

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

SERGIO EDUARDO MORSELLI
THOMAS GREIFFO VON BUETTNER

**ESTUDO E LEVANTAMENTO ESTATÍSTICO DO MAPEAMENTO DO
FLUXO DE VALOR (MFV), ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SEUS
EFEITOS NA TRANSFORMAÇÃO DE UMA MANUFATURA ENXUTA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2013

SERGIO EDUARDO MORSELLI
THOMAS GREIFFO VON BUETTNER

**ESTUDO E LEVANTAMENTO ESTATÍSTICO DO MAPEAMENTO DO
FLUXO DE VALOR (MFV), ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SEUS
EFEITOS NA TRANSFORMAÇÃO DE UMA MANUFATURA ENXUTA**

Proposta de Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 1 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Antonio Reaes

CURITIBA

2013

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a Proposta do Projeto de Pesquisa ESTUDO E LEVANTAMENTO ESTATÍSTICO DO MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR (MFV), ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SEUS EFEITOS NA TRANSFORMAÇÃO DE UMA MANUFATURA ENXUTA, realizado pelo alunos Sergio Eduardo Morselli e Thomas Greiffo von Buettner, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 1, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Dr. Paulo Antonio Reaes
DAMEC, UTFPR
Orientador

Prof. Mestre em Engenharia Osvaldo Verussa Junior
DAMEC, UTFPR
Avaliador

Prof. Mestre em Engenharia Tiago Rodrigues Weller
DAMEC, UTFPR
Avaliador

Curitiba, 10 de outubro de 2013.

RESUMO

VON BUETTNER, Thomas G.; MORSELLI, Sergio E. Estudo e levantamento estatístico do mapeamento do fluxo de valor (MFV), através da análise de seus efeitos na transformação de uma manufatura enxuta. 2013. 70 f. Monografia – Engenharia Industrial Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

A obtenção de vantagem competitiva e a diferenciação no mercado são essenciais para uma organização se destacar e prosperar. Nesse contexto, a utilização de um sistema de manufatura flexível pode ser uma fonte de vantagem e diferenciação, entretanto, a implementação do sistema de produção Toyota ainda é um grande obstáculo para empresas pela falta de conhecimento das ferramentas disponíveis. Desta forma, o presente trabalho se propõe a estudar o Mapeamento do Fluxo de Valor, uma ferramenta bastante recente e ainda pouco utilizada que faz parte do conjunto das técnicas e conceitos da manufatura enxuta. Além do estudo teórico conceitual através da leitura e estudo dos referenciais bibliográficos sobre o tema, realizou-se um levantamento estatístico de 33 estudos de caso em que é aplicada esta ferramenta, e previu-se com confiabilidade de 90% uma redução de 52 à 66% no *lead time*. Através da análise criteriosa dos artigos com as maiores reduções de *lead time*, constatou-se que estavam associados com a aplicação de diversas outras ferramentas da manufatura enxuta, principalmente as 7 ferramentas de mapeamento de desperdício. Portanto, o mapeamento do fluxo de valor auxilia a aplicação estruturada e estratégica das mais diversas técnicas do sistema Toyota de produção para redução de estoques e *lead time*. Com relação ao tempo de ciclo, não se pode afirmar com precisão a existência de uma correlação minimamente forte para se relacionar a aplicação do mapeamento do fluxo de valor com a redução do tempo de ciclo.

Palavras-chave: Manufatura Enxuta. Mapeamento do Fluxo de Valor. Eliminação de Desperdícios. Sistema Toyota de Produção. Ferramentas *Lean*.

ABSTRACT

VON BUETTNER, Thomas G.; MORSELLI, Sergio E. Estudo e levantamento estatístico do mapeamento do fluxo de valor (MFV), através da análise de seus efeitos na transformação de uma manufatura enxuta. 2013. 70 f. Monografia – Engenharia Industrial Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

Gaining competitive advantage and differentiation in the market place is essential for any company that wants to thrive. In the presented context, the usage of a flexible manufacturing system might become a source of competitive advantage, however, the implementation of the Toyota production system is still an obstacle to be surpassed due to the lack of knowledge of the available tools. Therefore, this paper presents a study about the Value Stream Mapping Tool, which was recently developed and is still under used. It is among the set of many techniques and concepts of the lean manufacturing. Besides the theoretical study through the reading of many renowned references about the theme, data was collected from 33 case studies and made possible the prediction of 52 to 66% of lead time reduction with a confiability of 90%. Considering the critical analysis of the articles that had the largest reduction in lead time, it was noticed that they were associated with the application of many others lean manufacturing tools, specially the 7 waste mapping tools. Thus, value stream mapping helps a structured and strategic application of various Toyota Production System's techniques aiming to reduce inventories and lead time. Regarding the cycle time, no strong relationship between the application of the value stream mapping and the reduction of cycle time was noticed.

Keywords: Lean Manufacturing. Value Stream Mapping. Waste Removal. Toyota Production System. Lean Tools.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa do Fluxo de Valor Presente.....	17
Figura 2 – Matriz-Resposta da Cadeia de Suprimento.....	25
Figura 3 – Funil de Variedade da Produção.....	27
Figura 4 – Mapeamento do Filtro da Qualidade.....	28
Figura 5 – Efeito Forrester.....	29
Figura 6 – Mapeamento da Amplificação da Demanda.....	30
Figura 7 – Análise do Ponto de Decisão.....	31
Figura 8 – Estrutura Física.....	31
Figura 9 – Sistema Puxado com Supermercado.....	34
Figura 10 – Ícones usados para representação de sistemas puxados.....	34
Figura 11 – Linha <i>First In, First Out</i>	35
Figura 12 – Ícone de Nivelamento de Carga.....	36
Figura 13 – Ícone de Melhoria <i>Kaizen</i>	38
Figura 14 – Mapa do Fluxo de Valor Futuro.....	39
Figura 15 – Identificação dos Loops no Mapa de Fluxo de Valor.....	40
Figura 16 – Quantidade de publicações ao longo do período analisado.....	46
Figura 17 – Distribuição de Frequências para o <i>Lead Time</i>	57
Figura 18 – Distribuição de Frequências para o Tempo de Ciclo.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Grau de Correlação entre Ferramentas e Desperdícios.....	23
Tabela 2 – Mapeamento da Atividade do Processo.....	24
Tabela 3 – <i>Lead Time</i>	50
Tabela 4 – Tempo de Ciclo.....	59

LISTA DE SIGLAS

MFV	Mapeamento do Fluxo de Valor
TC	Tempo de Ciclo
TR	Tempo de Troca
TPT	Toda Peça Todo
CEP	Controle Estatístico do Processo
PPM	Peças Por Milhão
FIFO	<i>First In First Out</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
ABEPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção
ENEGEP	Congresso Nacional de Engenharia de Produção
PPP	Proposta de Projeto de Pesquisa
SMED	<i>Single Minute Exchange of Dies</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CONTEXTO DO TEMA	12
1.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	12
1.3	OBJETIVOS	13
1.4	JUSTIFICATIVA.....	13
1.5	ETAPAS DO TRABALHO.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR PRESENTE	16
2.1.1	Fábrica.....	16
2.1.2	Estoque	16
2.1.3	Caminhão	16
2.1.4	Caixa de Processo.....	18
2.1.5	Linha Estreita e Linha Estreita em Forma de Raio.....	19
2.1.6	Programações “Informais”	19
2.1.7	Produção Empurrada.....	19
2.1.8	Linha do Tempo	20
2.2	DESPERDÍCIOS EM UMA MANUFATURA ENXUTA.....	20
2.2.1	Tipos de Desperdício.....	20
2.3	FERRAMENTAS DE MAPEAMENTO DA MANUFATURA ENXUTA.....	22
2.3.1	Mapeamento da Atividade do Processo	23
2.3.2	Matriz-Resposta da Cadeia de Suprimento	25
2.3.3	Funil de Variedade de Produção.....	26
2.3.4	Mapeamento do Filtro de Qualidade	27
2.3.5	Mapeamento da Amplificação da Demanda	28
2.3.6	Análise do Ponto de Decisão.....	30
2.3.7	Estrutura Física.....	30
2.4	MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR FUTURO	32
2.4.1	Produzir de acordo com o <i>Takt Time</i>	32
2.4.2	Desenvolver um Fluxo Contínuo	33
2.4.3	Sistema Puxado com Supermercados	33
2.4.4	Enviar a Programação do Cliente para um Processo de Produção	35
2.4.5	Nivelamento do Mix de Produção	36
2.4.6	Retirada Compassada.....	37
2.4.7	Toda Peça Todo Dia.....	37
2.4.8	Melhorias <i>Kaizen</i>	38
2.4.9	Mapa do Fluxo de Valor Futuro	38
2.5	INTERVALO DE CONFIANÇA.....	40
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	43
3.1	OBTENÇÃO DE ARTIGOS E TRABALHOS	43
3.2	ANÁLISE DOS ESTUDOS DE CASO	45
3.3	ESTUDO ESTATÍSTICO: INTERVALO DE CONFIANÇA.....	46
3.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS A RESPEITO DA METODOLOGIA.....	47
4	MÉTODO DE EXECUÇÃO	48
4.1	PADRONIZAÇÃO DOS TRABALHOS	48
4.2	ESTUDOS DOS CASOS.....	48
5	RESULTADOS.....	50

5.1	MÉTRICA DE COMPARAÇÃO: <i>LEAD TIME</i>	50
5.2	INTERVALO DE CONFIANÇA PARA O <i>LEAD TIME</i>	56
5.3	MÉTRICA DE COMPARAÇÃO: TEMPO DE CICLO.....	58
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
6.1	APRESENTAR A FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA NECESSÁRIA E SUFICIENTE PARA A UTILIZAÇÃO COMPLETA DO MFV	62
6.2	LEVANTAR E COMPARAR OS DADOS QUANTITATIVOS DO FLUXO DE VALOR PRESENTE EM RELAÇÃO AO FLUXO DE VALOR FUTURO	62
6.3	COMPROVAR A UTILIDADE, APLICABILIDADE E EFICIÊNCIA DA FERRAMENTA.....	63
6.4	ESTUDAR AS MELHORES PRÁTICAS DOS AUTORES DOS ESTUDOS DE CASO	63
6.5	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	64
	REFERÊNCIAS.....	65
	ANEXO A – DISTRIBUIÇÃO T DE STUDENT.....	70

1 INTRODUÇÃO

Do ponto de vista do sistema produtivo, pode-se identificar o valor sendo criado e fluindo de processo a processo na cadeia produtiva. Portanto, fluxo de valor é toda ação necessária para trazer um produto por todos os fluxos essenciais até que ele chegue ao consumidor final (ROTHER; SHOOK, 2003).

Nem todos os processos pelos quais o produto percorre agregam valor, em muitos casos o valor pode ser nulo, como no caso de estocagem, transporte ou processamento excessivo.

Objetivando eliminar os processos que não agregam valor – e com isso eliminar desperdícios, Ohno (1997) criou a manufatura enxuta e apresentou seus estudos e aplicações na fábrica da Toyota. Desde então, seus conceitos se difundiram e inúmeras ferramentas derivaram de seus estudos. Ainda hoje, o sistema enxuto é estudado e constantemente melhorado, com novas ferramentas, novos conceitos e novas aplicações.

Ao conhecer o funcionamento e os conceitos do pensamento enxuto, empresas investem pesadamente em programas que geram redução de desperdício. Essa atitude geralmente traz retornos de curto prazo com mudanças visíveis geralmente em uma pequena parte do fluxo de valor total, como em um canal ou setor da empresa, por exemplo. Contudo, desse ponto de melhoria em diante, o fluxo de valor permanece inalterado. Por fim, o programa de redução de desperdícios é muitas vezes abandonado, seguido por programas de eliminação de gargalos ou de uma iniciativa Seis Sigma, mas isto geralmente produz as mesmas melhorias pontuais que o programa anterior, agregando pouco valor ao processo como um todo (WOMACK; JONES, 1998).

A ferramenta estudada neste trabalho, o mapeamento do fluxo de valor, ajuda a aplicar estrategicamente programas de melhorias contínuas (*kaizen*) ou outras técnicas de manufatura enxuta para a criação de um fluxo de valor enxuto. Dessa forma consegue-se que as melhorias sejam de longo prazo e observadas em todo o fluxo de valor, e não só em departamentos ou áreas.

1.1 CONTEXTO DO TEMA

A manufatura enxuta começou a ser desenvolvida após o final da segunda guerra mundial na fábrica da Toyota no Japão. Na época, o presidente da Toyota, após visitar linhas de produção da Ford nos Estados Unidos, percebeu que aquele formato era inviável num Japão pós-guerra. Os motivos identificados eram: um mercado doméstico limitado, uma força de trabalho não disposta a se submeter a ser tratada como uma peça intercambiável, uma economia desestabilizada e finalmente, uma grande competição disposta a tomar o mercado japonês (WOMACK; JONES; ROOS, 1992). Motivado a criar uma forma de produção que fosse viável no Japão, Taiichi Ohno observou desperdícios nas fábricas automobilísticas americanas e decidiu reduzi-los, criando o conceito de manufatura enxuta.

Apesar do conceito de manufatura enxuta ter sido desenvolvido na década de 50, o mapeamento do fluxo de valor (MFV) é uma ferramenta bastante recente. Os primeiros estudos são de Taiichi Ohno e de Peter Hines e ambos datam de 1997. Entretanto, o mapeamento do fluxo de valor na forma como é aplicado atualmente, foi apresentado pela primeira vez na obra de Rother e Shook de 2003. Desde então, diversos artigos e publicações vem aplicando o MFV a diversas indústrias e avaliando os resultados.

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

As publicações sobre o mapeamento do fluxo de valor se restringem a estudos de caso, em que a ferramenta é aplicada e os resultados são comparados com a situação antes do uso da ferramenta. Até a data deste trabalho, as buscas por materiais de consulta conforme realizados na seção 3 não encontraram nenhuma publicação que fizesse um levantamento de trabalhos realizados com o mapeamento do fluxo de valor, considerando inúmeras situações e segmentos industriais. Portanto, a aplicação da ferramenta do mapeamento do fluxo de valor se baseia na expectativa de que haverá uma melhora, mas nada se sabe quanto ao resultado que se espera obter com base no universo dos estudos anteriores de aplicação desta ferramenta.

Rother e Shook (2003) afirmam que para que se possa usar todo o potencial do MFV, é importante que se tenha um *sensei*, ou seja, um instrutor ou professor.

Entretanto, por ter sido criada há pouco tempo, é difícil encontrar um profissional que tenha ampla experiência, o que faz com que a grande parte dos usuários possui pouco ou nenhum conhecimento do MFV. Associado a isso, a manufatura enxuta ainda é muito associada à cultura japonesa, desta forma, as empresas ocidentais acreditam que não é possível adaptar este sistema à sua realidade (SUZUKI, 2002 apud SANTOS, 2007, p. 9).

Paralelamente a falta de parâmetros de comparação, o mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta que permite visualizar o fluxo de valor como um todo e a partir daí, facilitar a aplicação de técnicas de manufatura enxuta para redução de desperdícios. O uso desta ferramenta deve estar atrelado a um conhecimento específico das melhores práticas do pensamento enxuto, o que nem sempre faz parte dos conhecimentos e habilidades de quem deseja aplicar o MFV.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é servir como um complemento teórico para a aplicação do mapeamento do fluxo de valor. Em adição, objetiva-se comprovar o potencial da ferramenta através do levantamento, análise e comparação dos resultados quantitativos dos estudos de caso.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Apresentar a fundamentação teórica necessária e suficiente para a utilização completa do MFV;
- Levantar e comparar os dados quantitativos do fluxo de valor presente em relação ao fluxo de valor futuro dos estudos de caso disponíveis na literatura;
- Comprovar a utilidade, aplicabilidade e eficiência da ferramenta, através da comparação dos dados quantitativos dos estudos de caso;
- Estudar as melhores práticas realizadas pelos autores dos estudos de caso no mapa de fluxo de valor futuro e apresentá-las como um reforço e/ou validação da fundamentação teórica.

1.4 JUSTIFICATIVA

“A indústria continua sendo o núcleo indutor da economia, sem ela, os serviços não sobrevivem. Quando se investe em produção, os serviços são consequência” (RAMOS, 2013).

Os processos produtivos e a indústria de manufatura se encontram em grande escala em segmentos altamente competitivos. Somado a isso, a economia brasileira cresce com espaço para consolidação de muitos setores industriais. Uma oportunidade de diferenciação em mercados competitivos e alavancagem nessa crescente economia é o uso de ferramentas para ganho de produtividade e eficácia operacional, como o mapeamento do fluxo de valor.

A aplicação do mapeamento do fluxo de valor ainda é pequena em relação ao potencial que apresenta, sendo necessária a comprovação de sua eficácia para disseminar o seu uso nas mais diversas indústrias. Além disso, por ser uma ferramenta nova, pouco se sabe sobre a melhor forma de aplicá-la, sendo necessária a análise de estudos de caso, para expor e apresentar as melhores práticas dos usuários mais experientes.

1.5 ETAPAS DO TRABALHO

O presente trabalho está subdividido em 6 seções.

A introdução contextualiza o tema e expõe a importância e os objetivos buscados com a execução. A fundamentação teórica serve como uma revisão da literatura relevante sobre o mapeamento do fluxo de valor e algumas ferramentas acessórias. O terceiro capítulo, procedimentos metodológicos, detalha as metodologias utilizadas. O quarto, método de execução, expõe o que foi feito durante a execução do trabalho e que não está retratado nos procedimentos metodológicos. O capítulo de resultados, como o próprio nome já indica, apresenta e comenta os resultados obtidos à partir da execução do que estava previsto na metodologia e no método de execução. Por fim, as considerações finais concluem os resultados obtidos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta que ajuda a enxergar e entender o fluxo de material e de informação na medida em que o produto segue o fluxo de valor, isto é, as atividades e processos pelos quais o produto é submetido desde sua entrada até sua saída como um bem acabado. Com base no mapa de fluxo de valor presente da empresa, desenha-se o mapa do fluxo de valor futuro, que retrata como se espera que esteja o fluxo de valor da companhia após aplicação de técnicas e ferramentas da produção enxuta. Em seguida, é traçado um plano de ação, que envolve as atitudes e medidas que serão tomadas em um determinado período de tempo, para fazer com que o fluxo de valor da empresa atinja o que foi planejado no mapa do fluxo de valor futuro. Ao final desse prazo definido pelo plano de ação, o mapa do fluxo presente é redesenhado e o ciclo de melhorias se reinicia (WOMACK; JONES, 1998).

