

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

CAMILA ALEJANDRA HUANAY RAMÍREZ

Análise do desempenho da integração de conceitos e ferramentas de Produção  
Enxuta com conceitos de Produção mais Limpa

São Carlos

2017



**CAMILA ALEJANDRA HUANAY RAMÍREZ**

**Análise do desempenho da integração de conceitos e ferramentas de Produção  
Enxuta com conceitos de Produção mais Limpa**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Materiais e Manufatura, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira de Materiais e Manufatura.

Orientador: Prof. Dr. Aldo Roberto Ometto

São Carlos  
2017



AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

H173a

Huanay Ramirez, Camila Alejandra  
Análise do desempenho da integração de conceitos e  
ferramentas de Produção Enxuta com conceitos de  
Produção mais Limpa / Camila Alejandra Huanay Ramirez;  
orientador Aldo Roberto Ometto. São Carlos, 2017.

Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais e  
Manufatura) -- Escola de Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo, 2017.

1. Integração de sistemas de produção. 2. Produção  
Enxuta. 3. Produção mais Limpa. 4. Mapeamento de Fluxo  
de Valor. 5. Lean Manufacturing. I. Título.

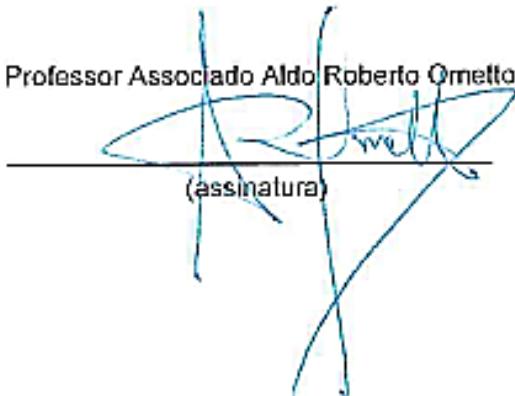


## FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Camila Alejandra Huanay Ramirez
Titulo do TCC: Análise do desempenho da integração de indicadores de Produção mais Limpa em processos de produção sob o enfoque da Produção Enxuta
Data de defesa: 21/11/2017

Comissão Julgadora	Resultado
Professor Associado Aldo Roberto Ometto (orientador)	APROVADA
Instituição: EESC - SEP	
Professor Doutor José Augusto de Oliveira	APROVADA
Instituição: UNESP -	
Professor Doutor Kleber Francisco Esposto	APROVADA
Instituição: EESC - SEP	

Presidente da Banca Professor Associado Aldo Roberto Ometto



(assinatura)



## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os interessados em estudar, refletir e executar alguma ideia que melhore processos utilizando engenharia para reduzir cada vez mais os impactos negativos ao meio ambiente. Dedico aos estudantes e pesquisadores dispostos a dar continuidade no assunto, tendo visão de que é um excelente método que dá oportunidade de crescimento econômico e socioambiental para empresas.

*A meus pais e minha irmã pelo apoio, compreensão e carinho constantes desde o início da minha carreira.*



## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Hector e Cecilia, pelo apoio emocional e financeiro durante toda minha vida pessoal, acadêmica e agora profissional.

À minha irmã, Ana Paula, pelo companheirismo e amizade.

À Escola de Engenharia de São Carlos e à Universidade de São Paulo pela oportunidade de realização do curso de graduação.

Ao Prof. Dr. Aldo Roberto Ometto, orientador deste trabalho, que me proporcionou a oportunidade de conhecer, estudar e me envolver mais no tema em que trabalha, o qual teve suma importância para meu desenvolvimento pessoal, acadêmico e profissional.

Ao Prof. Dr. José Augusto Oliveira que muito me ensinou contribuindo para o meu crescimento científico, me incentivou e apoiou nos momentos de dificuldade, me ensinou muito do que aprendi para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Walther Azzolini Júnior por explicações e auxílio no entendimento de ferramentas essenciais para o desenvolvimento do projeto.

Aos Professores do Departamento de Engenharia de Materiais que me ensinaram e apoiaram direcionando minha busca por crescimento não apenas neste departamento mas também no Departamento de Produção.

A todos demais bons professores que tive ao longo dos anos no colégio e na faculdade, pelas disciplinas ministradas, conteúdos e métodos de ensino inspiradores que me ensinaram muito sobre disciplina, aprendizado e aumentaram meu interesse por algumas áreas.

Ao Programa Unificado de Bolsas de Estudo para Estudantes da Graduação (PUB), parte integrante da Política de Apoio à Permanência e Formação Estudantil da Universidade de São Paulo, pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

À banca examinadora formada pelos professores Aldo Ometto, José Augusto Oliveira e Kleber Esposto, pela avaliação e sugestões de melhoria do trabalho.

Aos meus amigos e namorado Murilo por me ajudarem de diversas formas a tornar essa jornada mais leve e divertida.



## RESUMO

**RAMÍREZ, C. A. H. Análise do desempenho da integração de indicadores de Produção mais Limpa em processos de produção sob o enfoque da Produção Enxuta.** 2017. 61 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

A grande meta das empresas hoje é obter maior lucro, em paralelo à busca de melhoria em quesitos internos à empresa, como por exemplo, a quantidade correta de produtos fabricados, sua qualidade, boas condições de trabalho a todos os funcionários e a minimização de impactos ambientais. Assim, um caminho possível estudado para atender a essas necessidades de empresas é a integração de dois sistemas chamados Produção Enxuta e Produção mais Limpa. O primeiro sistema de produção visa atender, dentre os quesitos citados acima, outros que melhorem uma empresa, com exceção dos aspectos relacionados à preocupação ambiental. O segundo sistema visa atender exatamente esse último tópico: a redução de desperdícios para causar menor impacto ambiental. É notável que existem algumas semelhanças entre esses sistemas, e que alguns conceitos se complementam, impulsionando o estudo sobre uma possibilidade de funcionamento em conjunto. Neste contexto, o foco da presente pesquisa é analisar o desempenho da integração desses dois sistemas de produção, verificando benefícios e prejuízos dos conceitos e ferramentas de Produção Enxuta para os indicadores e conceitos da Produção mais Limpa. Essa análise foi feita inicialmente pelo estudo dos conceitos de cada sistema de produção através de uma revisão bibliográfica. Posteriormente, foram realizados dois estudos de caso e, em seguida, foram obtidas as conclusões sobre a integração dos sistemas de produção estudados, com o auxílio de um *software* de simulação de uma planta de fábrica, no qual podem-se alterar os indicadores e observar os resultados.

Palavras-chave: Integração de sistemas de produção, Produção Enxuta, Produção mais Limpa, Mapeamento de Fluxo de Valor.



## ABSTRACT

RAMÍREZ, C. A. H. **Performance analysis of integration of Cleaner Production indicators at production process using Lean Manufacturing Principles.** 2017. 61 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Nowadays, the great goal of companies is to get more profit, while improve other aspects inside the company, such as correct quantity of products made, its quality, better conditions of work to the employees and minimize the environmental impacts. A possible solution to attain these needs of the companies is the integration of two systems called Lean Manufacturing and Cleaner Production. The objectives of Lean Manufacturing are those ones listed except the one related to the environment. On the other hand, Cleaner Production cares exactly about this objective related to reducing waste to cause less impact to the environment. Similarities of both conceptions are evident and they complement each other. This background moves the study to find a way that both could work together. In this context, the aim of this research is to analyze the accomplishment of the integration of these two production systems, verifying benefits and disadvantages of concepts and tools of Lean Manufacturing to Cleaner Production indicators and concepts. The first step of this research is the study of the concepts of each system production by a literature background and the second step is to make two case studies of situations that can be considered. Then, it will be possible to obtain conclusions about the integration of those systems production studied, using simulation software of a fabric plant, where it's possible to change the characteristics of the production and analyze the results using charts and statistics.

Keywords: Integration of systems of production, Lean Manufacturing, Cleaner Production, Value Stream Mapping.



## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1 - Exemplo de Mapeamento de Fluxo de Valor .....	35
Figura 3 - Mapeamento do Fluxo de Valor do Estado Atual (Empresa 1).....	40
Figura 4 - Simulação VSM Atual (Empresa 1) .....	41
Figura 5 - Gráfico da simulação das atividades das máquinas (estado atual – empresa 1).....	41
Figura 6 - Mapeamento do Fluxo de Valor do Estado Atual (Empresa 2).....	42
Figura 7 - Mapeamento de Fluxo de Valor do Estado Futuro (Empresa 1) .....	46
Figura 8 - Simulação VSM Futuro (Empresa 1).....	47
Figura 9 - Gráfico da simulação das atividades das máquinas (estado futuro – empresa 1)....	47
Figura 10 - Mapeamento do Fluxo de Valor do Estado Futuro (Empresa 2) .....	48



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quadro comparativo de Produção Mais Limpa e Produção Enxuta .....	33
Tabela 2 - Cálculo <i>Lead time</i> do Estado Atual.....	43
Tabela 3 - Cálculo <i>Lead time</i> do Estado Futuro .....	48
Tabela 4 - Resultado de redução de <i>Lead time</i> .....	50



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	–	Análise do Ciclo de Vida do Produto
CO <sub>2</sub>	–	Gás carbônico
DEW	–	<i>Department of Ecology of Washington</i> , em português, Departamento de Ecologia de Washington
EPA	–	<i>U.S. Environmental Protection Agency</i> , em português, Agência de Proteção Ambiental Americana
FIFO	–	<i>First in-First Out</i>
JIT	–	<i>Just in Time</i>
LT	–	<i>Lead time</i>
P+L	–	Produção mais Limpa
PDCA	–	<i>Plan, Do, Check, Act</i> , em português, Planejar, Fazer, Checar e Agir
PNUMA	–	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
TPS	–	<i>Toyota Production System</i> , em português, Sistema de Produção Toyota
TT	–	<i>Takt Time</i>
TVNA	–	Tempo de Valor Não Agregado
TVA	–	Tempo de Valor Agregado
UNEP	–	<i>United Nations Environment Program</i> , em português, PNUMA
VSM	–	<i>Value Stream Mapping</i> , em português, Mapeamento de Fluxo de Valor
WIP	–	<i>Work in Process</i> , em português, estoque de peças aguardando seguinte etapa



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	25
1.1 Objetivos .....	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1 Produção Enxuta.....	27
2.2 Produção Mais Limpa.....	29
2. 3 Possibilidade de sinergia dos dois sistemas de produção.....	31
2. 4 Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM) .....	34
3 MÉTODO DE PESQUISA.....	37
4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO – VSM ESTADO ATUAL.....	39
4.1 Estudo de Caso – Empresa 1 .....	39
4.2 Estudo de Caso – Empresa 2 .....	42
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS – VSM ESTADO FUTURO.....	45
5.1 Estudo de Caso – Empresa 1 .....	45
5.2 Estudo de Caso – Empresa 2 .....	48
5.3 Análise geral dos resultados .....	51
6 CONCLUSÃO .....	53
REFERÊNCIAS .....	55
Apêndice A – VSM Estado Atual da Empresa 2 .....	59
Apêndice B – VSM Estado Futuro da Empresa 2.....	61



## 1 INTRODUÇÃO

Para melhorar a competitividade, as empresas estão adotando cada vez mais práticas do sistema chamado de Produção Enxuta, já que estas levam a produzir com maior qualidade gerando menor quantidade de resíduos e permitindo que a organização mantenha o controle do processo produtivo para facilitar a identificação e solução de problemas.

