes da transição do antigo layout para o novo arranjo físico, apresentar uma análise de ganhos reais que demonstre a viabilidade da mudança.

1.2. METODOLOGIA DE PESQUISA

De acordo com Miguel *et al.* (2012), existem sete categorias de métodos de pesquisa presentes nos trabalhos acadêmicos, dentre as quais encontra-se a pesquisa-ação. Conforme sintetiza Tripp (2005), a pesquisa-ação é uma variação da investigação-ação, ou seja, um processo no qual se aprimora a prática, por meio da variação sistêmica entre a ação no campo da prática e a investigação a respeito dela.

A pesquisa-ação sobretudo, é um tipo de pesquisa que é realizada com o auxílio de uma ação ou para a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e colaboradores relacionados ao objeto de estudo, participam de forma colaborativa e cooperativa com a pesquisa (THIOLLENT, 1986).

Os objetivos da pesquisa-ação devem ser bem elucidados, de forma que os objetivos de pesquisa e os objetivos de ação sejam concomitantemente alcançados. Como uma das

especificidades da pesquisa-ação inseridas nesse estudo, podemos citar a busca por resultados entre os objetivos práticos: contribuir para o melhor entendimento do problema, para que sejam propostas soluções e ações adequadas para sanar o problema; e objetivos de conhecimento: obter informações privilegiadas que seriam de difícil acesso e compreensão por outro método e expandir o conhecimento acerca do tema de pesquisa (THIOLLENT, 1986).

Este trabalho tem características próprias de uma pesquisa-ação. Tratando-se de um evento contemporâneo em que o pesquisador está diretamente envolvido de forma colaborativa com a pesquisa, responsável por analisar, propor modificações além de monitorar as implementações. O estudo aqui realizado segue 4 etapas que o caracterizam como pesquisa-ação: Planejar uma melhora da prática; Agir para implementar a melhoria; Monitorar e descrever os efeitos da ação; Avaliar os efeitos da ação (TRIPP, 2005). A preocupação deste estudo é de realizar uma análise qualitativa do caso apresentado, procurando estabelecer relações de causa-efeito, e propor melhorias a partir da análise dos dados provenientes da pesquisa.

1.3. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

Há muita margem no cenário acadêmico para que pesquisas sejam feitas acerca do assunto, levando em consideração que a gama de possibilidades de melhoria no processo produtivo é extremamente extensa, é de suma importância que pesquisas e avanços tecnológicos sejam fomentados afim de melhorar o cenário de ineficiência produtiva das indústrias no Brasil de maneira geral. A importância de se obter um layout eficiente é justificada pelos ganhos obtidos em produtividade, qualidade do produto e satisfação do cliente, além de fornecer uma oportunidade aos envolvidos de ampliarem e disseminarem conhecimentos relativos a filosofia LM à equipe.

Esse trabalho tem como estrutura básica 5 etapas, será apresentado uma conceituação teórica na Seção 2, com base em artigos relacionados, da filosofia LM e suas ferramentas. Na Seção 3 será demonstrada a análise com embasamento em artigos e publicações, que foi realizada do layout obsoleto. A aplicação de forma direta e prática nas modificações do arranjo físico será apresentada na Seção 4. Por fim a quantificação e levantamento dos ganhos advindos da modificação do layout, bem como considerações finais será apresentado nas Seções 5 e 6 respectivamente.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS SOBRE MANUFATURA ENXUTA

2.1. O QUE É MANUFATURA ENXUTA?

Lean manufacturing ou manufatura enxuta é uma filosofia de gestão que teve seu advento juntamente com o sistema Toyota de produção. Segundo Womack & Jones (1998), LM é enxuta devido a forma de produzir mais utilizando cada vez menos recursos – menos mão de obra, equipamentos, tempo, espaço, eliminando desperdícios e criando hábitos saudáveis através de atividades que agregam valor ao produto final, entregando ao cliente exatamente o que ele deseja.

Womack & Jones (1998), definem desperdício como qualquer atividade humana que consome recursos, mas não agrega valor ao produto. Conforme Ohno (1988) define, existem 7 principais desperdícios na produção, sendo eles a superprodução, tempo de espera, defeitos, transporte, excesso de estoque, processamento e movimentação.

1. Desperdício de superprodução

Superprodução é produzir muito, antecipadamente, ou “*Just In Case*”. Ohno acredita que esse tipo de desperdício é o mais crucial dentre os desperdícios devido ao fato de ser a raiz de muitos problemas e outros desperdícios (WOMACK & JONES, 1998)

2. Desperdício de espera

Desperdício em tempo de espera é diretamente relevante ao fluxo e provavelmente o segundo desperdício mais impactante. Ocorre quando o tempo não é usado de forma eficiente. Na indústria esse desperdício ocorre quando materiais estão estáticos e isso traz consequências negativas tanto para os trabalhadores quanto para os produtos em si. O tempo de espera está diretamente ligado ao lead time do produto que contribui para a competitividade e a satisfação do cliente (WAHAB; MUKHTAR; SULAIMAN, 2013)

3. Desperdício de movimentação desnecessária

Movimentação desnecessária está relacionada ao layout e a mão de obra nele presente. Processos aos quais a ergonomia do trabalhador é afetada pelo fato de terem que se abaixar, esticar e até mesmo se curvar para executá-las, além de desgastante para o trabalhador, possivelmente tais operações podem encabeçar problemas de qualidade (WOMACK & JONES, 1998). Quanto ao layout, movimentação desnecessária se refere a um arranjo físico ineficaz, originando movimentos desnecessários, levando também a problemas de saúde e segurança.

4. Desperdício de transporte

Movimentação e reposicionamento de materiais é considerado um desperdício. Isso afeta a produtividade e a qualidade do produto (WOMACK & JONES, 1998)

5. Desperdício de processamento

Esse desperdício é referente a equipamentos e processos que não são capazes de alcançar um padrão aceitável de qualidade. Um processo eficiente sob o aspecto da qualidade requer métodos, treinamento e um padrão de qualidade que não compactua com produtos defeituosos. Excesso de processamento também ocorre em situações onde soluções complexas são encontradas para simples procedimentos, como usar uma grande máquina grande e inflexível ao invés de várias máquinas menores e compactas. Tal abordagem incentiva layouts ineficazes, resultando em excesso de transporte e falhas de comunicação. O ideal, entretanto, é haver os menores equipamentos possíveis operando, capazes de alcançar o nível esperado de qualidade, localizados próximos aos processos precedentes e procedentes (WOMACK & JONES, 1998)

6. Desperdício de excesso de estoque

Há três tipos de estoques: relacionados à matéria-prima, estoques intermediários (*Work-In-Process*) e de produto acabado. Estoques tendem a aumentar o LT, prejudicar a rápida identificação de problemas e aumentar espaços que afetaram a comunicação (WOMACK & JONES, 1998).

7. Desperdício relacionado a defeitos

Defeitos relacionados às falhas internas no âmbito industrial são sucata, retrabalho e atraso em geral. Por outro lado, defeitos de falhas externas incluem garantia, reparos e trabalho de campo. Defeitos para o TPS é uma oportunidade de melhoria ao invés de uma oportunidade de negociação (WOMACK & JONES, 1998).

Contando com tais conceitos, a filosofia LM visa através da observação da rotina de trabalho, identificar processos que não agregam valor ao produto final, propondo sua eliminação, afim de que somente sejam executados processos que agregam valor ao produto e aos quais o cliente esteja disposto a pagar (RUIZ-DE-ARBULO LOPEZ; FORTUNY-SANTOS; CUATRECASA-ARBÓS, 2013).

2.2. HISTÓRICO DA MANUFATURA ENXUTA

A produção enxuta descendeu diretamente do Sistema Toyota de Produção (STP), que teve sua fundação antes de 1918, e que por sua vez evoluiu dos experimentos e iniciativas de Taiichi Ohno durante três décadas na *Toyota Motor Company*. Analisando o sistema de produção ocidental, Ohno

argumentou que existiam duas falhas lógicas, primeiramente argumentou que produzindo em largas escalas, como consequência haveria grandes estoques, o que leva a um elevado custo de estocagem, utilização de espaços para armazéns além de aumentar o número de defeitos no produto final. A segunda falha consiste na inflexibilidade para se adaptar às preferências dos consumidores em relação a produtos diversificados (HOLWEG, 2007).

A partir de 1948, Ohno gradualmente estendeu seus conceitos de fabricação em pequenos lotes através da Toyota, seu principal foco era a redução de custo através da eliminação de desperdícios, adotando novos conceitos ao longo de sua trajetória profissional, como por exemplo o conceito de automação, que consiste na automação com interferência humana. Ohno também visitou fabricas automobilísticas americanas em 1956, e incorporou ideias que ele desenvolveu a partir da observação do sistema ocidental de produção, a mais notável pode-se dizer que foi o conceito de “Kanban” para controlar a reposição de materiais. Partindo do ideal do JIT, Ohno definiu que a melhor forma de trabalhar, seria com todas as partes para a montagem, no lugar e momento exato para sua utilização, tal forma de trabalho foi sustentada pelo maquinário simples, flexível a adaptações e mudanças existentes na Toyota. Nesse contexto de diversas trocas de ferramenta, Shigeo Shingo contratado como consultor em 1955 se destacou, ao criar o sistema de troca rápida de ferramentas denominado SMED – *Single Minute Exchange of Dies*, que teve como resultado, a capacidade de produzir grande variedade de automóveis em baixos volumes, com preços competitivos, contrariando a lógica da produção em massa (HOLWEG, 2007).

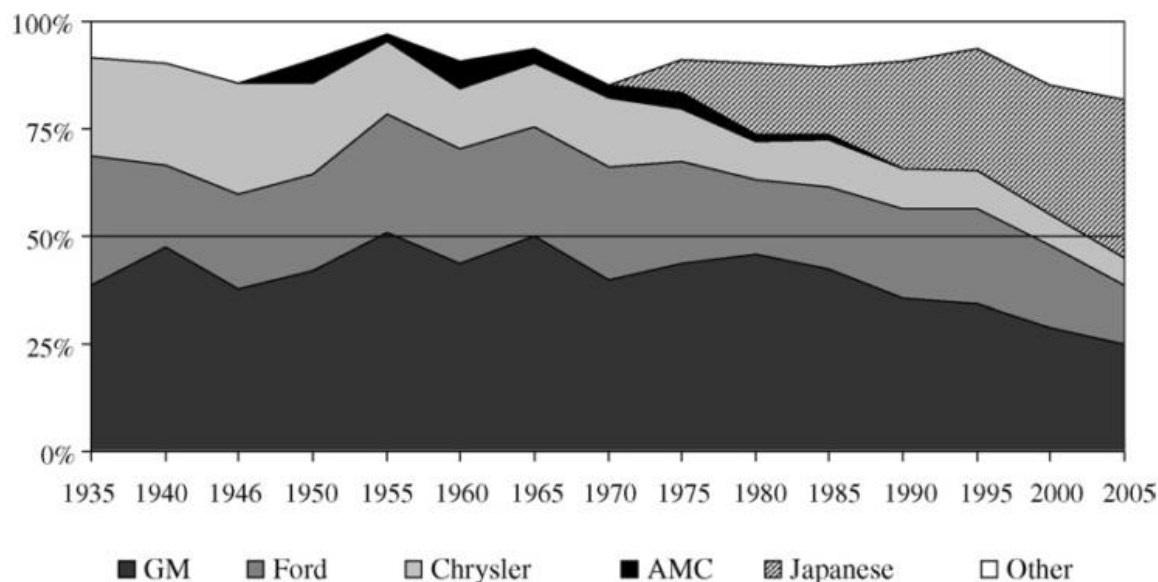
Espantosamente, o TPS não era formalmente documentado até 1965, quando o sistema Kanban foi esclarecido, como resultado o TPS era largamente desconhecido, e segundo Ohno somente começou a ser visto com interesse, durante a crise do petróleo de 1973, que também despertou interesse em pesquisas acerca do futuro da indústria automobilística. Foi quando teve início o Programa Internacional de Veículos no MIT (HOLWEG, 2007).