De acordo com Rother e Shook (2003), o mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta essencial, pois:

- (i) Ajuda a visualizar mais do que simplesmente os processos individuais;
- (ii) Ajuda a identificar mais do que os desperdícios. Mapear auxilia na identificação das fontes causadoras de desperdício;
- (iii) Fornece uma linguagem comum para tratar os processos de manufatura;
- (iv) Torna as decisões sobre o fluxo visíveis a todos, abrindo espaço para opiniões e discussões;
- (v) Une conceitos e técnicas enxutas, que ajuda a evitar a implementação de algumas técnicas isoladamente;
- (vi) Forma a base de um plano de implementação. O desenho de como o fluxo de valor total de porta-a-porta deveria ser torna-se referência e uma meta comum a ser atingida;
- (vii) Mostra a relação entre fluxo de informação e de material, o que nenhuma outra ferramenta faz.

Uma vez que desenhar o fluxo de valor envolve cruzar limites organizacionais, Rother e Shook (2003) aconselham a nomeação de um gerente do fluxo de valor, para que essa atividade não seja secundária ou até mesmo negligenciada. O

gerente do fluxo de valor tem como função garantir a articulação e conexão de cada parte que compõe o fluxo, bem como garantir que a mudança operacional aconteça.

Para que a ferramenta permita a visualização plena do fluxo de valor, também é indicado que cada família de produtos tenha seu fluxo desenhado. A família de produtos pode ser identificada como produtos que passam por processos semelhantes e utilizam o mesmo maquinário (WOMACK; JONES, 1998).

2.1 MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR PRESENTE

Tomando como base a Figura 1, de acordo com Rother e Shook (2003) o desenho de um fluxo de valor apresenta os seguintes componentes:

2.1.1 Fábrica

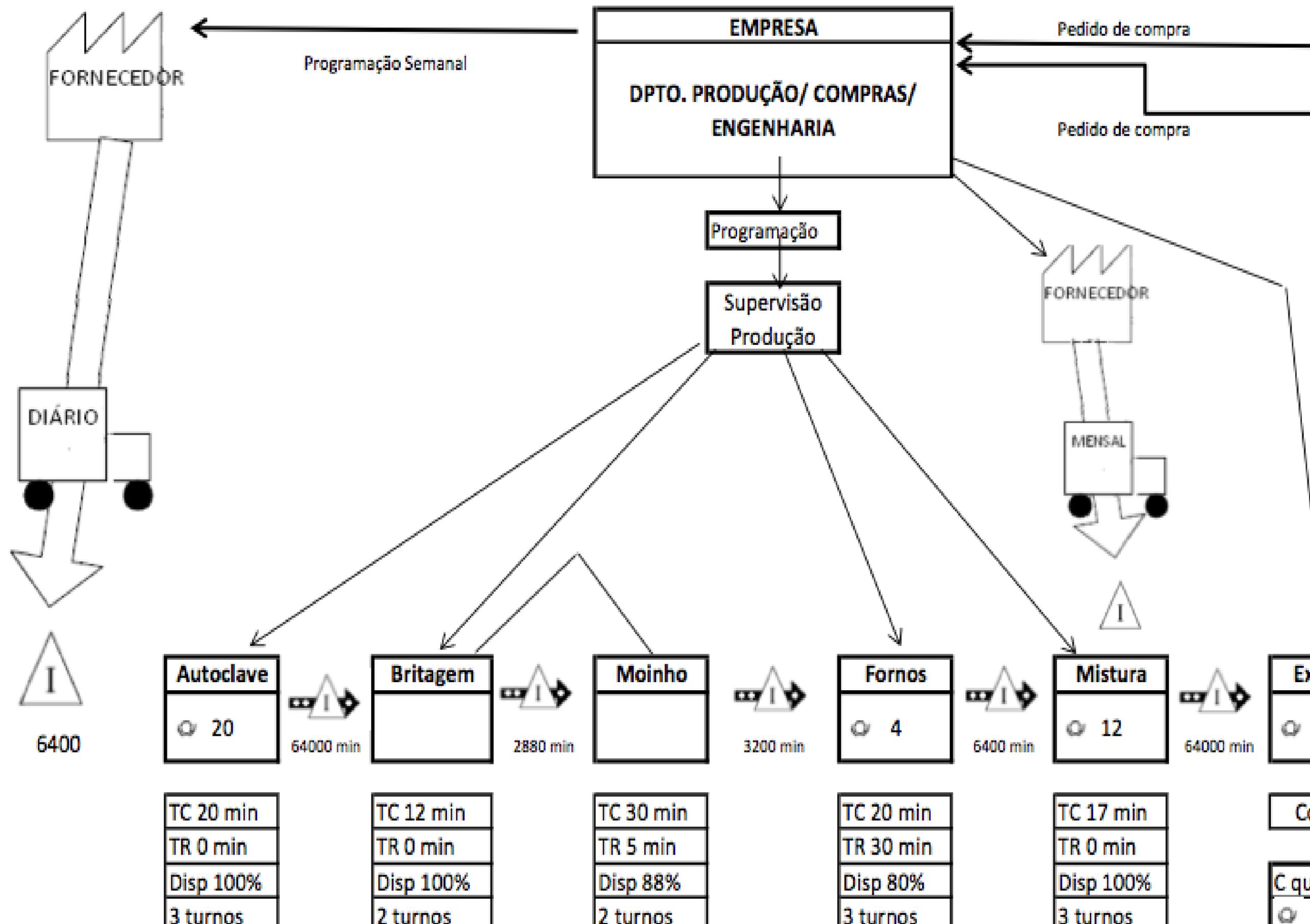
É o ícone usado nos cantos superior esquerdo e direito do mapa para representar o(s) fornecedor(es) e o(s) cliente(s) respectivamente. Abaixo do ícone fábrica do cliente sempre se encontrará uma caixa de dados com as informações referentes à demanda e necessidades da planta cliente. No caso do fornecedor, a caixa de dados pode ser usada para indicar informações referentes à matéria-prima fornecida. O nome do cliente e do fornecedor são escritos dentro do ícone fábrica.

2.1.2 Estoque

São representados por “triângulos de advertência” e mostram onde os estoques se acumulam no fluxo de material do produto. Abaixo do ícone são representados o número de peças estocadas e o tempo de estocagem. A importância desse ícone é a identificação do ponto onde o fluxo de valor está parando.

2.1.3 Caminhão

Este ícone junto com uma seta larga indicam o fluxo de material da expedição para o cliente final e do fornecedor para a produção. Dentro do ícone caminhão está indicada a frequência de entrega tanto da matéria-prima, no caso do fornecedor, quanto dos produtos acabados para o cliente final. Caso seja necessário, pode-se trocar o ícone caminhão por outros ícones que melhor indiquem a logística usada (trilhos no caso de transporte ferroviário, ou avião no caso de transporte aéreo).



2.1.4 Caixa de Processo

É utilizado para representar os processos básicos de produção no qual o material está fluindo. Para o exemplo da Figura 1, as caixas de processo são referentes aos processos: Autoclave, Britagem, Moinho, Fornos e Mistura/Ensacamento, cujos nomes estão indicados na parte superior da caixa de processo. Na base de cada caixa está indicado o número de operadores necessários para o processo.

Abaixo da caixa de processo, é desenhada uma caixa de dados. Nela são inseridos os seguintes dados:

- (i) Tempo de Ciclo (TC): é o tempo que leva entre um componente e o seguinte saírem do mesmo processo;
- (ii) Tempo de Troca (TR): tempo necessário para alterar a produção de um tipo de produto para outro;
- (iii) Tempo de Trabalho Disponível (Disponibilidade): é o tempo real de trabalho por turno. Subtrai-se do tempo total do turno os minutos de descanso, reuniões e limpeza. O valor é dado em percentual;
- (iv) Tempo de Operação: tempo efetivo de trabalho da máquina dado em segundos, minutos, horas ou dias. Subtrai-se o tempo de manutenção e paradas programadas do total. O tempo de operação nem sempre é informado;
- (v) Toda Peça Todo (TPT): é dado em unidade de tempo (minutos, horas, dias, etc) e indica a flexibilidade do processo para atender variações na demanda, ou seja, toda peça todo dia indica, por exemplo, que o processo tem a capacidade de produzir cada peça do portfolio de produtos da empresa em um dia. O TPT nem sempre é informado.

O departamento de controle da produção também é representado por uma caixa de processo na parte superior do mapa (ROTHER e SHOOK, 2003). Pode-se informar na base da caixa de processo o uso de um sistema computadorizado de planejamento das necessidades de material (MRP). Esse departamento recebe pedidos dos clientes, emite pedidos aos fornecedores e agrega a função de planejamento e controle da produção (PCP), enviando ordens de fabricação e instruções específicas aos processos produtivos, além de enviar a programação diária de entregas ao departamento de expedição.

2.1.5 Linha Estreita e Linha Estreita em Forma de Raio

São usadas para indicar o fluxo de informação, enviando para cada processo a programação do quanto e quando fabricar. Além disso, a linha estreita é utilizada para indicar o fluxo de informação referente ao pedido do cliente para a empresa e o pedido da empresa para o fornecedor. O uso da linha estreita em forma de raio indica que o fluxo de informação é eletrônico, ou seja, troca eletrônica de dados. Um ícone caixa pequena é usado para identificar ou descrever a informação que está fluindo no processo.

2.1.6 Programações “Informais”

Ícones podem ser criados e usados para identificar atividades, processos e programações que não podem ser representados com nenhum dos ícones apresentados anteriormente. Como exemplo, tem-se o ícone óculos que é usado para indicar a programação do tipo “vá ver”. Esta programação é realizada, por exemplo, quando supervisores contam estoques e alteram a programação de acordo com essa contagem. Muitas empresas possuem práticas próprias que podem ser muitas vezes confusas, cabe ao gerente do fluxo de valor identificar essas práticas e representá-las da melhor forma possível no mapa.

2.1.7 Produção Empurrada

De acordo com Womack e Jones (1998), “empurrar” significa que um processo produz alguma coisa independentemente das necessidades reais do processo seguinte (processo cliente). Como efeito, a programação fica pautada em previsões de demanda dos processos clientes. O fato de as programações mudarem constantemente e o comum desalinhamento da produção com a programação dificulta a consistência dessa forma de produção “empurrada” baseada em previsões.

O ícone usado para indicar a produção empurrada é uma seta listrada que liga o processo fornecedor (aquele que empurra) ao seu processo cliente, como pode ser observado na Figura 1.

2.1.8 Linha do Tempo

É desenhada embaixo das caixas de processo e dos triângulos de estoque para resumir as condições atuais do fluxo de valor. Registra o *lead time* de produção, que é o tempo que um produto leva para percorrer todo o caminho no chão de fábrica desde a chegada como matéria-prima até sua saída como produto acabado, e os tempos de processamento do material, que são os tempos de real agregação de valor.

Os *lead times* de estocagem podem ser calculados pela quantidade em estoque dividida pela demanda diária do cliente.

Os resultados ao final da linha do tempo servem como um comparativo entre o tempo que a peça demora para ser produzida e o tempo que ela leva para percorrer todo o seu caminho na fábrica até ser expedida. Uma diferença muito grande entre os dois valores indica que a fábrica está distante de ter uma manufatura enxuta, pois perde muito tempo estocando, movimentando, aguardando, entre outros processos que não agregam valor.

2.2 DESPERDÍCIOS EM UMA MANUFATURA ENXUTA

Como já foi citado anteriormente, o mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta que auxilia a visualização para que sejam aplicadas outras técnicas em busca de agregação de valor ao fluxo total da empresa, como melhorias *kaizen*, eliminação de gargalos, *kanbans*, entre outros.

Para que o mapeamento do estado futuro tenha efeito com grandes melhorias, deve-se saber identificar não só a ocorrência, mas as fontes de desperdício. Portanto, para se executar melhorias na cadeia de suprimento, é preciso saber previamente o conceito de desperdícios e como mitigá-los (HINES, 1997).

2.2.1 Tipos de Desperdício

De acordo com Hines (1997), existem sete diferentes fontes de desperdício, também consideradas no sistema Toyota de produção:

- (i) Produção excessiva;
- (ii) Espera;
- (iii) Transporte;

- (iv) Processamento inadequado;
- (v) Estocagem desnecessária;
- (vi) Movimentação desnecessária;
- (vii) Defeitos.

A produção excessiva é em grande parte resultado da produção empurrada e significa produzir mais rápido ou em maior quantidade que o necessário. Por este motivo, tende a aumentar estoques de produtos acabados na expedição e estoques entre processos, aumentando consequentemente o *lead time*. Além disso, essa produção excessiva causa sobrecargas em máquinas, equipamentos e pessoas. O sistema puxado ou *kanban* foi empregado pelo sistema Toyota para superar este problema.

O desperdício decorrente de espera é resumidamente o emprego ineficiente do tempo na linha de produção. Numa planta fabril, esse desperdício ocorre quando um produto não está sendo trabalhado. O estado ideal deve eliminar qualquer espera de peças no processo, resultando em um fluxo contínuo até o final do fluxo de valor.

Transporte refere-se ao deslocamento dos produtos. Deve-se buscar a minimização do tempo gasto com essa atividade, uma vez que peças não são trabalhadas enquanto são transportadas, sem agregação de valor. Os problemas causados pelo transporte são a maior probabilidade de danos e deterioração com a maior distância percorrida, e o aumento do tempo de estocagem.

O processamento inadequado ocorre quando um problema simples é resolvido de forma extremamente complexa, tornando o processo de difícil execução e mais suscetível a erros que causam defeitos no componente fabricado. Pode-se citar como exemplo o uso de máquinas robustas de baixa flexibilidade ao invés de inúmeras máquinas flexíveis para executar um processamento simples. Esse processamento inadequado pode levar à produção excessiva, que visa erroneamente recuperar o tempo de fabricação desperdiçado com o processamento inadequado, mas na verdade só aumenta o número de defeitos e desperdícios. O ideal, para que o processamento inadequado seja evitado, é ter o mínimo possível de máquinas que sejam capazes de fazer todo o processamento, próximas de seus processos fornecedores e clientes.

A estocagem de produtos acabados ou em processamento tende a aumentar o espaço necessário de ocupação da planta e o tempo de permanência do produto na fábrica (*lead time*). Em adição, o aumento do tempo de estocagem tem grande influência negativa no ciclo financeiro da empresa (BERK; DEMARZO, 2008).

A movimentação desnecessária tem ligação com a ergonomia da produção. Processos em que operadores precisam esticar-se, curvar-se, fazer força excessiva são exemplos de movimentação desnecessária. Este defeito causa fadiga nos operadores, resultando em má qualidade, baixa produtividade e até mesmo, em casos extremos, afastamento do operador.

Por fim, os defeitos têm efeito direto sobre o custo da empresa considerando que as peças defeituosas são eliminadas, retrabalhadas ou vendidas como sucata. Caso produtos defeituosos passem na inspeção de qualidade e cheguem ao consumidor final, o cliente pode devolver o lote produzido, resultando aumento de custos de transporte para o retorno a empresa e aumento do tempo de estocagem.

De acordo com a filosofia Toyota, defeitos devem ser vistos como pontos de oportunidade em que devem ser executadas melhorias sistemáticas (*kaizen*).

2.3 FERRAMENTAS DE MAPEAMENTO DA MANUFATURA ENXUTA

O trabalho de Hines (1997) identifica sete ferramentas para redução de desperdícios. À saber:

1. Mapeamento da Atividade do Processo;
2. Matriz-Resposta da Cadeia de Suprimentos;
3. Funil de Variedade de Produção;
4. Mapeamento do Filtro de Qualidade;
5. Mapeamento da Amplificação da Demanda;
6. Análise do Ponto de Decisão;
7. Estrutura Física;

As ferramentas têm suas origens na engenharia industrial, estudos de logística, gestão de operações e dinâmica de sistemas. Tamanha variedade de origens garante grande variedade de aplicabilidade e de perspectivas para análise. A Tabela 1 relaciona as ferramentas com sua aplicabilidade para detecção de defeitos.

Tabela 1 – Grau de Correlação entre Ferramentas e Desperdícios

Desperdícios	Mapeamento da Atividade do Processo	Matriz-Resposta da Cadeia de Suprimentos	Funil da Variedade de Produção	Mapeamento do Filtro de Qualidade	Mapeamento da Amplificação da Demanda	Análise do Ponto de Decisão	Estrutura Física
Produção Excessiva	Baixa	Média		Baixa	Média	Média	
Aguardo	Alta	Alta	Baixa		Média	Média	
Transporte	Alta						Baixa
Processamento Inadequado	Alta		Média	Baixa		Baixa	
Estocagem Desnecessária	Média	Alta	Média		Alta	Média	Baixa
Movimentação Desnecessária	Alta	Baixa					
Defeitos	Baixa			Alta			

Fonte: Adaptado de Hines, 1997, p. 50

2.3.1 Mapeamento da Atividade do Processo

Teve sua origem na engenharia industrial. A engenharia industrial engloba uma série de técnicas que podem ser usadas para eliminar inconsistências e irracionalidades que causam desperdícios, além de prover produtos de alta qualidade e serviços de fácil, rápida e barata execução (*Practical Management Research Group*, 1993 apud HINES, 1997, p. 51).

Uma análise preliminar do processo é feita, seguida de um detalhamento dos recursos requeridos. Como resultado tem-se o mapa do processo conforme a Tabela 2. Na Tabela 2, a coluna “fluxo” representa com as letras “O”, “T”, “I”, “E” e “A” respectivamente a classificação dos passos como operação, transporte, inspeção, estocagem e atraso. Além disso, as informações sobre as máquinas, área usada, distância percorrida, tempo decorrido e número de pessoas necessárias também estão inseridas na tabela.

Tabela 2 – Mapeamento da Atividade do Processo

#	Passo	Fluxo	Máq. / Estr.	Dist. (m)	Tempo (min)	Pessoal	O P e r a ç õ e s	T r a n s p o r t e	I n s p e ç ã o	E s t o c a g e m	A t r a s o
1	Matéria Prima	E	Reservatório							E	
2	Preparar Kits	O	Galpão	10	5	1	O				
3	Carregar a Empilhadeira	T		120		1	T				
4	Descarregar a Empilhadeira	T			0.5	1/2	T				
5	Aguardo da mistura	A	Área de Processamento		20						A
6	Colocar na Armação	T		20	2	1/2	T				
7	Despejar	O			0.5	1	O				
8	Misturar	O			20	1/2	O				
9	Teste #1	I			30	1+1			I		
10	Bombear para o Tanque	T	Tanque	100		1	T				
11	Misturar no Tanque	O	Tanque		10	1	O				
12	Descansar Mistura	I			10	1			I		
13	Aguardar Enchimento	A			15						A
14	Mover ao Cabeçote de Enchimento	T		20	0.1	1	T				
15	Preencher	O	Cabeçote de Preench.		1	1+1	O				
16	Empilhar	T	Pallet	3	0.1	1	T				
17	Atraso para preencher 1 Pallet	A			30						A
18	Lacrar Pallet	O			2	1	O				
19	Transferir ao Estoque	T		80	2	1	T				
20	Aguardar Caminhão	A	Estoque		540						A
21	Mover com Empilhadeira	T		90	3	1	T				
22	Aguardar Carregamento	A	Caminhão		30	1+1					A
23	Aguardar Entrega	A	Caminhão		60	1					A
	Total			443	781,2	25	6	8	2	1	6
	Operadores				38.5	8					
	% do Volume Adicionado				4.93%	32%					

Fonte: Adaptado de Hines (1997, p. 52)

Com base no mapa, pode-se estudar o fluxo do processo, identificar desperdícios, rearranjar processos mais eficientemente e eliminar atividades supérfluas.