Além da competitividade, outro assunto importante numa empresa atualmente é a preocupação ambiental e, portanto, o desenvolvimento sustentável. As empresas devem seguir leis e normas e, por vários motivos, devem agir de forma que não prejudiquem o meio ambiente. Para isso, uma das medidas mais eficazes é a redução de emissão de gases e demais produtos poluentes ao meio ambiente, o que pode ser alcançado pela redução de desperdícios. Essa medida é o principal conceito do sistema de Produção Enxuta e é utilizado também no sistema de Produção Mais Limpa (P+L).

Assim, estudos e avaliações mostram a possibilidade de unificação desses dois sistemas, gerando oportunidade para que as empresas consigam melhorar simultaneamente a competitividade e a questão ambiental. O ideal seria a junção dos princípios de ambos, eliminando desvantagens através de soluções dos dois sistemas para encontrar um equilíbrio no qual seja possível produzir com qualidade, sem desperdícios e com menor impacto ambiental possível (DÜES; TAN; LIM, 2012).

Uma possível dificuldade que as empresas podem ver é que o custo em curto prazo é alto para aplicar tais mudanças e os resultados e lucros demorariam em aparecer; porém, uma vez que consigam atingir bons resultados, é mais fácil manter o sistema de produção gerando maiores lucros do que se não adotassem os sistemas.

### 1.1 Objetivos

O objetivo geral do presente projeto é analisar o desempenho da integração de conceitos e ferramentas de Produção Enxuta com conceitos de P+L identificando melhorias ambientais em processos que usam a Produção Enxuta. Para este fim são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar as semelhanças e divergências entre os conceitos de Produção Enxuta e P+L;
- Simular uma linha de produção modelada segundo os princípios da Produção Enxuta identificando as melhorias para a P+L;
- Sugerir possibilidades de aplicação simultânea de conceitos de Produção Enxuta e P+L.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Produção Enxuta

A Produção Enxuta é uma abordagem de produção que utiliza um conjunto de técnicas ou ferramentas, fundamentado no sistema de produção Toyota (TPS, em inglês), e consiste na busca da diminuição dos desperdícios em todos os aspectos dentro de uma empresa ou organização. Os desperdícios são apenas perda de recursos que não geram valor, sejam produtos ou serviços, na visão do cliente. A Produção Enxuta melhora a produtividade, aumenta o valor agregado aos produtos, reduz desperdícios e traz maior satisfação dos clientes. (LIKER, 2005; LIAO, 2005; WOMACK, JONES, 2004; MELTON, 2005; ANTUNES et al., 2008; SANTOS et al., 2009; PINGNAN, WEIMAO, 2009; CARRILLO, 2012).

São cinco princípios básicos que a produção enxuta segue, de acordo com Womack e Jones (1998): determinação do que agrega valor ou não, segundo a perspectiva do cliente; formação da cadeia de valor, identificando todas as atividades que são realmente necessárias; criação de um fluxo de valor, ou seja, realizar tarefas sequenciais e progressivas ao longo da cadeia de valor de forma a transportar o produto sem interrupções; produção puxada, isto é, só se produz mais quando a demanda determina, evitando desperdícios; e, por fim, a melhoria contínua, a qual se pode definir como a constante busca pela perfeição.

Além disso, alguns princípios complementares do modelo de produção Toyota são citados por Liker (2005): as decisões administrativas devem seguir a filosofia de longo prazo, para que a empresa possa adotar novos princípios como os da Produção Enxuta aguardando resultados futuros; deve-se criar uma cultura de parar a atividade quando houver algum problema para poder resolvê-lo imediatamente, produzindo com qualidade desde a primeira tentativa; e desenvolver líderes que entendam bem de determinada área da produção para que possam ensinar aos demais a filosofia do *Lean Thinking* (Pensamento Enxuto).

Como um dos objetivos principais da Produção Enxuta é reduzir desperdícios, foram identificados alguns tipos de perdas ou desperdícios numa linha de produção e na empresa em geral. O caso mais grave é quando há sobreprodução, ou seja, a produção é muito maior que a demanda ou quando há inventário desnecessário, pois com excesso de estoque, os produtos podem ser danificados, perdendo sua qualidade para venda e é necessário investimento para manter esses produtos no armazém. Outro tipo de desperdício é a espera, não deve haver tempo ocioso de pessoas, produtos e informação, isso também prejudica o processo

aumentando o *lead time*. Com relação ao transporte: é preciso manter um fluxo de materiais e a proximidade destes com seus locais de trabalho. Devem-se evitar também processos inadequados, ou seja, cometer erros e repeti-los, fabricar produtos defeituosos, ou seja, perder tempo de produção de peças com qualidade (SHINGO, 1996; WOMACK E JONES, 1996). Ainda outra perda acrescentada por Liker (2005), é a criatividade dos funcionários, pois todos podem ter uma ideia ou habilidade que ajude muito na produção ou desenvolvimento de produto, logo, deve-se aumentar a participação e a oportunidade ouvindo opiniões de todos funcionários.

Para implementar o sistema de Produção Enxuta, conta-se com ferramentas como: os 5'S (em japonês), *Kanban*, *Just in Time*, nivelamento da produção, sistemas à prova de erros, trabalho padronizado, *Kaizen* ou melhoria contínua, manufatura celular, mapeamento de fluxo de valor (VSM em Inglês), entre outras.

As ferramentas que podem ser evidenciadas, tendo em vista a finalidade deste trabalho de interagir a Produção Enxuta com a P+L, são *Kanban*, 5'S, *Just in Time*, *Kaizen* e VSM. *Kanban* é uma palavra japonesa que significa “cartão” ou “sinal”, sinaliza o momento em que a empresa deve produzir, dependendo da demanda, e é uma ferramenta visual e fácil de controlar (SMALLEY, 2005).

Os 5'S são palavras em japonês cujos significados são: *seiri*=utilidade, *seiton*=organização, *seiso*=limpeza, *seiketsu*=saúde e higiene, e *shitsuke*=autodisciplina, que têm como objetivo a evolução do comportamento das pessoas, através de mudança de hábitos e atitudes, visando à melhoria da limpeza e consequentemente da qualidade de vida das mesmas (CARRILLO, 2012).

*Just in time* é um sistema de administração da produção que faz com que apenas os produtos necessários sejam fabricados, no momento necessário e na quantidade necessária, diminuindo estoques, perdas e o *lead time*.

*Kaizen* é simplesmente o mesmo princípio de melhoria contínua, e o VSM é um mapeamento que serve para analisar melhor, identificar desperdícios no sistema de produção e ter um controle maior sobre o processo (MONDEN, 1984; OHNO, 1997; CARVALHO, 2011; SHINGO, 1996).

Com esses conceitos que explicam o sistema de Produção Enxuta, agora serão apresentados da mesma forma os conceitos que sustentam a P+L. Pelo que foi visto de Produção Enxuta, seus princípios e ferramentas, pode-se concluir que é um sistema de produção que utiliza uma estratégia preventiva, através de métodos que fazem com que os possíveis defeitos de produtos sejam evitados e corrigidos ainda na linha de produção, antes

de chegar ao cliente. Com as seguintes características da P+L, será factível notar que também usa estratégia preventiva, justamente por reduzir insumos e fazer um planejamento adequado para evitar que haja desperdício no final da linha de produção (DÜES; TAN; LIM, 2012; COBRA, et al., 2015).

## 2.2 Produção Mais Limpa

O conceito de P+L foi definido pelo PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente), no início da década de 1990, como “a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva integrada aos processos, produtos e serviços para aumentar a eco eficiência e reduzir os riscos ao homem e ao meio ambiente. Aplica-se a processos produtivos, produtos e serviços. Com relação a processos produtivos, inclui conservação de recursos naturais e energia, eliminação de matérias primas tóxicas e redução da quantidade e da toxicidade dos resíduos e emissões. Com relação aos produtos, envolve a redução dos impactos negativos ao longo do ciclo de vida de um produto, desde a extração de matérias-primas até a sua disposição final. E quando se trata de serviços, é estratégia para incorporação de considerações ambientais no planejamento e entrega dos serviços” (PNUMA, 1991; UNEP, 2002).

Historicamente, o comportamento das empresas com relação à poluição do meio ambiente teve quatro fases. No início, quando já era notável a presença de substâncias estranhas e o prejuízo que elas causavam na natureza, as empresas simplesmente ignoravam esse fato, e assim, ocasionavam impactos graves regionais e até globais. Na segunda fase, havia a ideia de que “diluindo” a poluição, solucionariam o problema, já que se tornaria menos aparente por estar dispersa. Na terceira fase, nas últimas décadas do século XX, começou a surgir maior preocupação com o meio ambiente, então passaram a tratar a poluição que as empresas geravam, apareceu assim o cuidado com o tratamento fim-de-tubo (*end of pipe*, o fim da linha de produção). A quarta fase, mais recente e que vai até os dias de hoje, corresponde à prevenção da poluição e da geração de desperdício, e foi neste contexto que surgiram as ideias e reações da sociedade com o meio ambiente para o desenvolvimento da P+L. A importante mudança da terceira para quarta fase foi motivada por dois principais fatores: a pressão por parte da sociedade e das organizações não governamentais (ONG's) do meio ambiente aumentou expressivamente e a legislação de controle da poluição se tornou mais rigorosa, fazendo com que seja necessário um maior investimento nessa área (UNEP, 2002).

Para implementar a P+L numa empresa, deve-se ter o comprometimento da alta gerência e a formação de um Ecotime. Este Ecotime será responsável pelo planejamento, organização e manutenção da P+L e por passar informações para a empresa. O ideal é que seja formado por um membro representante de cada setor da empresa envolvido com a P+L (UNEP, 2002).

O principal elemento da avaliação de P+L é a análise dos fluxos de material e de energia que entram e saem do processo, a fim de identificar oportunidades de P+L e solucionar problemas relacionados à geração de resíduos em suas fontes. Para isso, o Ecotime deve identificar a situação econômica e ambiental em que a empresa se encontra e as oportunidades de implementação da P+L, para convencer a gerência, e ir para o seguinte passo que é elaborar um questionário sobre diversos temas relacionados à P+L.

