



Total Flow Management
Dimensionamento de Supermercados na Indústria
Kaizen Institute Consulting Group

Miguel Borges Feijóo Pinto

Projecto de Dissertação do MIEIG 2007/2008

Orientador na FEUP: Prof. António Brito

Orientador no Kaizen Institute: Engenheiro Tiago Sanchez



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão

2008-09-08

*Aos meus pais e à minha irmã sem os quais não seria possível chegar até aqui,
a toda a minha família pelo apoio incondicional,
a todos os meus amigos pela paciência e compreensão.*

Resumo

No âmbito da disciplina de projecto inserida no último ano do plano de estudos do MIEIG - Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, foi-me proposto a realização de um projecto no Kaizen Institute associado ao tema “Dimensionamento de Supermercados na Indústria”.

A análise é restrita a sistemas de produção Lean, baseados no conceito de eliminação de desperdício ao longo da cadeia de valor, introduzido pela Toyota Motor Corporation. O objectivo inerente a esta abordagem é identificar as vantagens de sistemas de inventário Lean no âmbito da criação de fluxo em cadeias “*Pull Flow*”.

Existe um foco evidente para a logística interna industrial, no âmbito do seu processamento e optimização, sendo apontadas vantagens e desvantagens da utilização de diferentes mecanismos logísticos. A abordagem apresentada não se restringe, no entanto, apenas à logística industrial devido à importância da integração dos processos num sistema global, sendo aprofundados conceitos como Nivelamento e Planeamento de Produção em “*Pull*” e o seu impacto a nível logístico.

O objectivo deste trabalho é modelar um sistema de controlo de inventário Lean, mantendo presente a importância da aplicação e restrições comuns à sua implementação. É igualmente apresentada uma visão estratégica no âmbito do posicionamento de inventário na cadeia de valor, assim como outras funcionalidades e vantagens, nomeadamente na criação de fluxo e sincronização de processos produtivos.

De forma a tornar a análise o mais abrangente possível, o trabalho é direccionado para o dimensionamento de uma cadeia de valor genérica, cuja aplicabilidade é ampla. Com o foco de tornar este projecto o mais prático e objectivo possível, são apresentados alguns casos reais de implementação e análise dos resultados obtidos. As conclusões relativamente à viabilidade de cada um dos mecanismos apresentados são referidas ao longo do trabalho e resumidas no último capítulo.

Total Flow Management – Industrial Supermarkets Dimensioning

Abstract

In the scope of the project course that integrates the last year of the MIEIG – Master in Industrial Engineering and Management, by the College of Engineering of the University of Porto, a project linked to subject “Industrial Supermarkets Dimensioning” was proposed to me by *Kaizen Institute*.

The analysis throughout the project is limited to Lean production systems, based on the waste elimination concept along the whole value chain, introduced by Toyota Motor Corporation. The target that lays underneath this approach is to determine the advantage of Lean inventory systems upon the creation of production flow in *Pull Flow* value chains.

There is an obvious focus on the industrial internal logistics, in what concerns to its processing and optimization, pointing out advantages and disadvantages of different logistic mechanisms. Nevertheless, the approach here taken turns out to be broader than involving just logistics due to the importance of process integration in a global system. Concepts as Levelling and Pull Production Planning, and its impact on a logistics level are considered as well.

The goal of this project is to model Lean inventory control systems, keeping in mind the importance of its application and common restrictions to its implementation. A strategic vision concerning the positioning of inventory systems along the value chain is also presented, as well as another details and advantages, namely upon the creation of production flow and process synchronization.

In order to make this analysis as broad as possible, the work developed is pointed towards the dimensioning of a generic value chain, that matches most of the real cases. Acknowledging the importance of a practical side on the subject, some case studies of real implemented situations are presented and analysed. The conclusions concerning the mechanisms presented are referred along the paper and summarized on the last chapter.

Agradecimentos

Ao Engº Tiago Sanchez e Engº Ivo Ramos pela sua disponibilidade e conhecimentos que me transmitiram, assim como pela motivação recebida ao longo deste projecto.

Ao Profº António Brito pelo seu apoio e orientação no projecto.

A toda a equipa do Kaizen Institute Portugal, pela confiança profissional e pessoal, que tanto facilitou a minha integração e desenvolvimento.

Glossário

Bordo de Linha: Local próximo da linha produtiva onde se encontram os materiais necessários à operação executada na mesma.

Bullwhip Effect: Padrões disfuncionais mas estáveis, tais como flutuações de volume a serem amplificadas a jusante na cadeia de valor, devido à falta de transparência existente nas ligações entre os diferentes agentes de uma cadeia de valor.

EPEI: “Every Part Every Interval”. Representa a frequência de produção de uma determinada referência. A base de referência do indicador pode ser por hora, dia, semana ou mês, dependendo do processo em questão.

ERP: “Enterprise Resource Planning”. São sistemas de informações que integram todos os dados e processos de uma organização em um único sistema

FIFO: “First In First Out”. O primeiro a entrar é o primeiro a sair.

Gemba: Palavra japonesa para o local onde a acção acontece, frequentemente utilizada para descrever na indústria o chão de fábrica.

Junjo: Palavra japonesa para sequência. É habitualmente utilizado para fluxos de informação sequenciados (por exemplo, ordens de produção em sequência)

Just In Time (JIT): Forma de descrever uma cadeia de valor, observada originalmente na Toyota, em que só se produz o que o cliente necessita no momento em que ele necessita, e que por consequência possui níveis de stock muito baixos. Está directamente associado ao conceito de Pull Flow.

Kanban: Palavra japonesa que significa cartão. É habitualmente utilizado para fluxo de informação (por exemplo para originar uma ordem de produção).

Kaizen: Palavra japonesa que significa Melhoria Contínua.

Lean: Significa magro, sem desperdício. É utilizado para descrever um sistema de produção denominado “Lean Production”, associado ao conceito de “Just In Time”.

Muda: Palavra japonesa para desperdício, ou seja, tudo o que não acrescenta valor.

MRP: “Material Requirement Planning”. Planeamento das necessidades de material.

OEE: "Overall Equipment Efficiency" é um indicador da eficiência de equipamentos

Picking: Processo de recolha, ao armazém, de um ou mais materiais necessários numa linha de produção ou numa célula logística.

POU Supplier: “Point of Use Supplier”. Fornecedor até ponto de uso do material em questão.

Pull Flow: Forma de planeamento onde se produz unicamente o que o cliente consome. A produção é puxada pelo cliente, estando este associado a uma ordem de produção.

Push Flow: Forma de planeamento oposta ao Pull Flow. A produção é empurrada até ao cliente, tendo por base previsões.

SMED: “Single Minute Exchange of Die”. Mudança rápida de Ferramentas, método elaborado inicialmente por Shigeo Shingo.

SNP: “Standard Number of Parts”. Equivale ao número de peças standard de um contentor de material.

Standard Work: Trabalho normalizado.

WIP: Work In Process (Material em Curso de Fabrico),

Índice de Conteúdos

1	Introdução	4
1.1	Sistema de Produção “Just-in-Time”	4
	Fluxo de Material	4
	Fluxo de Informação	8
2	Dimensionamento de Supermercados	13
2.1	Introdução e Conceitos	13
	Supermercado na Cadeia de Valor	13
	Ciclo de Reabastecimento por <i>Kanban</i>	14
	Análise de Variabilidade e Stock de Segurança	17
2.2	Tipos de Supermercados	18
	Supermercado de Produto Acabado	19
	Supermercado de Produto Intermédio sem Tempo de Setup	21
	Supermercado de Produto Intermédio com Tempo de Setup	23
	Supermercado de Linha - Bordo de Linha	26
	Supermercado de Matéria-Prima	30
2.3	Sincronização através de Supermercados	33
	Fluxo de Informação e Material	34
	Dimensionamento do Supermercado	35
3	Casos Práticos e Aplicações	36
3.1	Supermercado de Matéria-Prima	36
	Análise da Situação Actual	36
	Análise da Situação Futura	36
3.2	Supermercado de Componentes com Tempo de Setup	38
	Análise da Situação Actual	38
	Análise da Situação Futura	39
4	Conclusões	41
5	Referências e Bibliografia	42

1 Introdução

O conceito de Logística surgiu da necessidade de executar todas as operações de alocação de bens ou serviços minimizando o desperdício associado às mesmas. Sendo operações que raramente acrescentam valor ao produto, a centralização das mesmas tornou-se crítica não só devido à sua importância, mas também devido à complexidade das actividades. De acordo com (Baudin, 2004), no ramo industrial, a Logística cobre não só todo um espectro de fluxo de material entre fábricas (Logística Externa) e entre linhas de produção (Logística Interna), mas também todos os fluxos de informação gerados pelo processamento de transacções associadas ao fluxo de materiais, análise de actividade histórica, previsões, planeamento e calendarização de actividades futuras.

1.1 Sistema de Produção “Just-in-Time”

O “Just-in-Time” é um sistema de produção no qual as ordens firmes do cliente são o elemento despoletador da produção. Como consequência, uma empresa apenas produz o que é necessário, na quantidade certa, e no momento certo.

De uma forma geral, isto significa que os níveis de inventário de matéria-prima, componentes, WIP (Work in Progress) e produto acabado se mantenham no mínimo para satisfazer o cliente.

Após a 2ª Guerra Mundial, o engenheiro chefe da Toyota Motor Corporation, Taiichi Ohno, visitou a Ford nos Estados Unidos da América com o objectivo de observar o conceito de “Just-in-Time” proposto por (Ford, 1923). O excesso de inventário ao longo de toda a cadeia de valor, assim como a falta de “Standard Work” dos operadores, levou os executivos da Toyota a concluir que a implementação de tal sistema estava longe de ser bem sucedida. Curiosamente o que mais entusiasmou Ohno foi a cadeia de supermercados Piggly Wiggly, onde os mesmos empresários observaram um sistema “Just-in-Time” melhor implementado, e que mais tarde conduziu à criação do seu próprio TPS (Toyota Production System).

Um dos requisitos essenciais deste sistema é um cuidadoso planeamento de produção e fluxo de recursos ao longo de todo o processo produtivo. É por isso essencial criar um sincronismo entre a cadência de consumo de produtos por parte do cliente (TAKT Time) e a cadência produtiva (Tempo de Ciclo). Para que tal sincronismo exista, torna-se necessário garantir a eficiência de dois tipos de fluxos: Fluxo de Material e Fluxo de Informação, os quais serão aprofundados de seguida.

Fluxo de Material

O fluxo de material é medido através do lead time de um produto, ou a velocidade com que um produto atravessa todo o processo produtivo. O estudo do sistema de fluxo de material será ser dividido em dois vectores: Inventário e Transporte. Dado que ambos são apenas

processos-suporte para a criação de valor e constituem “muda”, então o objectivo é eliminá-los (Imai, Kaizen - The Key to Japan's Competitive Success, 1986) ou, caso seja impossível, reduzi-los ao nível óptimo. Esta optimização deve, no entanto, garantir a máxima eficiência do processo que acrescenta valor, mas com a consciência de que tanto transporte como inventário devem ser minimizados. A Figura 1 - Estruturas de Fluxo de Material representa as actividades-suporte de transporte e inventário que existem em redor do processo que acrescenta valor.

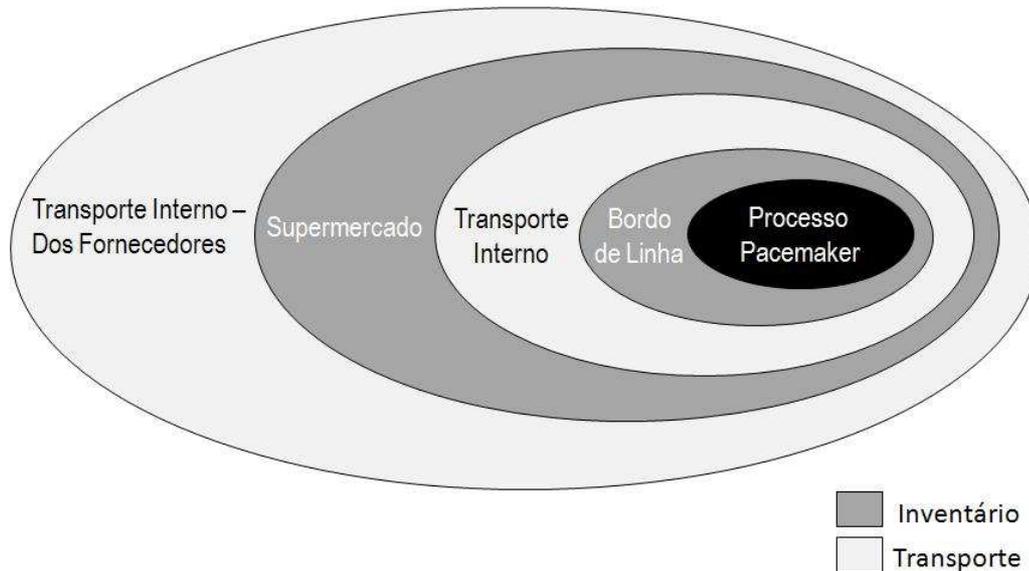


Figura 1 - Estruturas de Fluxo de Material

Transporte

Usualmente, a logística interna é executada com recurso a empilhadores, stackers, porta-paletes ou carros de transporte. Estes deslocam-se em função das necessidades, assemelhando-se a um táxi, no sentido em que recebem a informação, deslocam-se até ao material, transportam-no e regressam à sua origem, em vazio (Figura 2a). Do ponto de vista da peça transportada, um táxi pode ser pontualmente mais rápido, no entanto de uma forma global, o conceito de metro ou autocarro é mais eficiente a percorrer uma totalidade de pontos devido à sua rapidez/frequência normalizada (Figura 2b).

É segundo o último pressuposto que nasce o conceito de Mizusumashi - um trem logístico encarregue do fluxo de informação e material, que percorre ciclicamente uma rota com horário bem definido. A elevada frequência de abastecimento gera uma grande rotatividade de material. A velocidade impressa ao material permite ter menos material parado no cliente (linha de produção/montagem, supermercado, etc.).

A concentração de desperdício no transporte através de Mizusumashi garante não só a máxima produtividade à linha - operação de valor acrescentado, como um aumento da produtividade do abastecedor, como consequência da eliminação das deslocações em vazio e a possibilidade de normalizar as tarefas deste mesmo abastecedor.

A logística externa engloba todo o transporte e manuseamento de material com agentes externos - do fornecedor de matéria-prima até ao reabastecimento no armazém/supermercado, como do armazém de produto acabado até ao cliente externo. Relativamente ao transporte associado a estas movimentações de material, a utilização de “Milkruns” é aquela que permite obter maiores ganhos de eficiência, pelas mesmas razões indicadas aquando da explicação do conceito autocarro/metro do Mizusumashi. Entre as múltiplas soluções para este problema,

destaca-se a criação de zonas de descarga e expedição descentralizadas, com abastecimento linear e independente; a utilização de *E-Kanbans* com clientes e fornecedores externos e a implementação de janelas horárias para recepção e expedição, de forma a nivelar a carga dos processos ao longo do tempo.

