

ESTUDO E LEVANTAMENTO ESTATÍSTICO DO MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR (MFV) ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SEUS EFEITOS EM TRINTA E TRÊS ESTUDOS DE CASO

Paulo Antonio Reaes, reaes@utfpr.edu.br¹

João Carlos Espindola Ferreira, e-mail²

Murilo Souza, murilosouza@alunos.utfpr.edu.br¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Avenida Sete de Setembro, 3165, Bairro Rebouças - Curitiba, Brasil, 80230-901

²Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Departamento de Engenharia Mecânica, GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, Campus Universitário, Trindade, Florianópolis, SC, Brasil, 88040-900

Resumo: O presente trabalho se propõe a estudar o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), uma metodologia ainda pouco utilizada pelas empresas industriais brasileiras, que faz parte do conjunto das técnicas e conceitos da manufatura enxuta. Além do levantamento do estado da arte dos principais referenciais teóricos do tema, realizou-se um levantamento estatístico de 33 estudos de caso em que é aplicada esta metodologia. Através da análise criteriosa dos artigos com as maiores reduções de lead time, constataram-se quais as ferramentas dessa metodologia que estavam associadas aos maiores ganhos de desempenho. Por fim foi realizado um estudo estatístico buscando comprovar a utilidade, aplicabilidade e eficiência do MFV.

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

1. INTRODUÇÃO

Ao conhecer o funcionamento e os conceitos do pensamento enxuto, que objetiva 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. Essa atitude geralmente traz retornos de curto prazo com mudanças visíveis geralmente em uma pequena parte do fluxo de valor total.

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. O mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta que ajuda a enxergar e entender o fluxo de material e de informações 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.

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. 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.

Além disso, objetiva-se comprovar o potencial da ferramenta através do levantamento, análise e comparação dos resultados quantitativos dos estudos de caso. Com apresentação a fundamentação teórica necessária e suficiente para a utilização completa do MFV, também com o levantamento e comparação dos dados quantitativos do fluxo de valor presente em relação ao fluxo de valor futuro dos estudos de caso.

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.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta que ajuda a enxergar e entender o fluxo de material e de informações 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).

Os desperdícios que se buscam eliminar são na produção excessiva, o desperdício decorrente a espera, o deslocamento dos produtos no transporte, o processamento inadequado, a estocagem, a movimentação desnecessária, e os defeitos nos produtos.

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), que estabelece os seguintes passos:

- Produzir de acordo com o *Takt Time*
- Sistema Puxado com Supermercados
- Nivelamento do Mix de Produção
- Retirada Compassada
- Toda Peça Todo Dia
- Melhorias Kaizen

3. 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. 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 1. Verifica-se oscilações no período entre 2006-2010 e observa-se que a maioria das publicações se concentra nos anos de 2011 e 2012.

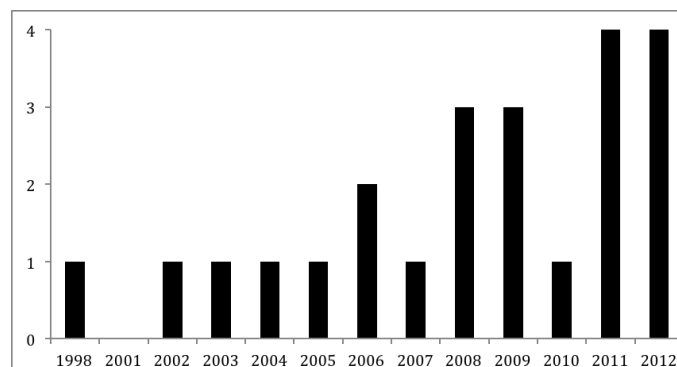


Figura 1 – Quantidade de publicações ao longo do período analisado.
Fonte: MORSELLI e VON BUETTNER, 2013

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.

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.

4. ESTUDO DOS CASOS

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. Foram encontrados um total de 43 artigos, e a grande maioria destes foi publicado após 2007, revelando a atualidade do tema.

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 pode-se obter 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. 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.

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. MÉTRICA DE COMPARAÇÃO: LEAD TIME e Tempo de Ciclo

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

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 automatizada. 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.