O Programa Internacional de Veículos, teve início em 1979 como uma pesquisa de cinco anos intitulada “O futuro do automóvel”, resultado da segunda crise do petróleo, o programa teve início no MIT e tinha como objetivo a criação de uma rede acadêmica internacional, destinado a realizar pesquisas relacionadas ao papel que o automóvel teria no futuro (WOMACK & JONES, 1992).

O programa publicou seu primeiro livro, que basicamente sintetizava a confiança da população no futuro dos automóveis, na mesma época que o crescimento das importações japonesas se tornava uma preocupação para as indústrias ocidentais, em 1970 os principais tópicos de interesse eram assuntos relacionados ao mercado internacional, em especial para os produtores ocidentais de

veículos, que acompanhavam um vertiginoso crescimento do mercado de importações (ver Figura 1), tal crescimento se tornou foco de pesquisas (HOLWEG, 2007).

Figura 1 – Participação dos principais produtores no mercado automobilístico dos E.U.A.



Fonte: Holweg (2007)

Conforme observado, o alto índice de importação proveniente do Japão para os U.S. vigente no início da década de 80 (22.2%), exerceu uma pressão para que as duas nações fizessem um acordo de comércio restringindo o número de veículos importados do Japão, tal fato ao contrário de conter o avanço na conquista do mercado Norte Americano, incentivou o Japão para que tomasse duas medidas para aumentar os lucros gerados em solo ocidental, primeiro introduziu no mercado marcas luxuosas como Lexus, Acura e Infiniti que geravam mais lucros com poucos carros vendidos. E em 1982 estabeleceu montadoras japonesas em solo americano (ver Tabela 1) de forma a contornar as restrições comerciais impostas, isso culminou no declínio da participação de mercado das Três Grandes de Detroit (Ford, Chrysler, GM), em solo Americano.

Tabela 1 – Instalações de empresas automobilísticas japonesas na América do Norte

Instalações dos Produtores Japoneses na América do Norte				
FIRMA	LOCALIZAÇÃO	PRODUÇÃO EM 1989	CAPACIDADE ANUNCIADA	NOTAS
Montadoras:				
Honda	Marysville, OH	351.670	360.000	(1)
	East Liberty, OH		150.000	

	Alliston, ON	86.447	100.000	
NUMMI	Fremont, CA	192.235	340.000	(2)
Toyota	Georgetown, KY	151.150	240.000	
	Cambridge, ON	20.859	50.000	
Nissan	Smyrna, TN	238.640	480.000	(3)
Mazda	Flat Rock, MI	216.200	240.000	
Diamond Star	Bloomington, IL	91.839	240.000	(4)
CAMI	Ingersoll, ON		200.000	(5)
SAI	Lafayette, IN		120.000	(6)
TOTAL DAS MONTADORAS		1.349.000	2.520.000	
Fábrica de Motores				
Honda	Anna, OH			
Nissan	Smyrna, TN			
Toyota	Georgetown, KY			

Notas:

(1) Operações começadas em 1989

(2) Joint-Venture General Motors/Toyota, linha de montagem de caminhões sendo acionada.

(3) Segunda linha de montagem sendo acionada.

(4) Joint-Venture Chrysler/Mitsubishi

(5) Joint-Venture General Motors/Suzuki

(6) Joint-Venture Subaru/Isuzu

Fonte: Womack & Jones (1998)

O TPS foi formalmente introduzido nos Estados Unidos em 1984 quando foi estabelecida uma *joint-venture* (NUMMI) entre Toyota e General Motors (GM), mas os conceitos do TPS conforme documentado começaram a ser difundidos muito antes de 1984, ocorrendo ao longo dos anos de forma fragmentada. A consequência de uma dispersão geográfica lenta separada por um longo período de atraso, foi um grande intervalo cronológico para uma lenta compreensão do novo sistema nos Estados Unidos (SHAH; WARD, 2007).

Relatórios da Harbour Inc. indicam uma vantagem de custo de US\$1500,00 nas indústrias japonesas para cada carro compacto, tal vantagem aliada ao lançamento do livro ‘O Futuro do Automóvel’ em 1985, encorajou pesquisadores a analisarem mais a fundo a questão do por que o Japão estava evoluindo tão rapidamente, e no mesmo ano teve início a fase II do Programa Internacional de Veículos, com estudos centrados no MIT.

A segunda fase do IMVP, permitiu que o programa que era uma forma criativa e produtiva de conciliar Universidade, governos e indústrias, avançar em estudos que consistiam em descrever e mensurar a divergência entre o sistema de produção ocidental e o japonês (WOMACK & JONES, 1992). Mediante as dificuldades em criar uma metodologia para normatizar as complexas diferenças inerentes a indústria automobilística, Womack & Jones em 1985/86 criaram a metodologia benchmarking que foi inicialmente aplicada por Krafcik em 1986 tomando como base de dados, quatro plantas, dentre elas a indústria NUMMI. Os estudos mostraram que com seu primeiro ano de operação NUMMI atingiu um nível de produtividade 50% maior que outras plantas similares analisadas, e uma qualidade superior a todas as plantas da GM em solo americano (INKPEN, 2005).

O termo ‘manufatura enxuta’ foi usada em 1988 por Krafcik (KRAFCIK, 1988). Subsequentemente Womack também utilizou o termo para contrastar com a ‘produção em massa’ do ocidente em seu livro ‘A máquina que mudou o mundo’. Após vários estudos sobre a metodologia de benchmarking, Krafcik juntamente com MacDuffie, visitaram entre 1986 e 1989, 70 plantas ao redor do mundo, levantando dados de produção, o estudo completo foi apresentado no México em 1989, e se tornou um dos pilares do IMVP, demonstrando que *lean* não era somente produção em si, mas também um sistema de gestão que contrastava com o tradição do sistema de produção em massa (HOLWEG, 2007; MACDUFFIE; SETHURAMAN; FISHER, 1996)

A dificuldade na incorporação da filosofia LM por empresas ocidentais, está ligada ao fato do TPS ser multifacetado e de um ponto de vista geral complexo, não foi elementar para os gestores dos E.U.A. compreender a verdadeira natureza do processo de produção enxuta. Os gestores frequentemente focavam em um único aspecto visível do processo, enquanto perdiam toda parte abstrata e invisível de conexões interdependentes do sistema como um todo. Porém conforme o tempo se passou, gestores americanos adquiriram conhecimento acerca dos inúmeros elementos subjacentes ao TPS, e consequentemente do LM, como consequência, tais termos se tornaram profundamente engrenados no léxico comum de publicações acadêmicas e de negócios (SHAH; WARD, 2007). A seguir é apresentada uma tabela, com os principais marcos da evolução do LM.



Fonte: Adaptado de SHAH; WARD (2007)

2.3. FERRAMENTAS DA MANUFATURA ENXUTA

Antes de apresentar as ferramentas utilizadas na modificação do layout, é importante conhecer os conceitos básicos, destacando os pontos de aplicabilidade das mesmas.

Produção é uma série de processos e operações que resultam no produto final, um processo pode ser entendido como um fluxo de materiais; é a transformação da matéria-prima em componente semi-acabado e uma série de processos tem como resultado o produto acabado. As operações podem ser entendidas, como o trabalho realizado para a conclusão dos processos, que pode ser executado pela mão-de-obra e por máquinas (SHINGO, 1996).

Afim de realizar melhorias eficientes, é conveniente a segregação de fluxo de produto (processos) e fluxo de trabalho (operações). Via de regra é conveniente, analisar os processos antes de analisar as operações, partindo de uma análise mais abrangente para uma microanálise (SHINGO, 1996).

A seguir são apresentadas as ferramentas utilizadas nas melhorias de processo e operações, objetivando a melhoria da produção como um todo.

2.3.1. 5S

O 5S é um conjunto de cinco palavras japonesas que significam Seiri (utilização), Seiton (organização), Seiso (limpeza), Seiketsu (higiene) e Shitsuke (disciplina). Em 1950, o Japão foi pioneiro ao utilizar o método 5S para ajudar na organização do setor de fabricação industrial e desde então o método se tornou popular na gestão industrial. A implementação do 5S na organização é um dos passos importantes para a melhoria contínua (HO; CICMIL; FUNG, 1995). A seguir um breve descritivo dos cinco pilares da metodologia (ver Figura 2).

- 1º S - Seiri (utilização)

Utilização é o primeiro passo do 5S, e sua ideia principal é a de eliminar os itens desnecessários do ambiente de trabalho. Uma segregação de todos itens no ambiente de trabalho é feita, itens desnecessários recebem uma etiqueta vermelha para serem retirados da empresa, itens que são raramente utilizados são movidos para uma área mais organizada fora do ambiente de trabalho, dessa forma a segregação ajuda na identificação de ferramentas avariadas, sucata e itens obsoletos. Com a eliminação de itens inúteis no ambiente de trabalho, materiais fluem com facilidade e trabalhadores se deslocam melhor (HARRINGTON, 2006; PORTER; RAYNER, 1992)

- 2º S - Seiton (organização)

Organização em 5S, consiste em colocar cada coisa no seu devido lugar, organizando o espaço de trabalho de forma eficaz. Atividades relacionadas a esse conceito consistem em rotular cada item,

utilizando cores para uma rápida identificação, estocar itens similares no mesmo local, classificar e numerar tudo no local de trabalho, pintar o piso delimitando o *layout* e usar locais adequados para guardar ferramentas e utensílios. Organizando os itens no local adequado, tornará as ferramentas e utensílios, fáceis de encontrar e utilizar (GUPTA; JAIN, 2015; HARRINGTON, 2006).

- 3º S - Seiso (limpeza)

O terceiro “S” foca nas atividades de limpeza da organização. A limpeza diária tem que ser feita, para se obter um ambiente de trabalho melhor. Um ambiente confortável e saudável é obtido quando o terceiro “S” é implementado, além de atuar como um fator de motivação para os funcionários (HARRINGTON, 2006). Deve ser realizado uma divisão do espaço de trabalho em zonas e os funcionários devem ser responsáveis pela limpeza da zona destinada aos mesmos, assegurando que a limpeza seja feita de forma eficaz utilizando para tanto, padronizações das atividades de limpeza do local (RIBEIRO, 2013).

