



Ariel Rugiéri Dotto

**PROPOSTA DE BALANCEAMENTO DE UMA LINHA DE MONTAGEM
EM UMA EMPRESA DO RAMO METAL MECÂNICO**

Horizontalina

2016

Ariel Rugiéri Dotto

**PROPOSTA DE BALANCEAMENTO DE UMA LINHA DE MONTAGEM
EM UMA EMPRESA DO RAMO METAL MECÂNICO**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Me. Ricardo Kretzmann dos Santos.

Horizontina

2016

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Proposta de balanceamento de uma linha de montagem em uma empresa do
ramo metal mecânico”**

Elaborada por:

Ariel Rugiéri Dotto

como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 30/11/2016
Pela Comissão Examinadora**

**Mestre. Ricardo Kretzmann dos Santos
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Especialista. Charles Matheus Weschenfelder
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Mestre. Sirnei Cesar Kach
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina
2016**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a toda a minha família, em especial a minha mãe, meu pai e minha irmã, pelo carinho, confiança, incentivo e dedicação ao longo de minha vida.

AGRADECIMENTO

A Deus, em primeiro lugar, por me permitir a vida e através da fé me acompanhar nas lutas, conquistas e desafios, guiando meu caminho.

Em especial, aos meus pais, pelo amor, apoio, preocupação, compreensão, incentivo e ensinamentos, por sempre estarem ao meu lado. A minha irmã pela compreensão, carinho e apoio todos estes anos. Agradeço aos meus avós, pela compreensão, incentivo e apoio. Carinhosamente, agradeço a minha Vó Dilma, que, lá do céu, esteve me dando forças, guiando e iluminando para seguir o melhor caminho. Aos demais familiares pelo apoio e incentivo.

Ao professor e orientador Ricardo Kretzmann dos Santos e ao amigo e colega de trabalho Ricardo Luis Salvador, pelas preciosas orientações.

A empresa, que oportunizou a realização deste trabalho, aos colegas e pessoas que de alguma forma me auxiliaram.

“There are no secrets to success. Don’t waste time looking for them. Success is the result of preparation, hard work, and learning from failure.”

(General Colin Powell)

RESUMO

A competitividade e busca por ganho de mercado faz com que as empresas procurem cada vez mais aprimorar seus processos produtivos para aumento da produtividade, redução de desperdícios, e aumento da utilização dos seus recursos. A atualização e inserção de produtos é essencial para as empresas se manterem competitivas no mercado. Nesta linha de pensamento, a empresa do estudo em questão, atualizou seus produtos e incluiu um novo modelo de um deles. O presente trabalho tem o objetivo de aumentar a utilização dos operadores, através de técnicas de manufatura enxuta, para balanceamento de linha. A metodologia utilizada é a de estudo de caso, com processamento de dados de forma descritiva e quantitativa. Através deste trabalho, foram levantados dados do processo atual, aplicadas ferramentas de manufatura enxuta para balanceamento de linha, e com os dados obtidos, realizadas análises para identificação de oportunidades de melhoria e perdas no processo produtivo. Com base nas análises, foram propostas melhorias para evitar atrasos de produção através de identificação de restrições para planejamento do *mix* de produção com o uso da teoria das restrições, e redução de perdas por movimentação pela aplicação da ferramenta de diagrama de espaguete. Deste modo, as propostas resultam em aumento da utilização dos recursos, por evitar atrasos ocasionados pelo *mix* de produção, além da redução de desperdício de movimentação para agregação de valor em outra atividade.

Palavras-chave: Balanceamento de linha. Manufatura enxuta. Utilização de recursos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de produção artesanal	16
Figura 2 - Sistema de produção em massa exemplificado pelo Fordismo.....	18
Figura 3 - Produção puxada vs. produção empurrada: analogia da gravidade.....	19
Figura 4 - Princípio básico de custo vs. Princípio do não-custo.	20
Figura 5 - Produção de fluxo contínuo vs. produção em lotes ou filas.....	26
Figura 6 - Matriz de definição de família de produto.....	27
Figura 7 - Sistema <i>Andon Tower at machine e Board</i>	28
Figura 8 - Sistema de sequenciamento da produção.	30
Figura 9 - Diagrama conceitual do sistema Kanban.	31
Figura 10 - Diagrama espaguete para fluxos de produto ao longo de fluxos de valor	34
Figura 11 - Dimensionamento de recursos em uma linha de montagem:.....	36
Figura 12 - Perdas por balanceamento de linha.....	37
Figura 13 - Gargalo em uma linha de produção.	40
Figura 14 - Tempo de ciclo em uma linha de produção.....	46
Figura 15 - Parametrização da demanda por produto.....	55
Figura 16 - Sequência de atividades - Produto 1 - Atribuição das atividades por operador. .	55
Figura 17 - Situação 1 - Sequência de Produto 1A e/ou 1B	58
Figura 18 - Situação 2 – Produto 3 ao lado de Produto 1.....	59
Figura 19 - Gráfico de utilização dos recursos da linha principal.....	60
Figura 20 - Diagrama de espaguete - Etapa 1	62
Figura 21 - Diagrama de espaguete - Etapa 2	62
Figura 22 - Proposta para as movimentações mapeadas - Etapa 1	66
Figura 23 - Proposta para as movimentações mapeadas - Etapa 2.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produtos e modelos fabricados na linha de montagem.....	52
Tabela 2 - Produção média diária por produto.	52
Tabela 3 - Distâncias mapeadas no diagrama de espaguete.....	63
Tabela 4 - Restrições e recomendações propostas.	65
Tabela 5 - Tempo de montagem acrescido com a atualização dos produtos.	65
Tabela 6 - Distâncias atuais e propostas mapeadas no processo.....	69
Tabela 7 - Tempo médio de redução com a proposta elaborada	70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.2	JUSTIFICATIVA	13
1.3	OBJETIVO GERAL	14
1.4	OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
1.5	ESCOPO E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	14
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO	15
2.1.1	PRODUÇÃO ARTESANAL	15
2.1.2	PRODUÇÃO EM MASSA	17
2.1.2.1	<i>SISTEMA DE PRODUÇÃO EMPURRADA</i>	18
2.1.2.2	<i>MRP</i>	19
2.1.3	MANUFATURA ENXUTA – O PENSAMENTO ENXUTO	20
2.1.3.1	<i>PRINCÍPIOS DA MANUFATURA ENXUTA</i>	21
2.1.3.2	<i>PRINCIPAIS FERRAMENTAS E TÉCNICAS DA MANUFATURA ENXUTA</i>	22
2.1.3.2.1	KAIZEN	22
2.1.3.2.2	JUST-IN-TIME (JIT)	23
2.1.3.2.3	FLUXO CONTÍNUO	26
2.1.3.2.4	FAMÍLIA DE PRODUTOS	27
2.1.3.2.5	ANDON	28
2.1.3.2.6	AGREGAÇÃO DE VALOR	28
2.1.3.2.7	SISTEMA DE PRODUÇÃO PUXADA	29
2.1.3.2.8	PRODUÇÃO SEQUENCIADA	29
2.1.3.2.9	KANBAN	31
2.1.3.2.10	MAPEAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO	32
2.1.3.2.11	DIAGRAMA DE ESPAGUETE	33
2.1.3.2.12	BALANCEAMENTO DE LINHA DE PRODUÇÃO	34
2.1.3.2.12.1	BALANCEAMENTO	34
2.1.3.2.12.2	PRODUTIVIDADE	37
2.1.3.2.12.3	BALANCEAMENTO DO OPERADOR	38
2.1.3.2.12.4	CAPACIDADE	38
2.1.3.2.12.5	TEORIA DAS RESTRIÇÕES – TOC	40
2.1.3.3	<i>AS 7 PERDAS DO SISTEMA PRODUTIVO</i>	41
2.1.3.4	ANÁLISE DE TEMPOS E MOVIMENTOS	43
2.1.3.4.1	ESTUDO DOS TEMPOS	43
2.1.3.4.2	ESTUDO DOS MOVIMENTOS	44
2.1.3.4.3	TEMPO PADRÃO	44

2.1.3.5	TEMPOS DE PRODUÇÃO.....	45
2.1.3.5.1	TEMPO DE CICLO.....	46
2.1.3.5.2	TEMPO NORMAL.....	47
2.1.3.5.3	TEMPO DE RESSUPRIMENTO.....	47
2.1.3.5.4	TEMPO TAKT.....	47
2.1.3.5.5	TEMPO EFETIVO.....	48
3	METODOLOGIA.....	48
3.1	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	48
3.2	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	50
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	51
4.1	LEVANTAMENTO DE DADOS DO PROCESSO PRODUTIVO ATUAL.....	51
4.1.1	CARACTERIZAÇÃO DA LINHA DE PRODUÇÃO	51
4.1.2	CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO	51
4.1.3	OBTENÇÃO DE DADOS DO PROCESSO.....	52
4.2	APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS PARA BALANCEAMENTO DE LINHA	53
4.2.1	DYNAMIC LINE BALANCING TOOL (DLBT).....	54
4.2.2	DIAGRAMA DE ESPAGUETE	56
4.3	ANÁLISE DE DADOS OBTIDOS E IDENTIFICAÇÃO DE PERDAS NO PROCESSO PRODUTIVO 56	
4.3.1	VARIAÇÃO DO PROCESSO DE ACORDO COM O MIX DE PRODUÇÃO.....	56
4.3.1.1	IMPACTO DA VARIAÇÃO DO MIX DE PRODUÇÃO NO BALANCEAMENTO	57
4.3.1.1.1	SITUAÇÃO 1 - SEQUÊNCIA DE PRODUTO 1A E/OU 1B.....	57
4.3.1.1.2	SITUAÇÃO 2 - PRODUTO 3 AO LADO DE PRODUTO 1	58
4.3.1.2	ANÁLISE DE UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS.....	60
4.3.2	MAPEAMENTO DAS MOVIMENTAÇÕES UTILIZANDO DIAGRAMA DE ESPAGUETE.....	61
4.4	PROPOSTAS DE MELHORIAS.....	64
4.4.1	RESTRIÇÕES PROPOSTAS PARA O MIX DE PRODUÇÃO.....	64
4.4.2	PROPOSTA DE REDUÇÃO DE MOVIMENTAÇÃO COM BASE NO DIAGRAMA DE ESPAGUETE	65
4.4.3	PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA ANDON.....	71
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

1 INTRODUÇÃO

A competitividade entre as organizações por ganho de mercado em um público consumidor cada vez mais exigente, é um desafio ao setor produtivo das indústrias. Torna-se necessário o aprimoramento e a melhoria contínua dos processos produtivos na busca pela flexibilidade, aumento de produtividade e menores custo de produção. Para isto, o sistema produtivo deve ser capaz de gerir as necessidades e adequar-se as alterações com agilidade, dispondo e utilizando os recursos da melhor forma possível.

O gerenciamento dos recursos e dos processos, balanceamento da produção e das operações, é essencial para a administração da produção obter um bom desempenho de produtividade. As operações ao longo de uma linha de produção devem ocorrer de forma sincronizada, para atender a demanda e não gerar perdas e atrasos de produção. Em uma linha de montagem, o balanceamento pode ser entendido, de forma geral, como a distribuição das atividades ou produção a fim de igualar o tempo de montagem dos produtos nas estações de trabalho ao longo da linha para minimizar as perdas.

A análise de balanceamento de linha busca o melhor emprego dos recursos, sendo geralmente executada diante de atualizações ou introdução de novos produtos ou processos. Neste contexto, a análise do balanceamento de produção é um fator com histórico de sucesso e bons resultados nas organizações, exigindo conhecimento do processo e operações envolvidas, das tarefas e ferramentas, além de alinhamento com a estratégia e diretrizes da organização.

Com atualização nos modelos dos produtos correntes e introdução de um novo modelo deste produto, busca-se, através deste estudo, a realização de proposta de melhoria no balanceamento de uma linha de montagem de uma empresa do setor metal mecânico.

A linha de montagem referida neste estudo, produz três tipos de produto, sendo que cada um destes possui uma variedade de modelos que diferem em versão, opcionais, tamanho e tempo de produção.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A produtividade, nos tempos modernos, é um fator crucial para melhor utilização dos recursos no processo de fabricação. Um dos pontos importantes na obtenção de níveis de produtividade satisfatórios é o balanceamento de linha, na redução de desperdícios e custos, para a empresa obter maior competitividade no mercado.

A realização do balanceamento, em uma linha de montagem, é trabalhada a fim de distribuir as tarefas de forma a aproximar a quantidade ou carga de trabalho entre os operadores, e aproximar os tempos de processo das estações para obter melhor desempenho e produtividade. Em uma linha multi-modelo, como é o caso deste estudo, são vários os fatores influentes no balanceamento, um deles, o *mix* de produção. Desperdícios de produção no processo também influenciam na produtividade, com atividades que não agregam valor e podem gerar desbalanço na produção.

A atualização e inserção de novos produtos, aliados a inovação, é necessária para as empresas serem competitivas no mercado atual. Levando isto em consideração, a empresa do estudo em questão incrementou um modelo e atualizou um de seus produtos. Desta forma, define-se o problema deste estudo como: “A proposta de balanceamento de linha resulta no aumento da utilização dos recursos?”.

1.2 JUSTIFICATIVA

A inserção de novos produtos ou a modificação de processos produtivos, em uma linha de montagem, podem gerar alterações dos tempos dos processos e conseqüentemente uma alteração no tempo de ciclo da linha. Independe de a variação impactar no aumento ou diminuição do tempo, as atividades devem ser destinadas para a quantidade e os recursos corretos, no local de montagem mais apropriado. Deste modo, é possível um melhor desempenho e utilização dos recursos, uma vez que são conhecidas as atividades específicas que cada recurso estará desempenhando.

A realização do balanceamento de linha possibilita uma visão geral dos processos e atividades que estão sendo executadas em cada estação de trabalho,

em cada produto, e por cada recurso, desta forma, permitindo uma visão sobre a utilização e carga de tarefas de acordo com a demanda de produção, sobre os gargalos de produção, identificação das oportunidades de melhoria, e desperdícios do processo. Cabe destacar, que uma linha desbalanceada, seja pela má distribuição das atividades, quanto por *mix* de produção desbalanceado ou desperdícios com atividades que não agregam valor, podem gerar atrasos comprometendo a entrega do produto ao cliente, gerando insatisfação.

A realização deste trabalho traz benefícios para a organização, através de propostas de melhorias e com isto, possibilitar projetos de aumento de produtividade e redução de custo. É imprescindível destacar o conhecimento e experiência profissional, ao qual este trabalho proporciona para o acadêmico do curso de Engenharia Mecânica, oportunizando o desenvolvimento e aplicação de conhecimento e teorias estudadas ao longo do curso, da mesma forma que estimula o desenvolvimento e crescimento pessoal.

1.3 OBJETIVO GERAL

Objetiva-se, de forma geral, através deste estudo, a análise da situação atual das operações e proposta de melhorias no balanceamento de operações em uma linha de montagem, para aumento da utilização dos recursos.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar dados do processo produtivo atual.
- Aplicar ferramentas para balanceamento de linha.
- Analisar os dados obtidos e identificação de perdas no processo produtivo.
- Propor possíveis melhorias pertinentes ao processo produtivo.

1.5 ESCOPO E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho irá abranger análise de balanceamento de uma linha específica dentro da empresa em questão e propor melhorias para o processo produtivo. Inicialmente foi realizado uma revisão de bibliográfica para compreensão dos conceitos necessários ao desenvolvimento do tema abordado.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo estão descritos os aspectos relacionados a revisão da literatura, apresentando conceitos fundamentais necessário ao desenvolvimento do presente trabalho. Nesta descrição é abordado o embasamento teórico referente a conceitos e tipos de administração da produção, com foco na manufatura enxuta, seus princípios e ferramentas, balanceamento de linha de produção tempos de produção, análise de tempos e movimentos.

2.1 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO

A administração da produção e operações, faz referência de modo geral, segundo Moreira (2002), às atividades orientadas à produção de bens físicos ou prestação de serviços.

“A Administração da Produção e Operações é o campo de estudos dos conceitos e técnicas aplicáveis à tomada de decisões na função de Produção (empresas industriais) ou Operações (empresas de serviços)” (MOREIRA, 2002, p. 15).

Para Slack et al. (2002), a administração da produção trata da maneira pela qual as organizações produzem bens e serviços, indicando o uso do termo para atividades de decisões e responsabilidades dos gerentes de produção. Destaca ainda, que a função produção nas organizações representa a reunião de recursos destinados à produção dos bens ou serviços.

Womack et. al, apud Rocha (2005), descreve os métodos de produção existentes na indústria, desde os primórdios, com a produção artesanal, à produção em massa, idealizada por Henry Ford, até a produção enxuta, desenvolvida na Toyota.

2.1.1 Produção Artesanal

Para Womack et al. apud Rocha (2005), a produção artesanal é baseada em trabalhadores altamente qualificados, ferramentas simples, e produção de um item por vez. Os trabalhadores, neste tipo de produção, são flexíveis para produzir e, às

vezes, para projetar, o que o cliente final deseja. Segundo o mesmo autor, a produção artesanal é caracterizada por:

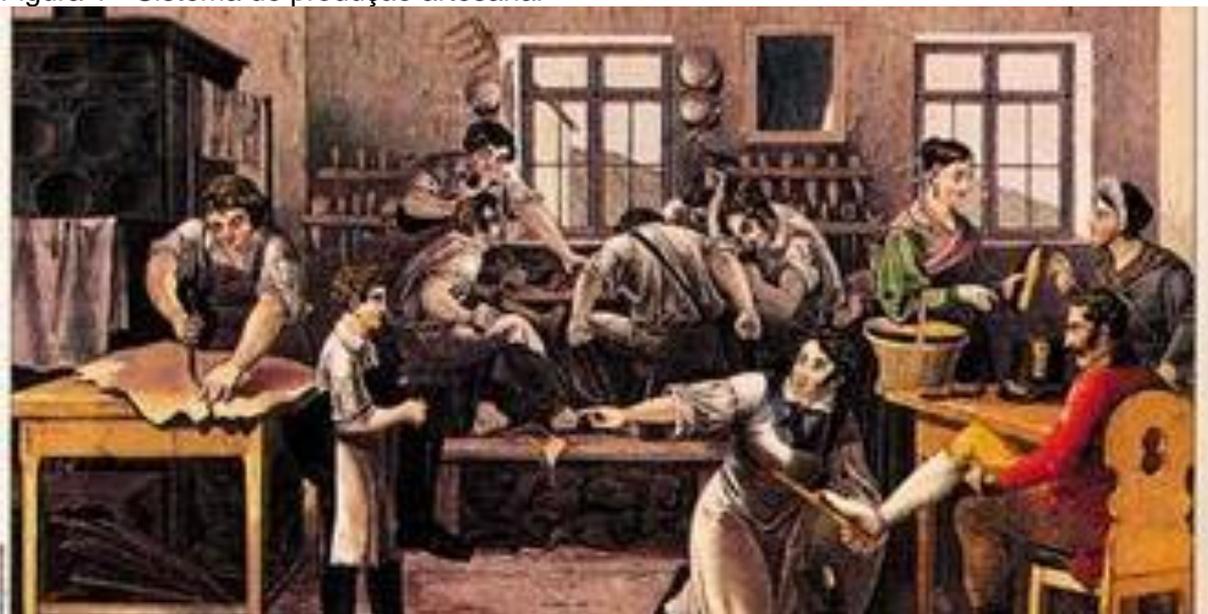
- Volume de produção bastante reduzido, e mesmo fabricando poucas unidades as mesmas não são idênticas devido às variações naturais do processo.