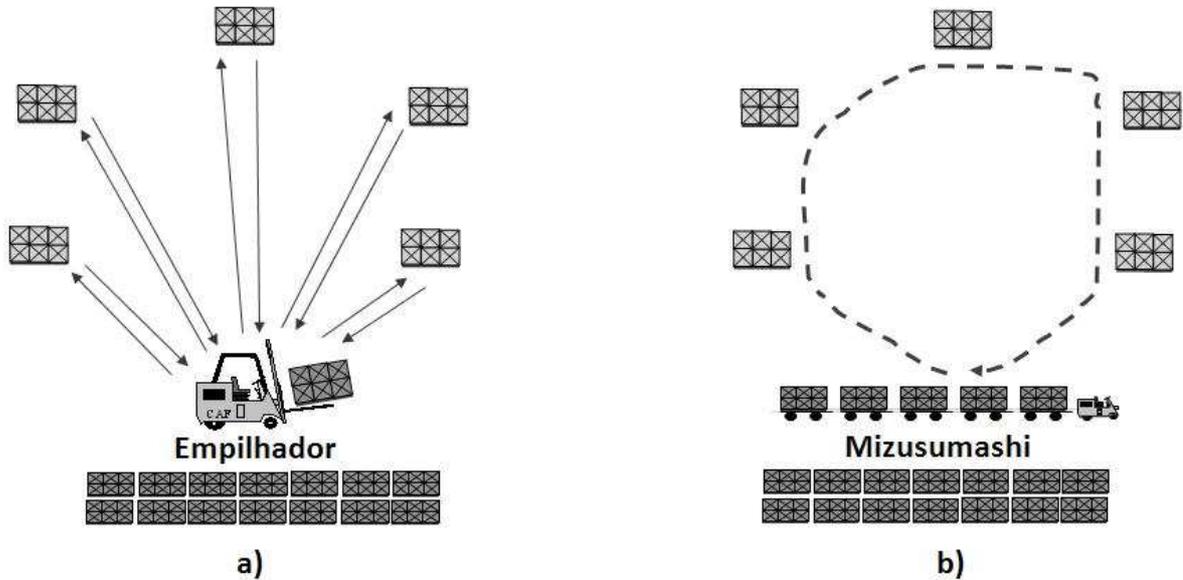


Figura 2 - Empilhador vs. Mizusumashi

Inventário

No âmbito do inventário são indicadas duas estruturas principais de apoio, sendo elas: Bordo de Linha e o Supermercado.

O objectivo do bordo de linha é fornecer o material necessário a uma determinada operação, sendo a sua estrutura o mais ergonómica possível, e por isso direccionada para minimização do movimento do operador. Para tal, devem ser utilizadas caixas pequenas que permitam a existência de todos os materiais necessários e em pequena quantidade. A escolha do sistema de abastecimento do bordo de linha (*Kanban* ou *Junjo*) dependerá essencialmente do volume, frequência de consumo, variantes da mesma peça e do valor de cada peça em questão.

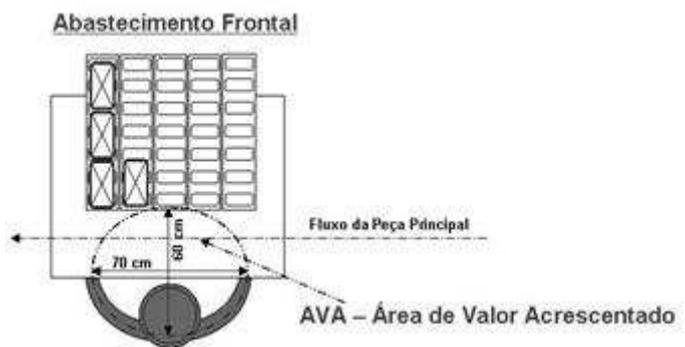


Figura 3 - Estrutura do Bordo de Linha

O objectivo de um supermercado é abastecer material a uma ou mais linhas, sendo que o sistema de abastecimento funciona por reposição em função do consumo.

A sua construção ao nível do chão, assim como localizações fixas para cada referência, permitem ganhos de produtividade nas operações de *picking* e de reposição. Podemos então afirmar que um dos principais benefícios de um supermercado relativamente a um armazém comum está na velocidade do manuseamento do material, sendo por isso uma ferramenta essencial na criação de fluxo, e essencial na implementação de “*Pull Flow*”. A criação de inventário - através de supermercados - é igualmente aplicado quando é muito difícil integrar operações, e em processos cujo sincronismo é difícil. Isto porque o supermercado é também uma ferramenta de sincronização.

Dado que este é o tema central da tese, o mesmo será abordado com maior detalhe na Secção Dimensionamento de Supermercados.

Fluxo Nivelado

O conceito de nivelamento foi introduzido pela Toyota e inicialmente aplicado à sua linha de montagem final. As duas principais vantagens da implementação do conceito consistem na estabilização do consumo de componentes provenientes do processo anterior, e no aumento da frequência de abastecimento ao supermercado a jusante. Podemos então dizer que o grau de nivelamento reflecte a flexibilidade de uma determinada fábrica. Segundo a Toyota existem cinco graus de nivelamento ilustrados na Figura 4.

Progredindo no grau de nivelamento da produção, verifica-se que para uma mesma procura mensal, a frequência de produção de cada referência vai aumentando, resultando numa diminuição do tamanho de lote, até se atingir um nível de produção unitária. O indicador que se utiliza para medir o grau de nivelamento de um processo produtivo denomina-se EPEI (*Every Party Every Interval*), representando a periodicidade produtiva de cada referência. Este indicador é obtido pelo inverso do número de setups dedicado a uma referência durante um determinado intervalo de tempo.

O impacto de cada um destes graus nos processos a montante é distinto. Para os primeiros graus de nivelamento, na perspectiva do processo a montante, a procura de uma determinada referência irá ser pontual e de grande volume, conduzindo usualmente a níveis de inventário elevados e dificuldade na alocação de recursos, nomeadamente mão-de-obra devido à comum falta de flexibilidade.

Nos últimos graus de nivelamento, verifica-se um consumo diário ao longo do mês e nos dois últimos casos com frequência superior a diária. Esta situação facilita o planeamento de recursos a montante devido à baixa variabilidade do volume de produção de dia para dia, conduzindo a uma redução de inventário de componentes e matéria-prima, devido à inexistência de picos de procura. Os últimos graus de nivelamento contribuem largamente para a diminuição do efeito Bullwhip, devido à estabilização e distribuição homogénea da procura ao longo do tempo, o que não só evita amplificações da procura, como inclusive contribui para a sua diminuição ou mesmo eliminação. Note-se que o último grau de nivelamento só é atingido se o tempo de mudança de referência for aproximadamente nulo.

A progressão para graus de nivelamento superiores depende essencialmente da flexibilidade dos recursos existentes, sobretudo no âmbito de capacidade para mudanças de referência (setup). Quanto maior for o tempo de setup entre referências, menor o número de setups possíveis no mesmo intervalo de tempo, impossibilitando atingir graus de nivelamento elevados com tamanhos de lote reduzidos. As melhores estratégias para obter tamanhos de lote reduzidos são baseadas em operações de aumento de OEE (Overall Equipment Effectiveness), assim como operações de redução do tempo de setup (SMED - Single Minute

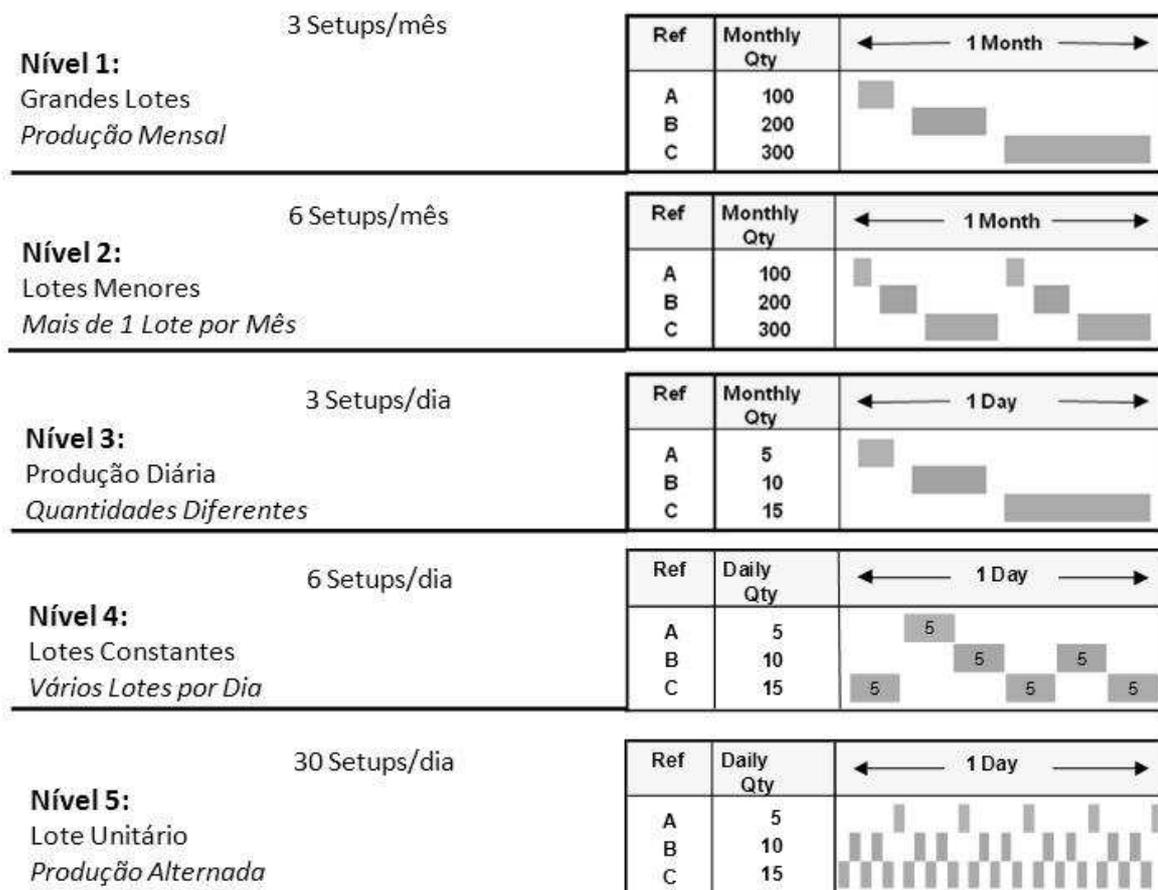


Figura 4 – Nivelamento Toyota

Exchange of Die). O resultado de ambas as estratégias é aumentar o tempo de abertura para produção, no entanto este tempo deverá ser utilizado para aumentar o número de setups, evitando cair no erro comum de criar produção em excesso.

Fluxo de Informação

Em (Baudin, 2004) é referido que, apesar da Logística Interna estar normalmente sobre o controlo de uma só organização, a Logística Externa desenvolve-se obrigatoriamente através de ligações entre agentes económicos, cada um dos quais agindo de acordo com pressupostos criados relativamente aos outros. A falta de transparência existente nestas ligações resulta normalmente em padrões disfuncionais mas estáveis, tais como flutuações de volume a serem amplificadas a montante na cadeia de valor. Este efeito foi denominado por efeito de “Bullwhip” pelo investigador da Stanford Business School, Hau Lee. A Figura 5 representa o fluxo de informação ao longo da cadeia e a amplificação do volume das ordens de um cliente.

FLUXO DE INFORMAÇÃO NA CADEIA

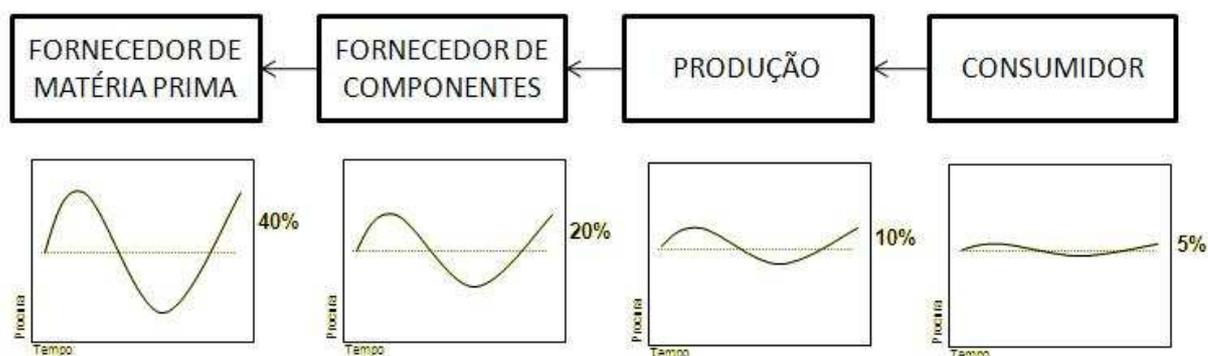


Figura 5 - Efeito Bullwhip

As causas do efeito Bullwhip podem ser diversas, no entanto destacam-se as seguintes:

1. *Variações no tamanho de lote.* A falta de flexibilidade nos processos a montante obriga os mesmos a produzir lotes de dimensões superiores ao consumido pelo processo a jusante criando uma amplificação da procura.
2. *Utilização de informação do cliente imediato em vez de informação do cliente final.* A falta de transparência no fluxo de informação ao longo da cadeia pode ser crítico sobretudo se o factor anterior se verificar. A inexistência de um standard de informação torna difícil detectar produção em excesso.
3. *Reacção excessiva a alterações na procura - criação de stock de segurança não normalizado.* A insegurança por parte dos participantes na cadeia de valor resulta num aumento de stock de segurança por parte de cada um. Este factor deve-se ao facto dos mesmos se confrontarem com a incerteza da próxima ordem e preferirem criar um nível de inventário "confortável" para evitar falhas de serviço.
4. *Compra antecipada de produtos sazonais.*
5. *Falta ou excesso de capacidade para responder à procura real.* A falta de capacidade num processo produtivo conduz à construção de tamanhos de lote de grandes dimensões. A dimensão da ordem de produção irá criar um pico de consumo nos processos a montante assim como um aumento do nível de inventário de produto acabado. Excesso de capacidade produtiva torna-se crítico devido à tendência natural de produzir em excesso para rentabilizar o investimento nos recursos existentes.
6. *Produção por previsões.* Este factor é notório sobretudo no caso do lead time de entrega ser superior ao nível de serviço requerido.

Inclusive a maioria dos sistemas ERP estão modelados e programados segundo regras que potenciam o efeito. A eliminação do mesmo ao longo da cadeia é conseguida, não só através do nivelamento da produção, como também através da implementação de um sistema de planeamento de produção com transparência de informação (“Pull Planning”).