2.3.2 Matriz-Resposta da Cadeia de Suprimento

A Matriz-Resposta da Cadeia de Suprimento foi usada por Beesley (1994) em um amplo espectro de indústrias automotivas, aeroespaciais e de construção. Uma abordagem similar foi usada por Jessop e Jones (1995) nas indústrias de produtos eletroeletrônicos, alimentícios e automotivos.

O objetivo da ferramenta é diagramar de forma simples os gargalos de *lead time* para um processo. No caso da Figura 2, está ilustrado o *lead time* para uma companhia de distribuição, seus fornecedores e seus clientes. O eixo horizontal representa o *lead time* para o produto tanto internamente quanto externamente. O eixo vertical por sua vez, representa o tempo médio de estocagem em dias em pontos específicos da cadeia de suprimentos.

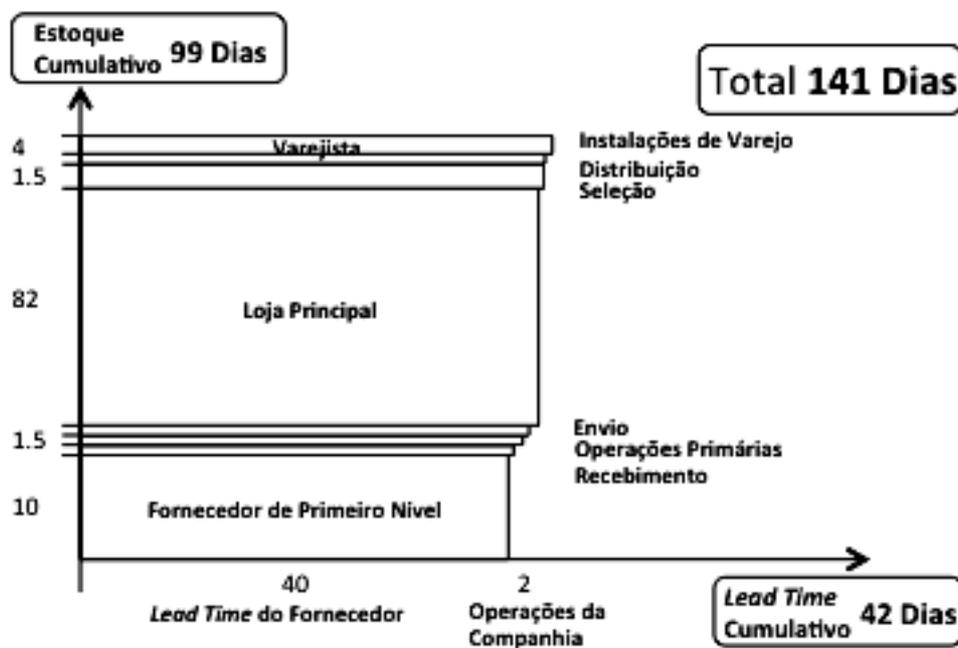


Figura 2 – Matriz-Resposta da Cadeia de Suprimento

Fonte: Adaptado de Hines (1997, p. 53)

No exemplo ilustrado na Figura 2, o *lead time* é de 42 dias de trabalho. O tempo de estocagem de material no processo é de 99 dias de trabalho. Portanto, pela simples adição dos valores tem-se que o tempo total de resposta do sistema é de 141 dias de trabalho. A partir do entendimento dos números e resultados, ações de melhorias podem ser direcionadas a cada *lead time* e a cada quantidade em estoque.

2.3.3 Funil de Variedade de Produção

Conforme New (1974 apud HINES, 1997, p. 53) o funil de variedade de produção tem sua origem na gestão de operações e é semelhante ao método conhecido como análise IVAT. A análise IVAT é a análise e classificação dos processos internos da planta da companhia em I, V, A ou T (MACBETH; FERGUSON, 1994).

1. Plantas em “I” são produções unidirecionais de produtos não variáveis como as plantas usadas em indústrias químicas, por exemplo;
2. Plantas em “V” consistem de um número limitado de matérias-primas dando origem a uma ampla variedade de produtos finais. O símbolo “V” é usado para ilustrar a divisão da mesma matéria-prima em mais de um tipo de produto final. São plantas comumente encontradas em indústrias têxteis e metalúrgicas;
3. Plantas em “A”, ao contrário das plantas em “V”, têm um grande número de matérias-primas sendo processadas para dar origem a um limitado número de produtos acabados. Pode ser encontrada em indústrias aeroespaciais e montadoras;
4. Plantas em “T” têm uma grande combinação de produtos oriundos de um número restrito de componentes semi-processados que aguardam apenas o pedido do cliente para serem finalizados e “customizados”. É a planta típica de eletroeletrônicos;

A vantagem da utilização deste mapeamento é a visibilidade que é dada à operação da cadeia de suprimento e às complexidades inerentes que devem ser geridas. É útil na decisão de onde se devem focar reduções de estoque e alterações no processamento.

No exemplo da Figura 3, o *lead time* é indicado no eixo das abcissas e a variedade ou complexidade do processo representado pela “abertura” do funil no eixo das ordenadas.

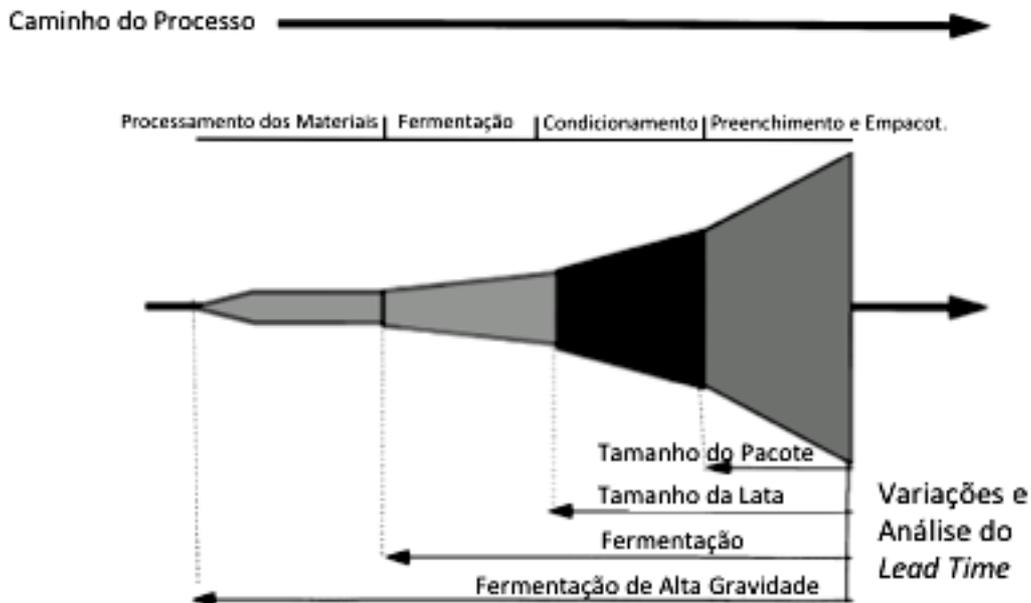


Figura 3 – Funil de Variedade da Produção

Fonte: Adaptado de Hines (1997, p. 54)

2.3.4 Mapeamento do Filtro de Qualidade

O mapeamento do filtro de qualidade identifica o foco e a existência de problemas de qualidade na cadeia de suprimento. O mapa resultante, apresentado na Figura 4, mostra onde três diferentes tipos de defeitos ocorrem na cadeia de suprimento:

- (i) Defeito em Produtos: defeitos em bens produzidos não encontrados em inspeções de qualidade e, portanto repassados aos clientes;
- (ii) Defeito em Serviços: são problemas repassados aos consumidores que não são relacionados com o bem produzido. Os defeitos mais comuns desse tipo são entregas atrasadas ou adiantadas (serviço de logística), papelada ou fatura com dados errados (serviço administrativo);

(iii) Refugo Interno: são defeitos encontrados em inspeções de qualidade *in-line* e *end-of-line*. As metodologias de inspeção são muito variadas, sendo o Controle Estatístico de Processo (CEP) uma das mais difundidas e usadas.

Posteriormente, esses três defeitos são mapeados na cadeia de suprimento. No exemplo da Figura 4, o eixo x representa os processos dentro da cadeia de suprimento e o eixo y representa a quantidade de defeitos em Peças Por Milhão (PPM). A vantagem da abordagem do mapeamento do filtro de qualidade é identificar em qual processo os defeitos estão ocorrendo. A própria ferramenta pode ser usada como métrica para avaliar o desempenho de programas de qualidade destinados a diminuir o número de defeitos na cadeia de suprimento.

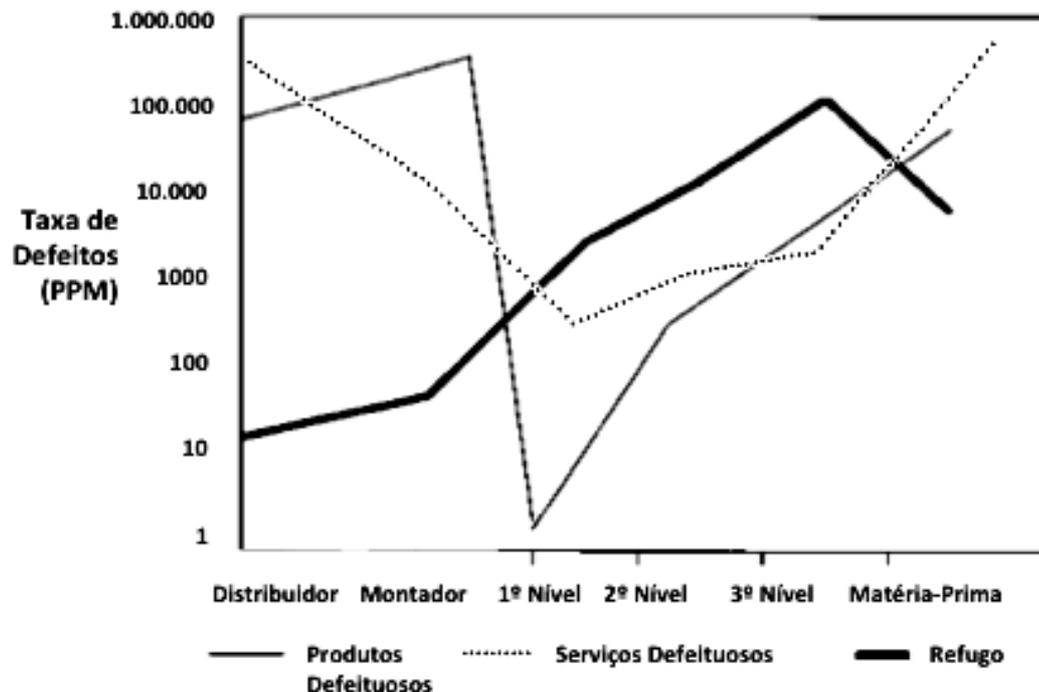


Figura 4 – Mapeamento do Filtro da Qualidade

Fonte: Adaptado de Hines (1997, p. 55)

2.3.5 Mapeamento da Amplificação da Demanda

O mapeamento da amplificação da demanda tem suas origens em trabalhos de Forrester (1958) e Burbidge (1984) sobre dinâmica de sistemas. Forrester (1958) demonstrou que o atraso entre pedidos e a falta de visibilidade da cadeia de suprimentos causa problemas na tomada de decisão sobre pedidos aos

fornecedores. Esses problemas estão diretamente ligados com o processamento do sinal da demanda, ou seja, se o *lead time* de processamento desse sinal for diferente de zero, um membro da cadeia de suprimento irá tomar uma decisão acerca dessa demanda. O que ocorre na maioria dos casos é que a falta de visibilidade do resto da cadeia faz com que esse membro tome uma decisão equivocada. Portanto, o efeito “Forrester” está ligado a atrasos e decisões ruins acerca do fluxo de informação e material. A Figura 5 ilustra este efeito.

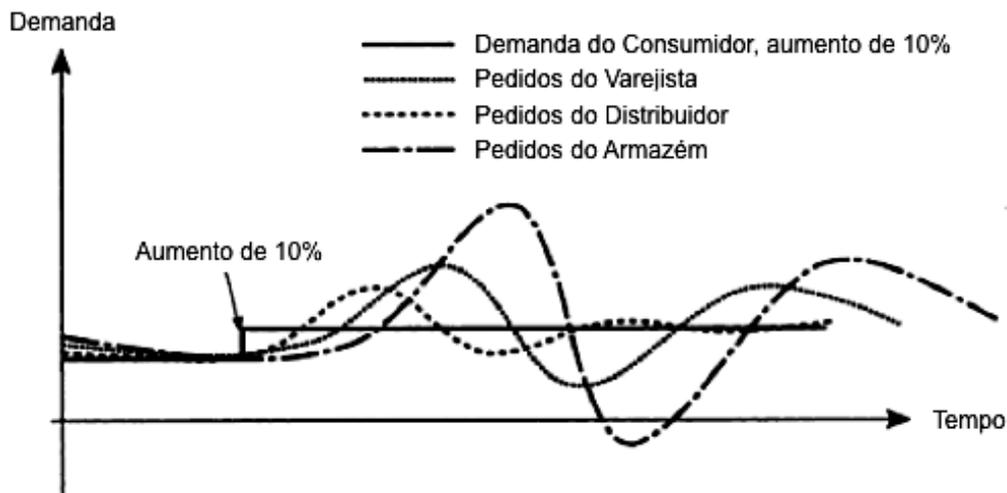


Figura 5 – Efeito Forrester
 Fonte: Taylor e Brunt (2002, p. 107)

O efeito “Burbidge” (BURBIDGE, 1984) consiste da afirmação que se a demanda é transmitida através de uma série de clientes para fornecedores que se utilizam de pedidos via controle de nível de estoque, a amplificação da variação da demanda vai aumentar em cada elo da cadeia de suprimento.

Como resultado destes efeitos, muitas vezes é encontrado excesso de estoque de matéria-prima, produção e força de trabalho. Com efeito, os produtores em diversas ocasiões não conseguem suprir as demandas dos consumidores. Por este motivo, vão em direção contrária ao pensamento enxuto e mantêm uma quantidade considerável de produtos acabados como estoque de segurança.

Nota-se claramente na Figura 6 a diferença entre o padrão de variação da demanda e da colocação dos pedidos para os fornecedores. Esse efeito de amplificação pode ser expandido para toda a cadeia de suprimento, ou seja, se a curva de pedidos for usada como demanda do primeiro fornecedor, o segundo

fornecedor, que fornece para o primeiro terá uma curva de pedidos ainda mais amplificada.

O objetivo desse mapeamento é tomar decisões acerca de medidas para reduzir o efeito da amplificação da demanda.

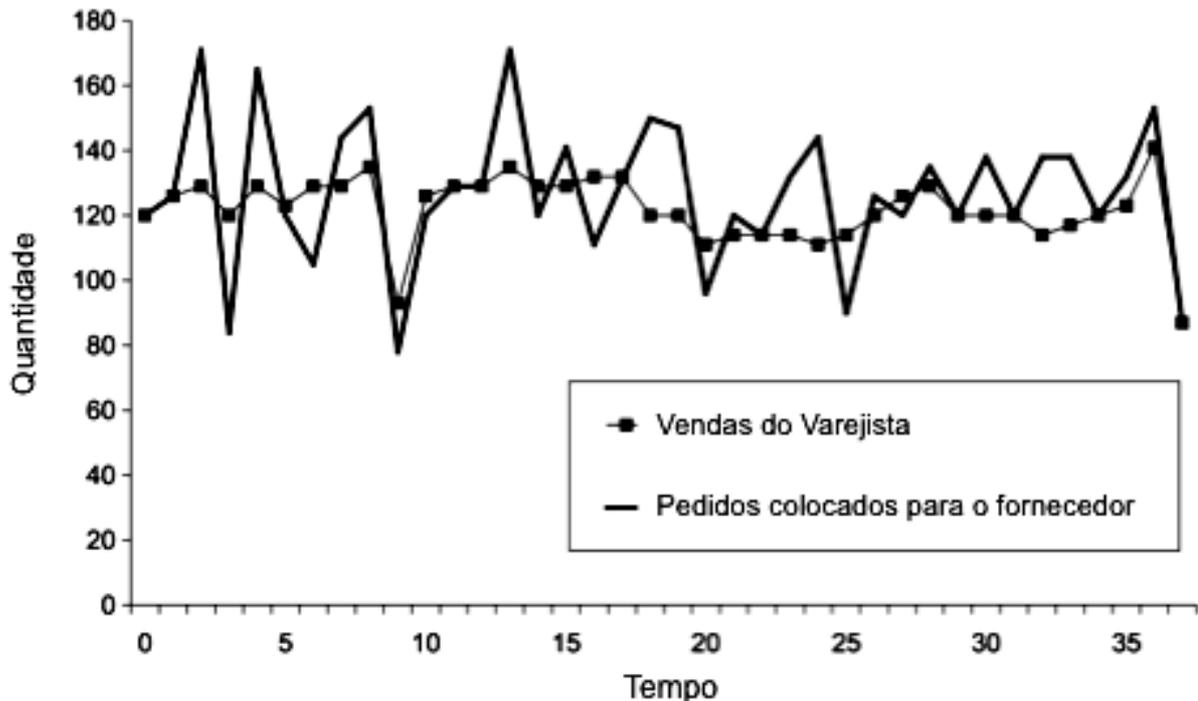


Figura 6 – Mapeamento da Amplificação da Demanda

Fonte: Jones *et al.*(1997)

2.3.6 Análise do Ponto de Decisão

O ponto de decisão na cadeia de suprimento é aquele em que a produção puxada pelo consumidor dá espaço para a produção empurrada baseada em previsões.

Sabendo onde o ponto de decisão se encontra, podem-se estudar processos acima e abaixo do ponto de decisão na cadeia de suprimento e alinhá-los com filosofias de produção puxada e empurrada, como evidenciado na Figura 7. Paralelamente, podem-se estudar cenários baseados em alterações da posição do ponto de decisão.

