



# Fluxos de material e informação na Impressão de folha de flandres

*Nuno Gonçalo Albuquerque Pereira Pedro*

**Dissertação de Mestrado**

Orientador na FEUP: Prof. Hermenegildo Pereira

Orientador na Empresa: Eng.<sup>a</sup> Raquel Miranda



**Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão**

2015-07-27

*Aos meus pais*

## Resumo

Garantir a competitividade e agilidade da cadeia de valor, para responder de forma eficaz e eficiente aos pedidos dos clientes, tem sido a grande prioridade de várias indústrias e setores de atividade. A aplicação dos conceitos *lean* a uma unidade industrial de *mass customization*, como uma unidade de litografia, corresponde a grandes desafios e é relativamente pouco estudada na literatura.

Neste projeto, aplicado à unidade de litografia de uma Empresa de fabrico de embalagens metálicas, aplica-se um conjunto de metodologias e conceitos *lean* para a identificação de prolemas e melhoria de fluxo de material e informação, guiando a abordagem através de *Value Stream Mapping*. Identificam-se duas principais variáveis críticas para a cadeia de valor: o *lead time*, e a capacidade das linhas de produção. No sentido de melhorar estes indicadores de desempenho, propõe-se um estado futuro da cadeia de valor, e caracteriza-se em detalhe um conjunto de dois novos sistemas, para duas operações distintas – o corte primário e a preparação de trabalhos. A primeira sugestão consiste em procedimentos táticos e operacionais para implementar o planeamento e sequenciamento de folha cortada em regime híbrido MTO e MTS. A segunda consiste num ciclo de abastecimento e preparação de consumíveis em sequência, aplicando ferramentas *lean*. Para avaliar a viabilidade técnica e para a parametrização das soluções propostas, elaboram-se modelos de simulação por eventos discretos (*Discrete Event Simulation*), e aplicam-se métodos de experimentação baseados em Desenho de Experiências.

Com o conjunto de recomendações efetuadas para a implementação destes conceitos, a Empresa encontrar-se-á em melhor posição para responder aos requisitos do mercado e de todos os *stakeholders*.

# Material and Information Flow in the Metal Sheet Printing Process

## Abstract

To remain competitive and agile throughout the value chain, and to respond effectively and efficiently to customer demands, has remained a significant priority to many industries and services. The application of *lean manufacturing* concepts to a mass customization industrial unit, a printing plant for instance, poses great challenges and has not been a main subject of research in the *lean* application.

In this project, developed in the printing plant of a metal packaging company, a set of techniques and concepts from *lean manufacturing* are applied to the identification of problems and material and information flow improvement. Value Stream Mapping is used to guide the application. Two main critical output variables for the value chain are identified: production lead time, and production capacity. In order to improve these performance indicators, a future state for the value chain is proposed, and two new operating systems for two different processes are detailed – primary cutting and pre-printing. The first suggestion consists of tactical and operational procedures to implement cut sheet planning and scheduling in a hybrid MTO/MTS model. The second proposal is a replenishment and preparation cycle that produces and supplies consumables in sequence to the production lines, by applying lean tools and methodologies. In order to assess feasibility and adequate parameterization, Discrete Event Simulation models are developed, and experimentation techniques such as Design of Experiments are employed.

With the set of recommendations made for the implementation of these concepts, the company will be in a better position to answer to market requirements, and to benefit all stakeholders.

## Agradecimentos

À Colep, pela oportunidade de desenvolver o Projeto de Dissertação, e pelas condições de trabalho proporcionadas.

À Eng.<sup>a</sup> Raquel Miranda, por toda a orientação, apoio e empenho.

À Equipa da Melhoria Contínua: José António, Pedro, Rafael, Rita, Ana Rita, Gonçalo, Liliana.

A todos os colaboradores da Colep.

Aos colegas da FEUP com quem partilhei a experiência: Pedro, Joana, Ricardo, Mónica, João, Beatriz e Luísa.

Ao Prof. Hermenegildo Pereira, por toda a orientação, motivação e apoio.

Aos meus pais, familiares e amigos.

# Índice de Conteúdos

1	Introdução .....	1
1.1	Enquadramento do Projeto e Motivação .....	1
1.2	O Fluxo de Material e Informação na Litografia da Colep Portugal, S.A. ....	1
1.3	Objetivos do Projeto .....	2
1.4	Método seguido no Projeto .....	2
1.5	Estrutura da Dissertação .....	3
2	Enquadramento Teórico .....	4
2.1	A Filosofia e o Sistema de Produção da Toyota .....	4
2.2	Fluxo de Material e Informação .....	6
2.2.1	Fiabilidade Básica .....	7
2.2.2	Fluxo de Produção .....	7
2.2.3	Logística Interna .....	7
2.2.4	Logística Externa .....	10
2.2.5	Mapeamento e Desenho da Cadeia de Valor .....	10
2.3	Experiências e Simulação .....	12
2.3.1	Conceitos e Metodologia .....	13
2.3.2	Tipos de Simulação .....	14
2.3.3	Software Disponível .....	15
2.3.4	Desenho de Experiências e Seleção de Alternativas .....	15
3	Caracterização do Processo/Produto .....	18
3.1	Produto .....	18
3.2	Processo Produtivo .....	19
3.2.1	Corte Primário .....	20
3.2.2	Envernizamento .....	20
3.2.3	Impressão .....	21
3.2.4	Corte Secundário .....	21
3.3	Processos de Preparação dos Trabalhos .....	22
3.4	Processos de Gestão e Controlo de Produção .....	22
4	Identificação e Caracterização de Problemas .....	24
4.1	Estado Atual da Cadeia de Valor .....	24
4.2	Fluxo da Folha de Flandres .....	28
4.3	Fluxo de Preparação de Trabalhos .....	29
5	Desenho e Planeamento de Soluções .....	34
5.1	Estado Futuro da Cadeia de Valor .....	34
5.2	Fluxo da Folha de Flandres .....	36
5.2.1	Controlo de Produção no Corte Primário .....	37
5.3	Fluxo de Preparação de Trabalhos .....	39
5.3.1	Dimensionamento de Bordo de Linha e Supermercados .....	39
5.3.2	Definição de <i>Standard Work</i> para <i>Mizusumashi</i> .....	41
5.3.3	Mecanismos de Sincronização e Nivelamento .....	42
6	Teste e Implementação de Soluções .....	44
6.1	Metodologia e Abordagem .....	44
6.2	Simulação: Corte Primário .....	44
6.3	Simulação: Preparação de Trabalhos .....	45
6.4	Teste Piloto: Preparação de Trabalhos .....	47
7	Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro .....	49
	Referências .....	51
	ANEXO A: Ícones para Mapeamento do Fluxo de Material e Informação .....	53
	ANEXO B: Formulário de Inquérito VALSAT .....	54
	ANEXO C: <i>Process Activity Map</i> do Fluxo de Tintas Base .....	55
	ANEXO D: <i>Process Activity Map</i> do Fluxo de Tintas Compostas .....	56
	ANEXO E: <i>Process Activity Map</i> do Fluxo de Matrizes .....	58

ANEXO F: VSM do Estado Futuro .....	59
ANEXO G: Ficha de Standard Work do Mizusumashi .....	60

## Índice de Figuras

Figura 1 - Estrutura Organizacional da Colep .....	2
Figura 2 - Cronograma de Fases do Projeto .....	3
Figura 3 - Arquitetura do Sistema de Produção da Toyota (TPS).....	5
Figura 4 - Modelo <i>Total Flow Management</i> (TFM).....	6
Figura 5 - Exemplo de um Supermercado e respetivo funcionamento.....	8
Figura 6 - Funcionamento do Mecanismo <i>Kanban</i> para o Reabastecimento <i>Pull</i> .....	9
Figura 7 - <i>Framework</i> para a Modelação de um Sistema para Simulação .....	13
Figura 8 - Exemplo de Embalagens Metálicas, Corpos de Embalagens e Componentes .....	19
Figura 9 - Número de folhas produzidas na Litografia por categoria de Produto .....	19
Figura 10 - Fluxo de produção de uma Embalagem Metálica.....	20
Figura 11 - <i>Value Stream Map</i> do Estado Atual.....	27
Figura 12 - Resultados de Inquérito sobre Prevalência de <i>Muda</i> nos Fluxos.....	28
Figura 13 - Intervalo de Tempo entre Operações na Litografia .....	29
Figura 14 - Histograma do Número de Dias de Antecedência do Pedido de Preparação de Trabalhos .....	31
Figura 15 - <i>Demand Amplification Map</i> para o Fluxo de Tintas Compostas .....	32
Figura 16 - <i>Demand Amplification Map</i> para o Fluxo de Matrizes de Transporte.....	33
Figura 17 - Sistema de Controlo <i>pull</i> para Supermercado no Estado Futuro .....	35
Figura 18 - Comparação do Modelo MTO e MTS no Corte Primário .....	37
Figura 19 - Percurso do Operador <i>Mizusumashi</i> .....	41
Figura 20 - <i>Inputs</i> e <i>Outputs</i> do Modelo de Simulação para o Corte Primário .....	45
Figura 21 (a) <i>MEP</i> para o Tempo de Paragens      (b) <i>MEP</i> para Tempo entre Preparação e Consumo 47	47
Figura 22 - Impacto do Fator BL (Opção 1) e do Fator Visibilidade (Opção 2) no Tempo de Paragem de Linhas.....	47
Figura 23 - Protótipo de Carrinho de <i>Mizusumashi</i> .....	48
Figura 24 - Protótipo de Caixa de Nivelamento para Preparação de Trabalhos.....	48

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Número Médio de Passagens de Folha em cada Operação, para as Categoria de Produtos que correspondem a 80% da produção da Litografia .....	25
Tabela 2 - Matriz de Flexibilidade das Linhas Envernizadoras .....	25
Tabela 3 - Lista dos Seis Roteiros de Produção mais Frequentes .....	25
Tabela 4 - Indicador OEE e Paragens devido a Falhas no Fluxo em 2014, por Linha de Impressão .....	30
Tabela 5 - Indicadores do <i>Process Activity Map</i> para o Fluxo de Tintas Base e Composta ....	32
Tabela 6 - Indicadores do <i>Process Activity Map</i> para o Fluxo de Matrizes .....	33
Tabela 7 - Tamanho do Bordo de Linha Mínimo por Frequência de Entrega.....	40
Tabela 8 - Cálculo do Nível de <i>Stock</i> em Supermercado com base no Modelo de Revisão Periódica .....	40
Tabela 9 - Antes vs. Depois no Dimensionamento do Supermercado de Tintas.....	40
Tabela 10 - Período de Reabastecimento do <i>Mizusumashi</i> .....	42
Tabela 11 - Fatores a 2 níveis para Desenho de Experiências.....	46

## 1 Introdução

Neste capítulo introdutório apresenta-se o projeto proposto e a Empresa em que foi desenvolvido, circunscreve-se o âmbito de atuação, definem-se objetivos a atingir e os principais *deliverables*, elabora-se uma metodologia de abordagem para o problema, e enuncia-se a estrutura da dissertação.

### 1.1 Enquadramento do Projeto e Motivação

O projeto de estudo da aplicação de conceitos *lean* à otimização do fluxo de material e informação foi desenvolvido na unidade de Litografia de uma Empresa industrial de fabrico de embalagens metálicas, a Colep Portugal, S.A., nas suas instalações em Vale de Cambra. A gestão e orientação do projeto esteve inserida no Departamento Divisional de Melhoria Contínua da Empresa, além de ter interface com outras áreas funcionais, como a Produção e o *Supply Chain* (cf. organigrama da Figura 1).

Este projeto surgiu da necessidade constante da Empresa em sustentar a sua competitividade no mercado, por via do aumento da capacidade de resposta a novos requisitos externos, e da redução de custos ao longo de toda a cadeia produtiva. A Litografia da Colep Portugal, S.A., é uma unidade crítica para esse contexto, sendo o conjunto de operações aí realizadas que define a capacidade da fábrica, e que atribui ao produto a sua customização.

### 1.2 O Fluxo de Material e Informação na Litografia da Colep Portugal, S.A.

O grupo Colep, no qual se insere a Colep Portugal, S.A., detida a 100% pelo Grupo RAR, atua nos sectores de produtos de higiene pessoal, cosmética, higiene do lar e parafarmácia, como *contract manufacturer*, e de fabrico de embalagens metálicas (aerossóis, industriais e alimentares), com base em folha de flandres, e embalagens plásticas.

Em 2014 o grupo faturou cerca de 512 milhões de euros (Grupo RAR 2014), realizando 38 milhões de *cash flow* operacional. A Colep contou, nesse ano, com 3769 colaboradores distribuídos pelas várias divisões do grupo.

A Colep foi fundada no ano de 1965 em Vale de Cambra pelo Eng.º Ilídio Pinho, tendo iniciado a sua atividade pela produção de embalagens metálicas. Em 1975, inicia-se a operação de *contract manufacturing*, com o enchimento de aerossóis. A expansão internacional inicia-se em 1999 com a aquisição, em Navarra – Espanha, de uma unidade industrial de fabrico de embalagens. No ano seguinte, entre 2000 e 2001, o Grupo RAR adquire a totalidade do capital da Colep. À data, o grupo tem operações em Espanha, Polónia, Alemanha, Brasil, México e nos Emirados Árabes Unidos (através de uma *joint venture*).

A estrutura divisional da Colep, ilustrada na Figura 1, reflete as diferentes áreas de negócio. É na área industrial da divisão de embalagens (*Packaging Division*) que este projeto se enquadra.

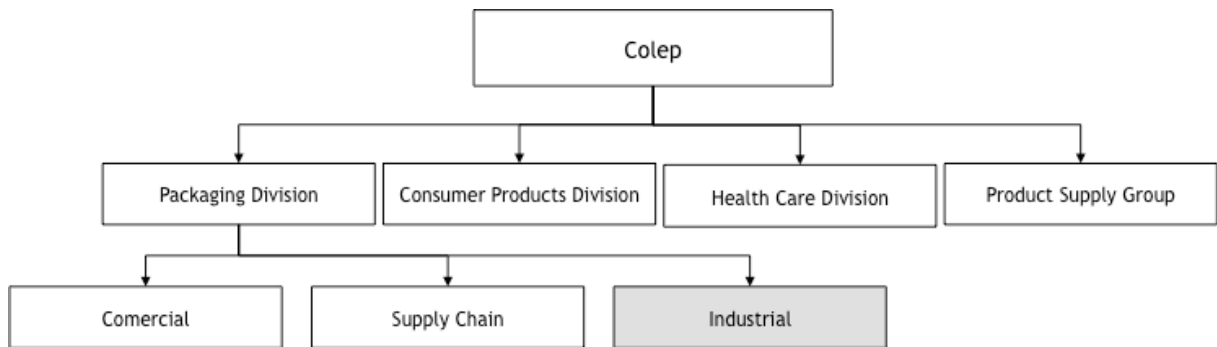


Figura 1 - Estrutura Organizacional da Colep

O Departamento Divisional de Melhoria Contínua insere-se na área industrial como equipa de suporte. O modelo de gestão de Melhoria Contínua da Colep é o “*Colep Packaging Business System*” (CPBS), que estabelece três eixos de atuação: diário, através do desenvolvimento de equipas naturais para a resolução de problemas e criação de uma cultura de melhoria; projeto, para apoio e acompanhamento na implementação de metodologias de gestão de projetos com o intuito de alterar processos e/ou equipamentos; suporte, para garantir o sucesso das atividades de melhoria e orientar as equipas no sentido da estratégia da Empresa.

Através destes componentes do CPBS, identificaram-se oportunidades de melhoria no fluxo atual de materiais, componentes e informação nas linhas da Litografia, área de produção onde se enverniza e imprime a folha de flandres de acordo com as especificações do cliente. Considerou-se que estas oportunidades mereciam um estudo aprofundado, o que motivou este projeto.

### 1.3 Objetivos do Projeto

Através da aplicação dos conceitos teóricos de melhoria de fluxos a um contexto produtivo, pretende-se:

- Estudar e diagnosticar dificuldades no fluxo de material e informação na Litografia da Colep;
- Desenhar novos fluxos logísticos e produtivos que permitam reduzir o inventário e suportar o nível de serviço e a eficiência da área da Litografia;
- Elaborar um *roadmap* para a implementação das soluções propostas com impacto nas variáveis críticas para a Empresa;
- Implementar ou testar melhorias rápidas.

### 1.4 Método seguido no Projeto

O trabalho desenvolvido ao longo do projeto esteve organizado segundo uma estrutura lógica de fases, com vista à identificação e resolução de problemas.

A primeira fase corresponde à caracterização inicial do processo, através do seu mapeamento e da recolha de alguns dados preliminares. Com base neste conhecimento inicial, procede-se à identificação de problemas ou oportunidades de melhoria através da exploração dos requisitos da Empresa, dos indicadores escolhidos, e do diferencial entre os estados atual e futuro.

De seguida, desenha-se um conjunto de soluções que pretendam atingir os objetivos da Empresa. A fase final passa pela experimentação e parametrização das soluções propostas, validando as hipóteses formuladas. As duas últimas fases são essencialmente iterativas,

refinando ou reformulando as soluções desenhadas com base nos resultados da experimentação.

O projeto decorreu entre os dias 23 de fevereiro e 26 de junho de 2015. A calendarização das fases enumeradas é ilustrada na Figura 2.

Ano		2015																							
Mês	Fevereiro				Março				Abril				Maio				Junho								
Atividades	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26				
Formação Inicial																									
Diagnóstico Inicial da Litografia / VSM																									
Levantar Estado da Arte / Benchmark																									
Levantar Requisitos Técnicos e VSD																									
Identificar e Validar Problemas e Oportunidades																									
Planear e Testar Soluções																									
Implementar Soluções																									
Transmitir e Monitorizar Novos Processos																									
Fecho do Projeto																									

Figura 2 - Cronograma de Fases do Projeto

## 1.5 Estrutura da Dissertação

A estrutura do documento segue a sequência lógica da metodologia de análise de fluxos e resolução de problemas adotada.

No Capítulo 2, estabelece-se um enquadramento teórico nas áreas de conhecimento relevantes para os objetivos do Projeto, nomeadamente o *Toyota Production System* (TPS) e as ferramentas e conceitos de *lean manufacturing*, o modelo de *Total Flow Management*, e alguns tópicos práticos sobre experiências e simulação.

No Capítulo 3, introduz-se e caracteriza-se o produto da unidade industrial em estudo, a embalagem metálica, e o seu componente principal – a folha de flandres. De seguida, detalham-se os vários processos produtivos e de suporte que compõe a cadeia de valor, transformando ou potenciando a transformação de matéria-prima em produto acabado.

No Capítulo 4, analisa-se a cadeia de valor da Litografia, à luz de um conjunto de variáveis críticas para o sucesso da Empresa e da cadeia de valor. A aplicação de ferramentas específicas tem como objetivo a identificação de pontos de impedimento ou condicionamento do fluxo de material e informação.

No Capítulo 5, aplicam-se os conceitos e os técnicas de *lean manufacturing* ao caso em estudo, para o desenho de uma cadeia de valor futura que potencie as variáveis críticas e o ideal de fluxo. Identificam-se algumas áreas de atuação, e caracteriza-se em detalhe algumas soluções para problemas existentes ou para a construção de novos sistemas.

No Capítulo 6, desenha-se um conjunto de experiências para validar e parametrizar as soluções sugeridas, a serem testadas através de modelos de simulação que visam emular o comportamento dos sistemas reais. Apresenta-se, por último, os resultados obtidos e as conclusões a retirar.

## 2 Enquadramento Teórico

No contexto atual, a redução do ciclo de vida de muitos produtos, o aumento da exigência na qualidade e nível de serviço, e o aparecimento de ofertas cada vez mais personalizadas, criam nas Empresas e organizações industriais a necessidade de reformular as suas cadeias de abastecimento.

Ao mesmo tempo, avanços tecnológicos e organizacionais possibilitam a emergência de novos paradigmas que suportam estas necessidades, elevando a fronteira de eficiência operacional – maior qualidade, maior rapidez e menor custo. O *Toyota Production System* é um exemplo dessa mudança de paradigma, e continua a ser um dos modelos mais utilizados para melhoria e otimização de operações.

No capítulo 2.1, introduz-se a linha geral de pensamento da filosofia Toyota e do seu sistema produtivo; no capítulo 2.2., apresentam-se os vários conceitos e ferramentas para a criação de fluxo no contexto de um sistema de produção *lean*; no capítulo 2.3., aborda-se a técnica de simulação como método de experimentação de soluções.

### 2.1 A Filosofia e o Sistema de Produção da Toyota

A Toyota Motor Corporation foi fundada em 1937 por Kiichiro Toyoda, filho de Sakichi Toyoda, um inventor japonês. O contexto no Japão após a segunda guerra mundial era de fraco acesso a capital, e um mercado doméstico de automóveis muito reduzido, o que tornava o modelo de produção em massa impraticável (Liker 2004). Hoje, a Toyota é um gigante multinacional de automóveis que, ano após ano e de forma consistente, consolida a sua posição no mercado e apresenta resultados que se destacam dos seus concorrentes. Em 2014, manteve a sua posição como líder em número de automóveis vendidos – 10.230 milhões de unidades, 3% de aumento face ao ano anterior (Bloomberg Business 2015).