- 4º S - Seiketsu (higiene)

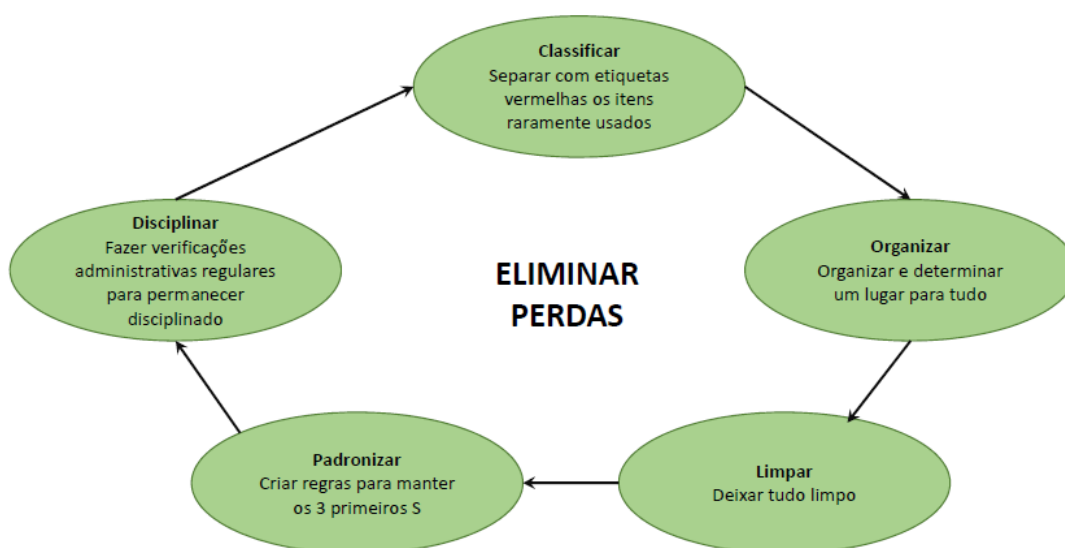
Tal “S” consiste em criar normas claras para a prática dos três “S” anteriores. Os funcionários desempenham papel importante, na criação de padrões, e atuando como “zeladores” de seus respectivos locais de trabalho.

- 5º S - Shitsuke (disciplina)

Considerado o mais difícil de se implementar, baseia-se na disciplina dos funcionários para manter as práticas e padrões dos “S” anteriormente alcançados. Os funcionários devem ser regulamente aconselhados, além disso um sistema de premiações e recompensas deve ser implementado afim de motivar os funcionários.

Para implementar o 5S, há uma necessidade de desenvolver uma linguagem comum (padronização) que seja compreendida por todos, para facilitar a comunicação entre os níveis hierárquicos dentro do âmbito industrial. Há muitos problemas que podem ser resolvidos com as práticas do 5S, pois a metodologia permite um planejamento sistêmico, trazendo de imediato ao ambiente de trabalho um estado puro e organizado, melhoria da produtividade geral, aprendizado e disciplina dos trabalhadores, assegura um ambiente de trabalho mais seguro e visualmente mais atrativo, além da redução de tempo e custos de produção (CHAPMAN, 2005; COONEY, 2002; GUNASEKARAN; LYU, 1997; HOUGH, 2008; HUBBARD, 1999).

Figura 2 – Princípios do 5S



Fonte: Traduzido de Liker (2015)

2.3.2. Troca rápida de ferramenta

Operações de *setup*, são aquelas de preparação para as operações principais, tais como, remoção e ajuste de ferramentas, calibração de instrumentos, etc.

A implementação da troca rápida de ferramenta (TRF) é a maneira mais eficiente de reduzir o tempo gasto no *setup*. Em média, as reduções giram em torno de 80 a 95%, mas podem alcançar patamares ainda mais eficazes, como por exemplo, na *Mitsubishi Heavy Industries*, o tempo de *setup* de uma mandriladora foi reduzido de 24 horas para 2 minutos (SHINGO, 1996).

Em qualquer análise de *setup*, é primordial distinguir o *setup* interno do externo, ou seja, as operações que devem ser realizadas com a máquina parada, como a troca de ferramentas, devem ser segregadas das operações que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento, como o transporte da ferramenta a ser utilizada.

O *setup* pode ser subdividido em quatro categorias, afim de facilitar a visualização dos pontos que devem ser melhorados.

- Preparação dos insumos e equipamentos – 30%
- Troca de ferramentas – 5%
- Ajustes nos equipamentos – 15%
- Processamentos iniciais – 50%

Shingo (1996) considera que quatro estágios são necessários para se obter a melhoria, a seguir são demonstrados os quatro estágios que conduzem à melhoria do *setup*:

➤ Estágio um:

Nada é realizado nesse estágio, muitas ações que poderiam ser realizadas com a máquina parada, são executadas normalmente, de forma a analisar a situação atual.

➤ Estágio dois:

Considerado o estágio mais importante, ele consiste na segregação de operações de *setup* interno e externo. Para tanto é feito um levantamento, de todos materiais, condições e particularidades próprias da máquina que devem ser realizadas enquanto a máquina estiver em operação. Após isso é feita uma verificação de todos componentes, afim de evitar esperas durante o *setup* interno.

➤ Estágio três:

Consiste em analisar o *setup* atual, afim de identificar oportunidades de permutar atividades de *setup* interno para *setup* externo.

➤ Estágio quatro:

Uma nova análise das operações é realizada, levando em conta a separação bem definida dos *setups* interno e externo, conversão total de *setup* interno em externo, eliminação de ajustes e a fixação sem parafusos.

Para aplicar os quatro estágios, Shingo (1996), propõe a utilização de oito técnicas para redução do tempo de *setup*, sendo elas: separação das operações de *setup* internas e externas; converter *setup* interno em externo; padronização da função; utilizar grampos funcionais ou elimina-los; usar dispositivos intermediários; adotar operações paralelas; eliminar ajustes e implantar a mecanização na produção (FOGLIATTO; FAGUNDES, 2003).

2.3.3. Separação de trabalhador e máquina

Ao longo dos anos, com o advento das máquinas e ferramentas, o setor industrial tem transferido o trabalho exercido pelo homem para tais maquinários, no entanto, no início dessa migração de força de trabalho, as máquinas tiveram baixa confiabilidade exigindo, portanto, a presença humana para regular e avaliar os serviços gerados.

Com o avanço tecnológico, as máquinas ganharam mais autonomia, existindo mecanismos completamente automatizados, capazes de detectar e corrigir problemas em tempo hábil, no entanto trabalhadores continuam devido a um velho hábito, a dar suporte e assistência às máquinas.

Basicamente esse conceito se restringe à segregação do trabalhador e da máquina, por meio de automação industrial, busca-se a eficiência na produção bem como o uso efetivo e expressivo dos recursos humanos.

Tal conceito tem como base duas ideias fundamentais. Em primeiro lugar, uma máquina após sua depreciação, é utilizada gratuitamente, enquanto os trabalhadores devem ser pagos indefinidamente, logo é preferível ter máquinas a homens parados. Em segundo lugar, a redução de custos é preferível a manter máquinas com altas taxas de utilização.

As transferências progressivas do trabalho manual para a automação seguem seis estágios, os conceitos básicos do princípio são apresentados a seguir:

- Estágio 1 – Trabalho manual.

Mão de obra realizam todas as operações de concepção do produto, incluindo o acabamento de forma manual e sem auxílio de máquinas.

- Estágio 2 – Alimentação manual com processamento automatizado.

A alimentação, ajustes e remoção dos produtos e ferramentas das máquinas são operações realizadas de forma manual, somente as operações relacionadas ao processamento do produto na máquina é automatizado, como por exemplo a usinagem de uma peça.

- Estágio 3 – Alimentação e processamento automatizado.

Os trabalhadores somente realizam a retirada e fixação dos produtos, as máquinas realizam as operações e realizam a troca de ferramentas de maneira automática, os trabalhadores também são responsáveis por observar e corrigir condições anormais no maquinário.

- Estágio 4 – Semi-automático.

Fixação e remoção dos produtos, bem como a troca de ferramentas e operações realizadas pela máquina são automatizadas. Os trabalhadores são responsáveis por detectar e corrigir anormalidades observadas na máquina.

- Estágio 5 – Pré-automação.

Todas as operações, incluindo a detecção de problemas são feitos pela máquina, o homem somente deve corrigir os problemas encontrados.

- Estágio 6 – Automação.

Todas operações, alimentação da máquina, processamento, detecção e correção de problemas são feitos de forma automática.

2.3.4. Otimização de layout

O layout pode ser definido como a disposição espacial dos recursos produtivos, esse arranjo físico impacta diretamente no desempenho industrial (SILVA; RENTES, 2012).

Soluções práticas para problemas relacionados ao layout, envolvem reduzir o transporte de materiais, isso impacta em outros aspectos que também devem ser levados em consideração, como o *lead time*, a velocidade dos veículos de transporte de materiais, o fluxo de trabalhadores e a segurança dos mesmos (SUNDIN et al., 2011).

Slack et al. (2009) destaca alguns pontos, que tornam as tomadas de decisão em relação ao *layout* de extrema importância:

- Organizar o arranjo físico é uma tarefa que consome tempo e trabalho, isso por que as dimensões dos equipamentos e máquinas dificultam sua movimentação.
- O rearranjo físico é fruto da insatisfação com a produtividade, qualidade e até mesmo com o tempo de espera para entrega ao cliente
- Se o arranjo físico é ineficiente, pode gerar fluxos de materiais extremamente ineficientes, excesso de estoques, tempos de processamento e de espera desnecessários, operações inflexíveis, fluxos imprevistos e alto custos de produção.

São inúmeras as formas de projetar um modelo de layout, mas alguns pontos devem ser considerados, para que a análise atinja um nível considerado de eficiência por meio de um rico embasamento empírico e teórico, pontos a se destacar:

- Levantar os produtos fabricados na empresa:

Nessa fase inicial, deve se realizar um levantamento de todos produtos produzidos, registrando volume, frequência e valor comercial (SILVA; RENTES, 2012).

- Definir os produtos com maior representatividade financeira:

A partir dos dados obtidos na fase um, deve-se realizar uma análise afim de definir os produtos com maior representatividade financeira, para isso é recomendado utilizar a curva de Pareto (SILVA; RENTES, 2012).