2.3.7 Estrutura Física

A estrutura física permite visualizar a indústria em que a empresa está inserida e toda sua cadeia de suprimento. A vantagem desta ferramenta é a visualização do

mercado fornecedor, mercado consumidor e em quais pontos da cadeia de suprimento estão os processos que mais adicionam valor.

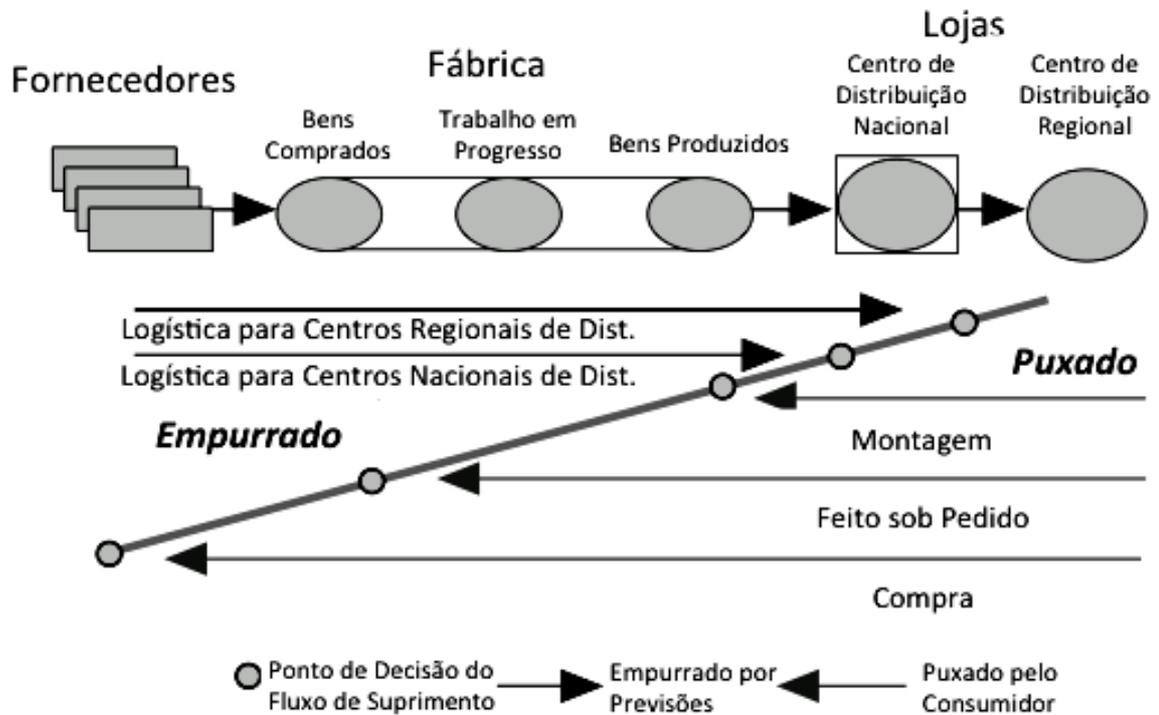


Figura 7 – Análise do Ponto de Decisão
 Fonte: Adaptado de Rich (1995 apud HINES, p. 57)

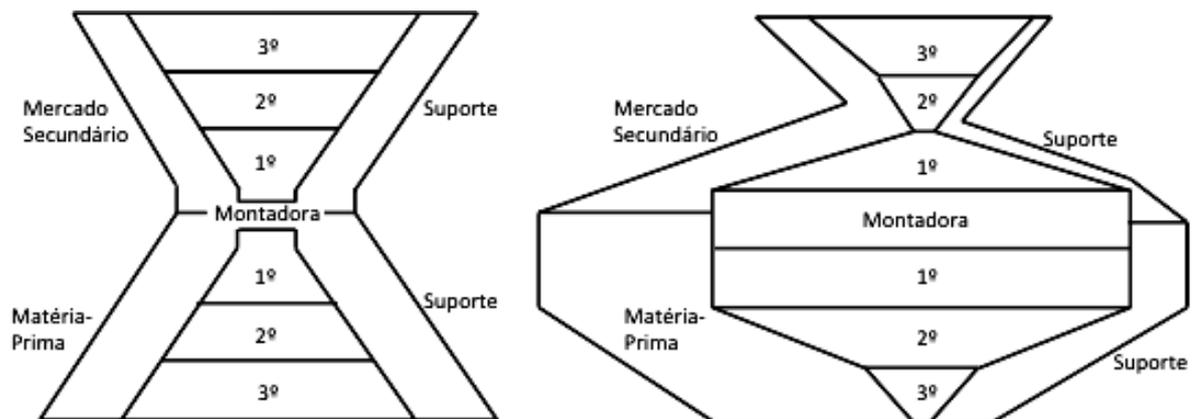


Figura 8 – Estrutura Física
 Fonte: Adaptado de Hines (1997, p. 58)

No exemplo da Figura 8, a imagem da esquerda representa a montadora em análise no centro, os fornecedores de primeiro nível logo abaixo, seguidos pelos de segundo e terceiro nível. De forma análoga, os distribuidores de primeiro, segundo e

terceiro nível estão acima da montadora. Periféricamente, em contato com todos os níveis de fornecimento da montadora estão os fornecedores de matéria-prima e prestadores de serviço (suporte). Os prestadores de serviço (suporte) e o mercado secundário estão em contato com todos os distribuidores, como pode ser observado na Figura 8. O tamanho de cada grupo representa o número de empresas em cada grupo. Já na imagem da direita, o tamanho de cada grupo representa o quanto cada processo agrega em valor ao fluxo como um todo. Portanto, os fornecedores de matéria-prima agregam o maior valor, seguido das montadoras e dos fornecedores de primeiro nível.

De forma semelhante à aplicação do mapeamento da atividade do processo, a estrutura física auxilia a eliminar processos que são desnecessários, a simplificar outros e a combinar mais de um processo visando redução de desperdícios.

Ao identificar desperdícios, vê-se necessária a aplicação de ferramentas para melhor visualizar onde se encontram os pontos que impedem que o valor flua naturalmente no fluxo dos processos. Através da melhor visualização dos processos produtivos que fazem parte do fluxo de valor, pode-se criar um MFV futuro, que servirá como base para o plano de implementação, para que a empresa chegue, de fato, a operar como previsto no mapa de valor futuro.

2.4 MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR FUTURO

Resumidamente, a produção enxuta busca construir processos que fazem somente o que o próximo processo necessita e quando necessita, ou seja, sem excesso de produção, tempos de espera, estocagem desnecessária e os outros desperdícios já apresentados. Para isso, pode-se seguir o modelo Toyota, exposto por Rother e Shook (2003).

2.4.1 Produzir de acordo com o *Takt Time*

Takt Time é o tempo no qual cada produto deve ser finalizado para que seja atendida a demanda do consumidor. É obtido através da divisão do tempo disponível para produção em um certo período pela quantidade demandada no mesmo período. Essa métrica é usada para sincronizar o ritmo da produção com o ritmo das vendas. No mapa do estado futuro, os *takt times* são anotados nas caixas de dados.

Para que se possa produzir de acordo com o *takt time*, os problemas de produção devem ser resolvidos dentro do *takt time*, assim como eliminar paradas não planejadas de máquinas e reduzir tempos de troca.

2.4.2 Desenvolver um Fluxo Contínuo

Fluxo contínuo significa produzir uma peça de cada vez e passá-la imediatamente ao processo seguinte, sem desperdícios. O ícone usado para representar um fluxo contínuo é a própria caixa de processo, mas sem a seta listrada de produção puxada.

Como exemplo de criação de fluxo contínuo, pode-se ter a fusão de duas ou mais caixas de processo do estado presente no estado futuro, descrevendo assim, uma área de fluxo.

2.4.3 Sistema Puxado com Supermercados

Supermercados tem sua utilidade em pontos no fluxo de valor em que é necessária a produção em lotes por não ser possível o fluxo contínuo. Isso pode ocorrer em processos que necessitam trocas demoradas para atender diversas famílias de produtos, processos distantes em que o transporte de uma peça por vez não é realista e processos que não são muito confiáveis para ligarem-se diretamente a outros processos em fluxo contínuo.

Para resolver os possíveis problemas apontados e ainda se ter uma produção eficiente, uma solução é a criação de sistemas puxados baseados em supermercados. O supermercado, cujo ícone é indicado no centro da Figura 9, é um estoque mínimo em que o processo cliente retira apenas o que precisa e o processo fornecedor fornece apenas o necessário para reabastecer o estoque. O objetivo da colocação de um supermercado é que a retirada do cliente determine o ritmo da produção do fornecedor, ao invés de se produzir de acordo com a estimativa da demanda. Ainda assim, só se deve implementar um sistema de supermercado quando não é possível o fluxo contínuo.

Na Figura 9, o *kanban* de produção dispara a produção de peças, enquanto o *kanban* de retirada é uma lista de compras que instrui o movimentador de materiais a pegar e transferir peças.

A Figura 10 indica outros tipos de *kanbans* que podem ser úteis para a criação de uma produção puxada, dependendo da necessidade de cada empresa.

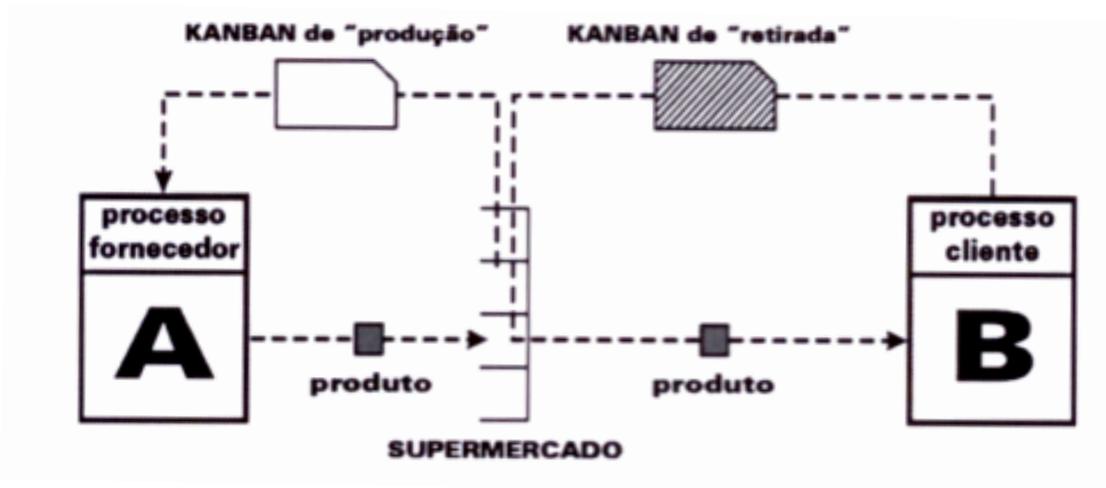


Figura 9 – Sistema Puxado com Supermercado

Fonte: Rother e Shook (2003, p. 46)

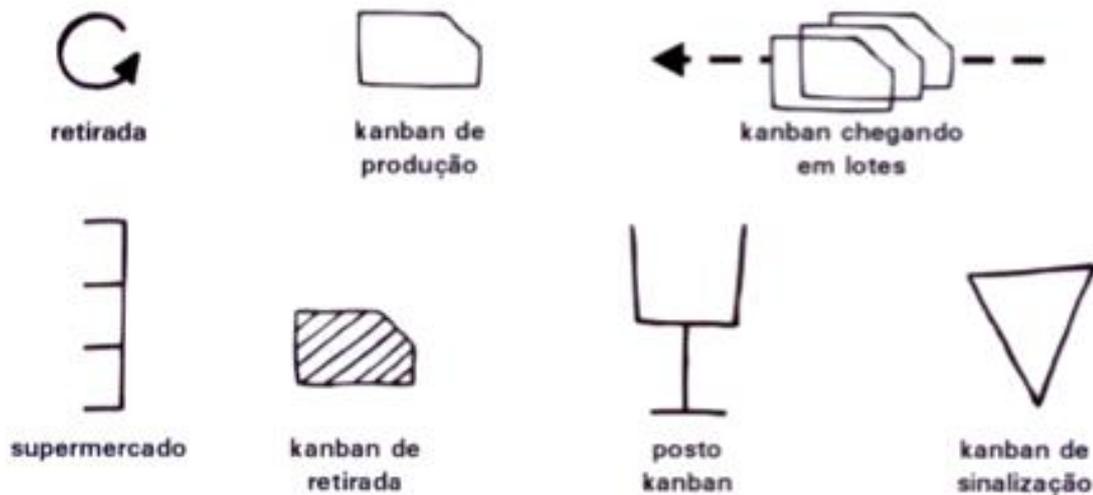


Figura 10 – Ícones usados para representação de sistemas puxados

Fonte: Rother e Shook (2003, p. 47)

De forma alternativa ao supermercado, pode-se usar um FIFO (primeiro a entrar, primeiro a sair) para manter um fluxo entre dois processos. Pode-se pensar na linha FIFO como uma canaleta que pode armazenar uma quantidade limitada de estoque. Se a canaleta encher, o processo fornecedor deve parar de produzir até que o cliente tenha usado uma parte do estoque. Neste caso, o *kanban* será enviado

ao processo no início da linha FIFO, ao invés de ser enviado ao fornecedor do supermercado, como indica a Figura 11.

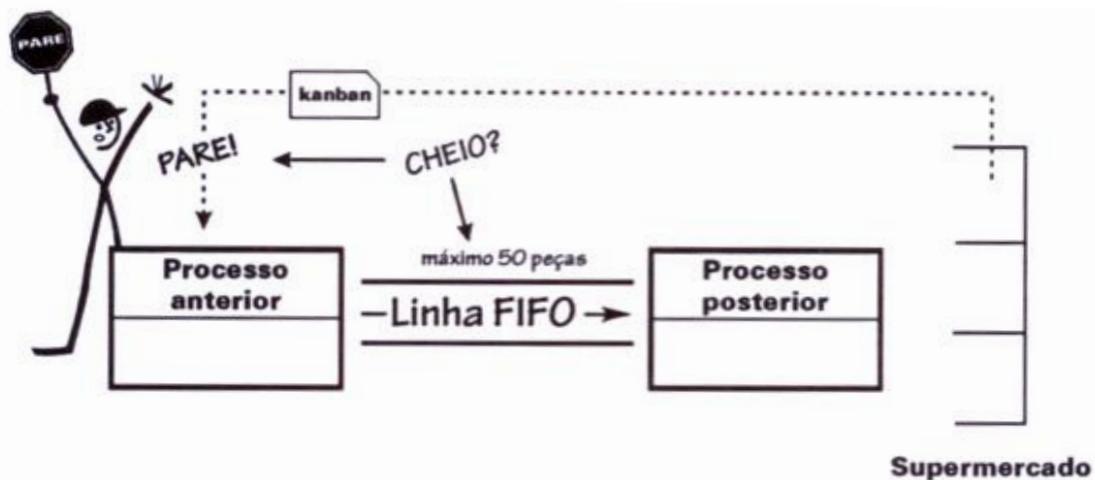


Figura 11 – Linha *First In, First Out*

Fonte: Rother e Shook (2003, p. 48)

Existem situações em que é preferível o uso de um estoque de segurança. Embora a manufatura enxuta vise a redução de estoques a níveis mínimos, o estoque de segurança é criado para que não haja falta de atendimento às demandas de processos posteriores e principalmente, para que não haja falta de atendimento da demanda do consumidor final. O ícone de representação do estoque de segurança no mapa de fluxo de valor é análogo ao supermercado, mas fechado dos dois lados.

2.4.4 Enviar a Programação do Cliente para um Processo de Produção

Ao criar um sistema puxado com supermercado, a produção deve ser programada para apenas um ponto do processo, chamado de processo puxador. Este processo determinará o ritmo de produção para os demais processos, uma vez que “puxará” a produção de seus processos fornecedores.

O processo puxador é aquele a partir do qual não existem mais supermercados, ou seja, a produção se dá em fluxo. Geralmente, dada esta restrição, o processo puxador é o último na cadeia de valor porta-a-porta. Do ponto de vista do mapa do estado futuro, é para o processo puxador que a programação será enviada pelo controle da produção. Bem diferente do que foi apresentado no

mapa do fluxo de valor presente do exemplo da Figura 1, em que o controle da produção enviava ordens de produção a todos os processos produtivos.

2.4.5 Nivelamento do Mix de Produção

Produzir lotes de um mesmo produto por um período de tempo maior economiza tempo de trocas que seriam necessárias para a produção de outras famílias de produtos, mas isso apresenta inúmeros problemas ao fluxo de valor.

Produzir a mesma família de produtos por muito tempo dificulta o atendimento de clientes que demandam produtos de famílias diferentes da que está sendo produzida. Isso exigiria maiores estoques de segurança de produtos acabados, ou *lead times* maiores, que se traduzem em espera do cliente. Além disso, no caso em que a programação do processo final é amplificada, os efeitos Forrester e Burbidge fazem com que os lotes produzidos anteriormente sejam ainda maiores pelo efeito de amplificação da demanda.

Para resolver o problema de produção de grandes lotes, pode-se nivelar o mix de produtos, ou seja, distribuir a produção de diferentes produtos uniformemente durante um período de tempo. Por exemplo, ao invés de produzir somente o produto “A” de manhã e o “B” de tarde, com o nivelamento alterna-se entre lotes menores de “A” e “B”. Essa idéia pode ser expandida ao ponto de ter a capacidade de responder às demandas dos clientes com um pequeno *lead time*, enquanto o estoque de produtos acabados é pequeno e não há excesso de produção. Entretanto, como já foi citado, o nivelamento exige maior esforço operacional em questão de diminuição do tempo de trocas para que não haja desperdício nesse aspecto.

O ícone para nivelamento de carga é o apresentado na Figura 12:



Figura 12 – Ícone de Nivelamento de Carga

Fonte: Rother e Shook (2003, p. 50)

2.4.6 Retirada Compassada

Comumente, as empresas liberam grandes lotes de trabalho para o seu chão de fábrica, causando vários problemas pela falta de noção do *takt time*, atrelada à dificuldade de monitoramento do atraso da produção. Ainda se tem como problemas: um volume irregular com picos de trabalho que causam sobrecarga em máquinas, pessoas e supermercados; cada processo pode alterar a ordem dos pedidos, aumentando o *lead time*; e por fim, a resposta às mudanças de pedidos dos clientes é muito variada, que se traduz em um fluxo de informações muito complexo no estado atual.

O indicado a se fazer nesse caso, é utilizar uma prática chamada de retirada compassada. Consiste da liberação recorrente de pequenas quantidades de trabalho para o processo puxador e simultaneamente retirar a mesma quantidade de produtos acabados, para nivelar o volume de trabalho que entra com o volume de material que sai.