- As máquinas são utilizadas genericamente, usadas para corte, perfuração e outras operações em diversos tipos de materiais.

- A empresa ou sistema é coordenado pelo proprietário, que mantém contato com todos os envolvidos, desde os empregados e fornecedores, até o cliente final.

- A mão-de-obra é altamente qualificada, tanto em projeto, operação, manutenção, ajustes e acabamentos, uma vez que o operador executa em geral o produto do início ao fim. Desta forma, o mesmo se torna bastante habilidoso e de alto conhecimento centralizado, dificultando em caso de necessidade substituí-lo.

Figura 1 - Sistema de produção artesanal



Fonte: Barros, 2016.

Apesar da quantidade produzida ser menor, o artesão entrega ao cliente exatamente o que ele deseja. Uma das características deste método de produção é a possibilidade de customização do produto pelo cliente.

2.1.2 Produção em Massa

Sistema de produção e negócios desenvolvido no início do século XX, para organizar e gerenciar o desenvolvimento de produtos, as operações de produção, o sistema de compras e o relacionamento com os clientes. (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2003).

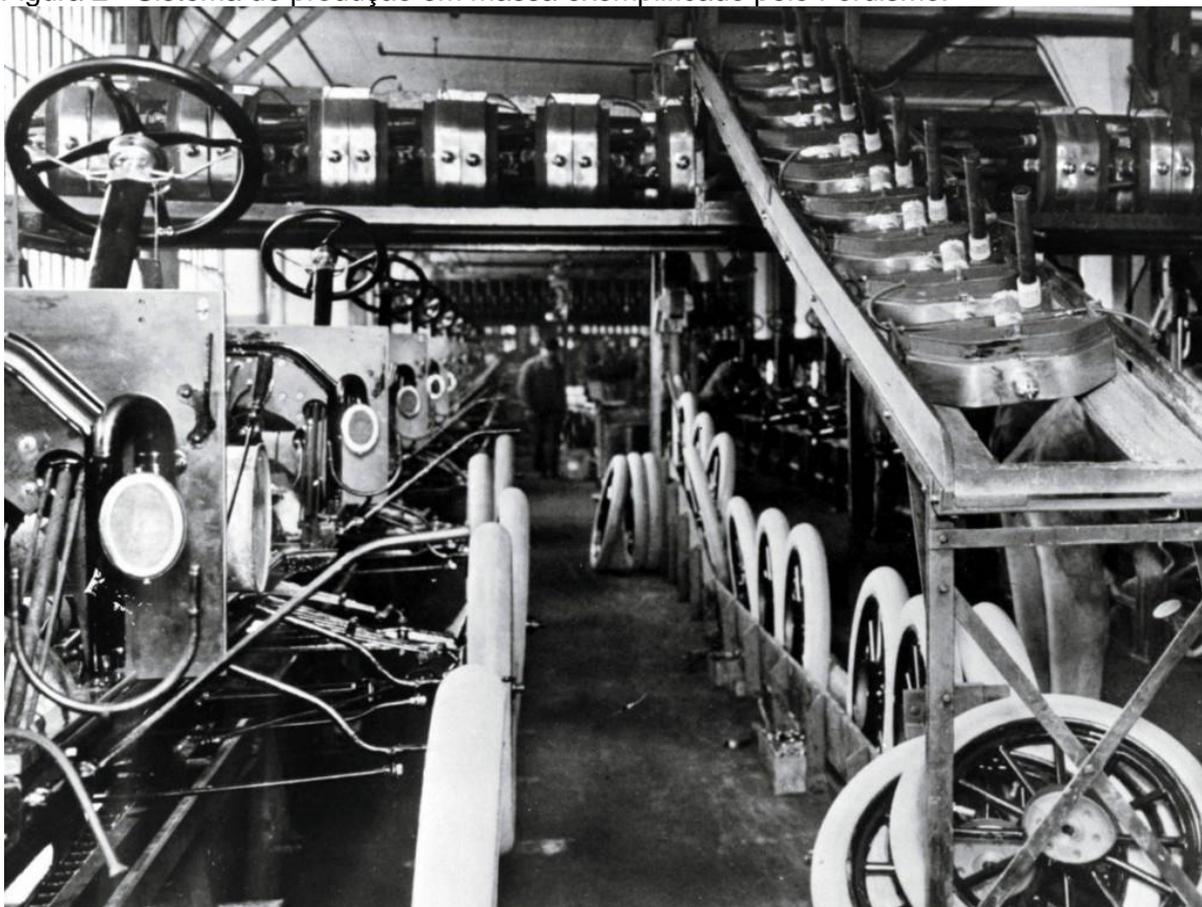
O sistema de produção em massa utiliza profissionais especializados para projetar os produtos, porém trabalhadores semi ou não qualificados para manufaturar os mesmos. Neste sistema são utilizadas máquinas dispendiosas e especializadas em uma única tarefa, fabricando produtos padronizados e em elevado volume de produção. (WOMACK et al. apud ROCHA, 2005).

Para Womack et al. apud Rocha (2005), a produção em massa tende à fabricação de produtos padronizados com poucas variações, em larga escala, como forma de baratear o produto. Nesta mesma linha, como o maquinário é bastante caro e pouco versátil, são adicionadas folgas no processo, suprimentos adicionais, trabalhadores extras e maior espaço, para garantir a continuidade da produção, e assim torna-se bastante custoso e caro a implementação de novos produtos ou variação neste.

De acordo com Button (2016), a produção em massa apresenta as seguintes características:

- Produção empurrada;
- Pouca variedade de produto;
- Estoque excessivo;
- Pouco preocupação com a qualidade;
- Altos índices de perda;
- Lotes de produção grandes;
- Pouca capacidade de renovação de produtos;
- Tarefas repetitivas sem muito valor agregado;
- Consumidores menos exigentes;

Figura 2 - Sistema de produção em massa exemplificado pelo Fordismo.



Fonte: INFOENEM, 2014.

O modelo de produção em massa basicamente foca em explorar a economia e baratear o produto pela produção em volumes excessivos. Os operários são em geral destreinados e desqualificados e forçados a executar tarefas repetitivas dia após dia, tendendo a desmotivação e perda de eficiência no processo.

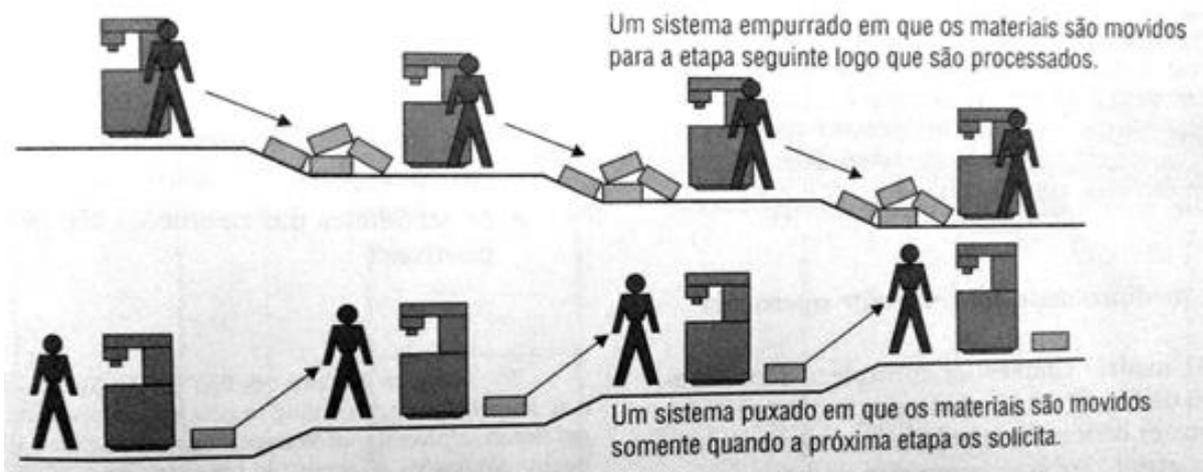
2.1.2.1 Sistema de Produção Empurrada

Moreira (1993, p.8) define sistemas de produção como “[...] um conjunto de atividades e operações inter-relacionadas envolvidas na produção de bens ou serviços”.

A produção empurrada, de acordo com Slack et al. (2002), é caracterizada por cada centro de trabalho empurrar o trabalho, sem considerar a necessidade e se pode ser utilizado pelo centro de trabalho seguinte. O material é movido para a

próxima etapa logo depois de processado. Algumas consequências deste sistema são o tempo ocioso, estoques e filas.

Figura 3 - Produção puxada vs. produção empurrada: analogia da gravidade.



Fonte: Slack et al., 2002, p. 283.

Este tipo de produção segue previsões mercadológicas e atende ao conceito de produzir para estoque. O sistema de produção em massa surgiu no início da era industrial, onde a demanda de produção era alta, em um mercado aquecido e sem muita competitividade. A qualidade dos produtos não importava tanto quanto o volume produzido para atender a demanda.

2.1.2.2 MRP

MRP (*Material Requirements Planning*) ou Planejamento das Necessidades de Material, segundo Moreira (2002), é uma técnica para conversão da previsão de demanda de um item em programação de necessidade das partes componentes deste. Slack et al. (2002), por sua vez, refere-se ao MRP como um sistema para cálculo da quantidade de material de cada tipo que é necessária, para produzir um item em um determinado momento, com base nos pedidos em carteira e na BOM (*Bill of Material* ou lista de materiais).

Com o tempo o sistema e conceito do MRP expandiu e integrou outras áreas da empresa, assim surgindo a conceito de MRP II, o qual Slack et al. (2002) conceitua como um sistema de planejamento de recursos de manufatura. Wight apud. Slack et al. descreve o MRP II como “um plano global para o planejamento e

monitoramento de todos os recursos de uma empresa: manufatura, marketing, finanças e engenharia [...]” (Wight apud. Slack et al., 2002, p. 472).

2.1.3 Manufatura Enxuta – O pensamento enxuto

O Pensamento Enxuto, ou *Lean Thinking*, surgiu em meados da década de 80 através de um projeto de pesquisa sobre a indústria automobilística, desenvolvido pelo *Massachusetts Institute of Technology* – MIT. Ficou evidente, na pesquisa, as grandes diferenças de desempenho em termos de produtividade, qualidade e desenvolvimento de produtos do TPS (Sistema Toyota de Produção), abrangendo todas as dimensões do negócio onde está inserida. (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2016).

A manufatura enxuta busca a perseguição e eliminação de qualquer perda. Este princípio, na Toyota, é conhecido como “princípio do não-custo”. Os preços dos produtos, em muitas empresas, são determinados utilizando o princípio básico de custo, ou seja, o custo somado ao lucro resulta no preço de venda. Ao contrário disto, o princípio do não-custo usa o mercado consumidor como determinante do preço de venda e o lucro é a consequência da diferença entre o preço de venda e o custo. (SHINGO, 1996). Uma das metodologias utilizadas pela manufatura enxuta é a engenharia de valor, que de acordo com Slack et al., busca “eliminar quaisquer custos que não contribuam para o valor e o desempenho do produto ou serviço” (2002, p.156).

A Figura 4 representa o princípio básico (tradicional) de custo e o princípio do não-custo, respectivamente:

Figura 4 - Princípio básico de custo vs. Princípio do não-custo.

Princípio básico de custo

$$\text{Custo} + \text{Lucro} = \text{Preço de Venda}$$

Princípio do não-custo

$$\text{Preço de Venda} - \text{Custo} = \text{Lucro}$$

Fonte: Adaptado de Shingo, 1996, p. 109.

De acordo com Schuabb e Neto apud Cunha, Gomes e Silvério, (2004), o conceito de manufatura enxuta, ou *Lean Manufacturing*, persegue a redução de custos e minimização dos desperdícios para aumento da produtividade e obtenção de maior lucratividade no negócio. A manufatura enxuta na implementação de

processos busca continuamente o “zero defeitos”, tempo de preparação zero, estoque zero, quebra zero, lead-time zero, movimentação zero e lotes unitários. *Poka yokes, Just in time, Stream Value Mapping – VSM e kanban*, são algumas das ferramentas e técnicas adotadas pela manufatura enxuta para atingir os objetivos citados.

De acordo com Womack et al. (2004), o pensamento enxuto é uma estratégia de negócio que objetiva melhor utilização dos recursos e com isto melhorar a lucratividade, oferecendo ao cliente exatamente o que ele deseja. É uma forma de alinhar as ações que criam valor na melhor sequência, realizar as atividades sem interrupções e realizar estas de forma cada vez mais eficaz. Procura reduzir custos através de melhorias dos fluxos de valor nos processos, envolvimento de pessoas qualificadas, motivadas, flexíveis e com foco em melhoria contínua. Em resumo, este pensamento dita a forma de fazer mais com menos.

2.1.3.1 Princípios da manufatura enxuta

A manufatura enxuta baseia-se em 5 princípios para eliminação de desperdícios, os quais são descritos por Womack e Jones (2004):

- Valor: essencial para o pensamento enxuto, só pode ser definido pelo cliente final e apenas é significativo quando atende as necessidades do cliente a um preço específico em um momento específico. O aumento da lucratividade deve ter origem de projetos de melhoria contínua com objetivo de redução de custos, eliminando os desperdícios e melhorando a qualidade.

- Fluxo de valor: identifica as etapas que agregam valor ao produto. Ao longo de uma análise de fluxo de valor, os processos da cadeia produtiva devem ser separados em três tipos: os que criam ou agregam valor; os que não agregam valor, mas são necessários; e os que não agregam valor algum. Os dois últimos, devem ser enfatizados e a sua eliminação perseguida.

- Fluxo contínuo: com as etapas anteriores de especificação de valor e o fluxo de valor realizado, a próxima etapa é fazer com que as atividades restantes fluam sem interrupções. Este princípio exige mudança completa de mentalidade das pessoas que pensam como melhor opção a produção por departamento. A idealização de um fluxo contínuo pode gerar resultados de redução de tempo de atravessamento e processamento, ficando mais ágil à resposta de clientes.

- Produção puxada: o produto deve ser puxado pelo cliente, e não empurrado pelas empresas. Ou seja, a empresa produz apenas o que o cliente quer, reduzindo os estoques. Neste princípio, os clientes poderão ser o cliente final ou até mesmo a estação de subsequente.

- Perfeição: deve ser o objetivo comum entre os envolvidos, a busca pela melhoria contínua dos produtos, processos e pessoas, para agregar valor ao cliente. Os processos devem ser transparentes, para que todos tenham conhecimento sobre o processo e possam buscar melhores formas de agregar valor.

2.1.3.2 Principais ferramentas e técnicas da manufatura enxuta

Nesta seção, são citadas e descritas as principais ferramentas e técnica de manufatura enxuta: *Kaizen*; *Just-in-Time*; Fluxo contínuo; Família de produtos; *Andon*; Agregação de valor; Sistema de produção puxada; Produção sequenciada; *Kanban*; Mapeamento do processo produtivo; Diagrama de espaguete; Balanceamento de linha; Teoria das restrições;

2.1.3.2.1 Kaizen

Kaizen é a melhoria contínua de um fluxo completo de valor ou de um processo individual, de modo a agregar valor e reduzir desperdício. (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2003, P. 38).

“*Kaizen* significa melhoramento. Mais: significa melhoramento na vida pessoal, na vida doméstica, na vida social, e na vida de trabalho. Quando aplicada para o local de trabalho, *kaizen* significa melhoramentos contínuos que envolvem todo mundo – administradores e trabalhadores igualmente” (SLACK et al., 2002, p. 602).

De acordo com Ferreira (2004), o *kaizen* deve ser rotina nas empresas, buscando excelência nos processos produtivos. É também um processo de resolução de problemas, exigindo o uso de várias ferramentas. A melhoria atinge novas perspectivas a cada problema ou melhoria executada, porém, para consolidar o novo nível a melhoria deve ser padronizada. O objetivo *kaizen* é que os processos sejam melhorados cada vez mais e continuamente.

Ferreira (2004), continua ressaltando que o método *kaizen*, normalmente, é manifestado em forma de sugestão. Assim, dar atenção e ter receptividade para sugestões é fundamental onde deseja-se ter operadores pensando e buscando melhorias para execução de suas tarefas.

Em algumas empresas com conceitos de manufatura enxuta, é comum o uso de quadros nos ambientes fabris para anotação de problemas e sugestões de melhoria, estimando o prazo e informando o status da sugestão ou situação reportada. Cada sugestão tem prazo determinado para eliminação do problema, a fim de que o mesmo não ocorra novamente, expondo a resolução de forma clara para entendimento e eventuais soluções em outras áreas da empresa.

2.1.3.2.2 Just-in-Time (JIT)

O *Just-in-Time* (JIT) surgiu no Japão, em meados da década de 70, na busca de um sistema de administração que pudesse coordenar a produção com demanda específica da Toyota Motor Company, diversificando na produção, os modelos e cores dos veículos com o mínimo de atraso. (CORRÊA; GIANESI, 1993, p. 110).

De acordo com Shingo (1996), *Just-in-time* significa “no momento certo”, em tempo, exatamente no momento estabelecido. Cada processo deve ser abastecido com os itens necessários, na quantidade necessária, no momento necessário, ou seja, no tempo certo, sem geração de estoque.

Corrêa e Gianesi (1993) descrevem o JIT como sendo mais que uma técnica ou conjunto de técnicas de administração de produção, considerando-o como uma filosofia completa que inclui aspectos de administração de materiais, gestão de qualidade, arranjo físico, projeto de produto, organização do trabalho e gestão de recursos humanos. (1993, p.56).

Para Slack et al. (2002), o *Just-in-Time* pode ser tanto “uma filosofia quanto um método para o planejamento e controle das operações” (2002, p. 481).

O JIT busca aprimorar a produtividade global e eliminar os desperdícios. Possibilita melhorias relacionadas a custos, através da utilização dos recursos somente no momento e local correto. Entretanto, o JIT depende do balanço entre a flexibilidade do fornecedor e do usuário. Diferente dos sistemas tradicionais, o modelo de produção baseado no JIT é puxado, e não empurrado.

