



UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE COMERCIAL PARA A OTIMIZAÇÃO DE FLUXO DE PRODUÇÃO

Kellen Bicho Vieira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientador: João Nazareno Nonato Quaresma

Belém

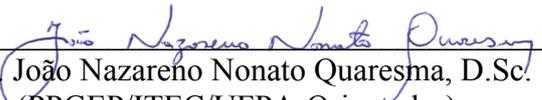
Agosto de 2016

UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE COMERCIAL PARA A OTIMIZAÇÃO DE FLUXO DE PRODUÇÃO

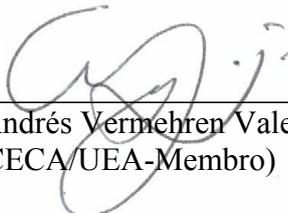
Kellen Bicho Vieira

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

Examinada por:


Prof. João Nazareno Nonato Quaresma, D.Sc.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Orientador)


Prof. Emanuel Negrão Macêdo, D.Sc.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Membro)


Prof. Walter Andrés Vermehren Valenzuela, Dr.
(CECA/UEA-Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

AGOSTO DE 2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Vieira, Kellen Bicho, 1981-

Utilização de software comercial para a otimização de
fluxo de produção / Kellen Bicho Vieira. - 2016.

Orientador: João Nazareno Nonato Quaresma.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Processos, Belém, 2016.

1. Produção enxuta-Simulação por computador.
2. Software-Desenvolvimento. 3. Instalações industriais-
Layout. I. Título.

CDD 22. ed. 658.514

Dedico este trabalho à minha família, em especial ao meu marido, que sempre acreditou no meu potencial e que esteve sempre ao meu lado me apoiando e me ajudando com suas opiniões pertinentes para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus Primeiramente, pela grande oportunidade de cursar esse mestrado, pelas tantas outras coisas boas que me concedeu, e por estar sempre ao meu lado em todos os obstáculos da minha vida.

Ao professor Dr. João Nazareno Nonato Quaresma, pela orientação e condução necessária ao decorrer do curso.

Aos demais professores e colegas pela amizade, conhecimento adquirido e estímulo para a realização desta nova etapa.

Aos meus amados pais Antônio e Nazaré, pela educação, amor e dedicação, e principalmente por pedirem a Deus por minha felicidade.

Ao meu Esposo que foi o responsável por essa conquista, pois acreditou que eu seria capaz, estando sempre ao meu lado acompanhando tudo de perto, as vezes até cobrando de uma forma dura, mostrando do jeito dele que era na verdade o meu maior incentivador.

Às minhas irmãs e irmãos por comemorarem essa conquista comigo como se fosse deles, e por todo amor, orações e energias positivas.

“Foi o tempo que dedicastes a tua rosa que
a fez tão importante”
(Antoine de Saint Exupéry)

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M.Eng.)

UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE COMERCIAL PARA A OTIMIZAÇÃO DE FLUXO DE PRODUÇÃO

Kellen Bicho Vieira

Agosto/2016

Orientador: João Nazareno Nonato Quaresma

Área de Concentração: Engenharia de Processos

O presente trabalho destina-se a apresentar um estudo de caso baseado em dados reais de produção no qual a simulação computacional foi utilizada para análise da eficiência do arranjo físico atual, atentando-se para indicadores definidos pelo mapeamento da cadeia de valor, determinaram a necessidade de reestruturação de *layout*. Para esse propósito, foi utilizada uma ferramenta computacional de eventos discretos que permite explorar a característica do sistema, tendo como objetivo permitir uma visualização mais abrangente da linha de montagem, uma vez que o *software* possui várias ferramentas de análise de performance. O método foi desenvolvido por meio de levantamento de dados “in loco”, em casos semelhantes estudados em literaturas, e no aprendizado da ferramenta computacional, criando desta forma um ambiente virtual que permitiu simular várias estratégias de reestruturação de *layout* até se chegar ao resultado desejado, verificando-se um grande potencial de melhoria com essa reestruturação. Por fim, os resultados obtidos com a simulação computacional comprovaram que sua utilização surge como uma ferramenta eficaz para avaliação da racionalização de recursos e da reestruturação de *layout* produtivo, tornando clara as vantagens e os recursos da aplicação da simulação computacional como instrumento de auxílio à tomada de decisão em processo de manufatura industrial.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M.Eng.)

USE OF COMMERCIAL SOFTWARE FOR THE OPTIMIZATION OF PRODUCTION FLOW

Kellen Bicho Vieira

August/2016

Advisor: João Nazareno Nonato Quaresma

Research Area: Process Engineering

This study aims to present a case study based on real production data in which the computer simulation was used to analyze the efficiency of the current layout, paying attention to indicators defined by the value stream mapping, determined the need of layout restructuring. For this purpose, we used a computer tool for discrete events that lets you explore the features of the system, aiming to provide a more comprehensive view of the assembly line, since the software has several performance analysis tools. The method was developed through "in loco" data collection, in similar cases studied in literature, and in the computation tool learning, thus creating a virtual environment that allowed simulate various layout restructuring strategies to reach the desired result, verifying a great potential for improvement with this restructuring. Finally, the results obtained with the simulation proved that its use emerges as a powerful tool for evaluating the rationalization of resources and production layout restructuring, making clear the advantages and features of the use of computer simulation as a tool to help making decisions in industrial manufacturing process.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS.....	1
1.1.1 - Objetivo Geral.....	2
1.1.2 - Objetivos Específicos.....	2
1.2 - METODOLOGIA DA PESQUISA.....	2
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1- ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO.....	5
2.2 - LAYOUT DE MANUFATURA.....	7
2.2.1- Etapas para Elaboração de um Layout.....	8
2.3 - TIPOS DE LAYOUT.....	9
2.3.1 - Layout Posicional.....	9
2.3.2 - Layout Celular.....	10
2.3.3 - Layout por Produto.....	11
2.3.4 - Layout Funcional ou por Processo.....	12
2.3.5 - Comparações entre os Tipos Tradicionais de Arranjo Físico.....	14
2.3.6 - Layout Misto.....	16
CAPÍTULO 3 - SIMULAÇÃO E EVENTOS.....	17
3.1 - USO DA SIMULAÇÃO NA MANUFATURA.....	17
3.2 - ELEMENTO DA SIMULAÇÃO.....	19
3.3 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE SIMULAÇÃO.....	20
3.4 - A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E A PREVISÃO DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS DE LAYOUT.....	21
3.5 - CARACTERÍSTICAS DE FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PROPOSTA.....	23
3.5.1 - Simulando o Desempenho do Sistema.....	24
3.5.2 - Otimização Automática.....	24
3.5.3 - Análise do Resultado da Simulação.....	25
CAPÍTULO 4 - MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR.....	29
4.1 - PRODUÇÃO ENXUTA.....	29
4.1.1 - Cinco Princípios da Produção Enxuta.....	29
4.1.2 - Sete Tipos de Desperdícios.....	32
4.2 - TPM (<i>Total Productive Maintenance</i>).....	35
4.3 - SMED (<i>Single-Minute Exchange of Dies</i>).....	37
4.4 - PADRONIZAÇÃO.....	38
4.5 - MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR.....	40

CAPÍTULO 5 - ESTUDO DE CASO.....	42
5.1- REALIZAÇÃO DO MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR.....	42
5.2 - CARACTERÍSTICA DO PRODUTO.....	44
5.2.1 - Mapeamento do Processo.....	45
5.2.2 - Mapeamento do Processo - Antes da Proposta de Melhoria.....	45
5.3 - SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO ARRANJO FÍSICO PROPOSTO..	48
5.4 - MAPEAMENTO DO PROCESSO - NOVO ARRANJO FÍSICO.....	48
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	49
6.1 - CONCLUSÕES.....	49
6.2 - SUGESTÕES.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Fluxograma do método proposto para modelagem e simulação.	3
Figura 2.1	Aspectos competitivos do sistema produtivo.....	7
Figura 2.2	Layout posicional.....	10
Figura 2.3	Layout celular.....	11
Figura 2.4	Layout por produto.....	12
Figura 2.5	Layout funcional ou por processo.....	13
Figura 2.6	Classificação dos arranjos físicos tradicionais segundo volume variedade.....	14
Figura 4.1	Sete tipos de perda.....	32
Figura 4.2	Os oito pilares da TPM.....	36
Figura 4.3	Símbolos de MFV.....	40
Figura 5.1	Mapeamento atual do fluxo de valor.....	43
Figura 5.2	Mapeamento futuro do fluxo de valor.....	43
Figura 5.3	Montagem do painel frontal do rádio.....	44
Figura 5.4	Montagem do chassi.....	44
Figura 5.5	Dados de operação.....	44
Figura 5.6	Fluxo do processo produtivo 1.....	47
Figura 5.7	Fluxo do processo produtivo 2.....	47
Figura 5.8	Fases do processo de fabricação.....	47
Figura 5.9	Simulação virtual do novo arranjo.....	48
Figura 5.10	Novo arranjo físico - células em "T".....	48
Figura 6.1	Gráfico comparativo de evolução da produção por hora.....	49
Figura 6.2	Gráfico comparativo de evolução da produção por operador....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Vantagens e limitações dos tipos tradicionais de arranjo físico....	15
Tabela 3.1	Algumas ferramentas do toolbox do <i>Plant Simulation</i>	26
Tabela 3.2	Barra de ferramenta do toolbar com os comandos mais utilizados.....	27
Tabela 3.3	Barra de ferramenta do frame com os comandos mais utilizados.....	28

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

O projeto de layout é de suma importância para um bom desempenho de um processo de manufatura, pois, implantação e alterações de *layout*, podem implicar em elevado custo para a empresa, visto que experimentos no meio físico podem acarretar atraso e até paralisação da produção. Assim sendo, cada vez mais as organizações têm adquirido sistemas computacionais que possibilitem visualizar diferentes distribuições das células de produção em busca de um melhor desempenho, evitando assim, a interrupção da produção para que se façam modificações em seu *layout*.

O projeto correto do *layout* tem papel decisivo para a sobrevivência e sucesso de uma empresa, uma vez que está intimamente ligado à estratégia e aos objetivos desta, além de permitir a racionalização do espaço, minimização da movimentação de materiais e pessoas, levando à redução de custos e aumento da eficiência do sistema produtivo (TOMPKINS *et al.*, 2003).

Este estudo foi desenvolvido em uma empresa do setor automotivo especializada na fabricação de auto rádio, tendo como propósito o uso de ferramenta computacional na reestruturação de layout, utilizando o software *Tecnomatix Plant Simulation*® que é uma ferramenta de simulação de eventos discretos que permite uma maior visualização da manufatura utilizando-se experimentos simulados, tornando-se possível a otimização do fluxo de materiais, do gargalo de produção, bem como fazer mudanças de *layout* no ambiente de simulação, dando maior segurança nas alterações do processo produtivo.

Nesse contexto, com base em algumas variáveis de decisão, foi realizada uma comparação entre o *layout* atual e os cenários simulados, que apresentou indicadores que possibilitaram propor uma reestruturação do *layout* produtivo, utilizando a simulação computacional como ferramenta de análise.

Tendo em vista os fatos apresentados, a importância deste estudo se faz pertinente porque a Implantação da Manufatura Digital vem se tornando um diferencial dentro das organizações, pois, a manufatura digital ajuda nas decisões dos processos das empresas, possibilitando simular possíveis mudanças no layout do processo, onde são envolvidos altos valores de investimentos, auxiliando na previsão de problemas e na

busca pela solução. Em suma, a utilização dos recursos tecnológicos ajudará os gestores na tomada de decisão. Porém, para que os resultados desejados na implantação, referente aos custos, prazos e qualidades, sejam alcançados, é fundamental que se tenha um criterioso projeto de implantação.

Logo, na busca de melhorar o processo de fabricação, é necessário criar um cenário de simulação que permita controlar o processo produtivo e avaliar as possibilidades de melhorias. O ambiente de simulação possibilita prever as necessidades de recursos para os aumentos de demanda. Outra razão, é a busca pelo melhor ambiente de manufatura, visando conseguir os melhores resultados com recursos existentes.

1.1.1 - Objetivo Geral

Analisar, desenvolver e implementar um *layout* de manufatura eficiente, usando como ferramenta de apoio um software comercial para a otimização de fluxo de produção.

1.1.2 - Objetivos Específicos

- Analisar o atual processo produtivo identificando o fluxo de produção;
- indicar as etapas necessárias para aplicação da simulação computacional;
- Aplicar o modelo de simulação utilizando o *software Tecnomatix Plant Simulation* em um processo de produção tendo como ponto principal propor a reestruturação de *layout*.

1.2 - METODOLOGIA DA PESQUISA

O método Científico trata-se de uma sequência de regras básicas para que se possa desenvolver uma experiência controlada para o bem da ciência.

Segundo DEMO (2001), o grande desafio da pesquisa científica é a integração entre teoria e prática, constituindo-se na forma de intervenção no objeto de estudo e na capacidade do pesquisador em reconhecer as relevâncias do cenário e tirar conclusões.

Para que fosse alcançado o objetivo proposto neste estudo, o método foi adaptado tendo como base as etapas de desenvolvimento e implementação de modelos de simulação propostos por LAW e KELTON (2000), HARREL *et al.* (2002) e GAVIRA (2003). As etapas do método de trabalho proposto são: Formulação do problema e planejamento do estudo; Coleta de dados; Construção do modelo conceitual;

Validação do modelo conceitual; Construção do modelo computacional; Verificação e validação do modelo computacional; Definição do(s) experimento(s); Simulação do(s) Experimento(s); e Análise dos resultados.

O fluxograma com as etapas do método definidos é apresentado na Figura 1.1.

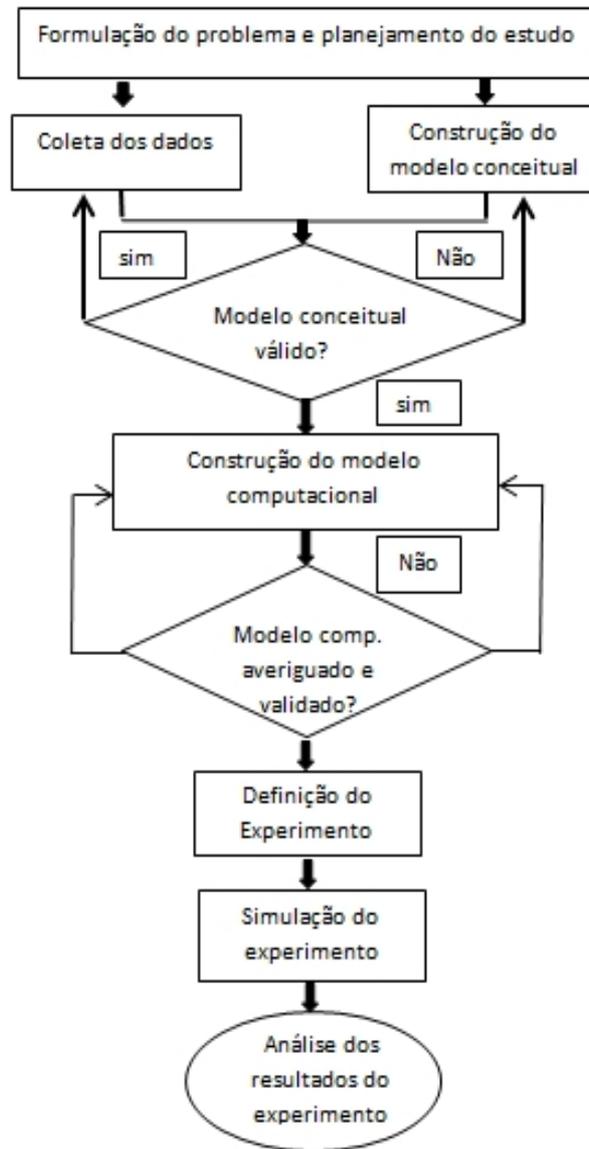


Figura 1.1 - Fluxograma do método proposto para modelagem e simulação.

Na primeira etapa é identificado o problema de manufatura a ser simulado, para isso, foi realizado um mapeamento do fluxo do processo para que se fosse identificado os problemas a ser resolvido, para que dessa forma, o novo cenário será planejado em cima do propósito desejado. É importante ressaltar que nesse inicial é necessário uma clara definição dos objetivos do trabalho de simulação para que fique evidente as implicações da problemática. Podendo também ser atualizado se necessário.