Liker (2004) defende que o sucesso da Empresa se deveu à aplicação sistemática de um conjunto de princípios, desenvolvidos ao longo do tempo, que formam a Filosofia Toyota. Estes princípios agrupam-se em 4 categoriais, sintetizadas da seguinte forma:

- Filosofia e Pensamento a Longo Prazo – tomar decisões com base numa filosofia sólida, e num propósito comum que excede o objetivo de lucro monetário;
- Processo – criar fluxo contínuo visível de material e informação para tornar os problemas evidentes; utilizar mecanismos *pull* para evitar excesso de produção; nivelar a carga de trabalho; criar uma cultura de parar para resolver os problemas, e garantir qualidade no processo; normalizar tarefas enquanto alicerce de melhoria contínua; comunicar por controlo visual; usar tecnologia fiável e testada;
- Pessoas e Parceiros – desenvolver líderes, pessoas e equipas dentro da organização que sigam a filosofia; respeitar a rede de parceiros e fornecedores, desafiando-os e ajudando-os a melhorar os seus processos;

- Resolução de Problemas – compreender e resolver problemas indo ao local e observando; tomar decisões com base em consenso, considerando todas as hipóteses, e implementar rapidamente; desenvolver aprendizagem organizacional através de reflexão e melhoria contínua (*kaizen*).

O Sistema de Produção da Toyota (TPS), cuja arquitetura está ilustrada na Figura 3, surge como resultado da aplicação destes princípios.

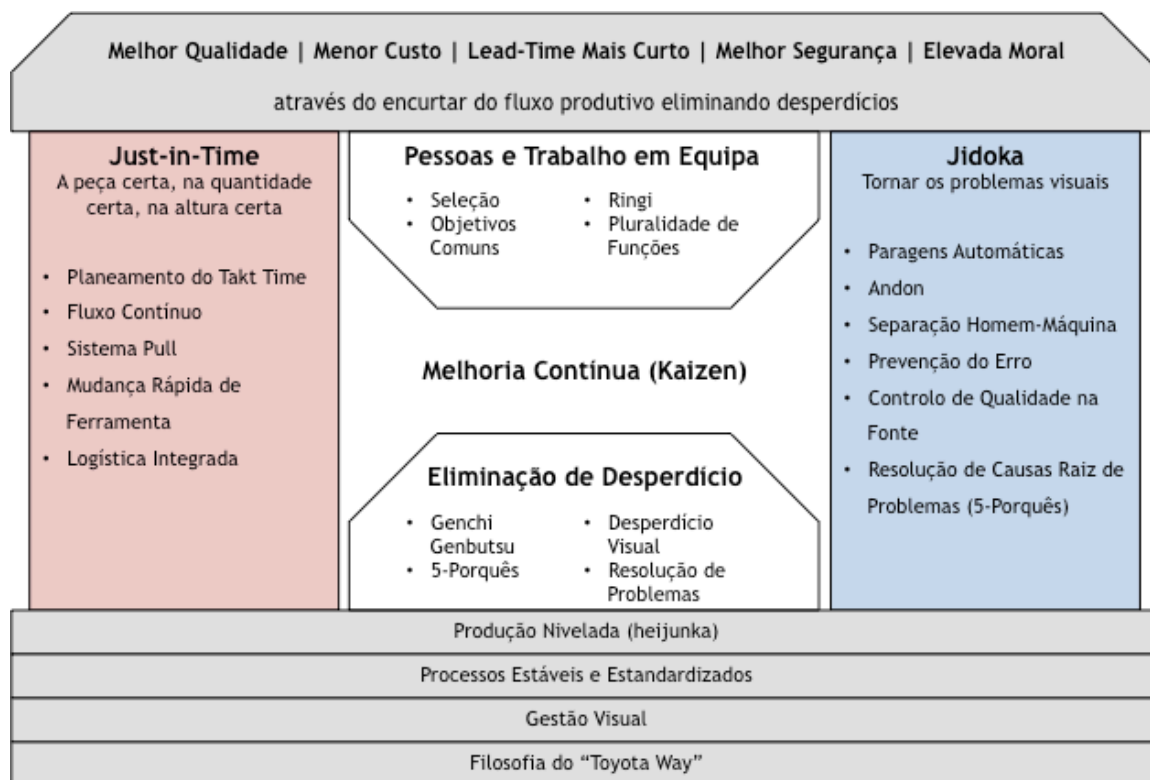


Figura 3 - Arquitetura do Sistema de Produção da Toyota (TPS)

No topo do modelo enunciam-se os objetivos que traduzem o sucesso de longo prazo da organização. Outras representações do TPS traduzem esses objetivos como “zero defeitos, zero avarias, zero inventário, zero *setup*” (Cachon e Terwiesch 2009). Os dois pilares do modelo são o conceito de *just-in-time* (JIT), i.e. fluxo de produção sincronizado com o consumo, e o conceito de *jidoka*, i.e. prevenção de defeitos. Estes conceitos estão interrelacionados – a sincronização do fluxo com o consumo reduz o nível de inventário, o que expõe problemas; por sua vez, o fluxo contínuo apenas pode ter lugar quando todos os problemas que o possam impedir forem resolvidos ou estabilizados.

O TPS, enquanto sistema, requer a aplicação de todos os seus componentes de forma integrada. É a dependência entre os vários conceitos – em particular o JIT e o *jidoka* - que torna o modelo robusto e os resultados alcançáveis.

Um dos princípios centrais da filosofia Toyota e da aplicação do TPS é a eliminação sistemática de desperdício - *muda*. Liker (2004) enumera 8 tipos de *muda*:

1. Excesso de Produção - produzir cedo demais, ou em quantidades superiores às imediatamente necessárias;
2. Tempo Disponível / Espera – estar à espera de equipamentos, materiais, próxima ordem de fabrico; ou não ter trabalho devido a quebras de *stock*, atrasos na produção, avarias nos equipamentos, etc.;

3. Transporte – percorrer grandes distâncias, de forma pouco eficiente, transportando materiais e documentos entre armazéns, linhas de produção, etc.;
4. Excesso de Processamento – fazer mais do que é necessário para satisfazer o cliente, processos complicados e equipamentos demasiado sofisticados, ou trabalho em duplicado;
5. Inventário – excesso de matérias-primas, produtos em vias de fabrico ou produtos acabados;
6. Movimento – movimentos desnecessários no posto de trabalho;
7. Defeito – produzir sucata e produtos não conformes, ou inspecionar e recuperar produtos com defeito;
8. Desaproveitamento da Criatividade das Pessoas – perder ideias e oportunidades de melhoria por não interagir com as equipas e os operacionais;

Estas tarefas são categorizadas como desperdício porque, no seu conjunto, levam ao aumento do *lead time* e à diminuição da produtividade dos recursos. No entanto, a eliminação sistemática de *muda* não é, por si só, suficiente para atingir os objetivos do TPS. *Muri* – instabilidade nos processos – e *mura* – variabilidade no produto, fora dos limites especificados – devem ser também alvo de redução e eliminação, respetivamente (Liker 2004).

## 2.2 Fluxo de Material e Informação

Coimbra (2013) propõe um modelo integrado de melhoria de fluxos na cadeia de valor, o *Total Flow Management* (TFM), ilustrado na Figura 4.

II. Fluxo Produtivo	III. Logística Interna	IV. Logística Externa
5. Automatismo de Baixo-Custo	5. Planeamento <i>Pull</i>	5. Planeamento <i>Pull</i> Total
4. SMED	4. Nivelamento	4. Fluxo <i>Outbound</i> e Expedição
3. <i>Standard Work</i>	3. Sincronização ( <i>Kanban/Junjo</i> )	3. Fluxo <i>Inbound</i> e Fornecimento
2. Bordo de Linha	2. <i>Mizusumashi</i>	2. <i>Milk Run</i>
1. <i>Layout</i> e Desenho de Linha	1. Supermercados	1. Desenho de Armazém
I. Fiabilidade e Estabilidade Básicas		
V. Desenho da Cadeia de Abastecimento		

Figura 4 - Modelo *Total Flow Management* (TFM)

O modelo é constituído por três pilares: fluxo produtivo, fluxo de logística interna e fluxo de logística externa. Estes pilares são suportados pela fiabilidade e estabilidade básicas de pessoas, equipamentos, materiais e procedimentos. O desenho da cadeia de abastecimento deve seguir estes domínios pela ordem indicada.

Abordamos de seguida alguns destes tópicos, numa perspetiva prática e de suporte à implementação no caso em estudo. O foco principal será no fluxo de Logística Interna.

### 2.2.1 Fiabilidade Básica

Coimbra (2013) divide as variáveis críticas de fiabilidade básica em quatro grupos (os 4 M):

- Mão-de-Obra - Fatores como a pontualidade e a assiduidade dos colaboradores podem condicionar o fluxo total, principalmente em cenários de *one-piece flow*.
- Máquina - Um dos principais indicadores de fiabilidade de equipamento é o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), que considera perdas associadas a disponibilidade do equipamento (e.g. paragens e avarias), desempenho e qualidade.
- Material - O baixo nível de serviço de fornecedores, ou processos de *inbound* pouco fiáveis, são indutores de problemas de fluxo relacionados com o material.
- Método - A falta de fiabilidade de método está relacionada com a falta de fiabilidade e a elevada variabilidade dos processos, com potencial de criar graves problemas de qualidade.

Estas variáveis críticas diferem dos restantes conceitos associados à produção *lean*, uma vez que abordam aspetos que podem limitar ou mesmo impedir a sua correta aplicação. É necessário, portanto, atuar em cada um destes fatores antes de implementar os restantes métodos.

### 2.2.2 Fluxo de Produção

Ao aplicar os conceitos de fluxo produtivo, procura-se atingir o ideal de *one-piece flow*, i.e. cada unidade em fluxo contínuo, com a maior eficiência e produtividade. Tal objetivo pode implicar (Coimbra 2013):

- O desenho do *layout* fabril, de forma a garantir a ordem certa de operações, o mínimo de tarefas sem valor acrescentado (e.g. transporte, controlo, espera), e um eficiente balanceamento das linhas;
- O desenho do bordo de linha, para facilitar o acesso a todos os materiais e componentes necessários à produção nesse instante, e assegurar o seu reaprovisionamento com base em informação visual;
- A aplicação de *Standard Work*, para normalizar a movimentação de pessoas e a sequenciação de tarefas rotineiras, segundo uma prática considerada superior em tempo e qualidade;
- A aplicação de *SMED*, mudança rápida de ferramenta, como forma de aumentar a eficiência e flexibilidade das linhas, permitindo reduzir os tamanhos de série e produzir de acordo com uma sequenciação mista de produtos;
- A automatização de determinadas tarefas onde, após a aplicação dos conceitos anteriores, se verifique um potencial para aumento de produtividade (i.e. fazer mais com menos recursos).

### 2.2.3 Logística Interna

O pilar da Logística Interna no modelo TFM visa à criação de um fluxo entre as necessidades dos clientes internos (e.g. linhas de produção) e a produção ou abastecimento eficiente e eficaz de materiais e componentes. Neste subcapítulo, exploramos os vários conceitos deste domínio.

## Supermercados

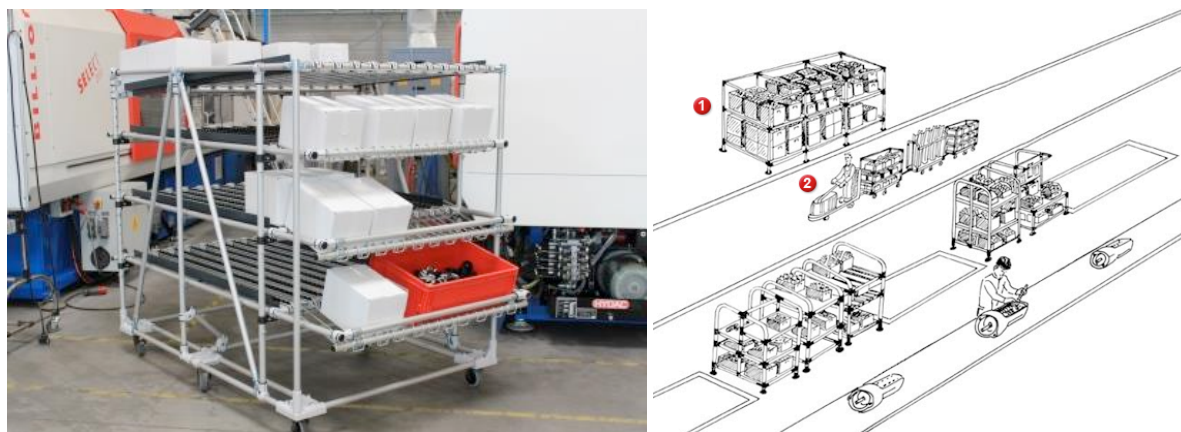


Figura 5 - Exemplo de um Supermercado e respetivo funcionamento

Um supermercado é uma área de armazenamento de acesso simples e ao nível do chão que contém, mantendo uma lógica de FIFO, localizações fixas para cada material ou componente (Coimbra 2013). A acessibilidade e ergonomia no abastecimento e recolha de material no supermercado permite o uso de pequenas caixas ou contentores, o que facilita o manuseamento pelos operadores logísticos e de produção. Permite também a gestão visual do seu conteúdo, sinalizando a necessidade de reabastecimento.

O supermercado pode ser utilizado em todos os fluxos logísticos, desde a receção de matérias-primas e componentes, à linha de produção e bordo de linha, e até ao produto acabado.

Existem vários tipos de supermercado (e.g. *flow racks*, célula logística, bordo de linha), com base no tipo de material e no método de reabastecimento. Assim, podem ser utilizados em todos os fluxos logísticos, desde a receção de matérias-primas e componentes, à linha de produção e bordo de linha, e até ao produto acabado.

### **Mizusumashi**

O *mizusumashi* – japonês para “aranha de água” – consiste num operador logístico interno responsável pela movimentação de material e informação, seguindo um determinado percurso fixo. Esse percurso difere do transporte por empilhador tradicional por ser cíclico, e por servir vários clientes internos e fazer vários movimentos logísticos dentro desse ciclo (Coimbra 2013). Assim, o *mizusumashi* assemelha-se a um comboio, uma ou mais carruagens tracionadas por uma unidade motorizada.

Ao utilizar este operador logístico, aumenta-se a produtividade e o nível de serviço, uma vez que tanto a rota e a frequência de abastecimento às linhas, como as tarefas a executar pelo operador, são normalizadas e planeadas. Existem algumas restrições, nomeadamente de espaço, *layout* e características do material a transportar, que podem condicionar a aplicabilidade desta solução.

### **Sincronização (Kanban/Junjo)**

Após aplicação dos conceitos anteriores, estará montada a infraestrutura necessária ao fluxo de abastecimento de material. No entanto, será necessário desenhar os mecanismos de informação e sinalização que irão despoletar a ordem de produção ou reabastecimento.

Os mecanismos principais de sincronização do modelo TFM são o *kanban* e o *junjo* (Coimbra 2013).

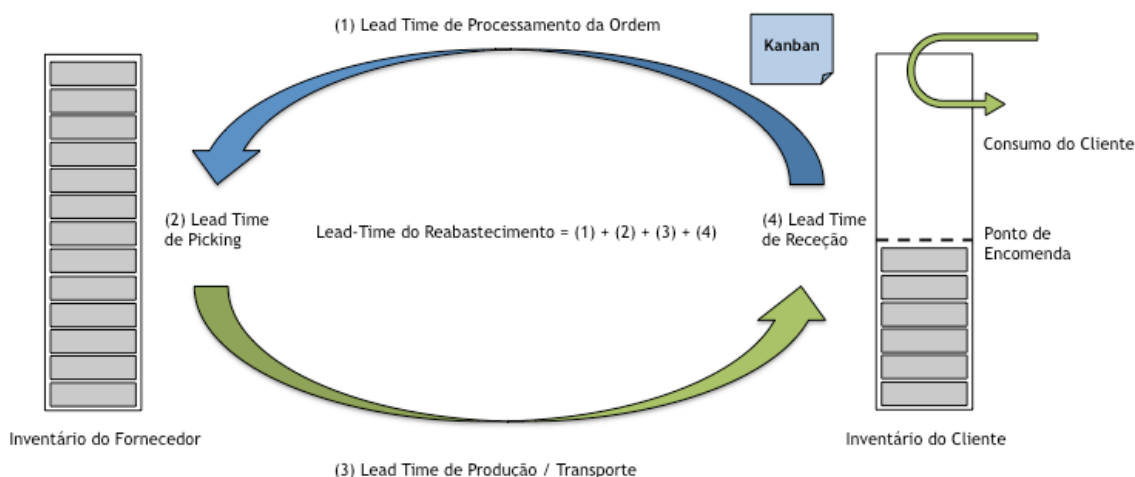


Figura 6 - Funcionamento do Mecanismo *Kanban* para o Reabastecimento *Pull*

O *kanban* ou “sinal” é uma ordem de reabastecimento *pull* com base no consumo, de forma a que o material ou produto esteja sempre disponível no ponto de uso. Este sinal pode materializar-se na forma de um cartão *kanban*, associado ou não a um recipiente, com a informação necessária para a reposição do material ou produto.

O *kanban* pode sinalizar o transporte de um material ou produto – *kanban* de transporte – ou sinalizar a necessidade de produção de um material ou produto – *kanban* de produção. O funcionamento básico está ilustrado na Figura 6.

O *junjo* é um mecanismo de reabastecimento de material ou produto na sequência em que estes são necessários no ponto de uso. É o único mecanismo possível quando existe uma grande variedade de unidades, ou são de grandes dimensões. Ao método *junjo* está associado o conceito de sequenciador – escala que define a sequência de operações de produção ou transporte. O abastecimento em *junjo* pode ser feito por unidade, ou por *kit* de unidades, contendo todos os componentes necessários a uma determinada operação no ponto de uso.

### Nivelamento

No TPS e na filosofia Toyota, *heijunka* é o nivelamento da produção, tanto em volume como um *mix* de produtos. Liker (2004) argumenta que uma sequência nivelada de produção é necessária uma vez que o padrão de compra ou consumo do cliente (interno ou externo) é imprevisível, e a resposta direta a esse padrão implicaria grandes flutuações na necessidade de recursos (i.e. pessoas e equipamentos), com consequente perda de eficiência.

Central para o conceito de *heijunka* é a produção em séries pequenas, possibilitada pelo aumento da flexibilidade das linhas de produção que a ferramenta SMED proporciona – quantos mais *setups* se fizer, maior é o nível de nivelamento. Uma sequência nivelada de produção permite também reduzir o impacto de flutuações na procura nos processos a montante da cadeia de valor – o efeito *bullwhip*.

Coimbra (2013) propõe um conjunto de etapas para a aplicação do conceito de nivelamento numa cadeia de valor:

- Escolher a linha *pacemaker* (i.e. a linha que irá receber as ordens de produção) – geralmente é a linha que define a capacidade da fábrica e o ritmo de produção, ou a que finaliza o produto;
- Converter ordens em cartões *kanban* (múltiplos de ordens);

- Construir e preencher a caixa logística – de acordo com a data planeada de início de produção; funciona como um *buffer* de ordens antes da caixa de nivelamento;
- Construir e preencher a caixa de nivelamento (diária) – de acordo com a capacidade da linha; cada espaço corresponde ao tempo de ciclo do *mizusumashi*;
- Preparar sequenciamento da linha – armazenar as ordens pela sequência de chegada à linha;

### **Planeamento Pull**

O último ponto do pilar de Logística Interna é o planeamento da produção em *pull*. Aqui, são tomadas as decisões de cariz tático-estratégico, nomeadamente:

- A estratégia de planeamento do produto final e de todos os materiais, componentes e peças – MTO ou MTS;
- A capacidade necessária nos processos de produção e logística;

### **2.2.4 Logística Externa**

No fluxo de Logística Externa, pretende-se estender os conceitos abordados à cadeia de valor global, incorporando os fornecedores e clientes na análise e no processo de melhoria. O objetivo é minimizar o inventário, aumentar o nível de serviço, eliminar o *muda* (e consequentemente aumentar a eficiência) do operador logístico e, no geral, minimizar o custo logístico total.

A criação de fluxo de logística externa implica:

- O desenho e *layout* de armazém, de forma a suportar o fluxo de material e reduzir *muda* de movimento e transporte;
- A criação de *milk runs*, aplicando os mesmos princípios do *mizusumashi* ao transporte externo de mercadorias;
- A criação de fluxo de receção *inbound*, ou seja, otimizar as operações de receção e armazenamento de materiais e componentes;
- A criação de fluxo de expedição *outbound*, otimizando as operações de expedição e controlo de informação para produto acabado;
- O planeamento *pull* logístico total.

### **2.2.5 Mapeamento e Desenho da Cadeia de Valor**

O Mapeamento da Cadeia de Valor (VSM) é uma ferramenta “de lápis e papel” que permite observar e compreender o fluxo de material e informação numa cadeia de valor, com o objetivo de identificar desperdício e melhorar o sistema atual, tendo sido popularizada por Rother e Shook (1999).

Ao contrário de outras ferramentas de mapeamento, o VSM permite a extensão para além das fronteiras da organização, capturando os seus fornecedores e clientes. Além disso, “mapeia não só o fluxo de material, como também o fluxo de informação que despoleta e controla a produção” (Braglia, Carmignani, e Zammori 2006)

Na metodologia enunciada por Rother e Shook (1999), o primeiro passo para a construção de um VSM é escolher um produto ou uma família de produtos. De seguida, mapeia-se a cadeia

de valor na sua situação atual. Finalmente, constrói-se a situação futura ou ideal para a cadeia de valor, e elabora-se um plano de implementação para a atingir.