Segundo Slack et al. (2002), o JIT possui uma coleção de ferramentas e técnicas como meio de eliminação dos desperdícios, devendo estas, ser usadas e controladas para o bom funcionamento. A seguir são descritas as técnicas JIT:

- a) Práticas básicas de trabalho: formam a preparação básica para a organização e seus funcionários, sendo fundamental na implementação do JIT. A prática da disciplina é fundamental, e o processo deve ser seguido por todos o tempo todo. A empresa deve dar condições para desenvolvimento e qualificação das pessoas, assim, estas tendem a tornar-se mais criativas e flexíveis. Delegar cada vez mais responsabilidades às pessoas ligadas nas atividades diretas do negócio, e proporcionar autonomia para realização de melhorias no processo. Proporcionar envolvimento no processo de decisão, segurança de emprego, instalações da área de trabalho, proporcionando melhor qualidade de vida no trabalho, valorização e comprometimento. A igualdade deve ser praticada eliminando políticas de recursos humanos injustas.
- b) Projeto para manufatura: esta técnica busca identificar e melhorar a eficiência da manufatura ainda na fase de projeto do produto. Os aprimoramentos no projeto podem reduzir significativamente os custos do produto com alterações no número de componentes e sub montagens, realizando análises com base nos conhecimentos de processos de produção e recursos disponíveis na empresa e no mercado.
- c) Foco na operação: deve-se manter o foco em uma única missão de manufatura, e não em muitas, porém implícitas e conflitantes. Segundo Slack et al. é recomendável “focalizar cada fábrica num conjunto limitado e gerenciável de produtos, tecnologias, volumes e mercados” (2002, p. 491).
- d) Máquinas simples e pequenas: o princípio se dá através da utilização de várias máquinas pequenas no lugar de uma grande. Outro ponto, refere-se à facilidade de movimentação e flexibilidade em alterações de arranjos físicos reduzindo o risco de erros nas decisões de investimentos uma vez que máquinas menores geralmente requerem baixo investimento.
- e) Arranjo físico e fluxo: Slack et al. (2002) descreve que podem ser utilizadas técnicas de arranjo físico para gerar fluxo suave de materiais, dados, e pessoas na operação. Destaca ainda, que os postos de trabalho

devem estar alocados próximos e evitadas longas rotas de processos, pois estas vão contra os princípios do JIT.

- f) Manutenção produtiva total (TPM): De acordo com Slack et al. (2002) a TPM visa eliminar variabilidade nos processos produtivos, causadas por quebras não planejadas de equipamentos. A técnica da TPM é realizada com o envolvimento de todos os funcionários. Um dos princípios da TPM é que cada operador tenha autonomia e sinta-se “dono” do equipamento que opera, a fim de melhor conservação e realização de pequenos reparos e operações rotineiras.
- g) Redução de *set-up*: o tempo de *set-up* é conceituado por Slack et al. (2002) como “tempo decorrido na troca do processo do final da produção de um lote até a produção da primeira peça boa do próximo lote” (2002, p. 491). A redução do *set-up* é conseguida com a aproximação de ferramentas e equipamentos necessários a realização da troca de ferramentas. Outra forma de redução significativa deste tempo é a utilização de *set-up* externo.
- h) Envolvimento total das pessoas: de acordo com Slack et al. (2002) esta técnica prevê que funcionários sejam treinados, capacitados e motivados a assumir muito mais responsabilidades sob os aspectos do seu trabalho, proporcionando autonomia e comprometimento com o processo para benefício de toda a companhia.
- i) Visibilidade: “problemas, projetos de melhoria de qualidade e listas de verificação de operações são visíveis e exibidas de forma que possam ser facilmente vistas e compreendidas por todos os funcionários” (Slack et al., 2002).
- j) Fornecimento JIT: a execução do JIT dá significado ao termo, formando a visão do material/componente sendo fornecido ao processo no momento necessário e na quantidade necessária, evitando desperdícios.

Corrêa e Gianesi (1993), destacam que a filosofia JIT vai além do esforço em eliminar perdas de produção, adotando como característica a não aceitação de padrões arbitrários ou situações vigentes de desempenho. Desta forma, estabelece como meta: zero defeitos, tempo zero de *set-up*, estoque zero, movimentação zero, quebra zero, *lead-time* zero e lote unitário (*one-piece-flow*). Apesar das metas

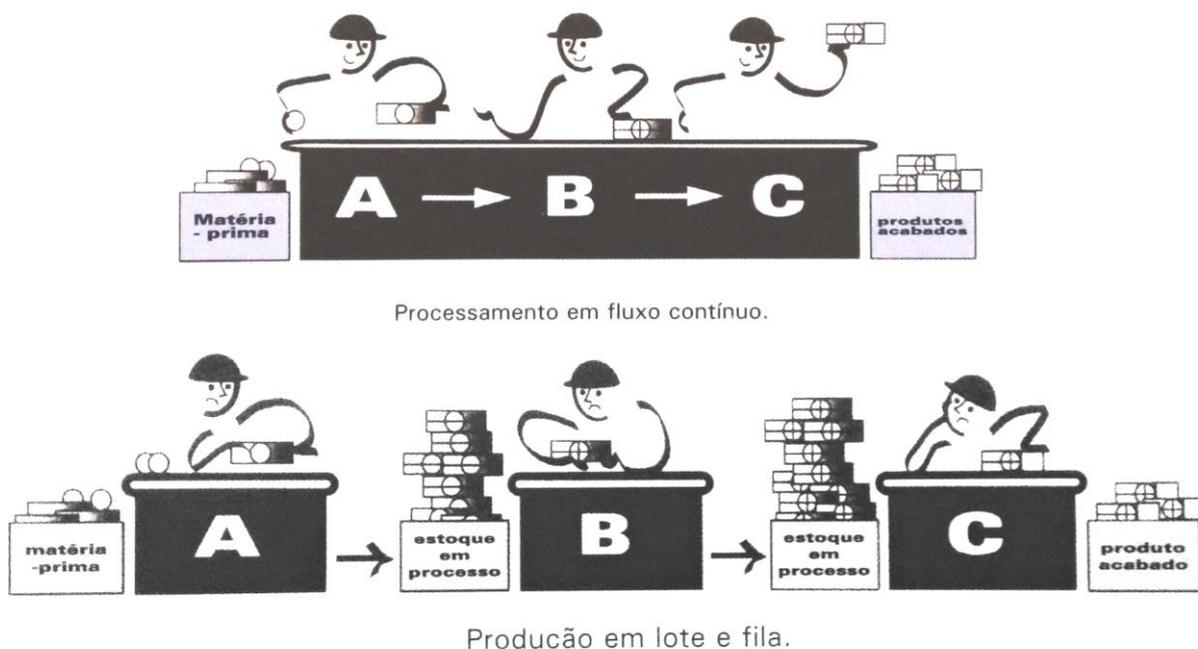
perecerem inatingíveis, estas garantem uma metodologia de melhoria contínua nos processos.

2.1.3.2.3 Fluxo Contínuo

De acordo com o Lean Institute Brasil (2003, p.24), o conceito para fluxo contínuo, é a produção e movimentação de um item por vez (ou um lote pequeno de itens) ao longo de uma série de etapas de processamento, continuamente, realizando na etapa vigente apenas o exigido pela próxima etapa. Este conceito é conhecido também como fluxo de uma peça ou *one-piece flow*. O mesmo autor, menciona ainda que o fluxo contínuo pode ser conseguido desde o uso em linhas de montagem até células manuais.

A Figura 5 exemplifica os fluxos de processo em lotes e fila gerando desperdícios e acúmulo de estoque entre as estações de trabalho. Enquanto no fluxo contínuo os processos são interligados e fluem de estação para estação sem gerar estoque e desperdícios.

Figura 5 - Produção de fluxo contínuo vs. produção em lotes ou filas.



Fonte: Lean Institute Brasil, 2003, p. 16.

De acordo com Shingo (1996), sincronizar o fluxo de forma unitária irá eliminar inventários entre processos. Entretanto, para que seja possível utilizar fluxo

contínuo as operações e o processo devem estar balanceados, onde todos os trabalhadores ou estações tenham a mesma carga de trabalho.

Ferreira (2004) menciona que geralmente para alternar de um processo onde há produção em massa ou lotes, para o processo de fluxo contínuo é preciso realizar mudanças no arranjo físico.

2.1.3.2.4 Família de produtos

Segundo Rother e Shook (2003), uma família de produtos é um grupo de produtos que sofrem etapas semelhantes de processamento, e utilizam equipamentos comuns em seus processos. O autor recomenda que não se deve tentar diferenciar as famílias de produtos analisando os processos iniciais, que são comuns a várias famílias.

Rother e Shook (2003), menciona que a definição de famílias de produto pode ser auxiliada através do consumidor na análise de fluxo de valor, significando visitas à fábrica para desenhar as etapas do processamento para cada família de produto. O mesmo autor complementa, que deve ser escrito de forma clara qual é a família de produto determinada, quantas peças diferentes existem na família, qual é a demanda do cliente e a frequência de entregas.

A Figura 6 indica uma das formas de definição de família de produtos, através de matriz com as etapas do processo em um eixo e os produtos em outros.

Figura 6 - Matriz de definição de família de produto.

		Etapas de Montagem & Equipamentos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
PRODUTOS	A	X	X	X		X	X		
	B	X	X	X	X	X	X		
	C	X	X	X		X	X	X	
	D		X	X	X			X	X
	E		X	X	X			X	X
	F	X		X		X	X	X	
	G	X		X		X	X	X	

Uma Família de Produtos

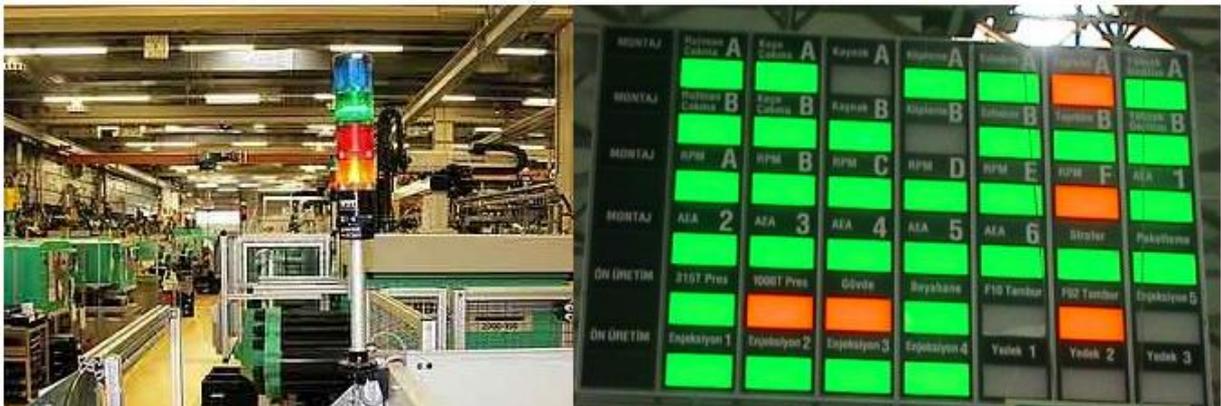
Fonte: Rother e Shook, 2003, p. 12.

Com base nos processos necessários para manufaturar cada produto, a análise para determinação da família de produtos é realizada verificando na matriz os que apresentam etapas de processamento similar, agrupando-os e assim, determinando cada família.

2.1.3.2.5 Andon

“O *andon* é um controle visual que transmite informações importantes e sinaliza a necessidade de ação imediata por parte dos supervisores” (SHINGO, 1996, p. 108). Quando surgem problemas na produção, o objetivo do *andon* é mostrar aos supervisores e a todos, onde está o problema. A Figura 7 exemplifica dois tipos de *andon*, de torre em máquina e de painel.

Figura 7 - Sistema *Andon Tower at machine* e *Board*.



Fonte: Makigami, 2016.

Segundo o autor, na Toyota, a importância do sistema não está tanto na rapidez com que as pessoas são alertadas sobre o problema, e sim em quais soluções serão aplicadas. (SHINGO, 1996).

2.1.3.2.6 Agregação de valor

De acordo com o Lean Institute Brasil, a agregação de valor pode ser entendida como qualquer atividade que, na visão do cliente agrega valor ao produto. Uma das formas de verificar se determinada tarefa, e o tempo usado nela, agregam valor, é questionando se o cliente julgaria o produto menos valioso se a tarefa não

fosse feita. Ou seja, deve-se verificar o que o cliente realmente está disposto a pagar. (2003, p. 87).

2.1.3.2.7 Sistema de Produção Puxada

Na produção puxada, de acordo com Slack et al. (2002), a estação “consumidora” é quem estabelece o passo e as especificações do que é feito. Pode-se dizer que o consumidor tem papel de “gatilho” na produção e movimentação, e este, deve passar para trás a solicitação para o fornecedor, para que este seja autorizado a produzir ou mover qualquer material. Esta produção tem foco na saída, ou seja, produz conforme os pedidos de clientes. A Figura 3 exemplifica os sistemas de produção puxado e empurrado.

2.1.3.2.8 Produção Sequenciada

O Sistema de planejamento sequenciado, segundo Schneider (2005), é uma das ferramentas de replanejamento do DFT (*Demand Flow Technology*), para programação da produção, caracterizada pela produção de conjuntos ou processos acionados pelo andamento das linhas de manufatura. O autor destaca ainda, que as quantidades dos materiais são produzidas de acordo com a capacidade das embalagens e o PMP (Plano Mestre de Produção).

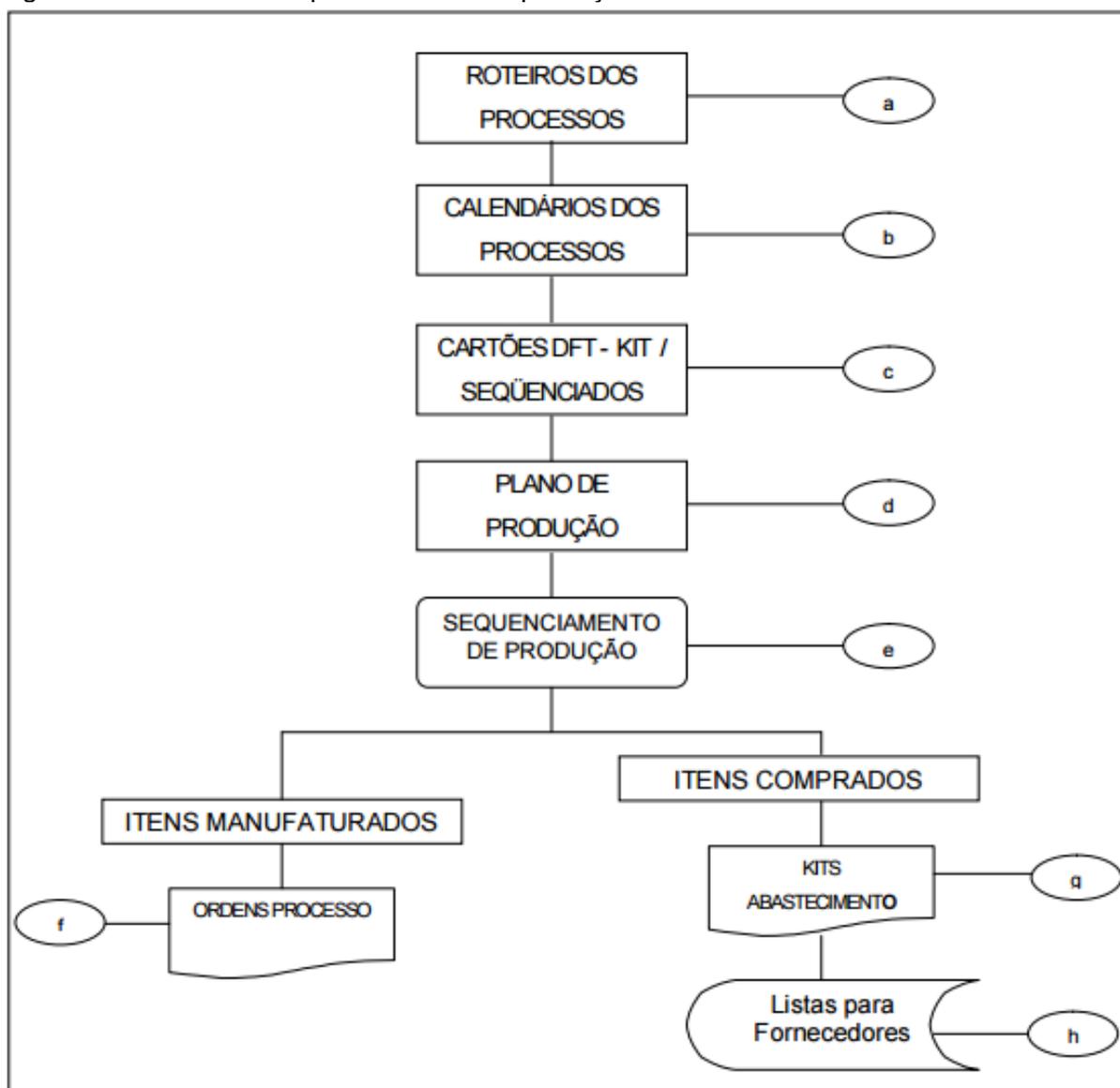
De acordo com Schneider (2005), é criado um cartão DFT para cada material ou conjunto de materiais sequenciados, indicando o ponto de consumo e ressuprimento, sendo que cada cartão é identificado por um carro de movimentação de material com a capacidade de carga indicada, comumente chamado de carro sequenciado ou carro *kit*.

O sequenciamento de produção é baseado nos principais processos de produção de cada produto, sendo que a lista de reabastecimento dos mesmos é gerada eletronicamente pelo programa de sequenciamento de produção de Produtos de acordo com a sua lista de materiais (SCHNEIDER, 2005, p.42).

Segundo Schneider (2005), o sistema de sequenciamento da produção é baseado nos processos, conforme a

Figura 8:

Figura 8 - Sistema de sequenciamento da produção.



Fonte: Schneider, 2005, p. 44.

Outro aspecto levantado por Schneider (2005), é necessidade de verificação de alguns critérios para realização do sequenciamento da produção:

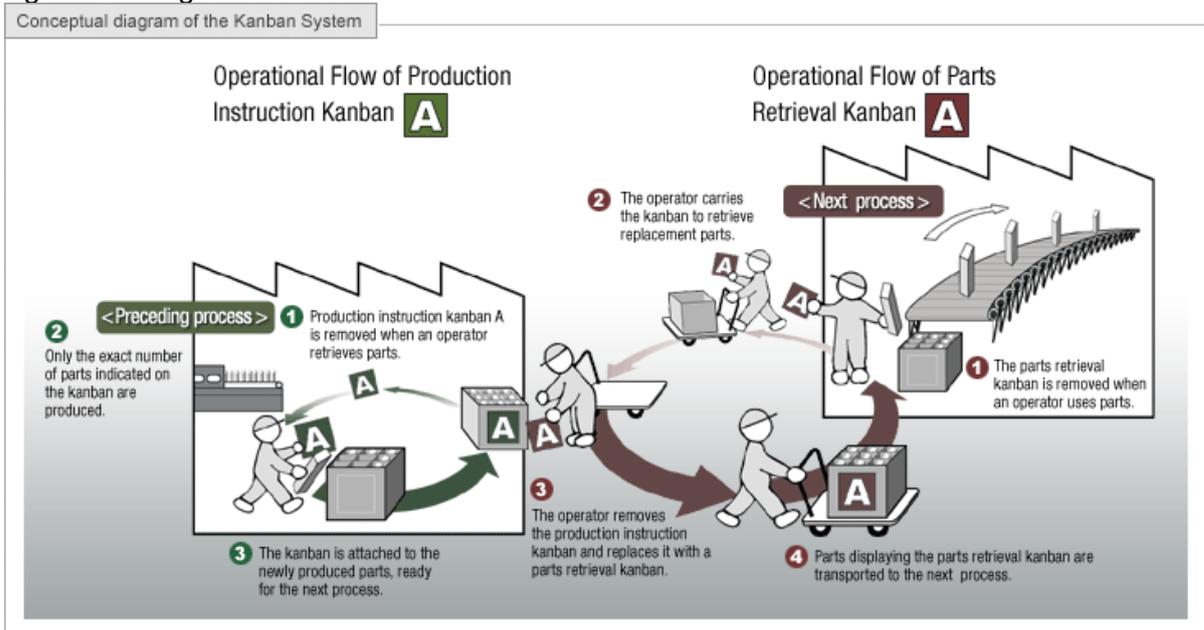
- Itens de classe A e B, que apresentam o maior valor ou volume, devem ser considerados.
- O congelamento do plano de produção, deve ser requerido entre a colocação do pedido ao fornecedor até a colocação no ponto de uso.
- A acuracidade da lista de materiais e inventário de cada item é crítica.