Na segunda etapa são coletados “*in loco*” os dados necessários para compor o modelo computacional, realizado através de entrevistas com gestores e demais profissionais do processo, bem como pesquisa bibliográfica e estudo de caso, pois, possui um caráter exploratório. Deve-se considerar que a qualidade dos dados de entrada é imprescindível para que a realidade a ser analisada seja retratada da melhor forma possível no desenvolvimento computacional.

A próxima etapa é a Construção do Modelo Conceitual, que se baseia no cenário real para construir um modelo de simulação que possibilite medir o desempenho atual que será avaliado na modelagem computacional. Após a coleta de dados e formulação do modelo conceitual deve-se validar o mesmo, definindo as características do sistema real que serão modeladas e verificando-se, se o modelo está de acordo com o sistema real e com os propósitos da simulação computacional (SARGENT, 2007).

Após a validação do modelo conceitual, será desenvolvido o modelo computacional com o auxílio do software *Tecnomatix Plant Simulation*® que permite a criação de cenário que possibilita melhor avaliação da capacidade produtiva através de experimentos simulados, bem como viabilizando análises dos recursos produtivos no sistema.

Averiguação e validação do modelo de simulação. Nesta etapa, será verificado se o modelo representa de fato o sistema real. Serão executados os testes de simulação do processo, com o propósito de verificar e depois validar o modelo computacional, para isso é realizado um comparativo dos resultados do processo real com o do proposto, que no caso se trata da reestruturação de layout. É nesta etapa que são verificadas (se) as informações geradas, se as configurações e se os dados de entrada foram assimilados corretamente pelo modelo computacional (LAW, 2009).

A definição do experimento partiu da necessidade de mudança no processo produtivo, identificado na primeira etapa do método, que identificou falhas no arranjo físico que ocasionava desperdício de movimentação e necessidade de melhoria de desempenho.

Após a definição do experimento, serão modelados as mudanças desejadas para que o modelo computacional simule as alterações de melhoria permitindo uma análise comparativa dos resultados, para avaliação de viabilidade de implantação das mudanças propostas.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO

Consiste em um processo aplicado no gerenciamento das atividades de produção, que trata do sistema de gerenciamento dos recursos operacionais de produção de uma empresa. Objetivando gerir as atividades organizacionais de maneira eficaz, de forma que alcance seus propósitos.

De acordo com MOREIRA (2004), a administração da produção é o campo de estudo dos conceitos e técnicas aplicadas à tomada de decisões na função de produção (empresa industriais) ou Operações (empresas de serviços).

Para MARTINS e LAUGENI (2000), todas as atividades desenvolvidas por uma empresa visando atender seus objetivos de curto, médio e longo prazo se inter-relacionam, na maioria das vezes de forma complexa. Assim sendo, um dos principais objetivos da administração da produção é criar estratégias de gestão que tenha como objetivo agreguem valor ao produto final, já que ao transformar insumos e matérias primas em produto e/ ou serviço, demandam um elevado nível de recursos.

Tais conceitos e técnicas dizem respeito às responsabilidades que envolvem funções administrativas relacionadas ao planejamento, organização, direção e controle, aplicadas as tarefas da produção física de um produto ou à prestação de um serviço.

Em suma, toda atividade em processo de desenvolvimento pela empresa deve obedecer seus objetivos dentro das decisões de curto prazo (decisões de planejamento operacionais e de controle), médio prazo (decisões táticas) e longo prazo (decisões estratégicas), pois nem sempre a tentativa de transformar insumos, como matérias-primas, em produtos e/ou serviços agregam valor ao produto final. E é nesse contexto que a administração da produção tem a função de desenvolver uma gestão eficaz em todas as etapas da produtividade.

Segundo SLACK (1999), a administração da produção trata da maneira pela quais as organizações produzem bens e serviços.

O mesmo autor divide-as em duas responsabilidades principais, sendo elas diretas e indiretas:

As responsabilidades indiretas são:

- Informar as outras funções sobre as oportunidades e as restrições fornecidas pela capacidade instalada de produção;
- Discutir com outras funções sobre como os planos de produção e os demais planos da empresa podem ser modificados para benefício mútuo;
- Encorajar outras funções a dar sugestões para que a função produção possa prestar melhores “serviços” aos demais departamentos da empresa.

As responsabilidades diretas são:

- Entender os objetivos estratégicos da produção;
- Desenvolver uma estratégia de produção para a organização;
- Desenhar produtos, serviços e processos de produção;
- Planejar e controlar a produção.

Dessa forma, fica evidente que a administrar uma produção requer dispor de estratégias voltadas para o sucesso da capacidade produtiva, e isso exige que se tenha uma visão ampla de todas as etapas do processo, possibilitando clareza para tratar os problemas das empresas.

Conforme CORRÊA *et al.* (2011) a Figura 2.1 traz um resumo dos relacionamentos entre as sete principais funções a cargo dos sistemas de administração e os seis aspectos de desempenho competitivo que estão dentro do escopo dos sistemas de operações produtivas nas organizações:

1. Planejar as necessidades futuras de capacidade produtiva da organização;
2. Planejar os materiais comprados;
3. Planejar os níveis adequados de estoques de matérias primas, semiacabados e produtos finais, nos pontos certos;
4. Planejar atividades de produção para garantir que os recursos produtivos envolvidos estejam sendo utilizados, em cada momento, nas atividades certas e prioritárias;
5. Ser capaz de saber e de informar corretamente a respeito da situação corrente dos recursos (pessoas, equipamentos, instalações, materiais) e das ordens (de compra e produção);

6. Ser capaz de prometer os menores prazos possíveis aos clientes e depois fazer cumpri-los;
7. Ser capaz de reagir eficazmente.

Relação entre funções do sistema de administração da produção e aspectos competitivos.						
	Custo	Velocidade	Confiabilidade	Flexibilidade	Qualidade	Serviço
1	✓	✓	✓			
2	✓					
3	✓	✓	✓	✓		
4	✓	✓	✓			
5			✓		✓	✓
6	✓		✓			
7		✓		✓		

Figura 2.1 - Aspectos competitivos do sistema produtivo.

É importante deixar claro que para que se tenha um fluxo de informações que facilite alcançar um resultados eficaz, a administração da produção envolve gerentes de operações que organizam e derenciam sua produção.

2.2 - LAYOUT DE MANUFATURA

Entende-se por *layout* ou arranjo físico a distribuição geométrica de equipamentos sobre determinada superfície visando ao equilíbrio entre movimentação, produção e ambientação, ou à disposição de produtos dentro de um determinado espaço, com objetivo de tornar o processo construtivo mais adequado às necessidades das empresas. A disposição do layout é determinada muitas vezes em função das dimensões dos galpões industriais, outras vezes em função da atuação da mão de obra no processo, e mesmo em função de aspecto relativos aos acessos às instalações. Ou seja, dentro de um espaço disponível, o layout deve apresentar uma combinação otimizada das instalações industriais que permita um nível elevado no rendimento da produção. O espaço físico planejado anteriormente à concepção da planta da edificação resulta na eficácia do resultado pretendido. “Projetar o arranjo físico de uma operação produtiva, assim como qualquer atividade de projeto, deve iniciar-se com objetivos estratégicos da produção” (SLACK *et al.*, 2002).

A escolha do tipo de *layout* depende em grande medida da estrutura do processo, a posição dos processos na matriz de contato com o cliente para os fornecedores de serviço e na matriz de produto-processo para processo de fabricação.

2.2.1 - Etapas para Elaboração de um Layout

Na elaboração de um *layout*, deve ser levado em conta fatores como o espaço e as limitações existentes onde será distribuído o processo, a disposição dos maquinários e o nível de dificuldade de movimentação de cada equipamento. Levando-se em consideração esses fatores, o *layout* no qual o fluxo terá de ser definido de maneira contínua e de forma a mitigar os desperdícios.

Conforme MARTINS e LAUGENI (2000), as principais etapas para a elaboração de um layout são:

- Determinar a quantidade a produzir;
- Planejar o todo e depois as partes;
- Planejar o ideal e depois o pratico;
- seguir a sequência: local - layout global – layout detalhado – implantar e reformular sempre que necessário (ate onde for possível);
- Calcular o numero de maquinas;
- Selecionar o tipo de layout e elaborar o layout considerando o processo e as maquinas;
- Planejar o edificio;
- Desenvolver instrumentos que permitam a clara visualização do layout;
- Utilizar a experiência de todos;
- Verificar o layout e avaliar a solução;
- Vender layout;
- Implantar;
- Definir os objetivos (qualidade, quantidade);
- Estabelecer como atingir os objetivos;
- Conhecer a distancia apropriada entre as maquinas, as larguras, os corredores de circulação, a altura do prédio, entre os outros;
- Reservar áreas pensando em possíveis alterações;
- Verificar a ventilação, iluminação, higiene e segurança.

A maioria dos arranjos físicos, na pratica, derivam de apenas quatro tipos básicos de arranjos físicos.

2.3 - TIPOS DE LAYOUT

A literatura apresenta diversos tipos de layouts, entretanto, quatro deles estão consolidados no ambiente industrial. São eles: layout posicional, por produto, funcional e celular (SINGH e RAJAMANI, 1996; TOMPKINS *et al.*, 2003). Cada um deles está adequado a determinadas características, quantidades, diversidade e movimentações dos materiais dentro da fábrica. Todos apresentam vantagens e limitações.

Para CURY (2009) A implantação ou correção de um layout adequado pode proporcionar uma maior economia em diversos aspectos, e pode acarretar vários benefícios a organização.

Já para ROCHA (1995), o objetivo principal do arranjo físico é proporcionar economia visando obter a seguinte finalidade:

- Utilizar racionalmente o espaço físico disponível;
- Reduzir ao mínimo as movimentações de materiais, produtos e pessoas;
- Obter fluxo coerente de fabricação;
- Oferecer melhores condições de trabalho aos funcionários;
- Evitar investimentos desnecessários;
- Permitir manutenção;
- Possibilitar supervisão e obtenção de qualidade.

2.3.1 - Layout Posicional

SLACK *et al.* (1996) destaca que, em vez de materiais, informações ou clientes fluírem através de uma operação, quem sofre o processamento fica estacionário, enquanto maquinário, equipamentos, instalações e pessoas movem-se na medida do necessário.

Têm-se como exemplo a fabricação de navios e aviões, que pelo tamanho tende a permanecer fixo, enquanto as máquinas, equipamentos e trabalhadores movimentam-se ao seu redor.

De acordo com MOREIRA (2002) a principal característica do layout posicional é a baixa produção. Frequentemente, se trabalha com apenas uma unidade do produto, com características únicas e baixo grau de padronização. Dificilmente um produto será rigorosamente igual ao outro.

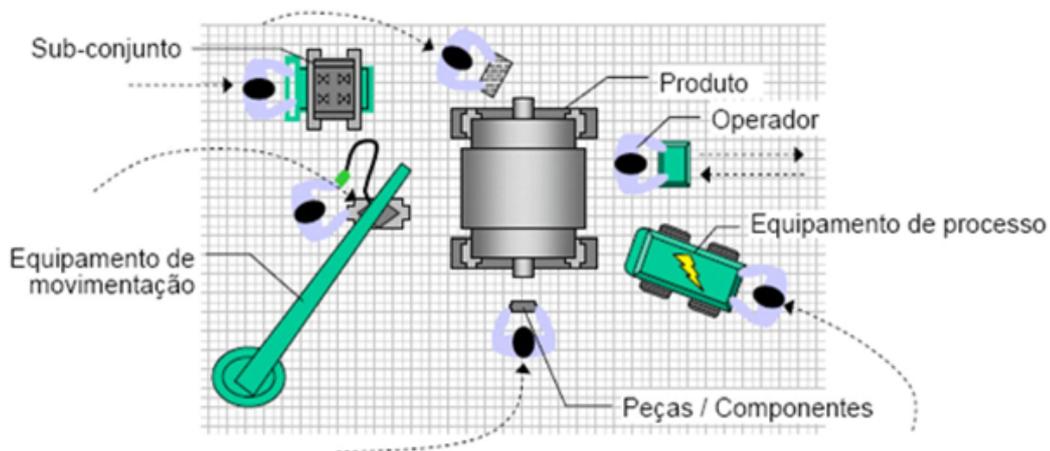


Figura 2.2 - Layout posicional.

2.3.2 - Layout Celular

Apresenta unidades e processos bem definidos no layout, o mesmo consiste em unir em um só local, máquinas diferentes que possam fabricar o produto inteiro. Sua vantagem é pode dar um bom equilíbrio entre custo e flexibilidade para operações com variedade relativamente alta, atravessamento rápido e trabalho em grupo pode resultar em melhor motivação. Porém, sua desvantagem é porque a reconfiguração do arranjo físico atual pode gerar custos altos, pode requerer capacidade adicional e reduzir níveis de utilização de recursos.

WOMACK e JONES (1998) definem uma célula de produção como um conjunto de equipamentos que executam operações diferentes em uma sequência rígida, a fim de permitir o fluxo contínuo e o emprego flexível do esforço humano por meio do trabalho polivalente. Este tipo de arranjo também pode ser conhecido como ilha de produção. Exemplo: Lanchonete de supermercado e shopping de lojas de fábrica.

Este tipo de layout caracteriza-se por células montadas por famílias de produtos (peças com características de processamento similares) no qual o trabalho é realizado por time de pessoas, formando um grupo para realizar a produção.

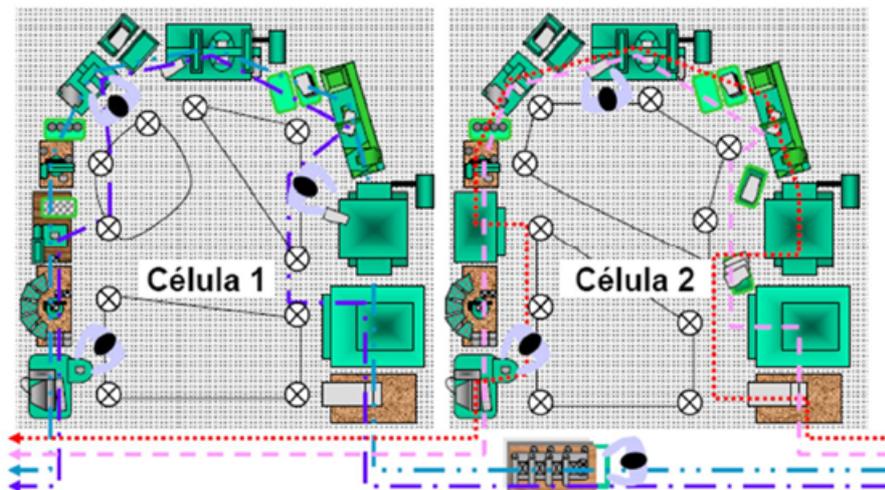


Figura 2.3 - Layout celular.

2.3.3 - Layout por Produto

O layout por produto é usado quando se é exigido uma sequência linear de operações na fabricação de um produto. Ou seja, os equipamentos ou as estações de trabalho são posicionados de acordo com a sequência que será realizado o processo de montagem, no qual o material desloca-se por caminho previamente estabelecido. Nesta operação de montagem necessita padronização, pois o layout por produto exige que seja fabricado apenas um único produto em grande quantidade. Tornando a produção simples e repetitiva, logo, não necessita de mão-de-obra demasiadamente qualificada. Neste layout, o custo fixo da organização costuma ser alto, mas o custo variável por produto produzido é geralmente baixo. É importante ressaltar que os equipamentos exigem segurança, pois possíveis falhas na estação pode causar parada de toda a linha. Um exemplo seria a montagem de automóveis – quase todas as variantes do mesmo modelo requerem sequências de produto.

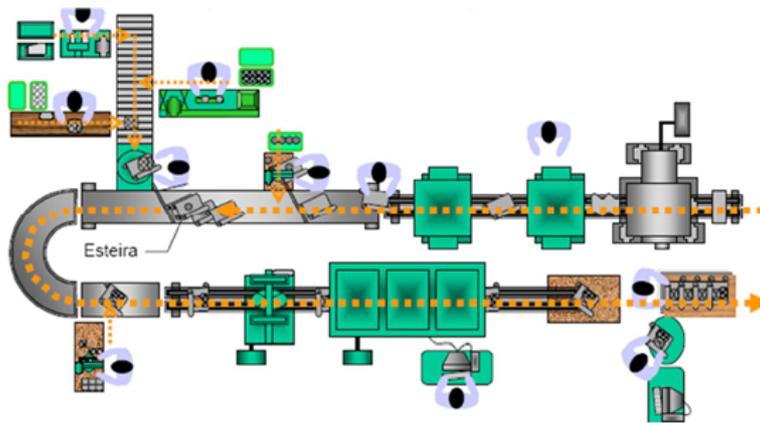


Figura 2.4 - Layout por produto.