O questionário deve envolver questões para saber: se há pessoas responsáveis por assuntos ambientais; se a empresa segue regulamentos ambientais; se recicla; se tem controle sobre os resíduos e emissões gerados, vendo a possibilidade de intercâmbio destes com outras empresas e monitora todos esses processos; se avalia a matéria-prima antes da compra; se cuida do treinamento dos funcionários em caso de acidentes perigosos, entre outras. Cada pergunta deve ser respondida com “sim”, “não” ou “não há certeza”, e neste último caso, avalia-se a questão com maior cautela. Com isso, o Ecotime identifica as barreiras da empresa e auxilia a superá-las com o planejamento da P+L (UNEP 2002; CNTL, 2003).

De acordo com a definição da UNEP (2002) para P+L, há alguns pontos que podem ser citados como importantes. A P+L é um processo contínuo; não é limitado a nenhum tipo de indústria ou empresa; busca encontrar o equilíbrio entre a disponibilidade de material, água e energia e o consumo destes; e proporciona melhor saúde e segurança no trabalho. É um processo eficiente, ou seja, usa processos adequados para gastar a menor quantidade possível de recursos e aumentar o rendimento em curto prazo, e eficaz, obtendo bons resultados também em longo prazo.

Tendo esses pontos em vista, pode-se concluir que a P+L é uma estratégia que beneficia o meio ambiente protegendo-o da poluição; a sociedade (trabalhadores, clientes e vizinhança), garantindo melhor saúde e segurança; e a empresa, gerando lucro e boa imagem desta para a sociedade.

Ferramentas que podem ser usadas para implementação da P+L são: otimização de processos, eliminando etapas redundantes, modificando operações para economizar recursos e tempo; substituição de materiais por outros melhores em custo-benefício, menos prejudiciais à saúde e segurança, fazendo previamente estudos sobre esses materiais para verificar sua

qualidade e aceitabilidade no mercado; aplicação de novas tecnologias que podem exigir alto capital investido, mas trazem lucros potencialmente muito maiores (UNEP, 2002).

Porém, a P+L não está limitada a processos de manufatura apenas, ela inclui todo o ciclo de vida do produto. Assim, justifica-se a importância de outra ferramenta da P+L: *Ecodesign*. Esta ferramenta consiste em modificar e adaptar o desenvolvimento do projeto de um produto para que este atenda suas necessidades causando menor impacto ambiental possível (menos tóxico ou menor quantidade de material, energia e água usados), pensando no seu descarte final, incluindo sua reciclagem, de modo que esta seja facilitada, e reduzindo a quantidade de embalagem necessária, por exemplo. Além disso, conta com a avaliação do ciclo de vida do produto (ACV), pois ajuda a saber o impacto que este pode causar no ambiente. Isso traz muitos benefícios à produtividade e à diminuição de riscos ambientais, porém exige muito estudo e pesquisa, e há maior dificuldade se a cadeia de suprimentos está bem estabelecida e é complexa (MAXWELL; VAN DER WORST, 2003; JESWIET; HAUSCHILD, 2005; OMETTO; GUELERE FILHO; PERES, 2013).

Uma das maneiras de adaptar um sistema de produção ao da P+L, é fazer a empresa estar dentro das regulamentações ambientais, como, principalmente, as ISO 14000 (2009), pois estas indicam como obter e manter um bom sistema de gestão ambiental. A principal ideia da gestão ambiental para garantir a melhoria contínua é a abordagem PDCA, em inglês: *Plan, Do, Check, Act*, a qual consiste em um ciclo de verificar a viabilidade e planejar o sistema, executar as atividades, avaliar os resultados, identificar melhorias e agir novamente.

## 2. 3 Possibilidade de sinergia dos dois sistemas de produção

Com o que há de estudos e conhecimento de ambos os tipos de produção, é possível enxergar as semelhanças e as partes em que podem ser complementados um com o outro. As empresas e indústrias que já adotam a Produção Enxuta, segundo os princípios desse modelo de produção, evitam gerar resíduos e diminuir desperdícios, reduzindo o impacto ambiental negativo do processo produtivo, e isso é justamente o principal intuito da P+L.

Esses dois sistemas de produção possuem focos ligeiramente diferentes. Enquanto a Produção Enxuta prioriza o desenvolvimento econômico, a P+L prioriza o desenvolvimento sustentável juntamente com o econômico e social. Assim, o caminho e as medidas ou ferramentas que possuem, levam a resultados semelhantes.

Dües, Tan e Lim (2012) estabeleceram uma classificação dos paradigmas divergentes e convergentes de Produção Enxuta e P+L. Para Produção Enxuta, o foco e o que atrai o consumidor é a redução de custos; o indicador é o custo; a fabricação é elevada e usa o

conceito de *Just in Time* (JIT); o *design* do produto visa melhorar a performance e também diminuir custos; e não há preocupação com o impacto do fim de vida do produto. Para P+L, o foco é o desenvolvimento sustentável e isto é o que atrai o consumidor consciente ambientalmente; o indicador é a quantidade de CO<sub>2</sub> e outros resíduos emitidos ao ambiente; a fabricação visa a remanufatura; o design do produto leva em consideração a avaliação do ciclo de vida (ACV); e há preocupação com o fim de vida do produto de forma que é feita a recuperação através de reutilização e/ou reciclagem.

Os pontos convergentes, ainda sob a classificação de Dües, Tan e Lim (2012), são a redução de geração de resíduos, do prazo de entrega do produto e do *lead time*, melhoria do relacionamento na cadeia de suprimentos e da organização, e, num aspecto mais geral, a melhoria contínua sempre em busca da perfeição.

O paradigma de diminuição de geração de resíduos implica na diminuição da poluição, e para isso há vários meios conhecidos. Por exemplo, a distância da empresa aos seus fornecedores de matéria prima ou subprodutos deve ser relativamente curta pensando na logística para evitar gastos e reduzir a emissão de gases poluentes pelo transporte (GRUSHECKY, et. al., 2006).

O conceito *Just in Time* (JIT) da Produção Enxuta, é considerado contraditório com a P+L por alguns autores. Rothenberg, Pil e Maxwell (2001) realizaram uma pesquisa em empresas americanas e japonesas e verificaram que as empresas que adotavam essa filosofia de JIT eram as mais sujeitas a possuir maiores valores de emissão de gases poluentes. Assim, esse conceito da Produção Enxuta pode ser uma desvantagem para a P+L.

Um princípio muito importante que está em ambos os tipos de produção é o da melhoria contínua. A Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA - U.S. *Environmental Protection Agency*) estudou a relação entre a Produção Enxuta e práticas ambientais, e verificou que é uma área em que os profissionais das áreas de meio ambiente, negócios e processos podem trabalhar em conjunto (EPA, 2011). Especialistas na área enxuta economizam dinheiro encontrando oportunidades para eliminar os desperdícios no processo. Enquanto especialistas da área ambiental têm conhecimento no meio ambiente e na minimização de resíduos nos processos (KIDWELL, 2006).

Além disso, de acordo com um consultor japonês especialista em Produção Enxuta, questionado por Kidwell (2006), “as preocupações ambientais são parte do conceito enxuto, pois emissões para o ar, água, bem como geração de resíduos sólido-perigosos, representam uma perda no processo produtivo, ou seja, nenhum valor para o cliente.”.

Segundo UNIDO (2002), a redução de perdas, cujos possíveis tipos são citados por Shingo (1996) e Womack e Jones (1996), pode ser alcançada a partir de alguns métodos, como: manutenção adequada e preventiva, evitando vazamentos, perdas e derramamentos através de inspeção frequente dos equipamentos e treinamento dos funcionários; fazer substituições de materiais por outros menos tóxicos, renováveis ou com maior ciclo de vida; melhoria no controle e no fluxograma do processo, instruindo como utilizar máquinas para melhorar a eficiência e diminuir os desperdícios na cadeia produtiva; mudanças para tecnologias menos poluentes; reciclagem e/ou reuso dos resíduos gerados para serem utilizados no próprio processo ou para outras funções na empresa; reformulação ou modificação do produto, através do *Ecodesign*, minimizando impactos durante sua produção, uso, reciclagem ou disposição final.

Esses métodos atingem resultados e benefícios semelhantes à Produção Enxuta, por exemplo, *Kanban*, o VSM, *Kaizen*, 5'S, logo, por este e vários motivos, as ferramentas da Produção Enxuta trazem benefícios ao meio ambiente. E vice-versa: as ferramentas da P+L também trazem vantagens aos processos de produção sob o enfoque da Produção Enxuta. Assim, quando as empresas consideram tratar e diminuir resíduos tóxicos e prejudiciais ao ambiente, a Produção Enxuta e a P+L, juntas, melhoram seu desempenho (DEW, 2008).

Algumas das comparações citadas neste tópico estão mostradas na tabela 1 a seguir, evidenciando quais situações há semelhanças ou diferenças entre os dois sistemas.

Tabela 1 - Quadro comparativo de Produção Mais Limpa e Produção Enxuta

	Focos diferentes	Ferramentas e resultados semelhantes	Design do produto	Preocupação com impacto final	Tempo de processo	Melhoria Contínua	Reaproveitamento de recursos
Produção Mais Limpa	Aspecto ambiental Desenvolvimento Sustentável	Evitar geração de resíduos Redução de desperdícios	Análise do Ciclo de Vida do Produto (ACV)	Há preocupação, reutilização para remanufatura ou reciclagem	Redução do prazo de entrega do produto	Ativamente presente	Há reciclagem ou reuso de resíduos gerados internamente
Produção Enxuta	Aspecto econômico Redução de Custos	Evitar geração de resíduos Redução de desperdícios	Melhorar performance e reduzir custos	Não há	Redução de Lead time	Ativamente presente	Há reciclagem ou reuso de resíduos gerados internamente

Fonte: Material feito pela autora

## 2. 4 Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM)

O Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV ou VSM em inglês – *Value Stream Mapping*) é uma das principais ferramentas do sistema de Produção Enxuta, que consiste no mapeamento dos processos realizados para a entrega de um produto ou serviço, identificando algumas informações pertinentes ao entendimento do processo.

São colocadas no mapa informações de tempos (de espera, de funcionamento das máquinas, etc), de quantidade de material em circulação (fornecido, recebido, processado, etc), de quantidade de operadores, de estoques e demais informações que se julgarem necessárias. Porém, não coloca-se todo tipo de informação, apenas o que for realmente indispensável, já que o ideal é não sobrecarregar o mapa para poder visualizá-lo melhor. A partir dessas informações e da melhor visualização do fluxo como um todo, desenha-se o mapa do estado futuro com o principal objetivo de otimizar o fluxo, eliminando os desperdícios encontrados no mapa do estado atual e simultaneamente aplicando-se as demais ferramentas da Produção Enxuta, como *Kanban*, produção puxada, 5'S, entre outras, para atingir a demanda do cliente.

Segundo Mike Rother e John Shook (1999), fluxo de valor é um dos princípios básicos da Produção Enxuta, pois criando-o, as empresas estarão mais capacitadas para atender às necessidades dos clientes, realizando tarefas progressivas ao longo da cadeia de valor para que o produto passe sem interrupções, esperas, desvios ou desperdícios. O chamado “valor” corresponde a todos os materiais e informações que transitam pela linha de produção de um determinado produto e que resultam na satisfação dos clientes com o produto final.