Tipo de Fluxo de Informação

Depois de o nivelamento ser apresentado como solução para o efeito Bullwhip, torna-se pertinente investigar como criar um standard para o planeamento da produção.

Por fluxo de informação entende-se o modo como o lançamento das ordens de produção são dadas. Mais especificamente, como é que o planeamento de produção é realizado. No âmbito desta classificação, podemos considerar duas famílias de sistemas de planeamento de produção: “*Push*” e “*Pull*”.

Num sistema de produção “*Push*”, as ordens de produção são calendarizadas de acordo com as encomendas do cliente, de forma a cumprir os prazos de entrega. Este sistema, associado a um modelo MRP, foi concebido com o objectivo de minimizar níveis de inventário. Com base no prazo de entrega, o sistema gera ordens a todos os processos de forma a ter a ordem pronta para expedir na data prevista. Para cada processo interno são geradas diferentes ordens de acordo com as suas limitações produtivas e o material é empurrado ao longo da cadeia de abastecimento. A figura que se segue ilustra a estrutura de um sistema de produção em *Push* (Figura 6).



Figura 6 - Sistema *Push*

O principal problema associado a este sistema produtivo baseia-se no facto das ordens de produção serem normalmente geradas com base em previsões da procura. Sempre que exista um desvio das previsões relativamente ao consumo real, irá existir produção em excesso ou em defeito. Por outro lado, a existência de processos com diferentes flexibilidades, induz variabilidade nos tamanhos de lote, implicando mais uma vez produção em excesso. Lotes de grandes dimensões, assim como um lead time do processo elevado são características comuns a estes tipos de sistema.

Num sistema de produção “*Pull*”, as ordens de produção são ordens do cliente arredondadas ao tamanho de lote mínimo de produção, sendo o consumo o elemento que despoleta a produção. A estrutura de tal sistema é composta por ciclos de reposição, significando que cada vez que existe consumo de um determinado componente, o processo a montante é responsável pela sua reposição. A figura que se segue ilustra uma estrutura típica de um sistema de produção em “*Pull*” (Figura 7).

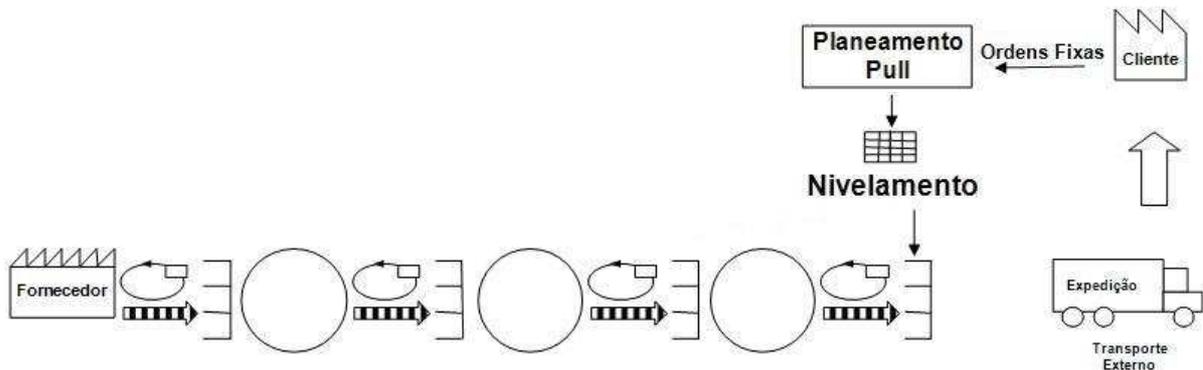


Figura 7 – Sistema Pull

O conceito inerente a este sistema difere do conceito “Push” na medida em que o objectivo é sempre repor o consumo, e não prevê-lo. O consumo no supermercado de produto acabado irá despoletar uma ordem de produção da linha de montagem final, que por sua vez consome componentes que irão ser repostos pela linha intermédia, etc. Os ciclos de reposição prosseguem ao longo da cadeia de abastecimento. As principais vantagens deste sistema relativamente ao sistema “Push” são:

- *Eliminação do Efeito Bullwhip*: Apenas é produzido o necessário para repor o que foi consumido - possível redução de stock.
- *Aumento de sincronização entre processos*: A necessidade de introdução de ferramentas de criação de fluxo, permite sincronizar processos que até então eram considerados difíceis ou impossíveis de sincronizar.
- *Melhoria do Nível de Serviço*: Dado que o cliente consome directamente do supermercado, à partida, se o mesmo estiver bem dimensionado, não existem razões para que a entrega não seja bem sucedida.
- *Planeamento Simplificado*: O planeamento da produção é feito apenas num ponto da cadeia de valor.

O Instituto Kaizen (Institute, 2008) apresenta um modelo para a implementação de um standard de planeamento que é suportado por três pilares: Estratégia de Planeamento, Planeamento de Capacidade e Plano de Execução.

Estratégia de Planeamento: Consiste em definir que produtos irão ter inventário em armazém, em função do seu consumo, frequência de consumo e valor. O objectivo desta análise é otimizar a quantidade global em inventário, evitando criar stock para referências que têm consumos esporádicos. A principal ferramenta utilizada para o efeito é a análise de Pareto. As categorias de produtos a considerar são:

- A - 80% do volume ponderado pelo consumo, frequência e valor;
- B - 15% do volume ponderado pelo consumo, frequência e valor;
- C - 5% do volume ponderado pelo consumo, frequência e valor.

A análise termina quando fica definido se uma determinada referência é:

- MTS: Make-to-Stock - Produção de um determinado produto ou componente com o objectivo de repor ou criar inventário, ou
- MTO: Make-to-Order - Produção de um determinado produto ou componente de acordo com as especificações da ordem do cliente.

A comparação entre o lead time de entrega e o nível de serviço acordado com o cliente é o agente decisivo na definição de uma política MTS ou MTO. Uma referência A ou B é normalmente MTS e uma referência C é normalmente MTO. No entanto é usual que referências A ou B em consumo se tornem MTO devido a baixa frequência de consumo. Dado que apenas as referências MTS funcionam de acordo com o princípio “*Pull*”, torna-se crítico manter inventário de uma percentagem significativa de referências de modo a maximizar o benefício da solução. Verifica-se desta forma que a qualidade desta análise é crítica no tocante a estratégia de serviço ao cliente e potencial performance de entrega.

Planeamento de Capacidade: O planeamento de capacidade consiste em determinar, de forma standard, os recursos a alocar a um determinado intervalo de tempo (semestre/mês/semana) para a produção de um determinado produto. As principais variáveis que intervêm na análise são a procura total do cliente e as variações de inventário pretendidas. Com base nestas variáveis é possível determinar a procura total do processo, sendo este o ponto de partida para o dimensionamento de recursos necessários. Devido à relação de compromisso entre o modelo de turnos a implementar e o tamanho de lote pretendido, uma análise custo-benefício é por vezes a melhor solução para obter o modelo mais adequado. O custo de um turno extra terá de contrabalançar com o benefício da redução de inventário ao longo de toda a cadeia de valor. A diminuição do tempo de mudança de referência contribui directamente para um aumento da flexibilidade produtiva, resultando numa diminuição do tempo de abertura necessário à produção, podendo inclusive permitir a redução do número de turnos. Mais uma vez, destaca-se o impacto do tempo de mudança de referência no planeamento.

Plano de Execução: O plano de execução determina como é que a cadeia vai ser planeada e sequenciada de forma a responder aos prazos de entrega do cliente. Desta forma, o pilar encontra-se subdividido em dois segmentos: “Planeamento em *Pull*” e Nivelamento. O objectivo do “Planeamento em *Pull*” é garantir a transparência de informação no planeamento (diário, semanal, mensal) da produção, garantindo desta forma que a procura do cliente é transposta para ordens de produção. Por Nivelamento entende-se o sequenciamento e divisão de um determinado volume de produção planeado para a produção. Este processo tem como objectivo aumentar a estabilidade de consumo de componentes e matéria-prima, acelerar e tornar mais frequente o processo de reposição ao supermercado e facilitar o “Standard Work” para os operadores.

Por exemplo, nas linhas de montagem automóvel, o nivelamento torna-se crítico devido ao facto de existir uma velocidade fixa na linha, mas carros com diferentes cargas de trabalho.

2 Dimensionamento de Supermercados

2.1 Introdução e Conceitos

O material armazenado dentro de uma fábrica é normalmente classificado como Matéria-Prima / Componentes, WIP ou Produto Acabado. A estrutura mais comum de armazenagem de material é composta por:

- *Armazém Central*: Caracterizado pela grande capacidade de armazenamento e facilidade na movimentação de grandes lotes.
- *Armazéns Periféricos (Supermercados)*: Caracterizados pela sua multiplicidade em género e quantidade ao longo da cadeia de valor, dimensão reduzida e fluxo unitário.

A estrutura de fluxo de material entre um armazém central e supermercados pode ser de variadíssimas formas. Idealmente, o conceito de Armazém Central seria eliminado se o abastecimento de material proveniente do agente externo fosse frequente, e se o mesmo fosse recepcionado e imediatamente redireccionado para os supermercados de linha (conceito “Ship to Line”). Esta visão quebra o paradigma da centralização de inventário, mas a sua viabilidade é por vezes restrita. Das principais restrições, (Baudin, 2004) destaca:

- *Entregas irregulares por parte do fornecedor*: Força a existência de um stock de segurança para assegurar material para produção.
- *Controlo de Qualidade*: Devido a questões de qualidade, os produtos do fornecedor são forçados a passar por um controlo de segurança.
- *SNP Variável*: A quantidade por caixa entregue em cada linha varia, podendo ser simultaneamente diferente do SNP fornecido pelo cliente. Este problema obriga normalmente a uma operação de *repacking* antes do material ser transferido para o supermercado.

O conceito de supermercado surge como uma das ferramentas de eliminação de “muda” da cadeia de valor, e o primeiro no tocante a logística interna. Em oposição à movimentação de lotes, estabelece-se o conceito do fluxo unitário em função da necessidade. De uma forma geral podemos dizer que este elemento facilita a criação de fluxo ao longo de toda a cadeia de valor.

Supermercado na Cadeia de Valor

De uma forma geral, o conceito de inventário existe para absorver as variações de capacidades dos processos, permitindo desta forma sincronizar operações. O conceito de um supermercado alimentar, por exemplo, surge com a impossibilidade de cada indivíduo obter o produto que deseja, na quantidade que deseja, directamente do produtor. Neste caso o sincronismo entre o cliente final e o produtor torna-se impossível, pois o consumidor final tem uma frequência de

consumo bastante superior à possível frequência de abastecimento. Para contornar este problema, os hipermercados dimensionam um determinado nível de inventário de cada produto que deve ser proporcional à disparidade entre a frequência de abastecimento e frequência de consumo, pesado pelo volume do consumo.

Numa visão macroscópica, a sincronização produto-quantidade-timing entre um determinado cliente final e fábrica é dos maiores desafios de um sistema produtivo Lean.

Tendo em conta que na maioria das situações os prazos de entrega de produtos não podem ser função do lead time interno mas sim da política comercial da empresa, torna-se crítico encontrar uma solução para os casos em que o lead time interno é superior ao prazo de entrega do produto. Consideremos a cadeia logística da Figura 8 a título de exemplo.

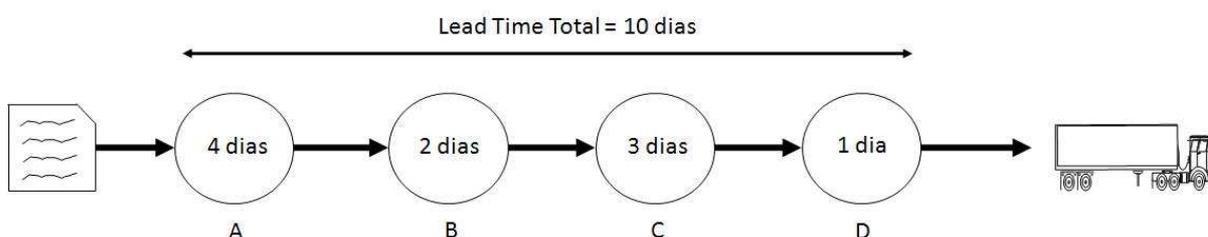


Figura 8 - Exemplo de Cadeia de Valor

No caso da política comercial da empresa impor um prazo de entrega ao cliente, no mínimo, de 10 dias, então não existe necessidade de inventário ao longo desta cadeia. A ordem de produção pode ser gerada no primeiro processo (A), e o material irá passando em FIFO até ao último processo (D) a tempo de ser expedido ao cliente no prazo previsto. No entanto, imaginemos que a política comercial da empresa impõe prazos de entrega ao cliente de 4 dias. Neste caso seria impossível entregar um determinado produto no tempo certo, a não ser que existisse inventário ao longo da cadeia. O posicionamento do supermercado deve estar de acordo com as seguintes regras:

- *O lead time total a jusante do último supermercado deve ser menor do que o prazo de entrega ao cliente.*
- *Deve estar situado o mais possível a montante.* Quanto mais a montante estiver o supermercado, menor será a diferenciação de produtos, o que significa existirem menos referências para armazenar, contribuindo directamente para a redução do nível de inventário médio e da dimensão de supermercado. O custo de armazenamento é também mais reduzido pois o grau de transformação do produto é inferior.

No caso do prazo de entrega ser de 4 dias, e para a cadeia de valor ilustrada na Figura 8, então o supermercado deveria estar localizado entre os processos (B) e (C).

Ciclo de Reabastecimento por *Kanban*

A implementação de um sistema de reabastecimento por *Kanban* surge da necessidade de controlo e eliminação de inventário em excesso. De acordo com este sistema, o material é repostado em igual quantidade ao consumo verificado. A ordem de reabastecimento é dada através de um “*Kanban*” (Palavra Japonesa para cartão). Estes cartões contêm informação acerca da referência do material, cliente, fornecedor e quantidade a fornecer, funcionando em

circuito fechado. Neste circuito, quando um determinado componente é retirado do supermercado por um cliente (linha de produção ou cliente final, por exemplo), o *Kanban* que acompanha o componente é lançado para o processo a montante impondo uma ordem de reposição. Existem dois tipos de ciclos de reabastecimento em função da flexibilidade do processo abastecedor. Se o fornecedor tem limitações em termos de flexibilidade, e só permitir o fornecimento de quantidades mínimas, então a frequência de consumo é superior à frequência de abastecimento, e a ordem de reabastecimento só é dada quando a quantidade mínima de fornecimento for consumida. Por outro lado, estabelece-se um nível de flexibilidade máxima de abastecimento - abastecimento unitário - para fornecedores cuja frequência de abastecimento é equivalente à frequência de consumo, e a ordem mínima representa o consumo unitário. Ambas as situações são apresentadas com maior detalhe nas secções Supermercado de Produto Intermédio sem Tempo de Setup e Supermercado de Produto Intermédio com Tempo de Setup.