### **Mapeamento da Situação Atual da Cadeia de Valor**

A construção de um VSM deve começar com a escolha de um produto ou família de produtos. George (2005) aconselha a optar por um produto com elevado volume e custo, ou uma família de produtos com passos semelhantes no fluxo de material e informação.

Rother e Shook (1999) sugere iniciar o mapeamento pelo processo mais a jusante – tipicamente a expedição -, e ir percorrendo o fluxo de material até ao início do processo produtivo. A representação dos elementos no VSM segue geralmente uma notação específica (cf. anexo A).

Cada processo no fluxo de material do produto ou família de produto escolhido é representado por uma caixa de processo, que tem associada uma caixa de dados. Informação típica a recolher sobre cada processo inclui o tempo de ciclo, tempo de mudança de ferramenta, disponibilidade do equipamento, tamanho da série, percentagem de sucata, entre outros (Rother e Shook 1999). Inventário entre os processos é assinalado com um triângulo, e representam-se os fluxos de material e informação com setas.

Uma métrica importante a retirar do VSM é a Eficiência de Ciclo do Processo (PCE). Somando os vários tempos calculados, é possível conhecer o Lead-Time total, desde a entrada de matérias-primas à expedição do produto final, sendo o PCE, calculado da expressão 2.1, uma medida de eficiência do processo.

$$\text{PCE} = \text{Tempo Valor Acrescentado} / \text{Lead-Time Total} \quad (2.1)$$

### **Desenho da Cadeia de Valor Futura / Ideal**

Analisando o mapa atual da cadeia de valor, o VSM da situação atual, é possível identificar áreas de melhoria sobre as quais atuar. Rother e Shook (1999) propõe o seguinte conjunto de questões para guiar o desenho da cadeia de valor futura:

1. Qual é o tempo de *takt*?
2. Será o produto acabado produzido para reabastecer um supermercado, ou para enviar diretamente ao cliente?
3. Onde se pode produzir em fluxo contínuo?
4. Onde é que será necessário o uso de sistemas *pull* para supermercado de forma a controlar a produção de processos a montante?
5. Que ponto único da cadeia de produção (o processo “*pacemaker*”) será utilizado para programar e sequenciar a produção?
6. Como será nivelado o *mix* de produtos no processo *pacemaker*?
7. Que incremento de trabalho será consistentemente libertado e retirado no processo *pacemaker* (o *pitch*)?
8. Que melhorias de processo serão necessárias?

Estas questões fazem a ligação entre os conceitos de fluxo de material e informação, já abordados, como os mecanismos de controlo *pull* (questões 1-4), os conceitos de *pitch* de produção e *heijunka* (questões 5-7), e também as várias metodologias de melhoria de processos e *kaizen* (questão 8).

## Limitações e Outras Abordagens

Apesar de ser uma ferramenta importante em qualquer processo de melhoria de alto-nível, e de simples utilização, existem algumas limitações que restringem a sua aplicabilidade, particularmente em processos produtivos complexos.

Em primeiro lugar, apenas um produto ou família de produtos pode ser mapeado numa abordagem VSM tradicional, o que coloca dificuldades quando existe uma grande variedade de produtos, ou um BOM complexo. Potenciando o impacto dessa limitação, a presença de fluxos de material não-lineares (e.g. convergência e divergência de fluxos, sequências alternativas para produtos iguais, etc.) torna o VSM tradicional pouco representativo, o que pode levar a conclusões inválidas e contraproducentes (Braglia, Carmignani, e Zammori 2006; Solding e Gullander 2009).

Para colmatar algumas destas limitações, Braglia, Carmignani, e Zammori (2006) introduzem um “procedimento de mapeamento da cadeia de valor melhorado” que, partindo de um caminho crítico (i.e., *lead time* maior) de operações, e com base em *clusters* de produto-máquina, estende iterativamente a análise a outros ramos do processo.

Também Hines e Rich (1997) introduz uma metodologia de mapeamento da cadeia de valor, suportada em sete ferramentas alternativas ao VSM tradicional. Partindo de um conjunto de dados qualitativos sobre a prevalência de alguns dos tipos de *muda*, assiste na escolha de ferramentas mais exaustivas para validar e avaliar o desperdício na cadeia de valor.

Outros autores destacam o uso de simulação como forma de parametrizar, validar e comunicar o desenho da cadeia de valor futura. Schmidtke, Heiser, e Hinrichsen (2014) utiliza DES para comprovar a viabilidade de um proposto estado futuro, e analisar o *trade-off* de todos os custos associados, para um caso de estudo de uma indústria de processo. Abdulmalek e Rajgopal (2007) aplica as questões de desenho do estado futuro e quantifica os resultados, também numa indústria de processo. Solding e Gullander (2009), e Detty e Yingling (2000) são outros exemplos da utilização de simulação com VSM.

## 2.3 Experiências e Simulação

Uma experiência permite testar hipóteses, e aferir ou inferir os resultados da aplicação de uma nova lógica, processo ou parâmetro num determinado sistema.

A experiência pode ser realizada diretamente no sistema real, ou num protótipo do sistema. Este protótipo – um modelo – assume um conjunto de pressupostos que se julgam representativos de um determinado aspeto ou comportamento do sistema real, e que se pretende estudar.

Existem dois tipos de modelos – físicos e matemáticos. Um modelo físico é uma representação em escala reduzida do sistema real, enquanto que um modelo matemático traduz os pressupostos inerentes em expressões matemáticas, de resolução analítica, ou em relações lógicas e simbólicas, de resolução numérica. É neste último que a simulação se enquadra (Bandyopadhyay e Bhattacharya 2014).

A aplicabilidade de simulação e modelos em geral estende-se por várias áreas do conhecimento, em contextos de aprendizagem e treino, resolução de problemas e desenho de soluções. São utilizados quando a experiência no sistema real é “impraticável ou proibitiva” (K. Preston White e Ingalls 2009).

Neste capítulo, pretende-se sintetizar alguns tópicos relacionados com simulação, numa perspetiva prática de aplicação ao caso em estudo. Não pretende ser, de forma alguma, exaustivo.

### 2.3.1 Conceitos e Metodologia

Banks (2005) define simulação como “a imitação do funcionamento de um processo ou sistema real ao longo do tempo”. Um sistema, conjunto de entidades e a relação que estabelecem entre si para atingir um objetivo comum, tem uma fronteira definida, e o seu estado pode ser alterado por fatores externos ou internos ao próprio sistema. Já um estado corresponde ao “conjunto de variáveis necessárias para descrever o sistema em qualquer ponto no tempo” (Banks 2005).

Os modelos de simulação, enquanto abstrações de um sistema real, podem ainda ser classificados como estáticos ou dinâmicos, determinísticos ou estocásticos, e discretos ou contínuos. Esta classificação dependerá da natureza do próprio sistema e da estratégia de implementação escolhida (cf. capítulo 2.3.2).

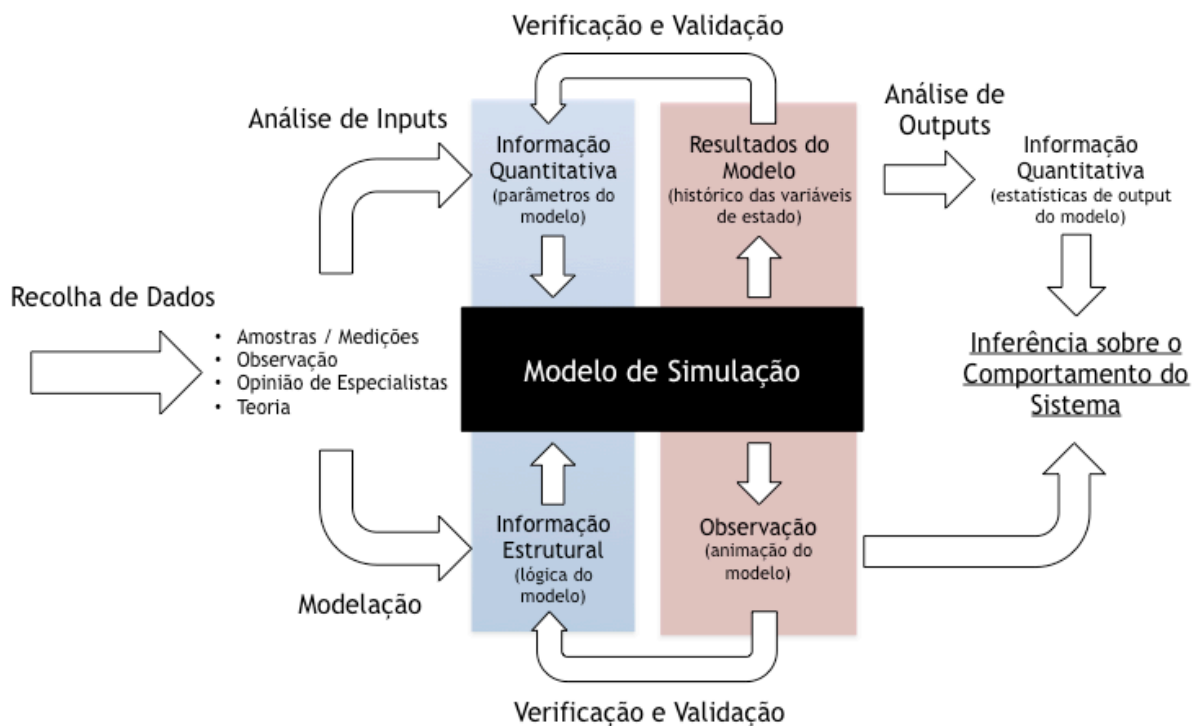


Figura 7 - *Framework* para a Modelação de um Sistema para Simulação

Diferentes abordagens à modelação de sistemas para simulação implicam modos de funcionamento e arquiteturas distintos. No entanto, o *framework* geral apresentado por K. Preston White e Ingalls (2009), e aqui adaptado na Figura 7, é comum à simulação em geral.

A metodologia recomendada por Banks (2005) para o desenvolvimento de um estudo de simulação sumariza-se pela sequência das seguintes fases:

1. Formulação do Problema e Objetivos – Definição do problema e das questões a que se pretende responder com a simulação;
2. Concetualização do Modelo – Definição das características e pressupostos base do modelo; requer uma abstração da realidade centrada nas características essenciais para a resolução do problema;
3. Recolha de Dados – Parametrização do modelo e fornecimento dos inputs necessários;
4. Tradução do Modelo – Escrita ou construção do modelo em linguagem de programação ou *software* especializado;

5. Verificação do Modelo – Análise preliminar à estrutura lógica do modelo computacional e à razoabilidade dos resultados;
6. Validação do Modelo – Comparação do comportamento e resultados do modelo face ao sistema real e respetiva calibração para corrigir eventuais desvios;
7. Desenho de Experiências – Determinação das alternativas a simular considerando os níveis ou estados assumidos pelas variáveis associadas;
8. Execução e Análise do Modelo – Corrida do simulador e estimação dos indicadores de desempenho para os modelos a simular;
9. Documentação e *Reporting* – Elaboração de documentos de suporte e utilização para potenciais utilizadores e futuras modificações.

### 2.3.2 Tipos de Simulação

Existem várias estratégias de implementação e arquiteturas para simulação. As três grandes categorias, pertinentes para a área de aplicação do caso em estudo, são: simulação de sistemas contínuos, simulação de eventos discretos e simulação baseada em agentes.

#### Simulação de Sistemas Contínuos

As abordagens comuns à simulação de sistemas contínuos, como a modelação de dinâmicas do sistema (SD), são utilizadas quando as variáveis do sistema são de natureza maioritariamente contínua (Bandyopadhyay e Bhattacharya 2014), ou seja variam continuamente ao longo do tempo. Na prática, nenhum sistema é puramente discreto ou contínuo – depende do nível da observação – e, em termos de modelação, é possível utilizar simulação discreta para modelar um sistema contínuo, e vice-versa (Banks 2005).

Em SD, o comportamento do sistema é modelado como um conjunto de relações de retroalimentação positiva ou negativa (“*feedback loops*”), abstraindo-se assim de eventos ou agentes específicos, para se concentrar em dependências estruturais. Assim, “um determinado estado do sistema gera informação sobre o sistema, que por sua vez leva a uma tomada de decisão” (Bandyopadhyay e Bhattacharya 2014).

Os componentes de um modelo SD são *stocks* (e.g. de materiais, pessoas, informação, dinheiro), fluxos entre esses stocks e regras que determinam o valor dos fluxos. Um exemplo de um modelo típico de SD é um sistema de reaprovisionamento de inventário.

A grande vantagem de um modelo de SD é a necessidade reduzida de dados de baixo-nível, sendo portanto a opção de escolha quando estes não existem ou não são relevantes para o objeto de estudo. No entanto, essa abstração pode limitar as conclusões a retirar ou a fiabilidade do modelo.

#### Simulação de Eventos Discretos

Numa simulação de eventos discretos (DES), o relógio de execução avança de evento para evento. Assim, as variáveis de estado são atualizadas apenas quando existe alguma alteração endógena ou exógena ao sistema (e.g. a chegada de uma nova encomenda, ou o fim de processamento de um material) (K. Preston White e Ingalls 2009).

Os componentes estruturais básicos são as entidades. Em DES, “os *inputs* são realizados pela chegada de entidades dinâmicas” (K. Preston White e Ingalls 2009), e é o fluxo destas entidades que vai causar alterações nas variáveis de estado do sistema. Uma entidade tem um conjunto de atributos que a caracterizam, e pode ser de qualquer natureza - um objetivo físico,

uma pessoa ou uma informação -, dependendo apenas da capacidade de abstração do modelador.

As entidades são controladas por atividades e eventos. As atividades são processos ou lógica no simulador, que emulam a espera das entidades em determinados pontos do fluxo, ou então definem o seu percurso. Um evento é gerado, por exemplo, quando uma entidade entra numa atividade do tipo *delay*, agendando a sua libertação para um determinado tempo no futuro.

Existem três outros componentes na modelação de DES: recursos, que representam uma restrição de capacidade, e são temporariamente apreendidos por entidades; calendário, que ordena a sequência de eventos a executar; coletores de estatísticas, que guardam informação sobre estatísticas, condições e variáveis globais.

### **Simulação Baseada em Agentes**

A simulação baseada em agentes (ABS) distingue-se das restantes arquiteturas por ser, essencialmente, descentralizada e centrada nas entidades individuais. O comportamento global do sistema resulta da interação e do conjunto de vários comportamentos individuais.

Agentes são “componentes independentes, autónomos, flexíveis e ativos, sendo capazes de interagir com o mundo físico e os vários restantes componentes de um sistema” (Bandyopadhyay e Bhattacharya 2014). Estes componentes têm a capacidade de tomar decisões independentes, e adquirem conhecimento, que direcionam no sentido de atingir um determinado objetivo.

ABS implica, assim, o desenvolvimento de regras específicas para entidades e para o ambiente do modelo, no âmbito das quais essas entidades executam ações (Allen 2011).

### **2.3.3 Software Disponível**

Banks (2005) divide o *software* utilizado para desenvolver modelos de simulação em três categorias: linguagens de programação de uso generalizado (e.g. C, C++, Java), linguagens de programação específicas para simulação (e.g. GPSS/H, SIMAN, SLAM), e ambientes de simulação, que disponibilizam uma interface gráfica para modelação.

A existência destes ambientes de simulação, por vezes bastante exaustivos em funcionalidade e intuitivos na construção da lógica do modelo, torna o processo de modelação simples e acessível. Distinguem-se pela capacidade de modelar segundo diversas arquiteturas – DES, SD, ABS ou um híbrido entre estes -, pela capacidade de construir animações em 2D e 3D, e outras características. (Banks 2005)

*ARENA*, baseado na linguagem *SIMAN*, é amplamente referenciado na literatura para modelação de sistemas contínuos e discretos (Allen 2011; Banks 2005). Outros pacotes como *ExtendSIM*, *SIMUL8* são aconselhados, principalmente para DES. No âmbito de arquiteturas de ABS são abordados o *NetLogo* e *AnyLogic*. (Bandyopadhyay e Bhattacharya 2014)

### **2.3.4 Desenho de Experiências e Seleção de Alternativas**

Após o desenvolvimento de um simulador que emule o comportamento do sistema real, apenas se tem um modelo que “prevê *outputs* ou respostas para dadas combinações de *inputs* ou parâmetros” (Allen 2011).

Neste breve subcapítulo introduzimos um método comum para a seleção de múltiplos sistemas baseada na desigualdade de *Bonferroni* e outro método para o Desenho de Experiências.

### A Correção de *Bonferroni* e Intervalos Simultâneos

O método resulta da aplicação da Desigualdade de *Bonferroni* na determinação do nível de significância a aplicar aos IC individuais (i.e. de cada sistema alternativo) para garantir que o nível de significância global – que pode ser usado para comparar estatisticamente os resultados através de testes de hipótese ou comparação de IC – não excede o valor pretendido (Allen 2011).

Aplicando a Desigualdade de *Bonferroni* ao nível de significância, obtém-se a Eq. 2.2. A equação traduz o facto de a probabilidade de ambas as médias estarem dentro do seu IC ser igual ou superior à probabilidade de não se cometer um erro do tipo I em nenhuma delas.

$$P(\text{Ambas as médias estarem no seu IC}) \geq 1 - \alpha_1 - \alpha_2 \quad (2.2)$$

Onde:

$\alpha_1$ , é o nível de significância associado ao sistema 1  
 $\alpha_2$ , é o nível de significância associado ao sistema 2

Assim, generalizando a Eq. 2.2 e o conceito apresentado para o caso de q sistemas alternativos, deduz-se a Eq. 2.3.

$$P [ (\mu_1 \in I_1) \cap (\mu_2 \in I_2) \cap \dots \cap (\mu_q \in I_q) ] \geq 1 - \sum \alpha_i, \text{ para } i = 1, \dots, q \quad (2.3)$$

Onde:

$\mu_i$ , é valor médio real do sistema  
 $I_i$ , é o intervalo associado ao nível de confiança 100% (1- $\alpha_i$ )

De forma a calcular o nível de significância individual, para um nível global  $\alpha$  pretendido, e de acordo com este método, divide-se simplesmente pelo número de sistemas – Eq. 2.4 -, o que garante a desigualdade da Eq. 2.3.

$$\alpha_i = \alpha / q, \text{ para } i = 1, \dots, q \quad (2.4)$$

Este método é simples e pode ser aplicado em virtualmente todos os casos; no entanto, por se basear numa desigualdade, pode produzir resultados bastante conservadores (i.e. níveis de significância muito exigentes), particularmente quando o número de sistemas alternativos é elevado. Alternativas à Correção de *Bonferroni* para a comparação de médias múltiplas incluem as teorias de *Tukey* e de *Scheffé* (Allen 2011).

### Desenho de Experiências

Já anteriormente se referiu que o propósito de um modelo de simulação (ou de um modelo em geral) é inferir ou aferir o comportamento de um sistema real ou conjecturado, tendo por base um conjunto de pressupostos e de *inputs*. Assim, enquanto modelo essencialmente experimental, é possível aplicar métodos associados a desenho de experiências para estudar quais os fatores com o maior impacto para um determinado comportamento desejado, e quais os parâmetros ótimos para obter esse comportamento.

Através de experiências fatoriais, em cada replicação do sistema investigam-se todas as combinações dos níveis dos fatores em estudo. O método mais comum de desenho fatorial completo é o *2-level factorial design*, em que para cada fator se consideram dois níveis: alto e baixo. O número de experiências a realizar é  $2^k$ , sendo k o número de fatores em estudo (Montgomery 2009).

No entanto, para um elevado número de fatores, o número de experiências necessárias aumenta consideravelmente. Se, no entanto, for possível assumir que algumas interações entre fatores de ordem elevada são desprezáveis, então é possível escolher apenas alguns subconjuntos de todas as experiências, utilizando para tal o método de *2-level fractional factorial design*, no qual:

$$\text{Número de Experiências} = 2_R^{k-p} \quad (2.5)$$

Onde:

2 é o número de níveis para cada fator  
k é o número de fatores a investigar  
p corresponde ao tamanho da fração  
R é a resolução da ordem de interações

### 3 Caracterização do Processo/Produto

A compreensão aprofundada do produto, do processo produtivo e das atividades que o suportam, nas suas vertentes técnica, organizacional e operacional, é o primeiro passo para qualquer iniciativa de melhoria.

A unidade de Litografia da Empresa em estudo transforma a matéria-prima principal, a folha de flandres, em corpos das embalagens ou componentes, que têm como destino os processos de estampagem e montagem, até atingirem o estado de produto final – uma embalagem para aerossol, produto alimentar (e.g. salsichas, azeites, bolachas) ou produto industrial (e.g. tintas), personalizado com a imagem e com o tratamento desejado pelo cliente.

No capítulo 3.1, apresenta-se o produto da Litografia e as suas características; no capítulo 3.2, explica-se o processo e fluxo produtivo, no contexto das várias famílias de produtos; no capítulo 3.3, descrevem-se os processos de preparação de trabalhos na Pré-Impressão; no capítulo 3.4, introduz-se o fluxo de informação e os processos das áreas de Planeamento e Programação.

#### 3.1 Produto

A folha de flandres, a partir da qual é feita a embalagem metálica, é um laminado de aço revestido com estanho em ambas as faces. O aço é de baixo teor de carbono, o que lhe confere a ductilidade necessária ao processo de estampagem, e a estanhagem protege contra a corrosão e a ferrugem (Gava 1978). Durante o processo de Litografia, este material mantém o formato de folha, sendo progressivamente personalizada segundo as operações de preparação e impressão determinadas pela ordem.