- O fornecedor deve ser parceiro e entregar produtos na qualidade exigida. É necessário a existência de acordo de flexibilidade do fornecedor.
- A fábrica deve possuir linearidade estável.
- O modelo de demanda poderá ser sazonal ou linear.
- Não devem haver conflitos em relação de acordos da força de trabalho. Contratos de trabalho precisam ser flexíveis e não ter restrições à pequenas mudanças de função.

2.1.3.2.9 Kanban

O controle *kanban* é um método de operacionalizar o sistema de planejamento e controle da produção puxada. Em japonês, o termo *kanban* significa cartão ou sinal. Este sistema controla a transferência de material entre os estágios dentro do processo. (Slack et al., 2002, p. 494). Os *kanbans*, de forma simplificada, são cartões utilizados para avisar o fornecedor interno que mais material deve ser enviado ao cliente ou operação subsequente.

Figura 9 - Diagrama conceitual do sistema Kanban.



Fonte: Toyota, 2016.

Slack et al. (2002) menciona ainda, que este controle pode ser por meio de marcadores plásticos, unidade material, ou demarcações no chão (como por exemplo um quadrado). Quando a embalagem ou o local demarcado definido como *kanban* estiver vazio, a produção do processo antecedente é disparada e o fornecedor interno é avisado da necessidade. Ou seja, enquanto o *kanban* estiver cheio, não é necessário mais material no processo. Para Slack et al. (2002), há três diferentes tipos de *kanban*:

- De movimentação ou transporte: usado para avisar o fornecedor interno, ou estágio anterior, para retirar o material do estoque e transferir ao destino.
- De produção: utilizado para sinalizar para o processo produtivo iniciar a produção de determinado item e enviar para o estoque.
- Do fornecedor: utilizado para avisar o fornecedor da necessidade de envio de material para determinado local ou estágio da produção. Este tipo de *kanban* é similar ao de movimentação, porém normalmente utilizado para fornecedores externos.

2.1.3.2.10 Mapeamento do processo produtivo

As atividades da produção, segundo Shingo (1996), podem ser consideradas como redes de processo e operações e cada processo considerado um fluxo de material no tempo e no espaço. O processo, é entendido como a transformação da matéria prima em produtos semiacabados, enquanto as operações, como o trabalho para efetivar essa transformação – interação no tempo e no espaço de operadores e máquinas.

“Para realizar melhorias significativas no processo de produção devemos distinguir o fluxo do produto (processo) do fluxo de trabalho (operação) e analisa-los separadamente” (Shingo, 1996, p. 37). O autor, menciona que mesmo o processo sendo realizado por várias operações, se forem aplicadas melhorias nestas sem que seja feito um estudo dos efeitos no processo, pode haver comprometimento dos resultados de eficiência global. Por isto, sugere que seja analisado e melhorado o processo antes das operações.

Os processos podem ser identificados em cinco elementos destinos, segundo Shingo (1996), sendo eles: processamento, inspeção, transporte e espera de processo e espera de lotes. E podem ser melhorados de duas maneiras: melhorar o

produto através de análise e engenharia de valor ou melhorar os métodos de fabricação. Moreira (2002), menciona que o estudo e registro de fluxo das operações são realizados por meio de fluxogramas de processo, demonstrando as atividades deste, graficamente.

No que se refere ao gráfico de fluxo de valor, Barnes (1977), define o processo de realização do mesmo como uma técnica para registrar o processo de maneira sintetizada, com o objetivo melhorar a sua compreensão, e após, realização de melhorias no processo. Os passos ou eventos que ocorrem na execução de uma tarefa ao longo de uma série de ações é representado por este gráfico. Barnes (1977) complementa, que o gráfico de fluxo de valor pode ser utilizado com proveito por qualquer pessoa de organização, e pode indicar operações particulares do processo produtivo que devam ser analisadas com maior cuidado. O mesmo autor, refere-se a quatro abordagens que devem ser consideradas para soluções de melhorias de processo:

- Eliminação do trabalho desnecessário;
- Combinação de operações e elementos;
- Alterações em sequencias de operações;
- Tornar mais simples as operações essenciais;

Em relação as atividades que agregam valor, para Womack e Jones (2004), 5% das atividades produtivas agregam valor, e 95% são considerados desperdícios. Normalmente a atenção é concentrada equivocadamente nos 5%, ao invés de agir sobre os 95%.

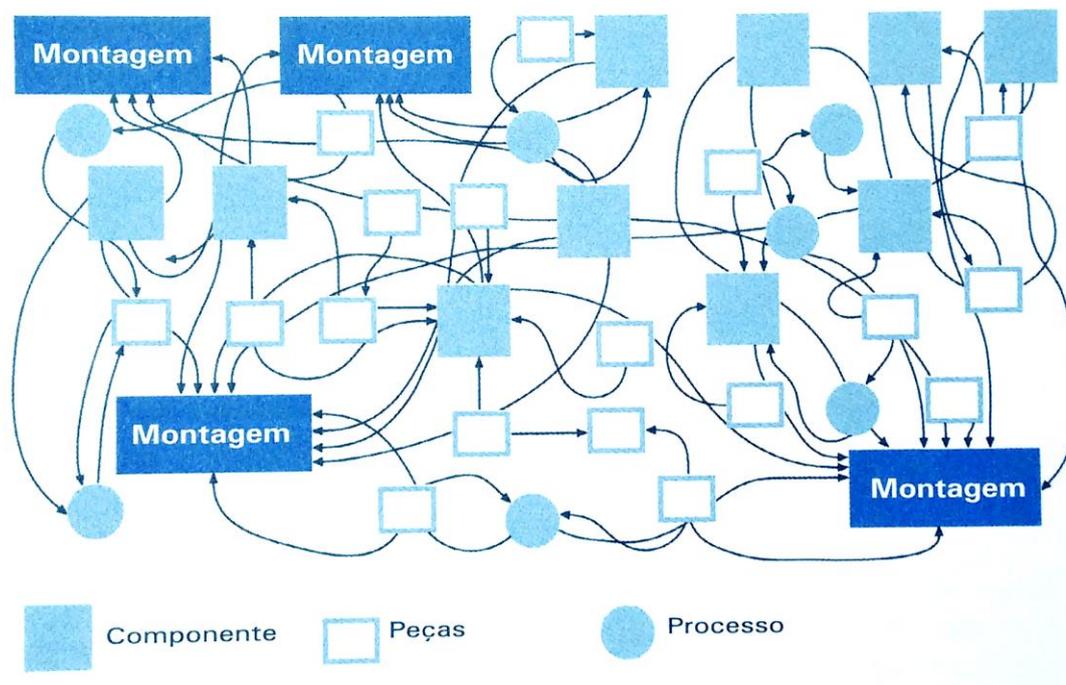
2.1.3.2.11 Diagrama de espaguete

Esta ferramenta é utilizada para com finalidade de identificar as perdas por movimentação ao longo de um fluxo, através de um diagrama traçando os caminhos por onde determinado produto ou operador se movimenta. (OLIVEIRA; MONTEIRO; FERRARI, 2016).

O diagrama de espaguete busca mostrar o comportamento do produto ou operador durante o processo, de forma a avaliar o tempo gasto para fabricação classificando o tempo que agrega valor e o tempo que não agrega valor, e assim mensurar as atividades que realmente são necessárias para a fabricação do produto. Esta ferramenta é um ótimo aliado dos responsáveis por gerenciar e

projetar o processo de manufatura na identificação e eliminação de desperdícios. (OLIVEIRA; MONTEIRO; FERRARI, 2016).

Figura 10 - Diagrama espaguete para fluxos de produto ao longo de fluxos de valor



Fonte: LEAN INSTITUTE BRASIL, 2003, p. 7.

De acordo com Lean Institute Brasil (2003, p. 15), o diagrama de espaguete “diagrama do caminho percorrido por um produto na medida em que ele se movimenta ao longo de um fluxo de valor. É assim chamado, pois, na produção em massa, a rota dos produtos comumente se parece com um prato de espaguete”. Este método é executado com base em observações no chão de fábrica e conhecimento do processo.

2.1.3.2.12 Balanceamento de linha de produção

2.1.3.2.12.1 Balanceamento

De acordo com Shingo (1996), o balanceamento da produção é um dos pilares do TPS (Sistema Toyota de produção), e seu objetivo é fazer com que o processo produza a mesma quantidade do processo precedente.

Moreira (2002), considera que uma linha de montagem representa um caso clássico de fluxo de operações em um sistema contínuo, onde o produto é dividido em operações que são distribuídas nas estações de trabalho. Este posto de trabalho pode ser ocupado por uma ou mais pessoas, e desta forma também uma ou mais atividades podem ser atribuídas à estação, mesmo que esta tenha apenas um operador. “A tarefa do balanceamento de linha é a de atribuir as tarefas aos postos de forma a atingir uma dada taxa de produção, e de forma que o trabalho seja dividido igualmente entre os postos” (MOREIRA, 2002, p. 412). Silva et al. (2007) complementa ainda, que o balanceamento além equilibrar a carga e capacidade reduz estoques intermediários do processo.

Cabe acrescentar a contribuição de Almeida et al. (2006), referente ao conceito de balanceamento de linhas de produção, como a prática de equiparar o tempo de produção, distribuindo entre as pessoas ou máquinas, em um fluxo de produção, a mesma carga de trabalho. O balanceamento de linha tende a eliminar ou reduzir significativamente os gargalos e esperas, proporcionando maior produtividade e eficiência de produção.

Para fazer o balanceamento de uma linha de montagem, Gaither (2002) menciona que se deve, em primeiro lugar, determinar o tempo de ciclo, que é o intervalo de tempo em que dois componentes consecutivos saem da linha de produção. O balanceamento de uma linha consiste, basicamente, em encontrar a solução para uma das seguintes alternativas: através de um tempo de ciclo, encontrar o menor número de postos de trabalho necessários; dado um certo número de postos de trabalho, minimizar o tempo de ciclo. (GAITHER, 2002, p.209).

Rocha (1995) complementa, que é importante que em um sistema de produção possua as máquinas adequadas, e fundamental que a disposição delas esteja em sequência lógica dentro do processo produtivo, da mesma forma a equivalência de suas capacidades. A propósito, Moreira (2002), assinala que mesmo que a sequência de operações seja fixa, a sua designação nos postos de trabalho pode ser mais ou menos eficiente, de forma a aproveitar melhor o tempo disponível por estação.

De acordo com Maziero (1990) o principal objetivo de balancear uma linha é determinar ritmos à produção, e definir a quantidade de itens ou lotes serão produzidos em determinado tempo. Desta forma, é possível estudo para reaproveitar

equipes de trabalho e melhorar a programação e redução de interrupções de trabalho, para melhoria da produtividade.

O balanceamento de linha exclui os gargalos e as esperas na produção, além de proporcionar rodízios de funções e evitar doenças do trabalho por esforços repetitivos, que afeta de maneira negativa a produção das empresas e gera um alto índice de absenteísmo, e conseqüentemente sobrecarregam e aumentam as tarefas para os demais funcionários da empresa. (GOMES et al., 2008, p. 4 e 5)

De acordo com Gomes et al. O dimensionamento de recursos, e tempo por recurso, em uma linha de montagem, pode se dar de acordo com a

Figura 11:

Figura 11 - Dimensionamento de recursos em uma linha de montagem:

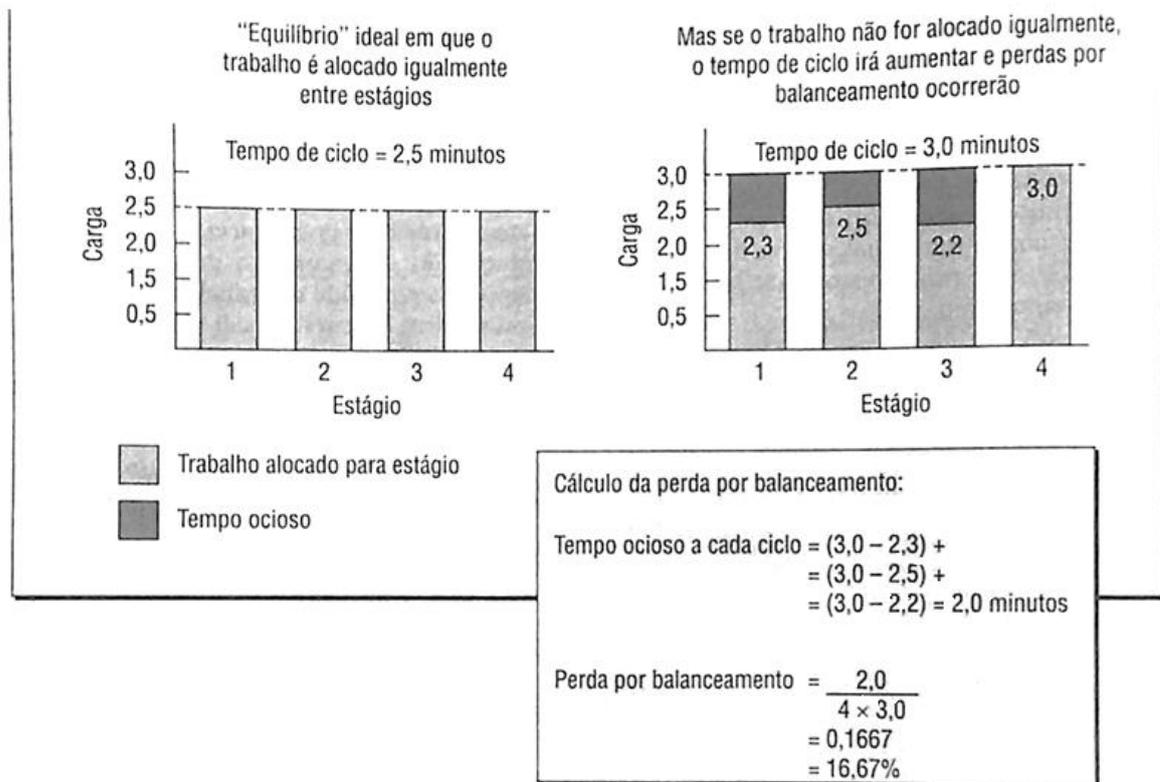
$$\text{Recursos ou Estações} = \frac{\text{Tempo produção/peça (min)} \times \text{Produção/dia(peças)}}{\text{Tempo de Trabalho/dia (min)}}$$

$$\text{Tempo/Recursos ou Estação} = \frac{\text{Tempo/peça(min)}}{\text{Nº de recursos ou estações}}$$

Fonte: Adaptado de Gomes et al., 2008.

Slack et al. (2002), expõe através da Figura 12, as perdas por balanceamento de linha, como a proporção do tempo investido no processo, não usado produtivamente.

Figura 12 - Perdas por balanceamento de linha.



Fonte: Slack et al., 2002, p. 230.

2.1.3.2.12.2 Produtividade

De acordo com Silva (2009), o termo produtividade pode ser associado ao significado de "capacidade de produzir". Diante disto, a produtividade é uma relação entre o que é produzido (*output*) e os recursos utilizados para a produção (*input*). Desta forma, pode ser calculada conforma a Equação 1.

Equação 1 - Equação geral da produtividade.

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{output [minutos]}}{\text{input [minutos]}}$$

Fonte: Adaptado de Silva, 2009.

O autor faz uma análise de termos com base em duas definições:

- Produtividade parcial: baseia-se na relação entre o que foi produzido e os recursos utilizados. Uma medida de produtividade parcial poderia ser a mão-de-obra. (SILVA, 2009, p.19)

- Produtividade total: baseia-se na relação entre o *output* (saídas) total, e o somatório dos de todos os inputs (entradas). Com isto, é refletido o impacto de todos os fatores de *input* na produção do *output*. (SILVA, 2009, p.19).

De acordo com Severiano Filho (1995), análises voltadas à produtividade, além de otimizar o tempo, permitem a implantação, controle e acompanhamento do tempo de atividade realizado pela empresa.

2.1.3.2.12.3 Balanceamento do operador

De acordo com o Lean Institute Brasil (2003), o balanceamento do operador é também conhecido como diagrama de carga do operador ou quadro *yamazumi*. Esta é uma ferramenta gráfica para auxiliar a criação de fluxo contínuo em processos de múltiplas etapas e operadores, de forma a distribuir as atividades ente os operadores em relação ao tempo *takt*.

As informações das atividades de cada operador são plotadas em um gráfico de barras verticais, a fim de representar a quantidade total de trabalho que cada operador deve realizar (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2003).

O Lean Institute Brasil (2003), ainda menciona que esta ferramenta é fundamental para melhor distribuição do trabalho entre os operadores e minimização do número necessário dos mesmos. Objetiva tornar o montante das atividades de cada operador próxima ao tempo *takt*, assim, resultando em uma melhor utilização dos operadores.

2.1.3.2.12.4 Capacidade

Moreira define a como capacidade, “à quantidade máxima de produtos e serviços que podem ser produzidos numa unidade produtiva, num dado intervalo de tempo” (2002, p. 149).

Já Slack et al., define a capacidade de uma operação como, “o máximo nível de atividade de valor adicionado em determinado período de tempo que o processo pode realizar sob condições normais de operação” (2002, p.344).

Nesta mesma linha de considerações, Moreira (2002) para melhor entendimento sobre o assunto, relata um exemplo prático de capacidade produtiva: se em um determinado departamento de montagem houverem 5 empregados, com carga horária diária de 8 horas, produzindo um determinado componente na razão de 20 itens por hora por empregado, a capacidade do departamento será de 800 montagens por dia, expressa pela Equação 2.

Equação 2 - Equação básica de cálculo de capacidade.

Capacidade [itens/dia] = N^o empregados × horas/dia × N^o itens/hora × empregado

$$Capacidade = 5 \text{ empregados} \times 8 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} \times 20 \frac{\text{itens}}{\text{hora}} \times \text{empregado} = 800 \frac{\text{itens}}{\text{dia}}$$

Fonte: Adaptado de Moreira (2002), p. 149.

Com a determinação da capacidade, é possível verificar em que percentual, determinada empresa ou departamento está operando, e endereçar ações para aumento ou redução da capacidade conforme a demanda. Para Moreira (2002), são muitos os fatores influentes dos quais a capacidade é dependente, e alteração da mesma nem sempre é fácil, rápida ou barata. Para um aumento da capacidade, pelo menos um dos fatores deve ser alterado: instalações, composição dos produtos ou serviços, o projeto do processo, fatores humanos, fatores operacionais ou fatores externos.

Slack et al. (2002), identifica duas estratégias extremas para expansão da capacidade:

- Capacidade antecipada à demanda: é feita com base em previsões mercadológicas, programando a produção a fim de sempre atender a demanda prevista.

- Capacidade acompanha a demanda: a capacidade está sujeita ao não cumprimento da demanda, uma vez que a demanda nesta estratégia é sempre igual ou maior que a capacidade.