De acordo com o Lean Institute Brasil, identificar o fluxo de valor significa dissecar a cadeia produtiva e separar os processos em três grupos: os que efetivamente geram valor; os que não geram valor, porém são importantes para a manutenção e funcionamento dos processos; e os que não agregam valor nenhum e estes devem ser retirados da cadeia produtiva logo que forem detectados.

Assim, de acordo com Mike Rother e John Shook (1999), que tinham objetivo de encontrar um sistema enxuto de produção, ao invés de um sistema isolado de melhorias para que as empresas adotem, o VSM é uma ferramenta muito importante na visualização do fluxo completo de materiais e informações, o qual permite localizar os desperdícios do processo, através do uso conjunto de outras ferramentas da Produção Enxuta e evitando que trabalhem separadamente sem eficiência.

Primeiro é desenhado, à mão e com lápis, o mapa do estado atual da linha de produção da empresa ou fábrica desde o fornecimento de matéria prima até a entrega do produto final

para o cliente. E enquanto é desenhado o mapa do estado atual através da observação e de dados coletados da linha de produção, surgem ideias de melhoria para corrigir e mudar no mapa do estado futuro que será feito em seguida.

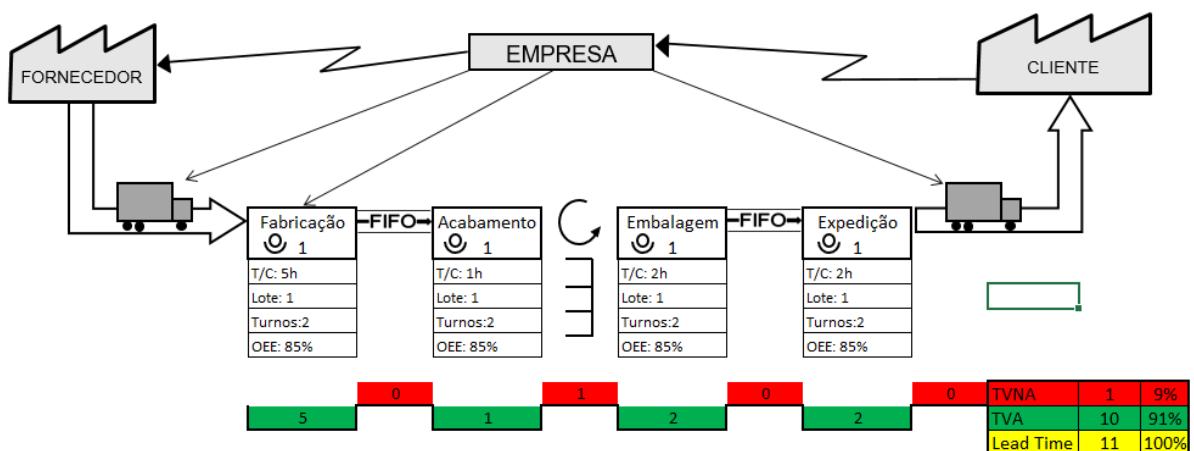
Um dos conceitos mais importantes da Produção Enxuta é o *Takt Time*, pois é o que dita o ritmo da produção conforme a demanda do cliente, para que não sejam produzidas mais peças do que o necessário e nem que atraso o pedido do cliente. O *Takt Time* (TT) é calculado da seguinte maneira, como mostrado na equação (1):

$$\text{Takt time} = \frac{\text{Tempo disponível}}{\text{Peças requeridas (Demandas)}} \quad (1)$$

Para calcular o tempo disponível, deve-se subtrair do total de horas de cada turno, todos os momentos que os operadores das máquinas não estão trabalhando nelas. E a quantidade de peças requeridas para entregar em determinado tempo disponível é calculada baseada no planejamento feito a partir da demanda do cliente.

Além do *Takt Time*, outro conceito importante para que a produção seja puxada e não empurrada é o FIFO (*First in-First Out*) que significa que a primeira peça que chega a determinada estação de trabalho deve ser a primeira a ser processada, respeitando a ordem em que as demais chegam também. Isso ajuda a determinar um fluxo constante de uma peça só (*One Piece Flow*).

Figura 1 - Exemplo de Mapeamento de Fluxo de Valor



Fonte: Material feito pela autora para mostrar principais conceitos

Na figura 1 há várias informações sobre o processo que o Mapeamento de Fluxo de Valor nos permite identificar. Abaixo de cada etapa está o tempo de processamento que corresponde ao que está agregando valor ao produto (TVA, tempo de valor agregado, pintado em verde). E entre as etapas está o tempo que o produto leva para passar de uma etapa para a outra, ou seja, parte que não está agregando valor ao produto (TVNA, tempo de valor não

agregado, pintado em vermelho). A soma desses dois tempos resulta no valor total do *lead time*.

Por fim, uma vez que está definido o estado futuro, devem-se planejar e implementar as mudanças na cadeia produtiva, de forma efetiva, com prazos determinados, cobrança de resultados e monitoramento das atividades. Assim, permite-se um bom controle do processo, otimização deste e excelente visualização de como as ferramentas de Produção Enxuta trabalham juntas.

No decorrer do desenho, continuam surgindo novas ideias, logo, os mapas não são feitos de uma vez só, mas sim, num ciclo de desenvolver e voltar a corrigir detalhes. No final, nota-se claramente a melhoria do processo e a redução do tempo necessário para fabricação do produto final. Tudo isso deve funcionar como um ciclo, pois ao aparecerem mais ideias de melhoria futuramente, será possível fazer um novo VSM, aplicando, assim, a ferramenta *Kaizen* (melhoria contínua).

É importante lembrar que todo o processo de VSM deve ser aplicado apenas para determinada família de produtos, para facilitar a visualização e adoção de melhorias pontuais, evitando um mapeamento desordenado e de difícil interpretação.

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

Utilizando conhecimentos sobre esses dois modelos de Produção e sobre a ferramenta descrita na Revisão Bibliográfica (Mapeamento de Fluxo de Valor - VSM), é possível analisar os VSM obtidos em dois estudos de caso e ao simular os estados atual e futuro, podem-se identificar as integrações entre Produção Enxuta e P+L comparativamente e verificar o desempenho dessa aplicação numa linha de produção.

A revisão bibliográfica foi realizada em bases de dados especializadas assinadas pela Universidade de São Paulo (USP), tais como *Web of Knowledge*, *Scopus*, *Engineering Village*, *Proques* e banco de teses e periódicos da CAPES. A busca foi feita com o emprego das palavras-chave *Cleaner Production* e *Lean Production/ Manufacturing*, os respectivos termos em português, além das relações entre ambos e, ainda, sobre Mapeamento de Fluxo de Valor, já que é uma das ferramentas mais importantes de Produção Enxuta e foi utilizada nas análises feitas num *software*.

Após a revisão bibliográfica, foram elaborados Protocolos de Estudo de Caso e Roteiro para entrevista para a realização de dois estudos de caso. Os contatos com as empresas foram pré-estabelecidos pelo Grupo de Pesquisa Engenharia de Gestão do Ciclo de Vida (EGCV), lotado no Departamento de Engenharia de Produção (DEP) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da USP.

Para a realização dos estudos de caso foram realizadas visitas *in loco*, onde foram analisados alguns processos produtivos das empresas, documentos referentes à implantação da P+L e da Produção Enxuta, especialmente o VSM, e foi realizada uma entrevista com cada empresa, permitindo assim a triangulação de métodos de coletas de dados diferentes, conforme preceitua YIN (2001).

O *software Plant Simulation* da Siemens que foi usado é um *software* de simulação de uma planta numa fábrica no qual são aplicados os conceitos de ambos os tipos de produção. Depois foram avaliadas as mudanças e possíveis melhorias no processo.

O *Plant Simulation* ajuda a criar modelos digitais de logística em sistemas de produção para que seja possível explorar as características do sistema e melhorar sua execução. Permite fazer experimentos e cenários hipotéticos sem alterar sistemas de produção existentes, mostrando os resultados das alterações em gráficos, dados estatísticos e outras ferramentas. Assim, auxilia no futuro projeto e planejamento de novos sistemas de produção.

Esse *software* tem sido utilizado em trabalhos científicos em outras aplicações visando simular e avaliar o desempenho operacional de processos e sistemas produtivos, também com o intuito de analisar alterações num processo de fabricação apenas simulando-o antes de aplicá-lo na fábrica (MARBE; HARVEY; BERNTSSON, 2006; DIAZ-ELSAYED, et al., 2013; LATORRE, et al., 2014).

Essa tecnologia de simulação é uma ferramenta muito importante para planejar, implementar e operar sistemas técnicos complexos. A simulação de eventos discretos de um sistema possibilita o estudo de interações complexas internas e a análise dos efeitos causados por variações específicas sobre todo o sistema. Os gastos com a simulação são compensados, pois muitas vezes, a realização de experimentos desejados diretamente sobre o sistema real é muito difícil e requer elevado custo. Além disso, evitam-se os riscos de projetos de melhoria de processos através desse sistema de virtualização, pois é possível fazer os processos serem mais eficientes com mudanças de pequeno porte.

O *Plant Simulation* apresenta inúmeras vantagens para a avaliação de mudanças em processos, como: economia do investimento inicial, aumento da produtividade, redução dos inventários e do tempo do ciclo. Também tem vantagem com relação à geração de gráficos e tabelas para facilitar a análise dos dados, pois o próprio sistema calcula e plota os gráficos utilizados para avaliação de determinado projeto ou mudança deste.

Os estudos de caso foram feitos a partir da interpretação dos VSM atuais de cada empresa e sua simulação no *software* (no caso da primeira empresa), seguido de identificação de oportunidades de melhoria baseadas nos conceitos estudados na revisão bibliográfica de Produção Enxuta e Produção Mais Limpa. Depois, os VSM do estado futuro de cada empresa foram interpretados, e dessa vez identificando as diferenças que trouxeram benefícios para cada um dos processos das empresas. Por fim, foram feitas análises referentes aos resultados obtidos relacionando-os também com os conceitos estudados.