Os produtos da Litografia dividem-se em dois grupos: corpos (BD) e componentes (LI). Os corpos podem corresponder a embalagens de aerossóis (BD-AE), cilíndricas (BD-CY), tronco-cónicas (BD-TC), rectangulares (BD-RC), tulipa (BD-TL), e hexagonais (BD-HE). Já os componentes estão segmentados em fundos (LI-BT), cúpulas (LI-TP), tampos (LI-LD) e argolas (LI-RG). Na Figura 8 é apresentado um conjunto de embalagens metálicas das diversas famílias de produto.



Figura 8 - Exemplo de Embalagens Metálicas, Corpos de Embalagens e Componentes

A Figura 9 quantifica a produção da Litografia por cada uma das famílias de produto apresentadas.

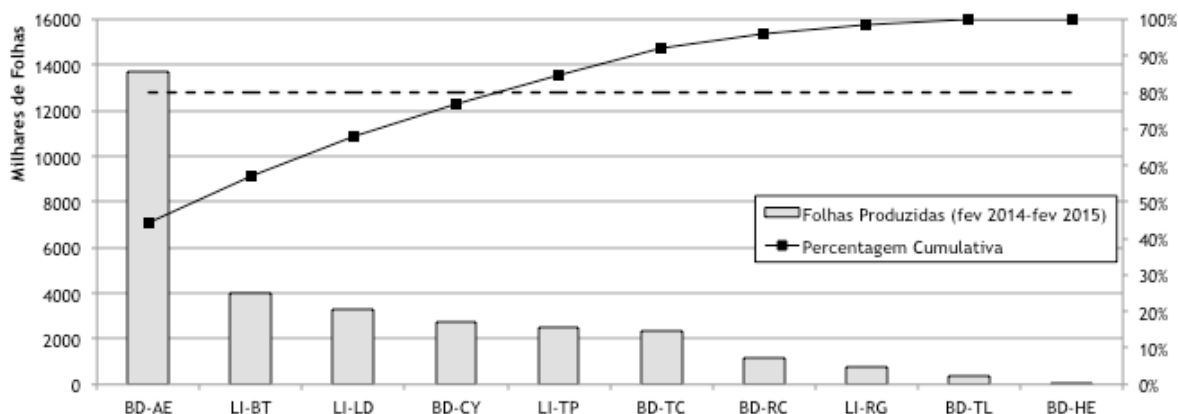


Figura 9 - Número de folhas produzidas na Litografia por categoria de Produto

Observa-se que a grande maioria de folhas produzidas se destinam a corpos de aerossóis, tendo as restantes categorias expressão particularmente reduzida. O rácio de produto-quantidade aproxima-se de 70:35, longe do empírico 80:20, o que significa que, a existirem diferenças significativas nos processos produtivos das várias categorias, será necessário expandir a análise a outros corpos e componentes.

### 3.2 Processo Produtivo

O processo de fabrico de embalagens metálicas em folha de flandres engloba um conjunto de operações, que transformam a principal matéria-prima em produto acabado, conforme as especificações do cliente. O fluxo de produção de uma embalagem metálica está sintetizado na Figura 10.

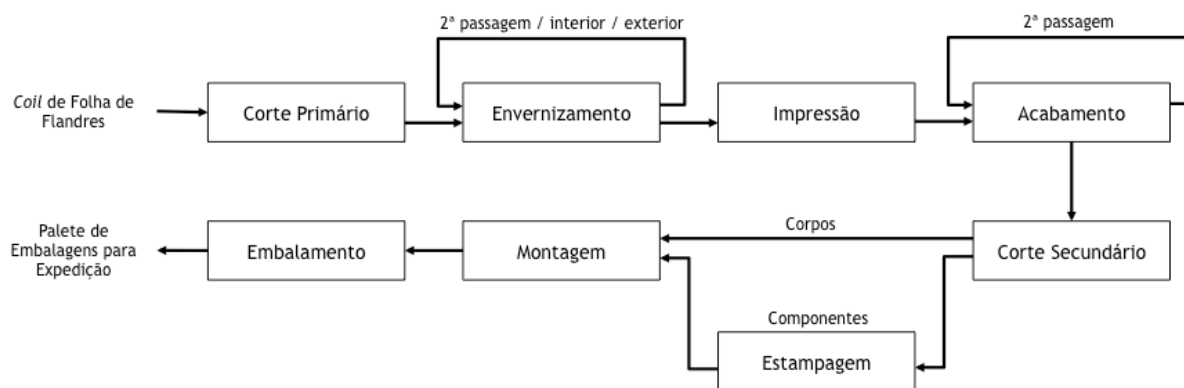


Figura 10 - Fluxo de produção de uma Embalagem Metálica

A principal matéria-prima, a folha de flandres, chega por via marítima e terrestre em forma de bobines ou *coils*. A primeira operação é o corte primário, onde se desenrola a bobine e se corta a folha no formato pretendido, formando um balote, que representa a unidade de transporte na Litografia. De seguida, é aplicada uma camada de esmalte ou verniz no lado interior ou exterior da folha, segundo um esquema de envernizamento, para preparar a folha para a impressão. A operação seguinte é a impressão de cor, onde camadas de cor são sobrepostas para obter a imagem específica para o trabalho. As folhas litografadas são depois finalizadas através da aplicação de um verniz de acabamento. A segunda operação de corte – corte secundário – separa os vários corpos e componentes da folha, e termina o processo de Litografia.

Posteriormente, os componentes seguem para a operação de estampagem, onde são puncionados em cúpulas, fundos e tampos. As operações finais do processo produtivo são dados nas linhas montagem, onde os corpos são enrolados e soldados, e os componentes cravados ou grafados, para formar uma embalagem metálica. Existe ainda uma operação de inspeção e teste de fugas, para garantir o cumprimento das especificações.

Neste subcapítulo, é dado destaque às operações da Litografia, âmbito do caso em estudo, que são exploradas em maior detalhe.

### 3.2.1 Corte Primário

O processo de Corte Primário transforma a bobine de folha de flandres em folha cortada na dimensão necessária, através da queda de um cortante (i.e. a ferramenta de corte). A bobine é colocada no alimentador da máquina de corte, e a folha é desfibrada, cortada, empilhada e embalada em balotes de folha. A velocidade da linha controla o comprimento que a folha adquire.

Existem dois tipos de corte: o corte em folha reto, e o corte em formato *scroll*. O primeiro é tipicamente utilizado quando o destino da folha é a produção de corpos, devido à forma rectangular, sendo que o último potencia uma melhor utilização do material na produção de componentes (fundos, cúpulas e tampos). Diversos tipos de cortante são utilizados para obter o formato desejado.

### 3.2.2 Envernizamento

Esta operação é por norma a primeira etapa na preparação de folha para impressão, e a última antes do corte secundário. O principal consumível nestas linhas é o verniz, esmalte ou primário, que é abastecido em bidões.

Na preparação da impressão, cada folha pode levar uma ou duas demãos de primário (e.g. branco esmalte), ou alternativamente, uma ou duas camadas de verniz na face exterior da folha. Adicionalmente, podem ser dadas camadas de verniz na face interior (e.g. verniz ouro e pigmentados), dependendo das características do conteúdo a que a embalagem se destina.

Na finalização da folha, já depois da impressão, podem ser novamente dadas uma ou duas passagens de verniz de acabamento. Geralmente, estas camadas são aplicadas juntamente (i.e. na mesma passagem) com as últimas cores, num método designado “*wet on wet*”, em que a unidade de envernizamento está acoplada à unidade de impressão.

O sistema de aplicação de verniz ou esmalte de uma unidade de envernizamento consiste num conjunto de caleiras e rolos, onde o produto é armazenado e distribuído até ao depósito de uma película de determinada espessura na folha, segundo um esquema de envernizamento.

A área de Litografia em estudo tem três linhas com unidades de envernizamento (linhas L2, L4 e L6) e duas linhas com unidades de envernizamento e impressão, ou seja “*wet on wet*” (linhas L3 e L5). A aplicação dos vernizes utilizados atualmente obriga a uma secagem de alta temperatura, controlada em fornos ou estufas convencionais, acoplados às linhas. A velocidade de secagem no forno é, na maior parte dos casos, o fator limitativo para a cadência do envernizamento. No caso da linha L5, a secagem da tinta é feita através de lâmpadas de ultravioleta, como nas restantes linhas de impressão.

### 3.2.3 Impressão

A impressão é a operação na qual o trabalho gráfico é depositado na folha, através da sobreposição de várias camadas de cor. Cada trabalho de impressão na Litografia é identificado pela “Ordem de Produção de Fitolito” (OPF) única, que o caracteriza em termos de cor, padrão, e imagem.

O número de passagens de folha nas linhas de impressão depende de três fatores essenciais: o número de cores do trabalho, a configuração do trabalho, e a afetação dos trabalhos às linhas. Um mesmo trabalho pode ser dado em linhas diferentes, e com um número de passagens diferente, consoante o critério do programador e do volume de trabalhos em carga.

O princípio de impressão utilizado na Empresa em estudo é a impressão *offset*. Neste método de Litografia, a tinta colocada no tinteiro da máquina é distribuída ao longo de uma bateria de rolos, como nas envernizadoras, até ao cilindro da matriz ou transporte – uma chapa de alumínio com a gravura do trabalho para essa unidade de impressão. A aplicação em simultâneo de uma solução aquosa através de um sistema de molha, provoca na matriz um efeito de repulsão entre essa solução e a tinta, o que garante a presença de tinta apenas nas zonas gravadas da matriz. A gravura é depois impressa no cilindro cauchu, de borracha, que transmite o desenho à folha, que circula entre este cilindro e o cilindro impressor, o qual exerce pressão sobre esta e o cauchu.

A área de Litografia em estudo possui três linhas exclusivas para impressão (linhas L11, L13 e L15). A linha L11 tem quatro unidades de impressão (i.e. pode dar quatro camadas de cor numa mesma passagem), a linha L13 tem duas unidades, e a linha L15 tem sete. Nestas linhas, e ao contrário do que sucede nas envernizadoras, a secagem é feita por via de lâmpadas de ultravioleta (UV), o que torna o processo mais rápido.

### 3.2.4 Corte Secundário

O corte secundário é a última operação de corte da folha, separando os corpos e componentes no formato necessário para a montagem e estampagem, respetivamente. O corte é feito pela

queda de um cortante sobre dois eixos perpendiculares, e o número de fiadas é ajustado consoante o trabalho. As folhas cortadas caem em separadores, e são manualmente retiradas e acondicionadas para armazém.

O corte secundário está dividido em três áreas de corte, com linhas dedicadas consoante a família de produtos: baldes e componentes (linhas 5 e 6), folha *scroll* (linhas 8, 9, 11 e 13), e corpos para aerossóis e outras embalagens (linhas 7, 15, 16 e 17).

### 3.3 Processos de Preparação dos Trabalhos

A principal área de suporte à Litografia é a Pré-Impressão, que engloba todos os processos necessários à preparação dos trabalhos para impressão. Os dois principais fluxos de trabalho na Pré-Impressão são a aprovação de elementos com o cliente e a preparação dos elementos para a produção.

Na aprovação de elementos, geralmente para novos trabalhos, é criada e validada uma nova OPF, que é colocada na carga de Pré-Impressão (i.e. a aguardar preparação). Assim que houver disponibilidade de um operador, a imagem do trabalho é tratada num *software* especializado e é feita uma afinação de tintas que permita atingir o padrão de cor desejado. De seguida, é preparada uma prova de cor, que é enviada para o cliente para aprovação. Se a resposta for positiva, é finalizado o tratamento de imagem, e são preparadas uma carta de máximos e mínimos para cada cor e uma carta de prova para guiar a produção na reprodução do trabalho.

Concluída a aprovação de elementos, o trabalho está pronto para produção. Em cada ordem do cliente para produzir determinada OPF, é necessário preparar e abastecer na linha um conjunto de elementos: a matriz de transporte, as tintas para impressão e as cartas de produção.

As chapas dos transportes, utilizadas no processo de impressão *offset*, são gravadas com um feixe de laser controlado por computador – um processo chamado *Computer-to-Plate* (CTP) - a partir de um arquivo digital. Existem três formatos de chapa, consoante as especificações das linhas de produção – um para a linha L5, outro para as linhas L11 e L13, e o restante para a linha L15.

As tintas para impressão compostas são preparadas no Laboratório de Tintas, onde é feita a mistura pesada de várias tintas base de acordo com a formulação aprovada pelo cliente. Este processo de mistura permite obter uma extensa paleta de cores. As tintas base correspondem aos pigmentos primários dos sistemas de cor utilizados (neste caso, o CMYK – ciano, magenta, amarelo e preto), a vários tipos de branco, e outras cores específicas que são encomendadas diretamente do fornecedor. Uma determinada cor pode ser obtida através da cor composta respetiva, denominando-se assim “cor direta”, ou alternativamente pela sobreposição de cores primárias em rede, num processo designado multicromia.

### 3.4 Processos de Gestão e Controlo de Produção

O processo e fluxo de material na Litografia é controlado por um fluxo de informação centralizado nas áreas de Serviço ao Cliente (“*Customer Service*”), Planeamento e Programação da Produção, com suporte num sistema ERP/MRP da Empresa alemã SAP.

A estratégia de resposta a encomendas de clientes na Empresa em estudo é um misto entre *Make-to-Order* (MTO) e *Assembly-to-Order* (ATO). Para o caso dos aerossóis, por exemplo, 70% das ordens são respondidas em regime MTO, sendo os restantes 30% em MTS (até ao final da Litografia) e ATO (*call-off* para montagem e expedição).

A área de Serviço ao Cliente recebe mensalmente planos de previsão dos clientes que, posteriormente e à medida que estes vão confirmando as quantidades, são convertidos em ordens de produção planeadas. Adicionalmente, recebe, regista e envia para o Planeamento as encomendas MTO diárias, bem como pedidos de *rush orders* (i.e. de elevada prioridade).

O Planeamento é responsável por converter as ordens planeadas em ordens de produção, tendo em conta a carga total e a capacidade estimada para as linhas. As ordens são criadas e agrupadas em planos semanais, para visibilidade da Programação, e ajustadas diariamente.

A Programação divide-se organizacionalmente nas várias áreas da Produção. Para a Litografia, o programador recebe o plano de ordens abertas à quarta-feira (envernizamento e impressão) e à quinta-feira (corte primário), acrescenta a quantidade para as quebras previstas e libera as ordens. Diariamente, constrói de forma manual o sequenciamento das ordens de corte para o corte primário, e de seguida a alocação e sequenciamento das ordens de envernizamento e Litografia. Adicionalmente, envia os pedidos de matriz e preparação de tintas para a Pré-Impressão, com base nas ordens que prevê serem dadas nos dias seguintes. Para o caso do corte secundário, tipicamente a última operação a executar na Litografia, é enviada para as linhas uma listagem de necessidades de corte, onde figuram os materiais que vão ser necessários nos processos de estampagem e montagem.

## 4 Identificação e Caracterização de Problemas

A caracterização do processo e do produto constitui a base para a identificação de algumas áreas de condicionamento do fluxo de material e informação. No entanto, é necessário compreender melhor a natureza destes problemas, as suas causas, e o impacto que têm nas variáveis críticas para a Empresa.

A abordagem proposta para a identificação e caracterização de problemas ou oportunidades de melhoria na cadeia de valor consiste em: construir o mapa atual da cadeia de valor, desenhando os processos-chave, os fluxos de material e os fluxos de informação (capítulo 4.1); analisar cada fluxo, com base num conjunto de ferramentas, identificando as causas dos problemas e possíveis oportunidades de melhoria (capítulos 4.2 e 4.3).

### 4.1 Estado Atual da Cadeia de Valor

A seguinte metodologia foi adotada para o estudo de alto-nível do Estado Atual da Cadeia de Valor:

1. Análise da sequência e roteamento produtivo por produto e flexibilidade das linhas de produção;
2. Construção do Mapa Atual da Cadeia de Valor (VSM) e análise do *lead time* da Litografia;
3. Estudo e recolha de indicadores qualitativos de *muda* (VALSAT).

#### Produto-Operação e Linha-Operação

Aplicando a metodologia de Rother e Shook (1999), o mapeamento deve incidir sobre uma ou mais famílias de produto com processos de produção semelhantes. No entanto, pelos fatores já apresentados, o fluxo produtivo na Litografia não é linear, e pode variar consoante as opções do Programador.

Pretende-se encontrar um conjunto representativo de sequências de operação possíveis na Litografia, e caracterizar a cadeia de valor associada a essas sequências. Para o efeito, recolhe-se uma listagem histórica de operações executadas, da respetiva ordenação e da linha de trabalho. Na Tabela 1 resume-se os dados recolhidos, onde, para cada família de produtos, se contabiliza o rácio entre o número total de passagens de folha em cada tipo de operação e o número de folhas total para a família de produtos.

Tabela 1 - Número Médio de Passagens de Folha em cada Operação, para as Categoria de Produtos que correspondem a 80% da produção da Litografia

	Verniz Interior	Verniz Exterior	Impressão de Cor	Impressão + Verniz Acab.	Verniz Acabamento	Corte Secundário
<b>BD-AE</b>	0,52	0,96	1,39	0,26	0,76	0,79
<b>LI-BT</b>	0,60	0,45	0,00	0,00	0,27	0,97
<b>LI-LD</b>	0,40	0,73	0,48	0,01	0,78	0,78
<b>BD-CY</b>	0,40	0,81	0,94	0,02	0,86	0,96
<b>LI-TP</b>	0,48	0,69	0,06	0,00	0,62	1,00

Em geral, as operações variam consideravelmente dentro de uma determinada família, exceptuando algumas características comuns. Um rácio superior à unidade indica, em média, mais de uma passagem de folha pela operação.

Na Tabela 2 caracteriza-se a flexibilidade das linhas de envernizamento. O valor apresentado corresponde à percentagem de folhas dadas numa linha para uma determinada operação. As células com sombreado azul indicam aptidão técnica.

Tabela 2 - Matriz de Flexibilidade das Linhas Envernizadoras

	Verniz Interior	Verniz Exterior	Impressão de Cor	Impressão + Verniz Acab.	Verniz Acabamento
<b>Linha L2</b>	0 %	100 %	0 %	0 %	0 %
<b>Linha L3</b>	0 %	4 %	0 %	0 %	96 %
<b>Linha L4</b>	69 %	31 %	0 %	0 %	0 %
<b>Linha L5</b>	0 %	0 %	56 %	43 %	1 %
<b>Linha L6</b>	0 %	48 %	0 %	0 %	52 %

Apesar de as linhas envernizadoras serem tecnicamente capazes para a aplicação de todo o tipo de vernizes e esmaltes, na prática tal não sucede. Verifica-se que existe uma dedicação parcial do equipamento, com a linha L2 praticamente exclusiva para esmalte branco (um tipo de preparação exterior da folha, prévia à impressão), as linhas L3 e L5 para o acabamento ou impressão de uma ou duas camadas de cor finais, e a linha L4 para os vernizes interiores, como o verniz ouro e o pigmentado.

A caracterização dos produtos e do equipamento pelas operações permite assim circunscrever a análise da cadeia de valor à sequência crítica de operações. Assim, torna-se imperativo conhecer, antes de avançar com o processo de mapeamento, os roteiros mais frequentes para cada categoria de produto, bem como identificar sequências particulares que possam impor desafios ao fluxo produtivo. Na Tabela 3, apresenta-se uma listagem dos seis roteiros mais frequentes, bem com a categoria dos produtos desse roteiro.

Tabela 3 - Lista dos Seis Roteiros de Produção mais Frequentes

	F. Prep.	1ª Op.	2ª Op.	3ª Op.	4ª Op.	5ª Op.	6ª Op.
<b>(1) BD-AE</b>	Sim	E. Branco	Impressão	V. Acabamento	Corte S.	-	-
<b>(2) LI-TP</b>	Não	V. Acabamento	Corte S.	-	-	-	-
<b>(3) BD-AE</b>	Não	V. Ouro	Verniz Ouro	Esmalte Branco	Impressão	V. Acabamento	Corte S.
<b>(4) BD-AE</b>	Não	E. Branco	Impressão	Imp. + V.A.	Imp. + V.A.	-	-
<b>(5) LI-BT</b>	Não	V. Incolor	Corte S.	-	-	-	-
<b>(6) LI-TP</b>	Não	V. Ouro	V. Incolor	Corte S.			

### Mapa do Estado Atual da Cadeia de Valor

Para processos produtivos complexos, a abordagem tradicional para a construção de um VSM é de aplicabilidade limitada (cf. capítulo 2.2.5). No caso da Litografia da Empresa em estudo, a grande variedade de produtos com operações diferentes, e a polivalência do equipamento, torna o mapeamento estável de um conjunto representativo de produtos praticamente inexecutável.

O método sugerido para contornar estas limitações é o desenvolvimento de um VSM dinâmico, em folha de cálculo, que permita selecionar um conjunto de características do processo produtivo – como as operações a executar, o número de passagens, a linha do trabalho, e o tipo de folha - e atualizar a informação apresentada com base nesses parâmetros.