Tabela 1 – 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) – Borracha	74,9	8,0	-66,9	-89%
4	Ragadalli (2010)	35,2	4,0	-31,2	-89%
5	Lima e Zawislak (2003) – Ferro	180,8	22,5	-158,3	-88%
6	Fernandes (2006) – ASA	23,3	3,3	-20,0	-86%
7	Queiroz et al. (2004)	67,3	15,3	-52,0	-77%
8	Marodin e Zwiask (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) – Latão	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%
24	Rissoli (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) – Plástico	12,3	10,0	-2,3	-19%
27	Lima e Zawislak (2003) – Fibra	23,1	19,0	-4,1	-18%
28	Fernandes (2006) – SI	37,0	35,1	-2,0	-5%
29	Lima e Zawislak (2003) – Chapa	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) – Cabo	0,8	1,6	0,8	103%

Fonte: MORSELLI e VON BUETTNER, 2013

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: a) 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; b) 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.

Além disso, 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; c) 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; d) Fase puxada: criação de um sistema *kanban* para organizar, coordenar e finalizar a implementação de processos puxados de produção; e) 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.

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.

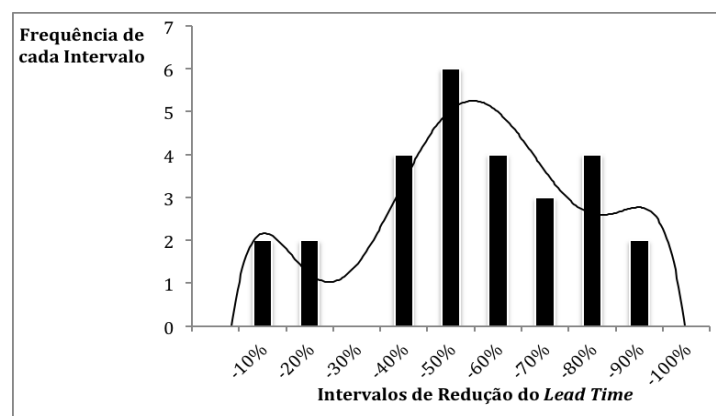


Figura 2 – Distribuição de Frequências para o Lead Time.

Fonte: MORSELLI e VON BUETTNER, 2013

As reduções de *lead time* foram reclassificadas em grupos, de forma que as reduções compreendidas no intervalo de 0 a 10% foram classificadas como 0%, de 10 a 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 esses últimos trabalhos 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 2 indica a frequência de cada intervalo em relação aos intervalos de redução de *lead time*.

Na Figura 2 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%), e obteve-se o *t* de *Student* para 26 graus de liberdade e 90% de confiabilidade bicaudal (1,7056). O cálculo do desvio padrão está exposto na Equação (1). 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.

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

De posse dos valores calculados, pode-se determinar as variações em relação à média de redução do *lead time*, que é de 7%, conforme exposto na Equação (2).

$$\frac{t_{student} \cdot s}{\sqrt{n}} = \frac{1,7056 \cdot 23\%}{\sqrt{27}} = 7\% \quad (2)$$

A partir do dado da Equação (2), 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 a 66% corresponde a 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.

A mesma análise realizada para o *lead time* será feita para o tempo de ciclo de 30 trabalhos conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – 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 Zwiask (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%

Fonte: MORSELLI e VON BUETTNER, 2013

A Figura 3 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 a 10% foram classificadas como 0%, de 10 a 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.

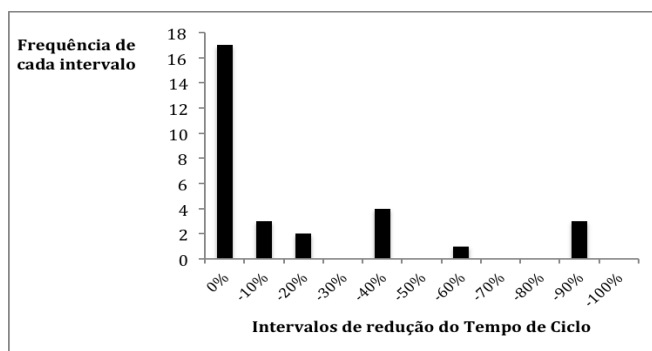


Figura 3 – Distribuição de Frequências para o Tempo de Ciclo.