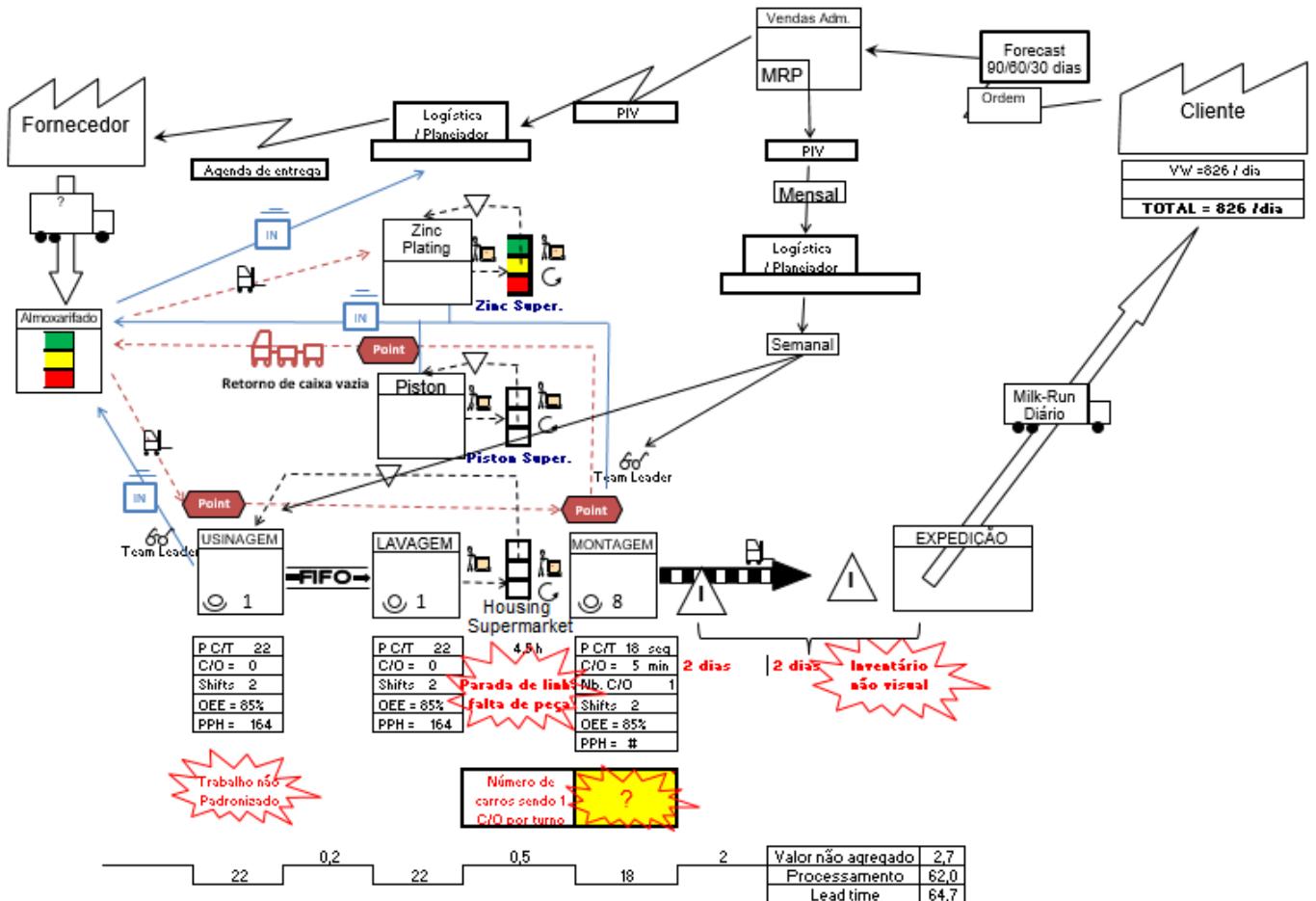
## 4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO – VSM ESTADO ATUAL

Com os estudos de caso, foram obtidos os Mapeamentos de Fluxo de Valor do Estado Atual e do Estado Futuro do processo de cada empresa e estes foram simulados no *software*.

### 4.1 Estudo de Caso – Empresa 1

Foram analisadas as etapas do processo de fabricação dos produtos a partir da imagem do VSM atual da primeira empresa, mostrada a seguir, onde podem-se observar as etapas: *Machining* (Usinagem), *Washing* (Lavagem), *Caliper Assy* (Montagem – Assembly, de Freio) e *Shipment* (Expedição) e os modos de movimentação de material entre elas, ao ver a capacidade de entrega dos processos, conclui-se que a capacidade das etapas 1 e 2 é de entregar 164 peças por hora e a terceira etapa, apesar de possuir um tempo menor de processo, há o tempo C/O (*Change-Over*, tempo de *setup* para troca de peça) de 5 minutos para cada peça, assim, entrega 25 peças por hora, tornando-se o gargalo do processo.

Figura 2 - Mapeamento do Fluxo de Valor do Estado Atual (Empresa 1)



Fonte: VSM retirado do primeiro Estudo de Caso realizado pela Empresa 1 - adaptado

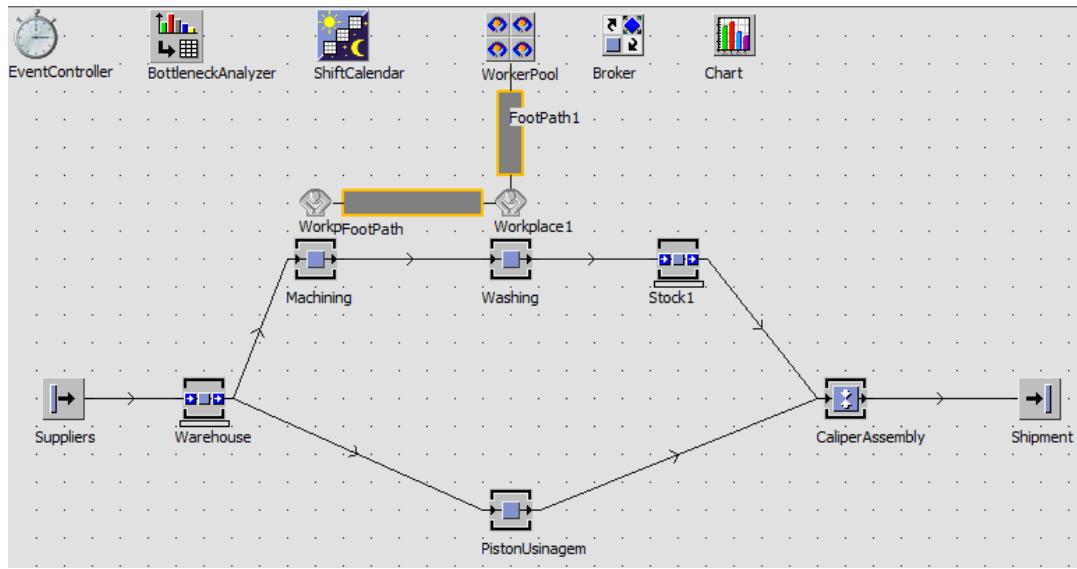
O *lead time* deste processo é de 64,7 segundos no total, sendo que o tempo de processamento, o qual está agregando valor efetivamente ao produto, é de 62 segundos. Este VSM possuía um erro conceitual no cálculo do *lead time* por isso foi adaptado para análise deste estudo de caso, de maneira a calcular corretamente o *lead time* somando o tempo de processamento e de valor não agregado.

Os problemas identificados nesse VSM do estado atual da primeira empresa são principalmente três:

- Falta de padronização dos processos, deixando-o instável e imprevisível.
  - Parada de linha por falta de peças que estão em processo, possivelmente devido à etapa que corresponde ao gargalo da linha.
  - Produção empurrada na última etapa do processo antes de enviar para o cliente.

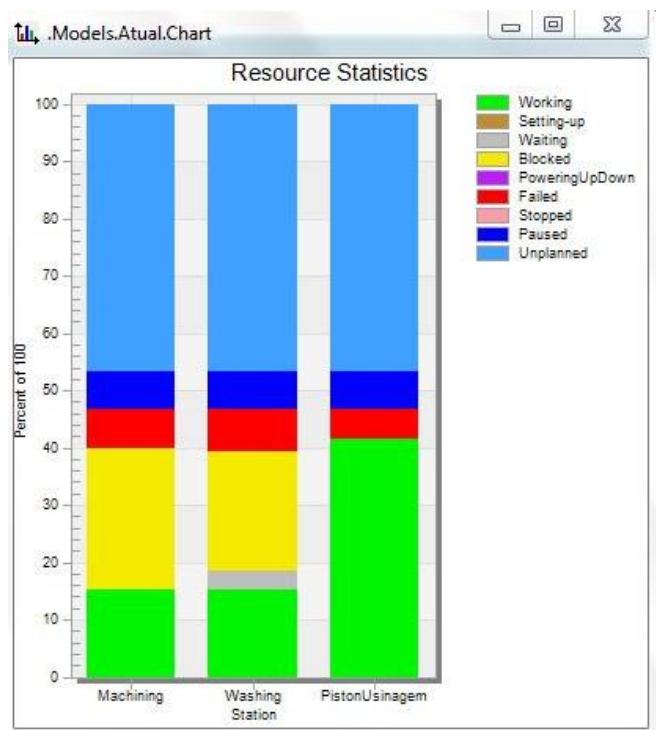
A seguir está a simulação do primeiro VSM atual no *software* que mostra as duas primeiras máquinas trabalhando cerca de 15% do tempo:

Figura 3 - Simulação VSM Atual (Empresa 1)



Fonte: Imagem do Software de simulação *Plant Simulation*

Figura 4 - Gráfico da simulação das atividades das máquinas (estado atual – empresa 1)



Fonte: Gráfico do Software de simulação *Plant Simulation*

#### 4.2 Estudo de Caso – Empresa 2

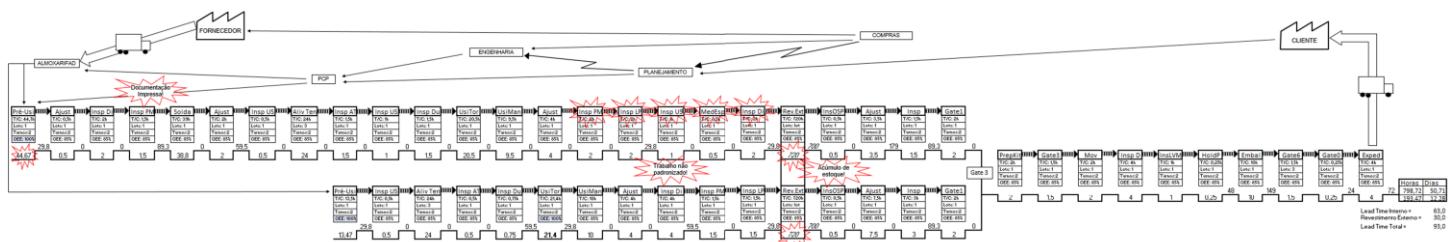
O segundo estudo de caso foi realizado em uma empresa com tipo de produto bastante diferente da primeira, assim, é possível mostrar a possibilidade assertiva de unificação desses processos em empresas de ramos e tipo de produtos bem diferentes.

Enquanto a primeira empresa fabrica produtos relativamente de pequeno porte (Freios para automóveis), esta segunda empresa fabrica produtos de grande porte, que são equipamentos mecânicos complexos os quais passam por diversas etapas de processos de usinagem, soldagem, ajustagem, inspeções, alívio de tensões e revestimento.

O Mapeamento de Fluxo de Valor desse produto da segunda empresa explica bem a grande sequência de processos pelos quais a peça passa. A peça é formada por duas grandes partes principais que se encaixam e algumas peças menores que são montadas no final. Por isso a linha de produção tem início em duas partes e depois se juntam para formar o produto final.