O objetivo é identificar, para vários roteiros, os pontos da cadeia de valor que condicionam o fluxo, como por exemplo uma linha com eficiência baixa, ou um elevado nível de inventário entre operações. A grande vantagem desta abordagem passa pela possibilidade de simular um conjunto alargado de cenários, e, de forma *user-friendly* e visual, detetar as configurações críticas para o fluxo na Litografia. Adicionalmente, permite a importação de dados de *input*, o que viabiliza a utilização desta folha de cálculo para a realização de avaliações periódicas aos indicadores de desempenho, para monitorar projetos de melhoria em execução.

Um *print* da ferramenta desenvolvida é apresentada na Figura 11, para um roteiro frequente no fabrico de corpos para aerossóis.

Para modelar o VSM dinâmico, fez-se um levantamento dos principais dados caracterizadores dos processos, quer no terreno – tempo de ciclo e tempos de *setup* – quer com base em dados históricos – *uptime* do equipamento, tempo disponível e tamanho da série. A cobertura de inventário entre as operações de corte e preparação de folha, bem como para os armazéns de matéria-prima e consumíveis, foi calculada com base na Lei de *Little* (Eq. 3.1), para os níveis recolhidos de inventário e do consumo médio, e para as várias referências de folha. No caso das operações entre linhas envernizadoras e impressoras, o tempo de fluxo foi recolhido diretamente.

$$\text{Inventário} = \text{Taxa de Produção} \times \text{Tempo de Fluxo} \quad (3.1)$$

Nos próximos subcapítulos, analisamos os dados recolhidos e calculados com base no VSM dinâmico, no âmbito da identificação de problemas e oportunidades de melhoria para o fluxo de material e informação.



### Value Stream Analysis Tool (VALSAT)

De forma a complementar a análise do *Value Stream Mapping* tradicional, opta-se por incluir as ferramentas propostas em Hines e Rich (1997), que no seu conjunto formam a *Value Stream Analysis Tool* (VALSAT). O VALSAT não é mais do que uma abordagem que permite escolher, para um conjunto de desperdícios considerados prevalentes ou de grande impacto, as ferramentas adequadas à sua identificação e à análise de possíveis causas.

Para o efeito, conduziu-se um inquérito a vários intervenientes do processo industrial e dos processos de preparação de trabalhos (i.e. operadores de linha, técnicos de preparação de trabalhos, operadores logísticos, entre outros). Estes inquéritos decorreram em formato de entrevista individual. Em primeiro lugar, explicou-se ao entrevistado o significado de cada um dos sete tipos de *muda*, no contexto da unidade industrial em estudo. De seguida, pediu-se para avaliar, em escala numérica, cada um dos tipos de desperdício, no sentido de assinalar os mais significativos. Apresenta-se, no Anexo B, uma cópia do formulário utilizado para registar as respostas, bem como as regras de preenchimento. Os resultados estão resumidos na Figura 12.

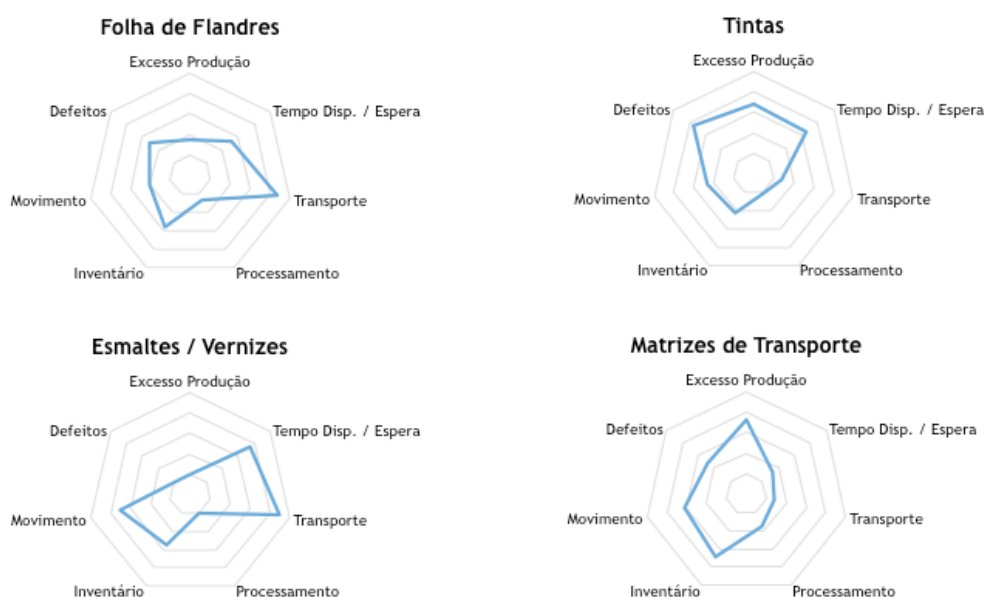


Figura 12 - Resultados de Inquérito sobre Prevalência de *Muda* nos Fluxos

Os dados recolhidos apontam para a prevalência, face aos restantes, de desperdícios de transporte nos fluxos de folha de flandres e de esmaltes / vernizes, e de excesso de produção, inventário e defeitos nos fluxos de Preparação de Trabalhos.

As ferramentas complementares ao VSM que melhor se correlacionam com o perfil de respostas obtido são: *Process Activity Mapping* (PAM), *Supply Chain Response Matrix* (SCRM) e o *Demand Amplification Mapping* (DAM). Nos próximos capítulos, procede-se à explicação e aplicação das ferramentas, e a uma análise detalhada dos tipos de *muda* identificados, para os dois principais fluxos – folha de flandres e preparação de trabalhos.

## 4.2 Fluxo da Folha de Flandres

O fluxo da Folha de Flandres tem início no pedido de matéria-prima, em forma de bobines de folha de flandres, e termina, para o caso em estudo, após o corte final em corpos de embalagens ou componentes. A folha de flandres corresponde a 80% do custo de matéria-

prima, representando por isso uma grande percentagem do capital investido em inventário ao longo da cadeia.

As variáveis críticas para a Empresa e para o fluxo da Litografia, i.e. o resultado que se pretende dos processos e da sua configuração, correspondem ao *lead time* ou agilidade da cadeia de valor, e o *throughput* ou a capacidade produtiva.

#### Variável Crítica: *Lead Time* da Cadeia de Valor

Em indústrias em que o nível de personalização é elevado, a rapidez ou agilidade de resposta a pedidos de clientes torna-se numa importante vantagem competitiva. Devido à elevada variedade de produtos, a resposta com base em produto acabado não é viável, o que exige que a capacidade de resposta seja uma característica da própria cadeia de valor.

O *lead time* de produção é um dos indicadores possíveis para medir a agilidade da cadeia produtiva. Torna-se relevante conhecer onde estão localizados, e como são utilizados, os maiores intervalos de tempo, com vista à sua redução ou eliminação. Na Figura 13 ilustra-se a distribuição do tempo entre operações na Litografia, sendo que VI corresponde a “Verniz Interior”, VE a “Verniz Exterior”, IMP a “Impressão”, V.ACAB a “Verniz de Acabamento” e CS a “Corte Secundário”. Destaca-se a quantidade de dias de WIP em folha cortada, e em bobines de matéria-prima.

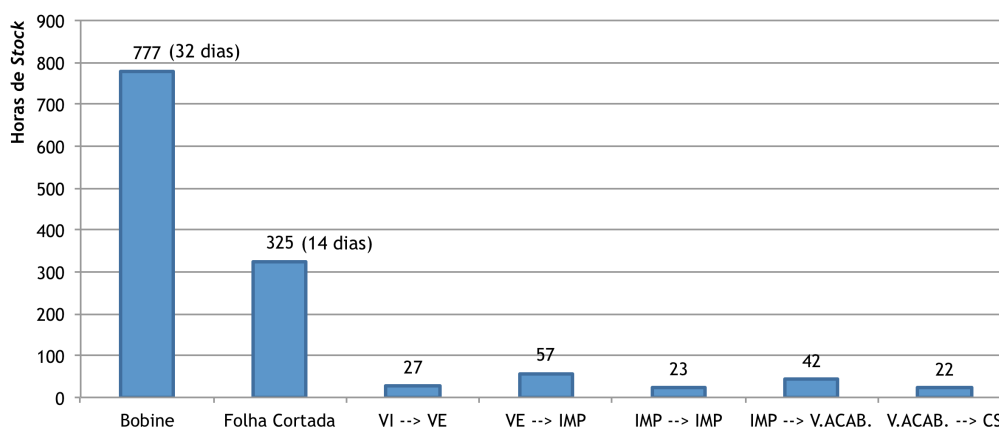


Figura 13 - Intervalo de Tempo entre Operações na Litografia

#### Variável Crítica: *Throughput* ou Capacidade de Produção

O *throughput* de uma cadeia de valor, ou unidade produtiva, corresponde à sua capacidade de produção. Esta é uma variável crítica porque, atualmente, é a capacidade de produção do equipamento que define a quantidade de folha e embalagens a produzir. O conjunto envernizamento e impressão corresponde ao *bottleneck* da unidade industrial.

### 4.3 Fluxo de Preparação de Trabalhos

Como referido anteriormente, a Preparação de Trabalhos engloba todas as atividades que se destinam a produzir e a abastecer os componentes e consumíveis necessários à Produção e ao fluxo da folha de flandres.

O primeiro passo para o estudo dos fluxos de Preparação é a escolha dos componentes a analisar. Optou-se por focar em três componentes da Litografia: (1) tintas, (2) matrizes de transporte e (3) cartas padrão e de máximos e mínimos. A grande maioria destes componentes requer processos de preparação prévios e são específicos para a OPF, o que implica maior

complexidade e, por esse motivo, foram representados no VSM como “ramo” crítico do fluxo da folha de flandres.

A Preparação dos Trabalhos é determinante, uma vez que impacta duas variáveis críticas de *output* da Litografia: a eficiência das linhas de Produção, e a agilidade e capacidade de resposta.

#### **Variável Crítica: Eficiência das Linhas de Produção**

No contexto da Preparação de Trabalhos, a eficiência das Linhas de Produção depende da disponibilidade, com qualidade e no bordo de linha, de todos os componentes e consumíveis necessários e indispensáveis ao processo produtivo. Num cenário ideal, as Linhas nunca parariam por falta de consumíveis e materiais, e a movimentação dos Operadores de linha seria otimizada de forma a aumentar a sua eficiência.

Esta variável pode ser parcialmente quantificada pela métrica *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Na Tabela 4 apresenta-se, para o ano de 2014, o OEE das várias linhas da Litografia e as paragens registadas que são imputáveis a falhas no fluxo de componentes.

Tabela 4 - Indicador OEE e Paragens devido a Falhas no Fluxo em 2014, por Linha de Impressão

	<b>Linha L5</b>	<b>Linha L11</b>	<b>Linha L13</b>	<b>Linha L15</b>
<b>OEE</b>	38,52 %	24,45 %	19,51 %	17,26 %
<b>Paragens – Tintas</b>	540	165	720	900
<b>Paragens - Matrizes</b>	300	700	615	570
<b>Paragens - Cartas</b>	105	205	200	110

Os dados representados mostram que atrasos ou condicionamentos no fluxo de tintas, matrizes e cartas são fatores com impacto direto, embora não particularmente expressivo, para a eficiência e *output* das linhas. No entanto, deve-se ter em conta o facto de a contabilização de paragens ser feita por registo manual do próprio impressor, o que limita as conclusões a retirar.

#### **Variável Crítica: Agilidade e Capacidade de Resposta**

A agilidade da cadeia de valor e a rápida resposta ao cliente estão diretamente relacionadas com o *lead time* e com o nível global de inventário, em sistemas MTO. Uma vez que na Preparação dos Trabalhos se lida com uma grande variedade de componentes, em que é necessária preparação prévia, a respetiva capacidade irá influenciar a flexibilidade da programação das Linhas de Produção. Num cenário ideal, que optimize esta variável crítica, as tintas, matrizes e cartas padrão seriam preparadas em *just-in-time* face às necessidades das linhas de Produção, através de mecanismos *pull* com o mínimo de inventário.

Na Figura 14, representa-se um histograma de dados amostrais para o tempo entre o pedido de preparação de Matrizes e de Tintas e o consumo destes componentes nas Linhas de Produção.

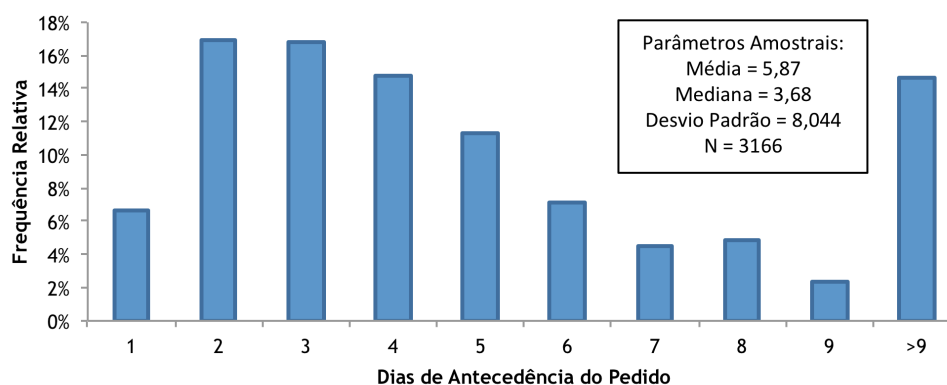


Figura 14 - Histograma do Número de Dias de Antecedência do Pedido de Preparação de Trabalhos

Verifica-se um desfasamento considerável entre o cenário idealizado de *just-in-time* e o sistema efetivo. Como o material requisitado é produzido e abastecido às linhas de produção no dia do pedido, existe um nível de inventário de cerca de 3 a 4 dias de material já preparado no bordo de linha. Adicionalmente, os registos revelam uma elevada percentagem de trabalhos preparados com antecedência superior a 9 dias, o que indicia incerteza sobre a data e hora que uma operação será executada.

A otimização das variáveis críticas que definem os requisitos do “cliente interno” aparenta ser, à primeira vista, um *trade-off* entre nível de serviço e agilidade para produzir em *just-in-time*. No entanto, a aplicação das ferramentas *kaizen* ao fluxo em estudo permite quebrar esse paradigma e atingir ganhos em ambas as variáveis.

Procede-se ao estudo detalhado de cada um dos fluxos, com vista à identificação dos principais fatores que condicionam as variáveis críticas, e de possíveis oportunidades de melhoria. Formulam-se, à partida, duas questões-chave:

- Qual o motivo que leva o pedido de preparação a ser feito com antecedência face à produção? Quais as restrições à implementação do modelo *just-in-time*?
- Porque param as linhas de produção por falta de consumíveis?

Para o efeito, acompanhou-se no *gemba* o dia-a-dia de operações, registando os vários passos ao longo do processo e do fluxo destes materiais, e recolhendo a informação necessária para responder às questões enunciadas.

### Análise do Fluxo de Tintas

A Tabela 5 resume os principais indicadores do PAM para o fluxo de tinta base e composta. A versão detalhada do PAM pode ser consultada nos Anexos C e D.

Tabela 5 - Indicadores do *Process Activity Map* para o Fluxo de Tintas Base e Composta

Consumível	# Atividades	# Operadores	Distância Percorrida [m]	Tempo Total [min]	Tempo VA [min]	VA / Tempo Total
Tintas Base UV (s/ L15)	7	4	161	3052	139	4,55 %
Tintas Base Linha L15	5	4	38	3040	139	4,57 %
Tinta Comp. Formulação	7	3	229	5384	154	2,87 %
Tinta Comp. Retorno	13	3	632	6795	139	2,05 %

Este processo de mapeamento acompanha o fluxo unitário (i.e. uma paleta, ou uma embalagem) de Tinta, desde o pedido de reabastecimento, realizado diariamente ao Armazém de Matérias-Primas Inflamáveis, até ao seu consumo na Linha. Regista operações de transformação, de transporte, atrasos ou períodos de espera, inspeção e inventário.

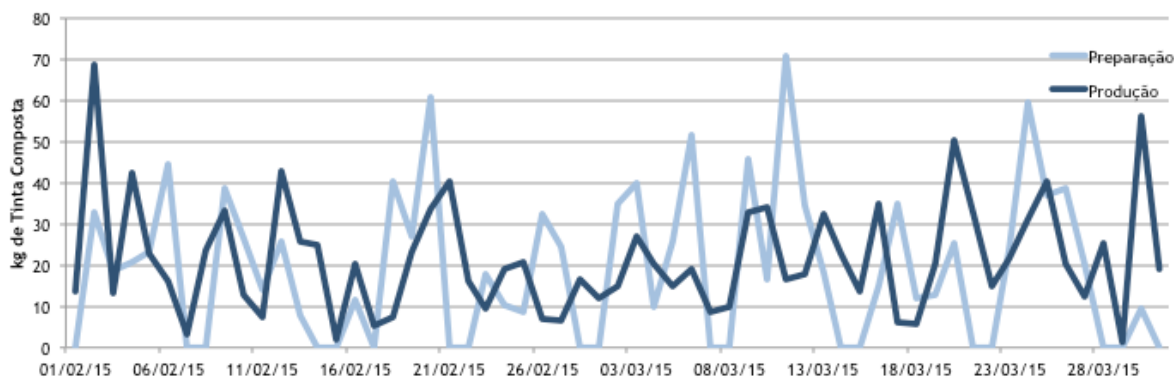
Numa primeira análise, observa-se a elevada percentagem de tempo, no fluxo de tintas base e compostas, que não acrescenta valor. A grande maioria deste tempo, em todas as variantes do fluxo, é tempo de espera na linha, quer pelo seu consumo numa determinada ordem de produção ou pelo seu retorno e armazenamento. Esta espera surge como resultado de uma frequência diária e sequencial de operações na Preparação de Tintas, i.e. o operador apenas recolhe os retornos no início do turno, e abastece as linhas no final do turno, diariamente.

No entanto, esta não é ainda causa raiz do elevado tempo de espera, explicando-o apenas superficialmente. Na verdade, e no espírito da técnica *5-whys* de resolução de problemas, a frequência diária de abastecimento decorre de um outro fator de fundo – não haver tempo disponível, ao longo do turno de trabalho, para abastecer as linhas e recolher retornos com maior frequência. Esta “falta de tempo” decorre, por sua vez, da necessidade de realizar trabalho que não acrescenta valor – *muda*.

A exceção a este sistema de abastecimento encontra-se no fluxo de tintas base (excluindo a linha L15). Aqui, é um dos operadores de linha que, deslocando-se fora do seu posto de trabalho, faz a recolha no supermercado de embalagens de tinta base aquelas que prevê serem necessárias, ou para reposição. Assim, estará potencialmente a abandonar as suas funções.

Será, portanto, a aparente falta de capacidade para preparar trabalhos, e a baixa rapidez de resposta aos pedidos de produção, que promove os pedidos antecipados.

Na Figura 15 apresenta-se o DAM para os estágios de produção de folha e preparação de tinta composta. Esta ferramenta gráfica permite detetar o efeito de amplificação da variabilidade da procura ao longo da cadeia de valor.

Figura 15 - *Demand Amplification Map* para o Fluxo de Tintas Compostas

O exercício de aplicação desta ferramenta num segmento curto da cadeia permite-nos retirar desde já algumas deduções. Observa-se que a variabilidade nas necessidades de tinta composta, em quilogramas, está a gerar uma resposta amplificada na preparação de tintas. Esta observação invalida a hipótese de que a capacidade da preparação estaria a ser nivelada pelo Programador, acomodando flutuações na produção nas Linhas. Assim, sustenta-se a tese de que o pedido de tintas é feito em regime de incerteza sobre a data real de produção.

### Análise do Fluxo de Matrizes

Através das entrevistas conduzidas, no âmbito da ferramenta VALSAT, os tipos de *muda* que aparentam ter maior prevalência no fluxo de matrizes de transporte são o excesso de produção e o inventário. No sentido de se compreender onde está localizado esse inventário, e outros problemas de fluxo, construiu-se um PAM, do qual os principais indicadores estão sintetizados na Tabela 6.

Tabela 6 - Indicadores do *Process Activity Map* para o Fluxo de Matrizes

Consumível	# Atividades	# Operadores	Distância Percorrida [m]	Tempo Total [min]	Tempo VA [min]	VA / Tempo Total
Chapas	11	4	199	5411	91	1,68 %

No fluxo de matrizes, assim como no de tintas, a maior parte do tempo de valor não acrescentado situa-se na espera entre o abastecimento da linha e o seu consumo na Produção. Aqui, o DAM, representado na Figura 16, representa um padrão semelhante à preparação e produção de tintas compostas.

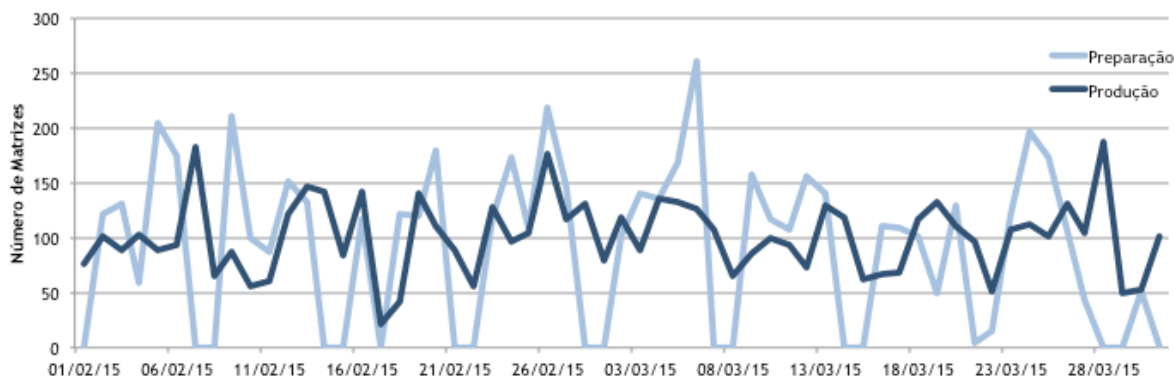


Figura 16 - *Demand Amplification Map* para o Fluxo de Matrizes de Transporte

## 5 Desenho e Planeamento de Soluções

Neste capítulo, pretende-se aplicar o conjunto de ferramentas e conceitos introduzidos na revisão bibliográfica para a melhoria das variáveis críticas e resolução dos problemas identificados na análise da situação inicial.