A frequência de liberação de novas quantidades de trabalho é chamada de “*pitch*”, que geralmente corresponde ao número de peças acabadas que cabem em um container. Portanto, o tempo de produção de um *pitch* é o *takt time* multiplicado pela quantidade de peças de um *pitch*.

A vantagem de se enviar constantes incrementos de trabalho da ordem de um *pitch*, é que conseqüentemente se tem informações sobre o desempenho em relação à demanda de um cliente na mesma frequência de um *pitch*. Já no caso de se ter envios da quantidade de trabalho semanal, só se terão controles semanais.

2.4.7 Toda Peça Todo Dia

A habilidade de se adaptar e responder às mudanças dos clientes vem através da redução do tempo de troca de ferramentas e da conseqüente possibilidade de produção de lotes menores. Isso implica em todas as vantagens já apresentadas pelo nivelamento do mix de produção.

Nas caixas de dados dos mapas de valor, são registrados os “TPT”, que significam “Toda Peça Todo”. É seguida do tempo que a empresa consegue produzir todas as variedades de produtos possíveis, como por exemplo, dia, turno, hora ou

pitch. As empresas costumam buscar a habilidade de produzir toda peça todo dia e a partir daí, diminuir para turno, hora e *pitch*.

2.4.8 Melhorias *Kaizen*

As melhorias *kaizen* são melhorias necessárias em equipamentos e procedimentos para fazer o valor fluir no fluxo planejado no estado futuro. Como exemplo, tem-se as reduções nos tempos de trocas de ferramentas ou aumento de disponibilidade da máquina.

No mapa do estado futuro, deve-se indicar onde serão realizadas melhorias *kaizen* com o ícone da Figura 13.



Figura 13 – Ícone de Melhoria *Kaizen*
 Fonte: Rother e Shook (2003, p. 58)

2.4.9 Mapa do Fluxo de Valor Futuro

Tendo em vista os tipos de desperdícios existentes, as ferramentas de mapeamento da manufatura enxuta e os processos Toyota para desenvolvimento de uma manufatura enxuta, pode-se desenhar o mapa do fluxo de valor futuro, com as possíveis melhorias identificadas. A Figura 14 mostra o mapa de estado futuro para a mesma empresa usada como exemplo no mapa de estado presente (Figura 1).

Após desenhar o mapa de estado futuro, é criado um plano de implementação para que as melhorias previstas sejam colocadas em prática. Este plano deve ser feito em formato de gráfico de Gant, ou outro gráfico que indique atividades em um determinado período de tempo (cronograma). As fases do plano de implementação devem ser referentes a *loops* identificados no mapa, a exemplo da Figura 15, e metas devem ser estabelecidas para que se tenha controle do avanço da implementação do plano.

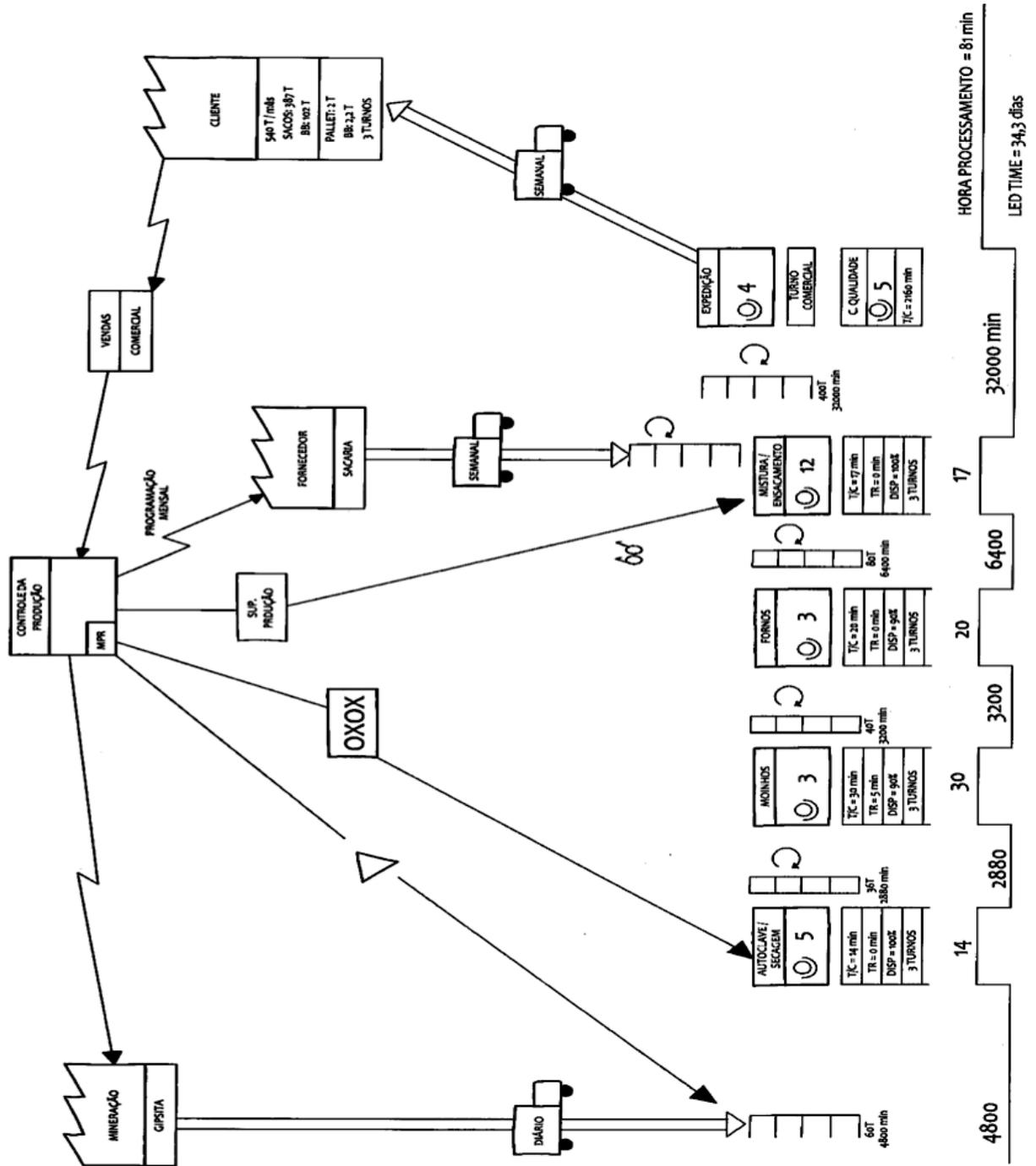


Figura 14 – Mapa do Fluxo de Valor Futuro
 Fonte: Elias et al.(2011)

intervalo de confiança para a média. Caso não se conheça a variância, deve-se trabalhar com o intervalo para a média com variância populacional desconhecida. O intervalo de confiança para a proporção pode ser usado para estimar a média de uma amostra de termos de sucesso ou insucesso, também conhecidas como variáveis binárias. A partir do intervalo de confiança para a diferença de médias pode-se comparar duas médias populacionais. Analogamente, o intervalo de confiança para a diferença de proporções é utilizado para comparar a taxa de sucesso ou insucesso de duas populações. Por fim, o intervalo de confiança para a variância é utilizado para estimar com determinado grau de confiabilidade o intervalo em que a variância populacional se encontra.

No presente trabalho, o objetivo de se utilizar uma ferramenta estatística é obter um intervalo de confiança para que se possa estimar a média da população de aplicações do MFV e averiguar a respeito da eficácia da ferramenta. Considerando que a variância de aplicações do MFV é desconhecida, será utilizado o intervalo de confiança para a média com variância populacional desconhecida.

Para aplicação do método, foi utilizado o roteiro proposto por Guimarães (2009).

O intervalo de confiança para a média com variância populacional desconhecida assume $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, em que T é usado para transpor o vetor que contém a amostra da variável aleatória contínua X, com distribuição normal $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ e com σ^2 (variância populacional) desconhecida. O intervalo de confiança para a média populacional é dado, então, por (1):

$$\hat{\mu} = \bar{X} \pm \frac{t_{\text{tabelado}} \times S}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Onde \bar{X} é a média amostra, s é o desvio padrão, n é o número de termos da amostra e t_{tabelado} é obtido na tabela da distribuição t de *Student*, presente no Anexo A, com $\varphi = n - 1$ graus de liberdade. A média aritmética e o desvio padrão podem ser calculados de acordo com as equações (2) e (3), respectivamente.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n-1} - \frac{n\bar{x}^2}{n-1}} \quad (3)$$

Para exemplificar o uso desta ferramenta estatística, considerou-se a amostra de quatro termos $X = (1;2;2;3)$. Utilizando as equações apresentadas acima, a amostra possui média de 2 e desvio padrão (s) de 0,82. Apresenta 3 graus de liberdade e t de *Student* de 2,3534 para 90% de confiabilidade. É importante observar que foi usada a terceira coluna da tabela no Anexo A (alfa igual à 5%) por se tratar de uma distribuição normal bicaudal, ou seja, para obter os 90% de confiabilidade, deve-se ter o máximo de 5% de erro para baixo e para cima.

Com os dados calculados anteriormente, determina-se o intervalo de confiança = [1,04 ; 2,96]. O resultado indica que considerando a amostra de quatro termos, pode-se prever com 90% de confiabilidade que a média da população que essa amostra representa está entre 1,04 e 2,96.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente estudo do Mapeamento do Fluxo de Valor consiste em uma revisão bibliográfica da literatura especializada, obtida nos períodos de janeiro e fevereiro de 2013, com o intuito de obter argumentos para provar o grande potencial da ferramenta quando aplicada em um sistema produtivo.

Uma avaliação preliminar de artigos e monografias de revisões bibliográficas de diversas áreas permitiu à equipe escolher o método usual para a realização de trabalhos com fundamentação teórica. Este método consiste na coleta de trabalhos com repetibilidade e prestígio na literatura. Estes trabalhos, por sua vez, podem ser encontrados em periódicos publicados por centros de pesquisa, em portais de periódicos como o CAPES, referenciados na literatura clássica da área e em monografias, dissertações e livros.

Através da coleta, análise e estudo dos trabalhos obtidos, pretende-se criar uma tabela correlacionando as abordagens de autores distintos e suas conclusões, destacando as de maior sucesso. Para auxiliar a análise da tabela e comprovar a eficácia da ferramenta, será utilizado o método de intervalo de confiança.

3.1 OBTENÇÃO DE ARTIGOS E TRABALHOS

Considerando o MFV uma ferramenta de um sistema de produção *Lean*, considerou-se necessário uma pesquisa teórica inicial em sistemas de gestão de produção. Para isso, estudaram-se livros e artigos científicos. Na sequência, o foco de pesquisa da literatura básica deu-se em estudos de casos industriais onde o MFV foi aplicado. Os trabalhos encontrados revelaram a grande aplicabilidade da ferramenta em dois instantes distintos das atividades fabris: na avaliação do fluxo de valor produtivo e no fluxo de valor do projeto do produto. Por fugir do escopo do tema e do objetivo inicial do nosso trabalho, o estudo do fluxo de valor do projeto foi descartado e o foco dos estudos se deu no fluxo de valor produtivo, desde a matéria-prima até o consumidor (*dock-to-dock* ou porta a porta). Assim, aprofundaram-se os estudos da ferramenta MFV em linhas de produção com a busca de artigos em periódicos científicos, artigos de congressos, monografias e dissertações.

Considerando a pesquisa em livros de gestão da produção, o leque de pesquisa inicial foi bastante amplo. Foram avaliados os livros disponíveis na biblioteca da UTFPR onde obteve-se o livro texto *Learning to See* de Rother e Shook (2003), que descreve o potencial da ferramenta MFV em gestão de produção *Lean*, e propõe um método de aplicação da ferramenta. Utilizou-se o livro, então, como referência básica para nosso estudo.

A busca por artigos de periódicos científicos foi realizada através da procura e seleção na base de dados do portal de periódicos da Capes. A procura por referências foi realizada com auxílio da ferramenta “Busca Avançada”. As palavras chaves, individuais e combinadas, para busca de material especializado foram: mapeamento do fluxo do valor e *value stream mapping*. Dessa forma, foram contemplados tanto trabalhos em português quanto em inglês. A pesquisa inicial não restringiu a data de publicação dos textos. Foi encontrado um total de 43 artigos. A grande maioria destes possuía publicação posterior a 2007, revelando a atualidade do tema. A obtenção dos textos na íntegra foi possível através da licença disponível para *download* e aquisição na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Os textos passaram por um processo de exclusão de informações coincidentes e seleção de materiais que avaliassem em específico o potencial da ferramenta MFV e que atendessem o foco de estudos. Assim, obtiveram-se 15 artigos, dentre estes 13 com publicação posterior a 2007; os outros dois foram publicados anteriormente à data (em 1998 e 2002), mas são de grande interesse para o estudo comparativo do tema. Estes 15 trabalhos foram publicados em jornais de considerável prestígio acadêmico, como o *International Journal of Operations and Production Management*, e assim, considerados adequados para a realização de nossa pesquisa. De posse dos artigos científicos, foi possível a obtenção de outras referências bibliográficas para nosso trabalho através da obtenção de textos citados pelos trabalhos da literatura, totalizando 22 artigos. Também foi possível a obtenção de dois livros de grande prestígio acadêmico, onipresentes e unânimes em quase todos os trabalhos publicados: os livros-texto de Womack e Jones (1992) e Ohno (1997). Estes livros, juntos com Rother e Shook (2003), são considerados doravante trabalhos clássicos da literatura.

Uma consulta por monografias e dissertações foi realizada através da procura por periódicos na biblioteca da UTFPR. A busca foi realizada com auxílio dos

estagiários do setor, e foram avaliados os trabalhos de Engenharia Mecânica com ênfase em Engenharia de Produção, que abordassem estratégias de gestão de produção *lean* e MFV. No total, foram encontrados nove trabalhos que abordavam o tema, seis consistindo de estudos de caso aplicados em indústrias, cinco realizados por acadêmicos de Engenharia Mecânica, e nenhum consistindo de um levantamento bibliográfico de trabalhos já disponíveis, como pretende este trabalho. Os cinco trabalhos selecionados foram publicados entre 2006 e 2007.

Para a obtenção de artigos publicados em congressos consultou-se a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (Abepro), uma instituição referência nacional representativa de docentes, discentes e profissionais de Engenharia de Produção. A Abepro atua há mais de 20 anos esclarecendo o papel do engenheiro de produção na sociedade e há 17 promovendo a pesquisa e a disseminação do conhecimento da área, através da publicação anual de periódicos (Abepro, 2013). Os anais dos Congressos Nacionais de Engenharia de Produção (ENEGEPs) realizados pela Abepro estão disponíveis para comercialização. A Abepro também possui uma Revista Científica Eletrônica de Produção Online, que possibilita a obtenção de artigos publicados de maneira gratuita. O acesso a este fórum do site permitiu a equipe realizar uma pesquisa pelos artigos que explorassem a MFV em atividades fabris. Uma pesquisa com as palavras chaves, individuais e combinadas, “Mapeamento do Fluxo de Valor”, “Manufatura Enxuta” e “Gestão Lean” foi realizada. A data de publicação dos trabalhos foi restrita para, no máximo, dois anos. Descartados os trabalhos que fugiam do escopo de nosso tema, foram obtidos 4 artigos. Dentre esses 4 artigos, três consistem de estudos de caso e um abrange uma revisão bibliográfica dos trabalhos de estudos de caso de manufatura enxuta nos últimos 10 anos publicados nos ENEGEPs. Ainda foram obtidos outros três trabalhos datados anteriormente a 2011, mas de grande interesse para nossa pesquisa: um estudo de caso, datado de 2008, em uma empresa do setor metal-mecânico e dois trabalhos teóricos publicados em 2005.

3.2 ANÁLISE DOS ESTUDOS DE CASO

De posse do material teórico, fez-se um levantamento dos estudos de caso com o MFV e selecionaram-se 23 trabalhos. Dentre estes, dois apresentavam a ferramenta aplicada em mais de um único processo produtivo. Lima e Zawilask (2003) avaliaram sete produtos fornecidos por diferentes sete empresas; Fernandes

(2006) estudou cinco diferentes produtos em uma mesma empresa. Foram obtidos, dessa forma, 33 estudos de caso para o levantamento estatístico. A quantidade de trabalhos encontrados, de acordo com o ano, é mostrada na Figura 16. Verifica-se oscilações no período entre 2006-2010 e observa-se que a maioria das publicações concentra-se nos anos de 2011 e 2012, comprovando a atualidade do tema.

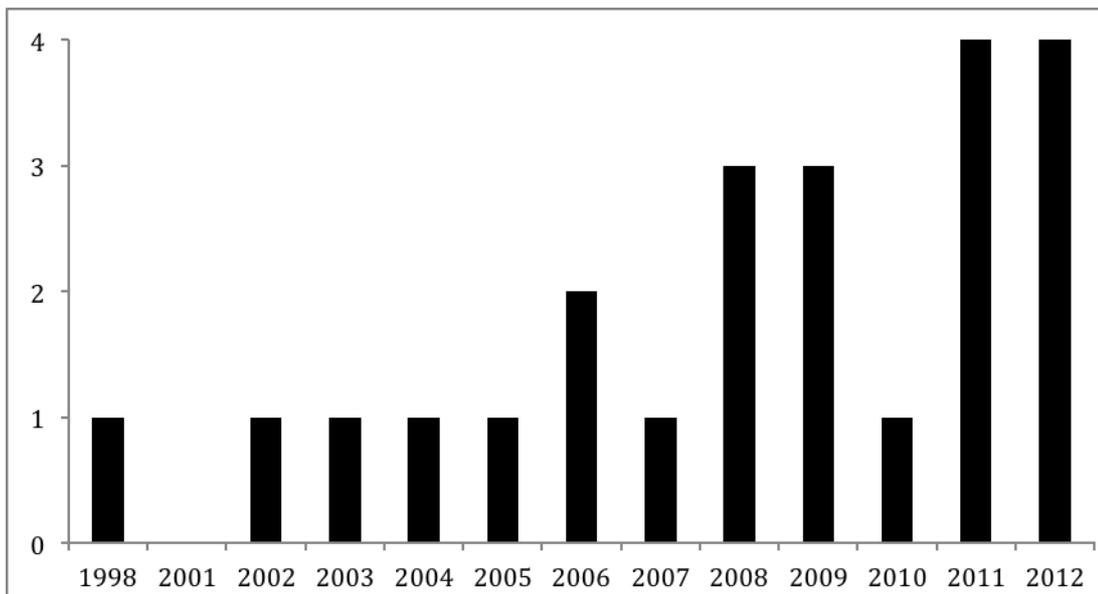


Figura 16 – Quantidade de publicações ao longo do período analisado.