Figura 5 - Mapeamento do Fluxo de Valor do Estado Atual (Empresa 2)

Verificar a versão ampliada no Apêndice A



Fonte: Material feito pela autora com base no segundo Estudo de Caso realizado

Este processo possui um *lead time* muito maior do que o processo da primeira empresa (93 dias no total, e 12,3 dias que realmente agregam valor), pois algumas operações levam horas e há um processo de revestimento que é feito externamente, o que aumenta mais ainda o *lead time*. Isso mostra que há diversas oportunidades de melhoria e possibilidades de aplicação desses conceitos de P+L e Produção Enxuta que foram explicados.

Cada etapa do processo é contada em horas, porém para saber o *lead time* total em dias, não se divide simplesmente por 24 horas (1 dia) pois na fábrica não se trabalha exatamente 24 horas por dia. Para isso, utiliza-se o tempo disponível de trabalho em cada dia, calculado da mesma forma que calcula-se para o tempo disponível na fórmula do *Takt time*: somando as horas de trabalho dos turnos e subtraindo as paradas programadas e obrigatórias.

O tempo disponível neste caso é calculado sabendo que o primeiro turno é das 6:00 às 15:30 e o segundo turno das 15:20 às 00:25. Totalizando em 1095 minutos por dia. Considerando 1 hora de almoço ou janta dependendo do turno, 60 minutos de ginástica laboral e 90 minutos de reunião por semana para os dois turnos, tem-se 945 min/dia, ou seja, 15,75 h/dia.

A demanda foi calculada a partir dos dados do planejamento, considerando que deve-se entregar 4 peças por mês, e o valor final obtido para o Takt Time foi de 1 peça a cada 29,76h.

Por fim, para calcular o *lead time* em dias, usa-se o valor total de horas dividido pelo tempo disponível de trabalho por dia, ou seja, 15,75 horas.

Tabela 2 - Cálculo *Lead time* do Estado Atual

CÁLCULO LEAD TIME	Horas de processo	Horas disponíveis/dia	Dias (Horas de Processo/Disponíveis)
Tempo de Valor Não Agregado	798,72	15,75	50,71
Tempo de Valor Agregado	193,47	15,75	12,28
Estado Atual		LT interno	63
		Revestimento Externo	30
		<b>LT total</b>	<b>93</b>

Fonte: Tabela feita pela autora com base no segundo Estudo de Caso realizado

Essa tabela mostra que o *lead time* interno desse processo é de 63 dias, o que corresponde a 67,74% do *lead time* total. Enquanto a etapa de revestimento químico que é feito externamente à empresa dura 1 mês, o que corresponde aos 32,26% restantes do *lead time* total.

Neste VSM é possível identificar vários problemas, logo, oportunidades de melhoria:

- Documentação impressa: Na parte administrativa, antes da peça entrar na primeira máquina para iniciar todo o processo, o roteiro de fabricação desta, juntamente com todos os demais documentos necessários (Desenhos, orientações e anexos) são impressos pela pessoa responsável do planejamento e levados até a entrada da peça na fábrica. Isso é feito para todas

as peças que entram na fábrica, ou seja, há um enorme desperdício de tempo, dinheiro, trabalho, folhas, movimentação e controle destas;

- Processos de Usinagem muito demorados: São os gargalos da linha devido ao seu tempo de ciclo ser maior do que o *Takt time*, isso causa um grande desequilíbrio na linha, pois boa parte das etapas do processo são inspeções de tempo muito menores que a usinagem, o que acaba gerando estoque entre etapas (WIP, em inglês *Work in Process*), e vai contra os conceitos de Produção Enxuta e P+L como produção puxada sob demanda e inexistência de estoques.
- Excesso de tempo de Inspeções: Não há padronização do trabalho nas inspeções, assim os tempos de cada uma varia muito, mesmo sendo o mesmo tipo de inspeção em diferentes etapas do processo. Há problemas como falta de controle visual das peças que entram na fila para serem inspecionadas e o não estabelecimento de prioridade a partir de FIFO, é difícil identificar quais peças devem sair primeiro.
- Revestimento externo: Uma das etapas de fabricação dessas peças é o revestimento químico delas para que o material possa atingir determinadas propriedades necessárias para sua aplicação, porém, é uma etapa realizada externamente, e no processo de enviar o produto para o fornecedor do revestimento, fazer o processo de revestimento e transportar de volta para a fábrica para finalizar o produto, é perdido muito tempo (30 dias aproximadamente), além de gastar energia, combustível e impactar negativamente o meio ambiente.

Depois da avaliação dos conceitos, o Mapeamento do Estado Futuro da primeira empresa foi simulado no *software* apresentado e o da segunda empresa foi elaborado com algumas melhorias identificadas e os resultados obtidos foram interpretados, para que finalmente seja analisada a integração da Produção Enxuta e da P+L, concluindo as semelhanças e possíveis aplicações dos conceitos unificados. A seguir estão apresentados os resultados dos estudos de mapeamento dos processos.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS – VSM ESTADO FUTURO

A partir da revisão bibliográfica dos principais conteúdos que foram utilizados, foi possível concluir que a redução de resíduos aumentando a produtividade é o principal foco em comum dos dois tipos de produção estudados, Produção Enxuta e P+L.

Com relação ao VSM, é uma ferramenta da Produção Enxuta que também auxilia a P+L, pois visa entender os processos e identificar onde reduzir desperdícios, logo, ao fazer as simulações do VSM no *Plant Simulation*, os objetivos da P+L podem ser alcançados em conjunto com a Produção Enxuta. Os dados das empresas dos estudos de caso foram analisados de forma qualitativa, no tocante à entrevista. As mudanças no processo produtivo são sugeridas conforme indicações da literatura para melhorias ambientais estudadas.

Desta forma, será possível identificar os impactos causados no VSM, segundo o enfoque da Produção Enxuta, com a implementação de melhorias ambientais nos processos produtivos.

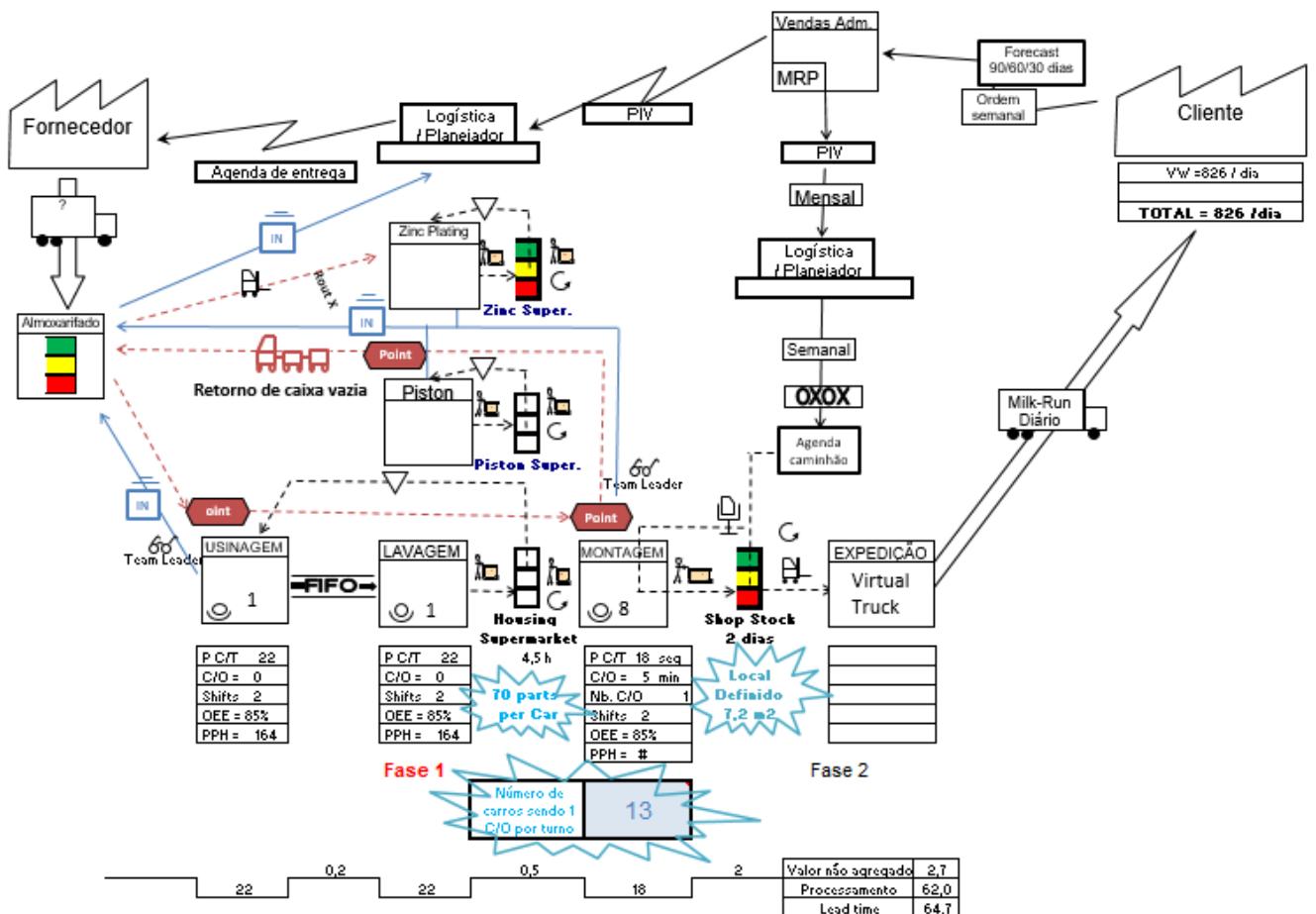
### 5.1 Estudo de Caso – Empresa 1

As sugestões de melhoria que levaram a mapear o estado futuro da primeira empresa, baseadas nos principais problemas identificados foram:

- Padronização dos processos, deixando-o mais estável e previsível.
- Adição de estoque com sinalização de *Kanban* na entrada e saída da etapa que corresponde ao gargalo da linha para controlar o WIP (*Work in Process*).