- Identificar semelhanças de processo

Essa atividade consiste em identificar semelhanças no processo entre produtos, via de regra, é convenientemente aplicável em produtos que compartilham da mesma linha de produção. É conveniente identificar as semelhanças utilizando uma matriz Produto x Processo (ver Quadro 1)

Quadro 1 – Exemplo de matriz Produto x Processo

Produtos	Processos					
	Cortar	Soldar	Rebarbar	Pintar	Montar I	Montar II
A	x		x	x	x	x
B	x		x	x	x	x
C		x	x			x
D		x	x			x
E	x	x			x	
F	x	x			x	

Fonte: Silva (2012)

➤ Analisar frequência e volume de demanda

A frequência e volume de demanda é muito importante para o critério de política de atendimento adotada (produção para estoque, montagem sob encomenda ou produção sob encomenda) (SILVA; RENTES, 2012).

➤ Analisar tempo de ciclo do produto

Recomenda-se que produtos que produtos que utilizam da mesma linha, porém com tempos de ciclo muito divergentes, sejam segregados em grupos diferentes. Isto devido ao fato de que o dimensionamento de supermercados (peças e matéria-prima) e sistema de controles (Kanban, duas gaveta, etc.) variam de acordo com o ciclo de cada produto (SILVA; RENTES, 2012).

➤ Segregar produtos semelhantes

Levando em consideração os critérios de segregação de produtos semelhantes e a representatividades comerciais, deve se formar grupos de produtos “mais vendidos” ou com maior representatividade comercial (SILVA; RENTES, 2012).

➤ Levantar o layout atual

Consiste no levantamento físico das instalações levando em conta, recursos de produção, corredores, pilares, local de entrada e saída de materiais, etc., seguindo as proporções reais para uma análise consistente (SILVA; RENTES, 2012).

➤ Traçar o diagrama de espaguete

Utilizar a planta da industrial para traçar os fluxos de máquinas, produtos e pessoas (SILVA; RENTES, 2012).

➤ Construir o mapa de fluxo de valor atual

Womack & Jones (1998) definem fluxo de valor como atividades específicas para a concepção do produto, desde o projeto até à fabricação, ou seja, toda atividade que agrega valor ao produto final. Com base nessa definição, o mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta responsável por identificar atividades que agregam e que não agregam valor ao processo (SALGADO et al., 2009).

➤ Quantificar as distâncias físicas percorridas

A partir do diagrama de espaguete, quantifica-se as distâncias percorridas ao longo do processo. Esses dados servirão como parâmetro para tomada de decisão nas futuras propostas de layout (SILVA; RENTES, 2012).

➤ Realizar a análise da situação atual

A análise da situação atual, tem como base o mapeamento do fluxo de valor e o diagrama de espaguete da planta. Tal análise tem como metas identificar possíveis fluxos contínuos para produtos com maior representatividade comercial, reduzir distâncias entre operações, identificar possíveis sistemas de controle (como por exemplo sistema de controle Kanban), identificar pontos da produção que possam seguir os conceitos do JIT (produção puxada) (SILVA; RENTES, 2012).

Após a análise, o projeto do layout deve seguir um ciclo lógico, buscando um cenário ideal para a produtividade, segue abaixo algumas medidas para assegurar a obtenção de tal cenário:

➤ Fazer o mapa do fluxo de valor da situação futura:

Conforme Rother (2003) sintetiza em seu livro *‘Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA’*, o mapa da produção consiste num modelo ideal, demonstrando através de um recurso visual, oportunidades de fluxo contínuo, produção puxada, gestão visual, redução de distâncias, etc. (SILVA; RENTES, 2012).

➤ Dimensionar supermercados para insumos e estoques para produtos acabados

Com base na demanda de insumos e produto acabado, deve ser dimensionado estoques e supermercados de produtos acabados (SILVA; RENTES, 2012).

➤ Considerar o sistema *FIFO* excluindo estoques intermediários

É necessário considerar a produção, seguindo um fluxo de tal maneira que haja um sistema logístico baseado no *FIFO (First-In, First-Out)*, excluindo ao máximo estoques intermediários. O sistema traz muitas vantagens em sua utilização como redução de estoques, redução de perdas por vencimento ou deterioração de mercadoria, melhor organização na logística, além de maior controle e rapidez no envio do produto (SUNDER, 1976).

2.3.5 Sincronização do fluxo de produção

Segundo Shingo (1996), o fato dos planos de produção serem determinados a longo prazo, como por exemplo por mês, traz ao chão de fábrica desorganização e desperdícios, já que não possuem a flexibilidade de acompanhar variações de demanda, cria-se excesso de estoques além do risco da necessidade de produções urgentes para atender ao cliente.

Seguindo a lógica de Shingo (1996), é conveniente criar um sistema de produção, flexível e eficiente, que se adapte a variações de demanda de forma rápida sem prejudicar o nível de qualidade. Produzir em grandes lotes, causa grandes perdas de qualidade e produtividade. Isso por que ao produzir em grandes lotes, um defeito proveniente de uma operação só será detectado quando o lote inteiro, passar para a operação seguinte, por outro lado, conforme Liker (2003) sucintamente descreve, o fluxo unitário de peças como forma de produção traz muitas vantagens:

- Acrescenta qualidade ao produto

Cada operador é um inspetor do seu próprio processo e de processos subsequentes, que trabalha para sanar os defeitos encontrados.

- Cria flexibilidade real

Ao se reduzir o tempo de processo geral do produto (*lead time*), cria-se total flexibilidade para atender ao desejo do cliente, dessa forma, diferentes combinações de demanda e de variações do produto podem ser atendidas quase de forma imediata.

- Cria maior produtividade

Na produção unitária, há redução de processos que não agregam valor ao produto, como por exemplo deslocamento de lotes, há uma melhor observação de mão de obra ociosa e sobrecarregada, de modo que os cálculos de pessoas necessárias para determinado trabalho e os processos que realmente agregam valor ao produto, são facilmente realizados.

- Libera espaço

Em uma célula, pouco espaço é utilizado, os materiais ficam próximos aos trabalhadores, tornando os estoques desnecessários.

- Aumenta a segurança

Produzir em escala unitária, significa reduzir o tráfego de empilhadeiras, uma das principais causas de acidentes na indústria, além da movimentação de materiais mais leves.

- Estimula o moral

Devido ao trabalho associado ao fluxo unitário ter grande percentual de agregação de valor, o senso de realização e satisfação dos trabalhadores crescem, contribuindo para a aceitação do método no chão de fábrica.

- Reduz o custo de estoque

Reduz o gasto com estoques, surgindo a oportunidade de investimento em outros setores, além de reduzir a obsolescência do estoque.

2.3.6 Gestão visual

O controle visual é qualquer ferramenta utilizada no ambiente de trabalho para de forma rápida identificar desvios no trabalho, e auxiliar em como deve ser corrigido tais desvios. De maneira ampla este controle está ligado à criação de informações *Just In Time*, garantindo rapidez na produção e adequação dos processos.

Este conceito vai além de identificar desvios, na Toyota ele é integrado ao processo de trabalho agregando valor, por ser um método visual, facilita a identificação de informações de equipamento, estoque, desempenho dos funcionários, etc.

Conforme Liker (2015) cita no Princípio 7 do “Modelo Toyota”, o controle visual melhora o fluxo, podemos citar como exemplos de ferramentas visuais o Kanban, a célula de fluxo unitário e o trabalho padronizado. Desta maneira é fácil e rápido identificar os desvios observados e corrigir os problemas.

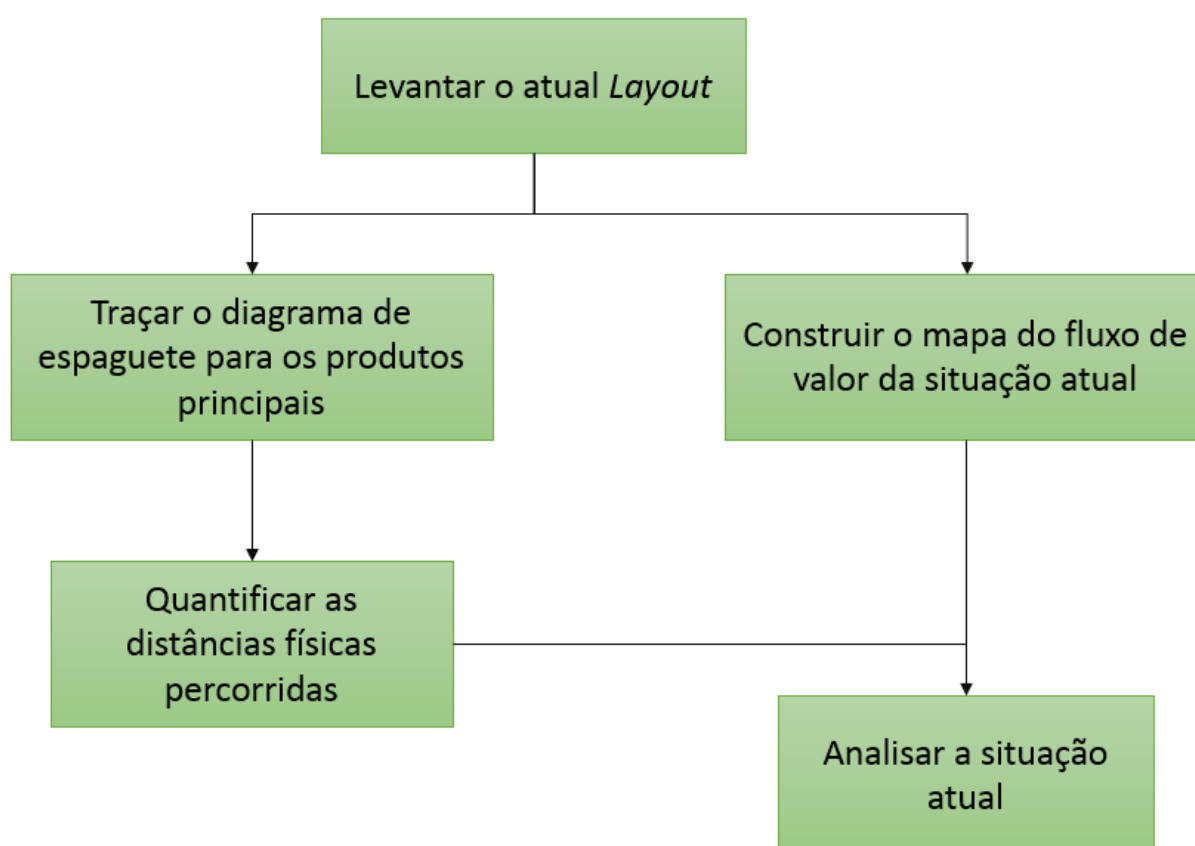
3. ANÁLISE DO LAYOUT OBSOLETO

Para se realizar uma análise eficiente, seguiu-se uma lógica de raciocínio baseado em duas ferramentas visuais para tomadas de decisão com embasamento na filosofia LM (ver Figura 3**Error! Reference source not found.**), a meta era identificar pontos de desperdícios a partir da análise do diagrama de espagete juntamente com o mapa do fluxo de valor.

Conforme Sundin et al. (2011) resume, um problema com layout geralmente é resolvido reduzindo ao máximo as movimentações de materiais, porém uma série de aspectos deve ser considerado, como condições de trabalho e o *lead time* do produto.