Fonte: Autoria Própria

Uma hipótese do porquê das oscilações no período citado consiste de que, no Brasil, nessa época, tanto as pesquisas como as empresas estavam em fase inicial de implementação da Manufatura Enxuta e suas ferramentas, sem resultados relevantes para a publicação de trabalhos e métodos de avaliação (Walter e Tubino, 2012).

3.3 ESTUDO ESTATÍSTICO: INTERVALO DE CONFIANÇA

Para o presente trabalho, foram estabelecidas duas métricas quantitativas como parâmetros para avaliação da eficácia do MFV com o uso do Intervalo de Confiança: o *lead time* (em dias) e o tempo de ciclo (em minutos). Dessa forma, avaliando as possíveis ferramentas disponíveis na literatura, optou-se pelo uso do Intervalo de Confiança para a Média com Variância Populacional Desconhecida, devido ao universo da amostra ser desconhecido, e assim, não sendo possível o cálculo da variância populacional.

Foi definido o grau de confiabilidade de 90%, por se tratar de uma confiabilidade representativa. O número de graus de liberdade é a quantidade de termos da amostra menos 1 por definição. Em posse do grau de confiabilidade e dos graus de liberdade, pode-se obter da tabela no Anexo A o t de *Student*, presente na Equação (1).

Os demais termos necessários para o cálculo do intervalo de confiança foram obtidos através das equações (2) e (3) presentes na fundamentação teórica.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS A RESPEITO DA METODOLOGIA

Para o levantamento estatístico, então, serão montadas tabelas onde os estudos de caso encontrados serão parametrizados, evidenciando melhorias quantitativas no *lead time* e no tempo de ciclo. Com isso, será possível avaliar as melhores práticas para o uso da ferramenta do MFV, através da análise detalhada dos trabalhos que se destacaram no incremento das métricas; também, será possível aferir sobre os trabalhos que não apresentaram melhorias significativas (ou mesmo decréscimo) das métricas; ainda, averiguar sobre a relação entre a melhoria do *lead time* e melhoria do tempo de ciclo sob a influência da visão proporcionada pelo MFV; e, por fim, relacionar os melhores resultados com práticas enxutas no chão de fábrica.

Dessa forma, pretende-se disponibilizar um trabalho que possa servir como referência, com considerável número de citações bibliográficas e constando diversos estudos de casos com as melhores práticas enxutas verificadas. Por fim, a eficácia do MFV poderá ser verificada através do levantamento estatístico, onde será possível afirmar com que precisão o método realmente funciona e em quanto ele melhora, percentualmente, *lead time* e o tempo de processamento no chão de fábrica. Dessa forma, espera-se tornar este trabalho uma referência para o uso do Mapeamento do Fluxo de Valor.

4 MÉTODO DE EXECUÇÃO

Para a execução do trabalho e verificação da eficácia do MFV aplicado no fluxo de valor produtivo, formataram-se duas tabelas no *software* Microsoft Excel constando valores do *lead time* e do tempo de ciclo dos estudos de caso coletados. Os dados obtidos foram padronizados, de forma a tornar possível a comparação das métricas.

Montadas as tabelas, buscaram-se nos artigos informações que justificassem os resultados encontrados. Os motivos foram listados, tanto para as grandes variações das métricas quanto para as pequenas, nulas ou – como será visto – negativas.

O Intervalo de Confiança foi aplicado, então, para afirmar com que precisão o MFV trará resultados para um processo produtivo, de acordo com os trabalhos observados.

4.1 PADRONIZAÇÃO DOS TRABALHOS

Conforme mencionado anteriormente, duas tabelas foram montadas para a comparação dos resultados encontrados pelos estudos de caso. As tabelas abrangeram a análise das duas métricas: o *lead time* e o tempo de ciclo. Através da observação das dimensões das métricas – e para facilitar e simplificar o entendimento – optou-se por registrar o *lead time* em dias e o tempo de ciclo em minutos. O motivo de tal escolha deveu-se, principalmente, a grande variação encontrada nos tempo de ciclo dos diferentes autores, havendo grandes e pequenos tempos de ciclo, de forma que a adoção da unidade de segundos para o primeiro caso dificultaria a visualização dos processos como um todo.

4.2 ESTUDOS DOS CASOS

As tabelas, então, foram montadas registrando os 33 casos e apresentando colunas de estado atual, estado futuro, variação absoluta e variação relativa para cada métrica. Devido ao grande número de mapas encontrados, optou-se por expor dados qualitativos apenas dos casos mais relevantes, tanto com grandes variações, menor ou mesmo negativa. Assim, estabeleceu-se que os trabalhos com excelente variação são aqueles que a redução do *lead time* foi maior que 85%, enquanto os

trabalhos com pequena redução são aqueles que a redução do *lead time* foi menor que 5%. O uso deste critério segregou seis artigos com grande variação relativa da métrica e seis outros com variação não tão relevante, incluindo um trabalho que apresentou variação negativa no *lead time*.

Para o tempo de ciclo, foram avaliados 30 casos devido à falta de informações a respeito da métrica em três dos trabalhos disponíveis para consulta. A análise das melhorias através da tabela mostrou um comportamento sem forte correlação aparente do MFV e com o *lead time*. Os casos que obtiveram sucesso com a redução da métrica foram comentados, entretanto a aparente falta de correlação da métrica com a ferramenta base deste estudo prevaleceu.

Para a descrição das melhorias e estratégia que a perspectiva do Mapeamento do Fluxo de Valor auxiliou aplicar, foram considerados tanto trabalhos reais quanto virtuais. Embora os casos reais se apresentem em maior número, os trabalhos virtuais também foram levados em consideração. Enquanto os trabalhos reais consistiram de aplicações da ferramenta em chão de fábrica, mapeando o estado atual de empresas com dificuldades de fornecimento, aspirando melhorar sua capacidade produtiva e objetivando o estado futuro, os casos virtuais consistiram em linhas reais desenhadas virtualmente em que as melhorias propostas foram simuladas em *softwares* específicos ao invés de serem aplicadas na prática. A escolha de consideração e análise destes casos deu-se por terem sido obtidos em revistas de grande prestígio acadêmico, agregando, assim, muitos conceitos enxutos e técnicas interessantes para serem referenciadas e citadas. Também é importante ressaltar que as linhas virtuais desenhadas se baseiam em linhas reais, processos reais e produtos reais. Desta forma, foi assumido que os trabalhos virtuais são tão válidos quanto os reais.

5 RESULTADOS

5.1 MÉTRICA DE COMPARAÇÃO: *LEAD TIME*

O *lead time* é a métrica mais importante a ser analisada, por se tratar do tempo que o produto leva para percorrer o chão de fábrica desde o momento que ele entra como matéria prima, até quando sai como produto acabado. Considerando que as técnicas enxutas visam a redução de estoques e desperdícios, teoricamente, a aplicação das ferramentas enxutas deve resultar em grande redução do *lead time*.

A Tabela 3 indica as reduções absolutas e relativas de *lead time* do MFV futuro em relação ao presente para 33 trabalhos publicados e referenciados.

Tabela 3 – *Lead Time*.

Número	Trabalho	Presente (em dias)	Futuro (em dias)	Δ absoluto (em dias)	Δ relativo
1	Sullivan et al. (2002)	9,1	0,7	-8,4	-93%
2	Hines (1998)	34,0	3,0	-31,0	-91%
3	Lima e Zawislak (2003) – <i>Borracha</i>	74,9	8,0	-66,9	-89%
4	Ragadalli (2010)	35,2	4,0	-31,2	-89%
5	Lima e Zawislak (2003) - <i>Ferro</i>	180,8	22,5	-158,3	-88%
6	Fernandes (2006) - <i>ASA</i>	23,3	3,3	-20,0	-86%
7	Queiroz et al. (2004)	67,3	15,3	-52,0	-77%
8	Marodin e Zwilask (2005)	43,9	10,1	-33,8	-77%
9	Adbulmalek e Rajgopal (2007)	46,0	12,8	-33,2	-72%
10	Serra et al. (2008)	28,2	9,0	-19,2	-68%
11	Elias et al (2011)	102,0	34,3	-67,7	-66%
12	Paranitharan et al. (2011)	3,4	1,2	-2,2	-65%
13	Pattanaik e Sharma (2009)	7,0	2,8	-4,3	-61%
14	Baggio (2008)	34,8	14,1	-20,7	-59%
15	Fernandes (2006)	83,5	37,1	-46,5	-56%
16	Otto e Legal (2009)	2,0	1,0	-1,1	-53%
17	Rajenthirakumar e Thyla (2011)	2,8	1,4	-1,5	-52%
18	Álvarez et al. (2008)	18,2	8,9	-9,3	-51%
19	Lima e Zawislak (2003) - <i>Latão</i>	31,2	15,5	-15,7	-50%
20	Cipullo (2006)	5,5	3,0	-2,5	-45%
21	Fernandes (2006)	37,1	21,2	-16,0	-43%
22	Fernandes (2006)	47,2	27,2	-20,0	-42%
23	Besekas (2012)	5,0	3,0	-2,0	-40%

Tabela 3 – *Lead Time*. (continuação)

Número	Trabalho	Presente (em dias)	Futuro (em dias)	Δ absoluto (em dias)	Δ relativo
24	Rissioli (2009)	4,0	3,0	-1,0	-25%
25	Ko et al (2012)	75,2	56,7	-18,4	-25%
26	Lima e Zawislak (2003) - <i>Plástico</i>	12,3	10,0	-2,3	-19%
27	Lima e Zawislak (2003) - <i>Fibra</i>	23,1	19,0	-4,1	-18%
28	Fernandes (2006) - <i>SI</i>	37,0	35,1	-2,0	-5%
29	Lima e Zawislak (2003) - <i>Chapa</i>	10,4	10,2	-0,2	-2%
30	Rahani e al-Ashraf (2012)	1,0	1,0	0,0	0%
31	Vinodh et al. (2011)	13,5	13,5	0,0	0%
32	Bartz et al. (2012)	1,5	1,5	0,0	0%
33	Lima e Zawislak (2003) - <i>Cabo</i>	0,8	1,6	0,8	103%

Fonte: Autoria Própria

O primeiro trabalho a ser analisado é o de Sullivan *et al.* (2002), por ter sido a aplicação do MFV que resultou na maior redução do *lead time*, 93%. A produção analisada pelo autor é uma *transfer line* altamente robotizada. Entretanto, mesmo com toda a automatização, houve espaço para redução de 93% do *lead time*. Isso mostra que não importa eliminar erros humanos com a adição de robôs em uma linha produtiva sem utilizar conceitos de manufatura enxuta para otimização dos tempos do processo produtivo como um todo.

A aplicação de Sullivan *et al.* (2002) envolveu criar sistemas puxados com supermercados; envio da programação da produção para apenas um processo; criação de fluxo contínuo (eliminação de estoques intermediários entre processos); *kanbans* de produção para indicar aos processos anteriores quando o nível do supermercado estiver baixo e por fim; melhorias *kaizen* em diferentes células produtivas. Também é importante ressaltar que o autor aplicou as sete ferramentas de mapeamento de desperdício descritas no trabalho de Hines (1997).

A segunda maior redução do *lead time* foi em um proeminente distribuidor de componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos no trabalho de Hines (1998), ao redor de 91%. O autor não se limitou a aplicação do mapeamento do fluxo de valor de forma convencional e, ao invés, aplicou ferramentas de mapeamento de desperdício expostas no trabalho de Hines (1997) que estão descritas na fundamentação teórica deste trabalho. As ferramentas aplicadas foram: mapa de

atividade do processo, matriz-resposta da cadeia de suprimentos, mapa de amplificação da demanda, mapa do filtro da qualidade, análise do ponto de decisão. A partir da aplicação conjunta destas ferramentas, foi possível identificar pontos de melhoria e um plano foi traçado pelo autor e separado em cinco fases:

1. Fase de percepção: inicialmente, passaram a ser utilizados módulos plásticos retornáveis em todos os níveis de fornecimento da cadeia produtiva. Dessa forma se reduziram custos de eliminação e retrabalho das embalagens. Por outro lado, foram desenvolvidos sistemas de controle de qualidade para a redução de desperdícios com refugo;
2. Fase de permissão: definição do fluxo de matéria prima chegando, fluxo de produtos em processo e fluxo de produtos em expedição. Envolveu a codificação dos módulos plásticos que armazenavam os produtos com códigos de barras. A partir da leitura do código de barras, cada nível da cadeia produtiva poderia identificar a carga armazenada no módulo plástico, facilitando o processamento deste material. Em adição, todos os fornecedores se reuniram e acordaram termos para poderem comprimir o tempo de entrega de produtos, agilizando a cadeia de suprimentos como um todo;
3. Fase de coordenação: estabelecimento de entregas frequentes (até mesmo diárias) de produtos para o próximo nível da cadeia de suprimento, para aumento drástico da frequência de fornecimento de material, objetivando obter um fluxo contínuo produtivo;
4. Fase puxada: criação de um sistema *kanban* para organizar, coordenar e finalizar a implementação de processos puxados de produção;
5. Fase da visão: últimas reduções drásticas de *lead time* com a redução de estoques a níveis extremamente baixos, buscando o mínimo possível. Procura obter-se também a produção puxada plena em que a demanda do consumidor final puxa toda a produção, inclusive dos fornecedores.

Ragadalli (2010) propôs a aplicação do mapeamento do fluxo de valor de forma a reduzir os sete tipos de desperdício expostos no trabalho de Hines (1997). Com o intuito de auxiliar a aplicação da ferramenta, o autor criou sete listas de melhorias que deveriam ser implementadas para reduzir cada um dos sete tipos de desperdício e ao lado, uma coluna com uma nota de zero à quatro de acordo com o

nível da implementação da melhoria, sendo zero referente a nenhuma providência tomada e quatro referente a implementação e funcionamento total da melhoria.

As listas criadas por Ragadalli (2010) permitiram que ele não só aplicasse as melhorias padrões propostas no livro de Rother e Shook (2003), mas também implementasse diversas outras melhorias gerenciais e do sistema enxuto de produção, como por exemplo: engenharia de processo, readequação do *layout* fabril, técnicas SMED de *setup* rápido, criação de células de manufatura, treinamento e desenvolvimento de operadores, aquisição de esteiras para transporte de produtos, análise de valor no *design*, procedimentos adequados para retrabalho, uso de equipamentos mais simples, programa 5S e padronização dos documentos da produção. A aplicação estratégica do MFV junto às listas confeccionadas pelo autor permitiram que fosse obtida uma redução de 89% do *lead time* de uma linha de produtos de uma empresa de injeção e extrusão plástica na região de Joinville.

O trabalho de Fernandes (2006) consistiu na aplicação do MFV em cinco linhas de produtos de uma empresa de cosméticos. Diferentes resultados foram obtidos dentre os quais, dois se destacaram: produto ASA, devido à redução de 86% do *lead time*; e produto SI com redução de 5%. Após a conclusão do mapa de estado presente, foi aplicado o conceito de sistema puxado com supermercado.

A produção do produto ASA envolve 2 processos: produção da embalagem plástica e preparação dos cosméticos. Produções puxadas com supermercado foram criadas ao final da produção da embalagem e dos cosméticos. Novos pedidos de compra de matéria prima passaram a ser enviados de acordo com a redução dos níveis do supermercado. A criação de um sistema puxado com supermercados aliada à agilidade de entrega dos fornecedores permitiu que a empresa analisada eliminasse os estoques de matéria prima a níveis mínimos, de forma a utilizar a matéria prima que no mesmo dia de seu recebimento.

A mesma teoria exposta para a redução do estoque de matéria prima foi usada para reduzir o estoque de produtos acabados. O supermercado ao final do processo produtivo foi dimensionado de forma a atender a demanda do mercado e ditar o ritmo da produção.

A redução de 5% do *lead time* da linha do produto SI do trabalho de Fernandes (2006) será usado para iniciar a análise das aplicações do MFV que obtiveram uma

redução de até 10% do *lead time*. O autor se baseou na mesma teoria bem sucedida de redução dos estoques de matérias primas e produtos acabados da linha do ASA. De forma análoga, o produto SI envolve dois processos: produção da embalagem plástica e preparação do cosmético. Embora a criação de um sistema puxado com supermercado tenha possibilitado a redução do estoque de embalagens, a manutenção do nível de estoque de cosméticos criou um gargalo que impossibilitou a redução do *lead time*.

A análise do mapa futuro não justificou manter os elevados níveis de estoque de matéria-prima de cosméticos. Portanto, existe a possibilidade de implementação de um sistema de supermercado ao final da preparação de cosméticos que permitiria uma redução significativa do *lead time*.

A proposta de Vinodh *et al.* (2011) difere dos demais artigos expostos nesta seção por se tratar de aplicação do mapeamento do fluxo de valor de forma a obter reduções de desperdícios e resíduos, de forma a melhorar o impacto ambiental de uma linha produtiva. A variação do mapa de fluxo de valor utilizada pelos autores expõe também os dados ambientais e a maior preocupação está em reduzir o consumo energético, uso de materiais, uso de elementos tóxicos, consumo de água, emissões de poluentes, emissões de resíduos sólidos e custo.

Pode-se dizer que do ponto de vista da abordagem tradicional, a aplicação do MFV nesse caso não foi bem sucedida devido ao *lead time* não ter sido reduzido. No entanto, as melhorias de processo propostas a partir da aplicação do mapeamento do fluxo de valor permitiram que o desperdício de aproximadamente 130 quilogramas de água por ciclo de processamento, materiais e resíduos fosse eliminado.

O trabalho de Bartz *et al.* (2012) é referente à aplicação do MFV em uma indústria de palitos. O foco foi o maior controle dos processos com melhoria do *layout* da fábrica. Através da análise do mapa presente em relação ao futuro, as únicas mudanças propostas pelos autores foram dois *kaizens* de processos e um FIFO do estoque de matéria prima até o primeiro processo. As alterações de *layout* e dos processos podem ter gerado uma melhoria qualitativa, mas no entanto, não alteraram o *lead time* e o tempo de ciclo. O mesmo ocorre com o FIFO que gera uma melhoria organizacional do estoque e que pode eliminar perdas de produtos que permanecem estocados por longos períodos de tempo. Percebe-se portanto,

que a utilização de uma ferramenta tão completa como o MFV se torna dispensável em casos de melhorias organizacionais e puramente qualitativas.

Um dos trabalhos que não apresentou redução do *lead time* foi o de Rahani e al-Ashraf (2012) em uma indústria de autopeças da Malásia. A motivação para aplicação do MFV foi a incapacidade de atendimento da demanda diária de uma linha de discos frontais. Portanto, a principal meta era conseguir reduzir desperdícios e ineficiências de forma a produzir de acordo com o *takt time*. Além do *takt time*, outros fatores nortearam o desenho do mapa de fluxo futuro: eliminação de gargalos, redução de estoques intermediários, criação de fluxo contínuo e melhorias *kaizen*.