Numa primeira fase, estuda-se a cadeia de valor numa perspetiva de alto-nível, em que se discute as várias arquiteturas possíveis e se propõe um VSM do estado futuro. De seguida, analisa-se e desenha-se um conjunto de possíveis soluções, que sejam objetivas, modeláveis, quantificáveis e que visem, no curto e médio prazo, aproximar o sistema inicial ao sistema idealizado.

### 5.1 Estado Futuro da Cadeia de Valor

O Estado Futuro da Cadeia de Valor resulta, na versão de Rother e Shook (1999), da aplicação dos conceitos e ferramentas *lean* aos fluxos de material e informação de uma determinada cadeia de valor. Para guiar a sua aplicação, define um conjunto de questões-chave – reflexões sobre a aplicabilidade de cada domínio do modelo TPS e do movimento *lean*. Pretende-se assim responder a estas questões para o desenho da cadeia de valor da Litografia.

#### Mecanismos de Controlo *Pull*

1. Qual é o tempo de *takt*?

O tempo de *takt* define-se como o ritmo de produção unitária necessário para satisfazer as necessidades do cliente, e calcula-se dividindo o tempo total disponível pela procura do cliente num determinado intervalo de tempo. A carga média mensal, para 2014, foi de 2.961.300 folhas (incluindo trabalhos subcontratados), e, assumindo laboração a 4 turnos correspondente a um tempo de abertura de 2.502.857 segundos, o tempo de *takt* equivale a 0,85 segundos por folha, ou 14 minutos por cada balote de folha. Note-se que a procura não está a ser satisfeita, na sua totalidade, pelas operações da fábrica, sendo que muitos trabalhos de Litografia são subcontratados.

O *takt time* é essencialmente um valor de referência para o desenho do ciclo de produção. O diferencial entre ambos indica a presença de problemas ou limitações no fluxo (i.e. *setups* elevados, avarias, entre outros), que devem ser alvo de redução ou eliminação. Na Litografia, o impacto dos tempos de *setup* e o reduzido tamanho das séries, de difícil resolução, implica uma dessincronização entre as várias operações.

2. Será o produto acabado produzido para reabastecer um supermercado, ou para enviar diretamente ao cliente?

Para a grande maioria dos produtos da Litografia e da divisão de Embalagens Metálicas - personalizados e específicos para cada ordem - a reposição para supermercado de produto

acabado é inviável, pelo elevado número de referências, e a rapidez com que estes ficam obsoletos.

No entanto, para os 30% de produtos fornecidos em regime ATO, pode ser possível controlar a produção com base num sistema *kanban* (físico ou electrónico) de reposição das unidades consumidas, para um supermercado localizado no final do processo de Litografia e Corte. As previsões enviadas por estes clientes podem ser utilizadas para tomar decisões táticas, como estimar a capacidade produtiva necessária e ajustar os níveis de stock mínimos e máximos.

### 3. Onde se pode produzir em fluxo contínuo?

A produção em fluxo contínuo na Litografia implicaria um investimento avultado em equipamento, de forma a ter unidades de corte primário, envernizamento, impressão, acabamento e corte secundário (ou qualquer subconjunto destas) dedicadas a determinadas operações, e em sequência. Com a tecnologia atual, a operação de Litografia é de capital intensivo, e requer equipamentos de grandes dimensões.

Apesar de os tempos de ciclo do equipamento serem relativamente próximos, por unidade de folha, o facto de o fluxo não ser linear (e.g. dar duas passagens nas envernizadoras – uma de branco esmalte e outra de verniz de acabamento) condicionaria a produção em *pull-flow*, ou em organização celular.

### 4. Onde é que será necessário o uso de sistemas *pull* para supermercado de forma a controlar a produção de processos a montante?

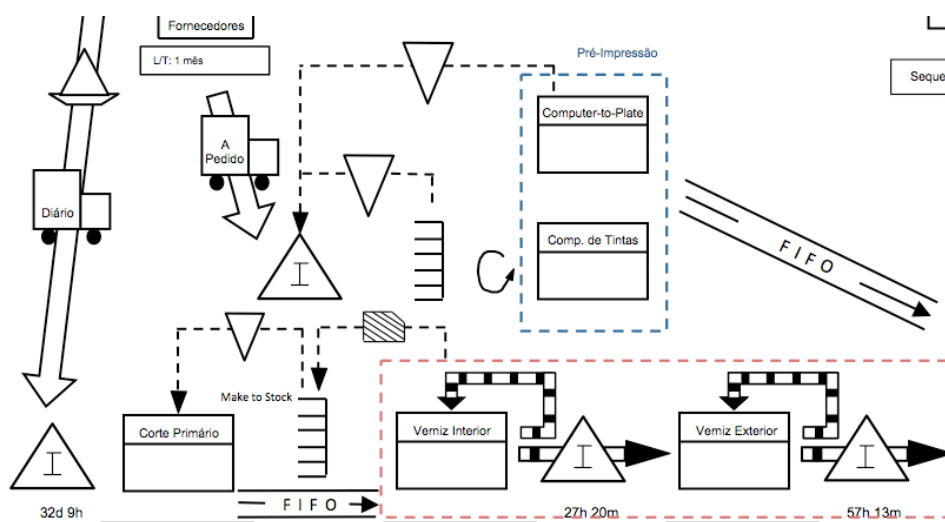


Figura 17 - Sistema de Controlo *pull* para Supermercado no Estado Futuro

Ao não ser possível incorporar todas as operações necessárias num fluxo contínuo de material, a alternativa é manter inventário como *buffer* entre as várias etapas. No entanto, num cenário de produção de customização em massa, e para um elevado número de referências, o mecanismo de *pull* para supermercado após o *decoupling point* não aparenta ser viável. A alternativa, o abastecimento em “FIFO lanes” ou em *junjo*, permite controlar o WIP entre operações, e produzir segundo uma sequência definida.

Para o fluxo da folha de flandres, recomenda-se a utilização do mecanismo de *pull* para supermercado para o fim de linha dos processos de receção de matéria-prima (bobines), corte primário (folha cortada), e envernizamento (folha preparada), mas apenas para as referências que se opte por manter em *stock*. Já na preparação de trabalhos, o conceito de *pull* é mais aplicável, sendo ideal desenhar um sistema de abastecimento com base nas necessidades das linhas de produção. Exploram-se estes mecanismos nos capítulos seguintes.

### Sequenciamento da Produção e *Heijunka*

5. Que ponto único da cadeia de produção (o processo *pacemaker*) será utilizado para programar e sequenciar a produção?

A existência de apenas um ponto na cadeia de valor que é controlado por uma programação de ordens é uma das formas de reduzir excesso de produção em processos a montante e a jusante deste *pacemaker*. Este ponto define o ritmo de produção para todas as operações: os processos a montante do *pacemaker* produzem com base num sinal *pull* de reposição; os processos a jusante produzem de acordo com um fluxo contínuo ou em FIFO.

Na Litografia, as operações de envernizamento e impressão, conjuntamente, são as operações onde o produto adquire a personalização, ficando com a imagem que o cliente pretende. Adicionalmente, identificou-se que estes processos correspondem ao *bottleneck* de toda a unidade industrial, definindo assim a sua capacidade. Por esse motivo, a combinação das linhas Envernizadoras e de Impressão constitui o bloco de processos a ser programado, e que controla as restantes operações.

6. Como será nivelado o *mix* de produtos no processo *pacemaker*?

Esta questão destina-se a aplicar o conceito de nivelamento à cadeia produtiva. Associado a este conceito está a necessidade de realizar *setups* mais frequentes e produzir, ao longo de um período de tempo, um conjunto alargado de produtos, de forma a melhorar o fluxo e a qualidade nos restantes processos da cadeia, internos e externos.

Mais uma vez, e devido à grande especificidade de cada trabalho, o conceito de *heijunka* não tem grande aplicabilidade.

7. Que incremento de trabalho será consistentemente libertado e retirado no processo *pacemaker* (o *pitch*)?

O *pitch* de produção corresponde ao mecanismo de sincronização da linha com as necessidades do cliente – o *takt time*. Como a produção na Litografia é, atualmente, limitada pelos capacidade das linhas, este conceito tem pouca relevância.

### **Kaizen e Melhorias de Processo**

8. Que melhorias de processo serão necessárias?

Analisando o Mapa do Estado Atual da Cadeia de Valor, e tendo em conta os requisitos das novas soluções, sugere-se as seguintes melhorias de processo:

- Aumento do OEE das linhas de Produção, de forma a aumentar a sua capacidade produtiva;
- Redução generalizada dos tempos de *setup*, para permitir mudanças mais frequentes de trabalhos (e.g. entre esmaltes e primários, e vernizes de acabamento).

### **Mapa do Estado Futuro da Cadeia de Valor**

No Anexo F apresenta-se o Mapa do Estado Futuro da Cadeia de Valor completo, que ilustra a aplicação das recomendações que surgem da resposta às questões de VSD. Nos subcapítulos seguintes, exploramos e modelamos algumas destas soluções.

## 5.2 Fluxo da Folha de Flandres

O fluxo da folha de flandres ao longo do processo produtivo é, como referido no capítulo 4.2, crítico para o desempenho da cadeia de valor. A melhoria deste fluxo, o que no âmbito deste

projeto corresponde à melhoria das variáveis críticas identificadas (i.e. *lead time* da cadeia de valor, e *throughput* ou capacidade de produção), surgirá como efeito da redução do nível de *WIP* ao longo da cadeia, essencialmente no estágio de folha cortada. As técnicas do modelo TFM que nos permitem avaliar e desenvolver soluções neste domínio são a sincronização, nivelamento e o planeamento *pull*, embora com algumas limitações.

O objetivo passa assim por formular e caracterizar políticas e heurísticas de aplicação simples e visual, que permitam pôr em prática os conceitos *lean* e atingir os objetivos de melhoria enunciados, particularmente através do controlo de produção entre operações críticas – como é o caso do corte primário.

### 5.2.1 Controlo de Produção no Corte Primário

Existem essencialmente dois modelos de controlo *pull* de um processo a outro a montante na cadeia de valor: produção para um supermercado ou armazenamento, ou produção em sequência. Ambos estão relacionados com os conceitos de MTO e MTS, ou de *kanban* e *junjo*, respetivamente. A Figura 18 ilustra estes conceitos para o caso específico.

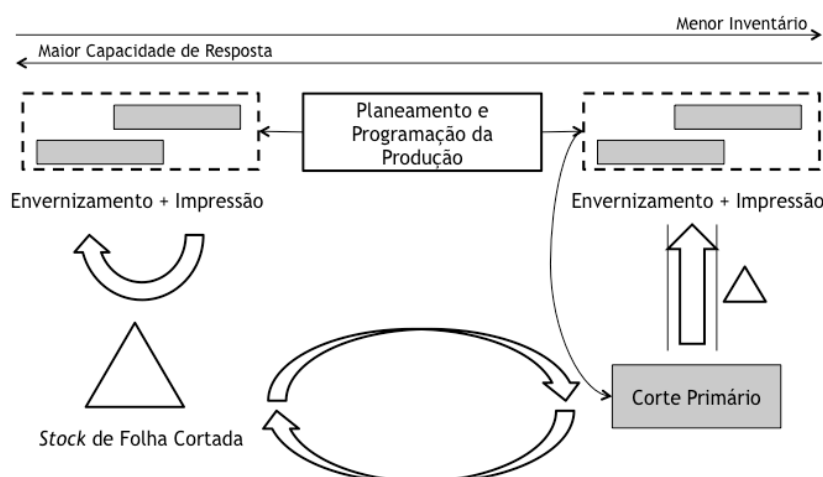


Figura 18 - Comparação do Modelo MTO e MTS no Corte Primário

A análise da linha de corte primário revela um processo condicionado pela capacidade. Devido aos tempos de *setup*, que dependem da sequência de produtos e de determinadas políticas de quantidade mínima, não há capacidade para produzir a totalidade das necessidades em sequência. Por outro lado, a manutenção de níveis de *stock* para todas as referências revela-se impraticável, dado o elevado número de SKUs de folha cortada.

Assim, um sistema híbrido entre MTO e MTS tornaria possível garantir um *lead time* de resposta a necessidades de folha cortada, para todas as referências de produto: as de maior rotação, estariam disponíveis em *stock* para consumo imediato, enquanto que as restantes seriam produzidas em sequência (ou próximo da sequência) da necessidade em linha.

#### Decisões ao Nível Tático

As decisões ao nível tático no controlo de produção do corte primário prendem-se com a escolha das referências de folha cortada a manter em *stock*. A seleção ideal para o caso em estudo deve corresponder a um conjunto de critérios:

1. Reduzida polivalência da bobine de folha – uma bobine que tenha um grau de especialização de um para um (i.e., essa bobine apenas pode ser cortada em um único formato, com uso na Litografia) deve ser processada quando conveniente, de forma a não comprometer os prazos de entrega de outras referências mais críticas;

2. Elevado volume de produção – as referências de folha cortada com maior consumo provocam maior destabilização na sequência de corte, devendo ser progressivamente reabastecida.

Para cada uma destas referências de folha cortada, é necessário estabelecer um nível de *stock* mínimo  $s$  e uma quantidade de reposição  $Q^*$  ou tempo de produção  $T^*$ , a partir do qual o método de programação da produção irá calcular a quantidade a repor, como será detalhado de seguida. O modelo mais utilizado para determinar estes níveis é o *Order-up-to Inventory* e o *Economical Production Quantity* (EPQ). Estas decisões, em conjunto com a determinação das referências a manter em *stock*, permitem lidar com possíveis restrições de capacidade dos recursos do corte primário.

O cálculo do nível de *stock* mínimo mais habitual consiste na determinação da quantidade de segurança para o período de reposição, e para um dado nível de serviço. Este nível garantirá a cobertura de todas as necessidades imediatas de folha cortada. No entanto, e para o sistema híbrido MTO e MTS que se propõe, o nível de mínimo de inventário pode não coincidir com o nível de segurança, pois existe a alternativa de produzir a quantidade restante em regime MTO.

Avaliadas as características pretendidas do sistema, opta-se por calcular o nível mínimo de *stock* para cada referência considerando a quantidade máxima diária para o ano de 2014 (i.e. o ponto de maior consumo para esse ano), e deduzindo um valor fixo, em número de folhas, a produzir sempre em regime MTO. Assim, garante-se que nenhuma ordem a produzir em sequência ultrapassará esse valor. Os parâmetros serão posteriormente ajustados em função dos resultados do modelo de simulação a desenvolver.

### Decisões ao Nível Operacional

As questões de nível operacional prendem-se com o sequenciamento e a programação das ordens de corte de folha. Soman, Pieter van Donk, e Gaalman (2006) apresentam e testam um conjunto de políticas ou procedimentos simples, para o caso híbrido MTO e MTS.

Para cada dado instante produtivo  $t$ , todas as necessidades de folha cortada, quer para reposição de níveis de inventário, quer para ordens específicas de envernizamento ou impressão, são agregadas numa *pool*. A cada necessidade está associado um tempo limite ou *run-out time* (RO) – para o caso MTO, será a data e hora em que o trabalho está programado nas linhas a jusante (DD), menos um “tempo de segurança”; para o caso MTS, será o tempo que o nível de inventário  $I$  durará tendo por base uma taxa de consumo média  $d$ , ou seja  $I/d$ . Assim,

$$RO_i = \begin{cases} I_i / d_i & \text{para MTO} \\ DD_i - t & \text{para MTS} \end{cases} \quad (5.1)$$

Este indicador define a prioridade de sequenciamento de cada trabalho, devendo ser ordenado tal que  $RO_1 < RO_2 < RO_3 < \dots$  (Soman, Pieter van Donk, e Gaalman 2006). Este modelo têm por base alguns pressupostos, como a existência de um taxa de consumo estacionária, tempos e custos de *setup* constantes e independentes da sequência de operações, e a existência de capacidade disponível para satisfazer os pedidos. No entanto, e devido em parte às decisões táticas, que permitem efetuar ajustes de acordo com a capacidade, é possível desconsiderar estes pressupostos.

A fórmula 5.2. é usada, neste modelo proposto por Soman, Pieter van Donk, e Gaalman (2006), para o cálculo da quantidade de reposição nas referências com *stock*, com base no EPQ.

$$Q = \min \left\{ s_1 + T_1^* d_1 \left( 1 - \frac{d_1}{p_1} \right) - I_1, \left( \frac{I_2 - s_2 - c_2 d_2}{d_2} - c_1 \right) p_1 \right\} \quad (5.2)$$

Este cálculo de quantidade anexo à heurística *run-out* tem duas componentes: a quantidade de produção económica – manteve-se a notação original  $T^*$  para representar o tempo de produção da quantidade de encomenda -, e a quantidade a produzir até que outra referência atinja o nível mínimo ou o *run-out* de uma necessidade MTO atinja o zero. O mínimo de ambos assegura a prioridade das ordens em sequência ou MTO, garantindo os prazos de entrega.

### 5.3 Fluxo de Preparação de Trabalhos

O desenho de um novo fluxo de preparação de trabalhos, que surge da aplicação de conceitos e ferramentas *kaizen*, pretende atingir melhorias significativas na dupla de variáveis críticas levantada: eficiência das linhas de produção, através do aumento do nível de serviço e redução do *muda* de movimento no bordo de linha, e agilidade de resposta, permitindo ao fluxo reagir a alterações ao plano ou outros fatores.

Para o efeito, segue-se a abordagem e as ferramentas do modelo TFM para o desenho da cadeia de valor: otimizar o bordo de linha e dimensionar os supermercados que vão, posteriormente, ser abastecidos por um ciclo *mizusumashi*, e controlados por um mecanismo de reposição em *kanban* ou *junjo* com base nesse ciclo. A grande diferença está no facto de passar a ser a mudança de trabalho na linha, e não a escala de programação, a definir o reabastecimento e a preparação dos materiais necessários.

#### 5.3.1 Dimensionamento de Bordo de Linha e Supermercados

O fluxo de abastecimento de consumíveis e documentos preparados para as Ordens de Produção ocorre entre três principais áreas de armazenamento intermédio: à saída ou entrada dos processos de Preparação – o supermercado de tintas e o supermercado do CTP –, e à entrada das Linhas de Produção – o designado Bordo de Linha ou *Point of Use Storage* (POUS).

##### Bordo de Linha

Pretende-se, com o desenho do Bordo de Linha, reduzir o *muda* global de movimento e transporte, englobando tanto o operador de linha como o operador logístico. Neste caso, e dado o grande impacto da organização do espaço de trabalho no tempo de *setup*, e a necessidade de manter o operador dedicado ao funcionamento da linha, opta-se por privilegiar a acessibilidade e disponibilidade, próxima do ponto de uso, dos materiais e consumíveis.

Verifica-se que, no caso das tintas para a linha L13, existe um *flow rack*, ideal em termos de proximidade e ergonomia, mas que não tem capacidade para os 3 a 4 dias de inventário que, na situação prévia, existem no bordo de linha – logo, é suportado por uma “mesa de apoio”. Para o armazenamento de matrizes de transporte, existem quatro cavaletes por cada linha, o que corresponde a quatro trabalhos de avanço.

Para o redimensionamento preliminar do número de trabalhos a manter no Bordo de Linha, ajustou-se o número médio de mudanças de ordem,  $\hat{\lambda}$ , a uma distribuição de *Poisson*, e com base na função de distribuição cumulativa, escolheu-se o valor de  $k$  de número mínimo de trabalhos que garanta um nível de serviço de 99,99 % durante o período de reposição (ou uma

falta de trabalho a cada um ano e três meses). Os resultados estão resumidos na Tabela 7 para várias frequências de entrega.

Tabela 7 - Tamanho do Bordo de Linha Mínimo por Frequência de Entrega

Freq. Entrega [horas]	Linha L5		Linha L11		Linha L13		Linha L15	
	$\hat{\lambda}$	k	$\hat{\lambda}$	k	$\hat{\lambda}$	k	$\hat{\lambda}$	k
0,5	0,18	3	0,18	3	0,29	4	0,16	3
1	0,37	4	0,37	4	0,58	5	0,33	4
1,5	0,55	5	0,55	5	0,86	6	0,49	5
2	0,74	6	0,73	6	1,15	7	0,65	5

De acordo com este modelo, quatro trabalhos de avanço parece ser inadequado para o nível de serviço que se pretende atingir. Adicionalmente, será necessário ter em conta o *lead time* necessário para a entrega dos componentes, o que implica um nível de inventário correspondente a  $k + \text{roundup}(\hat{\lambda})$  trabalhos para o período de reposição.