Dessa forma, é requerido um método apropriado, para alcançar um ritmo de produção baseada no LM, identificando atividades que agregam valor, não agregam valor e aquelas que não agregam porém são necessárias, utilizando para tanto um layout celular otimizado (PATTANAIK; SHARMA, [s.d.]).

Figura 3 – Metodologia para análise de layout



Fonte: Adaptado de Silva (2012)

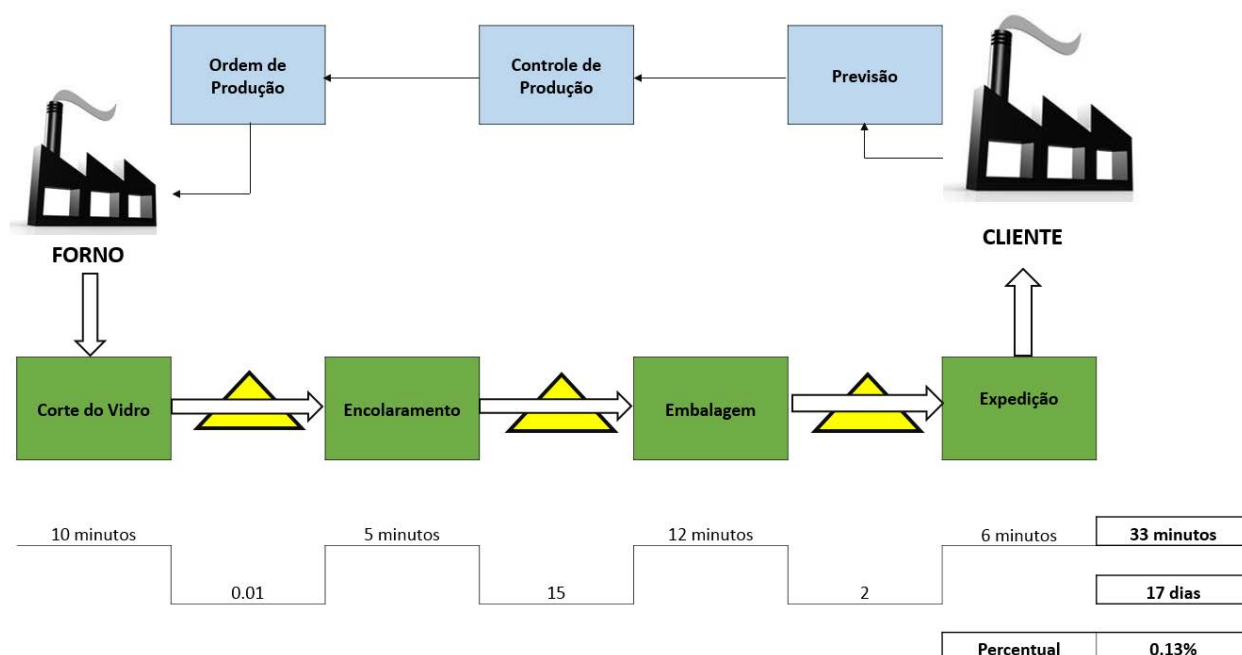
3.1. MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR DO LAYOUT OBSOLETO

Para o mapeamento do fluxo de valor (ver Figura 4), foi considerado somente o processo a partir da formação da chapa inteiriça proveniente do forno, pois até esse ponto, o processo de fabricação das diversas dimensões de chapas de vidro comercializada é idêntico, e alterações

anteriores a esse ponto são consideradas inviáveis pelo custo envolvido na mudança da linha de produção.

O mapeamento foi considerado como um dos pilares teóricos para a análise do layout, pois por meio do MFV é possível identificar todos os principais desperdícios da filosofia LM (SALGADO et al., 2009).

Figura 4 – Mapeamento do fluxo de valor do layout obsoleto



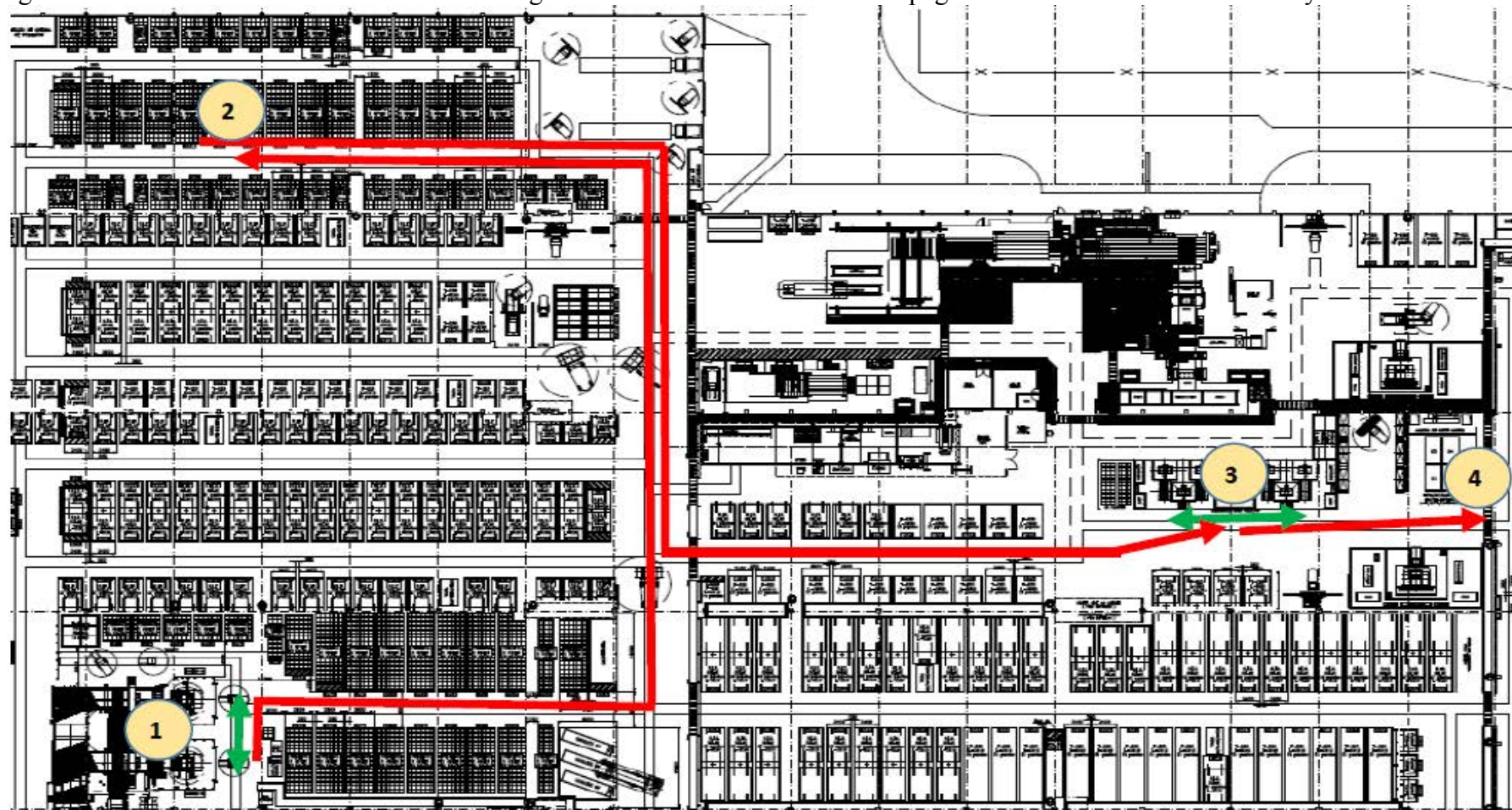
Fonte: (Elaborado pelo autor)

3.2. DIAGRAMA DE ESPAGUETE DO LAYOUT OBSOLETO

O diagrama de espaguete, consiste na representação visual do fluxo de pessoas, materiais e máquinas, para isso utiliza-se a planta baixa das instalações, considerando pilares, passarelas, etc. (SILVA; RENTES, 2012).

Tomando como base um diagrama, com proporções retiradas dos tamanhos reais do layout, é possível quantificar as distâncias percorridas.

Figura 5 – Diagrama de espaguete do layout obsoleto



- Legenda:
- 1 Saída do vidro da linha de recorte / Encolamento
 - 2 Estoque intermediário
 - 3 Celulas de embalagem do vidro
 - 4 Envio ao cliente (Container)

- Fluxo de trabalhadores
- Fluxo de empilhadeiras

Fonte: (Elaborado pelo autor)

3.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE REALIZADA

Foram identificados pontos de desperdício de transporte desnecessário, estoques desnecessários, tempos de espera demasiadamente longos e também falhas de segurança, pois no local não havia sinalização de faixas de pedestres, que compartilhavam o local com o tráfego de empilhadeiras.

Tomando como base o resultado da análise do layout obsoleto, foram identificados pontos de desperdícios, sendo os mais críticos:

- Transporte desnecessário da saída do vidro da linha de recorte para o estoque intermediário – Região 1 para Região 2 (ver Figura 5).

Distância percorrida: 190,0 m.

- Transporte desnecessário do estoque intermediário para o setor de embalagem – Região 2 para Região 3 (ver Figura 5 – Diagrama de espaguete do layout obsoleto).

Distância percorrida: 204,8 m.

- Estoque intermediário desnecessário – Região 2 corresponde a área de estoque intermediário (ver Figura 5).

Área total: 568,8 m²

- Tempo de espera para envio ao cliente demasiadamente grande – Tempo de permanência no estoque intermediário (ver Figura 4).

Tempo total: 15 dias.