A Figura 9 ilustra o ciclo básico de reabastecimento por *Kanban* que se inicia no supermercado do cliente. A existência de inventário permite ao cliente retirar a quantidade de material que necessita, no momento em que necessita. À medida que o cliente vai consumindo, o nível de inventário vai diminuindo até atingir o nível de reposição, ao qual está associada uma ordem de reposição ao fornecedor. À necessidade gerada está normalmente associado um lead time de processamento e envio da ordem de encomenda, que reflecte a frequência com que o nível de inventário do supermercado do cliente é controlado.

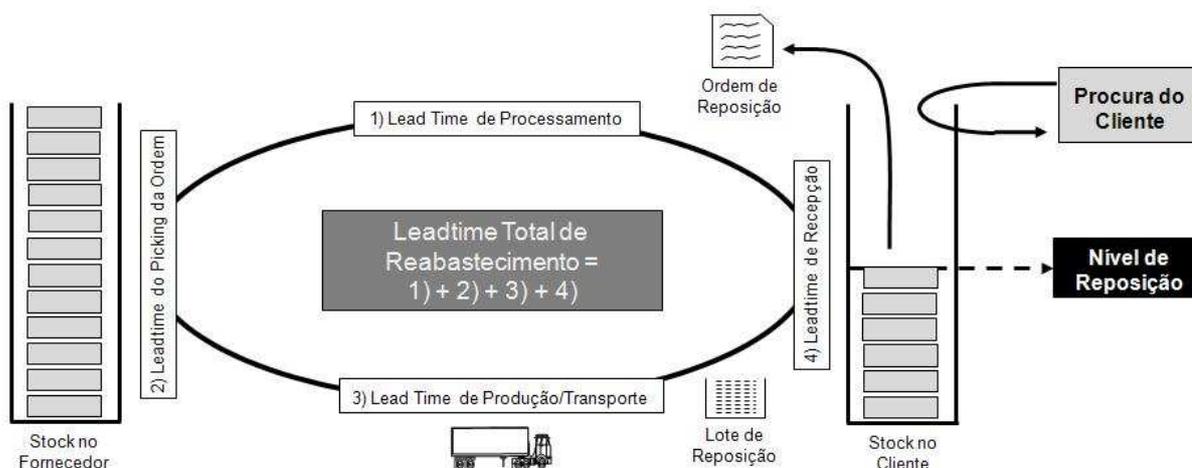


Figura 9 - Ciclo de Reabastecimento

Devido a todo um conjunto de processos internos que impedem a disponibilidade imediata do material, associamos um lead time interno do fornecedor. Este fica definido pelo tempo que o fornecedor demora a ter o material pronto para envio, desde que recebeu a ordem. Depois de pronto, o material tem de ser transportado de volta ao supermercado do cliente. A duração do transporte do material desde o fornecedor até ao supermercado do cliente denomina-se lead time de transporte. Por fim, o tempo que demora a receber e repor o material no devido local já preparado para consumo é denominado como lead time de recepção.

Define-se então o lead time total de reabastecimento como sendo o tempo total que demora a reabastecer o supermercado do cliente por parte do fornecedor, desde que o consumo ocorreu. Para evitar falhas no serviço ao cliente, é necessário ter, no mínimo, inventário suficiente para cobrir a procura do cliente durante todo este período. Sendo assim, podemos então dizer que a reposição deve iniciar-se logo que se atinja o nível de inventário equivalente ao consumo esperado durante o processo de reposição (equação 1).

$$\text{Nível de Reposição} = \text{Lead Time Total de Reabastecimento} \times \text{Consumo Médio} \quad (1)$$

De acordo com esta definição, se o consumo for estável e de igual valor ao consumo médio, a reposição acontece exactamente no momento em que o cliente consome o último componente do supermercado. Devido ao elevado risco de roturas de stock inerente a este dimensionamento, torna-se necessário introduzir uma margem de segurança, denominada stock de segurança. É importante ter presente que este factor deve ser minimizado de forma a evitar sobredimensionamentos. O principal objectivo do stock de segurança é:

- *Absorver variações da procura do cliente:* Se a procura for superior à média durante o tempo de reposição, o nível de stock entrará no stock de segurança, evitando falha no serviço. Este factor pode ser minimizado através das seguintes medidas:
 - *Reduzir o lead time total:* Quanto menor, menor o desvio total ao longo do período;
 - *Nivelar a procura do cliente:* Implementação de sistemas de nivelamento tal como referido na Secção Fluxo Nivelado;
 - *Ponderar a variabilidade da procura de uma referência na análise ABC:* Uma referência A não deverá variar mais do que uma referência B ou C. Dimensionamento diferenciado.
- *Absorver variações do lead time total de reabastecimento:* No caso do lead time real ser superior ao previsto, a procura total do cliente durante o período de reabastecimento será maior, o que implicará um nível de stock inferior ao stock de segurança. O impacto deste factor pode ser minimizado através das seguintes medidas:
 - *Reduzir o lead time total do processo de reabastecimento:* Implementar sistemas simples e eficientes. O número de passos ou intermediários no processo de reabastecimento são uma fonte de variabilidade, devendo por isso ser minimizado;
 - Implementar transporte normalizado - Mizusumashi ou Milkrun;
 - Aumentar a eficiência e fiabilidade do processo fornecedor.

Casos extremos de ambos os factores resultarão em falha de serviço, assim como a conjugação de ambos resultará num cenário ainda pior. Deve-se dimensionar o stock de segurança de forma a conseguir cobrir tais desvios, recorrendo a uma análise de variabilidade da procura e do lead time. É comum constatar que o stock de segurança se encontra sobredimensionado devido ao conforto e segurança que o mesmo proporciona no tocante a garantias de nível de serviço. No entanto, a redução ou eliminação do mesmo torna-se crucial no âmbito da minimização de níveis de inventário e melhoria do próprio processo. Com o objectivo de ilustrar tais pressupostos graficamente, é apresentada em seguida a dinâmica típica do nível de inventário de supermercados, cujo dimensionamento é baseado num ponto de reabastecimento e stock de segurança.

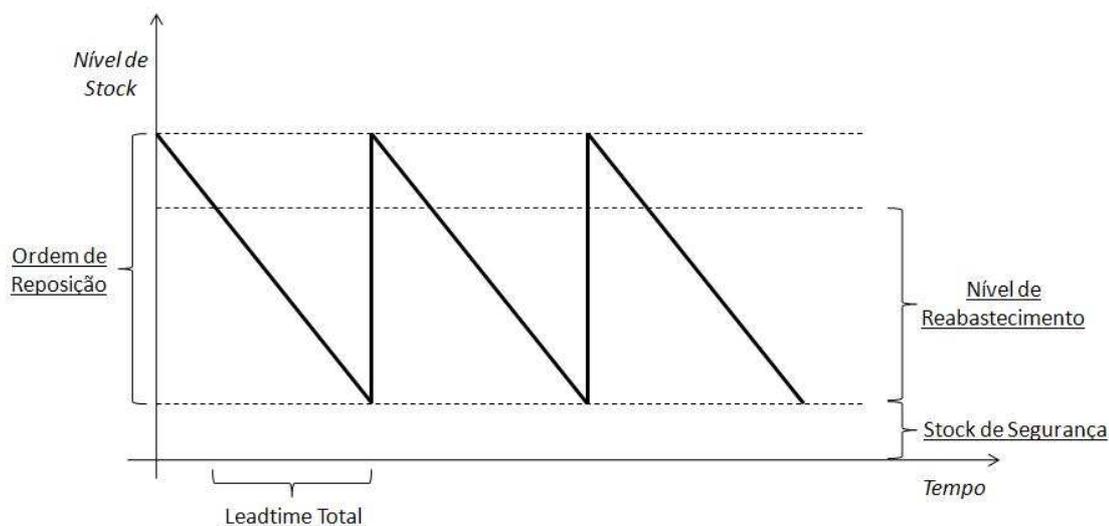


Figura 10 - Dinâmica do Nível de Inventário

É um facto que a maioria dos fornecedores tem dificuldade em fornecer exactamente a mesma quantidade que o cliente consumiu. Tal problema deve-se normalmente a restrições a nível do processo, resultando em imposições como: quantidade mínima de encomenda e arredondamento da quantidade encomendada ao seu tamanho de lote. Este pormenor pode resultar num aumento do stock, tal como ilustrado no Figura 10.

Análise de Variabilidade e Stock de Segurança

Após apresentados os motivos que conduzem à introdução de um stock de segurança, torna-se fundamental saber como constituí-lo de uma forma standard. No tocante a variabilidade da procura, a ferramenta de análise mais comum é a variância ou desvio padrão da procura relativamente à sua média. Este parâmetro permite analisar até que ponto a procura considerada é estável em torno da média, ou se é caracterizada por consumos esporádicos de grande volume. Este pode inclusive ser um indicador fundamental na construção da Estratégia de Planeamento (Secção Tipo de Fluxo de Informação), aquando da categorização de referências como MTS ou MTO. Um elevado desvio padrão normalmente implica a introdução de grandes coeficientes de segurança de modo a evitar roturas de stock causadas por picos de consumo. Tal referência não deve ser incluída como referência MTS. Um dos métodos para o cálculo do valor do stock de segurança, proposta por (Guedes, 2006), é descrito como

$$SS(PR) = K\sqrt{var(d) \times PR}, \quad (2)$$

onde PR representa o período de risco ou período entre actualizações do ponto de reposição, K representa o parâmetro de segurança, e $var(d)$ a variância da procura durante o período de risco. A equação 2 torna-se mais completa se incorporarmos igualmente a variabilidade do processo de reabastecimento, ficando então definida como

$$SS(PR) = K \times \sqrt{var(d) \times PR + var(TR) \times TR}, \quad (3)$$

onde TR representa o tempo de reabastecimento ou lead time de reabastecimento.

Note-se que, apesar da estreita relação entre o stock de segurança e a variabilidade da procura, este não é o único factor que afecta o dimensionamento do coeficiente de segurança. Existem casos em que apesar da variabilidade da procura ser baixa, é necessário constituir elevados stocks de segurança devido à distribuição da procura ao longo do tempo. Intervalos de tempo inferiores ao lead time de reabastecimento com consumos elevados acima da média são elementos causadores de roturas de stock. Outros factores podem ainda ser incluídos na análise tal como a classificação do fornecedor no tocante a OTD (*On Time Deliveries*), distância do fornecedor ao cliente (no caso de ser externo), frequência de entrega, etc. Todos estes factores podem igualmente ser considerados e ponderados no cálculo do stock de segurança.

No caso de se pretender um dimensionamento detalhado do stock de segurança, por vezes a melhor estratégia passa por simular o comportamento do stock em função das previsões de consumo, verificar o nível de serviço resultante, e em função do valor proceder aos necessários ajustamentos ao coeficiente de segurança. Este método pode ser útil na confirmação do cálculo ponderado acima referido.

2.2 Tipos de Supermercados

Partindo do pressuposto inicial de estarmos perante uma cadeia em “*Pull Flow*”, a secção que se segue tem como objectivo ilustrar como podem ser dimensionados os diferentes supermercados existentes ao longo de uma cadeia de valor. Com esse objectivo, apresenta-se de seguida uma cadeia de valor modelo a qual será objecto de estudo posterior. O facto de estarmos perante uma cadeia bastante genérica garante a aplicabilidade e extensão dos conceitos para cadeias mais complexas e com estruturas variadas. De acordo com a Figura 11, podemos então definir quatro tipos de ciclos de reposição associados a supermercados com diferentes características.

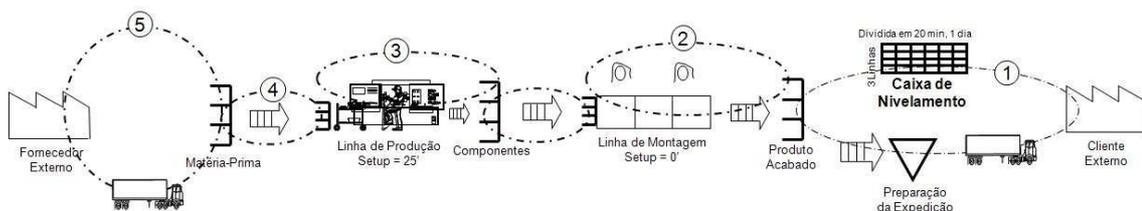


Figura 11 - Ciclos de Reposição

O primeiro ciclo representado (da direita para a esquerda) é o ciclo de reposição de produto acabado, com interacções entre um supermercado de produto acabado e as encomendas do cliente final. O segundo ciclo representa a reposição de produto acabado no supermercado por montagem de componentes provenientes do processo a montante. O terceiro ciclo diz respeito à produção desses mesmos componentes com base em matéria-prima armazenada num supermercado interno. O quarto ciclo descreve o abastecimento de matéria-prima do supermercado até ao bordo de linha da produção. O quinto ciclo ilustra a interacção entre um fornecedor externo e o supermercado de matéria-prima. Numa lógica de sistemas “*Pull*”, faz todo o sentido iniciar a análise pelo elemento que despoleta a produção e todo o reabastecimento interno ao longo da cadeia: cliente final.

Supermercado de Produto Acabado

O circuito apresentado na Figura 12 é o mais crítico no tocante ao estabelecimento de um standard de nivelamento da produção adequado. Neste caso, o fluxo de material do supermercado até à zona de expedição é nivelado de forma a criar um fluxo homogéneo a montante, mas simultaneamente com rapidez de resposta à procura real do cliente a jusante. O *picking* do supermercado de acordo com as ordens niveladas liberta um *Kanban* que dá uma ordem de reposição a montante. Note-se, no entanto, que a dimensão do supermercado de produto acabado é sobretudo definida pelo processo a montante - neste caso pela linha de montagem. Este circuito, nomeadamente o Cliente Externo, influencia a dimensão do supermercado de produto acabado devido ao impacto do TAKT do Cliente no dimensionamento.



Figura 12 - Ciclo Reposição de Produto Acabado ao Cliente

Cliente	Cliente Final
Fornecedor	Supermercado de Produto Acabado
Transporte	Milkrun

Os dispositivos apresentados entre o Cliente e o supermercado de produto acabado são mecanismos de nivelamento de ordens e serão apresentados e explicados com maior detalhe em seguida. Tal como foi abordado anteriormente, um dos objectivos de uma cadeia de valor eficiente deverá ser o de ter um fluxo de material nivelado, de forma a minimizar desperdício. No seguimento deste objectivo foi apresentada uma ferramenta produtiva que garante tal conceito - o sistema de produção JIT - realçando a importância de existir um sincronismo entre o TAKT Time e o Tempo de Ciclo. O circuito de material que garante tal sincronismo deve ser o mais a jusante possível, de forma a minimizar o lead time de entrega. Denomina-se processo *pacemaker* ao processo fornecedor que garante tal sincronismo. Usualmente, este processo determina a capacidade da fábrica e é o ponto de partida para as ordens de produção, devendo ser aquele que origina maior diferenciação de produtos.