### Supermercado do Laboratório de Tintas

Para suportar o novo modelo de preparação e reabastecimento de Tintas, que implica um nível de inventário mais reduzido nas linhas, torna-se necessário garantir a disponibilidade de Tintas Base no Laboratório. Para o efeito, foi estudado o redimensionamento e a atualização da afetação das localizações às referências de tinta, com base no Modelo de Revisão Periódica e na capacidade de armazenamento disponível do Supermercado já existente. Na Tabela 8 apresenta-se os cálculos efetuados, a título ilustrativo, para três referências de elevada rotação.

Tabela 8 - Cálculo do Nível de *Stock* em Supermercado com base no Modelo de Revisão Periódica

Referência	Descrição	PR+LT [dias]	Consumo [kg/dia]		Níveis de Stock [kg]		Nº Filas Necessárias
			Média	Desvio Padrão	Segurança	Objetivo	
64-00665	Tinta Preto UV9	1	18	21	49	67	3
64-00664	Tinta Amarelo SPX-260	1	20	22	52	61	3
64-00483	Tinta Branco Entonado	1	9	12	29	38	2

Tabela 9 - Antes vs. Depois no Dimensionamento do Supermercado de Tintas

Antes	
Nível de Serviço	99,1 %
Capacidade do SM	40 filas
Dimensionamento do SM	27 filas
Inventário Médio	720 kg

Depois	
Nível de Serviço	99,0 %
Capacidade do SM	40 filas
Dimensionamento do SM	34 filas
Inventário Médio	522 kg

No Modelo de Revisão Periódica, o nível de inventário é avaliado de forma cíclica, i.e. após um determinado período de tempo, designado por período de revisão. Durante este período, em que não se procede a encomendas de reposição, e durante o tempo que demora o reabastecimento, é necessário garantir a existência de inventário para assegurar a cadência média de consumo e amortecer a sua variabilidade, tendo em vista alcançar um determinado nível de serviço.

No caso do Supermercado em estudo, optou-se por manter a política atual de revisão diária, para todas as referências. Esta opção permite agregar o número de pedidos de *picking* destes componentes à Logística, o que reduz o *muda* de transporte. O *lead time* de reposição foi considerado desprezável, por ser um processo rápido.

Observa-se que, em comparação com a situação anterior, a nova reorganização permite manter um nível de serviço elevado, com mais referências, e com um nível de inventário médio inferior (Tabela 9).

### Supermercado do CTP

Para a alimentação do equipamento do CTP, existem três localizações físicas, que correspondem aos três formatos de chapa utilizados. Duas destas referências estão localizadas próximo do alimentador da máquina 1, sendo que a restante situa-se próximo da máquina 2. A reposição é simples, e o tamanho adequado às necessidades do equipamento, pelo que não se considerou necessário um redimensionamento. No entanto, verificou-se uma grande limitação, que dificultava o processo de reabastecimento: o empilhador tinha de deixar as embalagens fora do suporte, tendo o operador de as carregar manualmente. Para resolver este problema, sugeriu-se um alargamento do carro para que o empilhador possa depositar as embalagens diretamente.

### 5.3.2 Definição de *Standard Work* para *Mizusumashi*

Para suportar a necessidade de abastecimento frequente às linhas de Produção, de forma a reduzir o inventário no Bordo de Linha e assegurar a transmissão de informação de reposição entre as linhas e a Preparação de Trabalhos, optou-se por desenhar e testar um novo operador logístico baseado no conceito de *mizusumashi*. As tarefas a atribuir ao operador logístico serão temporizadas, normalizadas e documentadas, de forma a aplicar o *Standard Work* ao fluxo logístico.

A Figura 19 ilustra a solução inicial escolhida para a definição do percurso e das tarefas do *mizusumashi*.

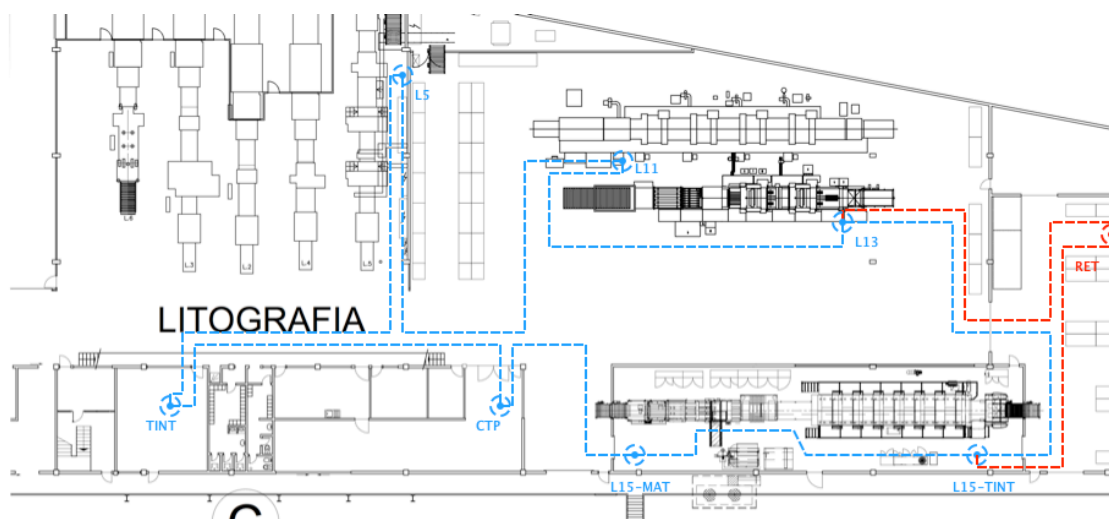


Figura 19 - Percurso do Operador *Mizusumashi*

O percurso representado permite o abastecimento de todas as linhas com unidades de impressão, de tintas matrizes e documentação da ordem, assim como a recolha de todos estes materiais depois de o trabalho ter sido dado. Os pontos assinalados a azul correspondem a zonas de carga e descarga de material. Adicionalmente, inclui-se nas tarefas do operador

logístico o armazenamento e a recolha dos retornos de tintas em arquivo, sempre que necessário, libertando o operador do Laboratório de Tintas desta função, e permitindo uma maior frequência.

No anexo F apresenta-se a ficha de tempos padronizada, aplicando o conceito de *Standard Work*. O tempo de ciclo calculado para o *mizusumashi* é de aproximadamente 21 minutos, com 13 para movimentos de carga e descarga, e 8 para transporte – correspondente a 278 metros no chão da fábrica. Estes tempos foram calculados com base em medições levantadas no âmbito de um teste piloto, a detalhar no capítulo 6.4., e têm como referência um número fixo de 4 trabalhos por ciclo, um para cada linha, e a recolha e armazenamento de tinta no arquivo.

Conhecendo o tempo de ciclo do *mizusumashi*, pretende-se comparar essa ordem de grandeza com o período de reabastecimento necessário, tendo por base uma carga de trabalhos constante. Na Tabela 10 é apresentado o resultado desse cálculo.

Tabela 10 - Período de Reabastecimento do *Mizusumashi*

<b>Período de Reabastecimento do <i>Mizusumashi</i></b>	
Carga Média [n.º trabalhos]	Período de Reabastecimento [min]
1	39
2	77
3	116
4	154
5	193

O período de reabastecimento do *mizusumashi* é calculado pela expressão  $C * (TA / NS)$ , onde  $C$  é o número médio de trabalhos que o veículo transporta em cada ciclo,  $TA$  o tempo médio mensal de abertura das Linhas, e  $NS$  o número total de *setups* por mês. Foram utilizados dados de 2014 para os cálculos.

Nesta solução, a variação do número de *setups* num dado período de tempo é amortizada pelo inventário no Bordo de Linha, pelo que o tempo de ciclo médio é adequado. No entanto, e dependendo da solução estudada, o tempo necessário para executar cada atividade varia consoante as características do trabalho – particularmente o número de componentes. Assim, essa variabilidade será estudada utilizando um modelo de simulação.

### 5.3.3 Mecanismos de Sincronização e Nivelamento

Para a sincronização entre o abastecimento e a procura, os mecanismos do tipo *pull* entre processos de uma cadeia de valor – em que o processo a jusante sinaliza o consumo de um determinado componente ou produto, que é transmitido ao processo a montante que o fornece – constituem uma forma de reduzir inventário, aumentar a capacidade de resposta e aumentar a qualidade na cadeia. Estes contrastam com os mecanismos baseados em previsões de encomendas ou necessidades.

No caso da Preparação de Trabalhos, a grande variedade e a personalização dos consumíveis para cada Ordem de Fabrico tem como requisito uma certa visibilidade sobre as próximas Operações a executar nas linhas de Produção. Nesse sentido, a solução de desenho *pull* para este sistema consiste em preparar os consumíveis e os abastecer à linha na sequência em que são necessários. Este conceito designa-se por *junjo* no TPS.

A sinalização no *junjo* tem um propósito semelhante ao do mecanismo *kanban* – sinaliza o consumo de uma determinada quantidade do material ou componente, autorizando a produção ou abastecimento para repor esse consumo. No sistema *junjo* para a preparação de trabalhos, o nível de inventário no bordo de linha é constante. Esta consiste na Opção 1 dos mecanismos de sincronização, a testar no capítulo 6.3.

Note-se que o método anterior de programação destes consumíveis também era baseado na sequência – no entanto, por apenas se “prever” a data de entrada do trabalho, não existe controlo sobre o inventário no Bordo de Linha. No entanto, se houver visibilidade sobre a programação fixa das linhas de impressão, a preparação prévia de trabalhos – do tipo *push* – pode ser uma alternativa viável, se esta visibilidade for reduzida. Considerou-se esta a Opção 2, a testar no capítulo 6.3. O grande risco deste método materializa-se na perda de sincronia entre a preparação e o consumo (e.g. no caso de uma avaria numa Linha) – por esse motivo, deverá ser implementado um mecanismo de paragem ou sinalização para evitar a acumulação de inventário.

## 6 Teste e Implementação de Soluções

A aplicação das soluções propostas no capítulo anterior, que resultam de conceitos e ferramentas do TPS e do movimento *lean*, tem como objetivo a melhoria do fluxo de material e informação na cadeia de valor da Litografia. No entanto, a base empírica que as sustenta, embora com sucesso comprovado para um elevado número de organizações, carece de suporte experimental ou analítico para as especificidades dos processos em causa – particularmente a existência de variabilidade e a grande complexidade dos processos e das políticas que controlam esses processos.

A experimentação destas soluções vem no sentido de estudar a sua viabilidade técnica, e de escolher os parâmetros ou políticas que otimizem as variáveis críticas de *output* para a cadeia de valor. Foram utilizados dois tipos de experimentação com modelos do sistema real: simulação de eventos discretos, e piloto físico.

### 6.1 Metodologia e Abordagem

No desenho de soluções para a cadeia de valor da Litografia, focou-se em duas grandes áreas de atuação: o ciclo de reabastecimento e controlo de produção de folha cortada – corte primário –, e o ciclo de preparação e abastecimento de consumíveis de pré-impressão, necessários ao trabalho. Para orientar o estudo de simulação proposto, aplicou-se a metodologia de Banks (2005) na formulação, conceptualização, validação, teste e análise dos modelos desenvolvidos. Desenvolveu-se ainda um teste piloto para o novo sistema de preparação de trabalhos, que permitiu validar os pressupostos do modelo e recolher dados necessários de *input*.

O tipo de simulação mais adequado para representar sistemas produtivos discretos, como é o caso em estudo, e aquele pelo qual se optou, é a Simulação por Eventos Discretos (DES). Escolheu-se o pacote de *software AnyLogic*, pela possibilidade de personalização e de modelar sistemas complexos, com recurso a implementações próprias do utilizador em entidades ou classes pré-definidas. O *AnyLogic* é um ambiente de simulação assente na linguagem de programação *Java*, sendo que para traduzir grande parte do funcionamento dos modelos desenvolvidos, foi necessária a programação de lógicas e funções que não fazem parte do pacote de *software* original.

### 6.2 Simulação: Corte Primário

O estudo de simulação do ciclo de produção e reabastecimento de folha cortada – corte primário – foi proposto e desenvolvido com o intuito de responder à seguinte questão: será o sistema proposto no capítulo 5.2. uma melhoria face ao atual, nas variáveis de *lead time* e nível de serviço da cadeia de valor?

### Conceptualização e Modelação

Para a modelação do mecanismo de controlo de produção para o corte primário, é necessário estabelecer o âmbito (i.e. as fronteiras) do modelo a desenvolver. Assim, deverão ser incluídas no modelo as atividades a jusante, que geram as necessidades e o consumo, e a montante do corte primário, bem como o inventário. A operação de corte transforma uma unidade, o *coil* ou bobine, em outra unidade, o balote de folha, sendo igualmente necessário estabelecer a sua relação.

Foram desenvolvidos dois modelos do sistema a analisar: um modelo do estado atual e um modelo do estado futuro. O primeiro será utilizado para validar a construção lógica e os dados de *input*, de forma a estabelecer a credibilidade para o segundo modelo, que implementa a solução detalhada no capítulo 5.2.1.

A Figura 20 resume o funcionamento do modelo de simulação pretendido, indicando os dados de *input* necessários e o *output* que é gerado. O primeiro *input* consiste num conjunto de ordens de produção nas linhas de Litografia, a partir do qual é gerada a sequência ou programação de produção, com uma certa visibilidade (parâmetro). Esta geração pode partir da sequência que foi efetivamente dada, através de dados históricos, ou por amostragem. A técnica de amostragem permite definir certas características desejadas nas necessidades de folha, dando maior flexibilidade ao utilizador para testar múltiplos cenários. O segundo *input* consiste num conjunto de *coils* histórico, cada um com um determinado peso, o que vai influenciar o número de folhas que é possível extrair. Este *input* é extraído aleatoriamente, para cada referência de *coil*.

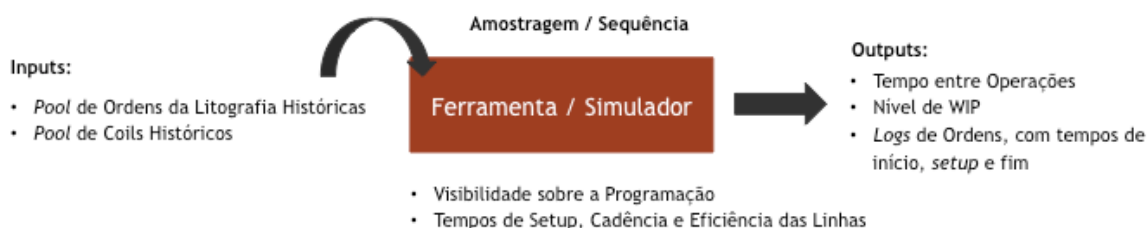


Figura 20 - *Inputs* e *Outputs* do Modelo de Simulação para o Corte Primário

Os *outputs* relacionam-se com a variável crítica de *lead time* e agilidade da cadeia de valor, particularmente o nível de WIP e o tempo entre operações.

### 6.3 Simulação: Preparação de Trabalhos

O estudo de simulação do fluxo de preparação de trabalhos, nomeadamente o fluxo de produção e abastecimento de tintas e matrizes, visa responder às seguintes questões: corresponderá o sistema proposto no capítulo 5.3. a uma melhoria face ao atual, nas variáveis de eficiência das linhas e de *lead time* de resposta? Se sim, quais os parâmetros a aplicar?

#### Conceptualização e Modelação

Para a modelação da Preparação de Trabalhos, o primeiro passo corresponde a definir que mecanismos e entidades devem fazer parte do modelo. De acordo com os objetivos, o foco será na definição do comportamento e das características do consumo de materiais nas linhas, na definição do bordo de linha, no ciclo do *mizusumashi*, nos processos de produção de tintas e matrizes, no mecanismo *pull* que despoleta a produção dos materiais, e no mecanismo de gestão de retornos.

Para a modelação do consumo, utilizou-se como *input* dados históricos, correspondentes ao intervalo entre 1 de janeiro de 2015 e 31 de maio de 2015. Assim, testa-se o modelo com base

em dados efetivos de produção, escolhidos de forma a representarem adequadamente a realidade. Estes *inputs* despoletam o consumo de tintas e matrizes no bordo de linha, e igualmente a produção destes materiais, com um determinado desfasamento – ao qual corresponde o parâmetro “visibilidade de programação”.

O *mizusumashi* tem associado uma determinada “frequência de abastecimento”, que corresponde à sua frequência de saída. Adicionalmente, o tempo que este demora no percurso depende da carga que transporta. O bordo de cada linha é definido em parâmetros do modelo, sendo que o mecanismo *pull* emite ordens de reposição sempre que, na presença do *mizusumashi*, o nível se situa abaixo do indicado. Foram modelados dois tipos de mecanismos *pull* em sequência: no primeiro “sem preparado intermédio”, os pedidos de reposição chegam das linhas em *kanbans*, um por cada trabalho a repor, enquanto que na alternativa “com preparado intermédio”, existe sempre um trabalho em avanço para cada linha no CTP e no Laboratório de Tintas, que é repostado por gestão visual. Ambos correspondem à Opção 1, mencionada no capítulo 5.3.3.

Adicionalmente, modelou-se um outro sistema de reposição, em que não existe um limite ao tamanho de bordo de linha mas, inversamente, define-se uma visibilidade fixa à programação das linhas de produção. Em termos práticos, isto significa que o modelo prepara e abastece todos os trabalhos dentro da visibilidade disponível. Este sistema corresponde à Opção 2, mencionada no capítulo 5.3.3.

Para medir os resultados de *output* do modelo, que correspondem às variáveis críticas de eficiência das linhas e agilidade de resposta, calculou-se durante a corrida do modelo o tempo de paragens das linhas, e o tempo médio entre preparação e consumo, respetivamente.

### Validação

Sendo que se trata de um modelo de um sistema proposto, que não existe na sua íntegra, a validação prende-se com a verificação dos tempos definidos a cada atividade, e do comportamento geral do modelo. Para o efeito, recorreu-se às capacidades de representação em 2D e 3D do pacote de *software* utilizado.

### Testes e Resultados

Para responder à questão colocada, torna-se necessário desenhar as experiências a correr que nos permitam retirar as conclusões necessárias. Numa primeira aproximação, optou-se por verificar o impacto, em dois níveis, dos parâmetros indicados na Tabela 7, nas variáveis de *output* “tempo de paragem nas linhas” e “tempo médio entre preparação e consumo”.

Tabela 11 - Fatores a 2 níveis para Desenho de Experiências

#	Fator	Nível Baixo	Nível Alto
1	Visibilidade da Programação	28800	259200
2	Tamanho do Bordo de Linha	7 (L13) 5 (Rest.)	42 (L13) 30 (L5 e L11) 28 (L15)
3	Frequência do Ciclo <i>Mizusumashi</i>	5400	1800
4	Preparado Intermédio	Não	Sim

Para os níveis calculados do tamanho dos bordos de linha, foi tida em consideração a disparidade do número de mudanças entre linhas, tendo sido ajustados para homogeneizar o nível de serviço. Este ajuste foi aplicado sempre que se considerou este parâmetro.

Para um número de fatores igual a quatro, utilizou-se a matriz ortogonal de Taguchi L8, que tem as características desejadas para a experiência desenhada. Traduz-se os resultados nos *Main Effect Plots* (MEP) representados na Figura 21(a)(b).

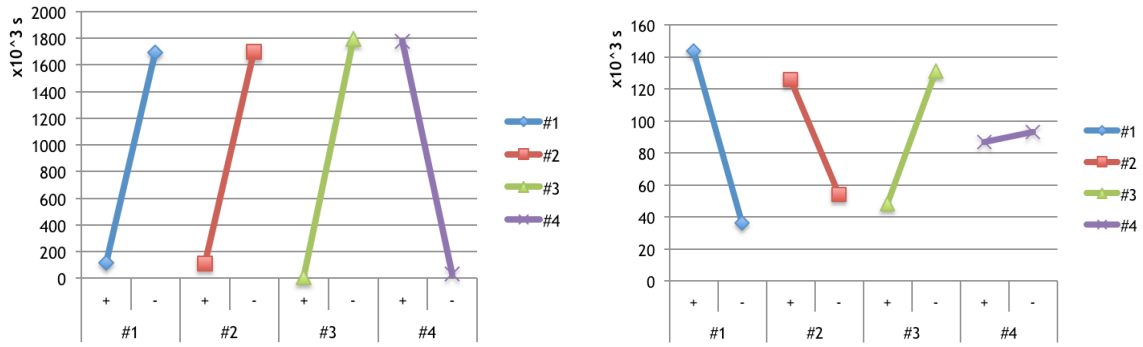


Figura 21 (a) MEP para o Tempo de Paragens

(b) MEP para Tempo entre Preparação e Consumo

A análise dos gráficos apresentados indicia a relação já esperada entre os vários fatores estudados: o aumento dos fatores visibilidade da programação, tamanho do bordo de linha e frequência do ciclo *mizusumashi* contribui para a redução das paragens, seja qual for a combinação entre eles. No entanto, a existência de Preparado Intermédio aparenta ser prejudicial para a variável “tempo de paragens”.

Através desta experiência, é possível fixar alguns dos fatores, estudando os restantes em pormenor. Dados os resultados, optou-se por desativar a componente de Preparado Intermédio, bem como limitar os intervalos para os restantes fatores. Adicionalmente, testaram-se as duas opções (Opção 1 e 2) que correspondem, respetivamente, ao mecanismo *pull* com WIP constante, e ao mecanismo do tipo *push* com WIP variável e visibilidade constate. Os resultados estão representados na figura Figura 22, para o período de 5 meses correspondente aos dados de *input*.