Slack et al. (2002), ainda menciona, que a capacidade de produção é ditada pela operação ou estação de trabalho mais lenta do sistema, conhecida como gargalo de produção ou restrição de produção. O gargalo pode ser desde uma máquina, quanto uma estação, departamento ou conjunto destes. A identificação de gargalos em uma empresa é fundamental para análise de aumento de capacidade.

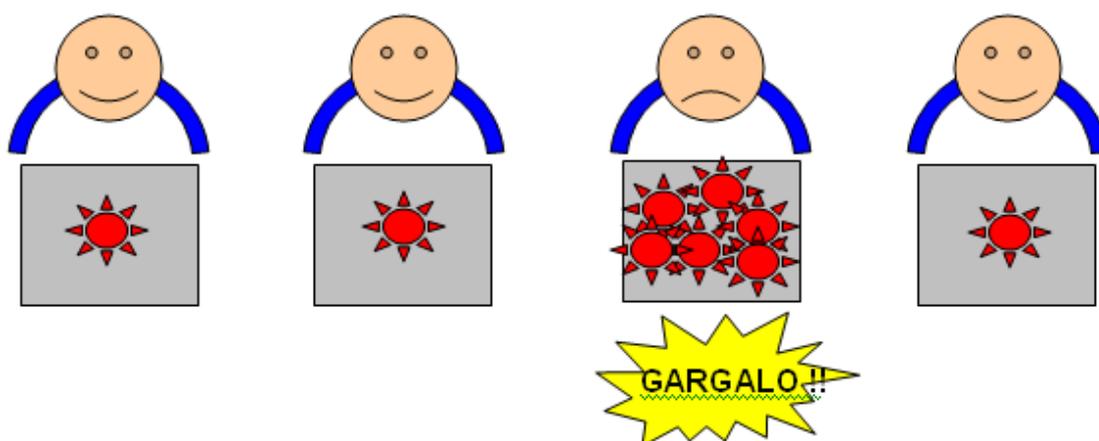
2.1.3.2.12.5 Teoria das restrições – TOC

A teoria das restrições, ou abreviadamente TOC do termo inglês *Theory of Constraints*, “é considerada uma poderosa técnica de otimização de *mix* de produtos no curto prazo (devido a sua capacidade de gerenciamento das restrições) ” (COGAN, 2005, p.7).

A TOC foi criada pelo físico israelense Eliyahu M. Goldratt, e definida como um processo de melhoramento contínuo. Começou a ser incubada nos anos 70, quando ele desenvolveu um software para o planejamento de produção de uma fábrica de gaiolas para aves. (NOREEN, SMITH, MACKEY, 1996).

De acordo com Vollmann e Berry (2006), as operações podem ser divididas em dois tipos: gargalos e não-gargalos. O tempo de capacidade perdido em um centro de trabalho gargalo, reflete este tempo na empresa inteira. Por isto, para o planejamento e gerenciamento da capacidade, a TOC recomenda fortemente que as operações, centros ou estações de trabalho gargalo devem ser planejados e gerenciados com muito mais cuidado que as não-gargalo.

Figura 13 - Gargalo em uma linha de produção.



Goldratt e Cox (2002), em seu livro “A Meta”, narram uma história que relata as dificuldades de uma fábrica rumo ao seu fim, na busca por melhoria em seus processos e esforços para reerguer a fábrica, usando a TOC, tanto para restrições físicas quanto informações. Neste livro, os autores explicam, que a empresa precisa ser considerada um conjunto de partes interligadas e ao mesmo tempo interdependentes. Cada estação ou operação depende da estação antecessora, desta forma, se uma das estações atrasar ou parar pode para o processo todo. Um gargalo ou restrição em um sistema, é um estrangulamento no fluxo de produção e este, dita o ritmo da produção, pois é a operação mais lenta. Um exemplo de restrição, poderia ser em uma fila de caminhada, onde o ritmo da fila é determinado pelo integrante mais lento, sendo que este trava os integrantes que estão atrás dele e faz com que os que estão à sua frente o esperem.

Goldratt e Cox (2002), descrevem uma metodologia para abordagem das restrições através de uma técnica com cinco passos básicos lógicos:

- 1 – Identificar as restrições do sistema.
- 2 – Decidir como explorar as restrições do sistema.
- 3 – Subordinar o resto à decisão anterior.
- 4 – Elevar as restrições - elevar a capacidade do recurso gargalo.
- 5 – Se nas etapas anteriores mudar alguma restrição, deve se voltar ao primeiro passo, não permitindo que a inercia gere restrição ao sistema.

Os gargalos podem oscilar no processo, e de recurso a recurso, gerando ociosidade de alguns e sobrecarga de outros. Uma das formas de controlar um gargalo situacional, é através IPK (*in process kanban*) ou seja, admissão estoque nos processos ociosos (GOLDRATT E COX, 2002).

2.1.3.3 As 7 perdas do sistema produtivo

De acordo com Slack et al., “o desperdício pode ser definido como qualquer atividade que não agrega valor” (2002, p. 487).

Para SHINGO (1996), podem ser identificadas sete tipos de perdas de produção:

l) Superprodução: caracteriza-se a superprodução por produzir maior quantidade, mais rápido ou antes que o necessário. Este tipo de perda gera um consumo desnecessário de matéria prima, custo e alocação de área para

armazenamento, e custo para controle do estoque. De acordo com Shingo (1996), o desperdício pela superprodução pode se dar de forma quantitativa e antecipada, ou seja, quando se produz mais que o necessário e quando se produz antes do necessário.

II) Espera: o desperdício de espera ocorre quando recursos (equipamentos ou pessoas) precisam esperar desnecessariamente devido a instabilidades no sistema, falhas em equipamentos, peças necessárias não presentes, etc. (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2003, p. 71)

Para Corrêa e Giansesi (1993), o desperdício de espera acontece quando há peças ou lotes sem ser processados durante o processo de fabricação. Sincronizar o fluxo de trabalho e balancear as linhas de produção são ações que contribuem para a eliminação deste tipo de desperdício.

III) Transporte: segundo Shingo (1996), procedimentos de transporte não aumentam o valor agregado ao produto, tornando-se um custo. A redução de movimentações desnecessárias pode ser melhorada através de alterações no arranjo físico da planta para minimizar a distância a ser percorrida. Para Rother e Harris (2004), arranjos físicos deficientes geram movimentações desnecessárias de materiais e pessoas.

IV) Processamento: são caracterizadas pelo excesso de processamento requerendo melhorias voltadas a engenharia e análise de valor, visto que este processamento gera esforço desnecessário e não agrega valor ao produto ou serviço. Este desperdício ocorre quando os requisitos da qualidade são rigorosos em demasia, as instruções não são claras o suficiente, ou os requisitos do cliente não são claros.

V) Estoque: caracteriza-se como perda por estoque, produtos ou materiais com quantidade maior que o necessário ao cliente ou processo. Ocasiona a utilização desnecessária de mão de obra e equipamentos com movimentações desnecessárias, custos de área, alocação e controle de estoque.

A implantação do *Just-in-Time* comprovou que a existência de estoque apenas encobre imperfeições do processo, constituindo o desperdício. A eliminação de estoques em almoxarifados assim como nos processos deve ser perseguida. (JÚNIOR E KLIPPEL apud OHNO e SHINGO, 2002).

VI) Desperdício nos movimentos: movimentos de trabalhadores não relacionados a agregação de valor ao serviço ou produto. (SLACK et al., 2002,

p.488). Segundo Júnior e Klippel apud. Ohno e Shingo a perda por movimento caracteriza-se pela movimentação desnecessária dos trabalhadores. (JÚNIOR E KLIPPEL apud OHNO e SHINGO, 2002).

VII) O desperdício na elaboração de produtos defeituosos: fabricar produtos com defeito, que não atendam as especificações de qualidade projetadas, gera desperdícios aumentando o custo de produção. A inspeção e identificação do defeito deve ser feita de modo a eliminar novas ocorrências, agindo na causa raiz do problema e não na consequência. (JÚNIOR E KLIPPEL apud OHNO e SHINGO, 2002).

Desperdício por defeitos tem impacto direto na qualidade e conseqüentemente no negócio. Algumas das conseqüências deste desperdício ocasionam rejeição de produto, retrabalho de recuperação, custos elevados e clientes insatisfeitos. (JÚNIOR E KLIPPEL apud OHNO e SHINGO, 2002).

2.1.3.4 Análise de tempos e movimentos

Barnes (1977) considera o estudo dos tempos e movimentos como um estudo sistemático dos sistemas de trabalho, cujos objetivos são:

- O desenvolvimento do sistema e do método preferido. Geralmente, o que proporciona menor custo de produção.
- Padronização do sistema e do método.
- Considerando um ritmo normal, determinar o tempo para execução de uma operação específica, executado por uma pessoa qualificada e devidamente treinada.
- Fornecer treinamento e orientação para o operador acerca do método determinado.

2.1.3.4.1 Estudo dos tempos

Segundo Barnes (1977), o estudo dos tempos visa determinar o tempo padrão para realizar uma tarefa.

Estudo do tempo é uma técnica de medida do trabalho para registrar os tempos e o ritmo de trabalho para os elementos de uma tarefa especializada, realizada sob condições específicas, e para analisar os dados de forma a obter o tempo necessário para a realização com um nível definido de desempenho. (SLACK et al., 2002, p.287).

O estudo de tempo, de acordo com Blati, Kelency e Cordeiro (2010), é definido como a determinação, com uso de um cronômetro, do tempo necessário para a realização de uma tarefa, além de, definir a melhor forma de execução da mesma. Outras finalidades do estudo do tempo são:

- Desenvolver de padrões para uso na elaboração de programas de produção.
- Determinar a capacidade produtiva da linha.
- Determinar o tempo de produção para atender a demanda.
- Para cálculo do custo do produto, determinar a mão-de-obra direta.
- Levantar dados para estudo de balanceamento das operações ou estações.

O conhecimento dos tempos de produção é o primeiro passo para desenvolvimento do balanceamento de linha. (Blati, Kelency e Cordeiro, 2010).

2.1.3.4.2 Estudo dos movimentos

Segundo Barnes (1977), o estudo dos movimentos procura encontrar o melhor método de realizar determinada tarefa, enquanto o estudo dos tempos determina o tempo padrão para esta tarefa.

O estudo dos movimentos, de acordo com Rocha (1995), é também conhecido como estudo dos métodos de trabalho, dos quais são analisados dados qualitativo, contrário ao estudo dos tempos onde são levados analisados dados quantitativos.

2.1.3.4.3 Tempo padrão

O tempo padrão, segundo Barnes (1977), determina o número padrão de minutos que um operador qualificado, treinado e com experiência, necessita para realizar determinada tarefa ou operação em condições e ritmo normal. Este tempo pode ser usado para estimativa de custos de mão-de-obra, ou ainda, base para planos de incentivo salariais.

De acordo com Moreira (2002), ao determinar o tempo padrão, deve-se levar alguns pontos para que se obtenha maior precisão:

- Dividir a operação em atividades. Não cronometrar operações grandes.
- Determinar quantos ciclos serão cronometrados.
- Analisar o ritmo médio do operador.

Também, ao analisar o tempo padrão, Barnes (1977) destaca que este, deve abranger a duração de todos os elementos da tarefa e devem ser adicionados tempos referente as tolerâncias, ou seja, tempo padrão é igual ao tempo normal somado às tolerâncias. As tolerâncias consideradas são:

- Tolerâncias pessoais: tempo reservados para necessidades pessoais do operador, em média 2 a 5%

- Tolerância à fadiga: tempo necessário para descanso, principalmente quando o trabalho é árduo.

- Tolerância para espera: tolerância relacionada a necessidade de espera para manutenções não programadas, quebras ou falhas em equipamentos ou ferramentas e paradas para inspeção ou auditoria de qualidade. São consideradas nesta tolerância, falhas inevitáveis causadas pela máquina, operador ou força externa.

“Estes tipos de esperas podem ser determinados por meio de estudos contínuos ou de amostragem do trabalho, feitas ao longo de um período de tempo suficientemente grande para validar os valores encontrados” (PEINADO & GRAEMI, 2007, p. 103).

Para Barnes (1977), a equação para cálculo do tempo padrão deve ser:

$$\text{Tempo padrão} = \text{Tempo normal} \times \frac{100}{100 - \text{Tolerâncias em \%}}$$

$$\text{Tolerâncias} = \text{tolerância pessoal} + \text{tolerância por fadiga} + \text{tolerância por espera}$$

Blati, Kelency e Cordeiro (2010), ainda complementam, que é importante verificar se o tempo determinado é coerente e se a amostra usada corresponde a o que acontece no chão de fábrica.

2.1.3.5 *Tempos de Produção*

De acordo com Blati, Kelency e Cordeiro (2010), há diversos tempos a serem considerados na produção. Estes tempos sofrem influência da demanda e do ritmo de produção, variando de operador para operador, com a fadiga ao longo das atividades de trabalho e outros fatores influentes.

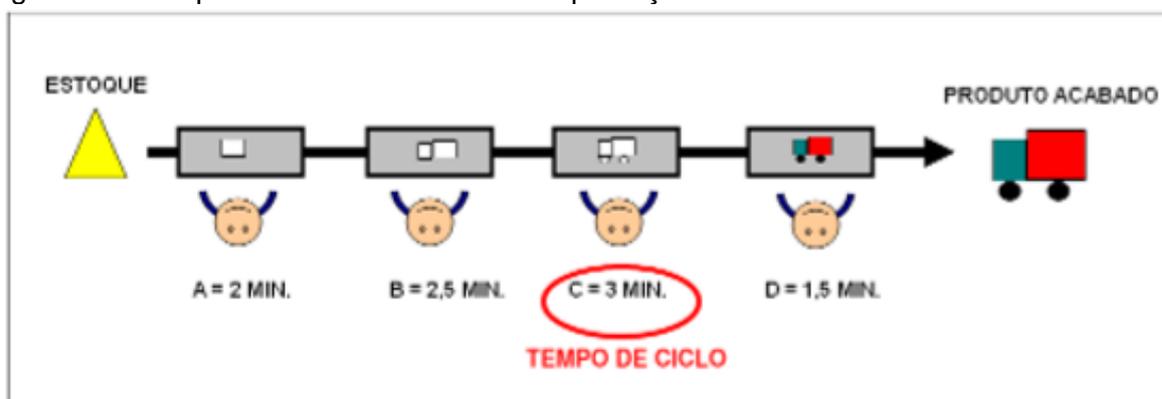
2.1.3.5.1 Tempo de ciclo

“É o tempo máximo permitido para cada estação de trabalho antes que a tarefa seja passada para a estação seguinte” (PEINALDO e GRAEMI, 2007, p.206).

De acordo com Antunes et al. (2008), o tempo de ciclo pode ser entendido como o tempo transcorrido entre a repetição de um mesmo evento que caracteriza o início e o fim desse ciclo, ou seja, o tempo transcorrido entre a saída de um item e a saída do item seguinte.

Blati, Kelency e Cordeiro (2010), representam na Figura 14 o tempo de ciclo, onde são distribuídos os tempos de produção entre os postos de trabalho. O tempo de ciclo, considerando que cada posto seja ocupado por um operador, é o maior tempo do processo, ou seja, neste caso 3 minutos. Os autores mencionam que, caso o operador fosse o mesmo para todos os postos de trabalho, o tempo de ciclo seria a soma de todas os postos.

Figura 14 - Tempo de ciclo em uma linha de produção.



Fonte: Blati, Kelency e Cordeiro, 2010.

De acordo com Antunes (2008), em linhas ou células de produção com vários postos de trabalho, o tempo de ciclo é definido por dois elementos: tempo unitário do processamento por máquina/posto (tempo padrão); e número de trabalhadores na linha ou célula. (ANTUNES, 2008, P.149).

2.1.3.5.2 *Tempo normal*

Ao referir-se a tempo normal, Barnes (1977) o conceitua como, “o tempo necessário para que um operador qualificado execute a operação trabalhando em um ritmo normal” (BARNES, 1977, p.313). Este tempo desconsidera as tolerâncias (pessoal, fadiga ou espera) e interrupções. Entretanto, ao longo do dia de trabalho é sabido que o operador sofre interrupções por motivos pessoais ou alheios a sua vontade.

Ao referir-se ao processo de obtenção de tempos, Blati, Kelency e Cordeiro (2010), descrevem que o operador é avaliado quanto ao ritmo de trabalho, sendo um ritmo normal, o ritmo que um operador poderia manter diariamente sem fadiga e com esforço razoável. Para o ritmo normal, é atribuído o percentual de 100%. Desta forma, o tempo normal é o tempo real corrigido através da medição do ritmo.

Equação 3: Cálculo do tempo normal

$$\text{Tempo Normal} = \frac{\text{Tempo Real} \times \% \text{ Ritmo}}{100}$$

Fonte: Blati, Kelency e Cordeiro, 2010.

2.1.3.5.3 *Tempo de Ressuprimento*

“O *lead-time* ou tempo de ressuprimento de um item, é o tempo necessário para seu ressuprimento” (CORRÊA; GIANESI, 1993, p. 110).

Para um item comprado, o *lead-time* considera o tempo entre a colocação do pedido de compra até o recebimento do material. Já para itens manufaturados, Corrêa e Gianesi (1993) conceituam como sendo o tempo entre a liberação da ordem de produção até que o item manufaturado esteja pronto e disponível para uso.

2.1.3.5.4 *Tempo Takt*

De acordo com o Lean Institute Brasil (2003), o tempo *takt*, ou *takt time*, é o tempo disponível para produção dividido pela demanda. O tempo *takt* visa alinhar a produção com a demanda, determinando o ritmo do sistema.

Para Rother e Harris (2002) o *takt time* é usada para auxiliar na sincronização da velocidade de produção ao ritmo das vendas. Ou seja, é um número de referência para alinhar a taxa de produção, em um processo puxador, com o ritmo das vendas. De acordo com o autor, o *takt time* é calculado com base no tempo de trabalho efetivo por turno dividido pela demanda do cliente por turno, obtendo-se a unidade de tempo por peça.

Equação 4: Cálculo de *takt time*

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tempo de produção disponível por turno (tempo efetivo)}}{\text{Demanda do cliente por turno}} = [\text{tempo/peça}]$$

Fonte: Rother e Harris, 2002.

Segundo Blati, Kelency e Cordeiro (2010), é importante considerar as restrições quanto a capacidade produtiva, ou seja, o ritmo do *takt time* pode não ser suportado pelo sistema produtivo. O mesmo autor argumenta que, se o *takt time* calculado for igual ou superior ao tempo de ciclo, o processo irá atender a demanda, caso contrário, melhorias são necessárias para reduzir o tempo de ciclo ao *takt time*.

2.1.3.5.5 Tempo Efetivo

De acordo com Rother e Harris (2002), o tempo de trabalho efetivo é o tempo entre o início e o fim do turno, subtraído as paradas do operador para reuniões, lanche, limpeza, entre outros. Não deve ser subtraído do tempo, paradas não programadas pois o *takt time* deve representar a taxa real de demanda do cliente.

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

O presente trabalho utiliza a metodologia de natureza quantitativa, onde segundo Gil (2007), busca-se constatar algo, um organismo ou fenômeno. Busca-se a constatação do modelo atual de produção na linha de montagem, assim como descrever e explorar as possibilidades de melhoria.