2.3.4 - Layout Funcional ou por Processo

Segundo Martins e Laugeni (1998) nesse tipo de arranjo físico todos os processos e equipamentos do mesmo tipo são posicionados numa mesma área e também operações e montagens semelhantes são agrupadas num mesmo local. O material se desloca buscando os diferentes processos. Em razão disso, exige ampla habilidade da mão-de-obra em virtude da variedade de tarefas a serem realizadas. Sua flexibilidade é alta, mas a eficiência é baixa.

O arranjo físico por processo proporciona ao sistema uma flexibilidade para adaptar-se a variados produtos. Além disso, esse tipo de organização do setor produtivo requer máquinas de custos menores do que num arranjo físico por produto. O seu sistema de produção é mais complexo, e decisões operacionais como programação e carga são importantes e difíceis. Os níveis de estoque e os *leadtimes* são maiores.

Normalmente esse tipo de arranjo é encontrado em prestadores de serviço e organizações do tipo comercial, Hospital, serviços de confecções de moldes, Usinagem de peças, e Supermercado.

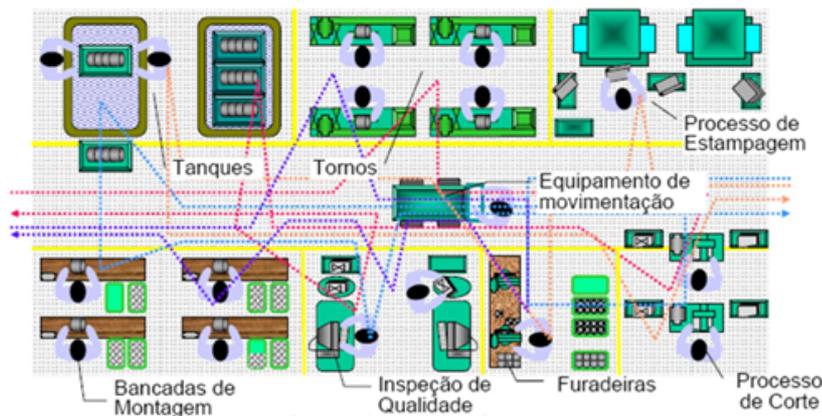


Figura 2.5 - Layout funcional ou por processo.

SILVA (2009), apresenta alguns pontos que quando ocorridos nas empresas deve-se realizar a análise da distribuição física, sendo eles:

- Necessidade de se montar um novo espaço produtivo;
- Necessidade de reorganização ou expansão;
- Ocorrências de colisões entre pessoas ou entre pessoas e máquinas/móveis;
- Acidentes de trabalho;
- Baixa produtividade;
- Alto *Lead Time*;
- Estoque de materiais em processo;
- Alto fluxo de pessoas.

Para SLACK *et al.* (2002), deve-se mudar o arranjo físico ou layout quando existir máquinas improdutivas, ocorrer um aumento da demanda, passar a existir um ambiente de trabalho inadequado ou houver excesso de material em processo.

Mas para DIAS (1993), não existe um critério para se avaliar a adequação de um layout à determinada atividade; tudo depende da meta a ser atingida e dos fatores que influem no fluxograma típico para a atividade considerada.

Diante do esclarecido, para uma boa definição de um layout adequado para um determinado processo, segue as características dos quatro principais processo.

2.3.5 - Comparações entre os Tipos Tradicionais de Arranjo Físico

TOMPKINS *et al.* (2003) sugere o uso de um tipo de layout fundamentado na classificação segundo o volume de produção e a variedade de produtos, ilustrado na Figura 2.6.

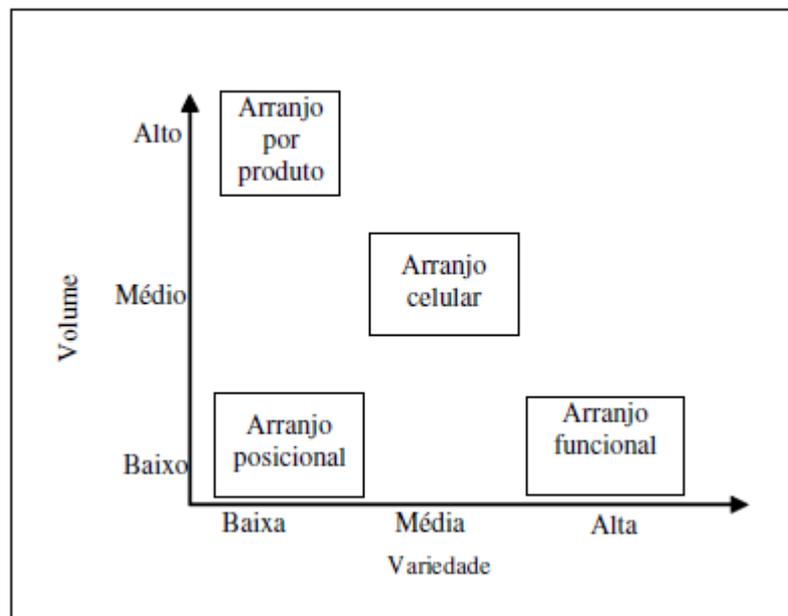


Figura 2.6 - Classificação dos arranjos físicos tradicionais segundo volume variedade.

Conforme ilustra a Figura 2.6, de acordo com TOMPKINS *et al.* (2003), o layout por produto é justificado quando a demanda é grande, estável e o produto padronizado. No arranjo celular, há um nível médio tanto de demanda como de variedade de peças. O arranjo físico funcional é usado quando a variedade de peças é grande, mas volume de produção não é suficiente para justificar um arranjo por produto ou celular. No arranjo posicional a demanda é muito baixa e às vezes unitária.

A seguir, algumas vantagens e limitações dos tipos tradicionais de arranjos físicos serão apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Vantagens e limitações dos tipos tradicionais de arranjo físico.

	Vantagens	Limitações
Posicional	<p>Reduzida movimentação de material.</p> <p>Trabalhador conhece o trabalho como um todo, o que resulta em maior qualidade e responsabilidade pelo produto.</p> <p>Alta flexibilidade, pode acomodar mudança no projeto do produto e no volume de produção.</p>	<p>Maior movimentação de mão-de-obra e equipamentos.</p> <p>Pode resultar em duplicação de equipamentos.</p> <p>Requer maior habilidade de mão-de-obra.</p> <p>Pode resultar em aumento de espaço e maior estoque em processo.</p> <p>Programação da produção mais complexa.</p>
Produto	<p>Fluxo suave, simples e direto.</p> <p>Baixo estoque em processo.</p> <p>Menos tempo de produção unitário.</p> <p>Controle de produção simples.</p> <p>Menor movimentação de material.</p> <p>Requer menor habilidade do pessoal.</p> <p>Podem ser usados equipamentos especializados.]</p>	<p>Parada de máquina para a linha.</p> <p>Mudança no projeto do produto causa obsolescência no arranjo físico.</p> <p>Trabalho pode ser repetitivo.</p> <p>Alto investimento em equipamentos.</p> <p>Requer supervisão geral.</p>
Celular	<p>Maior utilização da máquina que o arranjo por processo devido à formação de famílias de peças.</p> <p>Fluxo mais suave e menor distância percorrida que o arranjo físico por processo.</p> <p>Permite uso de equipamentos de propósito geral.</p> <p>Trabalho pode operar mais de uma máquina.</p> <p>Trabalho em equipe com aumento da comunicação e enriquecimento do trabalho.</p>	<p>Requer supervisão geral.</p> <p>Requer maior capacitação da mão-de-obra.</p> <p>Exige balanceamento do fluxo entre as células e dentro delas.</p> <p>Manor oportunidade de uso de equipamentos especializados.</p> <p>Pode necessitar de duplicação de equipamentos</p>
Processo	<p>Permite uso de equipamentos de propósito geral.</p> <p>Alta flexibilidade na alocação do mix de produtos, pessoal e equipamentos.</p> <p>Pouca duplicação de máquinas.</p> <p>Supervisão relativamente fácil.</p>	<p>Maior movimentação de material.</p> <p>Controle da produção complexo.</p> <p>Aumento de estoque em processo.</p> <p>Requer maior capacidade do pessoal devido à diversidade de tarefas.</p> <p>Baixa utilização de recursos.</p>

2.3.6 - Layout Misto

Após abordar os tipos tradicionais de layouts, é de suma importância uma breve explanação sobre o layout misto, pois dependendo do grau de complexidade de cada operação, o processo pode exigir a utilização de mais de um modelo de arranjo físico, denominado de layout mistos. Sendo esse o tipo de layout o estudado neste trabalho.

SLACK *et al.* (1996) cita que muitas operações utilizam *layouts* mistos, que combinam elementos de alguns ou todos os tipos básicos de *layout* ou, alternativamente, utilizam tipos básicos de *layout* de forma “pura” em diferentes setores da operação.

CAPÍTULO 3

SIMULAÇÃO E EVENTOS

3.1 - USO DA SIMULAÇÃO NA MANUFATURA

Uma linha de montagem é constituída de postos de trabalho, onde são executados certos números de operações, numa determinada sequência e numa velocidade constante. Manipulando com a composição operacional dos postos de trabalho, pode-se alocar mais ou menos operários à linha de montagem na busca de um melhor balanceamento. Diz-se que uma linha de montagem está perfeitamente balanceada quando todos os postos de trabalho estão cem por cento ocupados (RUSSOMANO, 2000).

Partindo do princípio de como é constituída uma linha de montagem, será possível ter uma visão mais clara sobre a aplicação da simulação na manufatura.

Definida por HARREL *et al.* (2002), simulação é um processo de experimentação com um modelo detalhado de um sistema real, para avaliar como este sistema se comporta com mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de contorno.

Para um bom entendimento sobre simulação, é essencial que se conheça as definições de sistemas e modelos. Em suma, sistema é um conjunto de diferentes elementos, que exercem entre si uma interação ou interdependência. Os sistemas estabelecem limites ou fronteiras. Ou seja, são limitados. Portanto, pode-se definir sistema dentro de outros sistemas, e assim por diante.

Para FREITAS (2001), a simulação é a utilização de técnicas matemáticas, empregadas em computadores digitais, as quais permitem imitar o funcionamento de praticamente qualquer operação ou processo do mundo real.

Um modelo é uma abstração da realidade, onde dado um sistema, consta uma representação simplificada das diversas interações entre as partes do mesmo. Os modelos simbólicos, matemáticos e de simulação são as três categorias básicas (CHWIF e MEDINA, 2007):

- **Modelos Simbólicos:** também chamados de diagramáticos ou iônicos. Representam um sistema de maneira estática, através do uso de símbolos gráficos, não levando em consideração o comportamento através do tempo. A falta de elementos quantitativos e a dificuldade de representar muitos detalhes de um mesmo sistema estão entre as limitações deste tipo de modelo. Sua utilização maior está na documentação de projetos e como uma ferramenta de comunicação.
- **Modelos Matemáticos:** também chamados de modelos analíticos, sendo interpretados como um conjunto de fórmulas matemáticas. Em sua grande maioria são modelos de natureza estática, sendo que muitos desses não possuem soluções analíticas para sistemas complexos, devendo-se utilizar hipóteses simplificadoras. Por sua vez, são modelos que possuem uma solução rápida e exata, quando existir uma solução analítica.
- **Modelos de Simulação:** atingem resultados de melhor fidelidade ao capturar as características do sistema real, mostrando uma maior complexidade devido à sua natureza, devido a mudança de seus estados ao longo do tempo e possuem variáveis aleatórias.

Para BERTO e NAKANO (2000), o modelamento ou modelagem compreende o uso de técnicas matemáticas para descrever o funcionamento de um sistema ou parte de um sistema produtivo. Uma complementação é o uso de simulação, que consiste no uso de técnicas computacionais para simular a operação de sistemas produtivos, baseado em um conjunto de variáveis em dado domínio, de forma a investigar a relação causal e quantitativa entre essas variáveis (BERTRAND e FRANSOO, 2002).

Na literatura, é possível encontrar diversos estudos de aplicação da simulação como ferramenta de análise de sistemas produtivos. GREASLEY (2004) apresenta um estudo que busca simular o sistema de manufatura de uma empresa com o objetivo de encontrar soluções otimizadas, analisando os níveis demandados de produção, balanceamento de linhas, tempos de ciclo e tempos de processamento de pedidos.

A simulação possibilita recriar um sistema real em um ambiente controlado, que permite uma possível compreensão do desempenho da manufatura, de forma segura e a custos menores aos que seriam indispensáveis em análises com alterações no sistema produtivo real.

De acordo com LOBO (1997), a simulação aplicada à manufatura possibilita a resolução dos seguintes problemas:

a) como trabalhar com o mix de produtos, requeridos por meio de investimentos e custos operacionais menores; b) como alocar os recursos de maneira que seja possibilitado o cumprimento das metas de produção e que se obtenha os resultados financeiros ótimos; c) como aperfeiçoar o fluxo de produção em termos do custo total, respeitando os limites do tempo de ciclo.

Conforme LACHTERMACHER (2002), diversos fatores afetam em uma tomada de decisão, como por exemplo: o tempo disponível, a importância da decisão, o ambiente, os riscos, certezas/incertezas, os agentes de decisões e o conflito de interesses. A influência desses fatores na tomada de decisão pode ser minimizada através de análise preventiva que possibilita que os gestores obtenham previamente fatos e dados confiáveis que se somam à suas experiências.

Segundo HARREL *et al.* (2000), em um modelo de simulação computacional podem ser testados diferentes valores para variáveis que podem ser controladas e modificadas pelo projetista. Ter o controle das variáveis permite que os resultados de saída sejam satisfatórios, permite também que se faça comparação entre modelos. Geralmente as variáveis analisadas são: Tempo de processamento, *lead time*, índice de utilização dos recursos, quantidade média produzida, tempo de fila, tempo de movimentação, dentre outras.

3.2 - ELEMENTO DA SIMULAÇÃO

Para que o comportamento do sistema seja reproduzido de maneira confiável, é necessário que se use os elementos na confecção dos modelos de simulação.

- **Entidades:** Uma entidade pode representar uma pessoa ou objeto, que se move ao longo do sistema, mudando o estado do mesmo;
- **Recursos:** Os recursos são tidos como restrições para o fluxo das entidades na simulação. As entidades precisam fazer uso dos recursos para se moverem pelo modelo;
- **Atributos:** Os atributos são atribuídos individualmente a cada entidade, e representa as características que aquela entidade deve possuir ao longo da simulação;
- **Fila:** Este é um elemento pelo qual uma entidade passa quando precisa de um recurso. Caso existam outras entidades sendo servidas pelo recurso, esta entidade fica em uma fila de espera.

Compreender os objetivos de um projeto de simulação é um dos aspectos de maior importância. Devem-se definir claramente as metas do projeto no início do trabalho. Além disso, outros itens devem ser definidos no início, tais como:

- Definir o problema e objetivo;
- Analisar o sistema;
- Adquirir os dados reais do sistema;
- Criar modelo;
- Validar o modelo;
- Experimentar e analisar o modelo;
- Avaliar os resultados;
- Propor melhorias.

3.3 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE SIMULAÇÃO

Ainda que a simulação seja excelente ferramenta de análise, é necessário que se conheça um pouco mais profundamente as vantagens e desvantagens de seu emprego.

Todos os modelos de simulação são chamados de modelos de entrada e saída, deste modo, as condições de entrada determinam o que produzem de saída. Eles não podem por si só gerar uma solução ótima, como é o caso dos sistemas analíticos. Os modelos de simulação desempenha apenas o papel de ferramenta de análise do comportamento do sistema sob determinadas condições.

Abaixo serão listados alguns dos benefícios do uso da simulação, de acordo com PEGDEN e SADOWSKI (1995):

- Novas políticas, procedimentos operacionais, regras de decisão, estruturas organizacionais, fluxos de informação, etc., podem ser explorados sem que provoquem distúrbios nos processos em uso;
- Novos projetos de *layout*, sistemas de transporte, máquinas e equipamentos, softwares, podem ser testados antes de sua implantação, avaliando assim a necessidade de compra ou modificação;
- Hipóteses sobre como e por que certos fenômenos ocorrem podem ser testados;
- O fator tempo pode ser controlado, isto é, pode ser expandido ou comprimido, permitindo aumentar ou diminuir a velocidade a fim de se estudar um fenômeno;

- Permite a análise de quais variáveis são significativas para o desempenho do sistema e como estas variáveis se interagem;
- Gargalos podem ser identificados;
- Um trabalho de simulação pode ser comprovadamente importante para o entendimento de como o sistema realmente funciona.