Essas alterações podem ser vistas no VSM futuro a seguir:

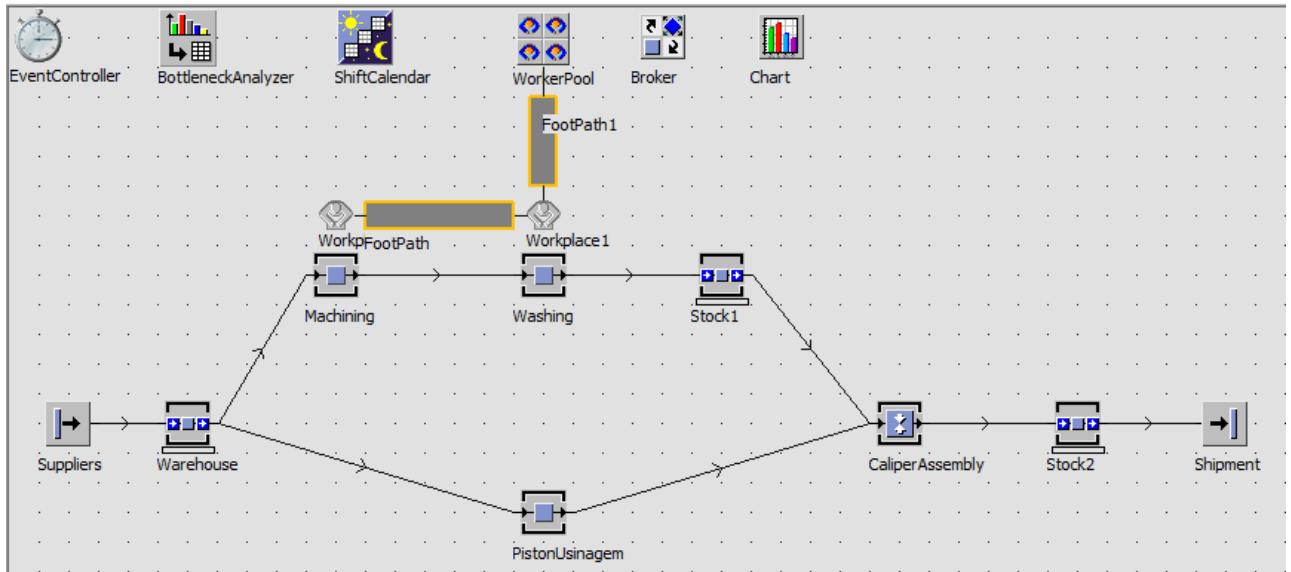
Figura 6 - Mapeamento de Fluxo de Valor do Estado Futuro (Empresa 1)



Fonte: VSM retirado do primeiro Estudo de Caso realizado pela Empresa 1 - adaptado

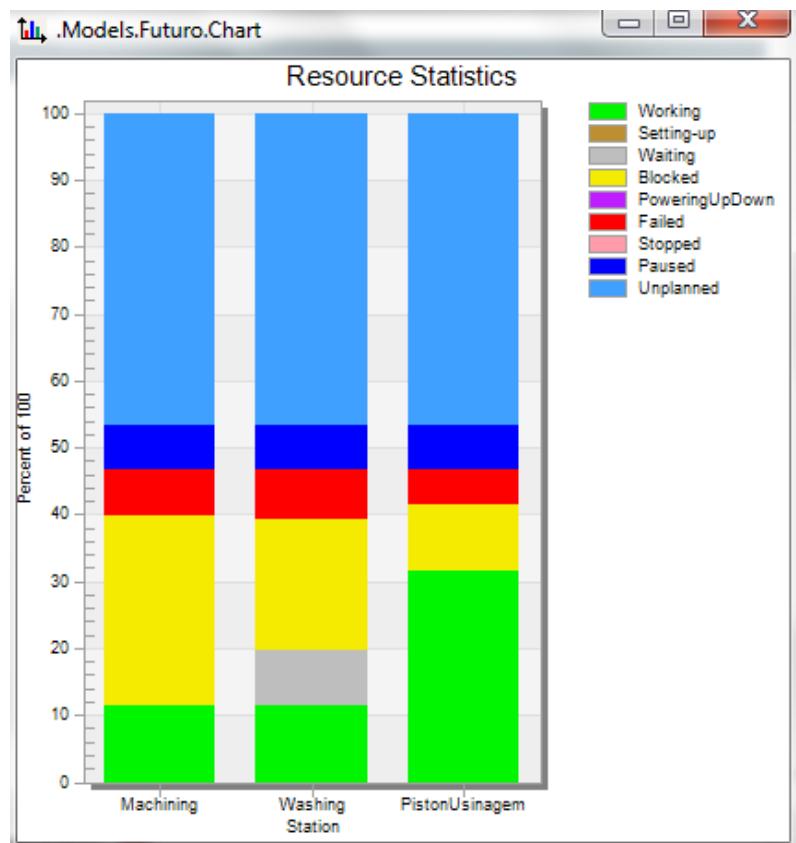
Essas ferramentas da Produção Enxuta ajudam também na P+L, uma vez que reduzem a quantidade de material/peças paradas na fábrica, pois gera desperdícios indiretamente e diretamente relacionados a essas peças.

Figura 7 - Simulação VSM Futuro (Empresa 1)



Fonte: Imagem do Software de simulação *Plant Simulation*

Figura 8 - Gráfico da simulação das atividades das máquinas (estado futuro – empresa 1)



Fonte: Gráfico do Software de simulação *Plant Simulation*

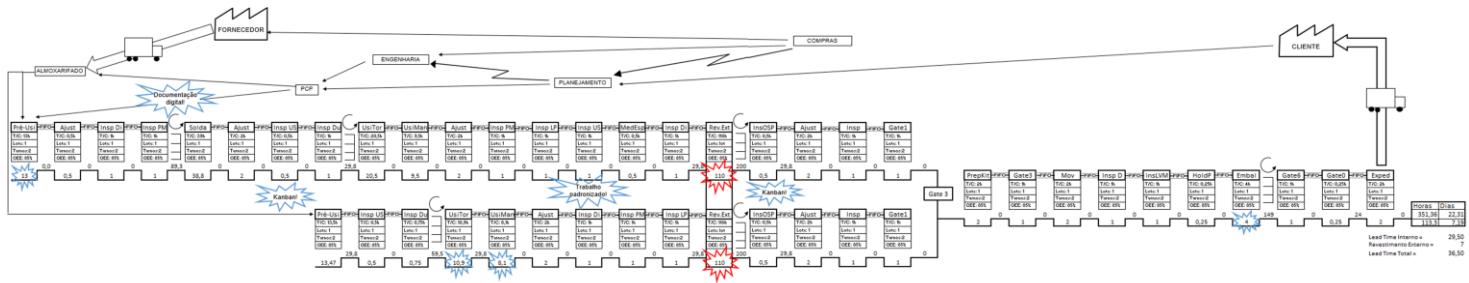
A partir desse gráfico do trabalho das duas primeiras máquinas é possível ver que estão trabalhando apenas 10% do tempo, e outros momentos estão bloqueadas falhando (pois possuem 85% de eficiência), pausadas ou não planejadas. Além disso, permanecem um tempo considerável bloqueadas, pois aguardam a passagem de produtos da etapa anterior. A comparação feita com a simulação do estado atual mostra que as duas primeiras máquinas estavam produzindo a mais do que realmente precisavam, pois o gargalo da linha está na última etapa que possui um tempo de ciclo maior.

## 5.2 Estudo de Caso – Empresa 2

Para o caso da segunda empresa, ainda não havia um Mapeamento do Fluxo de Valor do Estado Futuro definido, pois era uma iniciativa recente. Mas é possível identificar algumas melhorias para fazer o Mapa do Estado Futuro e entender essas mudanças.

Figura 9 - Mapeamento do Fluxo de Valor do Estado Futuro (Empresa 2)

Verificar versão ampliada no Apêndice B



Fonte: Material feito pela autora com base no segundo Estudo de Caso realizado

O *lead time* do Estado Futuro é calculado da seguinte forma:

Tabela 3 - Cálculo *Lead time* do Estado Futuro

CÁLCULO LEAD TIME	Horas de processo	Horas Disponíveis/dia	Dias (Horas de processo/Disponíveis)
Tempo de Valor Não Agregado	351,36	15,75	22,31
Tempo de Valor Agregado	113,3	15,75	7,19
Estado Futuro	LT interno	29,50	
			7
	Revestimento Externo		
<b>LT total</b>		<b>36,50</b>	

Fonte: Tabela feita pela autora com base no segundo Estudo de Caso realizado

Essa tabela mostra que, no estado futuro, o *lead time* interno desse processo seria de 29,5 dias, o que corresponde a 80,82% do *lead time* total. Enquanto a etapa de revestimento químico que passaria a ser feito internamente na empresa duraria cerca de 1 semana, o que corresponde aos 19,18% restantes do *lead time* total.

Pode-se concluir então que houve redução de 56,5 dias no processo todo aplicando as melhorias baseadas nos conceitos de Produção Enxuta e P+L, isso corresponde a 60,75% de redução do valor atual do *lead time* de 93 dias.

Considerando as oportunidades de melhoria identificadas no VSM do Estado Atual da segunda empresa, foram alterados alguns pontos para o VSM do Estado Futuro:

- Documentação digital: Alterar a documentação impressa para digital é uma ação que beneficia a empresa economicamente e ambientalmente. A sugestão para melhorar esse processo é imprimir apenas uma folha para rastreabilidade com o *Part Number* e número de série, assim os demais documentos podem ser anexados e visualizados pelo sistema no computador.
- Redução do impacto do tempo de Usinagem: Não só a Usinagem, mas também outros processos demorados como Soldagem, Alívio de Tensões (24h no forno) e Revestimento, estão entre etapas de tempo muito menor como Inspeções e Ajustagens, logo o que pode ser feito para não desbalancear tanto a linha é colocar um estoque com sinalização de *Kanban* e determinar FIFO (*First In-First Out*) entre essas etapas em vez de ser produção empurrada.
- Tempo de Inspeções: Considerando os princípios da Produção Enxuta, deve-se simplificar ao máximo e padronizar os processos para evitar desperdícios, isso deve ser feito com o processo de inspeções (incluindo *Gates* - documentação, 29 etapas) e ajustagens (6) reduzindo todas as inspeções para 1 hora e ajustagens para 2 horas. O impacto é de 22 horas a menos no *lead time*.
- Revestimento químico interno: é o que mais traria mudança significativa no *lead time* total, apesar de ser algo mais trabalhoso e que necessite de investimento para fazer o revestimento internamente na empresa, é mais viável do que mandar para outro fornecedor fazer. Pois estimando que dentro da fábrica o revestimento demore cerca de 7 dias para ser executado, isso reduz o *lead time* em 23 dias aproximadamente.
- Diminuir movimentação: Definição de um layout favorável à mínima movimentação de peças e operadores entre etapas, além de reduzir o tempo, economiza-se energia e

evita que gere estoques desnecessários entre as etapas quando as peças estão paradas aguardando para serem levadas à etapa seguinte.

- 5S: Se o espaço que o operador usa para trabalhar estiver organizado, limpo e com as ferramentas e instrumentos necessários ao alcance e posse dele, o tempo total de processo já reduz significativamente. Isso pode ser aplicado para todas as etapas do processo.

Além dessas mudanças, identificou-se que o processo de Pré-Usinagem (primeira etapa) estava demorando muito mais do que o planejado, pois a matéria prima chegava do fornecedor com um diâmetro maior do que o especificado, assim, a usinagem leva mais tempo para retirar todo o material, além de desperdiçar essa sobra. Logo, para o estado futuro, haverá a troca de material que antes era um aço com alto teor de níquel e de carbono, para outro fornecedor de forjado que já chegará com o diâmetro correto sem que haja necessidade de descarte e envio para reciclagem do metal em excesso. O novo material possui baixo teor de carbono, o que permite que o processo tradicional seja alterado, uma vez que esta nova matéria prima não precisa passar pela etapa de alívio de tensões, e isso elimina também a etapa de inspeção ao sair do forno em que é feito o alívio de tensões.