Fonte: MORSELLI e VON BUETTNER, 2013

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 consequentemente 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 a 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

O artigo inicialmente apresentou a fundamentação teórica do MFV. A seguir, realizou o levantamento e a comparação de uma amostra de 33 artigos, sendo 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. Depois, foi realizada a verificação da utilidade, aplicabilidade e eficácia da ferramenta. Esta verificação foi realizada mediante a aplicação de intervalos de confiança para prever um intervalo de redução esperada do *lead time* em aplicações futuras do mapeamento do fluxo de valor. Verificou-se, mediante este procedimento, uma média populacional de redução de 52% a 66% de *lead time* com 90% de confiança. Os limites do intervalo obtido são bastante significativos, reduzindo aproximadamente à 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.

Além disso, 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.

Por outro lado, ao serem estudadas 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.

7. REFERÊNCIAS

- Abepro. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/interna.asp?s=1&c=359>>. Acesso em: 13 fev. 2013, 09:50.
- Bartz, A.B., Chitolina, N. and Silva, V.B., 2012, “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, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Fernandes, F.A., 2006, “Implementação do sistema de produção enxuta em indústrias de cosméticos: um estudo de caso”, Especialização em Gestão da Manufatura, Monografia (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- Hines, P. and Rich, N., 1997, “The Seven Value Stream Mapping Tools”, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 17, No. 1, p. 46-64.
- Hines, P., Rich, N. and Esain, A., 1998, “Creating a Lean Supplier Network: A Distribution Industry Case”, *European Journal of Purchasing & Supply Management*, Vol. 4, p. 235 – 246.
- Lima, M.L.S.C. and Zawislak, P.A., 2003, “A produção enxuta como fator diferencial na capacidade de fornecimento de PME’s”, *Revista Produção*, Vol. 13, No. 2.
- Ohno, T., 1997, “O Sistema Toyota de Produção – Além da Produção em Larga Escala”, Bookmann, Porto Alegre.
- Ragadalli, M., 2010, “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, Joinville, Santa Catarina, 87 p.
- Rahani, A. and Al-Ashraf, M., 2012, “Production Flow Analysis Through Value Stream Mapping: a Lean Manufacturing Process Case Study”, *International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors*.
- Rother, M. and Shook, J., 2003, “Aprendendo a Enxergar”, Lean Institute, São Paulo, Brasil.
- Sullivan, W.G., McDonald, T.N. and Aken, E.M.V., 2002, “Equipment Replacement Decisions and Lean Manufacturing”, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 18, No. 3, p. 255 – 265.
- Vinodh, S., Arvind, K.R. and Somanaathan, M., 2011, “Clean Techn Environ Policy”, *Tools and Techniques for Enabling Sustainability Through Lean Initiatives*.
- Womack, J.P. and Jones, D. T., 1998, “A mentalidade enxuta nas empresas”, Campus, Rio de Janeiro, 5. ed.
- Womack, J.P., Jones, D.T. and Roos, D., 1992 “A Máquina que mudou o mundo”, Campus, 11. ed., Rio de Janeiro, 347 p.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

STUDY AND STATISTICAL SURVEY OF VALUE STREAM MAPPING (VSM) THROUGH THE ANALYSIS OF ITS EFFECTS IN 33 CASE STUDIES

Paulo Antonio Reaes, reaes@utfpr.edu.br¹

João Carlos Espindola Ferreira, e-mail²

Murilo Souza, murilosouza@alunos.utfpr.edu.br¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Avenida Sete de Setembro, 3165, Bairro Rebouças - Curitiba, Brasil, 80230-901

²Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Departamento de Engenharia Mecânica, GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, Campus Universitário, Trindade, Florianópolis, SC, Brasil, 88040-900

Abstract: *The present work proposes to study the Value Stream Mapping (vsm), a methodology that is still not much used by Brazilian industrial companies, which is part of the set of techniques and concepts of lean manufacturing. In addition to the state of the art survey of the main theoretical references on the theme, a statistical survey of 33 case studies in which this methodology was applied was carried out. Through the careful analysis of the publications that lead to the largest reductions in lead time, the tools of this methodology that were associated with the highest performance gains were verified. Finally, a statistical study was carried out seeking to prove the usefulness, applicability and efficiency of VSM.*

Keywords: *Lean Manufacturing, Value Stream Mapping, Waste Disposal, Toyota Production System, Lean Tools.*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.