No caso apresentado, o processo que determina a capacidade da fábrica e que origina maior diferenciação de produtos é o processo de montagem que fornece o supermercado de produto acabado; no entanto o ponto de partida das ordens de produção é o supermercado. Identificamos como processo *pacemaker* a linha de montagem - processo que estabelece o

tempo de ciclo da fábrica - no entanto optou-se por gerar as ordens de produção no supermercado final, processo mais a jusante na cadeia, pelas razões apresentadas previamente. Note-se, no entanto, que a estrutura mais comum é ter o processo *pacemaker* associado ao ponto de partida das ordens de produção.

Caixa Logística, Caixa de Nivelamento e Sequenciador

A estrutura apresentada na Figura 13 denomina-se Caixa Logística, podendo ser física ou electrónica, e estando normalmente localizada perto do departamento Logístico que é responsável pela sua manutenção. O objectivo é definir e nivelar a carga de um processo ao longo dos dias de acordo com o contrato de capacidade previamente estabelecido. A principal vantagem é notável ao nível de representação visual das ordens pendentes de um determinado processo, permitindo avaliar facilmente a carga atribuída ao

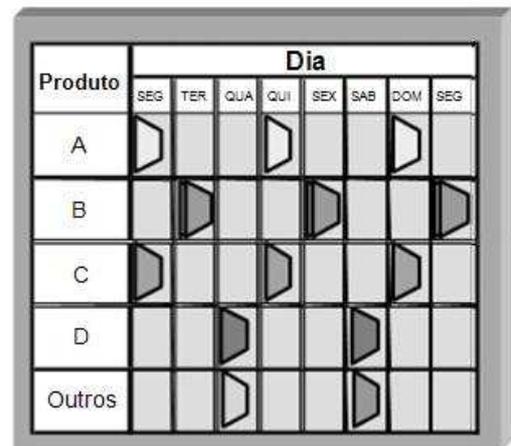


Figura 13 - Caixa Logística

mesmo. Assim, à medida que as ordens são recebidas, são transformadas em *Kanbans* e alocadas a uma determinada janela temporal, representando a data do *picking* do supermercado, de modo a satisfazer o prazo de entrega ao cliente. Da variabilidade diária do volume das ordens do cliente - devido à necessidade de estabilidade em termos de capacidade produtiva - surge a necessidade de nivelar a carga a transportar para um processo. Por vezes, no entanto, esta caixa pode ser vista como um buffer para *Kanbans* antes destes serem transportados para a Caixa de Nivelamento.

A Caixa de Nivelamento é uma ferramenta Logística de apoio ao planeamento de um processo e encontra-se usualmente no ponto de partida do Mizusumashi. Esta caixa não só define o planeamento a curto prazo como é uma ferramenta visual para a criação de um fluxo de material nivelado, e onde cada intervalo temporal deverá ser igual ao tempo de ciclo do Mizusumashi. Desta forma, em cada ciclo, o

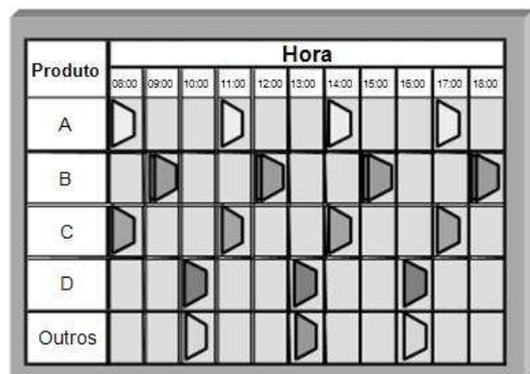


Figura 14 – Caixa de Nivelamento

Mizusumashi é responsável por transportar os devidos *Kanbans* às linhas correspondentes, entregando-os num sequenciador de linha. O objectivo desta estratégia é tornar possível o controlo da produtividade do transportador logístico, assim como o controlo da produtividade da própria linha - através do número de ordens no sequenciador.

Note-se que, no caso abordado, a caixa de nivelamento estabelece ordens de *picking* ao supermercado e não ordens de produção, no entanto a capacidade de *picking* por cada ciclo do Mizusumashi deve estar limitada à capacidade produtiva da linha de montagem a montante -

processo *pacemaker*. Segundo o conceito *Pull*, o consumo de um componente do supermercado dá origem a uma ordem de reabastecimento. Tal reabastecimento não é mais do que uma ordem de produção ou montagem ao processo a montante.

Supermercado de Produto Intermédio sem Tempo de Setup

O circuito que se segue tem como objectivo repor o consumo de produto acabado ao respectivo supermercado. Apesar deste ser o circuito que inclui o processo de transformação mais a jusante, não é o ponto de partida das ordens de produção para o resto da cadeia por razões abordadas em detalhe na Secção

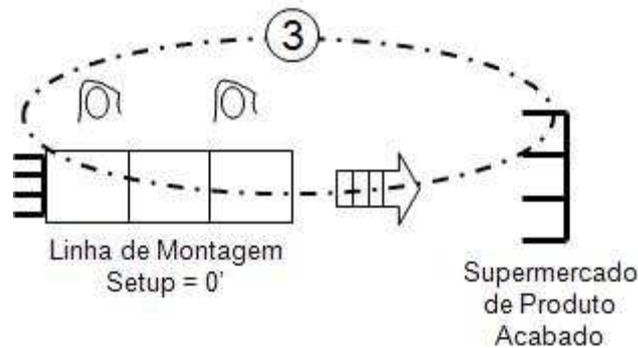


Figura 15 - Ciclo Reposição de Produto Acabado ao Supermercado

Cliente	Supermercado de Produto Acabado
Fornecedor	Linha de Montagem
Transporte	Mizusumashi/POU Supplier

Processo e Mecanismos de Controlo

A estrutura acima ilustrada funciona com recurso a um sequenciador ou mecanismo que garanta uma sequência de produção. A dimensão do sequenciador deve ser função da frequência de abastecimento não só de ordens de produção (*Kanbans*) como de material do supermercado de componentes. Na Secção Sistema de Abastecimento em *Junjo*, conclui-se que, para os componentes abastecidos em sistema *Junjo*, é necessário existir um determinado desfasamento e congelamento da sequência de produção, para que estas peças possam estar disponíveis no ponto de uso quando forem necessárias. Podemos identificar as seguintes etapas do processo de reabastecimento:

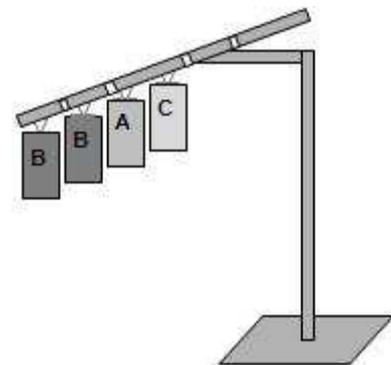


Figura 16 - Sequenciador

- *Consumo do Supermercado de Produto Acabado*: O consumo de produto acabado do supermercado irá libertar os *Kanbans* respectivos.

- *Transporte do Kanban*: Os *Kanbans* relativos aos produtos consumidos são transportados pelo Mizusumashi ou por outros meios, desde o supermercado até ao sequenciador da linha de montagem.
- *Produção e Reposição*: Montagem da ordem correspondente ao *Kanban* e transporte dos produtos para o supermercado. O ciclo de reposição termina com esta etapa.

Análise do Lead Time

Podemos agrupar as componentes do lead time de reabastecimento, para um processo sem tempo de setup, da seguinte forma:

Lead Time de Transporte: Duração do transporte de um *Kanban* do supermercado de produto acabado ou ponto de consumo até ao sequenciador.

Lead Time de Montagem no Sequenciador: Após transportados para o sequenciador, os *Kanbans* ficam em espera até haver disponibilidade para iniciar a produção. Considera-se a duração total de montagem do *Kanban* mais demorado, garantindo o dimensionamento segundo o pior cenário.

Lead Time de Montagem: Duração da montagem da ordem associada ao *Kanban* em questão.

Lead Time de Reposição: Duração da operação de transporte de uma unidade de movimentação, da linha de montagem até ao supermercado, e sua respectiva reposição.

A soma de todas as componentes representa o lead time total de reposição de uma determinada caixa de componentes consumida anteriormente.

Dimensionamento do Supermercado

No seguimento da análise apresentada na Secção Ciclo de Reabastecimento por *Kanban* e na secção anterior, é agora possível determinar qual será o ponto de reposição do supermercado, e qual será o stock médio e máximo para cada referência *i*.

$$\text{Nível de Reposição}_i = \text{Lead Time Total} \times \text{Procura Média}_i + \text{Stock Segurança}_i \quad (4)$$

Note-se que o valor do nível de reposição deve ser arredondado ao SNP da referência. Recordando a dinâmica de um sistema de inventário com nível de reposição apresentado na Secção Ciclo de Reabastecimento por *Kanban*, podemos dizer que o nível médio de stock pode ser definido como:

$$\text{Stock Médio}_i = \text{Stock de Segurança}_i \times (\text{Nível de Reposição})/2 \quad (5)$$

O nível de inventário máximo, assim como o número total de *Kanbans* no sistema define-se como sendo o nível de reposição mais uma caixa (equação 6). Isto deve-se ao facto do lead time total cobrir apenas o tempo de reposição após consumo. Ou seja, após o consumo de uma caixa, teoricamente todo o nível de reposição será consumido até que se verifique a reposição.

$$\text{Stock Máximo}_i = \text{Nível de Reposição}_i + \text{SNP}_i \quad (6)$$

O número de *Kanbans* no sistema fica definido pelo nível de stock máximo transposto para *Kanbans* (Stock Máximo/SNP).

Supermercado de Produto Intermédio com Tempo de Setup

Num processo onde o tempo de mudança de referência é significativo, a produção em fluxo unitário torna-se impraticável devido às perdas de eficiência associadas. Para contornar tal situação, torna-se crítico enveredar por um sistema de produção em lote. A implementação de tal sistema tem como objectivo maximizar simultaneamente a produtividade e a flexibilidade do processo. A interdependência dos parâmetros obriga a uma solução de compromisso.

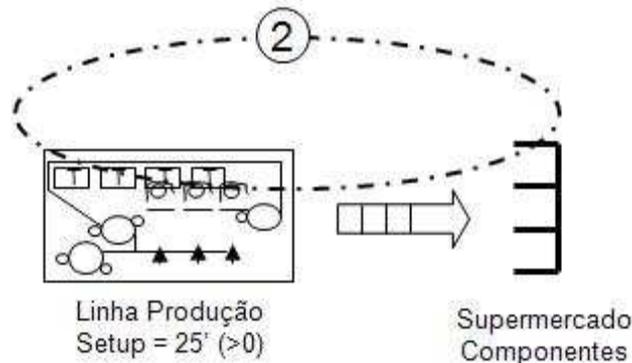


Figura 17 - Ciclo Reposição de Componentes

Cliente	Supermercado de Componentes
Fornecedor	Linha de Produção
Transporte	Mizusumashi/POU Supplier

Processo e Mecanismos de Controlo

O sistema acima referido processa-se com o auxílio de uma Caixa de Construção de Lote, com o objectivo de agrupar o número de *Kanbans* necessários até que o lote mínimo de produção seja constituído. A Caixa de Construção de Lote é um dispositivo que agrupa *Kanbans* de componentes consumidos, até ser formado o lote mínimo para enviar para produção.

Esta caixa deve ser um dispositivo físico e simples, que permita identificar se já foi constituído um lote de uma determinada referência ou não. A Figura 18 ilustra uma possível estrutura para esta caixa.

Podemos identificar as seguintes etapas do processo de reposição:

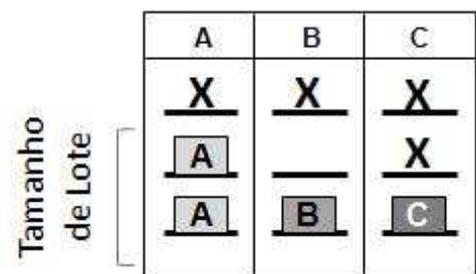


Figura 18 – Caixa de Construção de Lote

- *Consumo do Supermercado de Componentes*: O consumo de componentes do supermercado irá libertar os *Kanbans* respectivos.

- *Transporte dos Kanbans*: Os *Kanbans* relativos aos componentes consumidos são transportados pelo Mizusumashi ou por outros meios, desde o supermercado até à caixa de construção de lote, normalmente localizada na linha de produção.
- *Agrupamento de Kanbans*: Ao longo do tempo os *Kanbans* serão agrupados na caixa de construção de lote até atingirem o tamanho de lote mínimo.
- *Envio do Lote para o Sequenciador*: Todos os conjuntos de *Kanbans* que até então formaram um lote devem ser transportados para o sequenciador.
- *Produção e Reposição*: Produção do lote em questão e transporte dos componentes para o supermercado. O ciclo de reposição termina com esta etapa.

Dimensionamento do Tamanho de Lote

Para um determinado tempo de abertura de um processo, o objectivo deverá ser o de maximizar o tempo disponível para setups, de forma a aumentar a flexibilidade produtiva. A análise do dimensionamento de tamanho de lote deve ser uma das ferramentas a utilizar na revisão periódica de capacidade. O primeiro parâmetro a analisar é a procura prevista para o período em análise. Conhecendo a previsão da procura média para cada referência da linha, conseguimos determinar qual o tempo que tem de ser dedicado à produção diariamente:

$$\text{Tempo de Produção Diário}_i = \sum_{i=1}^N \text{Tempo de Ciclo}_i \times \text{Procura Média Diária}_i \quad (7)$$

onde i representa cada uma das referências produzidas na linha. Podemos a partir de agora modelar a flexibilidade pretendida em função do tempo de abertura escolhido para o processo. Esta análise é essencialmente uma análise custo-benefício, onde o investimento em tempo de abertura (modelo de turnos) representa o custo associado ao benefício de um processo mais flexível, com impacto na redução de inventário. Após determinado o modelo de turnos, podemos identificar qual será o número médio de setups durante um dia.

$$n^{\circ} \text{ de Setups} = \frac{\text{Tempo de Abertura} \times \text{OEE} - \text{Tempo Produção Diário}}{\text{Tempo Médio de Setup}} \quad (8)$$

Com base neste parâmetro é possível obter o EPEI médio do processo, um indicador do grau de nivelamento/flexibilidade do processo. Um bom ponto de partida para o dimensionamento do tamanho de lote, consiste em considerar que todas as referências são produzidas com o mesmo EPEI, o que implica que:

$$\text{Tamanho de Lote}_i = \text{EPEI} \times \text{Procura Média Diária}_i \quad (9)$$

A variabilidade entre as referências em questão conduz a uma análise mais detalhada, sobretudo no tocante à caracterização das mesmas referências. Após definida uma estratégia de planeamento (Secção Fluxo de Informação), são escolhidas referências que irão ser produzidas à ordem ou para stock. Note-se que, para referências MTO, não existe reposição devido à inexistência de stock em armazém; no entanto, no âmbito do dimensionamento de

capacidade, torna-se crítico incorporar o tempo dedicado a setups para estas referências. A condição do problema em questão é:

$$\text{Tempo Total para Setups} = \sum_{i=1}^{N^{MTS}} EPEI_i \cdot \text{Procura Média}_i + \sum_{k=1}^{N^{MTO}} EPEI_k \cdot \text{Procura Média}_k + \sigma$$

(10)

onde N^{MTS} representa o número de referências MTS, N^{MTO} representa o número de referências MTO e σ representa um coeficiente de segurança que poderá estar associado à variabilidade do tempo de setup entre referências. O objectivo deverá ser o de minimizar o EPEI das referências MTS, respeitando a condição (10), tendo em consideração que o tempo de produção de uma referência MTO não deve ultrapassar o tempo de produção de uma referência MTS,

$$EPEI_i \cdot \text{Procura Média}_i \cdot \text{Tempo de Ciclo}_i > EPEI_k \cdot \text{Procura Média}_k \cdot \text{Tempo de Ciclo}_k$$

(11)

em que i representa uma qualquer referência MTS e k uma qualquer referência MTO.