4. APLICAÇÃO DO LM NO PROJETO DE MODIFICAÇÃO

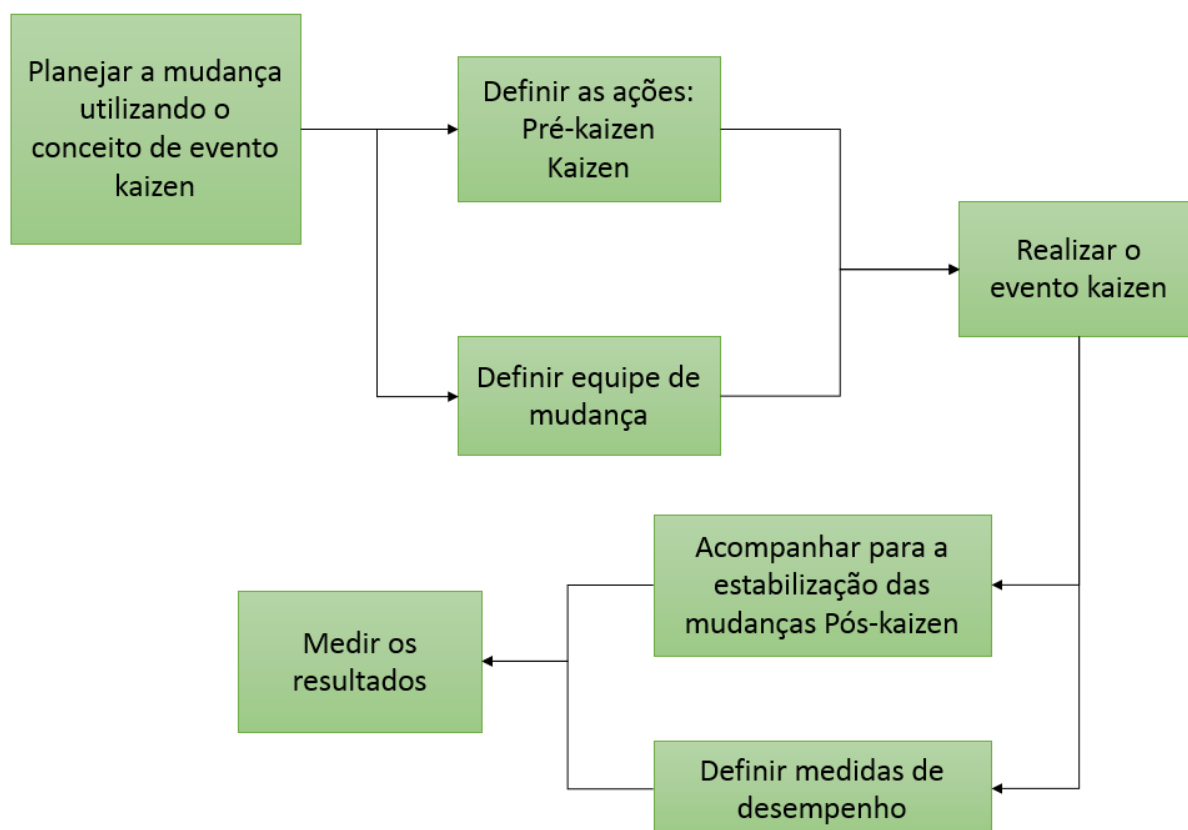
Após analisar os dados provenientes do diagrama de espaguete e do mapeamento do fluxo de valor, estabeleceu-se ações e responsáveis pelas tomadas de ações (ver Figura 6).

Levando em consideração a segurança dos trabalhadores, *lead time*, a otimização do espaço de trabalho e das operações realizadas, a aplicação do LM na implementação do layout, consiste na projeção de um cenário ideal de produção (SILVA; RENTES, 2012).

Toda modificação, seguiu os princípios do 5S, com passarelas para pedestres, sinalização de tráfego de empilhadeiras, delimitação de locais para manobras de empilhadeiras, delimitação de locais para insumos, dessa forma, toda área de trabalho foi devidamente padronizada com as cores adequadas, segregando dessa forma os trabalhadores das máquinas e equipamentos (ver Figura 13).

Conforme Silva (2012) indica, levando em consideração a avaliação crítica da alternativa, a equipe de projeto deve decidir se a alternativa é satisfatória ou não. Caso seja satisfatória, a equipe deve seguir para a etapa de implantação e modificação do layout. Caso contrário, a equipe deve realizar uma nova proposta de alteração, e a mesma deve ser considerada como elemento fundamental imutável, para uma nova análise, até que uma proposta seja aceita.

Figura 6 – Representação das ações para implementação do layout

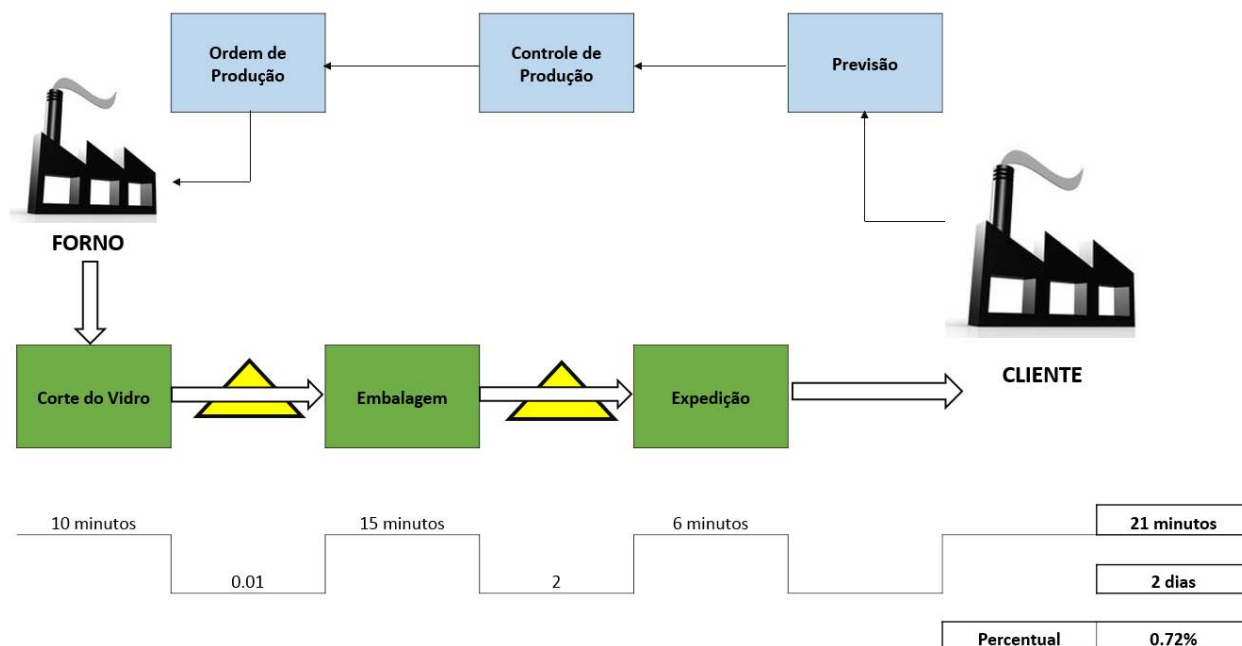


Fonte: Adaptado de Silva (2012).

4.1. MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR DO FUTURO LAYOUT

Para o mapeamento da nova condição de operação, foi considerado a eliminação do estoque intermediário, a realocação das células de embalagem para próximo a saída da linha de recorte, a realocação da “ilha de operação” (local onde os trabalhadores anotam os dados provenientes da produção, entre outras utilidades) para um local sob as linhas de recorte, utilizando um espaço que era inutilizável (ver Figura 14)

Figura 7 – Mapeamento do fluxo de valor da proposta de alteração de layout



Fonte: (Elaborado pelo autor)

4.2. DIAGRAMA DE ESPAGUETE DO FUTURO LAYOUT

Conforme verificado no diagrama de espaguete construído a partir da projeção das modificações (ver Figura 8), visualmente as distâncias percorridas e o tráfego de empilhadeiras foram reduzidos.

As distâncias entre as operações foram mensuradas, e são resumidas abaixo:

- Transporte do produto final proveniente da linha de recorte para as células de embalagem – Região 1 para Região 2 (ver Figura 8).

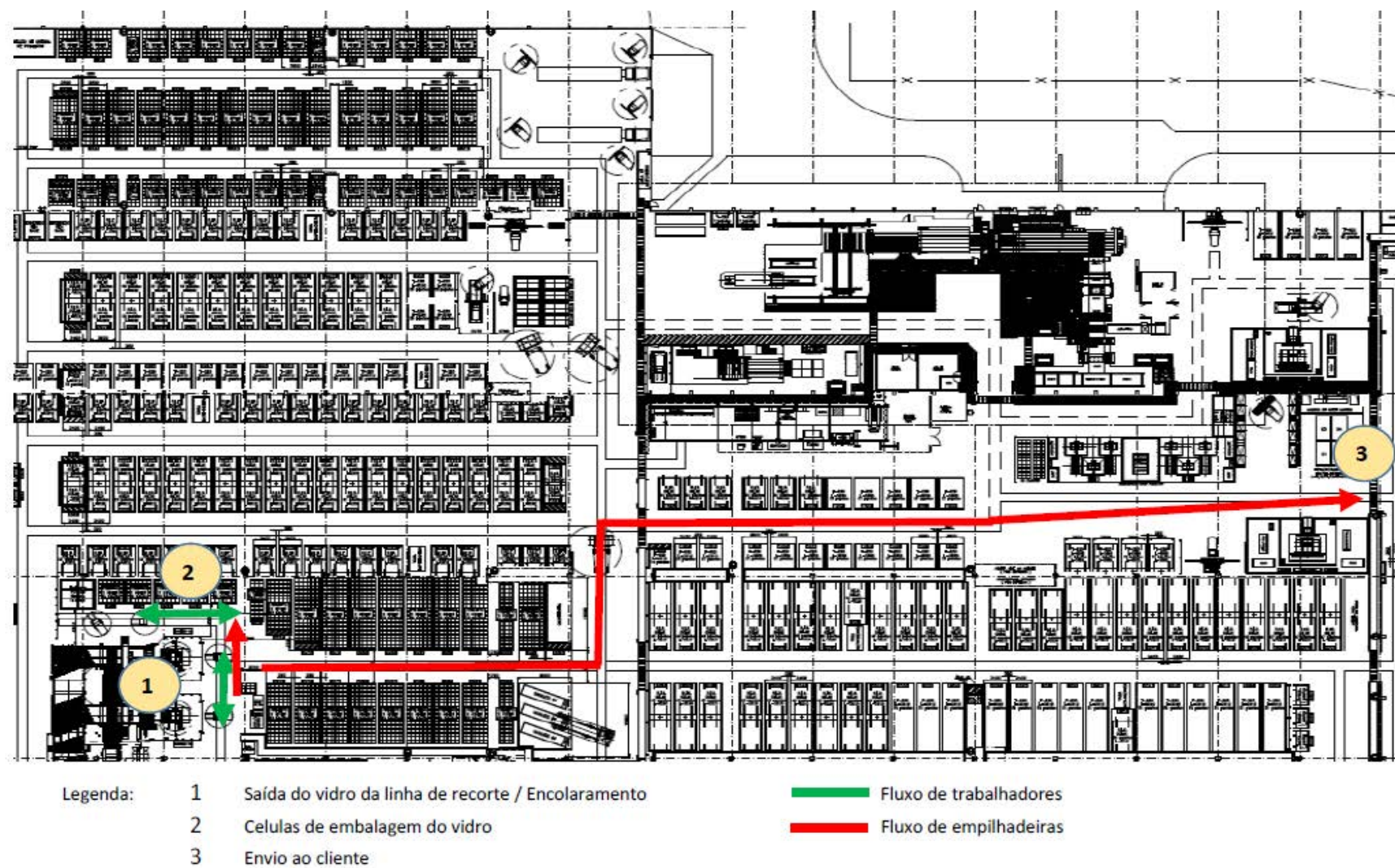
Distância percorrida: 20,0 m.

- Transporte do produto acabado e embalado para o envio ao cliente (ver Figura 8).

Distância percorrida: 187,0 m.