Pertinentemente, pode ser classificado esta pesquisa como descritiva que, segundo Gil (2007), têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno, ou então, o estabelecimento de relações entre variáveis, sem que o pesquisador interfira nelas, não ocorrendo, assim, manipulação dos dados por parte deste.

Do ponto de vista de procedimentos técnico, identifica-se este trabalho como um estudo de caso.

No presente estudo, foram utilizadas técnicas de natureza quantitativa, de modo que foram utilizados fórmulas e cálculos para obtenção dos resultados e posterior análise e interpretação. Os dados foram classificados e demonstrados em sua maioria em forma de gráficos, tabelas e figuras, a fim de melhor visualização e interpretação dos resultados obtidos.

No que se refere a requisitos teóricos, os procedimentos de metodologia baseiam-se na revisão de literatura, ou seja, é um estudo desenvolvido através de pesquisas nos diversos meios como: livros, revistas, periódicos e material eletrônico disponível. A obtenção dos dados foi realizada de forma geral através de pesquisa de campo, acompanhamento do processo produtivo e documentos disponibilizados pela empresa em que foi realizado o estudo.

As etapas de obtenção e análise dos dados foram realizadas da seguinte forma:

- 1) Análise das instruções de montagem para cada estação de trabalho e cada operador.
- 2) Análise de tempos, usando sistema de tempo padrão estabelecidos pela empresa e o tempo de montagem de cada produto a ser analisado.
- 3) Aplicação de ferramentas do *lean manufacturing*, pesquisa de campo, com observação do processo no chão de fábrica e entrevistas com operadores e supervisão da área.
- 4) Análise e interpretação dos dados obtidos.
- 5) Proposição de melhorias.

As principais ferramentas *lean* utilizadas foram: quadro *yamazumi* – versão adaptada pela empresa; diagrama de espaguete, e a teoria das restrições (TOC).

Esta pesquisa foi desenvolvida em uma indústria do ramo metal mecânico, e os dados coletados não podem ser divulgados em sua íntegra por motivos

estratégicos. As informações e dados, principalmente os numéricos, terão um fator de conversão aplicado para mascarar informações estratégicas e preservar a identidade da empresa.

2.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Os recursos necessários para a realização desta pesquisa consistem em:

- Computador;
- Impressos para registro;
- Manuais de instrução;
- Equipamentos de registro (papel, prancheta, lápis, canetas, borrachas, tinta etc.);

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O presente estudo apresenta uma análise do balanceamento como resultado da pesquisa em uma linha de montagem em uma empresa do setor metal mecânico. O estudo está dividido, de forma geral em três partes:

- Levantamento de dados do processo produtivo atual;
- Aplicação de ferramentas de balanceamento de linha;
- Análise dos dados obtidos e identificação de perdas no processo produtivo;
- Apresentação das propostas de melhoria.

3 LEVANTAMENTO DE DADOS DO PROCESSO PRODUTIVO ATUAL

4.1 Caracterização da linha de produção

O processo produtivo em questão é uma linha de montagem de produto acabado, ou seja, o produto ao terminar o ciclo de montagem da linha está pronto para envio ao cliente.

A linha principal de montagem é composta atualmente por oito postos de trabalho. Nos seis primeiros postos é realizada a montagem do produto, no sétimo realizado testes funcionais e verificação de possíveis falhas, e no oitavo fixação de componentes móveis para transporte e carregamento do produto até o estoque. Cada posto de trabalho possui alguns subpostos para realização de pré-montagens e cada estação de trabalho é composta por um ou mais operadores, sendo em sua maioria mais que dois.

1.2.1 Caracterização da produção

A linha de montagem em questão produz três tipos de produto diferentes, porém, todos têm finalidade similar para o cliente. Para entender esta questão, analogamente, seria como uma linha de produção de aparelhos de som, porém três tipos diferentes: aparelho de som automotivo, aparelhos de som convencionais, e aparelhos de som portáteis.

Cada um dos três produtos, apresenta uma diversidade de modelos diferentes, conforme a Tabela 1. O principal diferencial entre os modelos de cada

produto é o tamanho. Os modelos, a fim de entendimento e organização, foram classificados do maior para o menor tamanho, dentro de cada produto, sendo A o maior, B menor que A, e assim por diante.

Tabela 1 - Produtos e modelos fabricados na linha de montagem.

Produto 1	Produto 2	Produto 3
Modelo 1A	Modelo 2A	Modelo 3A
Modelo 1B	Modelo 2B	Modelo 3B
Modelo 1C	Modelo 2C	Modelo 3C
Modelo 1D	Modelo 2D	Modelo 3D
	Modelo 2E	Modelo 3E
	Modelo 2F	Modelo 3F
	Modelo 2G	Modelo 3G
		Modelo 3H
		Modelo 3I
		Modelo 3J
		Modelo 3K
		Modelo 3L
		Modelo 3M

Fonte: O autor, 2016.

A programação atual da produção é flexível e diariamente é produzido um *mix* de produção diferente, variando os produtos e modelos. Entretanto, a quantidade de cada produto produzido por dia é similar. Para este estudo, foi considerada uma produção de 12 unidades/turno com base na média de produção da linha. A Tabela 2 discrimina as quantidades médias de cada produto produzido diariamente.

Tabela 2 - Produção média diária por produto.

Produto	Produção/turno
Produto 1	6 unidades
Produto 2	5 unidades
Produto 3	1 unidade

Fonte: O autor, 2016.

4.2.2 Obtenção de dados do processo

A obtenção dos dados do processo ocorreu através de duas principais formas: através da documentação do processo, como a sequência de atividades de cada produto, e pelo método “Go and See”, ou seja, observação do processo no chão de fábrica, entrevista com supervisores e operadores.

Para obtenção dos tempos de cada operação, foi utilizado os tempos padrões disponíveis na sequência de atividades descrita para cada produto e modelo. A sequência de atividades é um método adotado pela empresa, que descreve todos os passos necessários para manufaturar um produto, atribuindo um tempo padrão através de elementos para cada ação do operador, alocando cada atividade em uma sequência lógica de montagem e distribuindo estas, entre os postos de trabalho dentro do processo. Desta forma, é obtido o tempo padrão necessário para montar o produto.

A sequência de atividades contempla os tempos e atividades em cada estação, porém não considera quantas pessoas executam as atividades de determinado posto de trabalho e nem quem as executa.

O primeiro passo para início do balanceamento de linha e identificação das perdas no processo, foi o levantamento do estado de operação da linha, através de observação no chão de fábrica e pesquisa de campo por entrevista sobre as atividades desempenhadas por cada operador no posto de trabalho. Deste modo, possibilitando medir a utilização de cada operador por posto. Foi adotado como referência, as atividades descritas na sequência de atividades.

Para melhor entender a realidade no chão de fábrica, foram levantadas juntamente com o supervisor da linha e os operadores, os problemas de desbalanceamento e as dificuldades para gerenciamento da carga de trabalho e atividades conforme o *mix* de produção.

4.3 APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS PARA BALANCEAMENTO DE LINHA

As análises do processo foram executadas utilizando ferramentas *lean* e procedimentos da empresa do estudo em questão. As ferramentas e técnicas do *lean manufacturing* utilizadas foram: DLBT (quadro *yamazumi* adaptado pela empresa); diagrama de espaguete; e a teoria das restrições (TOC).

As constantes variações no *mix* de produção foram relatadas como um dos pontos de desbalanceamento entre postos de trabalho e utilização de operadores. Foram levantadas as variações de *mix* com altos indicativos de desbalanceamento, apontadas pelo supervisor de produção da linha. Com base nos tempos de processo, utilização dos recursos, foram identificadas as restrições e recomendações para o *mix* de produção. O método de balanço de operações por operador -

yamazumi – adaptado para a realidade da empresa, foi utilizado para auxiliar a identificação do impacto do *mix* de produção no balanceamento e na elaboração de propostas de melhorias.

Para minimizar o impacto e evitar aumento do tempo total do processo, além de provável desbalanço de linha, devido a implementação de uma *runing change*, ou seja, uma atualização nos produtos correntes, foi aplicado o diagrama de espaguete. Esta atividade mapeou as perdas por movimentação na linha, e através das propostas de melhoria, estimou a redução de tempo que não agrega valor, com finalidade de disponibilizar este para suprir o acréscimo de tempo desta atualização.

4.3.1 Dynamic Line Balancing Tool (DLBT)

Com os dados obtidos do processo, no chão de fábrica, os mesmos foram plotados em planilha de Excel de forma a obter gráficos e indicadores do processo atual e utilização dos recursos.

Como padrão da empresa onde foi realizado o estudo, utilizou-se um Excel automatizado, conhecido na empresa com DLBT. Esta ferramenta proporciona uma análise estática do processo, ao mesmo tempo em que considera dinamicamente as ordens de produção programadas variando o produto e o modelo aleatoriamente.

Primeiramente, são necessários a importação e parametrização das sequencias de atividades, demanda média de cada produto, tempo padrão efetivo por turno, número de turnos e o fator de performance esperado dos operadores. Para determinação do tempo padrão efetivo, foi considerado uma semana de trabalho com 5 dias trabalhados e 44 horas semanais. Assim o tempo efetivo seria 528 minutos/dia, descontados 6% de *Job Delay* (tempo relacionado a perdas diárias como por exemplo, ir ao banheiro, tomar água, etc.), resulta em um tempo total de 498 minutos/dia.

Figura 15 - Parametrização da demanda por produto.

'Department' Flow Line Design Parameters:

498	Effective Std Minutes per Shift
1	Number of Shifts
1	Performance Factor

'Make It So'

Run SOE Comparison

Demand and Sequence of Events (SOE) to be Included:

	Include?	Dc	Product	Demand	SOE	Compare SOE?	Main Part
1	YES	6	Produto 1	DEMAND_P1	19043-58-SOE		Main; MAIN
2	YES	5	Produto 2	DEMAND_P2	19043-41-SOE		Main; MAIN
3	YES	1	Produto 3	DEMAND_P3	19043-40-SOE		Main; MAIN

Fonte: O autor, 2016.

Os arquivos de demanda juntamente com as ordens de produção foram extraídos do sistema ERP da empresa, e separadas as ordens de cada produto relacionando-as com as suas respectivas sequencias de atividades.

Neste arquivo de Excel são inseridas as sequencias de atividades para os três produtos e suas variações de modelos, atribuindo cada atividade ao respectivo operador que a executa. A Figura 16 exemplifica a distribuição das atividades para cada operador, sempre considerando a sequência lógica de montagem.

Figura 16 - Sequência de atividades - Produto 1 - Atribuição das atividades por operador.

Stage	Locatio	TLNO	TLID	TID	Base?	CycleTi	PartTy	TaskList Description
Operador 1	X101001	2	1889	1	Option	1,576	Sub	ATIVIDADE 1
Operador 1	X101001	3	1913	10	Option	1,206	Sub	ATIVIDADE 2
Operador 1	X101001	3	1913	11	Option	1,018	Sub	ATIVIDADE 2
Operador 1	X101001	3	1913	12	Option	1,122	Sub	ATIVIDADE 2
Operador 1	X101001	3	1913	13	Option	0,934	Sub	ATIVIDADE 2
Operador 1	X101001	4	2026	5	Option	1,206	Sub	ATIVIDADE 3
Operador 1	X101001	4	2026	6	Option	1,018	Sub	ATIVIDADE 3
Operador 1	X101001	4	2026	7	Option	1,122	Sub	ATIVIDADE 3
Operador 1	X101001	4	2026	8	Option	0,934	Sub	ATIVIDADE 3
Operador 1	X101001	5	1896	5	Option	0,3	Sub	ATIVIDADE 4
Operador 1	X101001	5	1896	9	Option	3,831	Sub	ATIVIDADE 4
Operador 1	X101001	5	1896	10	Option	4,621	Sub	ATIVIDADE 4
Operador 1	X101001	5	1896	11	Option	5,411	Sub	ATIVIDADE 4
Operador 1	X101001	5	1896	12	Option	6,201	Sub	ATIVIDADE 4
Operador 2	X101001	6	1897	1	Option	0,603	Sub	ATIVIDADE 5
Operador 2	X101001	6	1897	2	Option	0,963	Sub	ATIVIDADE 5
Operador 2	X101001	6	1897	3	Option	0,907	Sub	ATIVIDADE 5
Operador 2	X101001	6	1897	4	Option	0,851	Sub	ATIVIDADE 5
Operador 1	X101001	7	1898	3	Option	0,956	Sub	ATIVIDADE 6
Operador 1	X101001	7	1898	8	Option	0,296	Sub	ATIVIDADE 6
Operador 1	X101001	7	1898	11	Option	0,761	Sub	ATIVIDADE 6
Operador 1	X101001	7	1898	13	Option	0,668	Sub	ATIVIDADE 6
Operador 1	X101001	7	1898	15	Option	0,854	Sub	ATIVIDADE 6
Operador 1	X101001	7	1898	17	Option	0,084	Sub	ATIVIDADE 6
Operador 1	X101001	7	1898	18	Option	0,168	Sub	ATIVIDADE 6

Fonte: O autor, 2016.

Concluída a parametrização e indicado as atividades realizadas por operador, foi possível gerar os gráficos e indicadores de utilização dos recursos e postos de trabalho conforme a demanda média de produção indicada e as ordens de produção programadas nos arquivos de demanda de cada sequência de atividade.

4.3.2 Diagrama de Espaguete

Ao referir-se à aplicação de diagrama de espaguete, é necessária a planta baixa do arranjo físico do local onde deseja-se aplicar a ferramenta. O desenho do arranjo físico deve estar atualizado ou pelo menos representar os locais de processamento, armazenamento dos itens, e as distâncias para que seja possível mapear as movimentações com maior precisão.

No que se refere a aplicação desta ferramenta, foi utilizado o desenho do arranjo físico da área, disponibilizado pela empresa. Pelo fato de a diagramação recomendável ser manual e in loco, foi impresso o arranjo físico em duas folhas A3, devido ao tamanho da linha e a necessidade de um desenho em maior escala.

Além do método de observação, foram questionados os operadores sobre a frequência e a repetitividade das movimentações, de modo a evitar equívocos e inconsistência dos dados. Por conseguinte, após identificadas as movimentações, os impressos foram digitalizados para análise computacional.

4.4 ANÁLISE DE DADOS OBTIDOS E IDENTIFICAÇÃO DE PERDAS NO PROCESSO PRODUTIVO

4.4.1 Variação do processo de acordo com o *mix* de produção

As observações ao processo, relatos do supervisor de produção da área, associados a registros de planejamento das ordens de produção, demonstraram uma relação do *mix* com o desbalanço da linha e um histórico de atrasos de Takt time e de produção. Este fato exige maiores esforços, e em alguns casos horas extras para compensar estes desbalanceamento e atrasos. Esta situação pôde ser comprovada quando, em alguns momentos, foram percebidos furos ou postos vazios na linha de montagem. Isto pode ser ocasionado tanto por sobrecarga de atividades em determinadas estações ou operadores, quanto devido as variações do *mix* de

produção. De acordo com dados do supervisor de produção da área, há ambas as situações, porém um dos principais fatores é o *mix*, onde irá ser concentrado os esforços neste trabalho.

Foram avaliados os *mix* de produção levando em conta o histórico de planejamento de ordens de produção e identificadas as situações críticas que estavam ocasionando as dificuldades de balanceamento da linha.

4.4.1.1 Impacto da variação do *mix* de produção no balanceamento

Apesar de serem destinados para a mesma finalidade, os produtos produzidos na linha de montagem em questão diferem entre si em tamanho e forma, apresentando diferentes tempos de produção e sequências de montagens em cada posto de trabalho. Este fato, torna o processo de balanceamento mais dificultoso e exige maior atenção na realização de mudanças nos processos.

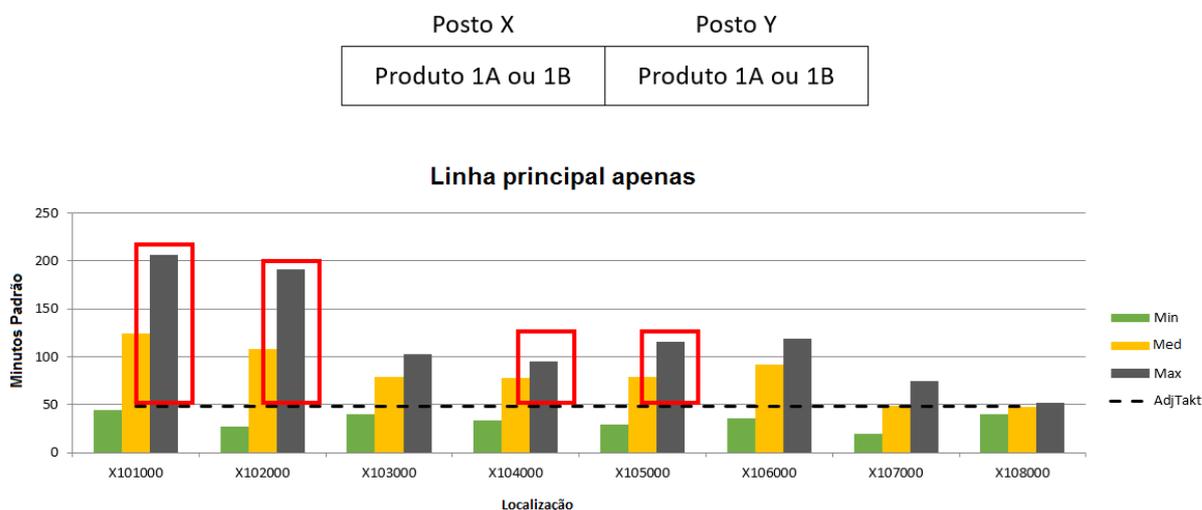
Foram analisadas situações de *mix* de produção que geram dificuldades de balanceamento na linha, com base em dados obtidos no chão de fábrica e tempos de produção. As análises, em alguns momentos, não conseguem expressar com clareza através da demonstração por gráficos ou tabelas, porém as situações são claras quando observado o processo no chão de fábrica. Cabe salientar que, em grande parte dos casos, a quantidade de recursos necessários para atender a demanda não é calculada com simples divisão do tempo de processo do produto pelo *takt time*, uma vez que além de haver variação entre os tempos de processo dos produtos, há ainda operações que demandam determinado tempo e não podem ser divididas entre os operadores.

4.4.1.1.1 Situação 1 - Sequência de produto 1A e/ou 1B

A Figura 17 apresenta a situação onde seriam produzidos, em sequência, os modelos A e B do produto 1, duas unidades de A, ou duas unidades de B, nos postos X e Y (postos com alta carga indicados na figura 17). Estes modelos são os maiores do produto 1, e por isto demandam maior tempo de processamento. O gráfico da Figura 17 apresenta os tempos de produção mínimos (Min.) e máximos (Max.) e a média (Méd.) do tempo alocado em cada estação da linha considerando

todos os produtos. Os produtos 1A e 1B são os produtos responsáveis pelos picos de carga nos postos, indicados com um quadro vermelho.

Figura 17 - Situação 1 - Sequência de Produto 1A e/ou 1B



Fonte: O autor, 2016.