Apesar das várias vantagens da utilização da simulação, é importante que se aponte algumas restrições ou dificuldades na implantação de um modelo de simulação.

As principais são:

- Necessidade de treinamento, uma vez que a qualidade da análise depende da qualidade do modelo e, portanto da habilidade do analista;
- Algumas vezes os resultados da simulação podem ser de difícil interpretação. Isto é devido ao fato da simulação tentar capturar a aleatoriedade de um sistema real, levando a dificuldade de identificação se um evento ocorreu devido à aleatoriedade ou a interações de elementos do sistema;
- Análises feitas através do uso de simuladores podem ser demoradas e caras, podendo até mesmo inviabilizar seu uso.

3.4 - A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E A PREVISÃO DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS DE LAYOUT

A capacidade de produção de uma fábrica está diretamente ligada ao melhor aproveitamento do tempo de realização do processo, e o *layout* está entre os fatores de desempenho de qualquer operação produtiva.

Segundo CORRÊA e CORRÊA (2004), definir um arranjo físico qualquer é planejar e integrar os caminhos dos componentes de um produto, com a finalidade de se obter um relacionamento eficiente e econômico entre pessoal, equipamento e materiais que se movimentam. Etapas de estruturação e aprimoramento de *layouts* produtivos podem ser favorecidas pela utilização de simulação computacional, através da análise do comportamento de diferentes alternativas de *layout* antes da implantação prática. A interrupção de uma linha de produção para que se façam modificações em seu arranjo físico com a intenção de realizar experimentos, causaria um custo elevado para a organização, o que representa um ponto a favor ao uso da simulação computacional (PICCOLINI, 1998). A sua aplicação permite analisar diversos parâmetros

simultaneamente do processo, onde possibilita através do dinamismo da animação o aumento da sensibilidade sobre as propostas elaboradas (Meirelles, 2009).

LAW e KELTON (2000) e HARREL *et al.* (2002) apresentam alguns benefícios da utilização da simulação computacional em condições similares as aqui estudadas:

1. Desenvolvimento de modelos adaptáveis à realidade, testando diferentes cenários e possibilidades de operação de um sistema, sem comprometimento de recursos;
2. Capacidade de simulação de sistemas complexos (dotados de elementos estocásticos), os quais não são adequadamente descritos por modelos matemáticos determinísticos;
3. Avaliação da distribuição dos recursos disponíveis, alocando-os de forma adequada ao processo e garantindo níveis elevados de produção;
4. Melhor controle sobre as condições experimentais em comparação com a aplicação prática no sistema real;
5. Análise de longos períodos de tempo de uma operação em um tempo reduzido de simulação;
6. Determinação de gargalos (*bottlenecks*) existentes no sistema e estudos relacionados à otimização do processo.

Dentro de cenários que demandam respostas rápidas e de baixo custo na tomada de decisão, a simulação computacional é cada vez mais aplicada nas empresas em busca de aprimoramento de layout produtivo. A simulação computacional pode evitar decisões desacertadas que possam por em risco o funcionamento da empresa ou resultem em investimentos inadequados (KRAJEWSKI e RITZMAN, 2001). Pois, através da análise do comportamento de diferentes alternativas de layout antes da implantação prática, evitará erros e custo desnecessário.

A utilização de simulação se justifica na avaliação da distribuição dos recursos disponíveis, alocando-os de forma adequada ao processo e garantindo níveis elevados de produção, bem como seu uso em sistemas caracterizados por elevado número de variáveis de decisão (LU e WHONG, 2007). É importante ressaltar que na modelagem e simulação de células de manufatura as características de projeto da célula em análise (tamanho da célula, *layout*, tipos de máquinas, equipamentos de armazenagem, transporte e manuseio de materiais e capacidade de carregamento de máquinas e estações de trabalho) devem ser consideradas.

3.5 - CARACTERÍSTICAS DA FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PROPOSTA

O *Tecnomatix Plant Simulation*® é uma ferramenta de simulação de eventos discretos que possibilita criar diferentes cenários digitais do sistema de produção. Com essa ferramenta é possível que se faça experimentos simulados que permitem explorar as características dos sistemas e otimizar seu desempenho, pois, os resultados fornecem informações imprescindíveis para a tomada de decisão. Considerando que se trata de uma ferramenta de análise abrangente tendo como característica principal a manipulação de experimentos, ao criar um cenários hipotéticos é possível se chegar a resultados de desempenho sem afetar o sistema de produção existente, evitando paralização da produção para que se façam experimentos que poderiam acarretar prejuízo pelo atraso na produção ou danificações de equipamentos.

O software Tecnomatix® Plant Simulation permite a simulação e a otimização de sistemas, sejam eles, de fabricação, logísticos e armazenagem, como, por exemplo, fluxo de materiais em uma planta produtiva, transporte de matéria-prima entre centros de distribuição, dimensionamento de estoques, dimensionamento de mão-de-obra, layouts, sequenciamento da produção, etc. (SIEMENS PLM, 2010).

Além de proporcionar maior visualização ao modelar e simular sistemas de produção e seus processos, o *Plant Simulation* apresenta entre suas particularidade o analisador de gargalo, que é de suma importância em se tratando de linha de produção, visto que mudança de layout pode acarretar diferentes níveis de gargalos. Outro fator importante é que permite otimizar o fluxo de materiais, bem como, utilização de recursos e a logística para todos os níveis de planejamento de fábrica a partir de instalações de produção, passando por fábricas locais até linhas específicas.

De acordo com SIEMENS PLM (2010), os principais recursos e benefícios são:

Recursos

- Modelos orientados ao objeto com estrutura hierárquica;
- Arquitetura aberta com várias interfaces padrão;
- Gerenciamento de bibliotecas e objetos;
- Otimização acionada pelo algoritmo genético;
- Análise automática dos resultados da simulação;
- Criador de relatórios com base em HTML.

Benefícios

- Economia de 3% a 6% do investimento inicial;
- Aumento de 15% a 20% da produtividade do sistema existente;
- Redução de 5% a 20% dos custos de novos sistemas;
- Otimização do consumo e da reutilização de recursos;
- Redução de 20% a 60% dos inventários;
- Redução de 20% a 60% do tempo do ciclo.

ARTTO *et al.* (2001) sugerem a utilização da simulação de eventos discretos como uma ferramenta de gerenciamento de projeto, que permite o gerenciamento contínuo da funcionalidade do projeto ainda durante sua implementação.

3.5.1 - Simulando o Desempenho do Sistema

As simulações do *Plant Simulation* tem entre suas principais função a otimização do rendimento, liberar dificuldades e minimizar trabalhos em andamento. Os modelos de simulação permitem que possam ser analisados os impactos de diferentes variações de produção porque ao modelar, levam em consideração cadeias de suprimentos internas e externas, recursos de produção e processos de negócios. A simulação permite que se avaliem diferentes estratégias de controle da linha de produção e verifique a sincronização de linha e sublinhas.

O sistema também possibilita que regras de fluxo de materiais sejam definidas e que se verifiquem os efeitos delas no desempenho da produção. As regras de controle são escolhidas em bibliotecas e podem ser ainda mais detalhadas para modelar controles altamente sofisticados.

O *Experiment Manager* (Gerenciador de Experimentos) possibilita definir inúmeros experimentos de uma só vez, permitindo analisar e otimizar seu sistema, por meio dos experimentos.

3.5.2 - Otimização Automática

As otimizações também podem ser realizadas automaticamente através do módulo de algoritmos genéricos, que baseados em diferentes parâmetros de análise indicarão ao usuário a condição ideal de trabalho para atender aos diferentes objetivos

do estudo, como, por exemplo, sequenciamento ideal do mix de produtos num processo produtivo visando à redução nos custos e o melhor takt time (SIEMENS PLM, 2010).

Além disso, o software tem uma plataforma aberta para criação e desenvolvimento de objetos e lógicas que trarão ainda mais realidade aos seus modelos de simulação.

Essas soluções, novamente avaliadas por meio de simulações de forma interativa, encontram a solução ideal de acordo com o equilíbrio da linha e de vários tamanhos de lote.

3.5.3 - Análise do Resultado da Simulação

O *Plant Simulation* possui ferramentas variadas e de fácil entendimento que auxiliará na coleta e interpretação dos dados simulados.

Com ferramentas que apresentam presteza, gráficos dinâmicos de desempenho de recursos, tabelas de programação da produção e setup, relatórios gerenciais em HTML podem ser gerados rapidamente e de forma intuitiva.

Com apenas um clique, através do analisador de gargalo do *Plant Simulation* será indicado a utilização de recursos, indicando restrições e equipamentos subutilizados.

Já o gráfico de Sankey permite que o fluxo de material seja visualizado num instante, mostrando o volume de transporte no contexto do layout.

O *Plant Simulation* gera um gráfico de gantt dos planos de produção otimizados que podem ser modificados interativamente. Ambos auxiliarão o usuário nas análises desejadas.

Na Tabela 3.1 são mostradas algumas ferramentas do Toolbox utilizadas neste estudo de simulação com o *Plant Simulation*.

Para um melhor entendimento, a Tabela 3.2 apresenta os comandos mais utilizados na utilização do software.

Entre as suas funcionalidades o software também apresenta a barra de ferramenta do Frame (Tabela 3.3).

Tabela 3.1 - Algumas ferramentas do Toolbox do *Plant Simulation*.

Botões	Função
 ShiftCalendar	Shift calendar: modela os diferentes turnos trabalhados na instalação, ambiente proposto, no qual define as mudanças necessárias do processo a ser simulado.
 EventController	Event controller: utilizado para dar início à simulação e determinar o tempo estimado do processo.
	Comment: este objeto cria uma caixa de texto para inserir comentários, entre outros tópicos.
 Workplace  Worker	Workplace: representa uma pessoa no local de trabalho, na estação do processo, onde o trabalhador exerce a sua profissão. Worker: representa uma pessoa, colaborador que trabalha, realizando uma determinada função.
 Source	Source: utilizado para criar as peças, que estarão se movendo através do sistema de produção.
 Drain	Drain: este objeto é onde as peças deixam o sistema (final do processo).
 SingleProc	Single proc: objeto genérico que pode ser usado para qualquer estação ou máquina, onde as peças passam um certo tempo (como nos postos de trabalho).
 ParallelProc	Parallel proc: este objeto tem a função de executar mais de um processo de uma só vez
 Frame	Frame: utilizado para criar outra janela e simular parte de um processo separadamente sem afetar no processo como um todo.
 Interface	Interface: esse objeto é usado para definir onde o fluxo de material entra / sai da armação.
 Display1	Display: contabilizador do processo produtivo (utilizado para demonstrar a quantidade de produtos que foram fabricados).
 BottleneckAnalyzer	Bottleneck analyzer: exibe as estatísticas normais dos objetos de fluxo material e classifica os dados em um ranking.
 Chart	Chart: apresenta os resultados da simulação na forma gráfica. O gráfico mostra os conjuntos de dados armazenados e disponíveis à mensuração, após a simulação.

Tabela 3.2 - Barra de ferramenta do Toolbar com os comandos mais utilizados.

Botões	Função
	Abre um novo modelo.
	Abre um modelo existente.
	Fecha o modelo.
	Salva o modelo atual.
	Salva o modelo com outro nome.
	Mostra / oculta a Class Library.
	Mostra / oculta a biblioteca 3D.
	Mostra / oculta o console.
	Mostra / oculta o Toolbox.
	Permite gerenciar o conteúdo da Class Library e verificar se há versões atualizadas.
	Fecha todas as janelas abertas de diálogo e visualiza as janelas que estão localizadas sob as janelas de diálogo. Um segundo clique sobre o ícone traz de volta as janelas de diálogo.
	Abre o ajuda (help) da tabela de conteúdos.
	Abre o evento controlador ativo.
	Alternar MU ("Movable Unit") de animação.
	Alternar a animação do ícone (por exemplo, a visualização dos estados de objetos de fluxo de materiais, como: falhou, fez uma pausa, trabalho etc.)
	Inicia o visualizador 3D.
	Fecha o visualizador 3D.
	Conecta-se / desconecta do visualizador 3D.
	Abre o método Debugger.
	Parar os Controles - Abre a janela do Debugger sempre que um controle é iniciado.
	Ignorar Breakpoints - Continua a execução do método, mesmo que os pontos de interrupção (breakpoints) estejam definidos.
	Mostra os métodos de suspensão (por exemplo, métodos que a execução foi suspensa por um comando "waituntil").
	Finaliza a suspensão dos métodos.

Tabela 3.3 - Barra de ferramenta do Frame com os comandos mais utilizados.

Botões	Função
	Abre a janela do Frame em que o Frame é localizado.
	Abre a janela do Frame em que o Frame é localizado e fecha a janela atual.
	Abre a janela do Frame do qual o Frame atual foi derivado.
	Abre o Frame's evento se existir, se não ele insere um.
	Redefine o Frame's do controlador de eventos.
	Inicia e Para a simulação.
	Inicia a simulação sem animação - desta forma, a simulação é mais rápida.
	Exclui os objetos selecionados.
	Exclui todos os objetos em movimento (MUs) no Frame.
	Amplia o conteúdo dentro do Frame.
	Reduz o conteúdo fora do Frame.
	Seleciona todos os objetos com entradas não conectadas ou sai do Frame.
	Abre o Editor de ícone para editar ícones do Frame.
	Abre o editor para desenhar elementos gráficos de vetor no fundo do Frame.
	Alterna nomes de objeto em ligado e desligado.
	Alterna a visualização das conexões e desliga.
	Liga ou desliga os comentários em objetos.
	Alterna a grade Frame em ligado ou desligado.
	Ativa ou desativa a modificação do conteúdo do Frame (se desativada, o quadro herda o conteúdo de outro quadro).
	Abre a Ajuda on-line para o Frame.

CAPÍTULO 4

MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR

4.1 - PRODUÇÃO ENXUTA

Por meio do livro “A Máquina que Mudou o Mundo” os autores WOMACK *et al.* (1990) definiram a Produção enxuta como um novo sistema de organização industrial, tendo como base o Sistema Toyota de Produção (STP), que tem como propósito identificar, minimizar ou eliminar fontes desperdícios do sistema de produção, gerando produtos e serviços de alta qualidade com o menor custo.

Para WARNECKE e HÜSER (1995), a produção enxuta é representada por um sistema de avaliação de desempenho e pelas práticas de melhoria contínua. Os autores também definem a produção enxuta como um sistema de medidas e métodos que, quando adotados simultaneamente, trazem benefícios não apenas na divisão de manufatura, mas na empresa como um todo.

Por meio da pesquisa bibliográfica ficou evidente que os métodos de melhoria envolvem todos os setores da empresa (cadeia de suprimento, desenvolvimento de produto, processo de manufatura e serviços no pré e pós venda), podendo-se ter um resultado positivo, pois desta forma os desperdícios são eliminados, tornando possível alcançar um melhor desempenho nos processos produtivos e de negócio. Outro fator importante é que existe a tendência de que esse conceito se expanda aos seus fornecedores, criando estratégias competitivas que geram perspectivas de crescimento e domínio do mercado. Além de proporcionar um sistema produtivo enxuto e, conseqüentemente, competitivo.

Segundo MACDONALD *et al.* (2000), a Produção Enxuta reúne uma série de princípios para eliminar desperdícios durante a produção dos produtos buscando atingir, ou até superar, as expectativas dos clientes. Ou seja, possibilita reduzir as perdas na produção, gerando produtos a um menor custo, possibilitando diminuir o valor de repasse sem perda de qualidade.

4.1.1 - Cinco Princípios da Produção Enxuta

Tidos como fundamentais para a eliminação das perdas, os cinco princípios contribuem para os aperfeiçoamentos do processo, atuando como indicadores de melhoria através instruções ou ensinamentos direcionados a solucionar possíveis falhas.

Segundo WOMACK e JONES (1998) os cinco princípios do pensamento visto como uma valiosa colaboração para a gestão de processos são:

- Princípio do Valor: especificar de forma precisa o valor;
- Princípio do Fluxo do Valor: identificar o fluxo do valor;
- Princípio do Fluxo: fazer com que o valor identificado flua;
- Princípio do Sistema Puxado: deixar que o consumidor puxe o valor;
- Princípio da Perfeição: esforço a perfeição.