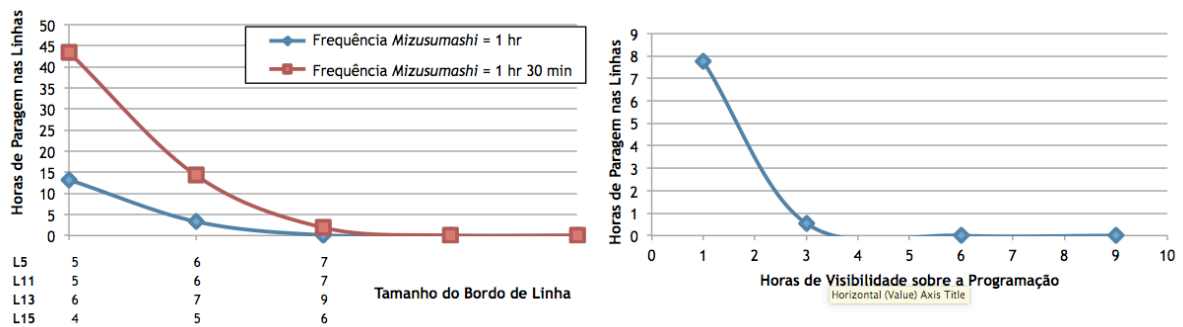


Figura 22 - Impacto do Fator BL (Opção 1) e do Fator Visibilidade (Opção 2) no Tempo de Paragem de Linhas

No lado esquerdo da figura, a reposição é acionada com base em sinais de consumo. De forma a manter um nível de serviço elevado, é necessário manter cerca de 7 trabalhos no Bordo de Linha, para acomodar e.g. avanço de trabalhos, séries pequenas; o que corresponde a cerca de 20 horas de WIP. Já no lado direito da figura, em que os trabalhos são preparados com base num horizonte de visibilidade rolante, o nível de serviço pode ser mantido com cerca de 4-6 horas de WIP; no entanto, tal implica uma maior variabilidade no volume de trabalhos a preparar no Laboratório de Tintas e no CTP.

#### 6.4 Teste Piloto: Preparação de Trabalhos

A par com a modelação e a experimentação por simulador, emulou-se o funcionamento do sistema proposto para a Preparação de Trabalhos no *gamba*. O objetivo era garantir, principalmente, a viabilidade do percurso definido para o *mizusumashi*, assim como medir os tempos necessários de *input* para o simulador.

Para tal, construiu-se um protótipo em peças tubulares para um carrinho de transporte de tintas, matrizes e documentação. O protótipo encontra-se ilustrado na Figura 23.



Figura 23 - Protótipo de Carrinho de *Mizusumashi*

Para a libertação e visibilidade das ordens de preparação de tintas e matrizes, construiu-se também uma caixa de nivelamento, aberta de ambos os lados, para receber as ordens programadas nas linhas. Na face voltada para o operador logístico, cada intervalo corresponderá a uma frequência de ciclo, contendo os trabalhos programados para essa hora. Na face voltada para os processos de preparação, cada coluna corresponderá a um dia, sendo que os intervalos flexíveis para variar consoante os turnos em vigor.

O protótipo da caixa de nivelamento está representado na Figura 24.



Figura 24 - Protótipo de Caixa de Nivelamento para Preparação de Trabalhos

Este teste piloto permitiu ainda identificar algumas dificuldades com a circulação ideal do carrinho, sendo que se assinalaram algumas áreas a desbloquear ou desimpedir, para facilitar o acesso do operador logístico aos suportes do bordo de linha.

## 7 Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro

No projeto desenvolvido, estudou-se a aplicabilidade dos conceitos *lean* à indústria litográfica, considerando as particularidades do setor de *mass customization* em geral.

Os conceitos e a filosofia *lean* e *kaizen* são, ainda hoje, universais na sua aplicação, seja qual for a indústria ou setor de atividade. A procura sistemática por desperdício nas cadeias de valor, e o encurtar dos *lead times*, traduz-se quase sempre em vantagem competitiva. No entanto, e em processos produtivos complexos, ou de natureza distinta do ambiente embrionário do TPS, é necessário compreender as limitações de certas ferramentas ou métodos *lean* mais específicos, procurando alternativas sempre que se justifique.

Nesta abordagem ao problema de fluxos, procurou-se aplicar conceitos de diversas áreas de conhecimento, de forma a enriquecer os resultados obtidos. Por esse motivo, foi possível trabalhar numa gama mais ampla de hipóteses e experiências, avaliando as suas vantagens e desvantagens. O uso de VSM, VALSALT, PAM, DAM, e outras ferramentas permitiram, desde início, a identificação e análise dos vários fatores que influenciam as variáveis críticas de *output*. A incorporação de heurísticas de sequenciamento com base na EOQ e no critério de *run-out* tem o potencial de reforçar os objetivos *lean*, correspondendo a uma solução adaptada para o caso particular em estudo. A utilização de métodos de experimentação em modelos virtuais permitiu, de igual forma, viabilizar as ações de melhoria, sendo que as soluções propostas implicam alterações substanciais nos processos e nas organizações.

Foram propostos dois novos sistemas que visam, de forma integrada, aumentar a agilidade e a competitividade da cadeia de valor – aumentando a resposta ao cliente e reduzindo *muda* nos processos e nos recursos. O primeiro corresponde a um mecanismo de controlo de produção para o corte primário, e o segundo a um sistema integrado de preparação e abastecimento de componentes e consumíveis para as linhas de produção.

Com a solução de sequenciamento e planeamento do corte primário, pretende-se:

- Reduzir o *lead time* da folha cortada, aumentando a agilidade e competitividade da cadeia – construindo inventário estratégico que suporte a visibilidade pretendida com os recursos disponíveis;
- Aumentar o *throughput* do envernizamento/impressão – produzindo folha em função da sequência preferencial para o *bottleneck*, e não da sua disponibilidade;
- Reduzir sucata relacionada com o corte de folha – ao garantir que estão disponíveis as quantidades de certas no formato certo.

Com a solução de preparação de trabalhos, pretende-se:

- Reduzir o WIP de consumíveis de aproximadamente 3 dias para 6/12 horas – sincronizando o consumo destes materiais com a sua preparação;

- Reduzir o volume de consumíveis no *pipeline* logístico em cerca de 28% - pela reformulação e redimensionamento dos locais de armazenamento, o que permitirá um *picking* mais rápido e uma gestão de compras mais eficiente;
- Reduzir sucata e promover qualidade no *output* dos processos – ao encurtar o tempo entre a preparação e o consumo, o que permite ao operador detetar variações nos fatores que causam variações no produto, relacionando ambos para o diagnóstico autónomo do problema;
- Aumentar o número de trabalhos combinados (i.e. trabalhos gráficos que contêm mais do que uma referência na mesma folha), o que corresponde a uma poupança média estimada de 1,7 *setups* por dia adicional de visibilidade na programação;
- Manter os recursos e aumentar a sua produtividade – através da eliminação sistemática de *muda* nos processos.

O trabalho desenvolvido neste projeto estabelece uma base para a resolução de problemas estruturais (i.e. de alto-nível, considerando a causa raiz dos problemas) para a Empresa em estudo, e os primeiros resultados apontam para a existência de um potencial de melhoria. Apesar da perspetiva positiva para as soluções propostas, restam algumas questões e desenvolvimentos que podem induzir trabalhos futuros.

No sequenciamento e planeamento do corte primário, a ferramenta construída para avaliar a solução proposta pode ser utilizada pela Empresa na parametrização das referências de folha cortada, e para a avaliação de outras soluções para este âmbito – como heurísticas e meta-heurísticas, que considerem a capacidade do equipamento como restrição. Não foi no entanto possível, em tempo útil, validar a totalidade dos resultados extraídos da ferramenta, sendo este um desenvolvimento de continuidade relativamente a este projeto.

Na preparação de trabalhos, o sistema proposto requer, para o estado atual dos processos, recursos humanos adicionais. A elevada frequência de abastecimento implica o funcionamento a quatro turnos (i.e. laboração contínua), e a adição de um operador para o ciclo de *mizusumashi*. A alternativa, mais desejada, consiste no aumento da capacidade destes processos através da redução de desperdício e *muda*, em todas as suas formas. Determina-se que, para operar com apenas um operador em laboração contínua, que acumule todas as funções de preparação e abastecimento de materiais e consumíveis, é necessária a redução de 72 horas por semana de trabalho equivalentes a desperdício nos processos.

Várias soluções foram propostas que permitiriam atingir esse objetivo, nomeadamente ao nível de alteração do *layout* fabril, e da instalação de mecanismos de automatização de certos processos, mais próximos do ponto de uso. O seguimento destas propostas, no sentido de aplicar progressivamente, e de forma eficiente, a solução apresentada para a preparação de trabalhos, constitui assim um desenvolvimento futuro neste âmbito.

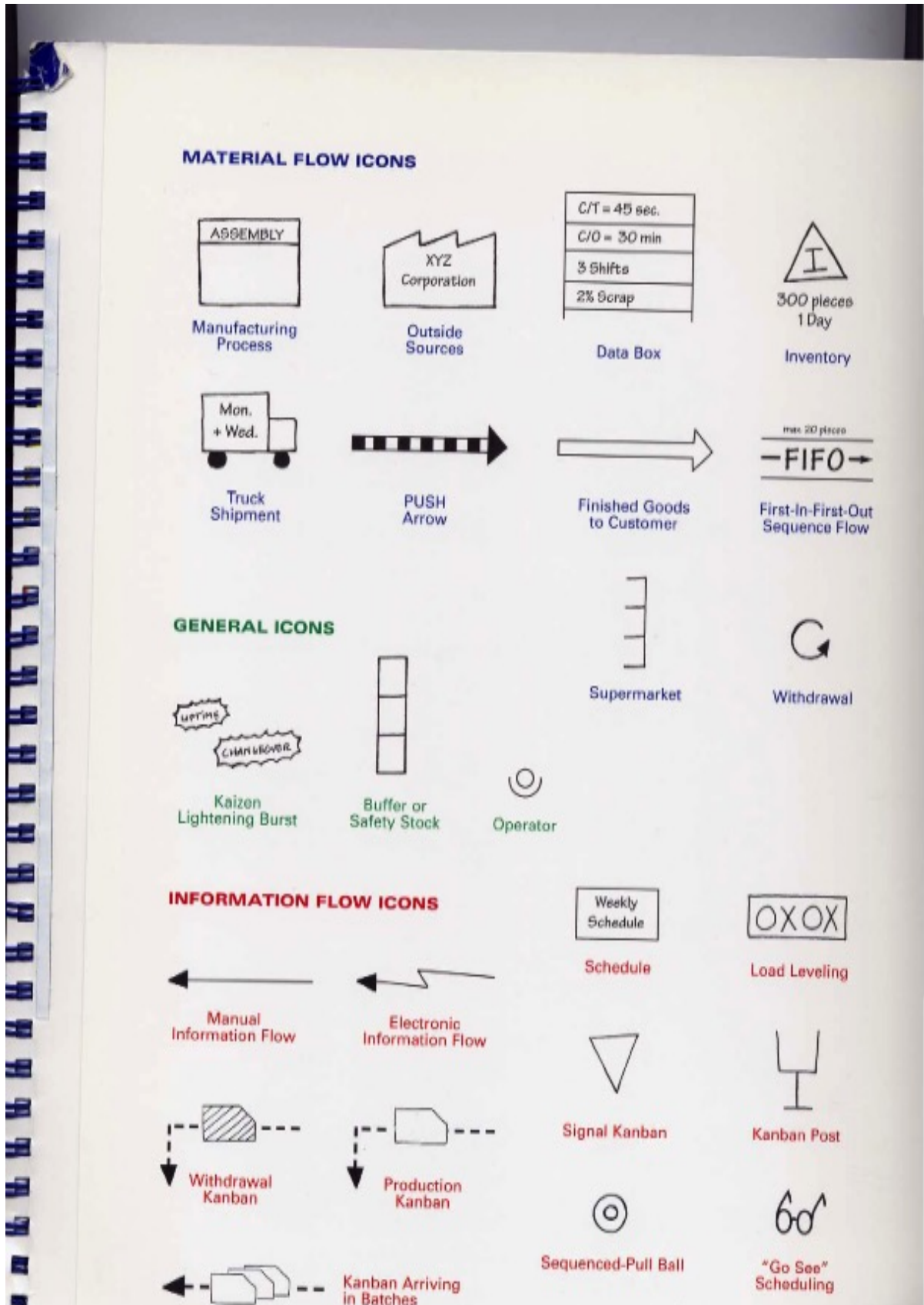
## Referências

- Abdulmalek, F. A. e J. Rajgopal. 2007. "Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study". *International Journal of Production Economics* no. 107 (1):223-236. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33846919290&partnerID=40&md5=32518964a2694ab6b44b28090998161b>.
- Allen, Theodore T. 2011. "Introduction to discrete event simulation and agent-based modeling voting systems, health care, military, and manufacturing". <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-85729-139-4>.
- Bandyopadhyay, Susmita e Ranjan Bhattacharya. 2014. "Discrete and continuous simulation theory and practice". <http://www.crcnetbase.com/isbn/9781466596405>.
- Banks, Jerry. 2005. *Discrete-event system simulation*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Bloomberg Business. 2015. "Toyota Fends Off VW to Stay Biggest Carmaker a Third Year". Acedido a 10 junho 2015. <http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-01-20/toyota-fends-off-volkswagen-to-stay-top-automaker-for-third-year>.
- Braglia, M., G. Carmignani e F. Zammori. 2006. "A new value stream mapping approach for complex production systems". *International Journal of Production Research* no. 44 (18-19):3929-3952. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33746814817&partnerID=40&md5=8df2e10522aef10220f27b0fe251a7f5>.
- Cachon, Gérard e Christian Terwiesch. 2009. *Matching Supply with Demand: An Introduction to Operations Management*. Boston: McGraw-Hill/Irwin.
- Coimbra, Euclides A. 2013. *Kaizen in logistics and supply chains*. New York: McGraw-Hill Education.
- Detty, Richard B e Jon C Yingling. 2000. "Quantifying benefits of conversion to lean manufacturing with discrete event simulation: a case study". *International Journal of Production Research* no. 38 (2):429-445.
- Gava, A.J. 1978. *Princípios de tecnologia de alimentos*. Nobel.
- George, Michael L. 2005. *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook: A Quick Reference Guide to Nearly 100 Tools for Improving Process Quality, Speed, and Complexity*. New York: McGraw-Hill.
- Grupo RAR. 2014. *Relatório e Contas 2014*. Acedido a 17 de maio de 2015. [http://www.rar.com/fotos/editor2/r\\_c\\_2013.pdf](http://www.rar.com/fotos/editor2/r_c_2013.pdf).
- Hines, P. e N. Rich. 1997. "The seven value stream mapping tools". *International Journal of Operations and Production Management* no. 17 (1):46-64.

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-3543108498&partnerID=40&md5=3c556dbad91b46bde5d1a359091b7b52>.

- K. Preston White, Jr. e Ricki G. Ingalls. 2009. "Introduction to simulation". Comunicação apresentada em Winter Simulation Conference, em Austin, Texas.
- Liker, Jeffrey K. 2004. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill.
- Montgomery, Douglas C. 2009. *Introduction to statistical quality control*. New York: J. Wiley & Sons.
- Rother, Mike e John Shook. 1999. *Learning to see : value stream mapping to create value and eliminate muda*. Brookline, MA: Lean Enterprise Institute.
- Schmidtke, D., U. Heiser e O. Hinrichsen. 2014. "A simulation-enhanced value stream mapping approach for optimisation of complex production environments". *International Journal of Production Research* no. 52 (20):6146-6160. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84906946762&partnerID=40&md5=bc124cfbccb21e205ba3950ce31d5544>.
- Solding, P. e P. Gullander. 2009. "Concepts for simulation based value stream mapping". Comunicação apresentada em Proceedings - Winter Simulation Conference.
- Soman, Chetan Anil, Dirk Pieter van Donk e Gerard Gaalman. 2006. "Comparison of dynamic scheduling policies for hybrid make-to-order and make-to-stock production systems with stochastic demand". *International Journal of Production Economics* no. 104 (2):441-453. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527304003007>.

## ANEXO A: Ícones para Mapeamento do Fluxo de Material e Informação



## ANEXO B: Formulário de Inquérito VALSAT



### Value Stream Analysis Tool (VALSAT)

<b>Área / Divisão</b>	
-----------------------	--

7 Mudanças	Fluxos			
	Folha de Flandres	Tintas	Esmaltes / Vernizes	Matrizes de Transporte
Excesso Produção				
Tempo Disp. / Espera				
Transporte				
Processamento				
Inventário				
Movimento				
Defeitos				
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>35</b>

**Regras:**

- Distribuição de 35 pontos em cada coluna, pelas várias linhas;
- Máximo de 10 pontos em cada célula

	Folha de Flandres	Tintas	Esmaltes / Vernizes	Matrizes de Transporte
Impacto na Produção	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5

**Regras:**

- Classificar de 1 a 5, sendo 1 – Impacto Residual, e 5 – Impacto Muito Elevado

## ANEXO C: Process Activity Map do Fluxo de Tintas Base

MAPEAMENTO DAS ATIVIDADES DO PROCESSO				Fluxo de Tintas Base				Data:					
#	Atividade	Fluxo	Recurso / Equipamento	Distância (m)	Tempo (min)	Quantidade	Pessoas	Transformação	Transporte	Inspeção	Armazém	Atraso	Comentários
1	Armazenar Material <i>Inbound</i>	S	Armazém de MP Inflamáveis										Aproximadamente 37 dias de cobertura de Tintas Base em Armazém
2.1	Transportar para o Laboratório de Tintas	T	Condutor / Empilhador	105	15:00	1 Palete	1						O condutor transporta uma palete com várias caixas (1 caixa = 4 baldes de tinta), com base na requisição de tinta
2.2	Abastecer Supermercado	T	Operador Laboratório de Tintas	4	13:00	1 Palete	1						Uma paleta correspondeu, numa observação, a 22 caixas de baldes de tinta
2.3	Armazenar em Supermercado	S	Laboratório de Tintas										Supermercado de Tintas Base, com capacidade máxima para 672 baldes de tinta
2.4	Abastecer Linha	T	Operador de Linha (Ajudante de Impressor)	52	05:00		1						Quando termina um (ou vai necessitar de mais) balde(s) de tinta, é o ajudante de impressor que se desloca ao Laboratório e recolhe as embalagens de que necessita
3.1	Transportar para a Linha de Produção (L15)	T	Condutor / Empilhador	33	10:00	1 Palete	1						Linha L15 situada próximo do Armazém de MP Inflamáveis, e recebe diretamente as tintas (multicromia + branco opaco) numa paleta, colocada a entrada da linha
3.2	Abastecer Linha	T	Operador Laboratório de Tintas	5	11:10	1 Palete	1						O operador do Lab. Tintas desloca-se à Linha para fazer o abastecimento do Bordo de Linha
4	Esperar pela Ordem de Produção	D			48:00:00								Observações na Linha registaram uma média de 10 baldes de tinta base p/ entrar, o que corresponde a 2 dias de cobertura (média de 5 baldes diários de tinta base)
5	Imprimir na Folha de Flandres	O	Linha de Impressão		2:19:00		2						Tempo Médio entre Setups (com mudança de tinteiros e/ou formato)

	Variante 2.X	Variante 3.X
Tempo Total de Processo	50:52:00	50:40:10
Tempo de Valor Acrescentado	2:19:00	2:19:00
Tempo de V.A. / Tempo Total	4,55%	4,57%
Distância Percorrida	161	38
Operadores	4	4

## ANEXO D: Process Activity Map do Fluxo de Tintas Compostas

MAPEAMENTO DAS ATIVIDADES DO PROCESSO				Fluxo de Tintas Compostas				Data:					
#	Atividade	Fluxo	Recurso / Equipamento	Distância (m)	Tempo (min)	Quantidade	Pessoas	Transformação	Transporte	Inspeção	Armazém	Atraso	Comentários
1	Armazenar em Supermercado	S	Laboratório de Tintas										Supermercado de Tintas Base, com capacidade máxima para 672 baldes de tinta
2	Adicionar e Pesar Tinta	O	Operador Laboratório de Tintas		03:40	1 Balde	1						1 Balde de Tinta Composta = 1-2,5 kg (dependendo das necessidades da Ordem)
3	Misturar Tinta Composta	O	Agitador Laboratório de Tintas		07:48	1 Balde							Agitador mecânico mistura as tintas adicionadas; inclui tempo para lavagem dos componentes do agitador e da espátula (ocupação parcial do tempo do operador)
4	Esperar por Abastecimento Linha	D			3:00:00								Matrizes abastecidas à linha no final do turno (~15h00)
5	Abastecer Linha	T	Operador Laboratório de Tintas	229	10:00		1						Operador do Lab. Tintas percorre, ao final do dia, todas as linhas L5, L11, L13 e L15, e descarrega as tintas compostas a abastecer; o carro de transporte de tintas utilizado tem capacidade para 30 baldes
6	Esperar pela Ordem de Produção	D			84:00:00								Lead-Time de aproximadamente 3 dias e meio
7	Imprimir na Folha de Flandres	O	Linha de Impressão		2:19:00		2						Tempo Médio entre Setups (com mudança de tinteiros e/ou formato)
8	Esperar pelo Retorno da Tinta	D			22:00:00								Retorno feito diariamente à mesma hora (exceto fins-de-semana e feriados), correspondendo a 22h00 de tempo médio







## ANEXO G: Ficha de Standard Work do Mizusumashi