A sobrecarga de atividade nos postos 1 e 2 faz com que seja necessário maior tempo do produto na estação de trabalho, ou operadores adicionais. Como o *mix* é variado esta situação de sobrecarga ocorre apenas em alguns momentos, não sendo viável a adição de um recurso, pois o mesmo estaria ocioso em grande parte do dia. A transferência de atividades destes postos para outros é dificultada por restrições de arranjo físico, financeiras e pela sequência de montagem dos componentes. A mesma situação de sobrecarga ocorre nos postos 4 e 5 para estes modelos. Uma das formas utilizadas para gerenciar os picos de trabalhos nos postos, é a utilização de operadores coringas, ou seja, operadores flexíveis, porém nestes casos onde os postos com sobrecarga estão lado a lado há dificuldade em gerenciar os recursos e a produção.

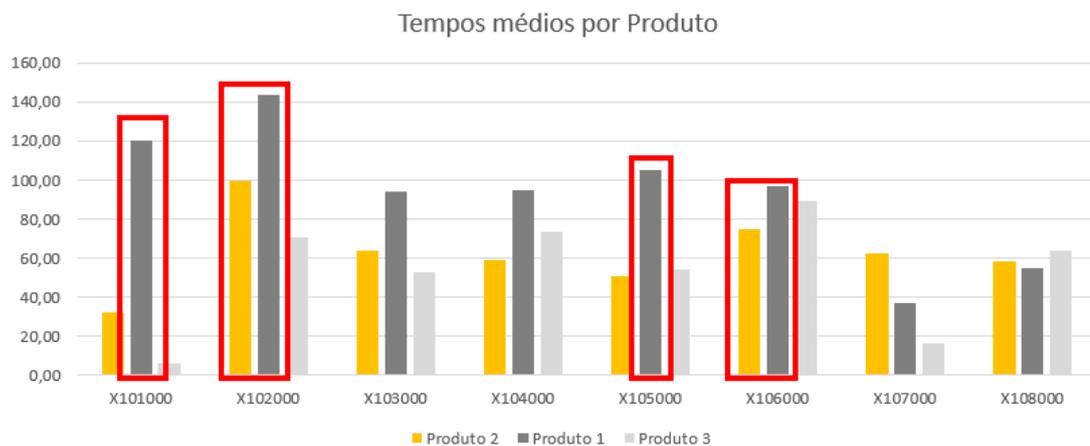
4.4.1.1.2 Situação 2 - Produto 3 ao lado de Produto 1

A Figura 18 apresenta a situação de sequência de produção onde antes e/ou depois do produto 3 há qualquer modelo do produto 1. O gráfico desta figura apresenta os tempos médios de produção para os 3 produtos, podendo ser visualizado os pontos de estrangulamentos e sobrecarga de atividade. Por se tratar

do tempo médio dos modelos de cada produto, este tempo tenderá a uma variação para cima ou para baixo conforme o modelo.

Os postos de trabalho identificados com sobrecarga são aos postos 1, 2, 5 e 6, como pode ser visto na Figura 18. A representação dos postos X, Y e Z nos quadros da figura 18 indica a sequência de produção. Da mesma forma que a situação 1, há dificuldade de gerenciar os recursos com esta sequência de produção, pois ambos os produtos necessitam tempos maiores nestas estações e ainda, estão lado a lado.

Figura 18 - Situação 2 – Produto 3 ao lado de Produto 1



Fonte: O autor, 2016.

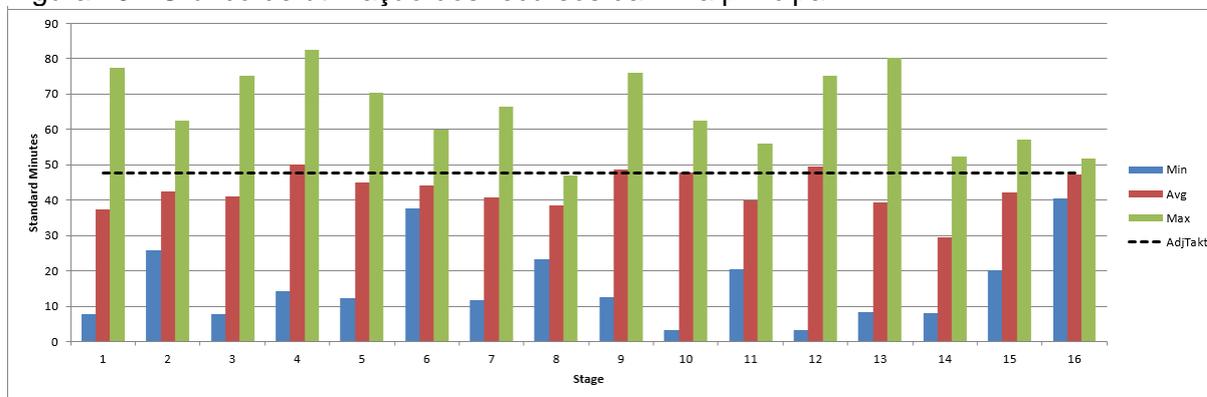
A dificuldade de gerenciamento dos recursos aumenta, a medida em que são colocados os modelos maiores – com maior tempo de processo – dos produtos 1 e 3 em sequência.

4.4.1.2 Análise de utilização dos recursos

A aplicação do quadro *yamazumi*, adaptado pela empresa do estudo em questão (DLBT), foi utilizado para verificar a carga de trabalho atribuída a cada operador. Com a Figura 19 é possível perceber as variações entre a carga de trabalho mínima e máxima de cada recurso. As barras verdes representam a máxima utilização do operador para um dado produto e modelo, da mesma forma, as barras azuis a utilização mínima. A linha tracejada representa o *takt time* para a produção definida – 12 unidades/dia.

Através do gráfico da figura 19, é possível a análise e verificação do impacto do *mix* de produção no balanceamento da linha. Quando é produzido um modelo de um produto com alta carga de trabalho, alguns recursos e postos sobrecarregam, enquanto isto, no posto seguinte, precisaria estar um modelo com menor carga de trabalho, disponibilizando recursos para auxílio no posto de maior carga, balanceando a carga total da linha.

Figura 19 - Gráfico de utilização dos recursos da linha principal



Fonte: O autor, 2016.

Pelo gráfico da Figura 19 é possível perceber que praticamente todos os recursos, em algum momento para determinado modelo ficam sobrecarregados. Isto não quer dizer que todos tenham alta carga para o mesmo modelo. Entretanto, cabe observar que para alguns modelos a utilização é baixa. Isto faz com que, ajustando o *mix* de produção, obtenha-se um balanceamento satisfatório, sem que seja necessárias grandes alterações de arranjo físico ou de processo.

4.4.2 Mapeamento das movimentações utilizando diagrama de espaguete

A realização de observações do processo produtivo no chão de fábrica, é essencial aos engenheiros de manufatura para despertar a percepção de oportunidades de melhoria. Através de observações no fluxo do processo e dos operadores, foram percebidas perdas por movimentações na linha de montagem.

A implementação de uma *running change*, ou seja, atualização nos produtos correntes, acrescentou alguns minutos no tempo de montagem para todos os produtos. Para minimizar o impacto desta alteração, foi realizado um trabalho de eliminação de perdas de movimentação através da aplicação da ferramenta de diagrama de espaguete.

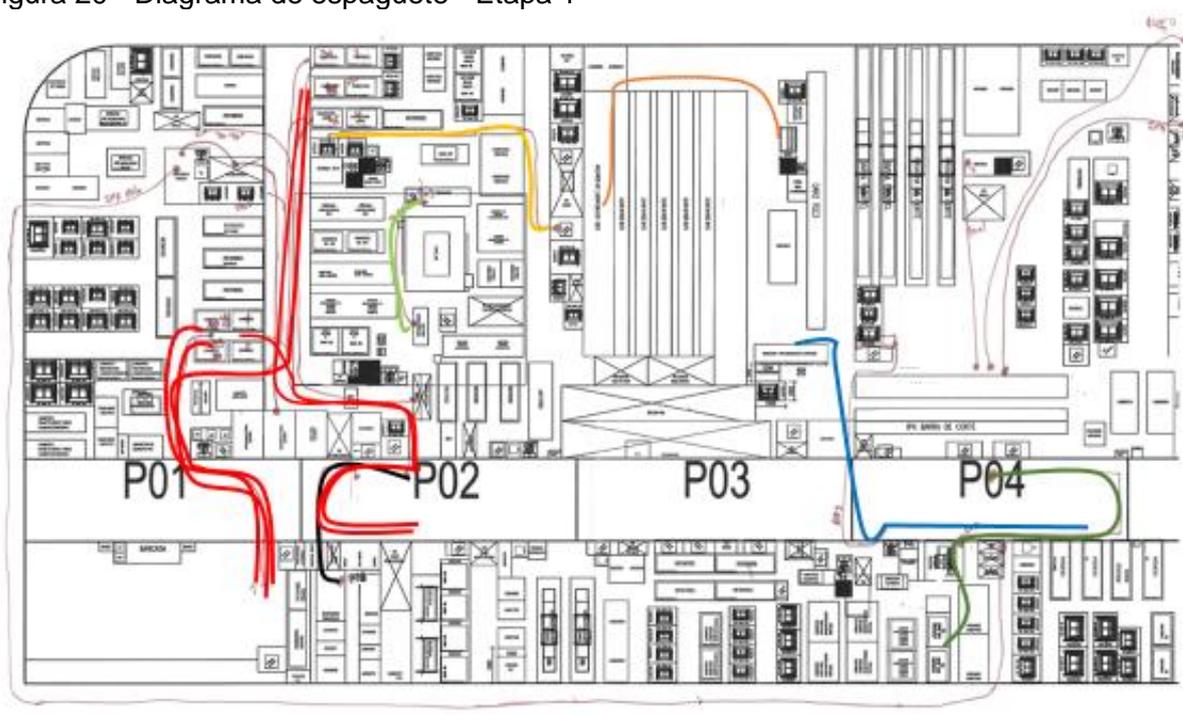
O diagrama de espaguete é uma das ferramentas do *lean manufacturing* utilizadas para mapear as perdas por movimentação, demonstrando de forma visual o deslocamento do operador para realização de determinada tarefa. O objetivo da aplicação desta ferramenta é a redução de desperdícios de NVA (*Non Value Add*) disponibilizando o tempo para outras atividades que agreguem valor.

O desenvolvimento do diagrama de espaguete, neste estudo, mapeou as principais movimentações identificadas. Devido ao tamanho da linha de montagem, a identificação ocorreu em duas etapas, dividindo o processo do posto um ao quatro, e do posto cinco ao oito.

A

Figura 20, mostra as operações mapeadas na primeira etapa. Cada cor de linha, representa uma operação que gera os deslocamentos indicados.

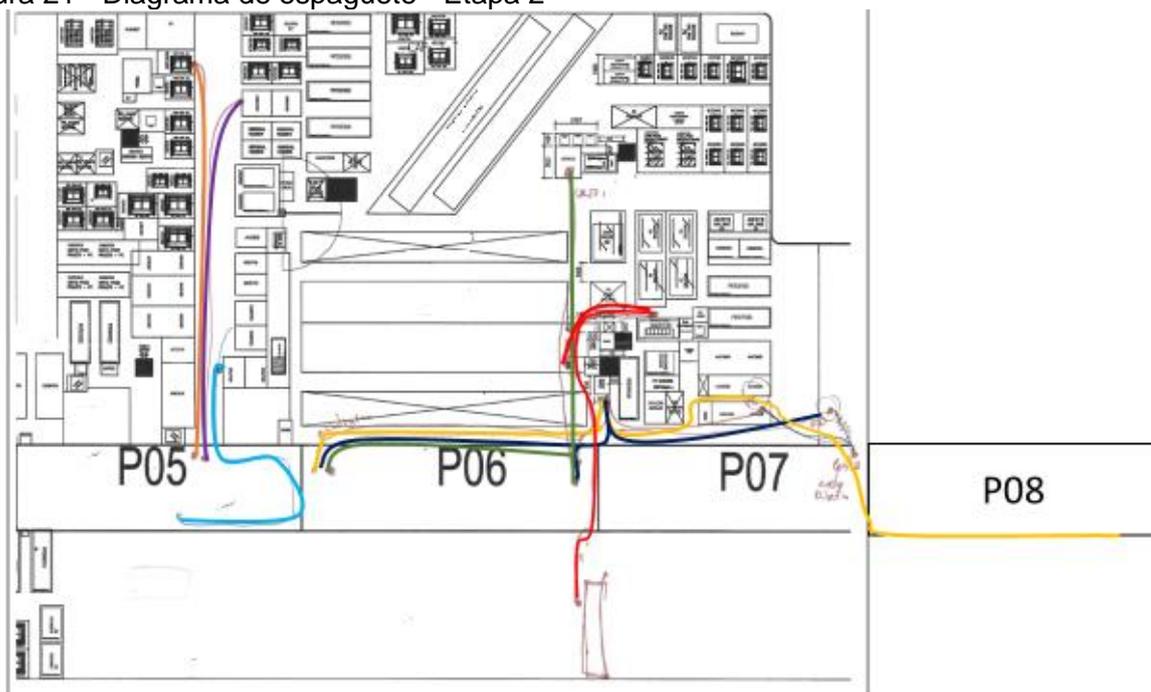
Figura 20 - Diagrama de espaguete - Etapa 1



Fonte: O autor, 2016

Na segunda etapa, foram mapeadas as movimentações para os demais postos, conforme a Figura 21. Foram utilizadas, assim como na primeira etapa, cores para identificação de cada operação.

Figura 21 - Diagrama de espaguete - Etapa 2



Fonte: O autor, 2016.

O deslocamento para cada operação mapeada foi determinado com base no método e deslocamentos realizados no chão de fábrica e no desenho do arranjo físico da área. Os valores de deslocamento obtidos foram compilados na Tabela 3. Cada cor na tabela representa um processo no diagrama. A coluna “Qtd média/dia” é o fator multiplicador para a distância, de acordo com a quantidade de cada produto produzido, levando em consideração a produção diária estimada. Assim, é possível determinar o deslocamento total por dia para esta produção.

Tabela 3 - Distâncias mapeadas no diagrama de espaguete.

Identificação do Processo	Distância (metros)	Qtd média/dia	Distância total/dia
Etapa 1 - Postos 1 ao 4			
P01_Produto 1B	36	2	72
P01_Produto 1C	36	2	72
P01_Produto 1A	68	1	68
P01_Peças Produto 2	71	5	355
P01_Produto 1D	78,4	1	78,4
P02_Produto 1B	42,2	2	84,4
P02_Produto 1C	43,8	2	87,6
P02_Produto 1A	54,4	1	54,4
P02_Peças Produto 2	57,8	5	289
P02_Produto 1D	61	1	61
	24,8	6	148,8
	21,6 3 conjuntos	64,8	129,6
	35,6	5	178
	34,2	5	171
	26,6 LE	42,8 LD	416,4
	35,8 2 operadores	71,6	214,8
Etapa 2 - Postos 5 - 8			
	40,6	6	243,6
	42,6	6	255,6
	34,2	6	205,2
	85,6	5	428
	36,2	3	108,6
	43	6	258
	56,4	6	338,4
Total			4317,8

Fonte: O autor, 2016.

De acordo com a Tabela 3, o deslocamento total mapeado, levando em consideração a produção diária de 12 máquinas/dia e as quantidades médias de cada produto, é de 4317,8 metros.

4.5 PROPOSTAS DE MELHORIAS

Com base nas análises realizadas, é possível perceber a necessidade de melhorias no gerenciamento do processo. Para as propostas de melhorias, procurou-se a redução de desperdícios no sistema produtivo e melhor gerenciamento das cargas de trabalho e recursos nos postos de trabalho.

Foram analisadas, com base nos dados obtidos formas de gerenciar a carga de trabalho através da teoria das restrições, propondo estas para o planejamento da produção da linha em questão. Também, foram levantadas propostas para redução de perdas de movimentação, identificadas através do diagrama de espaguete, para minimizar o impacto de implementação de uma atualização nos produtos fabricados na linha, que irão demandar maior tempo de montagem.

4.5.1 Restrições propostas para o *mix* de produção

As análises e observações, já demonstradas na seção de análise de dados, juntamente com históricos de atrasos de produção relatados pelo supervisor de produção da área, demonstram o impacto *mix* de produção na linearidade do processo.

Utilizando a metodologia da teoria das restrições e dados do processo, foram elaboradas restrições e recomendações para o planejamento da produção da linha em questão, com o objetivo de evitar desbalanço de linha entre os postos de trabalho. O novo modelo implementado é o produto 1A, já considerado nas análise e proposta. As restrições e recomendações propostas são listadas a seguir, através da

Tabela 4.

Tabela 4 - Restrições e recomendações propostas.

Restrições (Não deve ocorrer)
Sequência de Produto 1A
Sequência de Produto 1B
Combinação de sequência de Produto 1A e 1B
Sequência de Produto 3 maior que o modelo G, porém evitar sequencias de Produto 3
Produto 3 entre Produto 1, principalmente se for o do modelo A e B do Produto 1
Recomendações
Intercalar produção de Produto 1 e Produto 2
Produzir Produto 3 entre Produto 2
Evitar sequências de Produto 1, porém, caso necessário, produzir os modelos A ou B apenas e sequência dos modelos C ou D

Fonte: O autor, 2016.

Estas restrições propostas, fazem com que não haja sequência de produtos com alta carga de trabalho em postos subsequentes, evitando dificuldades no gerenciamento dos recursos ou grandes desbalanço da produção. Uma das formas de evitar os atrasos de produção e dificuldades no gerenciamento dos recursos na linha de produção em questão, é intercalando produtos de maior e menor carga de trabalho, ou seja, que demandam maiores tempos de processamento entre produtos que demandem menor.

4.5.2 Proposta de redução de movimentação com base no diagrama de espagete

Foram avaliadas propostas para redução de desperdício por movimentações, reduzindo também, tempo de atividade que não agrega valor. Neste estudo, o tempo a ser disponibilizado pela proposta, será utilizado para suprir o aumento de tempo no processo devido a uma atualização nos produtos, conforme a Tabela 5.

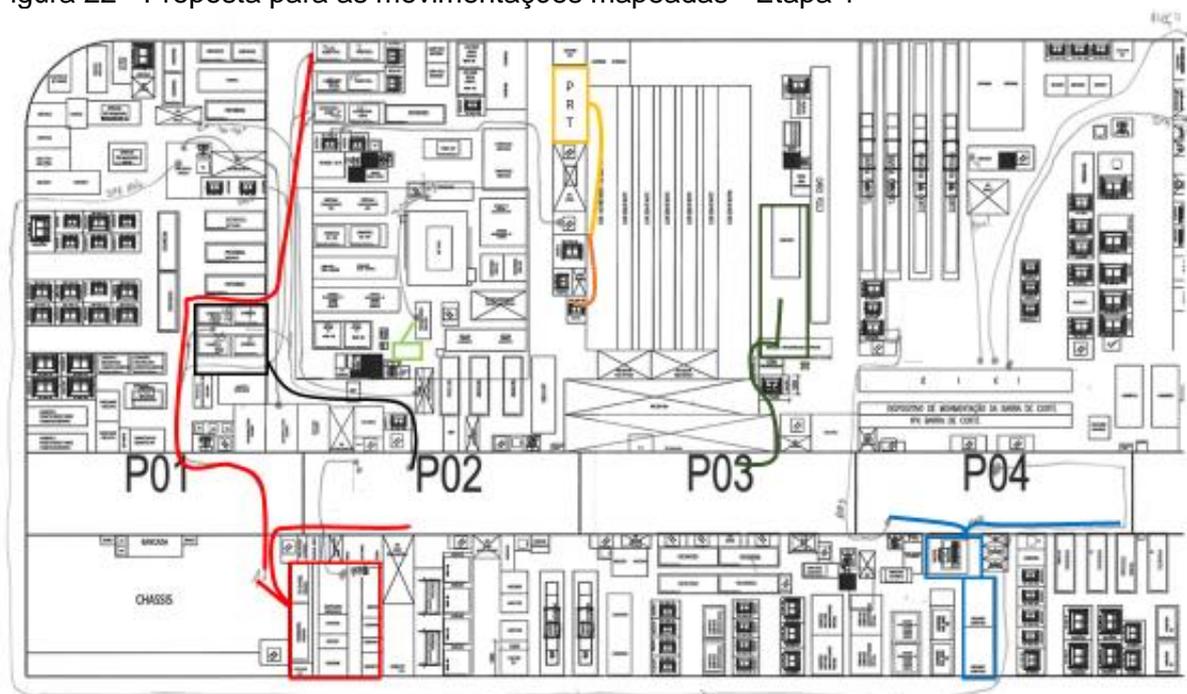
Tabela 5 - Tempo de montagem acrescido com a atualização dos produtos.