1. Especificação do Valor

Ainda de acordo com WOMACK e JONES (1998), o valor é o ponto de partida para a Mentalidade Enxuta. O valor do produto deve ser especificado pelo cliente final, e não pela empresa. Desta forma, o autor evidencia que o produto deve atender as necessidades do consumidor, apresentando um valor específico e entregue em um prazo adequado a demanda. Quaisquer peculiaridades ou atributos do produto ou serviço que não atendam as percepções de valor dos clientes representam oportunidades para racionalizar. A empresa cria este valor que concebe, projeta, produz, vende e entrega o produto ao cliente final.

2. Identificação da Cadeia de Valor

Para WOMACK e JONES (1998) Cadeia ou fluxo de valor é o conjunto de todas as ações específicas necessárias para se levar um produto a passar pelas três tarefas gerenciais críticas de qualquer negócio:

- Tarefa de solução de problemas: vai da concepção até o lançamento do produto, passando pelo projeto detalhado e pela engenharia de processo;
- Tarefa de gerenciamento da informação: vai do recebimento do pedido até a entrega, seguindo um cronograma detalhado;
- Tarefa de transformação física: vai da matéria prima ao produto acabado nas mãos do cliente.

ROTHER e SHOOK (1998) ressaltam que Identificar e mapear com precisão o fluxo de valor completo do produto é tarefa fundamental para enxergar os desperdícios em cada processo e implementar ações para eliminá-los, criando assim um novo fluxo de valor otimizado.

3. Fluxo de Valor

Uma vez que, para determinado produto o valor tenha sido especificado com precisão, o fluxo de valor mapeado, as etapas que não agregam valor, eliminadas, é fundamental que o valor em processo flua, suave e continuamente, dentro das três tarefas gerenciais críticas: solução de problemas, gerenciamento da informação e transformação física.

4. Produção Puxada

Em “A Mentalidade Enxuta nas Empresas” ressaltaram para não fabricar nenhum produto, a menos que seja necessário, e neste caso, fabrique o produto rapidamente.

5. Busca da Perfeição

A Perfeição deve ser o objetivo constante de todos envolvidos nos fluxos de valor. Após a implementação dos quatro princípios anteriores, especificando o valor do produto a partir do cliente, identificando a cadeia de valor como um todo, fazendo com que o fluxo de valor flua e com que os clientes puxem o valor da empresa, a produtividade empresarial conseqüentemente aumenta e os custos diretos e indiretos diminuem. Ao intensificar a aplicação dos quatro princípios de forma interativa, surgem novos desperdícios e novos obstáculos ao fluxo de valor, criando-se oportunidades de melhoria e permitindo sua eliminação.

De acordo com WOMACK e JONES (2004), esses princípios básicos têm por objetivo tornar as empresas mais flexíveis e capazes de responder efetivamente às necessidades dos clientes. Eles coincidem com HINES e TAYLOR (2000), onde ressaltam que a adoção destes princípios mostra à empresa que nela, ocorrem Três tipos de atividades ao longo de sua extensão, que segundo os autores, são:

1. Atividades que agregam valor : atividades que, aos olhos do consumidor final, agregam valor ao produto ou serviço; atividades pelas quais o consumidos ficaria feliz em pagar;
2. Atividades necessárias, mas que não agregam valor: atividades que, aos olhos do consumidor final, não agregam valor ao produto ou serviço, mas que são necessários desperdícios de um tratamento em longo prazo, ao

menos que sejam submetidos a um processo de transformação radical das atuais tecnologias/processos de produção; e

3. Atividades desnecessárias e que não agregam valor: Atividades que aos olhos do consumidor final não agrega valor aos produtos ou serviços e que são desnecessários em qualquer circunstância; são desperdícios nítidos e devem ser evitados imediatamente.

As atividades que não agregam valor são atividades que geram os denominados desperdícios. Sendo eles classificados em sete categorias distintas.

4.1.2 - Sete Tipos de Desperdícios

Para OHNO (1997), a Produção Enxuta é o resultado da eliminação de sete tipos clássicos de desperdícios, também denominado de perdas, existentes dentro de uma empresa.

A Figura 4.1 reproduz os sete desperdícios indicando a sua ligação com os itens pessoas, qualidade no produto e quantidade produzida. Nota-se que as perdas por processamento, por movimento e por tempo de espera estão relacionadas à mão-de-obra (pessoas). Já as perdas de superprodução, de transporte e de estoque estão sendo influenciadas pela quantidade de produção. E por último, a perda devido a produtos defeituosos e retrabalho, refere-se a qualidade do produto.

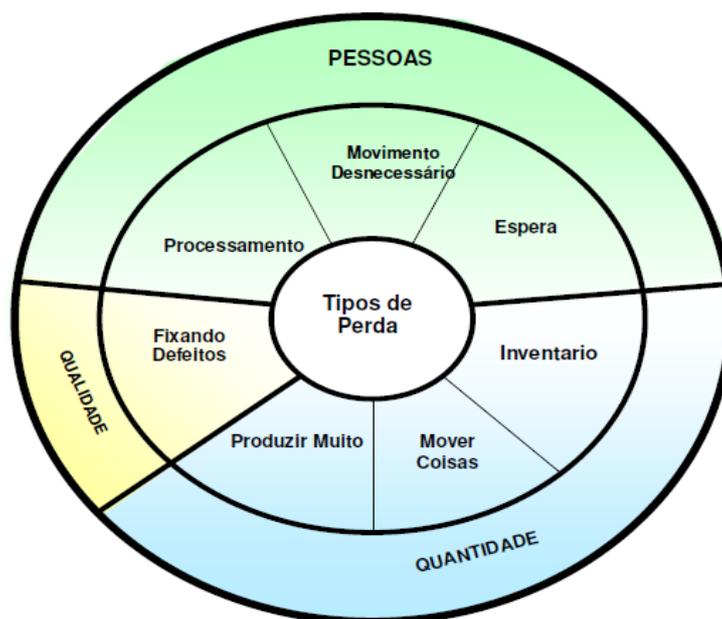


Figura 4.1 - Sete tipos de perda.

1. Desperdício de Superprodução

Considerada a mais danosa das perdas, a superprodução acaba por fazer as outras passarem despercebidas, ela refere-se a produção além do volume programado (produção em grandes lotes), ocasionando estoques que por sua vez exige custo com armazenamento, materiais de movimentação, manutenção de equipamentos e funcionários responsáveis.

Desse modo, a filosofia enxuta defende que seja produzido somente o que está dentro da demanda e, para isso, que o tempo de setup seja reduzido e sincronizado a produção com a demanda, que se compacte o layout da fábrica, e assim por diante.

2. Desperdício de Transporte

A perda por transporte possui dois sentidos:

- Movimentar itens por longa distância sem agregar valor algum a eles.
- Utilização dos meios de transporte ineficientes.

Isso está relacionado a problemas de má distribuição de equipamentos e setores no layout de fábrica, visto que um layout adequado pode eliminar o desperdício de movimentação minimizando a distância percorrida pelo material, contribuindo para a redução do tempo de espera na produção, e diminuição de custos de combustível e desgaste de equipamento no caso de movimentação que exija empilhadeira.

3. Desperdício de Processos

Esse tipo de desperdício refere-se a partes do processo de fabricação que pode ser eliminado sem afetar as características e funções básicas do produto ou serviço. Nesse sentido, pode ser realizada uma análise de sequencia de componentes ou operações que possibilite detectar possíveis eliminações de etapas desnecessárias.

Também incluem nesse sentido de perdas as Situações em que as condições de processamento não apresentem uma eficácia adequada em razão de problemas de ajuste de máquinas ou manutenção.

4. Desperdício de Esperas

Este desperdício consiste em uma operação ociosa, ou seja, esperas em determinadas etapas do processo que acabam por provocar gargalos. Geralmente essa

espera ocorre em razão da paralização da linha de produção, isso devido a demora dos alimentadores, e em consequência trabalhadores de braços cruzados esperando a chegada ou troca de matéria-prima, tendo também o reparo de equipamento, e falta de balanceamento de linha como fatores que influenciam na espera. A sincronização do fluxo de trabalho e o balanceamento das linhas de produção contribuem para a eliminação deste tipo de desperdício.

5. Desperdício de Inventário desnecessário

Esse desperdício é referente ao excesso estoque de matéria-prima, material de processamento e produto acabado. Isso pode ser ocasionado por inúmeros motivos, entre eles está a Política de estoque de materiais com margem de segurança exagerada, falta de sincronia entre o prazo de entrega do pedido e o período de produção, falta de visualização dos programadores de matéria-prima estocada que realmente existem na fábrica (havendo diferença entre a quantidade que aparece no sistema e a que existe na fábrica). Isso faz com que o investimento fique parado.

A eliminação das causas que geram as necessidades de estoques a estratégia utilizada pela produção enxuta. Podendo ser realizado através de redução de tempo de preparação de máquinas e os lead times de manufatura, sincronização dos postos de trabalho, variação de demanda, e tornando as máquinas eficientes dando garantia a qualidade dos processos produtivo.

6. Desperdício de Movimentação

Refere-se a falhas de distribuição de layout que ocasiona movimentação desnecessários por meio dos operadores durante o processo de produção. Podendo também ser considerados nos dois sentidos a seguir:

- O excesso de movimentação de pessoas em um equipamento, linha ou célula de montagem.
- O excesso de movimentação necessária para executar uma operação específica.

Esses desperdícios podem ser minimizados ou eliminados através de uma reestruturação de layout bem planejada, projetos de fabricação dos produtos considerando cada etapa da conexão. Ou seja, podem-se conseguir melhorias por meio do estudo de tempo e movimento, ou realizar a mecanização do processo onde as atividades manuais executadas pelo operador passam a ser executada pelas máquinas.

No entanto, vale ressaltar que a mecanização de operações somente é recomendada após descartar todas as possibilidades de melhoria para movimentação do operário e nas rotinas das operações.

7. Desperdícios por Produtos defeituosos

Esse desperdício ocorre por diversos motivos nos quais sempre terão ligação a falhas no processo, na operação do processo ou na matéria-prima. Ou seja, é a perda por fabricação de produtos defeituosos ou que apresentem características fora do padrão especificado. Ocorrendo geralmente nos subcomponentes e produtos acabados.

As peças fora do padrão ou defeituosa tem dois destinos: São reprocessadas (caso exista a possibilidade), Ou são descartadas, tornando-se um investimento sem retorno nenhum (prejuízo).

Analisando os sete desperdícios, é possível perceber que em dois deles (Desperdício de Transporte, Desperdício de Movimentação) apresentam indicadores de que um layout mal estruturado pode provocar inúmeras consequências afetando diretamente no resultado financeiro na empresa, isto porque a má distribuição de equipamentos pode gerar consequência como diminuição no ritmo da produção, gargalos e movimentação desnecessária, confirmando ainda mais os benefícios que a proposta de reestruturação de layout pode promover para a empresa, pois um layout ajustado ao processo ideal pode ajudar para eliminar parte significativa dos desperdícios.

Dando prosseguimento, é de suma importância o entendimento, das principais práticas, técnicas e ferramentas desenvolvidas para a melhoria dos processos de uma empresa sob o conceito de Produção Enxuta, visando a eliminação das perdas e desperdícios.

4.2 - TPM (*Total Productive Maintenance*)

A TPM - Manutenção Produtiva total é uma ferramenta que contribui para a diminuição de reparos físicos em máquinas, muitas vezes realizada pelo próprio operador. Daí vem a origem da denominação “total”.

SANTOS e SANTOS (2007) destaca que TPM é uma metodologia que tem como objetivo melhorar a eficácia e a longevidade das máquinas. Está associada ao *Lean Manufacturing*, pois ataca os desperdícios nas operações de produção, melhora o

sistema do equipamento, melhora os procedimentos operacionais e colabora para evitar problemas futuros.

Em suma, a TPM visa melhorar o equipamento potencializando a sua eficiência por meio de um sistema de manufatura preventiva a sua vida útil.

Segundo NAKAJIMA (1998) a TPM foi definida, em 1971, pelo *Japan Institute for Plant Maintenance* a partir de 5 objetivos básicos:

- Maximização do rendimento global dos equipamentos (OEE – Overall Effectiveness Equipment);
- Desenvolvimento de um sistema de manutenção produtiva que leve em consideração toda a vida útil do equipamento;
- Envolvimento de todos os departamentos, planejamentos, projeto, utilização e manutenção, na implantação da TPM;
- Envolvimento ativo de todos os empregados, desde a alta gerência até os trabalhadores de chão-de-fábrica;
- Tornar a TPM um movimento de motivação gerencial através do desenvolvimento de atividades autônomas de melhoria por pequenos grupos (SLACK, 2002).

Segundo BORRIS (2006), a TPM engloba oito diferentes secções, que também são conhecidas como pilares. Estes pilares estão ilustrados na Figura 4.2.



Figura 4.2 - Os oito pilares da TPM.

Ainda segundo BORRIS (2006), cada pilar tem sua própria área de responsabilidade, mas há também áreas em que se sobrepõem. Os pilares são os seguintes:

1. Melhoria Contínua (*Continuous Improvement*);
2. Manutenção Autônoma (*Autonomous Maintenance*);
3. Manutenção Planejada (*Planned Maintenance*);
4. Formação e Educação (*Training and Education*);
5. Gestão Inicial (*Early Management*);
6. Manutenção da Qualidade (*Quality Maintenance*);
7. Manutenção Produtiva Total na Administração e Escritório (*TPM in Administration & Offices*);
8. Saúde, Segurança e Meio Ambiente (SHE – *Safety Health & Environment*).

Por fim, MAGGARD (1992) destaca que a TPM é visto como a fase inicial de uma estratégia global. Isto porque envolve transferência de habilidade a todos os níveis organizacionais e entre muitas relações diferentes existentes dentro da organização. A TPM trata especificamente da combinação de operadores e mecânicos em um único time que identifica tarefas existentes que causam demoras, cria desperdício e reduz produtividade.

4.3 - SMED (*Single-Minute Exchange of Dies*)

Referindo-se a troca rápida de ferramenta, o SMED destina-se na redução do tempo necessário para a troca de equipamentos de produção, em outras palavras, é uma técnica desenvolvida com o propósito de melhorar as condições dos setups realizados e aumentar a flexibilidade das linhas de produção, Deste modo desenvolve uma política de redução de custos, seja ela imediata ou a médio/longo prazo.

Segundo SHINGO (1985), o processo de execução do SMED consiste em 3 etapas essenciais:

1. Separação de operações internas: (só podem ser efetuadas com a máquina parada) e externas (podem ser efetuadas com a máquina em funcionamento);
2. Conversão de operações internas em externas;
3. Melhoria de todas as operações fundamentais internas e externas.

Segundo FELD (2000), esse processo de SMED não viabiliza simplesmente a redução do tempo total perdido para realização de setup, mas também a busca da possibilidade de se realizar mais setup num mesmo intervalo de tempo. Ainda segundo

esse autor, a implementação de redução de setup é um ponto central para qualquer programa de Produção Enxuta, uma vez que a flexibilidade é imprescindível para que se possa fazer os programas nivelados de produção fluir. Contudo, ele apresenta os benefícios que o SMED pode trazer:

- Tempo de troca de equipamento em menos de 10 minutos;
- Tempo mínimo para começar a sair peças fabricadas nos equipamentos;
- Possibilidade de executar a fabricação de um grande mix de produção em um recurso;
- Fabricar hoje somente o que é necessário hoje.

Em suma, a implantação das técnicas TPM e SMED da produção enxuta são de extrema relevância. Tendo em vista que pode proporcionar aumento da produtividade, aumento da capacidade produtiva, produção de pequenos lotes com a redução do tempo de *changeover* e melhoria da qualidade. Tornando-se possível através de um processo mais estável e equipamentos em boas condições, reduzindo custos com refugos e retrabalhos.

4.4 - PADRONIZAÇÃO

Um processo padronizado é um método organizado e eficaz de produzir sem perdas. Ou seja, a padronização da produção enxuta diz respeito à precisão dos trabalhadores ao realizar procedimentos repetitivos nas operações de um processo. A instabilidade ou falta de padronização das operações geram desperdícios.

De acordo com MORETO (1999), o objetivo da padronização é estabelecer um sistema simples, consciente, compreendido e utilizado por todos. Esse sistema visa manter o nível de melhoria obtida com a separação, arrumação e limpeza com inspeção. Esse sistema pode incluir padronização nas comunicações, nas identificações, nos métodos utilizados, nas documentações, etc.

Para a produção enxuta, a padronização é tida como um ponto chave, pois ela pode gerar resultados benéficos como: aumento de tempo produtivo, sejam por parte dos operários ou das máquinas envolvidas no processo, redução de falhas, e regulamentação das funções e conformidade do trabalho de cada operário.