A condição prende-se com uma questão de redução do lead time de reposição, tal como será detectado na análise posterior. Assim, no caso da ordem média de uma referência MTO ter um tempo de produção superior ao tamanho de lote de uma MTS, então devemos dividir a ordem em lotes homogêneos e antecipar a produção. No caso da condição anterior não ser relevante, então o limite superior para o dimensionamento do EPEI da referência MTO deverá ser igual à frequência média de *picking* por parte do cliente, sendo equivalente a dizer que o tamanho de lote destas referências é igual ao tamanho médio da encomenda.

Análise do Lead Time

Para o dimensionamento de supermercados de produto intermédio com tempo de setup, as componentes do lead time estão estruturadas da seguinte forma:

Lead Time de Transporte: Duração do transporte de um *Kanban* do supermercado de componentes até à caixa de construção de lote. Dado que a unidade de movimentação de material nesta situação é um lote, consideramos que o lead time de transporte apenas diz respeito ao transporte do(s) último(s) *Kanban*(s) para terminar a constituição do lote.

Lead Time de Produção do Lote mais demorado: Após ser constituído um lote, os *Kanbans* correspondentes serão transportados para o sequenciador, onde ficam em espera até haver disponibilidade para iniciar a produção. Considera-se a duração da produção do lote mais demorado que pode ser produzido na linha, sendo este o pior cenário ao nível de tempo de espera.

Lead Time de Setup: Imediatamente antes de começar a produção do lote referido, é necessário preparar o processo para a produção de uma nova referência. O lead time a considerar deverá ser o tempo médio de setup do processo.

Lead Time de Produção: Tempo de produção do lote em questão.

Lead Time de Reposição: Duração da operação de transporte do lote da linha até ao supermercado e sua respectiva reposição.

A soma de todas as componentes representa o lead time total de reposição de um determinado lote de componentes consumidos anteriormente.

Dimensionamento do Supermercado

No seguimento da análise apresentada na Secção Ciclo de Reabastecimento por *Kanban* e na secção anterior, é agora possível determinar qual será o ponto de reposição do supermercado e qual será o stock médio e máximo para cada referência i .

$$\text{Nível de Reposição}_i = \text{Lead Time Total} \times \text{Procura Média}_i + \text{Stock Segurança}_i \quad (12)$$

Note-se que o valor do nível de reposição deve ser arredondado ao SNP da referência. Recordando a dinâmica de um sistema de inventário com nível de reposição apresentado na Secção Ciclo de Reabastecimento por *Kanban*, podemos dizer que o nível médio de stock pode ser definido como:

$$\text{Stock Médio}_i = \text{Stock de Segurança}_i \times (\text{Nível de Reposição})/2 \quad (13)$$

O nível de inventário máximo, assim como o número total de *Kanbans* no sistema define-se como sendo o nível de reposição mais um lote (equação 14). Isto deve-se ao facto do lead time total cobrir apenas o tempo de reposição após consumo. Ou seja, após o consumo de um lote, teoricamente todo o nível de reposição será consumido até que se verifique a reposição.

$$\text{Stock Máximo}_i = \text{Nível de Reposição}_i + \text{Tamanho de Lote}_i \quad (14)$$

O número de *Kanbans* no sistema define-se pelo nível de stock máximo transposto para *Kanbans* (Stock Máximo/SNP).

Supermercado de Linha - Bordo de Linha

O bordo de linha é um local de armazenagem ergonómico, procurando minimizar o desperdício de movimento dos operadores. Normalmente não é permitido o armazenamento de grandes quantidades de material, daí a utilização frequente de caixas pequenas ou pequenos carros transportadores em localizações fixas, ao alcance do operador (abastecimento frontal).

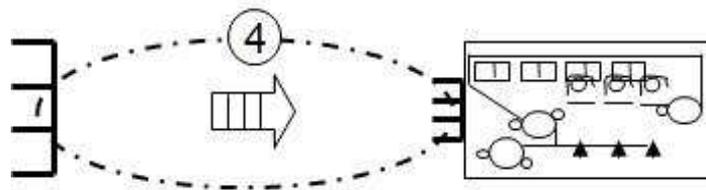


Figura 19 - Ciclo de Abastecimento do Bordo de Linha

Cliente	Operação (Linha de Produção/Montagem)
Fornecedor	Supermercado de Matéria-Prima/Componentes
Transporte	Mizusumashi/POU Supplier

O abastecimento de um bordo de linha é composto por dois sistemas distintos: Abastecimento em *Kanban* e Abastecimento em *Junjo*. De seguida apresenta-se o conceito do sistema de abastecimento em *Junjo*.

Sistema de Abastecimento em *Junjo*

Ao contrário do sistema de abastecimento por *Kanban* (circuito fechado), apresentamos agora um sistema em circuito aberto denominado “*Junjo*”, que em japonês significa sequência. A Figura 20 - Sistema de Abastecimento em *Junjo* ilustra o funcionamento de tal sistema.

Consideremos que a sequência de produção é capturada no ponto *J*. Para cada elemento da sequência são preparados cartões *Junjo* que correspondem a necessidades específicas de cada produto na sequência de produção/montagem. Os cartões *Junjo* são transportados periodicamente como ordem de encomenda para um determinado processo ou mesmo ao supermercado com um desfasamento temporal que garanta que o material esteja no bordo de linha no momento da chegada do cliente. Após o *picking* ou alguma pré-montagem do material no supermercado, este é entregue no bordo de linha em sequência FIFO.

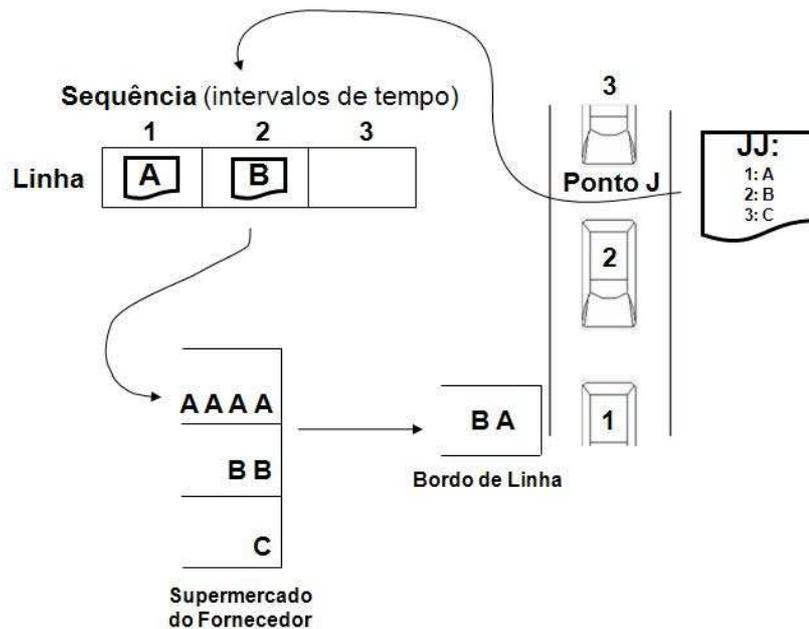


Figura 20 - Sistema de Abastecimento em *Junjo*

Para que este sistema funcione correctamente, torna-se necessário garantir que a sequência de produção esteja congelada durante o período de *picking* no supermercado e que a variabilidade do lead time dos componentes do ponto *J* até ao ponto de uso seja mínimo. Elevadas variabilidades neste lead time podem induzir: no caso de subdimensionamento, à falta de componentes necessários à operação; ou induzir a excesso de inventário devido à necessidade de sobredimensionamento ao pior cenário (lead time máximo).

Até agora foi apresentado um sistema *Junjo* em fluxo unitário, no entanto em diversos processos cada produto exige não só um determinado componente diferenciado, mas sim um conjunto de componentes diferenciados. Ao conjunto desses componentes específicos para cada produto chamamos “Kit *Junjo*”. No caso de estarmos a lidar com conjuntos de componentes, em cada intervalo da sequência da Figura 20, teríamos um conjunto de cartões, ou um cartão com a descrição das referências que compõe o kit. O transportador - Mizusumashi ou transporte não normalizado - ou outro operador determinado tem a responsabilidade de recolher os cartões e de fazer o *picking* de todas as referências do kit, juntá-las e identificar o kit de acordo com o produto a que se destina.

Ao contrário do sistema de abastecimento por *Kanban*, o consumo de uma determinada referência não origina a reposição da mesma. Neste caso, o consumo de uma referência dá origem ao abastecimento da próxima referência, de acordo com a sequência de produção previamente estabelecida e congelada.

Dimensionamento do Bordo de Linha

Na análise de dimensionamento de um bordo de linha, é essencial ter em consideração três variáveis fundamentais: Volume, Frequência de Consumo por referência e Lead Time de Reabastecimento. As duas primeiras variáveis determinam qual o sistema de abastecimento que melhor se adequa a cada referência, e a última determina a dimensão do nível de inventário no bordo de linha.

Um sistema de abastecimento por *Kanban* deve ser implementado para componentes que sejam comuns a quase todos os produtos da linha (ex. símbolo da marca numa linha de montagem na indústria automóvel). Neste caso, o consumo de uma caixa de símbolos iria dar origem à reposição da mesma caixa. O sistema caixa cheia, caixa vazia é dos sistemas de reabastecimento por *Kanban* mais comuns no bordo de linha. Este sistema utiliza a própria caixa como *Kanban* para ordenar reposição. Assim, sempre que o Mizusumashi passa pela linha de montagem tem a responsabilidade de recolher todas as caixas vazias e repô-las cheias no ciclo seguinte.

Para componentes que são utilizados periodicamente em produtos específicos, deve-se optar por um sistema *Junjo*, com o objectivo de reduzir o bordo de linha, minimizando muda de movimento. A proporção de componentes em *Junjo* dependerá do grau de diferenciação dos componentes necessários para cada produto montados/produzidos na linha. Se a diversidade for elevada, torna-se essencial implementar um sistema *Junjo* com elevado número de referências; no entanto, se a diversidade de produtos for baixa, a maioria das referências deverá funcionar em *Kanban*.

A dimensão do bordo de linha para cada referência em *Kanban* é definida pela quantidade de material necessária para manter o abastecimento à linha, durante o ciclo de reposição. Podemos então dizer que, para uma referência i ,

$$\text{Dimensão do Bordo de Linha}_i^{kb} = \text{Lead Time de Reabastecimento} \times \text{Taxa de Consumo}_i^{kb} \quad (15)$$

onde a Taxa de Consumo é obtida pela multiplicação do Tempo de Ciclo pelo Factor de Incorporação do componente.

Note-se que, se uma caixa acabar ser consumida imediatamente após o Mizusumashi passar na linha, o tempo de reabastecimento da caixa consumida é aproximadamente equivalente a dois ciclos do Mizusumashi. Embora a situação apresentada seja o pior cenário de dimensionamento, a mesma deve ser considerada de modo a garantir a integridade da solução (Lead Time de Reabastecimento \geq Duração de dois Ciclos do Mizusumashi).

Para as peças em *Junjo*, o nível de inventário máximo é definido pelo número de componentes que podem ser consumidos durante o lead time de reabastecimento, mais uma caixa/componente que despoleta o abastecimento em sequência. Podemos então afirmar que,

$$\text{Dimensão do Bordo de Linha}_i^{jj} = \text{Lead Time de Reabastecimento} \times \sum_{i=1}^{Njj} \text{Taxa de Consumo}_i^{kb} \quad (16)$$

Note-se que a totalidade das referências em *Junjo* exige, tanto inventário, como um sistema em *Kanban* por referência. Verifica-se desta forma que uma boa estratégia de alocação de referências a sistemas de abastecimento define a dimensão óptima de um bordo de linha.

Supermercado de Matéria-Prima

O último caso apresentado é relativo ao ciclo de reabastecimento de um supermercado de matéria-prima cujo fornecedor é um agente externo.

A exposição no dimensionamento de supermercados para um abastecimento por um fornecedor externo será dividida nas seguintes secções: Análise do Lead Time, Análise da Procura, e Algoritmo do Processo. Na Secção Supermercado de Matéria-Prima é apresentada uma aplicação prática dos conceitos teóricos expostos.

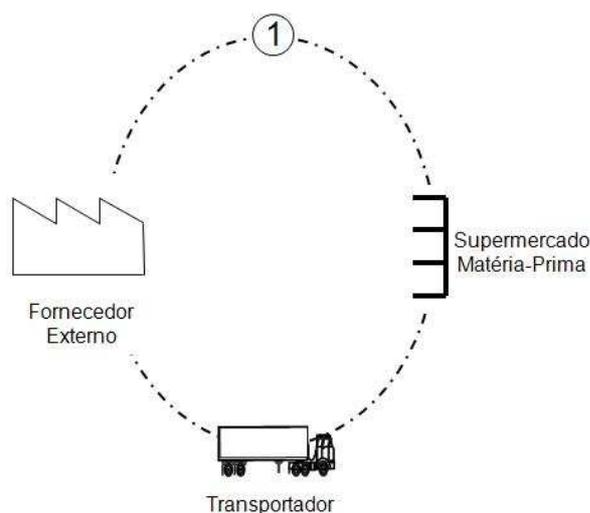


Figura 21 - Ciclo Reposição de Matéria-Prima

Cliente	Supermercado de Matéria-Prima
Fornecedor	Agente Externo
Transporte	Milkrun/Transporte não Normalizado

Análise do Lead Time

No caso do dimensionamento de supermercados de matéria-prima, as componentes do lead time estão estruturadas da seguinte forma:

Lead Time do Pedido: Define-se como sendo o tempo que a organização demora a aperceber-se de uma necessidade de matéria-prima. No caso do MRP ser executado todos os dias, o lead time do pedido será um dia.

Note-se que, na maioria dos casos, o processamento de ordens não se verifica durante fins-de-semana ou feriados, embora o cliente possa consumir durante esses períodos, sendo então necessário um dimensionamento considerando o pior cenário.