Mesmo com a aplicação estruturada dessas melhorias, a redução no *lead time* não foi visível. No entanto, a cronoanálise somada à redistribuição do trabalho e readequação do *layout* permitiu que os tempos de máquina e de intervenção humana fossem reduzidos, fazendo com que o tempo de ciclo total diminuísse em aproximadamente 15%.

O artigo de Lima e Zawislak (2003) forneceu uma amostra de seis aplicações do mapeamento do fluxo de valor em diferentes linhas de produtos de diferentes indústrias de transformação. O objetivo da aplicação da ferramenta foi a melhoria da cadeia produtiva como um todo em busca de vantagem em um mercado competitivo de autopeças. Dentre as seis aplicações presentes no artigo, serão analisadas as quatro principais: borracha e ferro, devido à grande redução do *lead time*, 89% e 88% respectivamente, chapa, pela pequena redução, (2%), e cabo, pelo acréscimo de 103%.

No que tange aos principais problemas das empresas de borracha e ferro está a cultura de ter elevados estoques de segurança e tempos de *setup* de máquina. Por outro lado, a fábrica de borracha possuía um *layout* não otimizado. O principal norteador na busca de melhorias foi o fluxo de produção contínuo em todo o processo produtivo (puxado pelo cliente), com esse propósito foram sugeridos acordos de fornecimento com os principais fornecedores e contratos de fornecimento para os principais clientes. A partir do fechamento dos acordos citados anteriormente, a produção foi reorganizada em busca de eficiência operacional e redução de estoques.

A produção passou a seguir o *takt time*. Foi criado um sistema puxado com supermercados para reduzir e controlar estoques intermediários. Foram agrupados, para criação de um fluxo contínuo, processos consecutivos de pequeno tempo de *setup* e tempos de ciclo semelhantes. Foram propostos *kaizens* para redução do tempo de *setup*. Por outro lado, considerando os lotes mínimos de produção e as reduções já previstas nos tempos de *setup* pelos *kaizens*, foi feito um nivelamento da produção para poder produzir diferentes produtos com maior frequência. Também passou a ser utilizado um sistema *kanban* interno, como fluxo de informações, para que a produção fosse puxada pela expedição (processo final). Uma técnica enxuta, que foi mantida e aproveitada nas fábricas de borracha e ferro, foi o envio da programação para o primeiro processo da cadeia.

Um caso a ser estudado separadamente é o da indústria de cabos do artigo de Lima e Zawislak (2003), devido ao aumento do *lead time* de 0,8 para 1,6 dias. Apesar de terem sido aplicados os mesmos conceitos enxutos que resultaram em grandes reduções de *lead time* das empresas de borracha e ferro, os estoques da empresa de cabo não estavam em níveis seguros de pronto atendimento da demanda do cliente. Dessa forma, o aumento do *lead time* se deve ao superdimensionamento do nível de estoque dos supermercados. Por outro lado, os contratos de fornecimento para os clientes e de recebimento de matéria prima não puderam ser renegociados.

Por fim, os trabalhos que não foram analisados minuciosamente, por não estarem nos extremos da tabela, em sua grande maioria, seguiram a aplicação do MFV como prevê o trabalho de Rother e Shook (2003). A grande variação de resultados se deve pelas peculiaridades de cada linha produtiva analisada.

5.2 INTERVALO DE CONFIANÇA PARA O LEAD TIME

O intervalo de confiança foi usado na amostra de reduções de *lead time* para se determinar com um grau de confiabilidade de 90% a redução esperada de *lead time* para a população de aplicações do MFV. O intervalo de confiança considerado nesse caso é o de variância populacional desconhecida, pois não se tem como saber a variância da redução do *lead time* da população de aplicações de MFV.

As reduções de *lead time* foram reclassificadas em grupos, de forma que as reduções compreendidas no intervalo de 0 à 10% foram classificadas como 0%, de

10 à 20% como 10% e assim por diante, até 100%. Não foi considerada a aplicação na empresa de cabos de Lima e Zawislak (2003) que resultou em aumento do *lead time*, também não foram considerados os trabalhos que não apresentaram redução de *lead time*. Acredita-se que os trabalhos que não obtiveram redução do *lead time* não são representativos para o levantamento estatístico, pois não utilizaram a abordagem tradicional de aplicação do MFV, mas usaram-no para mapeamento, melhor visualização do processo, ou aplicação de uma melhoria qualitativa. A Figura 17 indica a frequência de cada intervalo em relação aos intervalos de redução de *lead time*.

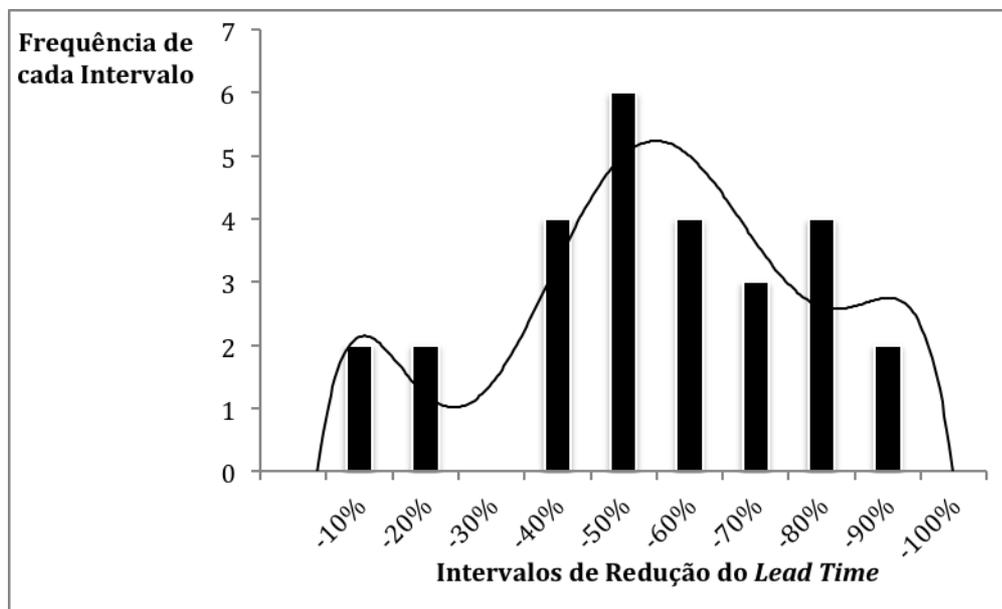


Figura 17 – Distribuição de Frequências para o *Lead Time*.

Fonte: Autoria Própria

Na Figura 17 também está presente a curva de tendência que foi criada no *software* Microsoft Excel utilizando a aproximação por um polinômio de sexto grau. Escolheu-se o maior grau possível do polinômio para que se tenha maior precisão na aproximação. Pelo formato da curva de tendência gerada, percebe-se que é razoável uma aproximação para a distribuição normal, com a curva característica em formato de “sino”.

Para o cálculo do valor esperado da média populacional de redução do *lead time*, calculou-se a média da distribuição (-59%) através da aplicação da Equação (2) na amostra da Tabela 3 e obteve-se o *t* de *Student* da tabela do Anexo A para 26 graus de liberdade e 90% de confiabilidade bicaudal (1,7056). O motivo de se ter

usado a terceira coluna da tabela no Anexo A (alfa = 5%) é análogo ao apresentado no exemplo do capítulo 3.3. Por fim, o desvio padrão com variância populacional desconhecida foi obtido com a Equação (3) e os dados expostos anteriormente, resultando em 23%. O cálculo do desvio padrão está exposto na Equação (4). As variações quadradas dos 27 valores da amostra em relação à média de 59% foram somadas e divididas pela raiz quadrada da quantidade de valores da amostra ($n = 27$) menos 1.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{27} (x(n) - 59\%)^2}{\sqrt{27 - 1}}} \quad (4)$$

De posse dos valores calculados, pode-se determinar as variações em relação à média de redução do *lead time* de acordo com a Equação (1), que é de 7%, conforme exposto na Equação (5).

$$\frac{t_{student} \times s}{\sqrt{n}} = \frac{1,7056 \times 23\%}{\sqrt{27}} = 7\% \quad (5)$$

A partir do dado da Equação (5), pode-se estimar com 90% de precisão que a média de redução do *lead time* da população de aplicações do MFV será entre 52% e 66%. Um grau de confiança de 90% é bastante representativo e a redução esperada de 52 à 66% corresponde à economias da ordem de metade dos gastos com estoques e aproximadamente o dobro da agilidade na entrega do produto final. É importante ressaltar que o intervalo de confiança não está associado com o valor esperado de uma aplicação aleatória do MFV, mas com o que se espera do universo de aplicações.

5.3 MÉTRICA DE COMPARAÇÃO: TEMPO DE CICLO

A mesma análise realizada para o *lead time* será feita para o tempo de ciclo de 30 trabalhos, como segue na Tabela 4.

Tabela 4 – Tempo de Ciclo.

Número	Trabalho	Presente (em min.)	Futuro (em min.)	Δ absoluto (em min.)	Δ relativo
1	Lima (2003) - Ferro	1125,0	69,0	-1056,0	-94%
2	Lima (2003) - Borracha	4667,0	325,0	-4342,0	-93%
3	Lima (2003) - Chapa	268,0	21,5	-246,5	-92%
4	Lima (2003) - Latão	17,3	6,3	-10,9	-63%
5	Fernandes (2006)	2,1	1,1	-1,0	-48%
6	Lima (2003) - Fibra	96,0	50,0	-46,0	-48%
7	Ragadalli (2010)	1,1	0,6	-0,5	-48%
8	Baggio (2008)	2160,0	1152,0	-1008,0	-47%
9	Rajenthirakumar e Thyla (2011)	0,4	0,3	-0,1	-23%
10	Ko et al (2012)	73,0	56,7	-16,3	-22%
11	Elias et al (2011)	99,0	81,0	-18,0	-18%
12	Rahani e al-Ashraf (2012)	7,4	6,3	-1,1	-15%
13	Besekas (2012)	110,8	95,2	-15,5	-14%
14	Paranitharan et al. (2011)	195,4	182,7	-12,7	-7%
15	Álvarez et al. (2008)	56,4	56,4	0,0	0%
16	Sullivan et al. (2002)	165,0	165,0	0,0	0%
17	Lima (2003) - Plástico	2,3	2,3	0,0	0%
18	Marodin e Zwilask (2005)	155,0	155,0	0,0	0%
19	Vinodh et al. (2011)	288,0	288,0	0,0	0%
20	Adbulmalek e Rajgopal (2007)	7150,5	7150,5	0,0	0%
21	Pattanaik e Sharma (2009)	20,5	20,5	0,0	0%
22	Serra et al. (2008)	408,0	408,0	0,0	0%
23	Bartz et al. (2012)	1113,0	1113,0	0,0	0%
24	Rissoli (2009)	100,0	100,0	0,0	0%
25	Fernandes (2006)	1,6	1,6	0,0	0%
26	Fernandes (2006)	1,8	1,8	0,0	0%
27	Fernandes (2006)	1,6	1,6	0,0	0%
28	Fernandes (2006)	2,6	2,6	0,0	0%
29	da Costa (2006)	206,4	206,4	0,0	0%
30	Queiroz et al. (2004)	80,0	80,0	0,0	0%

Fonte: Autoria Própria

A Figura 18 corresponde à distribuição de frequência de resultados de redução do tempo de ciclo e os intervalos de redução dos tempos de ciclo. As reduções de

tempo de ciclo foram agrupadas da mesma forma que o *lead time*, as reduções de 0 à 10% foram classificadas como 0%, de 10 à 20%, como 10% e assim por diante.

Com relação à redução do tempo de ciclo, percebe-se que a distribuição difere bastante da distribuição de redução do *lead time*. Em 50% da amostra considerada, a redução do tempo de ciclo foi nula e em poucos casos a redução passou dos 50%.

Pelo fato de o tempo de ciclo ser o tempo entre dois componentes subsequentes saírem do mesmo processo, é possível reduzir este tempo automatizando o processo, mudando os parâmetros, substituindo o operador por um mais experiente e mais produtivo, melhorando e facilitando o *design* do produto, adquirindo uma máquina mais produtiva, reduzindo o tempo de *setup*, simplificando e eliminando processos, etc.

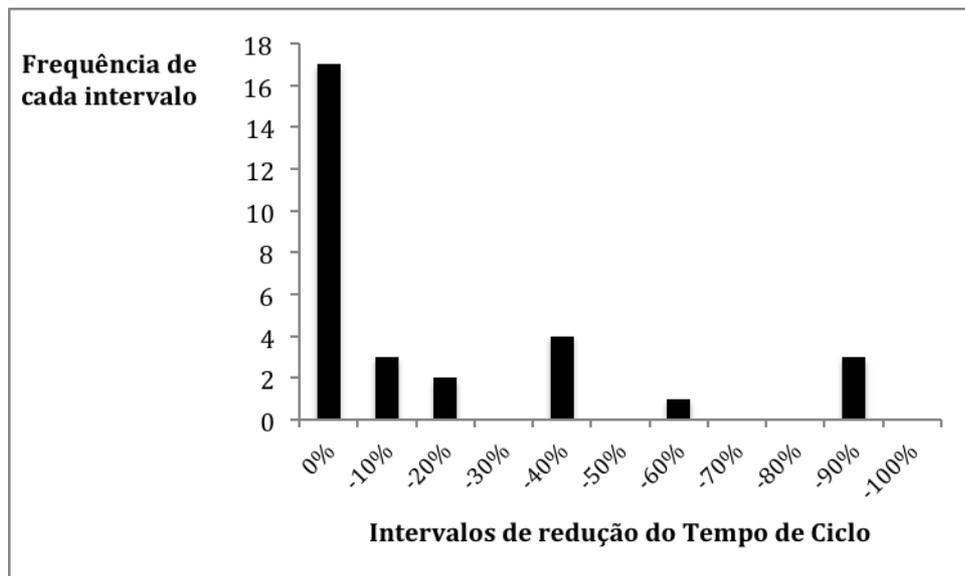


Figura 18 – Distribuição de Frequências para o Tempo de Ciclo.

Fonte: Autoria Própria

Das cinco aplicações do MFV que resultaram nas maiores reduções do tempo de ciclo, quatro estão no trabalho de Lima e Zawislak (2003). Estas grandes reduções de tempo de ciclo estão associadas com eliminação de processos desnecessários, simplificação de processos que exigem grande interferência do operador e redução do *setup* de máquinas. Os trabalhos de Fernandes (2006) e Ragadalli (2010) tiveram grandes reduções de tempo de ciclo devido aos baixos tempos de ciclo do mapa presente: 2 e 1 minutos respectivamente. Pequenas melhorias *kaizen* permitiram que o operador alimentasse o processo mais rapidamente e obtivesse uma melhoria percentual bastante elevada.

Com a análise dos artigos no parágrafo anterior, que obtiveram uma grande redução do tempo de ciclo, pode-se perceber que não existe uma forte correlação entre a aplicação do MFV e a redução do tempo de ciclo. Isso se deve ao fato de que as melhorias propostas pelo MFV estão muito mais associadas à redução de estoques e conseqüentemente do *lead time*, do que do tempo de processamento.

A única melhoria de processo presente na metodologia de aplicação do mapeamento do fluxo de valor é o *kaizen* que pode possibilitar melhorias no tempo de ciclo. No entanto, observou-se que a grande maioria dos autores não identificou oportunidades de aplicação de melhorias *kaizen*. A aplicação de *kanbans*, sistemas puxados com supermercados, nivelamento de carga, envio da programação para apenas um processo e criação de fluxo contínuo não estão atrelados ao tempo de ciclo, mas ao *lead time*. Portanto, as reduções de tempo de ciclo obtidas em alguns trabalhos estão associadas à aplicações de outras ferramentas de engenharia de processos e de produto. Desta forma, aplicar o intervalo de confiança para as reduções em tempo de ciclo dos trabalhos expostos não terá um resultado significativo, já que a grande maioria não obteve redução do tempo de ciclo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações finais sobre o trabalho serão apresentadas de forma à abordar os objetivos específicos do trabalho e comentar sobre suas concretizações.

6.1 APRESENTAR A FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA NECESSÁRIA E SUFICIENTE PARA A UTILIZAÇÃO COMPLETA DO MFV

O primeiro objetivo foi atingido com a realização da seção 2 deste trabalho: fundamentação teórica.

O referenciamento bibliográfico contou com a leitura, análise e apresentação dos principais conceitos de aplicação do MFV utilizados nos trabalhos que obtiveram as maiores reduções de *lead time*. Ressalta-se como as referências mais relevantes sobre o assunto, os trabalhos de Rother e Shook (2003) e Hines (1997).

Inúmeras técnicas, ferramentas e conceitos de manufatura enxuta foram utilizados pelos autores dos artigos analisados que não foram expostos na fundamentação teórica. A razão dessa restrição se deve ao fato de haver uma extensa literatura sobre manufatura enxuta e cobri-la por completo fugiria do escopo deste trabalho.

O objetivo de apresentar a fundamentação teórica necessária e suficiente para a utilização completa do MFV foi atingido. No entanto, caso se deseje melhorar os resultados da aplicação, é recomendado aprofundar os estudos sobre manufatura enxuta. Como citado anteriormente, o mapeamento do fluxo de valor serve como uma ferramenta que auxilia a aplicação estratégica de outras ferramentas e técnicas da manufatura enxuta, e nunca deve ser utilizado para substituí-las.

6.2 LEVANTAR E COMPARAR OS DADOS QUANTITATIVOS DO FLUXO DE VALOR PRESENTE EM RELAÇÃO AO FLUXO DE VALOR FUTURO

O levantamento e a comparação foram realizados com uma amostra de 33 artigos, uma quantidade relevante e significativa por se tratar de um tema bastante atual. As duas principais métricas quantitativas do mapeamento do fluxo de valor foram levantadas, o *lead time* e o tempo de ciclo, e comparadas entre o estado presente e futuro. Posteriormente, este levantamento permitiu a análise estatística e qualitativa de melhorias provenientes da utilização do MFV.

Considerando o citado no parágrafo anterior, acredita-se que o segundo objetivo específico do trabalho foi completado e corresponde às Tabelas 3 e 4.

6.3 COMPROVAR A UTILIDADE, APLICABILIDADE E EFICIÊNCIA DA FERRAMENTA

Este objetivo foi atingido mediante aplicação de intervalos de confiança para prever um intervalo de redução esperada do *lead time* em aplicações futuras do mapeamento do fluxo de valor.