MONDEN (1998) propõe que o trabalho padrão inclua três elementos: o tempo *takt*, a sequência de trabalho e o estoque padrão em processo.

- **Tempo *takt*** – é o tempo máximo que uma unidade do produto deve levar para ser produzido, ditado pela demanda do produto (LIKER, 2005).
- **Sequência de trabalho ou rotina-padrão:** é um conjunto de operações executadas por um operador em uma sequência determinada, permitindo-lhe repetir o ciclo de forma consistente ao longo do tempo. A determinação de uma rotina-padrão de operações evita que cada operador execute aleatoriamente os passos de um determinado processo, reduzindo as flutuações de seus respectivos tempos de ciclo e permitindo que cada rotina seja executada dentro do *takt time*, de forma a atender a demanda (KISHIDA *et al.*, 2007).
- **Estoque padrão em processo:** refere-se ao menor número de peças em circulação necessária para manter o movimento constante de produção. Podendo ocorrer a variação do fluxo de acordo com os diferentes *layouts* de máquina e rotinas de operações.

GHINATO (2000) afirma que, se a rotina de operações segue na mesma ordem do fluxo do processo, é necessária somente uma peça em processamento em cada máquina, não sendo necessário manter qualquer estoque entre as máquinas. Se a rotina é executada em direção oposta à sequência de processamento, é necessário manter no mínimo uma peça entre as operações.

SHINGO (1983) reforça que é importante utilizar a ferramenta de trabalho padronizado em todas as etapas do *setup*, pois evita perda de tempo na procura de componentes e ferramentas. Após a padronização, é preciso que todos os envolvidos no *setup* sejam treinados e sigam os passos definidos desta padronização. BARNES (1977) afirma que após a padronização do método melhorado, deve haver um controle por parte da organização, com a finalidade de manter-se o padrão.

MONDEN (1998) identifica para as operações padronizadas três objetivos principais:

- A obtenção da alta produtividade através do trabalho dos operários sem qualquer movimento perdido;
- Obter o balanceamento de linha entre todos os processos em termos de tempo de produção. Aqui é utilizado o conceito de *takt time*; e,
- Somente uma quantidade mínima de material em processo deve ser manipulada pelos operários.

4.5 - MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR

O *Value Stream Mapping* (VSM) ou mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta de comunicação e planejamento que oferece uma visão ampla de toda a cadeia de processo, permitindo que se conheçam detalhadamente seus processos de fabricação.

Diagrama simples de todas as etapas envolvidas nos fluxos de material e informação necessária para atender aos clientes, desde o pedido até a entrega. Os mapas do fluxo de valor podem ser desenvolvidos em diferentes momentos, a fim de revelar as oportunidades de melhoria (LÉXICO LEAN, 2003).

É uma ferramenta simples que utiliza papel e lápis e ajuda a enxergar e entender o fluxo de materiais e de informação na medida em que o produto segue o fluxo de valor (ROTHER e SHOOK, 2003).

De acordo com DUGGAN (2002), todos os pontos de inventário, com as devidas quantidades, devem ser registrados em um triângulo, não importando o local dentro da operação. Também é necessário informar com uma seta se o material flui de um processo para outro de forma empurrada ou puxada. O fluxo de informações dentro do processo também é documentado, através de setas de informação.

Alguns símbolos usados para realizar um MFV serão ilustrados na Figura 4.3.

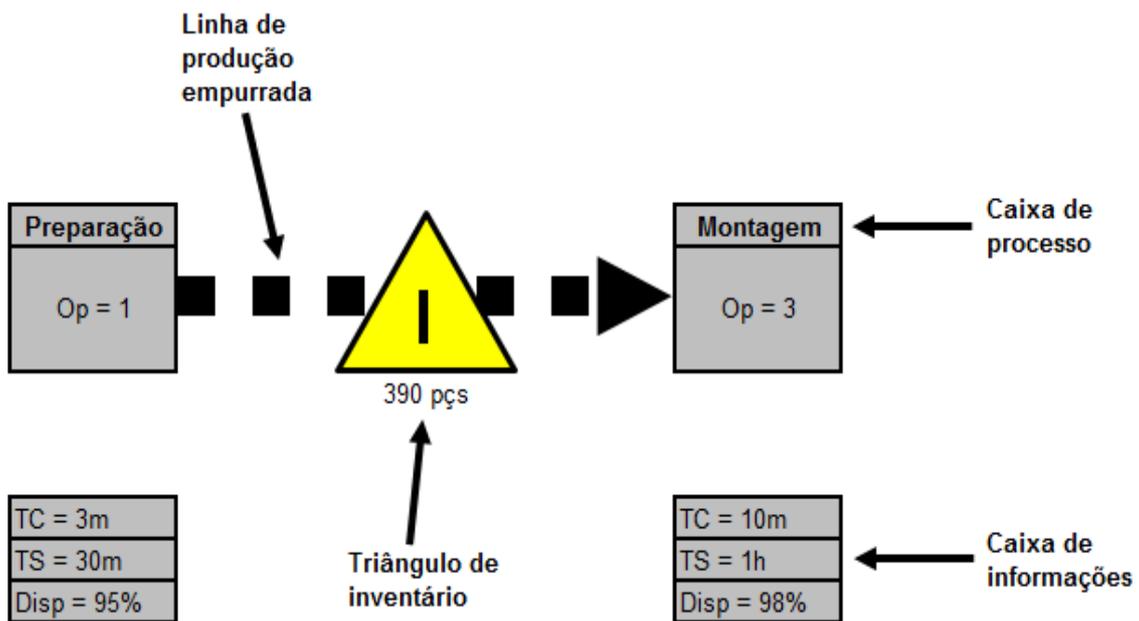


Figura 4.3 - Símbolos de MFV.

O mapeamento do fluxo de valor trata-se de uma ferramenta qualitativa de produção enxuta amplamente usada com o objetivo de eliminar desperdício ou *muda* (desperdício, em japonês). O desperdício em muitos processos pode chegar a sessenta por cento. O mapeamento do fluxo de valor é útil porque cria um 'mapa' visual de cada processo envolvido no fluxo de materiais e informações na cadeia de valores de um produto. Esses mapas consistem em um desenho de estado atual, um desenho de estado futuro e um plano de implementação.

O mapeamento do fluxo de valor abarca a cadeia de valor inteira, do recebimento de matérias-primas da empresa, bem como a entrega de materiais até o produto acabado ao cliente. Desse modo, tende a ser mais amplo em escopo, exibindo muito mais informações que um mapa de processo típico ou um fluxograma usado com esforços de melhoria de processos seis sigmas (KRAJEWSKI *et al.*, 2009).

Para que seja iniciado o mapeamento é necessário que se desenhe o estado atual, usando como base a coleta de informações: tempos de ciclo, números de pessoas envolvidas em cada processo, operações, fluxo de material, alimentação de material, etc. Uma vez estando mais claro o processo, ações para eliminar ou conter desperdícios tornam-se mais fáceis, pois essas mesmas ações podem ser simuladas utilizando-se a modelagem digital, que por sua vez, possibilitará apontar um melhor resultado.

Conforme GRABAN (2011), um fator importante para a criação de um VSM eficaz é a colheita de informações no ambiente de operações, e da perspectiva dos envolvidos rotineiramente nos processos, de forma a capturar o processo “como ele é” e não “como se acha que é”. Por essa razão, para a realização do projeto VSM, recomenda-se que o mapeamento seja feito no chão de fábrica de maneira mais simples e objetiva.

ROTHER e SHOOK (2003) destacam pontos positivos de mapear o fluxo de valor, que são eles:

- Ajuda a enxergar o fluxo, e não apenas os processos individuais;
- Ajuda a identificar as fontes de desperdício no fluxo de valor;
- Agrega conceitos e técnicas enxutas para implementação em conjunto;
- Constitui a base de um plano de implementação;
- Apresenta a relação entre fluxo de informação e fluxo de material.

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO

5.1 - REALIZAÇÃO DO MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR

Foi realizado o mapeamento do estado atual da organização com intuito de identificar possibilidades de melhoria no processo. No período de observação foram colhidas todas as informações que podiam indicar melhoria, ou que podia ser a possível causa do atraso do processo.

O mapeamento se iniciou pela representação de todas as etapas envolvidas no processo produtivo, tornando possível a compreensão dos desperdícios e suas fontes geradoras, e a partir dessa problemática pode-se dar início aos experimentos que serão realizados por meio de simulação, usando as informações adquiridas por meio do mapeamento, como base de um plano de implementação, objetivando o cenário futuro projetado.

De acordo com o mapeamento do estado atual, reduzindo o tempo de espera em frente da estação de trabalho de cada uma oportunidade para reduzir o tempo de ligação e, conseqüentemente, para aumentar o nível de serviço. Isto é de interesse porque o foco do presente estudo é explorar um projeto de sistema de produção enxuta para a fabricação usando princípios *lean* e otimização de simulação. No entanto, reduzir WIP (*work in process*) e seu tempo sem valor agregado associado, mantendo o desempenho do sistema obrigatório, não é simples. Na verdade, é bastante desafiador e é a principal preocupação para qualquer sistema de decisão programação e controle de chão de fábrica (YANG *et al.*, 2015).

Na Figura 5.1 ilustra-se o estado atual da organização pela ferramenta do VSM onde estão os fluxos de informações, nela observa-se o trajeto dos materiais e ciclos de cada fase de processo, desde chegada da matéria-prima até a entrega ao cliente final.

Na Figura 5.2 é demonstrado o estado futuro proposto pela equipe multifuncional onde foram analisados os potenciais desperdícios e os planos de ações para atividade para reduzir o tempo de atravessamento do produto. Ficou evidente durante a análise que a mudança de layout aumentaria a oportunidade com a redução dos desperdícios de movimentação e superprocessamento, desta forma o ponto observado e pesquisado neste trabalho foi no projeto da alteração de layout, visando reduzir os desperdícios entre as fases de processo.

O mapeamento do estado futuro demonstra a saída das mudanças propostas com base nas lacunas identificadas no instantâneo do "como-está" do mapeamento do estado atual. Foi solicitado que se envolva o fornecedor anteriormente no processo a ter um elevado grau de informação e coordenação correta; o mesmo deve ser alcançado, melhorando a comunicação na frente para promover a informação adequada sobre produtos e processos. Isso fará com que o conhecimento necessário para executar os passos de maneira correta, eliminando a necessidade de retrabalho através de iterações no *back-end* do processo. Ele também irá ajudar os departamentos envolvidos para entender e compartilhar mesma visão para produtos futuros (TYAGI *et al.*, 2015).

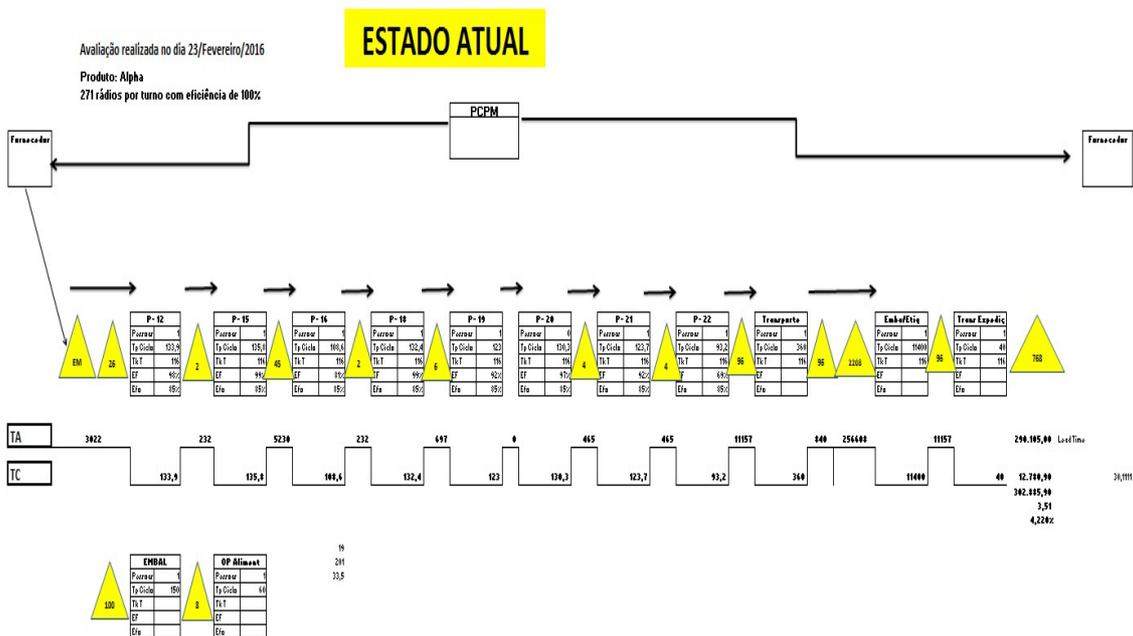


Figura 5.1 - Mapeamento atual do fluxo de valor.

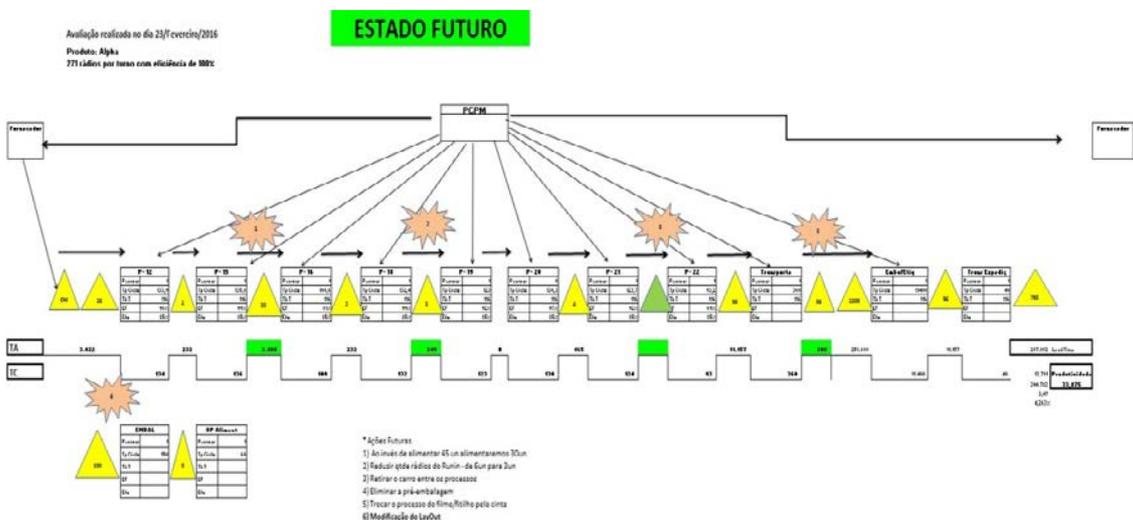


Figura 5.2 - Mapeamento futuro do fluxo de valor.

5.2 - CARACTERÍSTICA DO PRODUTO

O mapeamento da manufatura do produtos está descrito conforme as Figuras 5.3 a 5.5.

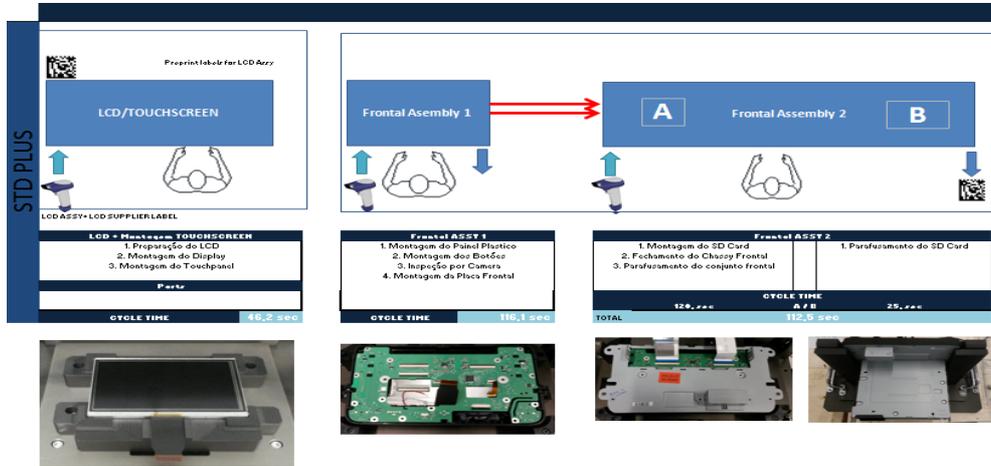


Figura 5.3 - Montagem do painel frontal do rádio.