Atividade	Tempo
Montar componente 1 + componente 2	2,2825
Montar componente 3 no componente 2	0,7877
Montar componente 4 no componente 2	0,7877
Conectar componentes 2 em conjunto montado na primeira atividade	1,1351
Total	4,993

Fonte: O autor, 2016.

Assim, como na análise inicial das movimentações, as propostas foram divididas em duas etapas. Na primeira etapa, foram levantadas propostas dos postos 1 ao 4, conforme a Figura 22.

Figura 22 - Proposta para as movimentações mapeadas - Etapa 1



Fonte: O autor, 2016.

A seguir, estão descritas as alterações propostas para melhoria de deslocamentos no processo, para a etapa 1.

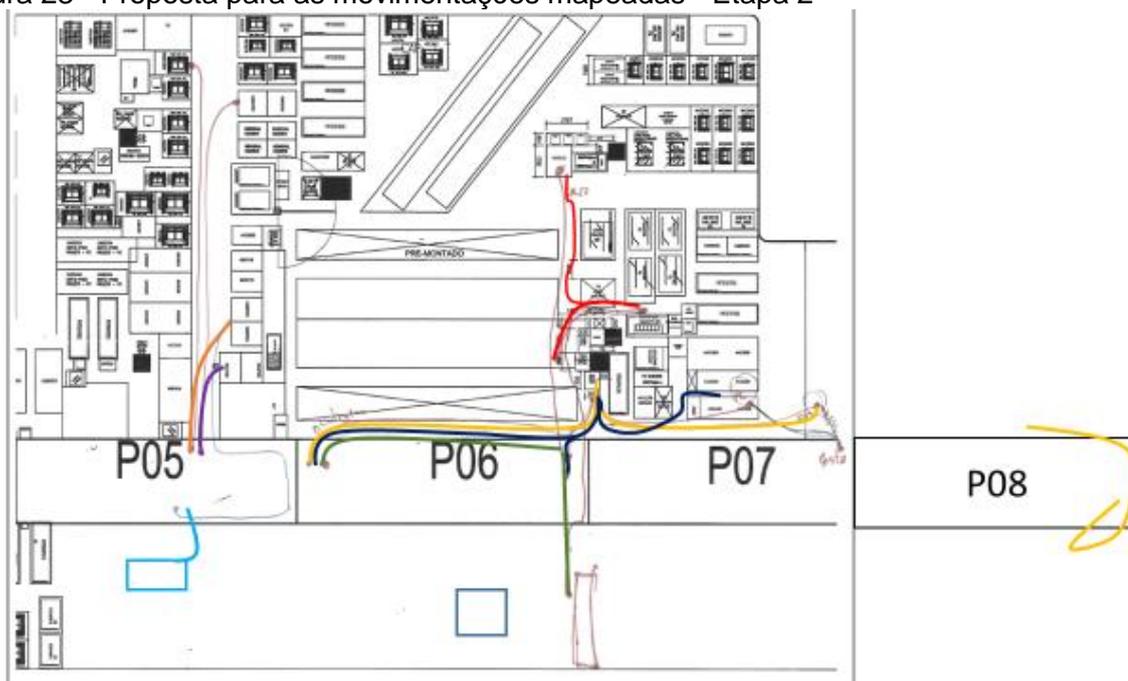
- Vermelho e Preto: alocação dos itens em vermelho, anteriormente acima linha de montagem, no local onde estavam os itens pretos. Como os itens em preto tem IPK e são montados na parte frontal do produto no posto 2, o acréscimo de deslocamento não é significativo. Entretanto, torna-se significativo para os itens em vermelho pois além de serem montados na parte traseira do produto, requerem movimentação para cada unidade produzida. Esta alteração envolve apenas modificações no arranjo físico.
- Verde claro: inclusão de uma bancada de pré-montagens com os itens necessários para tal, alocados nela. Esta movimentação ocorre 3 vezes para cada unidade do Produto 1 produzida.

- Amarelo: inclusão de uma prateleira (PRT) para alocar os itens contidos em container. Neste caso há alteração de processo logístico para os itens.
- Laranja: alteração do processo de manufatura do item para compra do conjunto montado, eliminando processo de prensagem. Esta ação eliminaria um processo de prensa manual que pode gerar problemas de ergonomia e de segurança. Foi realizada a comparação dos custos de manufaturar e comprar o item pronto do fornecedor. Uma análise mais rigorosa é exigida neste caso, porém a diferença de valor para estes itens é insignificante ou vantajosa na compra do conjunto montado.
- Verde escuro e Azul: inversão do local de montagem entre o item verde escuro e azul. Este processo envolve, além de alterações em arranjo físico, alterações no local de montagem do item verde escuro. A alteração do local de montagem do item verde escuro, por não se tratar de um item com tempo significativo, não impactaria em desbalanço de linha. Atualmente o item que é pré-montado na parte frontal é montado na parte traseira do produto, e o outro a situações é o contrário. Esta alteração corrige esta movimentação.

Igualmente à primeira etapa, foram elaboradas propostas para a etapa 2,
conforme a

Figura 23.

Figura 23 - Proposta para as movimentações mapeadas - Etapa 2



Fonte: O autor, 2016.

A seguir, estão descritas as alterações propostas para melhoria de deslocamentos no processo, para a etapa 2.

- Laranja: alocação do item em um espaço disponível, mais próximo do ponto de consumo. Esta alteração envolve apenas mudanças no local de pagamento do item.
- Azul claro: alocação do item em um espaço disponível, mais próximo e do mesmo lado do ponto de consumo. Esta alteração envolve apenas mudanças no local de pagamento do item.
- Roxo: alocação do item, no local onde estava alocado o item azul. Apenas há alteração no local de pagamento do item.
- Verde e Vermelho: inversão de local de pagamento dos itens. Com isto será evitado que o item consumido de um lado da linha seja buscado em outro, necessitando atravessar a linha principal. Esta alteração envolve alterações de processo logístico dos itens e de arranjo físico.
- Amarelo e azul escuro: o item da linha amarela são do produto 2, tem montagem de duas unidades – uma do lado esquerdo no posto 6 e outra do lado direito do produto no posto 8. O item azul escuro tem montagem de duas unidades no posto 6, para o produto 1. Desta

forma, a proposta prevê alocação de uma das unidades do item amarelo próxima ao posto 8 e a outra no local do item roxo. O item roxo ficaria no local do item amarelo, assim, como as duas unidades são montadas no posto 6, estará mais perto do ponto de consumo.

Todas as alterações propostas foram mapeadas, e comparadas às distâncias teóricas em relação ao processo atual, como pode ser observado na Tabela 6.

A coluna “Qtd média/dia” faz referência a quantidade de vezes que é necessária a operação por dia para a produção estimada de 12 unidades com as quantidades médias de cada produto.

Tabela 6 - Distâncias atuais e propostas mapeadas no processo

	Ident. Proc.	Distância	Diferença	Qtd média/dia	Dif. Média/dia
Figura 1					
Antes	P01_Produto 1B	36			
Depois		4,2	31,8	2	63,6
Antes	P01_Produto 1C	36			
Depois		5,6	30,4	2	60,8
Antes	P01_Produto 1A	68			
Depois		68	0	1	0
Antes	P01_Peças Produto 2	71			
Depois		71	0	5	0
Antes	P01_Produto 1D	78,4			
Depois		8,4	70	1	70
Antes	P02_Produto 1B	42,2			
Depois		13,2	29	2	58
Antes	P02_Produto 1C	43,8			
Depois		15,4	28,4	2	56,8
Antes	P02_Produto 1A	54,4			
Depois		54,4	0	1	0
Antes	P02_Peças Produto 2	57,8			
Depois		57,8	0	5	0
Antes	P02_Produto 1D	61			
Depois		19,2	41,8	1	41,8
Antes		24,8			
Depois		29,6	-4,8	6	-28,8
Antes		21,6 3 conjuntos	64,8		
Depois		3,48 3 conjuntos	10,44	6	326,16
Antes		35,6			
Depois		12,494	23,106	5	115,53
Antes		34,2			
Depois		8,974	25,226	5	126,13

Antes		26,6 LE	42,8 LD	55		
Depois		7,2 LE	7,2 LD		6	330
Antes		35,8 2 operadores	71,6	38		
Depois		16,8 2 operadores	33,6		6	228

Figura 2							
Antes		40,6					
Depois		16,8		23,8	6	142,8	
Antes		42,6					
Depois		12		30,6	6	183,6	
Antes		34,2					
Depois		10,2		24	6	144	
Antes		85,6					
Depois		69,6		16	5	80	
Antes		36,2					
Depois		25,6		10,6	3	31,8	
Antes		43					
Depois		25,5		17,5	6	105	
Antes		56,4					
Depois		40,8		15,6	6	93,6	
				Totais	560,392	94	2228,82

Fonte: O autor, 2016.

Através da Tabela 6 é possível verificar o total da diferença diária de deslocamento com as propostas de alteração. A redução estimada é de aproximadamente 2228 metros/dia.

Utilizando os tempos padrões de caminhada, definidos pela empresa do estudo, a um ritmo de 100%, são obtidos os tempos por turno, semanais e mensais de redução de tempo com a proposta. Estes tempos estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7 - Tempo médio de redução com a proposta elaborada

0,025 minutos p/ caminhar 1m
55,721 minutos/turno (12 máquinas)
278,603 minutos/semana
1114,410 minutos/mês
Média Tempo/produto reduzido (12 um/dia)
4,643 minutos/máquina

Fonte: O autor, 2016.

Considerando o tempo acrescido com a atualização nos produtos, e a proposta de redução de tempo em deslocamento através do diagrama, o impacto desta atualização seria minimizado pois o tempo médio reduzido por máquina é similar ao tempo acrescido. Tempo reduzido = 4,643 minutos/produto. Tempo acrescido com a atualização = 4,993 minutos/produto.

4.5.3 Proposta de implementação de sistema andon

Outra melhoria proposta, é implementação de sistema andon na linha de montagem. Este sistema é basicamente um painel indicador do processo. Desta forma, poderia ser utilizado tanto para indicar falta de peças na linha quanto para indicar atrasos. Isto disponibilizaria o tempo do supervisor de produção da área e do facilitador da linha para outras atividades, que não seja gerenciar atrasos e comunicação de falta de peças.

Nesta proposta, cada estação de trabalho teria uma forma de acionamento para comunicação visual e sonora. Assim que o painel indicasse alguma inconsistência no processo, todos ficariam sabendo e se auto gerenciariam para corrigir o problema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Utilizando os conceitos abordados na revisão de bibliografia, apresentada no capítulo 2 deste trabalho, foi realizada análise de uma linha de montagem em uma empresa do setor metal mecânico com finalidade de identificar oportunidades de melhoria no sistema produtivo e no balanceamento da produção para aumento da utilização dos recursos.

Através da utilização das ferramentas *lean* para balanceamento de linha, foi possível o levantamento de dados do processo e uso destes para gerar informações analíticas para compreensão da situação atual do processo e propostas de melhoria no mesmo. Foram coletados dados, tanto de documentações disponibilizadas pela empresa do estudo, quanto por observações no chão de fábrica, entrevistas com operadores e supervisão de produção da área. As análises também basearam-se nos tempos, método utilizado no processo, e programação da produção.

A análise dos dados resultou em identificação de oportunidade de melhoria no *mix* de produção, que pelo método da teoria das restrições puderam ser propostos projetos de modo a eliminar restrições em 4 postos de trabalho, postos subsequentes e atrasos de produção nestes. São evitados também, esforços extras para compensar os atrasos e comprometimento da entrega do produto ao cliente gerando insatisfação do mesmo.

A identificação de perdas no processo também foi realizada, através de observações, onde identificando perdas por movimentações, foi aplicado a ferramenta de diagrama de espaguete para mapear os deslocamentos críticos e propor melhorias para estes. A redução de tempo através dos projetos de melhoria propostos, possibilita a implementação de novos componentes, os quais são necessários nos produtos correntes sem acréscimo de tempo. Com isto, a proposta reduz, aproximadamente, 4,6 minutos/máquina de movimentações, ou seja, atividades que não agrega valor, disponibilizando este tempo para montagem dos novos componentes, agregando valor ao produto.

Diante do apresentado, é possível afirmar que todos os objetivos específicos deste trabalho foram atingidos, uma vez que foram levantados dados do processo, analisando os mesmos com uso de ferramentas da manufatura enxuta, identificando oportunidades de melhoria e perdas no processo, e por fim, elaborando propostas de melhoria para as oportunidades identificadas. O objetivo geral do trabalho

também é atingido, uma vez que reduzindo perdas no processo e definindo restrições ao *mix* que evitem atrasos de produção, a utilização dos recursos é melhorada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. S. et al. **Utilização da simulação em ARENA 7.0 no auxílio ao balanceamento da célula de montagem de uma fábrica de calçados.** In: ENEGEP. n. XXVI, 2006, Fortaleza.

ANTUNES J. et. al. **Sistemas de Produção:** Conceito e práticas para projeto e gestão de produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023 (NB 66): **Informação e documentação:** referências de elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

BARNES, R. M. **Estudo de Movimentos e de Tempos: projeto e medida do trabalho.** 6.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.

BARROS R. **Bases da Organização da Produção Artesanal:** Taylorismo Fordismo Ohnoismo. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgOtAAH/aula-1-bases-organizacao-producao-artesanal-taylorismo-fordismo-ohnoismo>>. Acesso em: 03 out. 2016.

BLATI, A. C; KELENCY, I. P; CORDEIRO, R. W. L. et al. **Balanceamento de operações:** Aplicação da ferramenta de balanceamento de operações em uma linha de produção de bombas de combustíveis. 75f. Dissertação (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2010.

BUTTON, S. T. **Produção em Massa x Manufatura Enxuta.** Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/graduacao/EM335/Temas/Manufatura%20Enxuta/Produ%E7%E3o%20em%20Massa%20x%20Manufatura%20Enxuta.htm>>. Acesso em: 29 set. 2016.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N. **Just in time, MRPII e OPT.** 2.ed. São Paulo: Atlas, 1993.

COGAN, S. **Aplicação da teoria das restrições nas decisões de longo prazo através da integração com o custeio baseado-em-atividades e com a utilização de um modelo de programação linear mista-inteira.** In: IX CONGRESSO INTERNACIONAL DE CUSTOS. 2005.

CUNHA, A.; GOMES, J. e SILVERIO, L. **Eliminação de Desperdícios na Manufatura Enxuta.** Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAC7UAH/eliminacao-disperdicios>>. Acesso em: 17 set. 2016.

FERREIRA, F. P. **Análise da Implantação de um Sistema de Manufatura Enxuta em uma Empresa de Autopeças.** Dissertação de Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional do Departamento de Economia, Contabilidade e Administração. Universidade de Taubaté, Taubaté, 2004.

GAITHER, N. **Administração da Produção e Operações.** 8.ed. São Paulo: Pioneira, 2002.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Ed. Atlas, 2002, 47p.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A Meta**: Um processo de aprimoramento contínuo. São Paulo: Educator, 2002.

GOMES, J. E. N. et al. Balanceamento de linha de montagem na indústria automotiva – Um estudo de caso. In: ENEGEP. N XXVIII, 2008, Rio de Janeiro.

JÚNIOR, J.; KLIPPEL, M. **Análise Crítica do Inter-Relacionamento das Perdas e dos Subsistemas do Sistema Toyota de Produção**. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR12_0797.pdf>. Acesso: 13 set. 2016.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **Léxico Lean**: Glossário Ilustrado para praticantes do pensamento Lean. São Paulo. 2003.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **Pensamento Enxuto**. Disponível em: <<http://www.lean.org.br/>>. Acesso em: 18/09/2016.

MAKIGAMI. **Sistema Andon**. Disponível em: <<http://www.makigami.info/andon/>>. Acesso em: 14 set. 2016.

MAZIERO, L. **Aplicação do Conceito do Método da Linha de Balanço no Planejamento de Obras Repetitivas**: Um levantamento das Decisões Fundamentais para a sua Aplicação. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1990.

MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações**. 1.ed. São Paulo: Pioneira, 2002.

NOREEN, E.; SMITH, D.; MACKEY, J.T. **A teoria das restrições e suas implicações na contabilidade gerencial**. São Paulo: Educador, 1996. 184 p.

OLIVEIRA, F. L.; MONTEIRO, H.; FERRARI, V. M.; **Aplicação do processo “Lean Manufacturing” na cabine de pintura de aeronaves**. Disponível em: <http://biblioteca.univap.br/dados/000003/0000039E.L.eMonteiro_H..pdf>. Acesso em: 03 out. 2016.

PEINADO, J.; GRAEMI, A. R. **Administração da Produção. Operações Industriais e de Serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.

ROCHA, D. **Fundamentos Técnicos da Produção**. São Paulo: Makron Books, 1995.

ROCHA, E. V. M. **Métodos e sistemas de gestão de produção de veículos sob a ótica das tendências de produção sob encomenda e de customização em massa**. 2005. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=7074@1&msg=28#>. Acesso em: 29 set. 2016.

ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando o fluxo contínuo**: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção. Tradução de Nilton Marchiori e Carlos Lobo. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2004.

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

SCHNEIDER, J. **Implementação de Sistema Sequenciado Comparado ao Tradicional MRP**: um Estudo de Caso em Indústria de Máquinas Agrícolas. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia / Engenharia Automotiva – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SEVERIANO FILHO, C. **Um enfoque vetorial da produtividade em um sistema de avaliação para a manufatura avançada na indústria de alimentos**. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SILVA, G. G. M. P. **Implantando a manufatura enxuta**: um método estruturado. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

TOYOTA. **Just-in-Time — Philosophy of complete elimination of waste**. Disponível em: <http://www.toyota-global.com/company/vision_philosophy/toyota_production_system/just-in-time.html>. Acesso em: 15 set. 2016.

VOLLMANN, T. E.; BERRY, W. L. **Sistemas de Planejamento & Controle da Produção para o Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas**: Elimine o Desperdício e Crie Riquezas. 7.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.