Espera-se, de acordo com o intervalo de confiança, uma média populacional de redução de 52% a 66% de *lead time* com 90% de confiança. Os limites do intervalo obtido são bastante significativos. Significam reduzir aproximadamente metade do tempo que o produto permanece no chão de fábrica, diminuindo em grande parte os custos de manutenção de estoques, custos de perdas de produtos devido à estocagem e transporte excessivo e o custo financeiro para sustentar os estoques. Em adição, a redução do *lead time* também significa que a empresa está apta a atender a demanda de seus clientes com maior prontidão.

Por fim, com relação à aplicabilidade da ferramenta, a análise dos resultados dos 33 artigos permitiu observar a abrangência de aplicação do MFV nos mais variados tipos de indústrias, em linhas de produtos (manufaturados em segundos, minutos, horas ou até dias). E também pode ser empregada com finalidades diferentes, como no caso da indústria que utilizou a técnica para diminuir desperdícios ambientais.

6.4 ESTUDAR AS MELHORES PRÁTICAS DOS AUTORES DOS ESTUDOS DE CASO

Apesar da redução de *lead time* esperada ser de 52 a 66% com 90% de confiabilidade com base na amostra de artigos utilizada, o mapeamento do fluxo de valor não elimina a necessidade de aplicação de ferramentas do sistema enxuto de produção, mas auxilia sua aplicação estratégica. Portanto, um aplicador da ferramenta MFV que desconheça as melhores técnicas e práticas enxutas está fadado ao insucesso e não obterá uma redução de *lead time* dentro do intervalo esperado.

É importante ressaltar que os trabalhos que obtiveram as maiores reduções de *lead time* são aqueles que agregaram diversos conceitos e ferramentas do sistema enxuto de produção e da engenharia de produção. São exemplos desses conceitos e ferramentas: programas 5S, engenharia de processos, balanceamento de linhas, readequação do layout fabril, técnicas de *setup* rápido, criação de células de manufatura, treinamento e desenvolvimento de operadores, facilitadores logísticos para transporte de produtos, análise de valor no *design*, procedimentos adequados para retrabalho e refugo, padronização dos documentos da produção, entre outros. Os dois principais artigos com relação a melhorias no *lead time*, utilizaram as sete ferramentas de mapeamento de desperdícios expostas no trabalho de Hines (1997).

Quanto maior a utilização de ferramentas do sistema enxuto de produção em conjunto com o MFV, maior é o tempo necessário para a completa aplicação e implementação de melhorias. Dessa forma, deve-se saber escolher as melhores ferramentas que se adequam a determinado caso, pois muitas vezes é melhor implementar mais rapidamente as melhorias ainda que utilizando menos ferramentas auxiliares ao MFV.

Assim, deve-se avaliar criticamente o estado atual de um determinado caso e agir de forma a obter melhorias brevemente, trabalhando de forma simples em conjunto com as ferramentas do sistema de produção enxuta e refazendo o mapa futuro conforme o estado atual seja alcançado.

6.5 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando a abrangência do MFV e os resultados obtidos, aconselha-se que trabalhos futuros utilizem a ferramenta e realizem um comparativo com os dados expostos no presente trabalho.

Por outro lado, considerando as dificuldades encontradas com relação a aplicação da ferramenta estatística para o tempo de ciclo e a literatura específica sobre o MFV abordar de forma bastante superficial a aplicação de melhorias *kaizen*, recomenda-se que trabalhos futuros abordem formas sistemáticas e amplas de se aplicar melhorias *kaizen* em um mapa de fluxo de valor, para que o cenário de melhoria de tempo de ciclo não seja o que foi observado na seção de resultados deste trabalho, em que 50% da amostra não obteve redução desta métrica.

REFERÊNCIAS

ABDULMALEK,, F. A. and RAJGOPAL, J.; Analyzing the Benefits of Lean Manufacturing and Value Stream Mapping via Simulation: A Process Sector Case Study. **International Journal of Production Economics**, Vol. 107, No. 1, 2007, p. 223-236.

ABEPRO. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/interna.asp?s=1&c=359>>. Acesso em: 13 fev. 2013, 09:50.

ÁLVAREZ, Roberto; CALVO, Roque; PEÑA, Maria. DOMINGO; Rosario. Redesigning an Assembly Line Through Lean Manufacturing Tools. **International Journal of Advance Manufacturing Technology**, 2009, 43:949-958.

RAHANI, Ar.; AL-ASHRAF, Muhammad. Production Flow Analysis Through Value Stream Mapping: a Lean Manufacturing Process Case Study. **International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors**, 2012.

BAGGIO, Daniel Luís. **Uso de conceitos e ferramentas da produção enxuta para a identificação de perdas no processo de fabricação e montagem de peças de concreto pré-fabricadas em obra**. 2008. 36 f. : Monografia (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Especialização em Gerenciamento de Obras, Curitiba, 2008.

BARTZ, Aline Beatriz; CHITOLINA, Natana; SILVA, Vilmar Bueno. Sistema Produtivo: Um Estudo de Caso Sobre Mapeamento do Fluxo de Valor em Uma Fábrica de Palitos. **Segunda Semana Internacional das Engenharias da FAHOR**. Horizontina, RS – BRASIL. 22 a 26 de Outubro de 2012.

BEESELEY, A., “A need for time-based process mapping and its application in procurement”, **Proceedings of the 3rd Annual IPSERA Conference**, University of Glamorgan, 1994, p. 41-56.

BERK, Jonathan; DEMARZO, Peter. **Finanças Empresariais**. Porto Alegre: Artmed, 2008.

BESEKAS, Luiz Claudio. **Simulação como Ferramenta para Aplicação do MFV**. Centro Universitário Nove de Julho - UNINOVE. Programa de Mestrado em Engenharia de Produção. São Paulo. Dissertação (Mestrado), 2012.

BURBIDGE, J., Automated production control with a simulation capability. **Proceedings IFIP Conference Working Group 5-7**, Copenhagen, 1984.

CIPULLO, Luiz Gustavo Leite. **Manufatura enxuta: uma proposta de otimização no fluxo da cadeia de valores**. Curitiba, 2006. 56 f. : Monografia (especialização) - Curitiba, UTFPR, 2006.

DA COSTA, Guilherme Machado. **O Mapeamento do fluxo de valor e a eliminação de desperdícios: um estudo de caso em uma empresa metal-mecânica**. Curitiba, 2006. 67 f. : Monografia (especialização) - UTFPR, Curitiba, 2006.

ELIAS, Sérgio José Barbosa; OLIVEIRA, Mauro Macedo de; TUBINO, Dálvio Ferrari. Mapeamento do Fluxo de Valor: Um Estudo de Caso em uma Indústria de Gesso. **Revista ADMpg Gestão Estratégica**, v. 4, n. 1, 2011

FERNANDES, Fernando Alvares. **Implementação do sistema de produção enxuta em indústrias de cosméticos: um estudo de caso**. 2006. [98] f. : Monografia (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Especialização em Gestão da Manufatura, Curitiba, 2006.

FORRESTER, J., "Industrial dynamics: a major breakthrough for decision makers", **Harvard Business Review**, July-August 1958, p. 37-66.

GUIMARÃES, Inácio Andruski. **Estatística**. Univesidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

HINES, Peter; RICH, Nick. The Seven Value Stream Mapping Tools. **Internation Journal of Operations and Production Magement**, Vol. 17. No. 1, 1997, p. 46-64.

HINES, Peter; RICH, Nich; ESAIN, Ann. Creating a Lean Supplier Network: A Distribution Industry Case. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, Volume 4, 1998, p. 235 – 246.

JESSOP, D. and JONES, O., "Value stream process modelling: a methodology for creating competitive advantage", **Proceedings of the 4th Annual IPSERA Conference**, University of Birmingham, 1995.

JONES, Daniel. Applying Toyota principles to distribution. **Supply Chain Development Programme I**, Workbook #8, Britvic Soft Drinks Ltd, Lutterworth, 6-7 July 1995.

JONES, Daniel Terryll; HINES, Peter; RICH, Nick. Lean logistics. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**. Vol. 27, 1997, p.153 - 173.

KO, Chien-Ho; WANG, Wei-Chieh; KUO, Jiun-De. Improving Formwork Engineering Using the Toyota Way. **Journal of Engineering, Project, and Production Management**, Vol 1, 2011, p. 13 – 27.

LIMA, Maria Letícia Sousa Correia; ZAWISLAK, Paulo Antônio. A produção enxuta como fator diferencial na capacidade de fornecimento de PME's. **Revista Produção** v. 13, n. 2, 2003.

MACBETH, D. and FERGUSON, N., **Partnership Sourcing: An Integrated Supply Chain Approach**, Pitman Publishing, London, 1994.

MARODIN, Giuliano; ZAWISLAK, Giuliano. Mapeamento do Fluxo de Valor em Empresa Madeireira. **XII SIMPEP**, Bauru – SP, Brasil, 7 a 9 de Novembro de 2005

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção – Além da Produção em Larga Escala**. Porto Alegre: Bookmann, 1997.

OTTO, Rosana Antunes; LEGAL, Tatiana Mara. **Estudo de caso: aplicação de técnicas do sistema Toyota de produção em empresa metalúrgica de produção convencional**. 2009. 108 f. : Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial, Curitiba, 2009

PARANITHARAN, K. P; BEGAM, M. Shabeena; ABUTHAKEER, S. Syath; SUBHA, M. V. Redesigning an Automotive Assembly Line Through Lean Strategy. **International Journal of Lean Thinking**, Vol 2, Issue 2, December 2011.

PATTANAIAK, L. N.; SHARMA, B. P. Implementing Lean Manufacturing with Cellular Layout: a case study. **International Journal of Advance Manufacturing Technology**, 2011, 42:772-779.

QUEIROZ, J. A.; RENTES, A. F.; ARAUJO C. A. C. Transformação enxuta: aplicação do mapeamento do fluxo de valor de uma situação real. **XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Florianópolis-SC, 2004

RAGADALLI, Mauricio. **Mapeamento do Fluxo de Valor na Cadeia Produtiva em Empresa de Extrusão e Injeção Plástica**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Estado de Santa Catarina, Joiville – SC. 2010, 87 páginas.

RAJENTHIRAKUMAR, D.; THYLA, P. R.; Transformation to Lean Manufacturing By an Automotive Component Manufacturing Company. **International Journal of Lean Thinking**, Vol. 2, Issue 2, December 2011.

RAMOS, Roberto Luís Olinto. Coordenador da Coordenação de Contas Nacionais do IBGE. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/noticia/2013/03/economia-brasileira-cresce-09-em-2012-diz-ibge.html>>. Acesso em: 05 mar. 2013, 17:10.

RICH, Nick. Supply stream ‘responsiveness’ project. **Supply Chain Development Programme I**, Workbook #6, Tesco Stores Limited, Hertford, 25-26 January 1995.

RISSIOLI, Yggor. **Avaliar os ganhos obtidos em uma célula de produção através da implantação do sistema de fluxo puxado**. 2009. 51 f. : Monografia (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Especialização em Gestão Estratégica da Produção, Curitiba, 2009.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. **Aprendendo a Enxergar**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

SANTOS, Daniel Gonçalves dos. **Introdução de ferramentas lean no chão de fábrica através de workshops**: estudo de caso na empresa Electrolux do Brasil s/a unidade Guabirota. 2007. [50] f. : Monografia (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Especialização em Gestão da Manufatura, Curitiba, 2007.

SERRA, Claudio Mauro Vieira; NOGUEIRA, Juliana Ramos; Carneiro, Sara Solange Parga; LAGUNA, Theo Affonso. Aplicação da Ferramenta Mapeamento do Fluxo de Valor no Processo de Fabricação do Produto Painel em uma Empresa Madeireira de Médio Porte Localizada na Região Metropolitana de Belém. **XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 13 a 16 de outubro de 2008.

SULLIVAN, William G.; MCDONALD, Thomas N.; AKEN; Eileen M. Van. Equipment Replacement Decisions and Lean Manufacturing. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, Volume 18, Number 3, 2002, p. 255 – 265.

TAYLOR, David H.; BRUNT, David. **Manufacturing Operations and Supply Chain Management: The Lean Approach**. London, UK: Thomson Learning, 3rd Ed., 2002.
VINODH, S; ARVIND, K. R.; SOMANAATHAN, M. **Tools and Techniques for Enabling Sustainability Through Lean Initiatives**. Clean Techn Environ Policy, 2011.

WALTER, Olga Maria Formigoni Carvalho; TUBINO, Dalvio Ferrari. Métodos de avaliação da implantação da manufatura enxuta: uma análise dos anais da ENEGEP. **Revista Gest. Prod.**, vol.12, no.3, 2012. ISSN 1676-1901.

WOMACK, James. P.; JONES, Daniel Terryll. **A mentalidade enxuta nas empresas**. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel Terryll.; ROOS, Daniel. **A Máquina que mudou o mundo**. 11. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992. 347 p. ISBN 85-7001-7421.

ANEXO A – DISTRIBUIÇÃO T DE STUDENT

φ = graus de liberdade

α	25%	10%	5%	2,5%	1%	0,5%	α	25%	10%	5%	2,5%	1%	0,5%
1	1,0000	3,0777	6,3138	12,7062	31,8207	63,6574	46	0,6799	1,3002	1,6787	2,0129	2,4102	2,6870
2	0,8165	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248	47	0,6797	1,2998	1,6779	2,0117	2,4083	2,6846
3	0,7649	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409	48	0,6796	1,2994	1,6772	2,0106	2,4066	2,6822
4	0,7407	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041	49	0,6795	1,2991	1,6766	2,0096	2,4049	2,6800
5	0,7267	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0322	50	0,6794	1,2987	1,6759	2,0086	2,4033	2,6778
6	0,7176	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074	51	0,6793	1,2984	1,6753	2,0076	2,4017	2,6757
7	0,7111	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995	52	0,6792	1,2980	1,6747	2,0066	2,4002	2,6737
8	0,7064	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554	53	0,6791	1,2977	1,6741	2,0057	2,3988	2,6718
9	0,7027	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498	54	0,6791	1,2974	1,6736	2,0049	2,3974	2,6700
10	0,6998	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693	55	0,6790	1,2971	1,6730	2,0040	2,3961	2,6682
11	0,6974	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058	56	0,6789	1,2969	1,6725	2,0032	2,3948	2,6665
12	0,6955	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545	57	0,6788	1,2966	1,6720	2,0025	2,3936	2,6649
13	0,6938	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123	58	0,6787	1,2963	1,6716	2,0017	2,3924	2,6633
14	0,6924	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9768	59	0,6787	1,2961	1,6711	2,0010	2,3912	2,6618
15	0,6912	1,3406	1,7531	2,1315	2,6025	2,9467	60	0,6786	1,2958	1,6706	2,0003	2,3901	2,6603
16	0,6901	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208	61	0,6785	1,2956	1,6702	1,9996	2,3890	2,6589
17	0,6892	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982	62	0,6785	1,2954	1,6698	1,9990	2,3880	2,6575
18	0,6884	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784	63	0,6784	1,2951	1,6694	1,9983	2,3870	2,6561
19	0,6876	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609	64	0,6783	1,2949	1,6690	1,9977	2,3860	2,6549
20	0,6870	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453	65	0,6783	1,2947	1,6686	1,9971	2,3851	2,6536
21	0,6864	1,3232	1,7207	2,0796	2,5177	2,8314	66	0,6782	1,2945	1,6683	1,9966	2,3842	2,6524
22	0,6858	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188	67	0,6782	1,2943	1,6679	1,9960	2,3833	2,6512
23	0,6853	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073	68	0,6781	1,2941	1,6676	1,9955	2,3824	2,6501
24	0,6848	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7969	69	0,6781	1,2939	1,6672	1,9949	2,3816	2,6490
25	0,6844	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874	70	0,6780	1,2938	1,6669	1,9944	2,3808	2,6479
26	0,6840	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787	71	0,6780	1,2936	1,6666	1,9939	2,3800	2,6469
27	0,6837	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707	72	0,6779	1,2934	1,6663	1,9935	2,3793	2,6459
28	0,6834	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633	73	0,6779	1,2933	1,6660	1,9930	2,3785	2,6449
29	0,6830	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564	74	0,6778	1,2931	1,6657	1,9925	2,3778	2,6439
30	0,6828	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500	75	0,6778	1,2929	1,6654	1,9921	2,3771	2,6430
31	0,6825	1,3095	1,6955	2,0395	2,4528	2,7440	76	0,6777	1,2928	1,6652	1,9917	2,3764	2,6421
32	0,6822	1,3086	1,6939	2,0369	2,4487	2,7385	77	0,6777	1,2926	1,6649	1,9913	2,3758	2,6412
33	0,6820	1,3077	1,6924	2,0345	2,4448	2,7333	78	0,6776	1,2925	1,6646	1,9908	2,3751	2,6403
34	0,6818	1,3070	1,6909	2,0322	2,4411	2,7284	79	0,6776	1,2924	1,6644	1,9905	2,3745	2,6395
35	0,6816	1,3062	1,6896	2,0301	2,4377	2,7238	80	0,6776	1,2922	1,6641	1,9901	2,3739	2,6387
36	0,6814	1,3055	1,6883	2,0281	2,4345	2,7195	81	0,6775	1,2921	1,6639	1,9897	2,3733	2,6379
37	0,6812	1,3049	1,6871	2,0262	2,4314	2,7154	82	0,6775	1,2920	1,6636	1,9893	2,3727	2,6371
38	0,6810	1,3042	1,6860	2,0244	2,4286	2,7116	83	0,6775	1,2918	1,6634	1,9890	2,3721	2,6364
39	0,6808	1,3036	1,6849	2,0227	2,4258	2,7079	84	0,6774	1,2917	1,6632	1,9886	2,3716	2,6356
40	0,6807	1,3031	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045	85	0,6774	1,2916	1,6630	1,9883	2,3710	2,6349
41	0,6805	1,3025	1,6829	2,0195	2,4208	2,7012	86	0,6774	1,2915	1,6628	1,9879	2,3705	2,6342
42	0,6804	1,3020	1,6820	2,0181	2,4185	2,6981	87	0,6773	1,2914	1,6626	1,9876	2,3700	2,6335
43	0,6802	1,3016	1,6811	2,0167	2,4163	2,6951	88	0,6773	1,2912	1,6624	1,9873	2,3695	2,6329
44	0,6801	1,3011	1,6802	2,0154	2,4141	2,6923	89	0,6773	1,2911	1,6622	1,9870	2,3690	2,6322
45	0,6800	1,3006	1,6794	2,0141	2,4121	2,6896	90	0,6772	1,2910	1,6620	1,9867	2,3685	2,6316
							100	0,677	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626
							120	0,677	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617
							∞	0,674	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576