O fluxo de trabalhadores foi deslocado do setor de embalagem obsoleto para a nova posição adotada, porém as distâncias percorridas permanecem iguais, o fluxo de trabalhadores na área de saída de vidro recortado (ver Figura 8) não sofreu nenhuma variação, no entanto, o fluxo é delimitado por faixas e sinalizações como medida de segurança (ver Figura 12)

Figura 8 – Diagrama de espaguete da proposta de alteração de layout



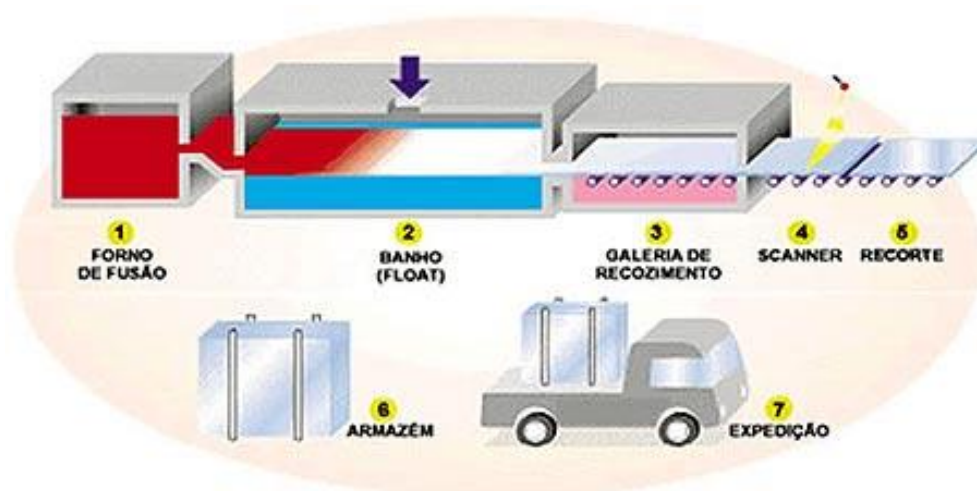
Fonte: (Elaborado pelo autor)

5. IMPLEMENTAÇÃO E ACOMPANHAMENTO

5.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

O processo de obtenção de vidro plano, segue um fluxo contínuo (ver Figura 9), onde é produzido uma chapa por vez, de dimensões pré-determinadas pelo setor de planejamento e controle da produção.

Figura 9 – Processo de fabricação do vidro simplificado



Fonte: http://www.vidrosvillage.com.br/ovidro_processo.htm (2016)

São produzidas chapas de diversas dimensões para o atendimento dos clientes, porém numa dada espessura especificada e controlada pela vazão de vidro fundido proveniente do forno.

Afim de padronizar a produção, são especificadas três dimensões de altura padrão para as pilhas de vidro produzidas, são as dimensões correspondentes ao vidro Primitivo (altura entre 1,10 a 1,15 metros), Traver (altura entre 2,20 a 2,60 metros), Jumbo (altura de 3,21 metros), o comprimento das pilhas é variável. Dessa forma o volume total de vidro fundido no forno, se transforma em média em 55% de vidro Primitivo, e 45% em vidro Traver e Jumbo.

O vidro Primitivo é destinado ao mercado interno e também para exportação, sendo 80% destinado ao mercado nacional e 20% para exportação, em média, do total de 525 toneladas diárias de vidro produzido, são fabricadas 288,7 toneladas de vidro Primitivo, do qual 57,7 toneladas é destinada ao mercado externo.

O vidro ao ser produzido, tem um prazo de validade para seu devido uso, isso se dá devido ao fato de que quando o vidro é produzido, lubrificantes especiais são depositados entre as lâminas de

vidro, evitando que o vidro risque e também que uma chapa “grude” na outra, dificultando sua utilização. Porém esse lubrificante ao entrar em contato com a umidade do ar e sob temperatura ambiente, causa manchas irreparáveis no produto, transformando as chapas manchadas em produtos sem valor comercial.

Devido ao fato do vidro destinado à exportação, seu envio é por meio de navios, dessa forma o produto recebe atenção especial quanto à embalagem e transporte, sendo envolvido em folhas de material isolante e caixas de madeira, evitando avarias no produto devido a umidade e choques mecânicos.

A deterioração do vidro destinado à exportação foi o principal indicio de que o processo de produção precisava ser analisado, em média 12% de toda produção destinada à exportação sofria com o processo de “irisação”, ou seja, ocorrência de manchas no vidro devido a longo tempo de exposição à temperatura e umidade ambiente, mensalmente mais de 200 toneladas de vidro eram desperdiçadas, devido ao processo de “irisação”, fato que recebia um agravante quando o problema era detectado pelos clientes finais, causando registros de não conformidades e gastos extras para o envio do produto de volta ao Brasil.

Essa pesquisa-ação, portanto, está diretamente relacionado ao vidro Primitivo destinado à exportação, que utiliza a embalagem em caixas de madeira como parte do processo.

5.1.1 Processos envolvidos na mudança do layout

As operações obsoletas a partir da obtenção do vidro recortado (ver Figura 10), foram previamente analisadas, em busca da identificação de desperdícios, as operações básicas do processo são descritas abaixo:

- **Encolamento:** O vidro já em seu estado final, recortado na linha de recorte na dimensão desejada pelo cliente, é colocado entre dois suportes denominados “colares”. Os suportes exercem pressão nas chapas, evitando que as mesmas se desloquem uma sobre a outra, conferindo segurança aos trabalhadores, assegurando a qualidade do produto pois evita riscos e marcas no vidro e padronização do produto, já que dessa forma são formadas pilhas de vidros com a quantidade padrão de venda, delimitada pelas dimensões do suporte.
- **Envio ao estoque intermediário:** Após ser colocadas no suporte, as pilhas de vidro são estocadas aguardando o envio ao cliente, está espera em média tem a duração de 15 dias.

- Envio ao setor de embalagem: Após a pilha de vidro ser retirada do estoque intermediário, ela é transportada até o setor de embalagem, onde é colocada em pequenas células de embalagem.
- Desencolamento: Processo de retirada dos colares que suportam o vidro, é um processo delicado já que o operador tem de retirar o suporte e deixar o vidro livre de qualquer trava de segurança contra quebras, é realizado com auxílio de empilhadeira.
- Embalagem: Processo de fixação de proteções de espuma nos vértices do vidro, proteção da pilha de vidro com folhas de material isolante e acomodação da pilha na caixa de madeira, conferindo dessa forma, proteção contra quebras devido a impactos mecânicos no transporte, além de proteger o produto contra a temperatura e umidade.
- Envio ao cliente: Processo de acomodação das caixas de madeira contendo pilhas de vidro no container com auxílio de ponte rolante, após o carregamento o container segue até os portos por transporte rodoviário.

Figura 10 – Operações necessária de acordo com o layout obsoleto



Fonte: (Elaborado pelo autor)

5.2. IMPLEMENTAÇÃO DO LAYOUT UTILIZANDO A FILOSOFIA LM

5.2.1 Revisão dos processos envolvidos com a modificação do layout

Com as modificações no layout, algumas operações se tornaram desnecessárias (ver Figura 11), em comparação ao layout obsoleto (ver Figura 10). As operações necessárias, bem como suas alterações são listadas abaixo:

- Embalagem em caixa: Essa operação sofreu pequenas alterações, os insumos não foram alterados, porém, o vidro será depositado diretamente da linha de recorte em suportes propícios para a operação de embalagem. Após o vidro ser depositado no suporte, o mesmo será deslocado para as células de embalagem, a célula de embalagem conta com insumos disponíveis de forma ergonômica, e um manipulador pneumático para erguer e posicionar as tampas de madeira na caixa, dessa forma a operação ficou mais segura e ergonômica.

- Envio ao estoque: Essa operação se tornou mais rápida e segura, o envio ao estoque é feito de forma direta, com o vidro embalado, evitando quebras no transporte.

Portanto, como podemos observar a partir da comparação entre as operações relacionadas ao layout obsoleto e o modificado, as operações de encolamento, envio ao estoque intermediário e desencolamento se tornaram desnecessárias, contribuindo para uma produção mais enxuta e livre de desperdícios.

Figura 11 – Operações necessárias de acordo com a modificação do layout



Fonte: (Elaborado pelo autor)

5.2.2 Criação de delimitações para o novo espaço de trabalho

- Delimitação de áreas para o fluxo de trabalhadores e máquinas:

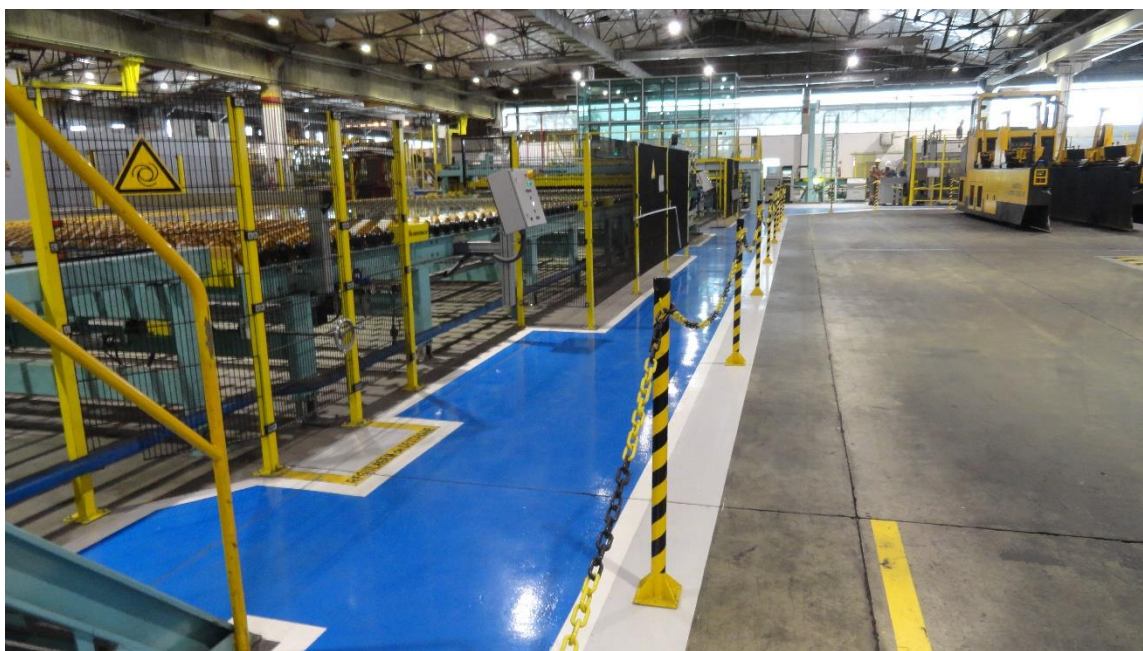
O primeiro passo nas alterações do layout, contemplou a segurança e produtividade dos trabalhadores, com a delimitação de passarelas (ver Figura 12 e Figura 13) e corredores para o fluxo de máquinas, conforme descrito por Shingo (1996), a segregação do homem e da máquina, tem como objetivo a produtividade por meio da automação, bem como o uso eficiente dos recursos humanos.