Lead Time do Fornecedor: Este parâmetro considera o tempo que o fornecedor demora a preparar a ordem desde o momento que a recebe até esta estar pronta para ser transportada. Esta componente pode variar bastante, essencialmente em função da existência ou não de stock de produto acabado no fornecedor, tipo de produto, fornecedor e área de negócio.

Lead Time de Transporte: Este parâmetro engloba o período de tempo em que o material se encontra em trânsito desde o fornecedor até à zona de recepção interna. O factor que mais influencia esta componente é a distância do fornecedor ao cliente.

Lead Time de Recepção: Duração do processo de descarga do material do camião até ao cais de descarga. Todos os processos administrativos e operacionais devem ser considerados para a estimativa global do lead time, podendo ser interpretado como o tempo desde que o transportador chegou à fábrica, até ao momento em que o material já se encontra no cais de descarga.

Lead Time de Controlo de Qualidade: Duração do processo de controlo de qualidade do material encomendado.

Lead Time de Armazenagem: Duração do processo de alocação do material encomendado, disponível a ser consumido.

Na grande maioria dos casos estas componentes cobrem a totalidade do lead time, no entanto em determinadas áreas de negócio podem existir outras componentes relevantes e integrais ao processo de reabastecimento, devendo as mesmas ser incluídas. Uma das formas mais encobertas e comuns de desperdício é a de material em espera. Aquando da criação de fluxo dentro de uma organização, o objectivo deverá ser sempre minimizar o lead time de encomenda de material. O impacto desta acção não se reflecte simplesmente na diminuição de tempos de espera mas consequentemente numa redução drástica dos níveis de inventário.

Análise da Procura

A análise da procura é a ferramenta que permite dimensionar correctamente o tamanho de um supermercado de acordo com o consumo previsto. Entre revisões do ponto de reabastecimento, as principais alterações verificam-se sobretudo ao nível da variação de volumes de procura. Isto deve-se ao facto da outra variável principal, o lead time de reabastecimento, estar normalmente associada à estrutura do processo e não ser frequentemente alterada, sobretudo em empresas que não têm um sistema sólido de Melhoria Contínua. A frequência de revisão do ponto de reabastecimento deverá então ser função da variabilidade das vendas. Se o consumo de matéria-prima sofre grande variabilidade ao longo do tempo, então a frequência de revisão deve ser alterada de forma a, não só otimizar o nível de inventário, como evitar roturas de stock devido a mau dimensionamento.

Dependendo da frequência de revisão, conseguimos definir o período relevante de análise do consumo previsto para o dimensionamento. Várias regras podem ser estabelecidas para definir o horizonte temporal, no entanto, como regra prática, deveremos considerar um horizonte entre 2-3x superior ao intervalo entre revisões. O objectivo de alargar o período de análise para além da frequência de revisão prende-se com a possibilidade de constituir ou diminuir níveis de inventário, tendo em conta situações futuras.

Após determinado o período de análise, torna-se possível obter o parâmetro de saída desta análise - o consumo médio. No cálculo da média do consumo, apenas devem ser considerados os dias no qual é possível existir consumo. Por exemplo, se o cliente da matéria-prima opera segundo um modelo de 18 turnos, apenas deve ser considerada a média do consumo de 6 dias por semana. Ao considerar 7 dias em vez de 6, estaríamos a cair no erro de reduzir o consumo médio por inclusão de um consumo nulo em todos os sétimos dias. Podemos então afirmar que,

$$\text{Consumo Médio} = \frac{\text{Consumo Total}}{\text{n}^{\circ} \text{ de dias de possível consumo}} \quad (17)$$

Algoritmo do Processo

Depois de dimensionar o sistema, caracterizado por um nível de reposição e stock de segurança, torna-se crítico compreender como este irá gerar encomendas com base no consumo verificado. O nível de inventário, para cada dia i , deverá ser calculado da seguinte forma:

$$\text{Stock}_i = \text{Stock}_{i-1} + \text{Chegadas}_i - \text{Consumo}_i \quad (18)$$

Devido ao desfasamento temporal entre uma encomenda e a respectiva chegada do material, e para evitar que as mesmas necessidades sejam geradas em duplicado, surge o conceito de “Stock Futuro”. Esta variável representa a soma de todo o material que se encontra em armazém e em trânsito. Para cada dia, podemos dizer que,

$$\text{Stock Futuro}_i = \text{Stock}_i + \sum_{j=i-k}^{i-1} \text{Encomendas}_j \quad (19)$$

onde k representa a diferença entre o Lead Time Total e o Lead Time do Processo. As chegadas são definidas como sendo o valor da encomenda feita no k -ésimo dia anterior.

$$\text{Chegadas}_i = \text{Encomendas}_{i-k} \quad (20)$$

No caso da performance de entrega não ser 100%, então deve considerar-se apenas a parcela entregue. A ordem de encomenda ao fornecedor fica definida pela diferença entre o nível de reposição e o stock futuro.

$$\text{Encomenda}_i = \text{Nível de Reposição} - \text{Stock Futuro}_i \quad (21)$$

Devido às restrições ao nível do fornecedor expostas anteriormente, o valor real da encomenda é por vezes arredondado a valores superiores ao necessário. Esse arredondamento é feito com base na encomenda mínima, no caso da necessidade ser inferior ao lote mínimo do fornecedor, e normalmente arredondado ao tamanho de caixa, se a encomenda for superior ao lote mínimo do fornecedor. De seguida apresenta-se a dinâmica do algoritmo graficamente, na Figura 22.

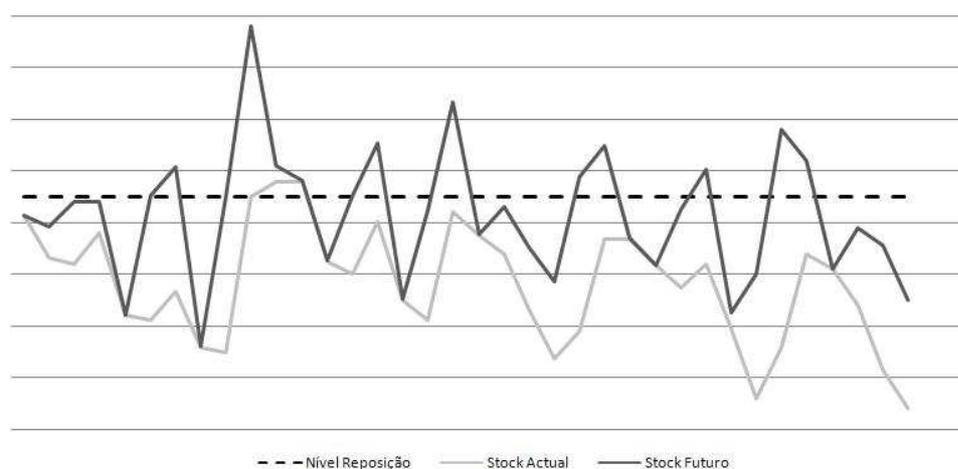


Figura 22 – Algoritmo do Processo

Note que a diferença entre o Stock Futuro e o Stock Actual representa o volume de ordens em trânsito. O que implica, obrigatoriamente que o Stock Futuro seja sempre igual ou superior ao Stock Actual.

2.3 Sincronização através de Supermercados

O objectivo primário da sincronização de processos é o de responder à procura do cliente, de acordo com os seus requisitos em termos de quantidade, prazo, qualidade e localização. Em simultâneo, deve procurar-se atingir tal objectivo com a maior eficiência a nível de custos. Um processo perfeitamente sincronizado fica definido quando a oferta do fornecedor iguala a procura do cliente, em termos de cadência. O grau de sincronização poderá então ser avaliado em função do desperdício associado - usualmente material em espera, produção em excesso e espera devido à falta de balanceamento das operações. Um factor crucial na sincronização - criação de fluxo - é a arquitectura da rede de processos. Esta pode desenvolver-se de acordo com um layout funcional ou em célula, sendo o layout em célula, aquele que normalmente garante melhores resultados. Criar fluxo de material em célula significa agrupar todas as operações consecutivas de um determinado produto de forma a criar uma célula. As vantagens inerentes a tal arquitectura são:

- Sincronização do fluxo de informação e material entre estações de processamento mais simples;
- Aproximação física das estações reduz o tempo de transporte do material;
- Movimentação mais rápida de pequenos lotes de produção;
- Incentivo ao trabalho em equipa, e desenvolvimento das capacidade multi-funcionais;
- Melhor comunicação entre processos;
- Maior transparência a detectar e reconhecer problemas.

A principal desvantagem desta arquitectura é a falta de flexibilidade originada pela dedicação de postos a produtos. Tal desvantagem pode, no entanto, ser colmatada pela flexibilização da capacidade produtiva, de modo a responder devidamente a variações da procura.

Um dos sistemas mais utilizados, mas por vezes com menor taxa de sucesso na criação de fluxo, é o sistema *Push*. De acordo com o conceito *Push*, o processo a montante produz de acordo com o consumo previsto do processo a jusante. Assim, cada referência é empurrada

para o processo seguinte, na esperança que a mesma seja exactamente o que o cliente necessita. A nível de eficiência de informação, tal sistema funciona com sucesso no caso de ser garantido que o plano de produção se mantém congelado durante o lead time do processo a montante. Ao nível de eficiência de fluxo de material, o sistema *Push* tem sucesso na sincronização se a variabilidade do tempo de processamento for baixa. Se este requisito não se verificar, é possível que o cliente necessite do material antes deste estar disponível, ou que, para evitar tal situação, se recorra ao sobredimensionamento do stock entre processos. O transporte de material de um processo para o processo seguinte executa-se normalmente de acordo com o conceito FIFO, de modo a minimizar o lead time de processamento.

O objectivo desta secção é, no entanto, o de apresentar um método de sincronização de processos com diferentes capacidades, com recurso a um supermercado intermédio, tal como ilustrado na Figura 23.

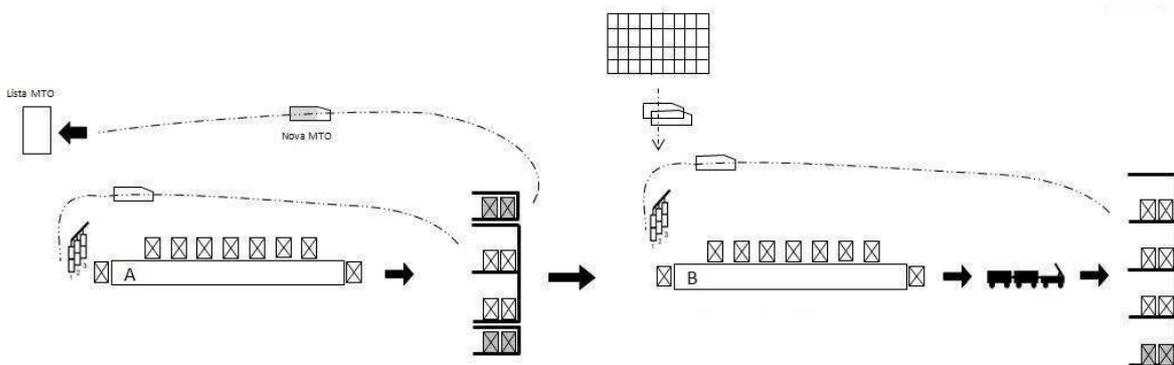


Figura 23 - Sincronização com recurso a Supermercado

O sistema ilustrado baseia-se num conceito *Pull* entre processos, e tem como principal vantagem relativamente ao anterior uma redução no lead time de entrega ao cliente. A introdução de um supermercado entre processos permite que o planeamento da produção possa ser feito no processo a jusante resultando numa melhor resposta a alterações por parte do cliente (Secção Supermercado na Cadeia de Valor). O objectivo do supermercado intermédio é o de fornecer todo o material necessário à operação a jusante sem que esta esteja dependente do fornecedor. A opção entre um sistema *Push* ou *Pull* de sincronização depende de caso para caso. Os principais factores que influenciam esta decisão são o prazo de congelamento das ordens e a variabilidade dos tempos de processamento. No entanto deverá igualmente ser feita uma análise comparativa ao nível de stock intermédio médio de ambas as soluções. O funcionamento e processamento do fluxo de informação e de material são explicados com maior detalhe na próxima secção, assim como o próprio dimensionamento do stock em curso de fabrico entre processos.

Fluxo de Informação e Material

No sistema apresentado, o planeamento da produção é feito na linha a jusante para todas as referências. A necessidade de matéria-prima inerente ao processo produtivo de B é satisfeita através do *picking* do supermercado que contém todas as referências MTS e as próximas referências MTO necessárias de acordo com o plano de produção. O sistema de abastecimento do supermercado intermédio é idêntico ao de um bordo de linha, sendo aplicado um sistema em *Kanban* para as referências MTS e um sistema em *Junjo* para as referências MTO.

Por cada referência MTO de matéria-prima consumida na linha B, é enviado um cartão ordenando a produção da MTO seguinte - possivelmente diferente da consumida. A equipa da linha A tem de ter conhecimento da sequência de consumo da linha B de forma a conseguir produzir a referência correcta. Essa sequência é gerada pela planeadora da linha B que emite uma lista apenas com a sequência do consumo de MTO de acordo com o planeamento da produção feito para a linha B.

Por outro lado, para cada referência MTS consumida do supermercado pelo processo A, é libertado um *Kanban* para a linha B relativo ao processamento da ordem de reposição ao supermercado.

As ordens de produção tanto de referências MTS como de MTO são introduzidas num sequenciador de forma a manter uma sequência FIFO de produção, normalizando desta forma o lead time de reposição.

Garantimos desta forma que a linha A a montante apenas produz o que foi consumido pela linha B, no tocante, não só à referência do produto, como também à quantidade, sendo este um dos requisitos do sincronismo entre processos.

Dimensionamento do Supermercado

Como constatado na secção anterior, serão utilizados dois tipos diferentes de reabastecimento: *Kanban* e *Junjo*. Para cada referência MTS, o nível de inventário no supermercado dependerá largamente do lead time de reposição do material pelo processo a montante. O lead time a considerar depende também do tipo de linha em questão - com tempo de setup ou sem tempo de setup. De acordo com esta categorização, as componentes estão descritas na Secção Supermercado de Produto Intermédio sem Tempo de Setup e Supermercado de Produto Intermédio com Tempo de Setup. A dimensão do supermercado pode então ser determinada de forma análoga à de um bordo de linha, e por isso através da equação (15). Note-se no entanto, que a taxa de consumo de matéria-prima pode ser, no pior cenário, equivalente ao inverso do tempo de ciclo da linha B. Assim sendo, para cada referência i em *Kanban*,

$$\text{Dimensão do Bordo de Linha}_i^{kb} = \frac{\text{Lead Time de Reabastecimento}}{\text{Tempo de Ciclo}_i^{kb}}$$

Para as referências a funcionar em regime *Junjo*, temos:

$$\text{Dimensão do Bordo de Linha}_i^{jj} = \frac{\text{Lead Time de Reabastecimento}}{\text{Tempo de Ciclo}_i^{jj}}$$

no qual o tempo de ciclo a considerar deverá ser o menor de todas as referências MTO - maior taxa de consumo. Desta forma garantimos o dimensionamento segundo o pior cenário.