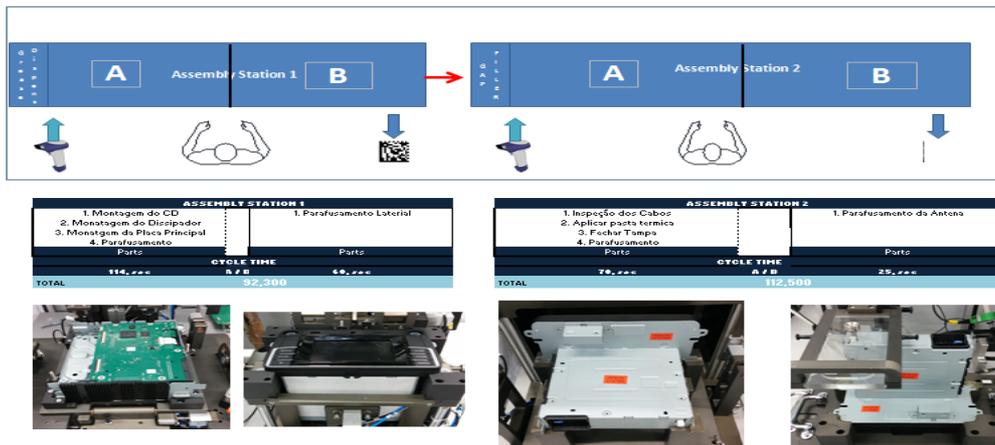


Figura 5.3 - Montagem do chassi.

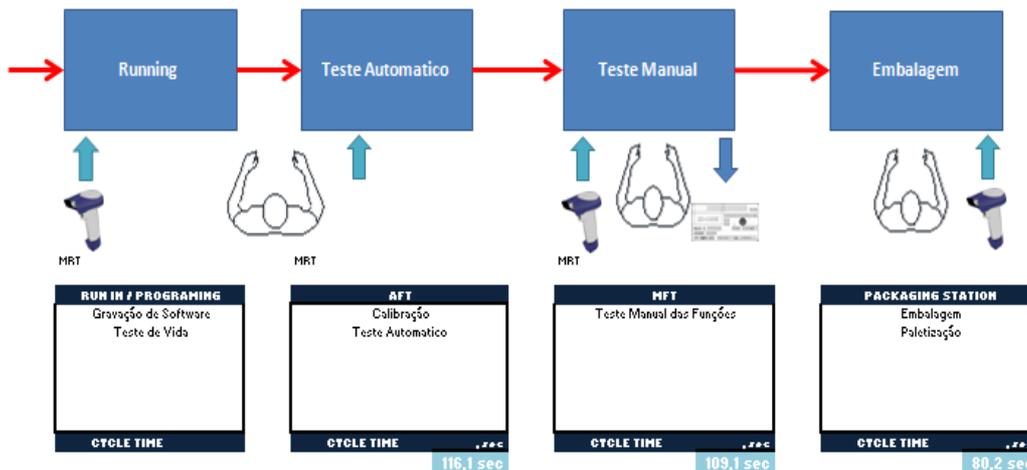


Figura 5.5 - Dados de operação.

5.2.1 - Mapeamento do Processo

Mapeamento de processo trata-se de uma ferramenta gerencial que pode ser confeccionada manualmente, através de ferramenta computacional ou desenho das atividades do processo envolvendo uma porção particular de uma cadeia de abastecimento ou da totalidade desta, detalhando todas as ações entre seus membros, tendo como objetivo realizar melhorias nos processos de desempenho na organização, visto que ela permite visualizar o processo global.

Deste modo, VILLELA (2000) ressalta que processo é uma ordenação específica das atividades de trabalho no tempo e no espaço, com um começo e um fim identificados, assim como os inputs e outputs.

OLIVEIRA (2003) analisa o mapeamento de processo como uma ferramenta gerencial para documentar, analisar e desenvolver um plano de melhoria nos processos existentes ou que possibilita implantar uma nova estrutura voltada para os processos.

Mediante um prévio mapeamento já se torna possível uma análise do processo, permitindo propor um gerenciamento direcionado as falhas detectadas, levando em conta para o bom desenvolvimento das soluções de melhoria as observações a seguir:

- Eliminar todo trabalho desnecessário;
- Combinar operações ou elementos;
- Modificar a sequência das operações
- Combinar operações ou elementos;
- Modificar a sequência das operações;
- Simplificar as operações as operações essenciais.

Deste modo o mapeamento contribui para a identificação das fontes de desperdícios, munindo de uma linguagem simples mas que retrata o processo de manufatura e serviços, tornando possível discutir as decisões mais visíveis.

5.2.2 - Mapeamento do Processo - Antes da Proposta de Melhoria

Ao realizar um mapeamento, comumente é revelado oportunidades não identificadas previamente, bem como trabalhos redundantes. Tornando possível encontrar reais oportunidades para realizar ações corretivas de não conformidades que vierem a ser detectadas de modo a contribuir para a melhoria contínua.

A manufatura de um produto eletroeletrônico é caracterizada por diversas fases de processo, que passa desde o Recebimento dos Insumos, Inspeção de Entrada, Estocagem, Preparação, Supermercado, Inserção Automática, Inserção Manual, Montagem do Painel Frontal, Produto Acabado, Inspeção Final de Qualidade, Estoque e a Expedição do produto acabado. Esta pesquisa retrata apenas duas áreas produtivas diretas: Área Montagem do Painel Frontal e Produto Acabado.

Portanto, o primeiro passo na coleta de dados foi compreender o fluxo do processo produtivo da célula de manufatura, ou seja, o *layout* atual, sendo ele ilustrado nas Figuras 5.6 e 5.7.

Já na Figura 5.8 é possível visualizar a forma real de processo, estando as duas sequências numa ilustração que representa o *layout* atual.

O *layout* em questão possui 16 postos de trabalho, divididos em duas sequências em um *layout* misto, sendo operados por 14 trabalhadores. Ou seja, duas células de montagem com capacidade idêntica para o atendimento da demanda do cliente.

Neste *layout* produtivo estavam alocados quatorze operadores, realizando as atividades discriminadas nas Figuras 5.6 e 5.7. Analisando o processo de manufatura da sequência 2 ficou visível que existe dois desperdícios de movimento, evidenciado no percurso do posto 2 (Finaliza a montagem do frontal) para o 3 (Montagem do frontal com chassi), e do 5 (Ciclo de teste) para 6 (teste automático final) no qual é realizado pelo mesmo operador.

Uma vez coletados e analisados os dados principais sobre o sistema a ser modelado ficou evidente um grande potencial de melhoria com a reestruturação do seu *layout*, e diante do problema encontrado poderá ser construído um modelo computacional que demonstre de formas reais possíveis resultados de melhorias.

Sequência 1

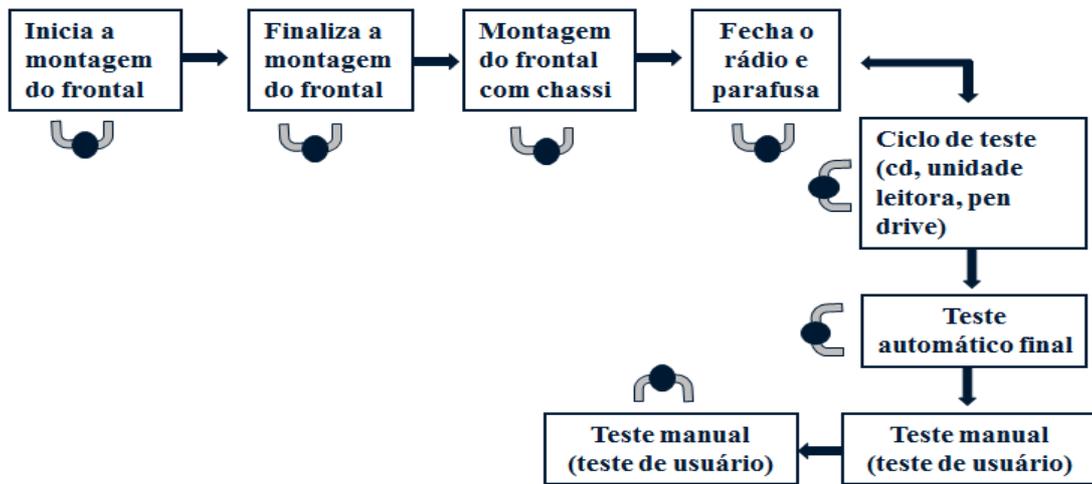


Figura 5.6 - Fluxo do processo produtivo 1.

Sequência 2

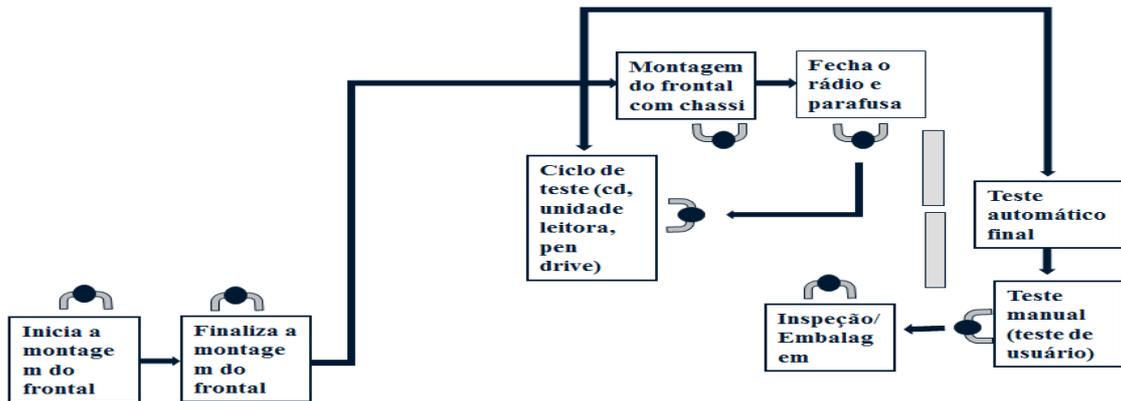


Figura 5.7 - Fluxo do processo produtivo 2.

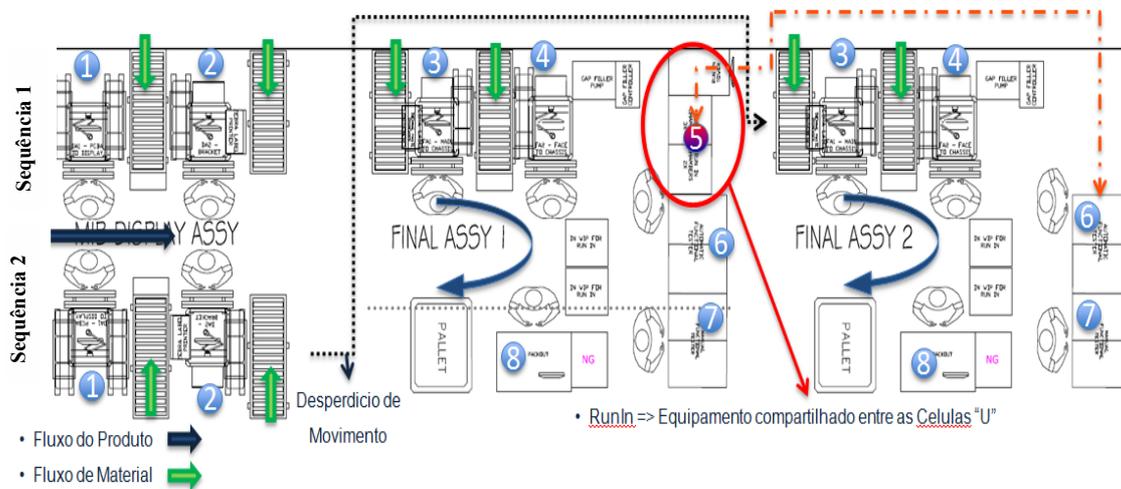


Figura 5.8 - Fases do processo de fabricação.

5.3 - SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO ARRANJO FÍSICO PROPOSTO

Com base no modelo do layout atual, iniciaram-se as criações dos cenários que possibilitassem executar diferentes experimentos realizados através do software *Tecnomatix Plant Simulation*. Por meio desses experimentos foi possível projetar um arranjo físico mais adequado para a sequência de produção, com objetivo de aumentar a produtividade, fazendo uma distribuição dos postos de trabalhos e equipamentos de forma a eliminar o desperdício de movimentação dos postos 2 e 5, traçando uma sequência que possibilitasse o aumento da capacidade produtiva (Figura 5.9).

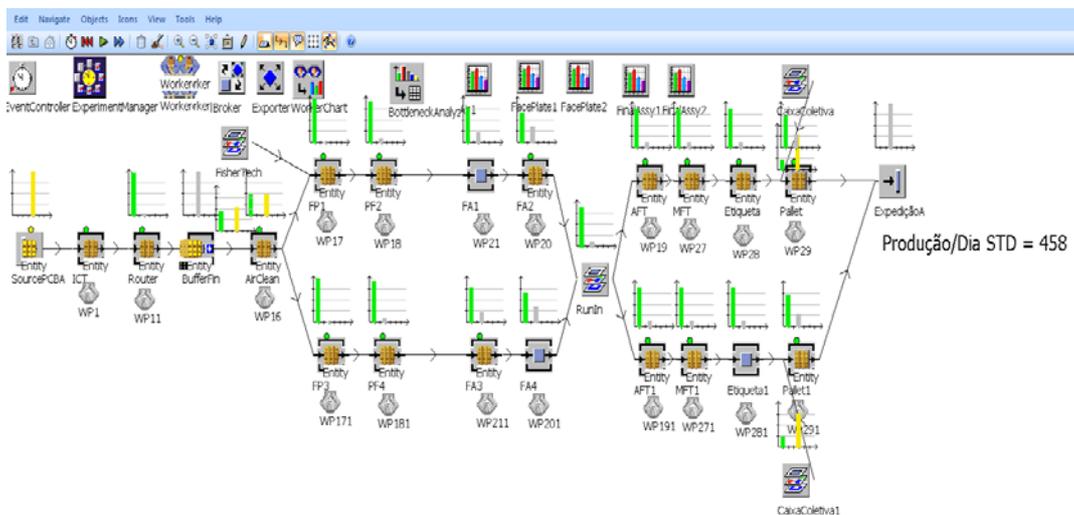


Figura 5.9 - Simulação virtual do novo arranjo.

5.4 - MAPEAMENTO DO PROCESSO - NOVO ARRANJO FÍSICO

Uma vez que a simulação computacional do processo reestruturado apresentou resultados satisfatórios, foi proposto um novo arranjo para compartilhar os recursos de forma a mitigar os custos e aumentar a produtividades, eliminando os desperdícios de movimentação, apresentado conforme a Figura 5.10.

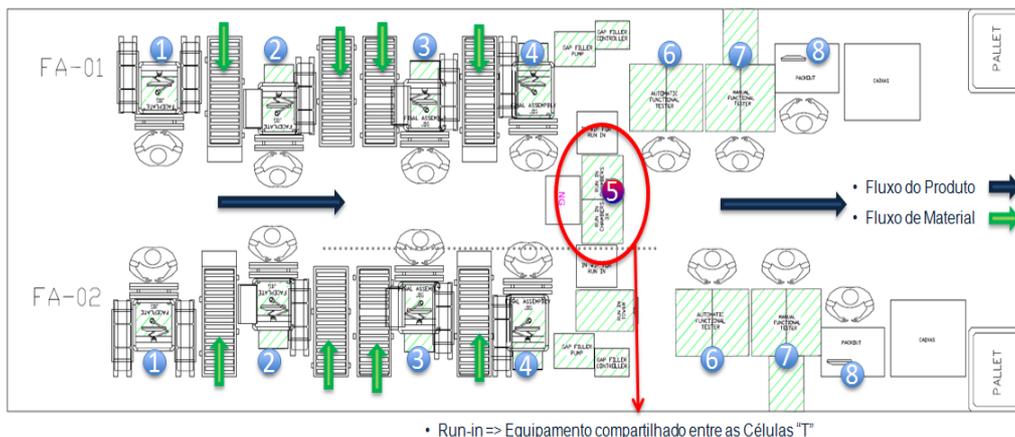


Figura 5.10 - Novo arranjo físico - células em "T".