Figura 12 – Delimitação do fluxo de trabalhadores



Fonte: Foto tirada pelo autor no local da modificação em 27/11/2015

Figura 13 – Delimitação de passarelas destinadas ao fluxo de pessoas



Fonte: Foto tirada pelo autor no dia 27/11/2015

➤ Realocação da “Ilha de operações”:

A ilha de operações, corresponde a um local estratégico, para monitorar, registrar e controlar os parâmetros visualizados em tempo real da produção, sua realocação (ver Figura 14) permitiu a criação de locais destinados à operação de embalagem próximo a saída da linha de recorte.

Figura 14 – Ilha de operações acima da linha de produção



Fonte: Foto tirada pelo autor no dia 27/11/2015

➤ Realocação das células de embalagem:

As células de embalagem, foram realocadas para um local próximo a saída da linha de recorte (20 metros de distância), tal mudança trouxe flexibilidade e agilidade no processo de embalagem, foram criadas áreas de manobra para empilhadeiras, e os trabalhadores permanecem segregados dos veículos de transporte de carga.

5.3. RESULTADOS FINAIS

Em relação às distancias percorridas no processo como um todo, houve uma redução de 429,8 metros para 207,0 metros, ou seja, para cada pilha de vidro embalada uma redução de 222,8 metros no percurso total (redução de 51,83%).

Com as novas medidas, as perdas por exposição do vidro a umidade atmosférica, por um longo período de tempo, que representavam 12% do total de vidro exportado, caíram para 1,5%, totalizando uma variação de 10,5% (redução de 181,5 toneladas por mês desperdiçadas).

O estoque intermediário deixou de ser necessário, com isso uma área de 568,8 metros quadrados está disponível para outras utilizações.

O *lead time* do produto, que era muito prejudicado pelo tempo que o vidro permanecia no estoque intermediário, com a modificação teve seu período total reduzido para 2 dias, em comparação a situação original, há uma redução de 15 dias (88,23%).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi apresentada toda metodologia e procedimento realizado para analisar o arranjo físico, propor modificações e implementa-las, no layout fabril de uma empresa do ramo vidreiro.

Como mencionado anteriormente, o arranjo físico, ou seja, a disposição dos equipamentos e trabalhadores no chão de fábrica, impacta diretamente na produtividade, segurança, e desempenho industrial, argumento sustentado pelos resultados finais alcançados, com redução de lead time em 88,23%, redução de movimentação de produto acabado em 51,83% e por fim redução dos desperdícios devido ao grande período de permanência do produto em estoque, em 10,5%.

Através dos resultados finais comprovamos que, a modificação do layout é extremamente viável financeiramente, desde que seja feita uma análise aprofundada acerca da situação real, e sobretudo uma projeção do futuro layout, levando em consideração não somente a redução de

movimentações desnecessárias, bem como o *lead time*, condições de trabalho, fluxo de equipamentos e pessoas e qualidade do produto final.

6.1. VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS DA PESQUISA

Essa pesquisa-ação, apresentou de forma sucinta e prática como se procedeu o planejamento da ação, por meio da utilização das ferramentas apropriadas do LM, descreveu as ações tomadas a partir da análise da situação real, descreveu os efeitos resultantes das implementações, e finalmente, avaliou os resultados provenientes das implementações. Outras ferramentas foram incorporadas no projeto como a padronizações de rotina de trabalho seguindo os princípios do 5S e os princípios de TRF nas operações de embalagem, porém não foram abordadas, devido ao intento do estudo de focar na implementação do layout e os resultados provenientes de um projeto de arranjo físico com embasamento teórico apropriado.

Além das contribuições práticas das ações, adquiriu-se conhecimento teórico acerca das ferramentas utilizadas, propiciando a disseminação dos conceitos do LM no âmbito profissional.

No processo de descrição das ferramentas utilizadas, foi apresentado resumidamente, por meio de um rico embasamento teórico baseado em renomados autores como Womack & Jones (1998) e Shingo (1996), os princípios por trás da utilização de cada ferramenta, presente desde o planejamento do projeto inicial até a implementação das modificações.

Na análise bem como na quantificação e demonstração dos ganhos reais, aplicou-se uma abordagem lógica e direta, com foco nos resultados, afim de buscar soluções simples com baixo investimento almejando a produtividade através da redução dos desperdícios observados.

6.2. CONTRIBUIÇÕES

Apesar do atual interesse pela cultura LM nas indústrias brasileiras, a manufatura enxuta infelizmente é um tema pouco aplicado no setor industrial nacional, na busca pelo lucro por meio de produção em massa, desperdícios passam despercebidos diante de grandes quantias de produtos produzidos e comercializados.

Os prejuízos vão para a conta dos consumidores brasileiros, que pagam os desperdícios da produção mal planejada diluídos no custo final do produto, desta forma, esse estudo, tem como forma de contribuição, o intuito de exaltar os ganhos ao se aplicar os conceitos da manufatura enxuta, incentivando sua prática e tornando as indústrias brasileiras mais eficientes e competitivas.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, D. H.; MUSETTI, M. A. The use of performance measurement system in logistics change process: Proposal of a guide. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 60, n. 4, p. 339–359, 2011.
- CHAPMAN, C. D. Clean House With Lean 5S. **Quality Progress**, v. 38, n. 6, p. 27–32, 2005.
- COONEY, R. Is “lean” a universal production system?: Batch production in the automotive industry. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 10, p. 1130–1147, 2002.
- DIAGRAMA de produção do vidro. O PROCESSO DE PRODUÇÃO DO VIDRO, Cebrace, 1994. Disponível em <http://www.vidrosvillage.com.br/ovidro_processo.htm>. Acesso em: 11 out. 2016.
- FOGLIATTO, F. S.; FAGUNDES, P. R. M. Troca rápida de ferramentas: proposta metodológica e estudo de caso. **Gestão & Produção**, v. 10, n. 2, p. 163–181, ago. 2003.
- GONÇALES FILHO, M. et al. Revisão sistemática da literatura com análise bibliométrica sobre estratégia e Manufatura Enxuta em segmentos da indústria. **Gestão & Produção**, v. 23, n. 2, p. 408–418, jun. 2016.
- GUNASEKARAN, A.; LYU, J. Implementation of just--in--time in a small company: a case study. **Production Planning & Control**, v. 8, n. 4, p. 406, 1997.
- GUPTA, S.; JAIN, S. K. An application of 5S concept to organize the workplace at a scientific instruments manufacturing company. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 6, n. 1, p. 73–88, 2 mar. 2015.
- HARRINGTON, H. J. The Breakthrough Strategy for Total Quality, Productivity and Competitiveness. **Food Management**, v. 41, n. 1, p. 26–27, 2006.
- HO, S. K.; CICMIL, S.; FUNG, C. K. The Japanese 5-S practice and TQM training. **Training for Quality**, v. 3, n. 4, p. 19–24, 1995.
- HOLWEG, M. The genealogy of lean production. **Journal of Operations Management**, v. 25, n. 2, p. 420–437, 2007.
- HOUGH, B. R. 5S implementation “cleans up” and organises the workplace, without changing its existing configuration. **Management Services**, v. Summer 200, p. 44–46, 2008.
- HUBBARD, R. Case study on the 5S program: the five pillars of the visual workplace. **Hospital Materiel Management Quarterly**, v. 20, n. May, p. 24–28, 1999.
- INKPEN, A. C. Learning Through Alliances: GENERAL MOTORS AND NUMMI. **California Management Review**, v. 47, n. 4, p. 114–136, 2005.
- KRAFCIK, J. F. **Triumph of the lean production system** Sloan Management Review, 1988. Disponível em: <<http://search.proquest.com/docview/224963951/abstract?accountid=10218>>

LIKER, J. K. The 14 Principles of the Toyota Way : An Executive Summary of the. **The 14 Principles of the Toyota Way : An Executive Summary of the**, p. 35–41, 2003.

LIKER, J. K.; MEIER, D. The Toyota Way. **Action Learning: Research and Practice**, v. 1, n. 22, p. 288, 2015.

MACDUFFIE, J. P.; SETHURAMAN, K.; FISHER, M. L. Product Variety and Manufacturing Performance: Evidence from the International Automotive Assembly Plant Study. **Management Science**, v. 42, n. 3, p. 350–369, 1996.

MIGUEL, P. A. C. (ORGANIZADOR). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2ª ed. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

NEUENFELDT JÚNIOR, A. L.; SILUK, J. C. M.; NARA, E. O. B. Estudo de um fluxo interno de materiais baseado na filosofia Lean Manufacturing. **Production**, v. 25, n. 3, p. 691–700, set. 2015.

OHNO, T. Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. **Productivity Press**, p. 152, 1988.

PATTANAIK, L. N.; SHARMA, B. P. Implementing lean manufacturing with cellular layout: a case study. [s.d.].

PORTER, L. J.; RAYNER, P. Quality costing for total quality management. **International Journal of Production Economics**, v. 27, n. 1, p. 69–81, 1992.

RIBEIRO, H. A Certificação 5S: Como formar a Cultura e atingir a Excelência do 5S na Empresa. 1. ed. São Caetano do Sul: PDCA Editora, 2013. 428 p.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda (Lean Enterprise Institute)**Lean Enterprise Institute Brookline, 2003. Disponível em: <http://www.leanenterprises.com/Library/Learning_to_See_Foreword.pdf>

RUIZ-DE-ARBULO LOPEZ, P.; FORTUNY-SANTOS, J.; CUATRECASA-ARBÓS, L. Lean manufacturing: costing the value stream. **Industrial Management & Data Systems**, v. 113, n. 5, p. 647–668, 2013.

SALGADO, E. G. et al. Análise da aplicação do mapeamento do fluxo de valor na identificação de desperdícios do processo de desenvolvimento de produtos. **Gestão & Produção**, v. 16, n. 3, p. 344–356, set. 2009.

SHAH, R.; WARD, P. T. Defining and developing measures of lean production. **Journal of Operations Management**, v. 25, n. 4, p. 785–805, 2007.

SHINGO, S. O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SILVA, A. L. DA; RENTES, A. F. Um modelo de projeto de layout para ambientes job shop com alta variedade de peças baseado nos conceitos da produção enxuta. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 3, p. 531–541, 2012.

SUNDER, S. Optimal Choice Between FIFO and LIFO. **Journal of Accounting Research**, v. 14, n. 2, p. 277–300, 1976.

SUNDIN, E. et al. Improving the layout of recycling centres by use of lean production principles. **Waste Management**, v. 31, n. 6, p. 1121–1132, 2011.

THIOLLENT, M., **Metodologia da Pesquisa-Ação**. 2. ed. São Paulo: Cortez: Autores Associados, 1986. 106 p.

TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica* Action research: a methodological introduction*. **Educação e Pesquisa**, v. 31, n. 3, p. 443–466, 2005.

WAHAB, A. N. A.; MUKHTAR, M.; SULAIMAN, R. A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions. **Procedia Technology**, v. 11, p. 1292–1298, 2013.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riquezas**. 6. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.