3 Casos Práticos e Aplicações

3.1 Supermercado de Matéria-Prima

O caso que se segue é relativo ao dimensionamento do supermercado de matéria-prima de uma empresa no ramo automóvel, abastecida por uma empresa que fabrica componentes electrónicos para a indústria. Ambas as empresas têm bastante impacto no mercado onde se inserem, com volumes de facturação que ultrapassam os 7 biliões de euros anuais.

Análise da Situação Actual

Após recolha e análise de informação relativa aos níveis de inventário desde Maio até Julho de 2008 para três referências consideradas PTS (*Purchase-to-Stock*), as conclusões foram as seguintes:

Referência	Stock Médio (Peças)	Stock Médio (Dias)	Valor Médio em Stock
8905502646	38.206	10,10	18.530€
8905502648	521.215	7,03	250.183€
8905502650	130.244	5,79	85.961€
	689.665	5,79	354.674€

O planeador responsável pela encomenda de matéria-prima não seguia nenhum standard aparente, processando as ordens de encomenda de acordo com o que achava ser necessário para a produção. Ao contrário do conceito *Pull* aqui apresentado, o sistema de encomenda até então utilizado baseava-se nas previsões de procura e conseqüente produção. A incerteza associada às previsões, aliada à necessidade de cumprir os requisitos mínimos de disponibilidade de matéria-prima para a produção levaram o planeador a constituir níveis de segurança de stock exagerados como iremos constatar de seguida.

Análise da Situação Futura

Inicialmente foi executada uma análise ao lead time de reabastecimento do fornecedor. Verificou-se que a duração da reposição após consumo era cerca de 5 dias, dos quais 3 dias correspondentes ao lead time de processamento. Isto deve-se ao facto das linhas de produção que consomem o componente funcionarem num modelo de 21 turnos enquanto que os serviços administrativos de processamento de ordens só funcionarem durante os dias úteis. Através da análise do lead time foi possível concluir imediatamente que existia uma boa margem para melhoria, dado que o stock máximo - pior cenário com *Pull* - induziria em

coberturas de stock de 5 dias. Estima-se desta forma um stock médio de cerca de 2,5 dias, no caso de não haver necessidade de constituir stock de segurança.

Seguiu-se uma análise da procura de forma a investigar o grau de variabilidade da mesma e necessidade de constituição de stock de segurança. Um dos indicadores calculados - o desvio padrão do consumo relativamente à média - revelou que a variabilidade da primeira referência era de um dia aproximadamente, enquanto que para as restantes era de meio dia de consumo aproximadamente. Esta análise é no entanto insuficiente para determinar o volume de stock de segurança, como iremos verificar em seguida, sendo útil apenas como indicador genérico da variabilidade.

Após executada a simulação do sistema de ordens de reabastecimento de matéria-prima em *Pull*, as conclusões foram as seguintes:

Referência	Stock Médio (Peças)	Stock Médio (Dias)	Valor Médio em Stock
8905502646	13.191	3,48	6.397€
8905502648	138.652	1,87	66.553€
8905502650	35.060	1,56	23.140€
	231.903	2,30	96.090€

O nível de serviço à produção com este dimensionamento seria de 95%. Para a empresa em questão tal nível de serviço não é aceitável, pelo que teve de ser aumentado o stock de segurança para as referências com mais falhas de serviço. Curiosamente, a referência que demonstrava pior serviço era a que tinha menor variabilidade. Concluiu-se que tal se devia, não à variabilidade medida pelo desvio padrão, mas sim à distribuição dos valores de consumo acima da média, que originavam roturas de stock. Colmatou-se tal problema com a introdução de um stock de segurança de cerca de 2 dias, garantindo desta forma um nível de serviço de 100%. O gráfico que se segue ilustra as variações de nível de cobertura verificados com a introdução de um sistema ao nível da matéria-prima para este caso estudo.

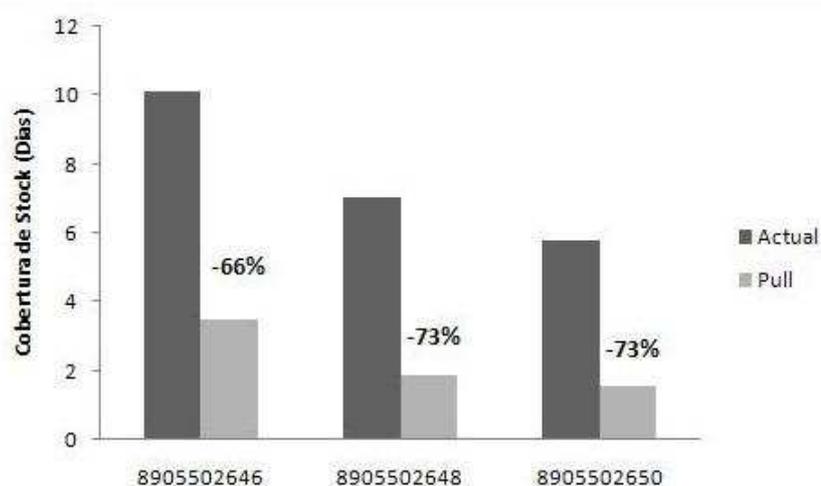


Figura 24 – Ganhos em Cobertura de Stock

A introdução de um standard de encomenda de matéria-prima torna este processo bastante mais simples e transparente para ambas as organizações: Cliente e Fornecedor. O treino dentro da organização de acordo com o novo standard torna-se crítico de modo a atingir objectivos vantajosos não só a um nível macroscópico para a organização - libertação imediata de cash-flow, mas também para o dia-a-dia dos planeadores - simplicidade do seu trabalho e libertação de tempo para outras tarefas.

3.2 Supermercado de Componentes com Tempo de Setup

O caso que se segue refere-se ao dimensionamento de um supermercado de componentes cujo tempo de setup é significativo. A linha de produção em questão produz cerca de 25 referências, das quais apenas 4 foram classificadas como MTS. O planeamento da linha de produção era feito em função em função das necessidades de expedição, sendo o material empurrado para o supermercado na esperança que o cliente consumisse a mesma quantidade produzida. A situação actual das referências relativamente a níveis médios de stock e EPEI é descrita de seguida.

Análise da Situação Actual

	0265008062	0265008061	0265007790	0265007886
Stock Médio	5,20	4,44	0,70	0,30
EPEI	2,5	2,5	2,5	2,5

Para as quatro referências MTS, a cobertura média era cerca de 2,6 dias e o EPEI médio de 2,5 dias. A empresa impunha objectivos de minimização de níveis de inventário assim como de maximização do nível de serviço ao cliente perante os planeadores, no entanto, a falta de normalização do processo de planeamento conduzia a resultados de planeamento variáveis.

As características do processo em questão estão ilustradas na tabela que se segue:

Tempo de Setup	30min
Tempo de Abertura	1.311min
OEE	87%
Consumo Total	10.345 Peças

Análise da Situação Futura

O objectivo proposto para o processo em causa era o de criar um standard de planeamento de acordo com os princípios *Pull*. O objectivo é criar um ciclo de reposição com base em *Kanbans* para todas as referências MTS. Uma das restrições da organização, era de apenas ser possível libertar um *Kanban* após a caixa consumida ser embalada para o cliente. De outra forma, podemos afirmar que esta restrição irá ter um impacto negativo, pois irá atrasar o sinal de reposição.

De seguida irá ser explorado o dimensionamento do ponto de reposição e do tamanho lote de uma referência específica (0265008062), podendo ser a mesma análise estendida para as outras referências.

As componentes do Lead Time de reposição consideradas foram:

- *Lead Time de Informação*: Transporte até à zona de embalamento, embalamento da ordem, transporte até ao planeamento da produção e espera até entrar em produção.
- *Lead Time de Produção*: Tempo de produção de um lote.
- *Lead Time de Reposição*: Transporte desde a linha de produção até à posição de reposição no supermercado.

As quais são comuns a todas as referências produzidas na linha considerada, totalizando cerca de 3.015min (cerca de 2,23 dias). Seguiu-se uma análise à procura, de onde se concluiu que o consumo médio da referência era de aproximadamente 1.488 peças por dia, com uma frequência de *picking* por parte do cliente de cerca de 62% dos dias. A análise da variabilidade do consumo induziu num stock de segurança de aproximadamente 744 peças, e com base na equação 12, concluiu-se que:

$$\text{Nível de Reposição} = 2,23 \times 1.488 + 744 = 4.066 \text{ peças}$$

De acordo com a equação $\text{Stock Médio}_i = \text{Stock de Segurança}_i \times (\text{Nível de Reposição}) / 2$ (13), o Stock Médio para esta referência, funcionando de acordo com o nível de reposição acima calculado será de:

$$\text{Stock Médio} = 744 + \frac{2,23 \times 1.488}{2} = 2.405 \text{ peças.}$$

Note que transpondo o stock médio de peças para dias de consumo, obtemos um inventário médio de 1,61 dias de consumo. Estendendo esta análise para todas as referências MTS, o resultado obtido encontra-se ilustrado na Figura 25 – Ganhos em Cobertura de Stock.

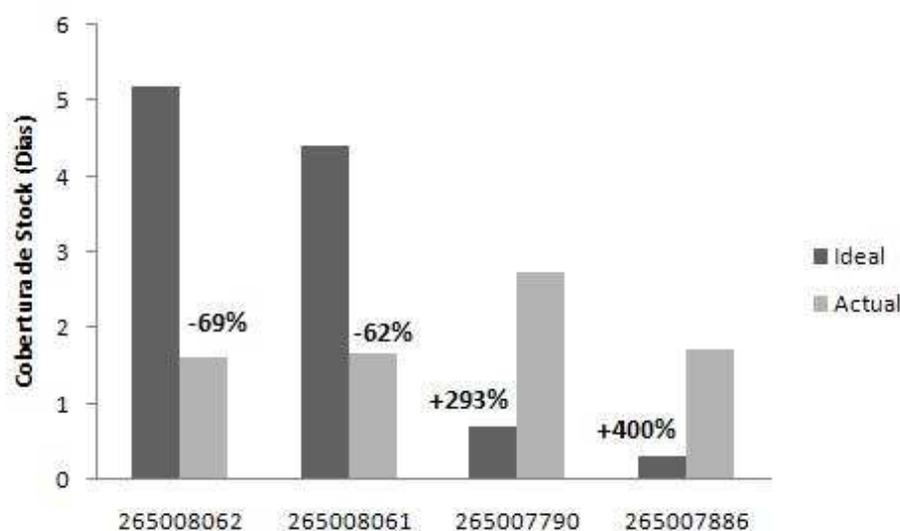


Figura 25 – Ganhos em Cobertura de Stock

Note que as duas últimas referências tiveram um grande aumento de stock. Tal deveu-se a uma revisão da estratégia de planeamento onde se adicionou duas referências MTS, aproximando o volume de consumo de referências em stock a 70%, aumentando o impacto do sistema *Pull* na totalidade da cadeia de valor. Os ganhos globais com a implementação de um standard de planeamento de acordo com ordens de reabastecimento, originam, neste caso, uma diminuição de cobertura média de stock de aproximadamente 27%.

Relativamente ao tamanho de lote, iniciou-se a análise pela determinação da flexibilidade produtiva da linha em questão. Verificou-se que a procura média diária global da linha era de aproximadamente 1.034min de produção, permitindo agora determinar o número máximo de setups por dia através da equação(8):

$$n^{\circ} \text{ de Setups} = \frac{1.311 \times 0,87 - 1.034}{30} = 3,54.$$

Note que o EPEI médio da linha, no caso de não haver diferenciação de EPEI entre referências, é de aproximadamente 7,5 dias. Verificou-se uma grande disparidade entre as frequências de *picking* das referências MTS e MTO, e por isso procedeu-se a um ajuste do EPEI de cada referência em função da frequência de expedição. No final do ajuste conseguiu-se obter um EPEI médio para as referências MTS de aproximadamente 2,7 dias e para as referências MTO de 19,3 dias. Na verdade, havia referências MTO que eram expedidas apenas uma vez por mês e por vezes inclusive com menor frequência. Foi igualmente dada uma margem de segurança de 7% entre o número de setups máximos possíveis por dia e o número de setups a praticar.

Note que o impacto no nível de inventário está extremamente dependente na melhoria dos processos que o originam. Neste caso, a alteração do método de planeamento da produção, assim como a própria normalização da constituição de stock, proporcionaram melhorias significativas tanto no nível de stock como no método de planeamento.

4 Conclusões

Ao longo do trabalho desenvolvido, foi analisado em detalhe o potencial da implementação de supermercados Lean na indústria, assim como todas as ferramentas necessárias para o seu sucesso. Verificou-se a forte dependência do nível de inventário nos processos que o originam e que o consomem, o que conduziu a um maior detalhe nalguns conceitos fora do âmbito da logística.

O enquadramento no âmbito de tipos de sistemas produtivos permitiu introduzir uma filosofia produtiva orientada para a cadeia de valor e não num âmbito funcional - Mentalidade “*Pull Flow*”. A análise do fluxo de material e informação ao longo da cadeia de valor permitiu detectar erros severos quando o sistema produtivo se baseia numa estrutura funcional.

Dado que a actividade suporte para criar sustentabilidade no desenvolvimento e melhoria contínua é a normalização dos processos e operações, foi igualmente ilustrado um processo normalizado de dimensionamento de sistemas de inventário. O impacto desta norma é notável na eliminação de desperdício das organizações, reflectindo-se sobretudo ao nível da redução de inventário.

O trabalho desenvolvido focou-se tanto num âmbito estratégico, proporcionando uma visão sobre o posicionamento de inventário numa cadeia de valor, mencionando algumas regras práticas; como num âmbito operacional na modelação normalizada e criação de fluxo na produção através da sincronização de processos.

O potencial para melhorias numa organização depende naturalmente da situação actual da mesma, no entanto, e para um melhor entendimento das vantagens de um dimensionamento normalizado, foram apresentados alguns casos práticos reais. Através da análise da variação dos KPIs entre a situação actual e futura foi possível verificar melhorias e o impacto das mesmas na organização.

5 Referências e Bibliografia

Baudin, M. (2004). *Lean Logistics*. Productivity Press.

Ford, H. (1923). *My Life and Work*. Kessinger Publishing.

Frazelle, E. F. (2002). *World Class - Warehousing and Material Handling*. McGrawHill.

Guedes, A. P. (2006). *Planeamento Integrado e Gestão de Stocks*. FEUP e EGP.

Imai, M. (2000). *Gemba Kaizen - Estratégias e Técnicas do Kaizen no Piso da Fábrica*. 2ª edição IMAM.

Imai, M. (1986). *Kaizen - The Key to Japan's Competitive Success*. McGrawHill.

Institute, K. (2008). *Kaizen Management System - Total Flow Management*.