Essas melhorias que relacionam e trazem benefícios para a P+L e para a Produção Enxuta, resultaram em redução de várias horas no *lead time* total:

- Usinagem: 31,67 horas
- Inspeção e ajustagem: 22 horas
- Revestimento químico de 30 (externo) para 7 dias (interno)
- Troca de material que não exige alívio de tensões: 27 horas

No total, o *lead time* foi reduzido para 36,5 dias, ou seja, 39,2% do valor atual.

Tabela 4 - Resultado de redução de *Lead time*

<i>Lead time</i>	Atual	Futuro
LT interno	63 dias	29,5 dias
Revestimento Químico	30 dias	7 dias
LT total	<b>93 dias</b>	<b>36,5 dias</b>

Fonte: Tabela feita pela autora com base no segundo Estudo de Caso realizado

### 5.3 Análise geral dos resultados

Pelo mapeamento de fluxo de valor obtido da primeira empresa é possível observar que o estado atual mostra um desequilíbrio da linha, já que as duas primeiras etapas produzem 164 peças por hora e a última produz 25 peças por hora, ou seja, a última etapa corresponde ao gargalo da linha.

Além disso, entre a última etapa e a expedição (*Shipment*), a produção era empurrada, sem respeitar o fluxo de uma única peça (*One piece flow*), acumulando assim um estoque entre essas etapas. No mapa do estado futuro, pode-se observar a implementação de um supermercado com sinalização de *Kanban* de maneira a controlar o estoque dos produtos que saem da última etapa para a expedição.

Esses são alguns dos conceitos de Produção Enxuta aplicados na linha de produção, e fazendo relação com a Produção Mais Limpa nesse caso, é possível interpretar da seguinte forma: ao implementar o supermercado e ter um controle sobre o estoque gerado, evita-se que haja sobreprodução, um dos principais desperdícios da Produção Enxuta e também da Produção Mais Limpa, uma vez que se produzir mais do que o necessário, haverá gastos direta e indiretamente relacionados à produção desses itens em excesso, como matéria prima, insumos para processamento nas máquinas, energia, água, tempo de trabalho de operadores, espaço e embalagem necessária para armazenar esse estoque enquanto ele ainda estiver dentro da fábrica.

Com relação à segunda empresa, as alterações que foram feitas realmente reduzem o tempo de processamento, beneficiando a empresa no âmbito econômico, e também ajuda a reduzir o impacto negativo ao meio ambiente devido a diversos fatores. Isso tudo pode-se notar pelas diferenças nas simulações e na interpretação dos resultados obtidos com o Mapeamento de Fluxo de Valor do Estado Futuro.

Foram utilizados diversos conceitos, principalmente da Produção Enxuta, mas que, por visar a redução de todo tipo de desperdício, contribui também para a Produção Mais Limpa. Por exemplo, a mudança no processo de revestimento para fazê-lo internamente é uma melhoria muito grande no aspecto ambiental, uma vez que elimina por completo a necessidade de transporte entre a fábrica e o fornecedor, e reduz consideravelmente o tempo de entrega do produto, isto beneficia e se relaciona diretamente com o conceito de Produção Enxuta de realizar etapas demoradas que não agregam valor para o cliente.

Outra melhoria que pode ser usada como excelente exemplo de integração dos modelos de Produção discutidos é a troca da matéria prima, para um material que atende as

especificações do cliente, chega no diâmetro necessário, sem gerar excesso de processamento e de sobra de material e elimina 2 etapas demoradas do processo, sendo que uma delas é o alívio de tensões que deve ser feito num forno em aquecimento por 24 horas. Ou seja, a redução de consumo de energia é muito impactante.

## 6 CONCLUSÃO

A partir da realização e da análise dos dois estudos de caso, foi possível evidenciar a boa integração dos sistemas de Produção Enxuta com a Produção Mais Limpa.

Por um lado, reduzir resíduos, diminui custos, favorecendo a Produção Enxuta e por outro, diminui a poluição, favorecendo a P+L. Além disso, ao criar o supermercado com *Kanban* pode-se controlar o estoque para que isso não prejudique a linha de forma a evitar produzir em excesso, o que favorece tanto a Produção Enxuta quanto a P+L.

Um possível jeito de seguir com esse processo de melhoria contínua é formar um “Ecotime” adaptado que planeje, organize e mantenha o sistema unificado de “Produção Enxuta mais Limpa”, juntando suas ferramentas e garantindo um bom funcionamento desse sistema de sinergia para que gere resultados ainda melhores que quando estão separados. Esse time deve estar constantemente à procura de melhorias do processo nesses aspectos discutidos e implementando esses *Kaizens* em várias partes de cada processo de fabricação.

Dar sequência à estruturação desse Ecotime adaptado e suas atividades é a sugestão para trabalhos futuros. Pode-se incluir diversas ferramentas de Produção Enxuta vistas aqui nos procedimentos que o Ecotime realizaria, assim será possível dar continuidade e mostrar a real aplicação desses conceitos trabalhando em conjunto.



## REFERÊNCIAS

- ANTUNES, J., [et al.]. **Sistemas de produção:** conceitos e práticas para o projeto e gestão de produção enxuta. Porto alegre: Bookman, 2008.
- CARRILLO, J. C. L. **Estudo de Aspectos Ambientais em Produção Enxuta.** 2012. 136 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Fabricação. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.
- CARVALHO, P.C. – **O Programa 5S e a Qualidade Total.** Editora Alínea e Átomo, 5<sup>a</sup> edição, 2011.
- CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS. **Implementação de programas de Produção Mais Limpa.** Apostila. Porto Alegre, 2003
- Cobra, R. L. R. B., Guardia, M., Queiroz, G. A., Oliveira, J. A., Ometto, A. R., Esposto, K. F., 2015 (in press). “Waste” as the common “gene” connecting Cleaner Production and Lean Manufacturing: proposition of a hybrid definition. Environmental Quality Management.
- DIAZ-ELSAYED, N.; JONDRAL, A.; GREINACHER, S.; DORNFELD, D.; LANZA, G. Assessment of lean and green strategies by simulation of manufacturing systems in discrete production environments. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 62, p. 475–478, 2013.
- DEW – Department of Ecology of Washington Lean and Environment Project Final Report**, 2008. Disponível em: <<http://www.ecy.wa.gov/programs/hwtr/lean/index.html>>
- DÜES, Christina Maria; TAN, Kim Hua; LIN. Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain. **Journal of Cleaner Production.** 2012 IN PRESS.
- EPA – USA, **Lean, Energy & Climate Toolkit, Achieving Process Excellence Through Energy Efficiency and Greenhouse Gas Reduction,** EPA-100-K07-003, 2011. Disponível em: [www.epa.gov/lean](http://www.epa.gov/lean)
- ISO. Environmental management. The ISO 14000 family of International Standards, 2009.
- JESWIET, J.; HAUSCHILD, M. **Ecodesign and future environmental impacts.** Materials and Design, v. 26, p. 629-634, 2005.

KIDWELL, M., **Lean Manufacturing and The Environment.** Ignoring the 8th Deadly Waste leaves money on the table. Six Issue, Target Volume 22, number 6, 2006.

LATORRE, J.; CERISOLA, S.; RAMOS, A.; PEREA, A.; BELLIDO, R. Coordinated Hydropower Plant Simulation for Multireservoir Systems. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 140, n. 2, p. 216-227, 2014.

LEAN INSTITUTE BRASIL – Disponível em: <http://www.lean.org.br/>

LIAO, I.H. **Designing a Lean Manufacturing System:** A case Study. 2005. Masters dissertation - School of Engineering and Applied Science, Binghamton University State University of New York.

LIKER, J., **O modelo Toyota: 14 Princípios de gestão do maior fabricante do mundo.** Mc Graw-Hill companies, Inc, New York , 2005.

LIKER, D.; MEIER. J. K. **The Toyota Way Fieldbook. Starting the Journey of Waste Reduction.** McGraw-Hill, 2005.

MARBE, Â.; HARVEY, S. BERNTSSON, T. Technical, environmental and economic analysis of co-firing of gasified biofuel in a natural gas combined cycle (NGCC) combined heat and power (CHP) plant. **Energy**, v. 31, n. 10-11, p. 1614-1631, 2006.

MAXWELL, D.; VAN DER WORST, R. Developing sustainable products and services. **Journal of Cleaner Production**, v. 11, p. 883-895, 2003.

MELTON, T. **The Benefits of Lean Manufacturing.** What Lean Thinking has to Offer the Process Industries, Institution of Chemical Engineers, Trans IChemE, Part A, 2005.

MONDEN, Y. **Produção sem estoques: uma abordagem prática do sistema de produção Toyota.** São Paulo, IMAM,1984.

OHNO, T. - **O Sistema Toyota de Produção,** Além da Produção em Larga Escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OMETTO, A. R.; GUELERE FILHO, A.; PERES, R. B. Gestão Ambiental de Empresas. In: CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. (org). **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão.** São Paulo: Elsevier, 2013.

PINGNAN. R.; WEIMAO. R. Lean Production Characteristics Analysis Based on Tech-Economic Paradigm. **International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering.** IEEE, 2009.

ROTHENBERG, S.; PIL, F.K.; MAXWELL, J. Lean, Green, and the quest for superior environmental performance, **Production and Operation Management**, New York, v. 10, n. 3, p. 228, 2001.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999.

SANTOS, J.; WYSK, R. A.; TORRES, J. M. **Otimizando a Produção com a Metodologia Lean**. São Paulo: Leopardo, 2009.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de produção: Do ponto de vista da Engenharia de Produção**, Porto Alegre: Bookman, 1996.

SIEMENS – Análise da Eficiência Energética com o Balanceamento de uma Linha Produtiva utilizando Plant Simulation. Disponível em:  
[http://www.plm.automation.siemens.com/pt\\_br/2014/connection/conteudo.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/2014/connection/conteudo.shtml)

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. **Manual on the Development of Cleaner Production Policies** - Approaches and Instruments. Guidelines for National Cleaner Production Centres and Programmes. Unido CP Programme: Viena, 2002.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Sustainable Consumption and Cleaner Production: Global Status**, 2002.

WOMACK, J. P.; JONES, D.T. **A mentalidade enxuta nas empresas Lean Thinking: elimine o desperdício e crie riqueza**. 6<sup>a</sup> Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WOMACK, J. P., JONES, D.T. **Lean thinking – banish waste and create wealth in your corporation**. New York, Simon & Schuster, Inc, 1996.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. São Paulo: Bookman, 2001.



## Apêndice A – VSM Estado Atual da Empresa 2





## Apêndice B – VSM Estado Futuro da Empresa 2