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1 - CONCLUSÕES

A partir da informação de que a demanda mensal de rádios é de 20.000, e a partir da simulação do modelo proposto usado, será exemplificado tais melhorias por meio de gráficos comparativos dos resultados de produção realizados antes e depois da proposta de melhoria, os quais estão representados na Figura 6.1 que apresenta a evolução da produção por hora. Conforme a Figura 6.1, mostra-se que após a melhoria com a reestruturação do *layout* houve um aumento de produção, que saiu de 22 unidades por hora, para 32, havendo melhoras na produção dos três modelos de rádios produzidos entre as semanas 29/2015 e 10/2016, período de mudança de *layout*.

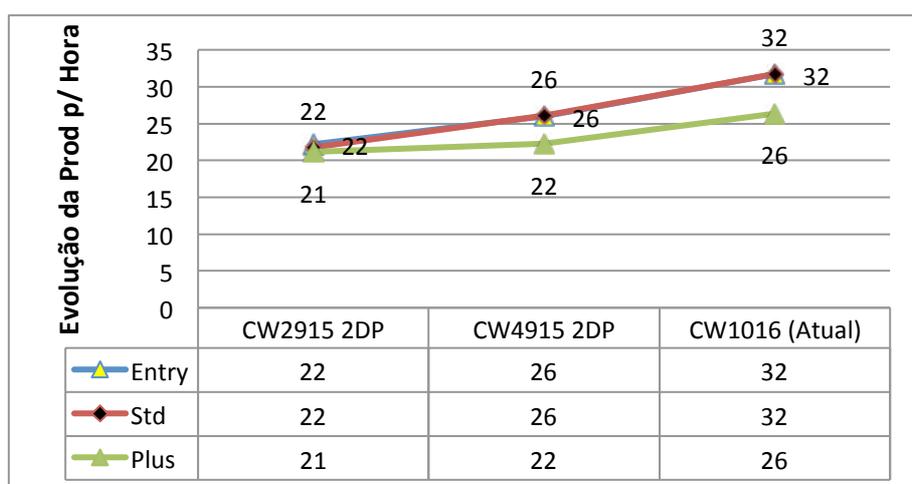


Figura 6.1 - Gráfico comparativo de evolução da produção por hora.

No gráfico que representa a produção de rádio por operador, apresentado na Figura 6.2, nota-se, que na semana 29 de 2015 antes de se iniciar as mudanças de reestruturação, o índice de produção era de 208 rádios por pessoa ao mês, chegando a um total de 96 pessoas para alcançar o volume de produção desejado pelo cliente, que era de 20.000 rádios.

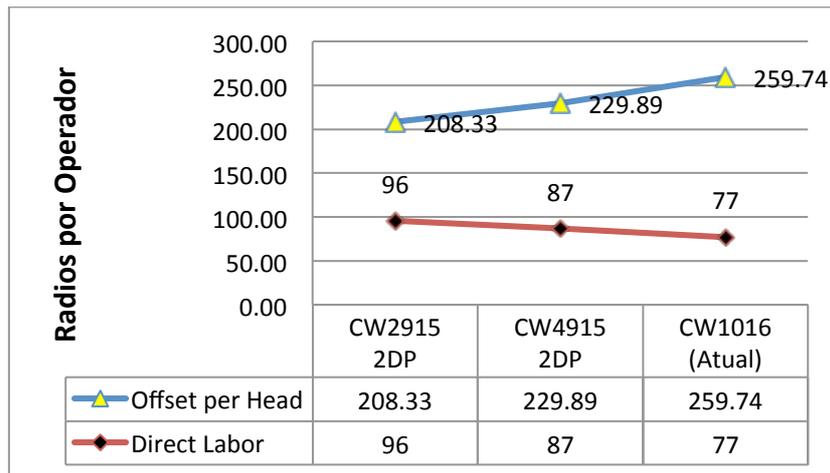


Figura 6.2 - Gráfico comparativo de evolução da produção por operador.

Após as mudanças de *layout* proposto, o resultado apontou que houve uma diminuição de pessoas, passando de 96 para 77, e com um aumento na produção mensal por pessoa 208 para 259, já que houve diminuição no desperdício de movimento, e isso resultou no aumento da capacidade produtiva e reduzindo custo com mão de obra, uma vez que houve uma diminuição de 19 pessoas, visto que a produtividade por pessoa aumentou, podendo chegar ao resultado esperado no tempo determinado de uma forma mais enxuta.

De acordo com a direção da empresa, os colaboradores dispensados ficaram na lista inicial para contrato, pois a empresa ainda está em fase de crescimento e aumento de demanda.

6.2 - SUGESTÕES

A utilização da modelagem computacional no ambiente de manufatura mostrou a importância de um *layout* para um bom desempenho de uma produção, também permitiu que se constatasse a eficiência da ferramenta computacional em projetos de reorganização de *layout*, bem como possibilitou uma análise dos resultados através da simulação. Deste modo foi desenvolvido um modelo que objetivou a construção de simulação de manufatura com uso de ferramenta computacional Tecnomatix® Plant Simulation, por se tratar de uma ferramenta eficiente e de fácil compreensão. Além disto, um modelo de simulação costuma ter mais credibilidade, uma vez que pode ser comparado com o sistema real, ou porque requer pouca simplificação, capturando as características reais do sistema e demonstra resultados instantâneos do cotidiano da manufatura.

Portanto, constatou-se que os resultados obtidos no estudo proposto apresentou muita possibilidade de ganhos e melhoria no processo produtivo dos auto rádios, pois o *software* apresentou recursos que permitiu análises mais profundas de forma simples. Vale lembrar, que com o mapeamento ficou evidente alguns postos de trabalho com capacidade superior à necessária. Principalmente com o uso em excessos de *buffers* entres vários postos de trabalho, fazendo com que o custo de estoque em processo seja muito elevado. Desta forma, sugere-se a continuidade dos trabalhos, pois, já tem a estrutura virtual construída e poderão ser criados novos cenários a fim de buscar novas propostas de melhoria.

Após a mudança do *layout*, foi realizada um novo balanceamento, principalmente onde os postos apresentavam capacidade acima do necessário, pois, existe a necessidade de agregar algumas funções e alcançar o mesmo resultado, fazendo com que a organização pudesse reduzir custo e se manter cada vez mais competitiva no mercado atual, portanto a padronização deste formato de trabalho precisa ser implantado para que o grupo de engenharia possa trabalhar sempre na busca da excelência operacional.

Lembrando que este mesmo assunto foi abordado durante a construção do mapeamento da cadeia de valor, onde foi sugerido a redução de buffers com intuito de reduzir o tempo de atravessamento, porém para atender a demanda do cliente devido às características da logística implantada, se faz necessário ter uma semana de estoque de produto acabado e duas semanas de produção em trânsito, para não correr o risco de parada do cliente. Devido a esta característica não é possível melhorar este processo logístico externo, mas as demais fases intermediárias devem ser abordadas com uma abordagem mais enérgicas pela equipe multifuncional.

Recomenda-se também a análise nos demais projetos discutidos durante o VSM a fim de se buscar a melhorias contínuas do processo e utilizar o ambiente de simulação criado para tomada de decisão rápida e quando necessário realizar as mudanças e simulações para fundamentar a decisão dos gestores da organização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Cidália et al. Estudo de Caso. Métodos de investigação em Educação. Instituto de Educação e Psicologia. Universidade do Minho. 2008. Disponível em <http://grupo4te.com.sapo.pt/estudo_caso.pdf>.

ARTTO, K. A.; LEHTONEN, J. M.; SARANEN, J. Managing projects front-end: incorporating a strategic early view to project management with simulation. *International Journal of Project Management*, v. 19, p. 255-264, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863\(99\)00082-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00082-4)

BERTO, R. M. S.; NAKANO, D. N. A Produção Científica nos Anais do Encontro Nacional de engenharia de Produção: Um Levantamento de Métodos e Tipos de Pesquisa. *Produção*, v. 9, n. 2, p. 65-76, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65131999000200005>

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Modeling and Simulations: Operations Management Research Methodologies use Quantitative Modeling.: *The International Journal of Operations & Production Management*. V. 22, n. 2, p. 241-264, 2002. <http://dx.doi.org/10.1108/01443570210414338>

BORRIS, 2006 – Steven Borris, 2006 – “Total Productive Maintenance”, McGraw-Hill, New York.

CORRÊA, L. H.; CORRÊA, C. A. Administração da produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. São Paulo: Atlas, 2004.

CHWIF, L. & MEDINA, A, A.C. Modelagem e Simulação de eventos discretos: Teoria e prática. 2 ed. São Paulo, 2007.

CURY, Antonio (Org.). Organização e Métodos: Uma visão holística. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

DEMO, P. (2001). Saber pensar. 2ª. Ed. São Paulo: Cortez, Instituto Paulo Freire.

DUGGAN, K. J. Creating mixed model value streams: practical lean techniques for building to demand – Nova York: Productivity Press, 2002.

FELD, W. M. Lean Manufacturing: tools, techniques and how to use them. Boca Raton: St. Lucie Press, 2000. 228 p.

FREITAS, P.F. Introdução a Modelagem e Simulação de Sistemas – Com Aplicações em Arena. Florianópolis: Visual Books, 2001.

GAVIRA, M. O. Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento. São Carlos: USP, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Escola de Engenharia, Universidade de São Carlos, 2003.

GRABAN, M. Lean Hospitals: Improving Quality, Patient Safety, and Employee Engagement. 2nd Ed. Taylor & Francis, Inc, 2011, n ppg.

GREASLEY, A. The case for the organizational use of simulation. Journal of Manufacturing Technology Management, v. 15, n. 7, p. 560-566, Oct. 2004. <http://dx.doi.org/10.1108/17410380410555808>

HARREL, C.R.; GHOSH, B.K.; BOWDEN, R. Simulation using Promodel. McGraw-Hill, 2000.

HARREL, C. R.; MOTT, J. R. A.; BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. G.; GOGG, T. J. Simulação: otimizando os sistemas. 2 ed. São Paulo: IMAM, 2002. 136p.

HINES, P.; TAYLOR, D. Going Lean. Aguide to implementation. Lean Enterprise Research Center. Cardiff, UK, 2000.

KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P. Operations Management: strategy and analysis. 6 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001. 882p.

KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P; MALHORTA, M.. Administração de Produção e Operações. 8 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. 615p.

KISHIDA, M; SILVA A.; GUERRA E. Benefícios da implementação do Trabalho Padronizado na Thyssen Krupp. Dissertação em: http://www.lean.org.br/download/artigo_37.pdf. Acesso em: 03 de abr. 2007.

LIKER, J. K. O modelo Toyota: 13 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre, Editora Bookman, 2005.

LACHTERMACHER, Gerson. Pesquisa operacional na tomada de decisão. Rio de Janeiro: campus, 2002.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. Simulation Modeling and Analysis. 3ª ed. Boston: McGrawHill, 2000. 760p.

LAW, A. M. How to build valid and credible simulation models. In: Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC), Austin, TX: Winter Simulation Conference, p. 24-33, 2009. <http://dx.doi.org/10.1109/WSC.2009.5429312>.

LÉXICO LEAN. Glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean. São Paulo: Lean Institute Brasil, v .1.0, 2003. 97 p.

LOBO, C. A. V. Proposta de metodologia para incremento do desempenho da manufatura através da técnica de simulação. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas- Faculdade de Engenharia Mecânica. UNICAMP, SP. 1997.

LU, M.; WHONG, L. Comparison of two simulation methodologies in modeling construction systems: Manufacturing-oriented PROMODEL vs. construction oriented SDESA. Automation in Construction. v. 16, n. 1, p. 86-95, Jan. 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2005.12.001>.

MARTINS, Petrônio Garcia; LAUGENI, Fernando Piero. *Administração da Produção*. São Paulo: Saraiva, 2000.

MACDONALD,T; VAN AKEN,E.; RENTES, AF, (2000), "Utilization of simulation model to support value stream analysis and definition of future state scenarios in a high-technology motion control plant". Research Paper. Departament of Industrial & Systems Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University & São Carlos Engineering School, University of São Paulo.

MAGGARD, B.N. (1992) TPM Maintenance Operations that Work (Cambridge,MA, Productivity Press).

MEIRELLES, André Fernandes. Simulação E Layout – Um Estudo De Caso. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Anais, Salvador , BA, Brasil, 06 a 09 de outubro de 2009.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção e recomendações para sua condução. Revista Produção. V. 17, n. 1, p. 216-229, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132007000100015>.

MOREIRA, D. A. Administração da produção e operações – São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

MOREIRA, D. A. Administração da produção e operações – São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 1998.

MOREIRA, Daniel A. Administração da Produção e Operações. 5. ed. SP: Pioneira, 2004.

MOREIRA, C. (Brasil). Train the trainer Lean Production Modules. São Paulo, 1999.

MONDEM, Y Toyota Production System. São Paulo: EMP, 1998.

OLIVEIRA, F.A. de. A gestão baseada em atividade (ABM) aplicada em ambientes celulares: Uma abordagem metodológica. Dissertação (Mestrado em Eng. De Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2003.

OHNO, T. O sistema Toyota de produção além da produção em larga escala, Trad. Cristina Schumacher, Artes Médicas, Porto Alegre, 145p, 1997.

PICCOLINI, Jacomo Dimmit Boca. Simulação Aplicada à Análise de Layout. In: Encontro nacional de Engenharia De Produção. Anais Niterói, Rio de Janeiro, brasil. 21 a 25 de Setembro de 1998.

PEGDEN, C., R. SADOWSKI, and R. SHANNON. 1995. Introduction to Simulation Using SIMAN. McGraw-Hill, Inc. New York, NY, USA.

ROCHA, Duílio. Fundamentos técnicos da produção. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1995.

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

ROTHER, M.; SHOOK, J. Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício – São Paulo: Lean Institute Brazil, 2003.

RUSSOMANO, V. H. Planejamento e Controle da Produção. 6. ed. Editora Thomson Pioneira, São Paulo, 2000.

SANTOS, A. C. O.; SANTOS, M. J. Utilização do indicador de eficácia global de equipamentos (oee) na gestão de melhoria contínua do sistema de manufatura - um estudo de caso. XXVII encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, 2007. SILVEIRA.

SARGENT, R. G. Verification and validation of Simulation Models. In: 2007 Winter Simulation Conference, Washington, DC: Winter Simulation Conference, p. 124-137, 2007. <http://dx.doi.org/10.1109/WSC.2007.4419595>.

SLACK, N. et al. Administração da produção – São Paulo: Atlas, 1996.

SLACK, Nigel. Administração da produção. São Paulo: Atlas, 1999.

SLACK, Nigel, CHAMBERS, Stuart e JOHNSTON, Robert. Administração da produção. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SIEMENS. Plant simulation basics, methods and strategies. Version 9.0.1. [S.I.]: [s.n.], 2010.

SINGH, N., RAJAMANI, D. (1996). Cellular manufacturing design, planning and control. London: Chapman & Hall.

SHINGO, S. O sistema Toyota de produção do ponto de vista da Engenharia de Produção. Porto Alegre: Bookman, 1996. 292 p.

SHINGO, S. (1985). A Revolution in Manufacturing: The SMED System. Cambridge, MA, Productivity Press.

SILVA, J. Layout industriais. 2006. 47 f. Tese (Especialização) - Aaaa, Blumenau, 2009.

DIAS, M. A. P. Administração de materiais: uma abordagem LOGÍSTICA. 4 ed. São Paulo: Atlas, 1993.

SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON. Administração da Produção. São Paulo: Atlas, 1997.

SHINGO, S. Sistema de troca rápida de ferramenta: Uma revolução nos sistemas produtivos. Japan: Bookman, 1983.

TOMPKINS, J. A.; WHITE, J. A. Facilities planning. USA: John Wiley & Sons, Inc. 3ª edição. 2003.

TYAGI, S.; CHOUDHARY, A.; CAI, X.; YANG, K. Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process.: International Journal of Production Economics. V. 160, p. 202-112, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.002>.

VILLELA, C. S. S. Mapeamento do processo como ferramenta de reestruturação e aprendizagem organizacional. Dissertação de mestrado. UFSC. Santa Catarina, 2000.

WARNECKE, H.J.; Huser, M. Lean Production, Int. J. Production Economics, V.41, P.37, 1995.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. A mentalidade enxuta nas empresas. 5. Ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. A Máquina que Mudou o Mundo, 5 ed. Rio de Janeiro, Editora Campus Ltda1992.

WOMACK, J. P., JONES, D. T., ROOS, D. A máquina que mudou o mundo. Ed. Campus, 2004.

YANG, T.; KUO, Y.; SU, C., HOU, C. Lean production system design for fishing net manufacturing using lean principles and simulation optimization. Journal of Manufacturing Systems. V. 34, p. 66-73, 2015.